

5. Auflage

Kompendium Gentechnologie und Lebensmittel

Band 2: Zahlen, Fakten, Beispiele



Obwohl die Gentechnologie eine noch junge Wissenschaft ist, wird sie bereits heute auf vielfältige Weise angewendet. Sie ermöglicht die Erforschung der Lebenszusammenhänge auf molekularer Ebene und hat vor allem das Wissen in der biomedizinischen Grundlagenforschung revolutioniert. Mit Hilfe der Gentechnologie entstanden neue Medikamente, Impfstoffe und Diagnostika, die weltweit eingesetzt werden. Darüber hinaus wird diese Technik genutzt, um bislang unheilbare Krankheiten zu erforschen und um neue Therapien zu entwickeln. Wenngleich die Anwendung gentechnischer Verfahren sich in der Vergangenheit hauptsächlich auf den medizinischen Bereich konzentriert hat, gewinnt die Nutzung moderner biotechnologischer Verfahren in der Landwirtschaft und der Lebensmittelproduktion zunehmend an Bedeutung: Der Gentechnologie wird ein noch größerer Einfluss auf die Landwirtschaft vorausgesagt als der so genannten Grünen Revolution des 20. Jahrhunderts.

Die Reihe „Kompendium Gentechnologie und Lebensmittel“ befasst sich mit diesem breiten Einsatzgebiet der Gentechnologie. Das Kompendium will Hintergründe gentechnischer Anwendungen in der Lebensmittelgewinnung und -verarbeitung aufzeigen und einen Beitrag zu einer sachlichen Diskussion des Themas leisten.

Der Ihnen vorliegende Band 2 – **Zahlen, Fakten, Beispiele** – informiert Sie über Freisetzung, Anbauzahlen und -zulassungen transgener Pflanzen sowie Anwendungsbeispiele.

Weitere Bände der Reihe „Gentechnologie und Lebensmittel“ sind:

Band 1: Die Grundlagen

Band 3: Gesetzliche Grundlagen und GVO-Nachweisverfahren

Band 4: Nachhaltigkeit, Biosicherheit und Ethik

Band 5: Meinungen und Stellungnahmen

Die ursprüngliche Fassung des Kompendiums wurde 1997 vom Schweizerischen Arbeitskreis für Forschung und Ernährung – InterNUTRITION, Zürich, angefertigt. Im Auftrag des AVG (Arbeitskreis Verbraucherinformation Grüne Gentechnik) wurde 1998 die erste deutsche Auflage des Kompendiums Gentechnologie und Lebensmittel von der GENIUS Biotechnologie GmbH erstellt, an die deutschen Verhältnisse angepasst sowie umfassend aktualisiert. Aufgrund des enormen öffentlichen Diskussionsbedarfs der Grünen Gentechnik in ganz Europa erschien schließlich Ende 1999 die erste englische Auflage des Kompendiums. Die nun vorliegende fünfte deutsche Auflage wurde in Bezug auf die weltweite Anbausituation transgener Pflanzen und deren Verwertung in Futter- und Lebensmitteln nochmals aktualisiert (Stand: März 2003).

Band 2: Zahlen, Fakten, Beispiele

4	ZAHLEN UND FAKTEN	5
5	ANWENDUNGSBEISPIELE	33
	Anhang	93

Die weiteren Bände enthalten folgende Kapitel:

Band 1: Die Grundlagen

1. Einleitung – Die Grüne Gentechnologie
2. Nahrungsmittelproduktion – Ein geschichtlicher Überblick
3. Züchtung mit Hilfe der Gentechnik – Die Ziele

Band 3: Recht und Kontrolle

6. Gesetzliche Regelungen
7. GVO-Nachweisverfahren

Band 4: Nachhaltigkeit, Biosicherheit und Ethik


8. Ökologie und nachhaltige Landwirtschaft
9. Sicherheit und gesundheitlicher Wert von GVO-Produkten
10. Welternährung, Armut und Nachhaltigkeit
11. Gentechnik und Ethik

Band 5: Meinungen und Stellungnahmen

12. Themen in der Diskussion – Meinungen und Stellungnahmen

4. Zahlen und Fakten

- 4.1 Freisetzungen
- 4.2 Zulassungen
- 4.3 Anbauflächen für den kommerziellen Anbau



4

4.1 Freisetzungen

4.1.1 Feldversuche mit gentechnisch veränderten Organismen weltweit

**4.1.2 Feldversuche mit gentechnisch veränderten
Organismen in Deutschland**

4.1.3 Die neuen Merkmale der freigesetzten Pflanzen



4.1 Freisetzungen

Bevor eine gentechnisch veränderte Pflanze kommerziell angebaut werden darf, wird ihre Sicherheit intensiv überprüft. Die Entwicklung der Pflanze beginnt im Labor. Im nächsten Schritt werden die ersten Exemplare im Gewächshaus getestet und erst nach Feststellung der Unbedenklichkeit schließen sich kontrollierte Freilandversuche an. Die Erfahrung hat gezeigt, dass dieses schrittweise Vorgehen größtmögliche Sicherheit bietet. Bei jedem Schritt werden alle sicherheitsrelevanten Aspekte bewertet.

Die Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen wird in Deutschland durch das Gentechnikgesetz (GenTG) geregelt, mit dem die EU-Freisetzungsrichtlinie 90/220/EWG in nationales Recht umgesetzt wurde (siehe Kapitel 8). Liegt ein Antrag auf Freisetzung eines gentechnisch veränderten Organismus vor, wird zunächst eine Expertise der Zentralen Kommission für Biologische Sicherheit (ZKBS) eingeholt. Wenn keine Sicherheitsbedenken bestehen, erteilt das Robert Koch-Institut (RKI) in Berlin die Genehmigung zur Freisetzung. Unter Umständen können spezifische Auflagen wie zum Beispiel Isolationszonen angeordnet werden. Eine Genehmigung kann für mehrere Freisetzungsorte und Jahre gültig sein. Die EU-Freisetzungsrichtlinie wurde im Jahr 2001 novelliert; die Umsetzung der neuen Bestimmungen steht in Deutschland noch aus (siehe Kapitel 6).

4

4.1.1 Feldversuche mit gentechnisch veränderten Organismen weltweit

Bis April 2002 wurden in den USA 8 830 Genehmigungen für etwa 37 000 Freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen erteilt (ISB April 2002). In der Europäischen Union wurden fast 1 900 Anträge für 1 320 Freisetzungen an etwa 6 100 Standorten gestellt (BBA, April 2002).

Seit dem ersten Freilandversuch im Jahr 1986 wurden weltweit über 56 000 Feldversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen durchgeführt. Freilandversuche werden nicht nur in Nordamerika und Westeuropa genehmigt, sondern zunehmend auch in den Ländern Süd- und Mittelamerikas – insbesondere in Argentinien und Brasilien – sowie Afrikas, Asiens – insbesondere in China – und Osteuropas. Da nicht von allen Ländern Zahlen veröffentlicht werden, ist eine exakte statistische Erfassung aller Versuche nicht möglich. Die meisten Feldversuche wurden mit Mais, Kartoffeln, Tomaten, Sojabohnen, Raps, Baumwolle, Zuckerrüben und Tabak durchgeführt.

Bei keinem dieser über 56 000 Feldversuche wurden bisher schädliche Auswirkungen auf Mensch, Tier oder Umwelt festgestellt.

Pflanzenart	EU ¹	USA ²	Kanada ³
Ackerschmalwand	2	17	
Amberbaum		14	
Ananas		1	
Apfel	5	28	
Aubergine	9	7	
Baumwolle	29	538	
Birke	4		
Birne		6	
Brokkoli			2
Cassava		1	
Chicoree	42		
Chrysanthemen	9	2	
Citrusfrüchte	1	1	
Erbse	1	27	
Erdbeere	7	40	6
Erdnuss		22	
Eukalyptus	4		
Färberdistel			3
Fichte	2		6
Flachs			43
Flamingoblume		1	
Geranien		5	
Gerste	4	29	
Gladiale		2	
Grapefruit		5	
Gräser (gesamt)	5	146	3
Gurke		23	
Hafer		1	
Helles Ebenholz		4	
Himbeere	1	9	
Kaffee	1	3	
Karotte	2	13	
Kartoffel	209	696	450
Kiefer	2	15	
Kirsche	3		3
Kiwi	3		
Klee		1	12
Kohl/Blumenkohl	9	18	
Kürbis		40	
Lilie	1		
Limoniumstaude	3		
Linse			20
Luzerne	2	128	291
Mais	478	3692	185
Melone/Kürbis	16	123	
Olive	2		
Orchideen		4	

4

Papaya	15	14	
Pappel	7	68	2
Petunie		13	
Pfeffer		12	
Pfefferminze	1	1	
Pflaume		3	
Preiselbeere	391	1	
Raps	13	162	1845
Reis		129	
Rhododendron	331	3	
Rübe		128	42
Rübsen	8	3	
Salat		70	
Salbei		2	
Senf	15		77
Sojabohne	15	571	136
Sonnenblume		30	
Süskartoffel	55	8	
Tabak		192	38
Tollkirsche		6	
Tomate	72	505	6
Traube		32	
Veilchen	1		
Walnuss			
Wegwarte		1	
Weinrebe	5		26
Weizen	23	235	297
Zuckerrohr		31	
Zuckerrübe	276	135	73
Zwiebel		4	3
Total	2084	8033	3581

Quelle: BBA (April 2002), ISB/USDA/APHIS (April 2002)

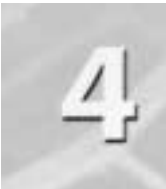
Canadian Food Inspection Agency (2001)

¹ Gesamtzahl der gestellten Anträge (incl. abgelehnter und noch ausstehender Anträge)

² Zahl der Freisetzungszulassungen

³ Zahl der Freisetzungszulassungen

Da die Genehmigungen zur Freisetzung oft gleichzeitig für verschiedene Orte gültig sind und über mehrere Jahren laufen können, liegt die Zahl der tatsächlich durchgeführten Freilandversuche um ein Vielfaches über der Zahl der Anträge. Genaue Angaben dazu liegen nicht vor.



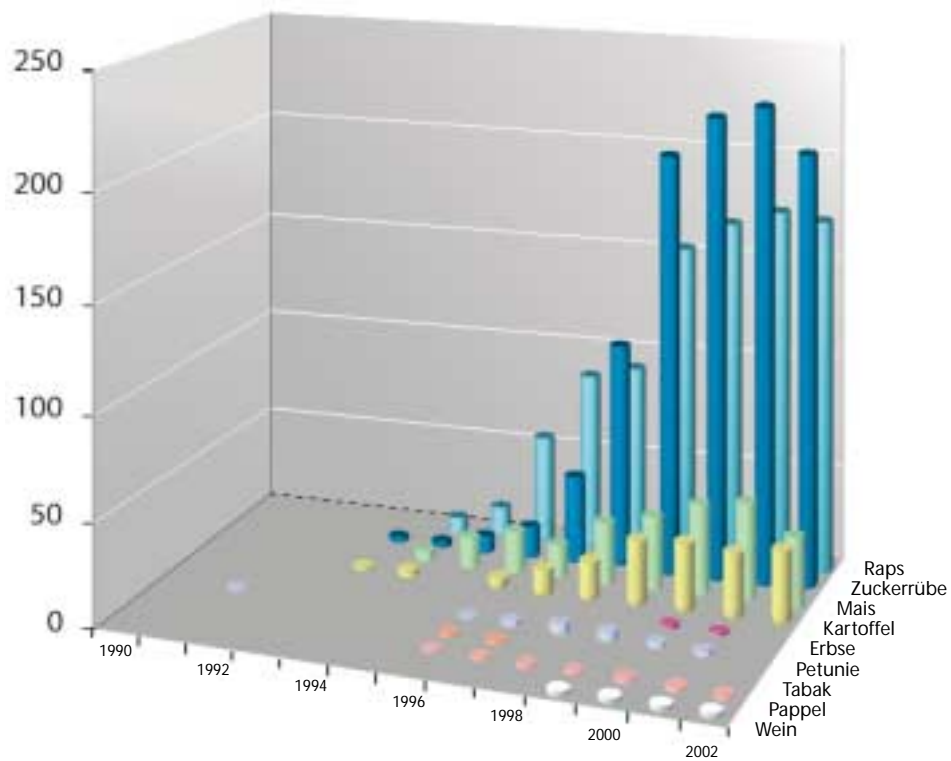
Innerhalb Europas fanden die meisten Freisetzungen bisher in Frankreich statt, gefolgt von den Niederlanden, Deutschland, Italien und Großbritannien.

Land	Zahl der Freisetzungsanträge	Zahl der Freisetzungsversuche
USA	8 734	37 312
Kanada	1 434	5 478
EU* gesamt	1 887	13 620
Frankreich	519	4 314
Niederlande	132	2 586
Deutschland	228	1 957
Italien	285	1 550
Großbritannien	225	1 253
Spanien	204	719
Belgien	129	472
Schweden	62	361
Finnland	25	114
Irland	4	98
Dänemark	40	75
Griechenland	18	52
Portugal	12	46
Österreich	3	20
Norwegen	1	3

* Gesamtzahl der Anträge bzw. der darin beantragten Freisetzungsversuche inklusive eventuell abgelehnter oder nicht durchgeführter Versuche sowie Freisetzungen gentechnisch veränderter Bakterien, Viren, Phagen, Hefen und Impfstoffe, die zusammen einen Anteil von knapp 4 Prozent ausmachen.

Quelle: ISB (April 2002), CFIAN (August 2001), BBA (April 2002)

4.1.2 Feldversuche mit gentechnisch veränderten Organismen in Deutschland



Quelle: BBA, Stand April 2002

In Deutschland wurden bisher hauptsächlich gentechnisch veränderte Zuckerrüben freigesetzt. Auch Raps, Mais, Kartoffeln, Petunien, Tabak und Pappeln wurden im Freiland getestet.

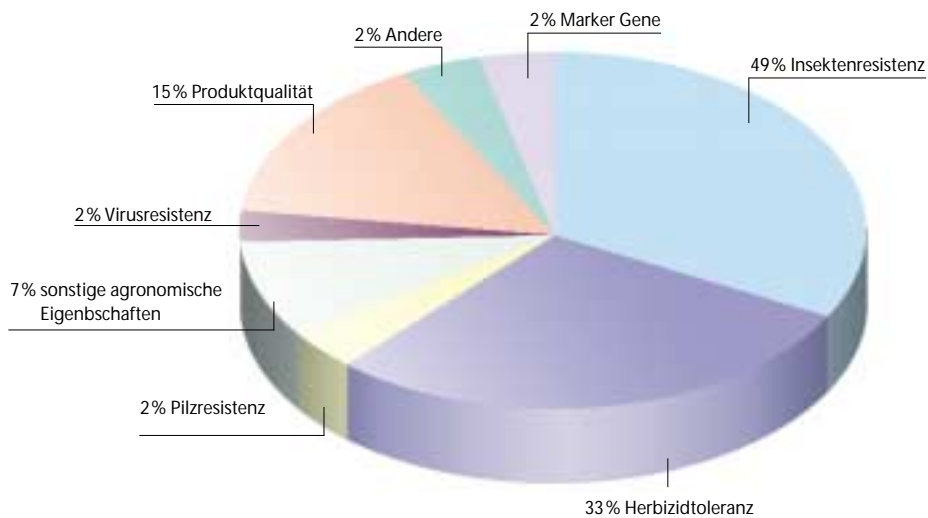
4.1.3 Die neuen Merkmale der freigesetzten Pflanzen

In den ersten Freisetzungen in den USA Ende der achtziger Jahre wurden vorwiegend herbizidtolerante Pflanzen untersucht. Mittlerweile sind fast 50 Prozent der Pflanzen insektenresistent.

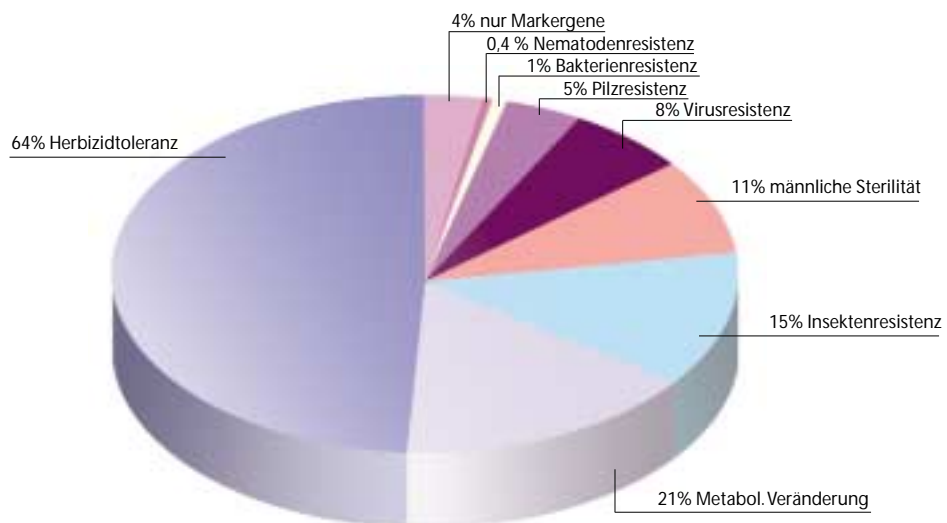
In Europa zeigt sich ein anderes Bild. Herbizidtolerante Pflanzen haben hier einen Anteil von 64 Prozent gemessen an der Gesamtzahl der Freisetzungen. Aber auch in Europa ist eine Tendenz zu einem größeren Spektrum von Eigenschaften zu beobachten (BBA 2002).



Eigenschaften freigesetzter transgener Pflanzen in den USA (ISB 2002)




Eigenschaften freigesetzter transgener Pflanzen in der EU (BBA 2002)



4.2 Zulassungen

- 4.2.1 In Nordamerika und in der EU zugelassene transgene Pflanzen
- 4.2.2 Liste der kommerziell zugelassenen gentechnisch veränderten Pflanzen weltweit



4.2 Zulassungen

Im Jahr 1992 wurde mit der FlavrSavr-Tomate der Firma Calgene die erste gentechnisch veränderte Pflanze zum kommerziellen Anbau und zur Vermarktung zugelassen. Seitdem dürfen über 100 verschiedene gentechnisch veränderte Pflanzen in Verkehr gebracht werden (Stand: April 2002). Die wichtigsten Pflanzen davon sind:

Sojabohne
Baumwolle
Mais
Raps (Canola)
Kartoffel
Tomate

Da sich Gesetze und Vorschriften von Land zu Land unterscheiden, können die länderspezifischen Zulassungsgenehmigungen voneinander abweichende Bedeutung haben. In den folgenden Tabellen ist mit Zulassung die Genehmigung zum unbegrenzten Anbau und/oder zum Import zu verstehen. In den meisten Fällen sind die Pflanzen außerdem zur Verarbeitung in Lebens- beziehungsweise Futtermitteln zugelassen.

4.2.1. In Nordamerika und in der EU zugelassene transgene Pflanzen

USA	EU	Kanada
- Mais (20)	- Mais (4) ²	- Raps (25)
- Sojabohne (12)	- Raps (5) ²	- Mais (19)
- Tomate (8)	- Nelke (12)	- Kartoffel (20)
- Baumwolle (9)	- Sojabohne (1) ¹	- Baumwolle (6) ¹
- Raps (8)	- Radicchio (3) ³	- Tomate (6)
- Kartoffel (20)	- Tabak (5)	- Kürbis (2) ¹
- Kürbis (2)		- Sojabohne (9)
- Zuckerrübe (2)		- Flachs/Lein (1)
- Papaya (2)		- Weizen
- Radicchio (3)		
- Flachs (1)		
- Reis (2)		

¹ Zulassung nur für Import, Lagerung und Verarbeitung, nicht zum Anbau

² davon eine Linie nur zugelassen für Import, Lagerung und Verarbeitung, nicht zum Anbau

³ Zulassung nur zur Saatguterzeugung

Quelle: RKI (Stand April 2002), APHIS/USDA, Agbios, Canadian Food Inspection Agency, 2001

4.2.2 Liste der kommerziell zugelassenen gentechnisch veränderten Pflanzen weltweit

Pflanze	OECD-Kennnummer (Markenname)	Unternehmen	neue Eigenschaft	Zulassung in	seit
Baumwolle	BXN	Calgene	Herbizidtoleranz (Oxynil)	USA KAN ¹ JAP	1994 1996 1997
	MON531/757/1076 (Bollgard / Ingard)	Monsanto	Insektenresistenz	USA AUS KAN ¹ CHI JAP <small>(757 erst 1999 und 1076 nicht)</small> MEX SAF ARG Ind	1995 1996 1996 1997 1997 1997 1997 1998 2002
	MON1445/1698 Roundup Ready	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	USA KAN ¹ JAP <small>(nur 1445)</small> ARG AUS	1995 1996 1997 1999 2000
	19-51A	DuPont	Herbizidtoleranz (Sulfonylharnstoff)	USA	1996
	31807/31808 Bollgard + BXN	Calgene	Insektenresistenz + Herbizidtoleranz (Oxynil)	USA JAP <small>(nur 31807)</small>	1997 1998
		CAAS	Insektenresistenz	CHI	1997
	10211; 10215; 10222; 10224	Monsanto, Calgene	Herbizidtoleranz (Oxynil)	JAP	1997
	BG4740	Monsanto, Calgene	Insektenresistenz + Herbizidtoleranz (Oxynil)	JAP	1998
	15985	Monsanto	Insektenresistenz	JAP	2001
	Blumenkohl	CF156 (CF156)	Takii	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	JAP
Brokkoli	BR891	Takii	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	JAP	2001



Radicchio/ Chicorée	RM3-3; RM3-4; RM3-6	Bejo Zaden	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	EU ² USA	1996 1997
Flachs	FP967	University of Saskatchewan	Herbizidtoleranz (Sulfonylharnstoff)	KAN USA	1996 1999
Gurke	CR-29; CR-32; CR-33	NIAR	Pilzresistenz	(JAP)	(1999)
Kartoffel	ATBT04-6, ATBT04-27, ATBT04-30, ATBT04-31, ATBT04-36, SPBT02-5, SPBT02-7 (New Leaf Atlantic, New Leaf Superior)	Monsanto	Insektenresistenz (Colorado Potato beetle)	USA KAN JAP ¹ (außer ATBT04-27) MEX	1996 1997 1997 1998
	BT06, BT10, BT12, BT16, BT17, BT18, BT23 (New Leaf Russet Burbank)	Monsanto	Insektenresistenz	USA KAN JAP ¹	1995 1995 1996
	RBMT15-101, SEMT15- 02, SEMT15-15 (New Leaf Y Russet Burbank, New Leaf Y Shepody)	Monsanto	Insektenresistenz + Virusresistenz	USA KAN	1999 1999
	RBMT21-129, RBMT21-350 (New Leaf Plus Russet Burbank)	Monsanto	Insektenresistenz + Virusresistenz	USA KAN JAP	1998 1999 2001
	RBMT22-082 (New Leaf Plus Russet Burbank)	Monsanto	Insektenresistenz + Virusresistenz	USA KAN JAP	1998 1999 2001
Kürbis (Squash)	ZW20	Upjohn, Seminis	Virusresistenz	USA KAN ¹	1994 1998
	CZW-3	Asgrow, Seminis	Virusresistenz	USA KAN ¹	1996 1998
Mais	DLL25 / B16	DeKalb	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	USA KAN JAP	1995 1996 1999
	Event 176 (Maximizer, Natur Gard, Knock Out)	Syngenta (Novartis)	Insektenresistenz	USA EU KAN JAP ARG CH1 AUS	1995 1997 1996 1996 1996 1997 2001



T14, T25 (Liberty Link)	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	USA EU <small>(nur T25)</small> KAN JAP ARG	1995 1998 1996 1997 1998
MON810 (Yield Guard)	Monsanto	Insektenresistenz	USA EU KAN JAP ARG SAF CH ¹ AUS	1995 1998 1997 1996 1998 1997 2000 2000
MON80100	Monsanto	Insektenresistenz	USA	1995
DK404SR	BASF Kanada		KAN	1996
EXP1910IT	Syngenta	Herbizidtoleranz (Imidazol)	KAN	1996
XA 17; 3751IR; 3417IR	Pioneer	Herbizidtoleranz (Imidazol)	KAN	1996
MS3	PGS (Bayer)	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	USA KAN	1996 1996
Bt 11	Syngenta (Novartis)	Insektenresistenz	USA EU1 KAN JAP CH1 ARG AUS	1996 1998 1996 1996 1998 2001 2001
MON809	Pioneer Hi-Bred	Insektenresistenz	USA KAN JAP	1996 1996 1997
MON832	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	KAN	1997
MON802 (Yieldgard)	Monsanto	Insektenresistenz + Herbizidtoleranz (Glyphosat)	USA KAN JAP	1997 1997 1997
DBT418 (Bt Xtra)	DeKalb	Insektenresistenz	USA KAN JAP ARG	1997 1997 1999 1998

	GA21 (Roundup Ready)	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	USA KAN JAP ARG AUS	1997 1998 1998 1998 2000
	CBH351	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Insektenresistenz	USA JAP	1998 1999
	676; 678; 680	Pioneer Hi-Bred	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterili- tät (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	USA	1998
	IT		Herbizidtoleranz (Imidazol)	KAN	1998
	MS6	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + männliche Sterili- tät (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	USA	1999
	NK603		Herbizidtoleranz (Glyphosat)	USA KAN JAP	2000 2001 2001
	TC1507	Mycogen, Pioneer	Insektenresistenz	USA	2001
	MON863	Monsanto	Insektenresistenz (Käfer)	JAP	2001
Melone	Prince	NARC, NIAR	Virusresistenz	(JAP)	(1996)
	A,B	Agritope	verzögerter Reifeprozess	USA	
Nelke	66	Florigene	verzögerter Reifeprozess	AUS EU	1995 1998
	2; 4; 11; 15; 16	Florigene	veränderte Blütenfarbe	AUS EU JAP (nur Linie 2 und 11)	1995 1998 1997
	A127	DNAP, Suntory	Verzögerter Reifeprozess	JAP	1996
	959A; 988A; 1226A; 1351A; 1363A; 1400A	Florigene	veränderte Blütenfarbe	EU JAP (nur 1351 und 1363)	1998 1998



	121.2.7; 121.3.12; 123.1.36; 123.2.38	Florigene, Suntory	Veränderte Blütenfarbe	JAP	1999
	8.6.25; 12.1.8; 17.3.67; 18.3.33; 20.9.53	Florigene, Suntory	Verzögerter Reifeprozess	JAP	1999
	1.8.124; 16.0.66	Florigene, Suntory	Verzögerter Reifeprozess	JAP	2000
	123.8.8	Florigene, Suntory	veränderte Blütenfarbe	JAP	2000
Papaya	55-1 / 63-1	Cornell University	Virusresistenz	USA JAP	1996 2000
Paprika		Peking Univ.	Virusresistenz	CHI	1998
Petunie		Suntory	Virusresistenz	JAP	1994
		Peking Univ.	Veränderte Blütenfarbe	CHI	1997
Raps	23-18-17; 23-198	Calgene	verändertes Fettsäuremuster (höherer Laurat- und Myristat- gehalt)	USA KAN	1994 1996
	Liberator L62	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	EU ⁵	1999
	Falcon GS40/90	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	EU ⁵	1999
	HCN10 (Liberty Link Independence)	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	KAN USA JAP	1995 1995 1997
	HCN92 (Topas 19/2, Liberty Link Innovator)	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	KAN JAP EU ¹	1995 1996 1998
	GT73; RT73 (Roundup Ready)	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	KAN JAP USA AUS	1995 1996 1999 2000
	NS738; NS1471; NS1473 (PHI-CAN-IMI-IR, Smart, Pursuit, Odyssey)	Pioneer Hi-Bred	Herbizidtoleranz (Imidazol)	KAN	1995
	MS1, RF1 → PGS1	PGS (Bayer)	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterili- tät (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	KAN EU JAP	1995 1997 1996

	MS1, RF2 → PGS2	PGS (Bayer)	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	KAN EU JAP	1995 1997 1997
	T45 / HCN28	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	KAN JAP USA	1996 1997 1998
	GT200 (Roundup Ready)	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	KAN	1996
	MS8 x RF3	PGS (Bayer)	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	KAN JAP USA	1996 1998 1999
	45A37, 46A40 und 46A12, 46A16	Pioneer Hi-Bred	verändertes Fettsäuremuster (erhöhter Ölsäure-, erniedrigter Linolensäuregehalt)	KAN	1996
	HCR1 (Rübsen)	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	KAN	1997
	ZSR500/502 (Rübsen) (Hysyn 101 Roundup Ready)	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	KAN	1997
	PHY14; PHY35	PGS (Bayer)	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	JAP	1997
	PHY36; PHY23	PGS (Bayer)	Herbizidtoleranz (Glufosinat) + Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridpflanzen)	JAP	1997
	Westar-OXY-235 (Navigator)	Rhône-Poulenc	Herbizidtoleranz (Oxynil)	KAN JAP	1997 1998
	RT200	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	JAP	2001 (nur Nahrungs- und füttermittel)



Reis	16-2 (Nihonbare)	NARC, NIAR	Virusresistenz	JAP	1994
	Kinuhikari	NIAES, PRI	Virusresistenz	JAP	1994
	Kinuhikari	Mitsua Toatsu	Verringerter Allergengehalt	JAP	1995
	20-2; 21-3 (Nihonbare)	NARC, NIAR	Virusresistenz	JAP	1997
	Tsuki-no-hikari: H39; H75	Japan Tobacco	Verringerter Proteingehalt (für die Sakeherstellung)	JAP	1998
	LLRICE06, LLRICE62	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	USA JAP (nur LLRICE62)	1999 2000
	730; 1107; 1316; 1702; 1708; 1763	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	JAP	2000
	G2-59; G2-70, G2-138	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	JAP	2001
Rote Bohne	AR-9	NARC	Insektenresistenz	(JAP)	(1999)
Sojabohne	GTS 40-3-2 (Roundup Ready)	Monsanto	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	USA KAN JAP ARG EU ¹ CH ¹ URU BRA MEX RUS ¹ AUS KOR SAF	1994 1995 1996 1996 1996 1996 1997 1998 1998 1999 2000 2000 2001
	A2704-12, A2704-21, A5547-35	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	USA KAN JAP (außer A5547-35)	1996 1999 1999
	W62, W98	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	USA	1996
	G94-1, G94-19, G168; 260-05	DuPont	verändertes Fettsäuremuster erhöhter Ölsäuregehalt	USA JAP (nur 260-05) AUS KAN	1997 1999 2000 2000
	A5547-127	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	USA JAP	1998 2001
	GU262	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	USA	1998
	OT96-15	Agriculture & Agri-Food Canada	Verändertes Fettsäuremuster	KAN	2001

Tabak	PBD6-238-2 C/F/93/08-02 ?	Seita	Herbizidtoleranz (Oxynil)	EU	1994
			Virusresistenz	CHI ³	1988 ³
	PK863, PK 893		Virusresistenz + Insektenresistenz	CHI ³	1992 ³
Tomate	Flavr Savr	Calgene	verzögerter Reifeprozess	USA MEX KAN ¹ JAP	1992 1995 1995 1996
		NIAES, NIA, NARC	Virusresistenz	JAP ⁴	1992
	1345-4	DNA Plant Tech	verzögerter Reifeprozess	USA KAN	1995 1995
	8338	Monsanto	verzögerter Reifeprozess	USA	1995
	B, Da, F	Zeneca	verzögerter Reifeprozess	USA KAN	1995 1996
	35 1 N	Agritope	verzögerter Reifeprozess	USA	1996
	405; 707	NIVOT	Virusresistenz	JAP	1996
	ICI19	Zeneca, Kagome	erhöhter Pektingehalt	(JAP)	(1996)
	ICI13	Zeneca, Kagome	erhöhter Pektingehalt	(JAP)	(1996)
	117; 1046 / Syugyoku	NIVOT	Virusresistenz	(JAP)	(1997)
	1204; 1208 / Saturn	NIVOT	Virusresistenz	(JAP)	(1997)
		Peking Univ.	Virusresistenz	CHI	1997
		CCAU	Verzögerter Reifeprozess	CHI	1997
	5345	Monsanto	Insektenresistenz	USA KAN	1998 2000
	No.4-7	Hokkaido Nat. Agr.Exp.Sta.	Virusresistenz	JAP	2000
Torenia	1165; 1382 / Summerwave	Florigene, Suntory	Veränderte Blütenfarbe	JAP	1998
Weizen	SWP965001	Cyanamid	Herbizidtoleranz (Imidazol)	KAN	1998

4

Zuckerrübe	T120-7	Bayer (Aventis)	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	USA JAP ¹ KAN	1998 1999 2000
	GTSB77	Syngenta (Novartis)	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	USA	1998

(): *bisher nur Zulassung zum Anbau, noch keine Zulassung zur Verwendung in Lebens- oder Futtermitteln, falls überhaupt erforderlich*

1: *Zulassung nur zum Import, Lagerung und Verarbeitung, nicht zum Anbau*

2: *eingeschränkte Zulassung, nur zur Saatgutzüchtung und -vermehrung*

3: *Anbau findet statt und begann, bevor ein Gesetz zur Zulassung in Kraft trat*

4: *Anbau nur zu Versuchszwecken*

5: *Notifizierung: raffinierte Öle aus gentechnisch verändertem Raps nach Novel Food-Verordnung*

ARG: *Argentinien*

AUS: *Australien*

BRA: *Brasilien*

CH: *Schweiz*

CHI: *China*

EU: *Europäische Union*

IND: *Indien*

JAP: *Japan*

KAN: *Kanada*

KOR: *Korea*

MEX: *Mexiko*

RUS: *Russland*

SAF: *Südafrika*

URU: *Uruguay*

4.3 Anbauflächen für den kommerziellen Anbau

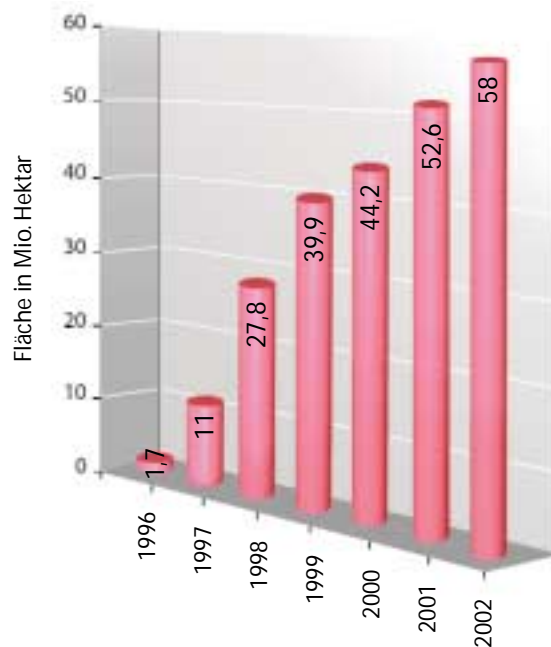


- 4.3.1 Weltweiter Anbau von transgenen Pflanzen
- 4.3.2 Anbau von transgenen Sojabohnen
- 4.3.3 Anbau von transgenem Mais
- 4.3.4 Anbau von transgenen Zuckerrüben
- 4.3.5 Anbau von transgenen Kartoffeln
- 4.3.6 Anbau von transgenen Tomaten
- 4.3.7 Anbau von transgenem Raps
- 4.3.8 Anbau transgener Baumwolle

4.3 Anbauflächen für den kommerziellen Anbau

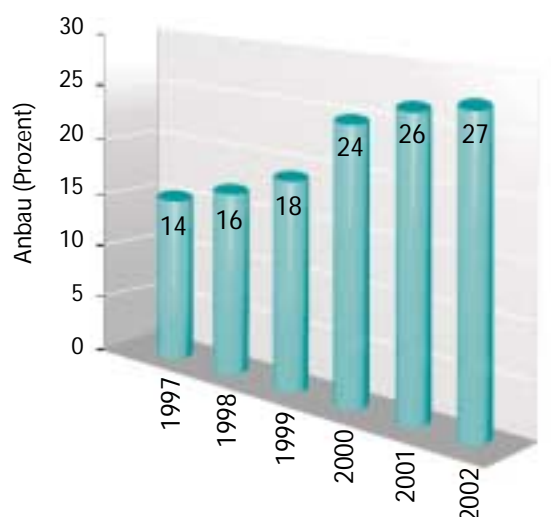
4.3.1 Weltweiter Anbau von transgenen Pflanzen

Die weltweite kommerzielle Anbaufläche von gentechnisch veränderten Pflanzen hat sich von 1996 bis 2002 um das 35fache vergrößert. In diesen sieben Jahren stieg die globale Anbaufläche von 1,7 Mio. Hektar auf 58,7 Mio. Hektar.



Entwicklung der globalen Anbaufläche von GV-Pflanzen (1996-2002)

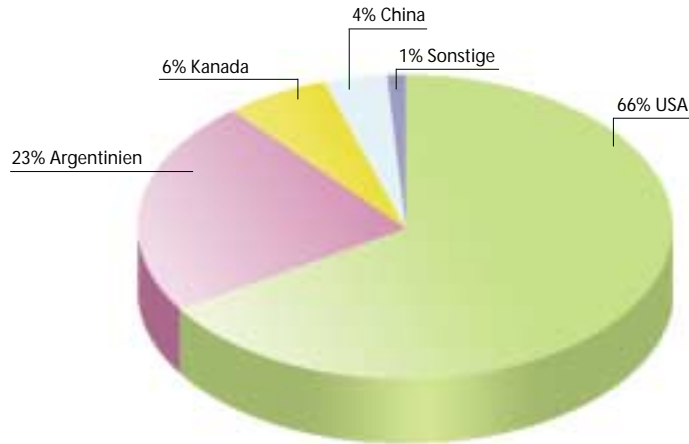
Weltweit bauten im Jahr 2002 5,5 bis 6 Millionen Landwirte auf 58,7 Mio. Hektar transgene Pflanzen an. Die Fläche teilte sich auf 16 Anbauländer auf, davon sind sieben Industrie- und neun Entwicklungsländer. Mehr als ein Viertel der Anbauflächen – 27 Prozent – lag in Entwicklungsländern.



Anteil der Entwicklungsländer an der weltweiten Anbaufläche von GV-Pflanzen in % (ISAAA, 2002)

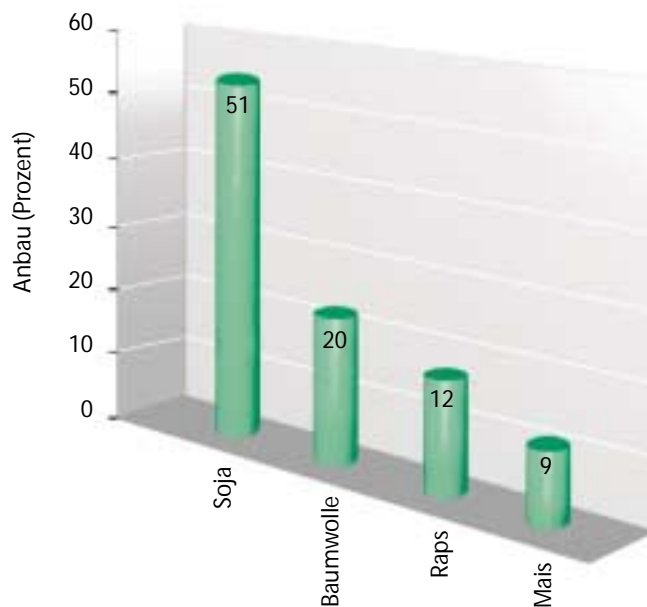
Mehr als dreiviertel der Landwirte, die in 2002 transgene Pflanzen nutzten, waren Kleinbauern in Entwicklungsländern, die Bt-Baumwolle anpflanzten.

Die sechs führenden Anbauländer waren im Jahr 2001 die USA, Argentinien, Kanada, China, Südafrika und Australien. In Indonesien wurde 2001 zum ersten Mal GV-Baumwolle erzeugt, Indien, Kolumbien und Honduras begannen im Jahr 2002 damit. Weitere Anbauländer sind Mexiko, Bulgarien, Uruguay, Rumänien, Spanien und Deutschland.



Anteil der Hauptanbauländer an der globalen GVO-Anbaufläche (ISAAA, 2002)

Gentechnisch veränderte Sojabohnen erreichten im Jahr 2002 einen Anteil von 51 Prozent an der weltweiten Sojaproduktion. Bei GV-Baumwolle betrug der Anteil 20 Prozent, bei GV-Raps 12 Prozent und bei GV-Mais 9 Prozent. Bei Soja, Raps und Mais sind die GV-Anteile von 2001 bis 2002 weiter gestiegen, bei Baumwolle blieben sie unverändert.

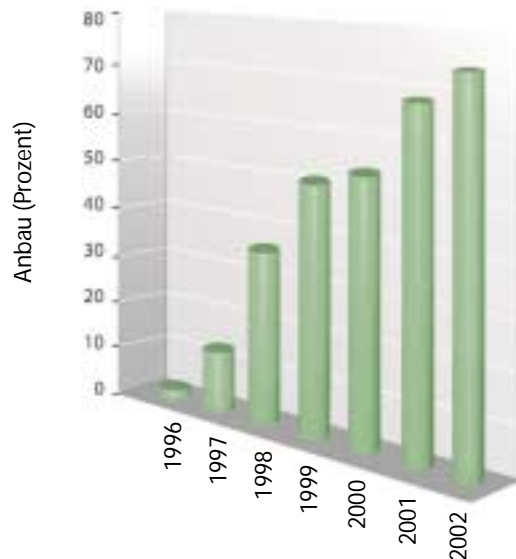


Anteil transgener Sorten an den globalen Anbauflächen in % (2002)

4.3.2 Anbau von transgenen Sojabohnen

Herbizidtolerante Sojabohnen

Herbizidtolerante Roundup Ready (RR)-Sojabohnen wurden 1996 erstmals in den USA von mehr als 10 000 Landwirten angebaut. Damals wurde mit einer Fläche von etwa 400 000 Hektar begonnen, was 2 Prozent der gesamten Sojafläche der USA entsprach. Der Anteil der herbizidtoleranten Sojabohnen stieg seit der Markteinführung stetig an. Im Jahr 2001 betrug die Anbaufläche von herbizidtoleranten RR-Sojabohnen in den USA bereits 21,87 Mio. Hektar, was einem Anteil von 68 Prozent entsprach. Zur Ernte 2002 wurde der Anbau weiter ausgedehnt auf 74 Prozent (USDA, NASS 2001, 2002).



Flächenanteil von GV-Sojabohnen in den USA (1996-2002)

In Argentinien werden RR-Sojabohnen ebenfalls seit 1996 erfolgreich angebaut: Zu Beginn auf etwa 1,5 Prozent der argentinischen Sojafläche (100 000 Hektar), im Jahr 2001 bereits auf 10,94 Mio. Hektar oder etwa 95 Prozent der Sojaanbaufläche. In Rumänien beträgt die RR-Sojafläche 2001 rund 17 800 Hektar (Monsanto 2002). In Brasilien ruht die Zulassung dieser Sojabohnen, es findet jedoch ein Anbau statt.

Weltweit summieren sich die Anbauflächen für herbizidtolerante Sojabohnen in den USA, Argentinien, Kanada, Mexiko, Rumänien, Uruguay und Südafrika auf 36,5 Mio. Hektar. Damit ist die herbizidtolerante Sojabohne die mit großem Abstand häufigste transgene Pflanze, die allein auf 62 Prozent der Gesamtanbaufläche gentechnisch veränderter Pflanzen wächst (C. James, 2002).

In der Europäischen Union erteilten die zuständigen Behörden 1996 eine Import- und Verarbeitungsgenehmigung für die RR-Sojabohne als Futter- und Lebensmittel.

Auch Liberty-tolerante Sojabohnen sind seit 1996 in den USA und Kanada zugelassen, werden jedoch nur in nicht nennenswertem Umfang angebaut. Über den in der EU gestellten Antrag auf Importgenehmigung wurde noch nicht entschieden. Die US-Farmer vermeiden in dieser ungeklärten Situation, ihren Exportmarkt Europa aufs Spiel zu setzen.

Sojabohnen mit erhöhtem Ölsäuregehalt

Die von der Firma DuPont entwickelte „High Oleic Soybean“ mit erhöhtem Ölsäuregehalt wird seit 1998 in den USA angebaut. 2001 lag die Anbaufläche bei 30 000 Hektar.

Es handelt sich um ein Nischenprodukt für einen speziellen Markt. Diese hochwertigeren Sojabohnen erzielen auf dem Markt höhere Preise. Daher werden sie in einem geschlossenen System, getrennt von der Massenware, im Vertragsanbau angebaut und gehandelt. In der EU ist für diese Sojabohnen die Verwendung in Lebensmitteln nach der Novel Food-Verordnung beantragt, ein Prüfbericht liegt aber noch nicht vor.

4

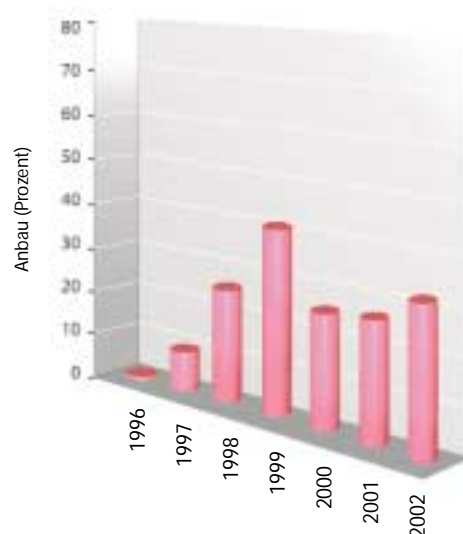
4.3.3 Anbau von transgenem Mais

Sowohl herbizidtolerante als auch insektenresistente GV-Maissorten befinden sich im Anbau. Im Jahr 2002 betrug die Gesamtanbaufläche von GV-Mais 12,4 Mio. Hektar. Einige der GV-Maissorten besitzen sowohl eine Herbizidtoleranz als auch eine Insektenresistenz.

Weltweiter Anbau von gentechnisch verändertem Mais

Merkmal	Anbaufläche 2001 in Mio. Hektar	Anbaufläche 2002 in Mio. Hektar
Bt-Mais	5,9	7,7
Herbizidtoleranter Mais	2,1	2,5
Herbizid- und insektenresistenter Mais	1,8	2,2

Auf die USA entfielen 92 Prozent der weltweiten Anbaufläche mit transgenem Mais (C. James 2001). Zur Ernte 2002 stieg der Anbau von transgenem Mais erstmals seit zwei Jahren wieder, und zwar von 26 Prozent im Vorjahr auf 32 Prozent (transgen, NASS 2001).



Flächenanteil von GV-Mais in den USA in Prozent (1996-2002)

In der EU sind vier gentechnisch veränderte Maissorten zugelassen, drei davon auch für den Anbau. Einige europäische Länder haben jedoch trotz der EU-weiten Genehmigung nationale Import- und Zulassungsverbote erlassen, nämlich Österreich, Luxemburg, Dänemark, Griechenland, Frankreich und teilweise auch Großbritannien. Weitere Zulassungsanträge für den Anbau sowie als Lebensmittel liegen vor.

In der EU zum Anbau zugelassene transgene Maislinien (2002)

Unternehmen	Markenname (OECD-Kennnummer)	Zielmerkmale	zugelassen in der EU seit
Syngenta Seeds (früher Novartis)	Maximizer (Bt 176)	Insektenresistenz	1997
Bayer Crop Science	LibertyLink (T 25)	Herbizidtoleranz	1998
Monsanto	YieldGardMaisGard (MON 810)	Insektenresistenz	1998

Der insektenresistente Bt-Mais (Bt 176) ist die bisher einzige transgene Pflanze, die in der EU außerhalb von Freisetzungsvorversuchen angebaut wird. Der Anbau konzentriert sich auf Spanien mit etwa 20 000 Hektar Anbaufläche im Jahr 2001. Darüber hinaus findet in Deutschland ein GVO-Mais-Anbau auf insgesamt etwa 500 Hektar statt. In Deutschland erlaubt eine Sondergenehmigung des Bundessortenamts den begrenzten Anbau im Rahmen von Sortenprüfungen. Das Erntegut wird überwiegend als Futtermittel verwendet.

4.3.4 Anbau von transgenen Zuckerrüben

Bis April 2002 wurden in der Europäischen Union 306 Anträge auf Freisetzung von herbizidtoleranten Zuckerrüben gestellt (BBA, April 2002). EU-Zulassungen zum kommerziellen Anbau herbizidtoleranter Zuckerrüben sind beantragt und die ersten Sorten stehen im Wertprüfungsverfahren des Bundessortenamtes.

Virusresistente Zuckerrüben werden in Deutschland seit 1993 im Freiland getestet. Im Jahr 2000 lagen in der EU 57 Anträge auf Freisetzung vor. Eine Markteinführung dieser Sorten ist vorerst nicht absehbar (BBA April 2002, transgen).

4.3.5 Anbau von transgenen Kartoffeln

Der Kartoffelkäfer verursacht im Kartoffelanbau wirtschaftlich bedeutende Schäden. In einigen Ländern sind gentechnisch veränderte Sorten auf dem Markt, die gegen den Kartoffelkäfer resistent sind. Solche Pflanzen wurden 1999 in den USA und in Kanada auf jeweils ca. 10 000 Hektar angebaut. Rumänien und die Ukraine sind weitere Anbauländer. In den Jahren 2000 und 2001 wurden die Anbauflächen jedoch verkleinert.

In den USA sind Kartoffeln auf dem Markt, die neben der Resistenz gegen den Kartoffelkäfer einen Schutz gegen das Kartoffelblattrollvirus und das Kartoffelvirus X besitzen.

In der EU wurden 21 Anträge auf Freisetzung insektenresistenter Kartoffeln gestellt (Februar 2002 BBA, transgen). In Deutschland wurden bis Oktober 2002 beim Robert-Koch-Institut 48 unterschiedliche Anträge auf Freisetzung gentechnisch veränderter Kartoffeln gestellt, davon sechs für virusresistente, drei für bakterienresistente, zwei für pilzresistente Kartoffeln sowie 32 mit Stoffwechselveränderungen, meist mit neuer Stärkezusammensetzung oder mit neuen Inhaltsstoffen.



4.3.6 Anbau von transgenen Tomaten

Transgene Tomaten wurden in den USA seit 1998 zunächst konstant auf 200 000 Hektar erzeugt. Dann nahm die Anbaufläche ab und in 2002 wurde der Anbau vermutlich eingestellt. Die erste als Lebensmittel erhältliche gentechnisch veränderte Pflanze, die FavrSavr-Tomate (siehe Kapitel 5.5), wird heute ebenfalls nicht mehr angebaut. In China findet wahrscheinlich ein großflächiger Anbau virusresistenter Tomaten statt. Vereinzelt werden im Versuchsanbau in Mexiko und vermutlich in Rumänien transgene Tomaten gepflanzt. In Japan sind elf gentechnisch veränderte Tomaten für den Anbau und Import zugelassen. Eine Genehmigung als Lebensmittel steht noch aus. Es handelt sich überwiegend um in Japan entwickelte Tomatenlinien mit Resistenzen gegen Viren sowie einer Pektinanreicherung.

In der EU – besonders in Italien und Spanien – wurden bisher 72 Anträge auf Freilandversuche mit gentechnisch veränderten Tomaten eingereicht (April 2002 BBA). Neben einer Reifeverzögerung ist die Virusresistenz das vordringlichste Ziel der gentechnischen Veränderungen. Aber auch insektenresistente, herbizidtolerante, pilzresistente und männlich sterile GV-Tomaten werden im Freiland getestet.

Anders als in den USA, in Japan und Kanada sind in der EU noch keine gentechnisch veränderten Tomaten zugelassen. Ein Antrag auf Zulassung zum Anbau einer reifeverzögerten Tomate wurde von dem Unternehmen Zeneca (jetzt Syngenta) 1996 in Spanien gestellt und inzwischen zurückgezogen. Vermutlich werden jedoch in Kürze Ketchup, Tomatenmark und Tomatenkonserven aus gentechnisch veränderten Tomaten zugelassen. Eine Kennzeichnung ist verbindlich.

4.3.7 Anbau von transgenem Raps

In der EU wurden bisher 391 Freilandversuche mit transgenem Raps beantragt. Hauptmerkmale sind neben der Herbizidtoleranz (307 Anträge) männliche Sterilität (122 Anträge) und ein veränderter Pflanzenstoffwechsel (64 Anträge) (BBA, April 2002).

In der EU zum Anbau zugelassene Rapslinien (2002)

Unternehmen	*Markenname (OECD-Kennnummer)	Zielmerkmale	Zugelassen in der EU seit
Bayer Crop Science	*LibertyLink Topas19/2	Herbizidtoleranz	1998 (nur Import und Verarbeitung, kein Anbau)
Bayer Crop Science (vormals PGS/Aventis)	*SeedLink (3 Linien) (MS1, RF1; MS1, RF2, MS8, RF 3)	Herbizidtoleranz, männliche Sterilität	1997

Trotz Zulassung wird weder in Deutschland noch in den übrigen EU-Ländern gentechnisch veränderter Raps außerhalb von Untersuchungs- und Beobachtungsprogrammen angebaut.

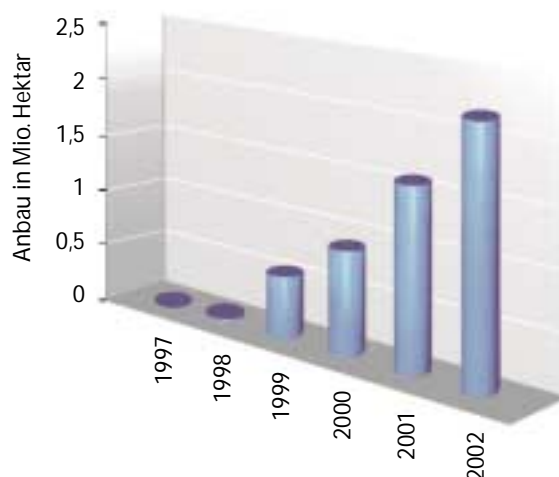
Hauptanbaugebiet für gentechnisch veränderten Raps ist Kanada. Hierbei handelt es sich um herbizidtolerante Pflanzen der Firmen Bayer und Monsanto. Im Jahr 2001 lag dort der Anteil von herbizidtolerantem Raps mit 2,5 Mio. Hektar bei etwa 50 Prozent der gesamten Rapsfläche. Insgesamt wurde im Jahr 2001 weltweit auf 2,7 Mio. Hektar GV-Raps angebaut, im Jahr 2002 auf 3,0 Mio. Hektar.

Die LibertyLink-Rapslinie Topas 19/2 der Firma Bayer ist seit 1998 in der EU zum Import zugelassen und kann zur Produktion von Rapsöl verwendet werden.

4.3.8 Anbau transgener Baumwolle

Transgene Baumwolle wird in vielen Ländern der Welt angebaut. Besonders im asiatischen Raum, in China und Indonesien, nimmt der Anbau von Bt-Baumwolle immer mehr zu. Im März 2002 genehmigte Indien den kommerziellen Anbau.

In China bauen Landwirte seit 1998 großflächig Bt-Baumwolle an. Der Anteil der gentechnisch veränderten Sorten stieg bis heute stetig. Im Jahr 2000 waren es mit 700 000 Hektar erst 20 Prozent, in 2002 mit 2,1 Mio. Hektar 51 Prozent der chinesischen Gesamtanbaufläche von Baumwolle.



Anbau von Bt-Baumwolle in China (1997-2002, in Mio. Hektar)

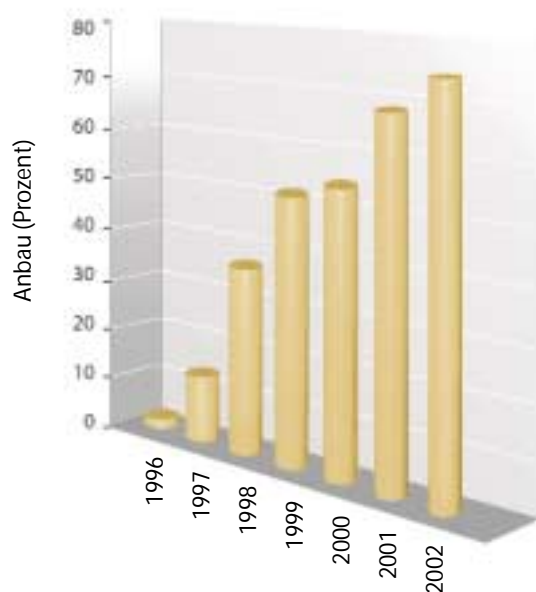
Weltweiter Anbau von gentechnisch veränderter Baumwolle

Merkmal	Anbaufläche 2001 in Mio. Hektar	Anbaufläche 2002 in Mio. Hektar
Bt-Baumwolle	1,9	2,4
Herbizidtolerante Baumwolle	2,5	2,2
Herbizid- und insektenresistente Baumwolle	2,4	2,2

In Indonesien wurde Bt- Baumwolle im Jahr 2000 versuchsweise angebaut. Seit 2001 ist der kommerzielle Anbau zugelassen und etwa 4 000 Hektar wurden bepflanzt. Es wird erwartet, dass die Anbaufläche auf 10 000 bis 12 000 Hektar wachsen wird.

Indien ließ im März 2002 die Vermarktung von Bt-Baumwolle zu. Indien ist mit 9 Mio. Hektar der weltweit größte Baumwollerzeuger. Auf Indien entfällt etwa ein Viertel der globalen Anbaufläche. Momentan wird in Indien auf 0,5 Prozent der Baumwollfläche, also auf 42 000 Hektar, Bt-Baumwolle erzeugt. Nach Angaben der Herstellerfirma Mahyco stand für einen größeren Anbau nicht genügend Saatgut zur Verfügung. Für das Jahr 2003 soll Saatgut für knapp 300 000 Hektar erzeugt werden.

Auch in den USA wird gentechnisch veränderte Baumwolle gepflanzt. Insgesamt nahm der Anbau von GV-Baumwolle 2002 leicht um 2 Prozent zu. Dabei nahm der Anbau von Bt-Baumwolle sowie von Sorten mit kombinierter Insekten- und Herbizidresistenz leicht ab, während der Anbau von herbizidresistenten Sorten stieg. Auf 71 Prozent der Gesamtfläche wurde gentechnisch veränderte Baumwolle gepflanzt.



Flächenanteil von Bt-Baumwolle in den USA in Prozent (1996-2002)

Der Europäischen Union liegen zwei Anträge auf Zulassung gentechnisch veränderter Baumwolle vor, über die noch nicht entschieden wurde.

5. Anwendungsbeispiele

- 5.1 Sojabohne
- 5.2 Mais
- 5.3 Zuckerrübe
- 5.4 Kartoffel
- 5.5 Tomate
- 5.6 Raps
- 5.7 Reis
- 5.8 Baumwolle
- 5.9 Tropenpflanzen
- 5.10 Transgene Pflanzen – nicht nur Nahrungsmittel
- 5.11 Enzyme
- 5.12 Zusatz- und Aromastoffe
- 5.13 Starter- und Schutzkulturen

5.1 Sojabohne

5.1.1 Soja, die wirtschaftlich bedeutendste Ölpflanze der Welt

5.1.2 Verwendung von Sojabohnen

5.1.3 Gentechnisch veränderte Sojabohnen



Die weltweit wichtigsten gentechnisch veränderten Nutzpflanzen sind Soja, Mais, Raps und Baumwolle, auch wenn das erste zum Verzehr zugelassene pflanzliche Produkt die berühmte FlavrSavr-Tomate war. Dies darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass an fast allen Nutzpflanzen einschließlich Obst und Gemüse mit gentechnischen Methoden gearbeitet wird. Auch tropische Erzeugnisse wie etwa Maniok (Cassava) sind Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten.

5.1 Sojabohne

5.1.1 Soja, die wirtschaftlich bedeutendste Ölpflanze der Welt

Die Sojabohne ist eine Pflanze mit Tradition: Schon 3000 vor Christus wurde sie in China kultiviert. Heute ist sie die wirtschaftlich bedeutendste Ölpflanze der Welt.

Die FAO gibt für 2001 eine Weltjahresproduktion von 176,6 Mio. Tonnen an. Davon werden in europäischen Ölmühen jährlich 1,2 Mio. Tonnen verarbeitet (FAOSTAT 2001). Die wichtigsten Sojaerzeugerländer sind die USA, Brasilien, China und Argentinien (siehe Tabelle).

Anbauflächen, Erträge und Produktionsmengen von Sojabohnen in verschiedenen Regionen der Welt

	Anbaufläche (Mio. ha)	Ertrag (t/ha)	Produktion (Mio. t)	Produktions- anteil (%)
Weltweit	75,54	2,33	176,64	100
USA	29,54	2,66	78,67	45
Brasilien	3,93	2,7	37,68	21
Argentinien	10,32	2,59	26,74	15
China	8,7	1,78	15,45	9
Indien	6,0	0,93	5,6	3
Kanada	1,01	2,02	2,04	1
EU	0,38	3,25	1,23	0,7

Quelle: Estimates and Crop Assessment Division, FAS, USDA, FAOSTAT April 2002

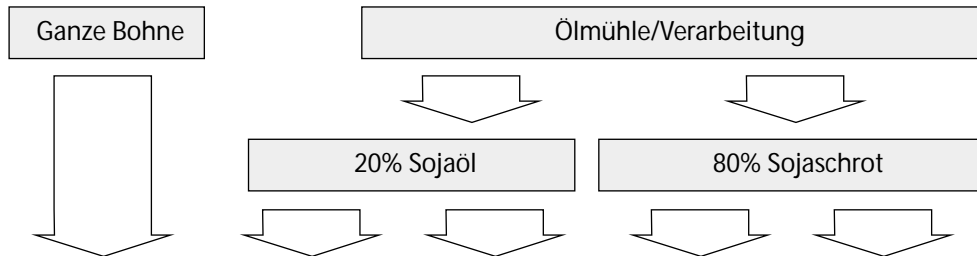
5.1.2 Verwendung von Sojabohnen

Nach der Ernte werden die Sojabohnen in Ölmühen gemahlen. Das Rohöl wird vom eiweißreichen Schrot getrennt (siehe Graphik). Das Öl wird gereinigt und in erster Linie zur Speiseöl- und Margarineherstellung genutzt. Das aus dem Rohöl gewonnene Lecithin wird als Emulgator unter anderem in Süßwaren verwendet. Emulgatoren sind Substanzen, die an sich nicht mischbare Komponenten wie Fett und Wasser mischbar machen.



Experten schätzen, dass bis zu 30 000 Lebensmittelprodukte Sojaerzeugnisse enthalten (Sojaöl wird auch außerhalb der Lebensmittelindustrie eingesetzt, zum Beispiel zur Herstellung von Seifen, Farben, Kunststoffen oder Kosmetika.)

Der an Eiweißen und Kohlenhydraten reiche Presskuchen, das Sojaschrot, gelangt zum überwiegenden Teil in die Fütterung von Geflügel, Schweinen und Rindern. Zum anderen wird Sojaschrot zu einer Vielzahl von Speisen verarbeitet. Durch den hohen Gehalt an Fett und Eiweiß kann die Sojabohne ausgesprochen vielfältig genutzt werden:



Produkte aus ganzen Bohnen	Lecithin	Sojaöle und Fette	Eiweiße aus Sojaschrot	Viehfutter
Fermentationsprodukte: Sojasauce Sojapaste Natto Tempeh Miso (asiat. Küche) Sojadrinks Tofu Produkte aus gerösteten Sojabohnen: Sojanüsse Bestandteile von Crackern & Plätzchen Produkte mit Vollfett-Sojamehl: Backwaren Milch-Instant-Getränke Pfannkuchenteig Konfekt Suppen Saucen Fleisch- und Fischprodukte	Produkte fast ausschließlich aus Soja: Kakaogetränke Milchmischgetränke und -pulver Eiscreme Backwaren und Dauerbackwaren Vitaminpräparate Anderes: Kosmetika Anstrichfarben Klarlacke Kleber Insektenspray	Speiseöl Margarine Backfette Mayonnaisen Glasuren und Überzüge frittierte Tiefkühlkost Kartoffel- und Maischips Salatdressings Saucen Suppen Fonds	entfettetes Sojamehl (v.a. in Konserven) Ersatzmilchprodukte Fleischersatzprodukte Fertiggerichte Diätgetränke	für Geflügel, Schweine und Rinder

Quelle: Information Sojabohne, August 1996



Nährwert

Die Sojabohne ist weltweit eines der wichtigsten Nahrungsmittel. Der getrocknete Samen der Sojabohne enthält prozentual mehr lebenswichtige Aminosäuren als Fleisch. Sojaöl ist ein wertvolles Speiseöl. Es enthält 84 Prozent ungesättigte Fettsäuren und etwa zu 50 Prozent Linolsäure. Linolsäure ist eine für den Menschen lebensnotwendige Fettsäure.

Nährstoffgehalt von Sojabohnen

Bestandteil	Anteil in %
Eiweiß	36
Kohlenhydrate	29
Öl (davon Lecithin 0,5 %)	18
Wasser	11
Rohfaser (Ballaststoffe)	6

Quelle: Information Sojabohne 1996.

5

5.1.3 Gentechnisch veränderte Sojabohnen

Herbizidtolerante Sojabohnen

Herbizidtolerante Roundup Ready-Sojabohnen wurden erstmals 1996 in den USA angepflanzt. Mittlerweile werden auf mehr als 70 Prozent der gesamten US-Sojafläche Roundup Ready-Sojabohnen angebaut. Weltweit ist Soja die am meisten angebaute transgene Pflanze. Das Roundup Ready-System wird in vielen Teilen der Welt wegen überzeugender ökologischer und ökonomischer Vorteile angenommen.

Ökologische Vorteile:

Das Roundup Ready-System ermöglicht im Vergleich zu anderen Methoden der Unkrautbekämpfung eine zuverlässige Kontrolle über nahezu das gesamte Spektrum an Unkräutern.

Der Landwirt verbraucht weniger Energie und kann den Einsatz von Herbiziden deutlich verringern.

Das Roundup Ready-System verfügt über eine sehr gute Kulturpflanzenverträglichkeit.

Es ist hervorragend zur konservierenden Bodenbearbeitung geeignet und trägt so zu geringerer Bodenerosion und Einsparungen an Wasser und Energie bei.

Ökonomische Vorteile:

Von Landwirten in den USA, in Kanada, Argentinien, Rumänien und Mexiko bekam die Roundup Ready-Sojabohne gute bis exzellente Bewertungen. 91 Prozent der befragten US-Landwirte waren mit der Roundup Ready-Sojabohne zufriedener als mit herkömmlichen Sorten. Insgesamt gaben die Befragten einen durchschnittlichen Mehrerlös von fast 35 US\$ pro Hektar an.

Die von den Landwirten tatsächlich eingesetzte Herbizidmenge schwankt seit Markteinführung dieser Pflanzen 1996 in den USA je nach Anbauregion stark. In der Tendenz waren gegenüber den Herbizidmengen im konventionellen Anbau gleich oder niedriger. In einzelnen Anbaugebieten konnten die Mengen 1997 um 20 (Mississippi) bis 50 Prozent (Southern Seaboard) gesenkt werden. Die Erträge variierten ebenfalls nach Anbauregionen. In der Tendenz lagen die Erträge der herbizidtoleranten Sojabohnen leicht über denen der konventionellen. Höhere Erträge und niedrigere Kosten für die Unkrautkontrolle verschafften besonders den Farmern in der Region „Heartlands“ einen Mehrerlös von 100 US\$ pro Hektar. In dieser Region werden über 70 Prozent der US-amerikanischen Sojabohnen angebaut.

In den USA konnten die Farmer durch den Anbau dieser Pflanzen insgesamt ca. 1 Mrd. € Produktionskosten sparen. Die Einsparung von Pflanzenschutzmitteln betrug rund 13,0 Mio. kg.

Daneben ist die flexiblere Handhabung der Unkrautbekämpfung ein entscheidender Grund, warum die Landwirte herbizidtolerante Kulturpflanzen in so großem Umfang anbauen.

Sojabohnen mit erhöhtem Ölsäuregehalt

Seit 1995 bietet das Unternehmen DuPont die transgene Sojabohne „High Oleic Acid Soybean“ an, die einen hohen Anteil an einfach ungesättigter Ölsäure enthält. Der Grad der Sättigung beschreibt die Anzahl von Doppelbindungen in einer Fettsäure. Der normalerweise hohe Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren wurde zu Gunsten der einfach ungesättigten Ölsäure gesenkt: Der Anteil der mehrfach ungesättigten Fettsäuren Linol- und α -Linolensäure wurde von 53 Prozent auf 1,5 Prozent beziehungsweise von 7,7 Prozent auf 2,2 Prozent gesenkt. Der Ölsäureanteil wurde gleichzeitig von 23 Prozent auf 86 Prozent gesteigert (Kinney 1996).

Dadurch ist das Öl speziell für die Verwendung als Frittierfett sehr gut geeignet. Frittierfette müssen über längere Zeiträume hinweg oxidationsbeständig sein. Die hohen Gehalte an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Sojaöl sind zwar aus ernährungsphysiologischer Sicht wünschenswert, schränken aber die Hitzebeständigkeit und Haltbarkeit des Öls ein. Das Öl der High Oleic Acid Soybean ist bezüglich der Oxidationsbeständigkeit rund zehnmal stabiler als herkömmliches Sojaöl.

Um eine bessere Oxidationsstabilität des Sojaöls zu erreichen, wird das Öl konventioneller Sojabohnen technologisch gehärtet. Bei der Fetthärtung wird Wasserstoff an die Doppelbindungen gelagert. Durch das Härten können unerwünschte trans-Fettsäuren entstehen. Diese stehen in Verdacht, den Cholesterinspiegel im Blut negativ zu beeinflussen. Das Härten und damit die Entstehung von trans-Fettsäuren entfällt bei der Ölerzeugung aus der High Oleic Acid Soybean. Insofern trägt das neue Öl zu einer gesünderen Ernährung bei.



5.2 Mais

5.2.1 Mais gehört zu den drei wichtigsten Getreiden der Welt

5.2.2 Verwendung von Mais

5.2.3 Transgener Mais



5.2 Mais

5.2.1 Mais gehört zu den drei wichtigsten Getreiden der Welt

Mais gehört mit Reis und Weizen zu den weltweit wichtigsten Nahrungsmitteln. In den letzten Jahren ist der Ertrag überproportional gestiegen und liegt nun über dem von Weizen und Reis.

Mais wurde 2001 weltweit auf etwa 140 Mio. Hektar angebaut. Für 2001 gibt die FAO eine Erntemenge von 600 Mio. Tonnen an (FAOSTAT-Datenbank 2001). Hauptproduzent sind die USA.

Sie erzeugen etwa 40 Prozent der Weltproduktion. Nach Europa exportieren die USA fast keinen Mais, Hauptlieferland der EU ist derzeit Argentinien mit 2 Mio. Tonnen. Die gesamten EU-Einfuhren beliefen sich 2001 auf etwa 3 Mio. Tonnen (Weltmarkt Mais, transgen 2002).

Hauptproduzenten von Mais (Stand 1999/2000, geschätzt)

	Anbaufläche (Mio. Ha)	Produktion (Mio. t)	Ertrag (t/ha)
USA	27,85	241,48	8,67
China	23,47	115,81	4,93
Brasilien	12,35	41,41	3,35
EU	4,61	40,54	8,78
Argentinien	2,75	15,35	5,59
Südafrika	0,34	0,42	1,25
Mexiko	7,28	18,62	2,56
Weltweit	137,6	605,21	4,4

Quelle: Production Estimates and Crop Assessment Division, FAS, USDA 2001

5.2.2 Verwendung von Mais

Die weltweite Maisproduktion wird zu 78 Prozent als Futtermittel verwendet, insbesondere für Rinder, Schweine und Hühner. Direkt als Lebensmittel werden nur 13 Prozent der Maisernte genutzt, zum Beispiel als Körnermais, Polenta oder in verarbeiteter Form als Öl, Stärke, Glucosesirup, Dextrose und Mehl. Häufig wird Mais zu „Extruder-Produkten“ verwertet, beispielsweise Erdnussflips.

Produkte aus Mais finden sich aber auch als Trägerstoff (Maltodextrine) in Tabletten, in Kosmetika und Seifen sowie in industriellen Produkten wie Chemikalien, Insektiziden, Klebern, Farben, Lösungsmitteln und Lacken.

Hauptverwendung der Maisernte

Verwendungszweck	Prozentanteil
Futtermittel	78%
Lebensmittel	13%
Alkohol als Benzinzusatz	6%
Stärke für industrielle Anwendungen	3%

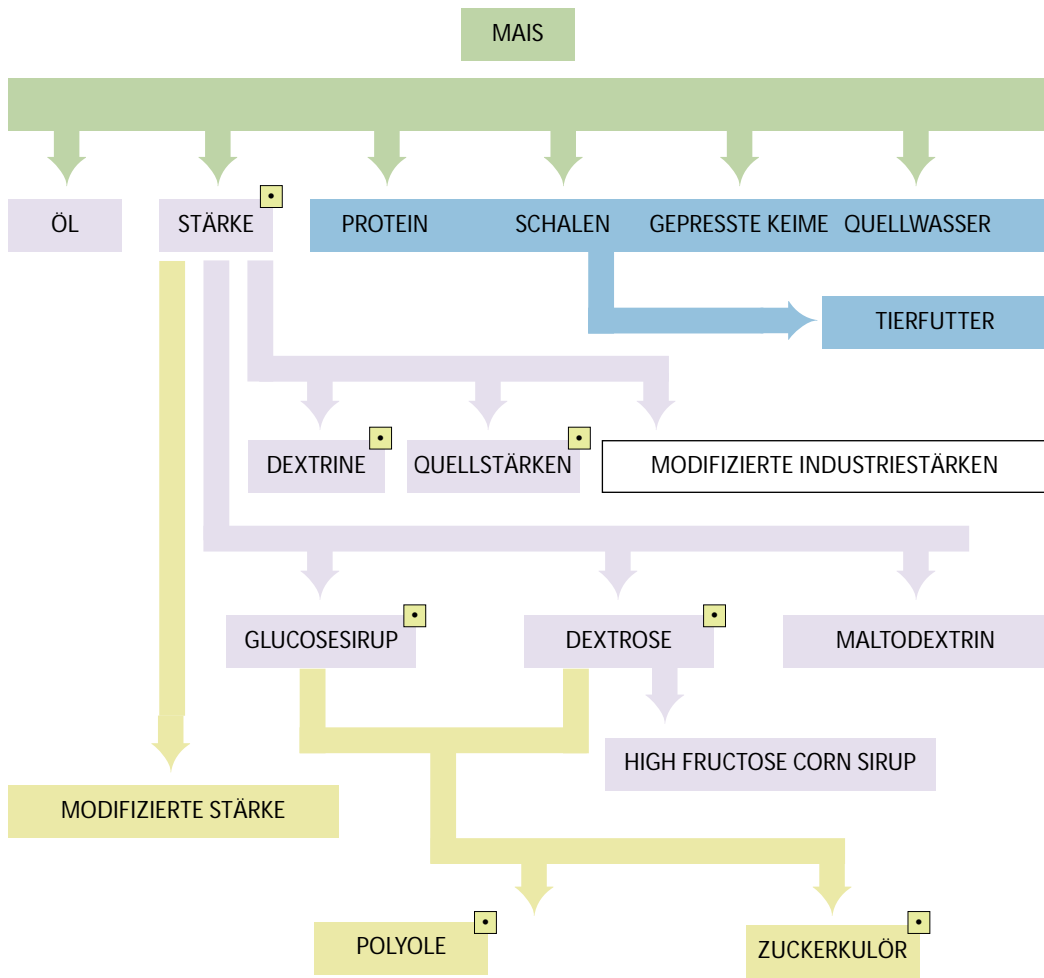
Quelle: Arthur D. Little (1997).

In verarbeiteter Form ist Mais Bestandteil einer Vielzahl von Lebensmitteln.

Lebensmittel, in denen Maisprodukte verwendet werden

Öl	Stärke	Glucosesirup/ Dextrose	trocken gemahlen	Maltodextrine
Speiseöl	Puddingpulver	Süßwaren	Mehl	Babynahrung
Margarine	Milchdesserts	Eiscreme	Körnermais	Süßwaren
Mayonnaise	Bratensaucen	Backwaren	Maismahlzeiten (z. B. Polenta)	Backwaren
Kartoffelchips	Salat- Mayonnaise	Getränke		Fertiggerichte
Salatdressings	Backwaren	Fruchtgetränke		Sportdrinks
Saucen	Schokodrinks	Marmeladen		Trägerstoffe (für Aromen und Geschmacks- stoffe)
	Fertiggerichte	Fruchtzube- reitungen		
	Kuchenfüllung	Müsli		
		Glasuren und Überzüge		

Verarbeitungsprodukte aus Mais und die für sie maßgeblichen Rechtsvorschriften



- GVO Mais (europäische Freisetzungsrichtlinie, 2001/18/EG)
- Tierfutter (künftig: Food-Feed-Verordnung)
- GVO-Lebensmittelzutaten (künftig: Food-Feed-VO)
- Zusatzstoffe aus GVO Mais (EU Reinheitskriterien für Zusatzstoffe)
- auch Non Food Produkte (inklusive Tierfutter)

Quelle: Gesprächskreis Grüne Gentechnik, Genius GmbH, Dr. H. Mahlmann, Cerestar, 1998.

5.2.3 Transgener Mais

Insektenresistenter Mais

Die Larve des Maiszünslers ist einer der bedeutendsten Schädlinge im Maisanbau. Sie vernichtet jährlich weltweit 7 Prozent der Maisernte oder rund 42 Mio. Tonnen Mais. Damit ließe sich die größte Pyramide der Welt, die Cheopspyramide, 17-mal füllen. In einzelnen Maisanbauregionen Deutschlands verursachte der Raupenfraß in den letzten Jahren Ertragsverluste von etwa 30 Prozent. Kaum aus den Eiern geschlüpft, bohrt sich die Zünslerlarve in den Stängel der Maispflanze. Bis zu ihrer Verpuppung frisst sich die Larve dann buchstäblich durch die Pflanze hindurch.

Heute werden zur Bekämpfung der Zünslerlarve hauptsächlich chemische Pflanzenschutzmittel eingesetzt, allein in den USA für 20 bis 30 Mio. US\$ jährlich. Die effiziente Anwendung solcher Mittel ist schwierig, da die Zünslerlarve im Stängel vor ihnen geschützt ist. Daher muss der Maiszünsler vor dem Einbohren in die Maispflanze bekämpft werden. Der beste Zeitpunkt zur Zünslerbekämpfung kann nur durch arbeitsaufwändige Feldbeobachtung ermittelt werden. Insgesamt beläuft sich der Schaden, der durch den Zünsler-Befall in den USA angerichtet wird, trotz Bekämpfungsmaßnahmen auf etwa 1 Mrd. US\$ jährlich. In Frankreich liegt er bei € 50 Mio.

Es besteht auch die Möglichkeit der natürlichen Schädlingsbekämpfung mit der Schlupfwespe Trichogramma, einem natürlichen Feind des Zünslers. Allerdings ist diese Methode vergleichsweise teuer und arbeitsintensiv; ihr Erfolg ist außerdem stark von der Witterung abhängig.

Anbauerfahrungen mit Bt-Mais

Der Anbau von Bt-Mais reduzierte den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Der Landwirt spart Pflanzenschutzmittel, Energie, Zeit und Geld und dennoch ist seine Ernte sicherer als in herkömmlichen Anbauverfahren.

Die Erfahrungen aus den USA haben gezeigt, dass Bt-Mais in der Regel höhere Erträge erzielt als konventionelle Sorten, da weniger Pflanzen dem Zünsler zum Opfer fallen. Je höher der Zünslerbefall ist, desto stärker macht sich dieser Effekt bemerkbar. Aus Untersuchungen während der Jahre 1998 und 1999 in unterschiedlichen Regionen wurde im Mittel eine Ertragssteigerung um 13 Prozent festgestellt. Der Anbau von Bt-Mais führte 1998 zu einer Steigerung der Produktion um 1,5 Mio. Tonnen und 1999 um 1,7 Mio. Tonnen (ISAAA Briefs, Global Review of Commercialized Transgenic Crops 2000). Im Jahr 2001 führte der Anbau von Bt-Mais zu einer Gewinnsteigerung von 125 Mio. US\$.

Spanien ist derzeit das einzige Land innerhalb der Europäischen Union, in dem ein großflächiger Anbau von Bt-Mais auf ca. 20 000 Hektar stattfindet. Durch den Anbau von Bt-Mais konnten laut einer Studie im Jahr 2002 auch in Spanien höhere Ernteerträge erzielt werden. Der Nettogewinn der Landwirte stieg durch den Bt-Maisanbau im Vergleich zu herkömmlichen Varianten um rund 150 Euro pro Hektar.

Nicht nur der Landwirt, auch die Umwelt profitiert vom Bt-Mais. Es werden weniger fossile Brennstoffe und Pflanzenschutzmittel verwendet beziehungsweise effizienter eingesetzt. Bt-Mais erwies sich in amtlichen Versuchen als ökologisch sinnvoll und als wertvoller Beitrag für eine nachhaltige Pflanzenproduktion. Eine effiziente landwirtschaftliche Produktion trägt zur Senkung der Kosten der Lebensmittelerzeugung bei.



Vom Zünsler befallene Maispflanzen sind besonders anfällig für Schimmelpilze und enthalten daher häufig einen erhöhten Gehalt an Pilzgiften. Diese Mykotoxine sind schädlich für die Gesundheit von Mensch und Tier. Bt-Mais bietet in dieser Hinsicht einen gesundheitlichen Vorteil, da er bis zu 70 Prozent weniger mit Mykotoxinen belastet ist.

Herbizidtoleranter Mais

Neben dem insektenresistenten Mais werden auch einige herbizidtolerante Maissorten (hauptsächlich Liberty- und RoundupReady-tolerante Pflanzen) sowie Mais mit Kombinationen von Herbizidresistenz und Insektenresistenz kommerziell angebaut. In den USA konnten die Farmer durch den Anbau von herbizidtolerantem Mais in 2001 ihre Produktionskosten um insgesamt um 58 Mio. US\$ verringern.

Maislinien für spezielle Anwendungen

Im Entwicklungsstadium befinden sich transgene Maislinien mit einer Vielzahl weiterer Eigenschaften, die zum Teil in Freilandversuchen getestet werden.

Zur Herstellung von Mais mit besonders guter Futterqualität wird versucht, die Gehalte einzelner Inhaltsstoffe zu verändern:

- Reduktion von Phytin, da es die Verfügbarkeit von Mineralstoffen bei der Verdauung senkt
- Erhöhung des Lysingehalts, da Lysin die limitierende Aminosäure im Mais ist und heute noch dem Futter als Zusatzstoff zugegeben werden muss

Pilzresistenz

Mais kann von einer Vielzahl von Pilzen befallen werden. Sie hinterlassen oft Pilzgifte in den Pflanzen, die selbst in stark verarbeiteten Produkten noch zu finden sind. Diese Mykotoxine wirken beim Verzehr gesundheitsschädlich. In den USA werden Freilandversuche mit Maissorten angestellt, die durch Genübertragung gegen verschiedene Pilze resistent sind.



5.3 Zuckerrübe

5.3.1 Bedeutung und Anbau

5.3.2 Verwendung

5.3.3 Transgene Zuckerrüben

5.3 Zuckerrübe

5.3.1 Bedeutung und Anbau

Die Geschichte der Zuckerrübe – einer unserer jüngsten Kulturpflanzen – begann im Jahr 1747. Der Berliner Apotheker und Chemiker Andreas Sigismund Marggraf stellte in seinen Studien fest, dass der in der Runkelrübe vorhandene Zucker mit Rohrzucker chemisch identisch ist. Mit dieser Entdeckung war der Grundstein zur europäischen Rübenzuckerindustrie gelegt.

In Deutschland werden Zuckerrüben zurzeit auf einer Fläche von rund 451 000 Hektar angebaut, was in etwa der doppelten Fläche des Saarlandes entspricht (FAOSTAT 2001).

Aufgrund der EU-Zuckermarktordnung mit quotierten Produktionsmengen und garantierten Abnahmepreisen ist die Zuckerrübe das betriebswirtschaftliche Rückgrat vieler Ackerbaubetriebe.

Die Europäische Union ist mit rund 14 Prozent der Welterzeugung nach Nord- und Südamerika sowie Ostasien der viertgrößte Zuckererzeuger. Gleichzeitig ist die Gemeinschaft mit rund 11 Prozent des Weltverbrauchs nach Asien und Nord- und Südamerika der viertgrößte Verbraucher.



5.3.2 Verwendung

In Deutschland wird Zucker ausschließlich aus Zuckerrüben hergestellt. Dabei steht die Zuckergewinnung für Nahrungszwecke im Vordergrund. Im Jahr 2000 wurden 4,34 Mio. Tonnen Weißzucker in 31 Zuckerfabriken produziert.

In den Fabriken werden die Zuckerrüben gereinigt, gewaschen und geschnitzelt. Aus den Rübenschnitzeln wird der Zucker extrahiert, weiter gereinigt und konzentriert. Endprodukt dieses Verarbeitungsprozesses ist Rohzucker. In der letzten Stufe der Zuckerkristallisation aus dem so genannten „Muttersirup“ fällt als Nebenprodukt Melasse an, ein dunkelbrauner, dickflüssiger Sirup. Er wird überwiegend für die Viehfütterung verwendet. Nach der Entzuckerung der zerkleinerten Rüben bleibt das „Rübenmark“ in Form von Schnitzeln übrig. Zum Teil werden diese unter Beifügung von Melasse getrocknet und zu Pellets gepresst. Diese „Melasseschnitzel“ sind ein energiereiches, lagerfähiges Viehfutter. Melasse wird auch an Hefefabriken und Brennereien zur weiteren Verarbeitung geliefert.

Aus Zucker können Waschmittel, biologisch abbaubare Kunststoffe, kosmetische Erzeugnisse, Arzneimittel, Alkohol sowie Hilfs- und Zusatzstoffe hergestellt werden.

5.3.3 Transgene Zuckerrüben

Virusresistente Zuckerrüben

Ein Problem im Zuckerrübenanbau ist die Viruskrankheit Rizomania oder Wurzelbärtigkeit. Seit den fünfziger Jahren hat sie sich von Italien über ganz Europa ausgebreitet. In Deutschland sind heute jedes Jahr etwa 20 bis 25 Prozent der Zuckerrüben mit dem Virus infiziert.

Diese Rübenkrankheit besitzt ein großes wirtschaftliches Schadpotenzial: Die Erträge sinken um bis zu 50 Prozent. Während der Zuckergehalt von gesunden Rüben zwischen 16 und 18 Prozent liegt, erreichen erkrankte Zuckerrüben meist weniger als 10 Prozent Zucker.

Im fortgeschrittenen Stadium bilden befallene Pflanzen verstärkt Seitenwurzeln, die rasch verbräunen. Auffallend ist das kümmerliche Wachstum des unterirdischen Speicherorgans. Die missgebildete Rübe lässt sich aufgrund veränderter Inhaltsstoffe nur schwer industriell verarbeiten.

Der Erreger dieser Rübenkrankheit ist das Adervergilbungsvirus (Beet necrotic yellow vein virus, BNYYV). Der Bodenpilz *Polymyxa betae* dient als Überträger und „Herberge“ dieses Virus auf dem Acker. In den Dauersporen des Pilzes bleibt das Virus im Boden über längere Zeit infektiös. Die chemische Bekämpfung des Virusüberträgers ist nicht möglich. Auch ackerbauliche Maßnahmen, beispielsweise die Verlängerung der Fruchtfolge oder Anbau von Zwischenfrüchten, haben bisher keinen Erfolg erbracht.

Durch die Gentechnik konnte ein Gen aus dem Erbmateriale des Virus in die Zuckerrübe übertragen werden. Die Pflanze bildet nun ein Eiweiß aus der Virushülle und ist dadurch vor der Viruskrankheit geschützt.

Herbizidtolerante Zuckerrüben

Die Zuckerrübe kann sich gegen Unkräuter kaum durchsetzen. Um Ertragseinbußen zu vermeiden, muss der Beiwuchs insbesondere im frühen Entwicklungsstadium der Rübenpflanze kontrolliert werden. Derzeit werden in der Regel drei bis fünf Herbizidanwendungen durchgeführt. Herbizidtolerante Zuckerrüben sind daher für die Entwicklung von Anbausystemen mit effizienter und umweltverträglicher Unkrautkontrolle von Bedeutung.

In Deutschland wurden Anbausysteme dieser Art in einem Versuchsprogramm erprobt. Die ersten Ergebnisse zeigten, dass eine effektive Unkrautkontrolle erreicht wird. Die Zahl der Herbizidanwendungen könnte auf zwei bis drei gesenkt werden.

5.4 Kartoffel

5.4.1 Bedeutung

5.4.2 Verwendung

5.4.3 Transgene Kartoffeln



5.4 Kartoffel

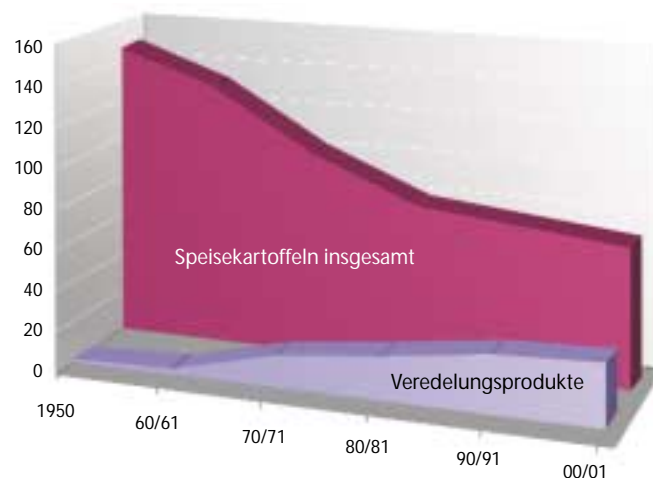
5.4.1 Bedeutung

Die Kartoffel ist eine der wichtigsten Kulturpflanzen für die menschliche Ernährung. Ihr Ursprung liegt in den Anden. Die spanischen Eroberer brachten sie im 16. Jahrhundert bei ihrer Rückkehr aus Südamerika nach Europa. Aber erst eine Nahrungsmittelknappheit als Folge von Kriegen brachte ihr den Durchbruch: Die neue Kulturpflanze erwies sich als sehr genügsam und gedieh in sonst unfruchtbarer, sandiger Erde. Um 1900 hatte die Industrielle Revolution die Knolle zum Grundnahrungsmittel der Massen gemacht. Zur Sättigung wurde im Durchschnitt etwa 1 kg Kartoffeln pro Kopf und Tag verzehrt. Heute beträgt der durchschnittliche Kartoffelkonsum in Deutschland nur noch 120 Gramm pro Person und Tag.

Kartoffeln werden weltweit auf 19,3 Mio. Hektar angebaut und rangieren damit nach Weizen, Reis und Mais an vierter Stelle. In der EU werden jährlich rund 1,3 Mio. Hektar mit Kartoffeln bepflanzt.

5.4.2 Verwendung

Auch wenn der Pro-Kopf-Verzehr an Kartoffeln stetig abnimmt, ist die Kartoffel neben Brotgetreide eine wichtige Grundlage der Ernährung in Mitteleuropa. Zunehmend beliebter werden „veredelte“ Kartoffelprodukte. Etwa 40 Prozent der verzehrten Kartoffeln sind verarbeitete Erzeugnisse wie Pommes Frites, Knödelpulver und Kartoffelchips.



Entwicklung des Kartoffelverbrauchs (1950-1999)

Die Kartoffelknolle enthält große Mengen an Kohlenhydraten, die in Form von Stärke vorliegen. Das Kartoffeleiweiß bringt hohe Anteile an essenziellen Aminosäuren wie beispielsweise Lysin mit.

Doch Kartoffeln werden nicht nur zu Ernährungszwecken angebaut. Als nachwachsender Rohstoff findet vor allem Kartoffelstärke breite Verwendung in einer Reihe von industriellen Anwendungen, vor allem in der Papier- und Textilindustrie. Die Stärkegewinnung aus Kartoffeln hat sich seit den achtziger Jahren verdreifacht (siehe Kapitel 5.10).

5.4.3 Transgene Kartoffeln

Pilzresistenz

Die weltweit wichtigste Krankheit der Kartoffel ist die Kraut- und Knollenfäule. Sie ist auch im deutschen Kartoffelanbau das dominierende Problem. Die Krankheit wird durch einen Pilz (*Phytophthora infestans*) verursacht, der erstmals in den vierziger Jahren des vorletzten Jahrhunderts in Europa auftrat. Phytophthora führte in der Vergangenheit zu schweren Hungersnöten besonders in Irland. Der Pilz tritt vor allem in feuchten, nassen Jahren auf. Im Bestand kann sich die Krankheit sehr rasch ausbreiten. Das Kartoffelkraut wird zerstört und das Knollenwachstum vermindert. Außerdem begünstigt der Befall mit der Kraut- und Knollenfäule weitere Infektionen, beispielsweise die Weichfäule (*Erwinia carotovora*).

Mit klassischen Methoden konnten bisher keine ausreichend resistenten Kartoffelpflanzen gezüchtet werden. Daher sind der Einsatz von Fungiziden und phytosanitäre Maßnahmen die wichtigsten Bekämpfungsmethoden.

Mit der Gentechnik wurden aber erste Erfolge bei der Züchtung pilzresistenter Kartoffeln erzielt. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Züchtungsforschung in Köln haben ein Gen aus einem Bodenbakterium, das die Abwehr des Pilzes steuern kann, in die Kartoffelpflanze übertragen. Die Pflanze kann gezielt ihre Zellen absterben lassen, die vom Pilz befallen sind; dabei stirbt auch der Pilz. Die Pflanze opfert gewissermaßen einzelne Zellen, um zu überleben. Diese Kartoffel wurde bereits im Freiland getestet.



Insektenresistenz

Auch der Kartoffelkäfer verursacht wirtschaftlich bedeutende Schäden im Kartoffelanbau. In einigen Ländern sind gentechnisch veränderte Sorten auf dem Markt, die resistent gegen den Kartoffelkäfer sind. Aber im Jahr 2000 und 2001 wurden die Anbauflächen reduziert. In der EU wurden bisher 21 Anträge auf Freisetzung insektenresistenter Kartoffeln gestellt (BBA Februar 2002, transgen).

Virusresistenz

Verschiedene Kartoffelviren und Bakterien machen den Kartoffelerzeugern ebenfalls zu schaffen, in erster Linie das Kartoffel-Blattrollvirus (PLRV), das Kartoffelvirus X (PVX) und das Kartoffelvirus Y (PVY) sowie das Bakterium *Erwinia carotovora*.

Es wird deshalb intensiv nach Maßnahmen gegen diese Schadorganismen gesucht – auch mit gentechnischen Verfahren. In den USA sind Kartoffeln auf dem Markt, die neben der Resistenz gegen den Kartoffelkäfer einen Schutz gegen das Kartoffelblattrollvirus und das Kartoffelvirus X besitzen.

In Deutschland wurden bis zum Februar 2002 beim Robert-Koch-Institut 47 Anträge auf Freisetzung gentechnisch veränderter Kartoffeln gestellt, davon sechs für virusresistente, vier für bakterienresistente und zwei für pilzresistente Kartoffeln.

Kartoffeln mit mehr Stärke

Eine ganz andere Idee steckt hinter Kartoffelpflanzen, die in den USA entwickelt werden: Gentechnisch veränderte Kartoffeln, die weniger Wasser und dafür mehr Stärke enthalten. Deshalb nehmen sie beim Frittieren oder Braten weniger Fett auf und können zur Produktion kalorienreduzierter Kartoffelchips oder Pommes Frites genutzt werden. Kartoffeln mit verändertem Stärkegehalt werden in Deutschland getestet.

5.5 Tomate

5.5.1 Im Gemüseanbau an der Weltspitze

5.5.2 Verwendung und Reifung der Tomate

5.5.3 Transgene Tomaten



5.5 Tomate

5.5.1 Im Gemüseanbau an der Weltspitze

Die Tomate steht im Gemüseanbau weltweit an erster Stelle. Tomaten werden in Nord- und Südamerika sowie in Mittelamerika, insbesondere in Mexiko, angebaut. In Europa sind Italien, Spanien und Holland im Tomatenanbau führend. Tomaten stellen 30 Prozent der gesamten Gemüseernte der EU: Im Jahr 2000 wurden in den Mitgliedstaaten der Gemeinschaft zusammen rund 16 Mio. Tonnen Tomaten geerntet.

Tomaten haben einen günstigen Nährstoffgehalt

Bestandteil	Nährstoffgehalt pro 100 g Tomate
Protein	0,85 g ± 0,015 g
Vitamin A	192-1667 IU
Vitamin B ₁ (Thiamin)	16-80 mg
Vitamin B ₂ (Riboflavin)	20-78 mg
Vitamin B ₆	50-150 mg
Vitamin C	8,4-59 mg
Niacin (Nicotinsäure)	0,3-0,85 mg
Kalzium	4,0-21 mg
Magnesium	5,2-20,4 mg
Phosphor	7,7-53 mg
Natrium	1,2-32,7 mg
Eisen	0,2-0,95 mg

Quelle: *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 5, April 1994.

5.5.2 Verwendung und Reifung der Tomate

Neben dem frischen Verzehr von Tomaten spielt die Verarbeitung eine große Rolle. Die EU-Tomatenernte wird zur Hälfte industriell verwertet; weltweit sind es sogar 80 Prozent. Tomaten werden als Ketchup, Püree, Saft, Konservenprodukt und in Fertigerzeugnissen wie Pizza, Teigwarengerichten und Soßen angeboten.

Für die Lagerung und Verarbeitung spielt die Reifung eine besondere Rolle. Die natürliche Reifung von Früchten und Gemüse ist mit der pflanzeigenen Produktion von Ethylen gekoppelt. Ethylen löst in der Frucht eine Reihe biochemischer Prozesse aus. Einerseits sind dies die gewünschte Aroma- und Geschmacksbildung und die Produktion wertvoller Inhaltsstoffe wie Vitamine. Andererseits beginnen Abbauprozesse an den Zellwänden, wodurch die Früchte weich werden.

Für das „Weichwerden“ ist insbesondere das Enzym Polygalacturonase (PG) verantwortlich. Es baut Pektin ab, einen der Hauptbestandteile der Zellwände von Früchten und Gemüse. Dadurch werden die pflanzlichen Zellwände perforiert und schließlich aufgelöst, die Tomaten verderben und setzen schließlich die Samen frei. Dieser Prozess ist auch für das „Teigigwerden“ von Kernobst verantwortlich.

Da reife, rote Tomaten zu empfindlich sind, um lange Transporte schadlos zu überstehen, werden Tomaten im kommerziellen Anbau grün gepflückt und gekühlt transportiert. Am Zielort werden sie mit Ethylen begast, um den Reifungsprozess einzuleiten beziehungsweise zu beschleunigen. In den USA werden mehr als 80 Prozent der Tomaten unreif und grün gepflückt. Die Ethylenbehandlung bewirkt zwar eine schnelle Rotfärbung, die Früchte erreichen jedoch nicht das volle Aroma und den Vitamingehalt einer an der Staude langsam gereiften Tomate.

5.5.3 Transgene Tomaten

Tomaten mit Reifeverzögerung

Das Entwicklungsziel der Firma Calgene war eine Tomate, die am Stock reifen und ihr volles Aroma ausbilden kann, ohne weich zu werden. Gleichzeitig sollte diese Tomate ebenso transport- und lagerfähig wie grüne Tomaten sein. Das Resultat war die FlavrSavr-Tomate. Ihr wurde ein Gen übertragen, das die Produktion des Enzyms Polygalacturonase (PG) verhinderte. Während des Reifungsprozesses am Stock entwickelt die FlavrSavr-Tomate Geschmacks- und wertvolle Inhaltsstoffe, die grün geerntete Tomaten nicht entwickeln können. Die FlavrSavr-Tomate kann aufgrund ihrer Robustheit ungekühlt transportiert werden und ermöglicht damit erhebliche Energieeinsparungen.

Die FlavrSavr-Tomate kam 1994 in den USA auf den Markt. Sie war das erste gentechnisch veränderte Lebensmittel, das für den menschlichen Konsum zugelassen wurde. Sie erfüllte die Erwartungen der Hersteller aber nicht und wird inzwischen nicht mehr angebaut.

Auch die Firma Zeneca entwickelte eine Tomate mit verzögerter Reifung. Diese Frucht eignet sich besonders gut für die Herstellung von Tomatenpüree. Der Abbau ihrer Zellwände verläuft verzögert, so dass das daraus produzierte Tomatenpüree die gewünschte hohe Viskosität aufweist.

Bei herkömmlichen Tomaten werden das Enzym PG durch Erhitzen zerstört und damit der enzymatische Abbau der Zellwände verhindert. Das Erhitzen reduziert allerdings Aromastoffe und Vitamine. Bei der Herstellung von Püree aus der transgenen Tomate muss weniger Energie aufgewendet werden. Allein in den USA liegt die Einsparung in einer Größenordnung von etwa 100 Mio. US\$ pro Jahr. Das so produzierte Tomatenmark wurde in Großbritannien seit Februar 1996 von den Lebensmittelketten Sainsbury's und Safeway mit einem Marktanteil von 60 Prozent verkauft. Da im Frühjahr 1999 in Großbritannien in der Öffentlichkeit starke Kritik an Lebensmitteln aus gentechnisch veränderten Pflanzen laut wurde, erklärten sich die führenden Supermarktketten für „gentechnik-frei“. Im Zuge dessen verschwand auch das Tomatenmark wieder aus den Regalen.



Resistente Tomaten

Ein weiteres Ziel der Forscher ist es, insektenresistente Tomaten zu entwickeln. Wissenschaftler des Unternehmens Monsanto haben durch Einbau des Gens für das Bt-Toxin insektenresistente Tomaten erzeugt, die in den USA bereits angebaut werden.

In China werden großflächig virusresistente Tomaten gepflanzt, versuchsweise werden sie auch in Mexiko und Rumänien angebaut. In der EU sind noch keine gentechnisch veränderten Tomaten zugelassen.

Andere gentechnische Veränderungen

Tomaten sind beliebte Forschungsobjekte. Die Tomate war die erste essbare Pflanze, an der die Plastidentransformation glückte (siehe auch Kapitel 5.10.3). Einem Forscherteam der Universität Freiburg gelang es, transgene Tomaten zu entwickeln, die ihre Fremdgene nicht über Pollen weitergeben. Die neue Erbinformation wurde nicht in den Zellkern, sondern in die Chloroplasten eingebracht. Die Chloroplasten besitzen eine eigene Erbsubstanz, die nicht über Pollen verbreitet wird. Mit der Technik der Plastidentransformation soll es möglich werden, unterschiedliche Proteine, Vitamine oder Impfstoffe in großen Mengen in Tomaten zu erzeugen.

Anti-Krebs Tomate mit mehr Lycopin

Im Rahmen des EU-Projekts FAIR wurden transgene Tomaten entwickelt, die mehr gesundheitsfördernde Karotinoide wie Lycopin und Beta-Karotin enthalten. Eine Lycopin-reiche Ernährung zeigte in Studien eine präventive Wirkung gegen bestimmte Krebsarten.

Salztolerante Tomaten

Ein anderes Ziel verfolgen Wissenschaftler in Toronto. Ihnen gelang es, transgene Tomatenpflanzen zu züchten, die in Salzwasser gedeihen. Diese Tomaten bilden ein Protein, das Salz innerhalb der Zelle in die Vakuolen transportiert. Das Salz wird hauptsächlich in den Blättern gelagert, die Früchte sind kaum betroffen.

Diese transgene Tomate soll als Modell dienen, um andere Kulturpflanzen ebenso salztolerant zu machen. Die kanadischen Forscher arbeiten bereits an einer salztoleranten Rapsart. Ein weiterer möglicher Einsatz von salztoleranten Pflanzen ist die Rückgewinnung von versalztem Kulturland, indem die Pflanze das Salz aus dem Boden zieht und dann entsorgt wird.

5.6 Raps

5.6.1 Bedeutung des Rapsanbaus

5.6.2 Verwendung

5.6.3 Transgene Rapspflanzen



5.6 Raps

5.6.1 Bedeutung des Rapsanbaus

Raps ist eine sehr alte europäische Feldfrucht. Bereits im Mittelalter wurde Pflanzenöl aus Rapssamen hergestellt und als Brennstoff für Öllampen verwendet. Heute ist Raps die ertragreichste Ölfrucht, die in Europa angebaut wird.

In Deutschland wird Raps auf einer Fläche von etwa 1,1 Mio. Hektar und weltweit auf etwa 23,6 Mio. Hektar erzeugt. Raps hat einen Anteil von 12 Prozent an der globalen Ölsaatenproduktion und steht nach der Sojabohne (56 Prozent) an der zweiten Stelle (unitedsoybean, USDA).

5.6.2 Verwendung

Raps wird hauptsächlich zu Speiseöl und Margarine verarbeitet. Das Rapsschrot, das heißt der nach der Ölpressung zurückbleibende eiweißreiche Presskuchen, wird als wertvolles Futtermittel für Schweine, Rinder und Hühner verwendet.

Heute hat Rapsöl auch eine zunehmende Bedeutung als Rohstoff für die Herstellung von Schmierstoffen, Tensiden, Weichmachern, Netzmitteln oder Emulgatoren, etwa in der Kunststoff- und Photoindustrie. Derzeit steigt seine Bedeutung zur Gewinnung von Biodiesel.



5.6.3 Transgene Rapspflanzen

Herbizidtoleranter Raps

Die zurzeit am häufigsten getestete Eigenschaft bei Freilandversuchen mit GV-Raps ist die Herbizidtoleranz. Von den 391 Raps-Freilandversuchen wurden 307 mit herbizidtoleranten Rapspflanzen durchgeführt. Sowohl die Glufosinat- als auch die Glyphosat-toleranz wurden in verschiedene Rapslinien übertragen.

Männlich steriler Raps

Die Gentechnik erleichtert die Erzeugung männlich steriler Rapsorten für die Herstellung von Hybridsaatgut als Hochleistungssaatgut (siehe Kapitel 3.3.7).

Veränderungen der Inhaltsstoffe von Rapssamen

Ziel der klassischen Züchtung und zunehmend auch der gentechnischen ist es, die Inhaltsstoffe von Raps zu verändern. Insbesondere die Zusammensetzung der Fettsäuren spielt für die weitere Verarbeitung und Nutzung der Rapssamen eine Rolle. Aber auch Anreicherungen mit Provitamin A oder Aminosäuren werden durch gentechnische Veränderungen erreicht.

Übersicht zur Veränderungen der Inhaltsstoffe im Rapssamen

Öltyp / neue Eigenschaft	Verfügbarkeit	Züchtungsmethode
„OO“-Raps (Canola) – keine Erucasäure und Glucosinolate (Bitterstoffe)	vorhanden	klassische Züchtung
HO – erhöhter Ölsäureanteil (>80%)	kurzfristig	klassische Züchtung/ Gentechnik
Laurat – von 0 % auf 40 % erhöhter Laurinsäureanteil	vorhanden	Gentechnik
Neue mittelkettige Fettsäuren: Caprinsäure; Caprylsäure; Myristinsäure (siehe Kapitel 5.9)	kurzfristig	Gentechnik
Stearat – erhöhter Anteil der Stearinsäure (>25 %)	kurzfristig	Gentechnik
Erucasäure (56 %)	vorhanden	klassische Züchtung
EEE – erhöhter Anteil an Erucasäure (>65 %) (siehe Kapitel 5.9)	mittelfristig	Gentechnik
PHA – Produktion von Polyhydroxyalkanoate zur Verwendung als „Bio“-Kunststoff (siehe Kapitel 5.9)	mittelfristig	Gentechnik
b-Karotin-Rapsöl – Provitamin-Anreicherung im Rapsöl	kurzfristig	Gentechnik

High-Laurat-Öl

Vom Unternehmen Calgene wurden Rapspflanzen entwickelt, deren Öl fast 40 Prozent Laurinsäure (C12:0) enthält. Laurinsäure ist deshalb interessant, weil sie in der Industrie zur Herstellung von Detergenzien für beispielsweise Haarwaschmittel, aber auch im Nahrungsmittelsektor für die Schokoladenherstellung verwendet werden kann. Die gentechnische Veränderung wurde durch die Einführung eines Gens aus dem Lorbeerbaum (*Umbellularia californica*) erzeugt. Das Gen bewirkt, dass bei der Fettsäuresynthese nach dem 12. Kohlenstoffatom die Kettenverlängerung eingestellt wird. So entstehen verkürzte Fettsäureketten, die aus zwölf anstatt aus 18 Kohlenstoffatomen bestehen.

Laurical, der Lauratrap, darf seit 1994 in den USA angebaut werden. Im Jahr 2000 wurde er auf 70 000 Hektar angepflanzt.

Exkurs zum Thema Fette

Fette und Öle bestehen aus Fettsäuren und einem Glycerinrest. Fettsäuren werden durch ihre Zahl an Kohlenstoffatomen (C) und der Anzahl und Position von Doppelbindungen beschrieben. Davon sind auch die chemischen Eigenschaften des Fettes abhängig. Allgemein machen überwiegend kurze Fettsäuren ein Fett fest wie beispielsweise bei Butter oder Schmalz; lange Fettsäuren machen es zu flüssigem Öl. Fettsäuren mit Doppelbindungen nennt man ungesättigte Fettsäuren. Sie haben einen niedrigeren Schmelzpunkt als gesättigte Fettsäuren.

Eine Sonderrolle in der Ernährung nehmen die mehrfach ungesättigten Fettsäuren ein. Der menschliche Organismus benötigt sie für viele Stoffwechselprozesse, kann sie aber nicht selbst herstellen. Diese Fettsäuren werden als essenzielle Fettsäuren bezeichnet.

Rapsöl mit hohem Provitamin-A-Anteil

Das Unternehmen Monsanto entwickelte einen Raps, der Beta-Karotin bildet, eine Vorstufe von Vitamin A. Das daraus gepresste Öl ist karotinreicher als jedes Gemüse. Das Speiseöl kann zur Vorbeugung von Vitamin-A-Mangel und der daraus entstehenden Mangelkrankungen genutzt werden. Schon ein einziger Teelöffel des „flüssigen Goldes“ soll den Tagesbedarf eines Erwachsenen decken. In einigen Entwicklungsländern besteht ein hochgradiger Vitamin-A-Mangel (siehe Kapitel 3).

Verbesserung der Rapsschrotqualität

In Zusammenarbeit mit der Universität in Delaware haben Forscher der Firma DuPont neue Rapspflanzen entwickelt, die einen doppelt so hohen Lysin-Gehalt wie herkömmliche Sorten aufweisen. Lysin ist eine der acht essenziellen Aminosäuren, die für Menschen und Säugetiere lebensnotwendig sind. Durch den erhöhten Lysingehalt wird der ernährungsphysiologische Wert des nach der Ölextraktion verbleibenden Rapsschrotes erheblich gesteigert. Bei der Verwendung in Tierfutter werden so spezielle Aminosäure-Zugaben zum Futter, die normalerweise für eine optimierte Tierernährung notwendig sind, nicht mehr benötigt.

Rapssorten mit Krankheits- und Schädlingsresistenzen

Zur Bekämpfung der für den Rapsanbau bedeutenden Pilzkrankheiten Rapsschwärze („black leg“) und Weißstängeligkeit („white mould“) wird versuchsweise auf die Gentechnik zurückgegriffen.

Fremde Gene, und zwar Chitinase- und Glucanasegene, werden in die Rapspflanze eingebaut. Diese Gene sollen eine Pilzabwehr aufbauen. Die entsprechenden Enzyme können die Zellwände von Pilzen auflösen und die Pilze dadurch abtöten.

Die Unternehmen Mycogen und Pioneer Hi-Bred arbeiten gemeinsam an Rapslinien, die mit Hilfe des bakteriellen Bt-Gens (siehe Kapitel 3.3.1) vor Pflanzenschädlingen geschützt werden.

5.7 Reis

5.7.1 Bedeutung und Anbau von Reis

5.7.2 Verwendung

5.7.3 Transgener Reis

5.7.4 Das Reis-Genom-Projekt



5.7 Reis

5.7.1 Bedeutung und Anbau von Reis

Reis ist die weltweit wichtigste Nutzpflanze. Die gegenwärtige Jahresernte beträgt ca. 590 Mio. Tonnen (FAOSTAT, 2001). Für fast die Hälfte der Weltbevölkerung ist Reis die Hauptnahrungsquelle. 90 Prozent des Reisanbaus findet in Asien statt.

Die kommenden Aufgaben der Reiszüchtung zeichnen sich deutlich ab: In zwanzig Jahren wird es wahrscheinlich etwa eine Milliarde Reiskonsumenten mehr geben. Gleichzeitig verursachen Reisschädlinge und Krankheiten große Verluste:

- Der Gelbe Stengelbohrer vernichtet jährlich 20 bis 25 Mio. Tonnen Reis; das könnte die Nahrung von 100 bis 125 Millionen Menschen sein.
- Durch Pilze werden jährlich 20 bis 40 Mio. Tonnen Reis vernichtet; damit könnten 100 bis 200 Millionen Menschen ernährt werden.
- Das Tungro-Virus zerstört jährlich 5 bis 10 Mio. Tonnen Reis, einer Menge, die Nahrung für 25 bis 50 Millionen Menschen sein könnte.

Daher ist die Züchtung ertragreicherer sowie schädlings- und krankheitsresistenter Reissorten eine wichtige Aufgabe, um die Reisproduktion der wachsenden Bevölkerung anzupassen.

Auch die Verbesserung der Qualitätseigenschaften von Reis spielt eine wichtige Rolle. Das komplette Reiskorn mit dem Keimling und der wertvollen Aleuronschicht enthält viele lebenswichtige Mineralstoffe und Vitamine. Das ölige Häutchen wird jedoch zur besseren Lagerfähigkeit des Getreides entfernt. Im tropischen Klima würde es zu schnell ranzig. In Ländern, in denen polierter Reis das Hauptnahrungsmittel ist, sind Mangelkrankungen weit verbreitet.

Weltweit erblinden jedes Jahr 250 000 bis 500 000 Kinder im Vorschulalter aufgrund von Vitamin-A-Mangel. Etwa 1-2 Mio. Menschen sterben pro Jahr an Durchfallerkrankungen, weil durch Vitamin A-Mangel ihr Immunsystem zu schwach ist. Geschälte Reiskörner enthalten aber weder Vitamin A noch Provitamin A, welches im Körper in Vitamin A umgewandelt wird (siehe Kapitel 3). Reis enthält ungünstigerweise Phytinsäure, die die Eisenaufnahme im Darm blockiert. An Eisenmangel leiden daher ebenfalls viele Menschen. Zur Lösung dieser Ernährungsprobleme wurde ein gentechnisch veränderter Vitamin-A-Reis mit erhöhtem Eisengehalt entwickelt, der in wenigen Jahren in Asien zum kommerziellen Anbau zur Verfügung stehen wird (siehe unten).

5.7.2 Verwendung

Reis gehört neben Weizen und Mais zu den Grundnahrungsmitteln für Milliarden von Menschen. Ein Mensch in Asien isst durchschnittlich dreimal am Tag Reis und verzehrt im Jahr – je nach Land – zwischen 70 und 190 kg Reis. Reis ist damit der wichtigste Energie- und Proteinträger in vielen Ländern. Ein durchschnittlicher Europäer konsumiert nur 3 kg Reis im Jahr.

Im Gegensatz zu anderen Getreidearten wird Reis überwiegend direkt für die menschliche Ernährung genutzt und nur zu einem geringen Teil als Futtermittel. Reis wird hauptsächlich gekocht gegessen, aber auch verarbeitet zu Stärke, Reisöl, Reiskleber und Knusperflocken. In Asien bestehen viele traditionelle Lebensmittel aus Reis.

5.7.3 Transgener Reis

Schädlingsresistenter Reis

Es konnte eine Reislinie hergestellt werden, die gegen den Gelben Stängelbohrer resistent ist. Sie wurde dem Internationalen Reisforschungsinstitut IRRI (International Rice Research Institute) auf den Philippinen kostenlos zur Verfügung gestellt.

Auch Reispflanzen, die wesentlich weniger anfällig gegen einen der wichtigsten Schädlinge sind, wurden entwickelt und dem IRRI zur Weiterentwicklung zur Verfügung gestellt. In der Prüfungsphase befinden sich mehrere Reislinien mit Resistenzen gegen das Tungro-Virus.

Reis mit erhöhtem Provitamin-A-Gehalt, „Golden Rice“

Ingo Potrykus von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich und Peter Beyer von der Universität Freiburg haben eine Reissorte entwickelt, die im Reiskorn Provitamin A herstellen kann.

In den Reis wurden drei neue Gene übertragen, zwei Narzissen-Gene und ein bakterielles Gen. Der neue Reis ist so zur Synthese des Provitamins Beta-Karotin fähig. Das Beta-Karotin ist verantwortlich für die gold-gelbe Färbung der Reiskörner. Ziel der Entwicklung ist es, Vitamin-A-Mangelkrankungen in den Entwicklungsländern zu bekämpfen. Die ersten Reiskörner wurden dem Internationalen Reisforschungsinstitut auf den Philippinen zur Einkreuzung in lokale Sorten zur Verfügung gestellt.

5.7.4 Das Reis-Genom-Projekt

Für die Entwicklung neuer, verbesserter Kulturpflanzensorten ist die Entschlüsselung des Erbgutes der Pflanzen von großer Bedeutung. Um dieses Ziel beim Reis möglichst schnell zu erreichen, haben Wissenschaftler aus Nordamerika, Asien und Europa seit 1998 ihre Forschungsarbeit koordiniert und das Internationale Reis-Genom-Sequenzierungsprojekt (IRGSP) gestartet.

Im Frühjahr 2002 wurde die Entschlüsselung von 99 Prozent des Reis-Genoms bekannt gegeben: Forscher des Unternehmens Syngenta analysierten das Genom der „Japonica-Variante“, die in Japan weit verbreitet ist. Zeitgleich wurde von einem chinesischen Wissenschaftler-Team die Sequenzierung der „Indica-Variante“ erreicht.

Die Daten werden Forschern in aller Welt, auch dem IRGSP, zur Verfügung gestellt, um die weitere Arbeit zu beschleunigen. Die Entschlüsselung der kompletten Gensequenz wird helfen, die genetischen Grundlagen einzelner Pflanzeigenschaften wie Schädlingsresistenzen, Ertrag oder Nährstoffgehalt besser zu verstehen und in einem weiteren Schritt gezielt verbesserte Sorten zu züchten. Da Reis als Modellpflanze gilt, können die Erkenntnisse hoffentlich auf andere Getreidearten übertragen werden.



5.8 Baumwolle

5.8.1 Bedeutung

5.8.2 Verwendung

5.8.3 Transgene Baumwolle



5

5.8 Baumwolle

5.8.1 Bedeutung

Baumwolle ist die klassische Naturfaser und der Hauptrohstoff der Welttextilproduktion. Die Ursprungszentren der Baumwolle liegen vermutlich im afrikanisch-asiatischen Raum und an der Westküste Amerikas. Die Araber führten Anbau und Verarbeitung der Faser in Spanien und Sizilien ein. Im Mittelalter kam die Baumwolle nach Deutschland. Erfindungen, die die Baumwollernte, Spinnerei und Weberei rationalisierten, verhalfen der Baumwolle um die Jahrhundertwende zu einer dominierenden Weltmarktstellung.

Baumwolle wächst an einem niedrigen Malvenstrauch im warm ariden Klima. Aus der reifen Fruchtkapsel werden die Samenfasern gewonnen. Die Samen werden abgetrennt, die Baumwollfasern versponnen und weiterverarbeitet.

Weltweit wird auf 34 Mio. Hektar Baumwolle angebaut. Die wichtigsten Produktionsländer sind China, USA, die GUS-Staaten, Indien, Pakistan, die Türkei und Ägypten.



5.8.2 Verwendung

In erster Linie werden die Samenfasern der Baumwolle für die Textilproduktion verwendet. Aber aus Baumwolle werden auch verschiedene Lebensmittelzutaten gewonnen: Die eiweiß- und fettreichen Samen liefern hochwertiges Baumwollsaatöl und Eiweißpräparate. Aus dem Pressrückstand der Samen kann Methylcellulose gewonnen werden, die als Verdickungsmittel in der Lebensmittelindustrie eingesetzt wird. Der restliche Presskuchen wird zu Viehfutter verarbeitet.

5.8.3 Transgene Baumwolle

Insektenresistente Baumwolle

Insektenresistente Bt-Baumwolle (Bollgard) schützt sich durch ein Bt-Toxin gegen verschiedene Fraßinsekten wie den Baumwollkapselwurm.

In den USA ist die Bt-Baumwolle seit 1996 auf dem Markt. Die Anbaufläche ist seitdem ständig gestiegen. Im Jahr 2002 erreichte sie einen Anteil von 71 Prozent der Baumwollanbaufläche. Erwähnenswert ist die Einsparung von Pflanzenschutzmitteln. Im Jahr 1999 wurden 1 200 Tonnen weniger Insektizide verwendet als noch 1995, dem letzten Jahr vor der Einführung der Bt-Baumwolle (C. James 2002). Während die Farmer, die konventionelle Baumwollsorten anbauten, ihre Felder 1999 durchschnittlich zwei- bis dreimal gegen Schädlinge spritzen mussten, war dies bei der Bollgard-Baumwolle höchstens einmal notwendig.

In China wurde 1998 erstmals Bt-Baumwolle gepflanzt. Mittlerweile sind die Anbauflächen dort auf 2,1 Mio. Hektar (2002) gewachsen. Durch die neuen Sorten konnte der Verbrauch an Pestiziden drastisch gesenkt werden. Konventionelle Felder werden dort bis zu 20mal mit Insektiziden behandelt. Mit Bt-Baumwolle konnte dies auf ein bis zwei Spritzungen reduziert werden. Damit sank auch die Zahl von Insektizidvergiftungen bei den Bauern auf ein Viertel der Fälle im Vergleich zum konventionellen Anbau.


Der Ertrag erhöhte sich 2001 durchschnittlich um 5-10 Prozent. Der ökonomische Zugewinn betrug dabei etwa 750 Mio. US\$. In Südafrika wurden beim Anbau von Bt-Baumwolle sogar um 25 Prozent höhere Ernten erzielt.

Weitere gentechnisch veränderte Baumwollsorten

Neben der insektenresistenten Bt-Baumwolle gewinnt eine Kombination von Herbizid- und Insektenresistenz an Bedeutung. In den USA sind etwa 35 Prozent der transgenen Sorten mit diesen kombinierten Eigenschaften ausgestattet. US-Landwirte, die herbizidtolerante Baumwolle nutzten, hatten dadurch in 2001 um 133 Mio. US\$ niedrigere Produktionskosten.

Gearbeitet wird auch an einer Verbesserung der Faserqualität: Die Länge und Stärke der Fasern soll optimiert werden. Transgene Baumwollsorten sollen in die Lage versetzt werden, selbst Farbstoffe zu bilden, damit das Färben der Stoffe entfallen kann.

Auch gentechnische Veränderungen wie Kälte- oder Hitzetoleranz, die die Anpassung der Pflanze an schwierige Standorte verbessern, sind in der Entwicklung.



5.9 Tropenpflanzen

5.9.1 Papaya

5.9.2 Cassava/Maniok

5.9.3 Süßkartoffel



5.9 Tropenpflanzen

5.9.1 Papaya

Der Papaya-Baum stammt aus den amerikanischen Tropen und trägt melonenartige Früchte. Papayas werden in Plantagen in Florida, Hawaii, Ost- und Südafrika, Brasilien, Indien und mehreren asiatischen Ländern angebaut.

Die Papaya-Früchte sind besonders reich an den Vitaminen C und A. Sie werden hauptsächlich frisch oder kandiert gegessen, aber auch zu Fruchtsaft oder Marmelade verarbeitet. Als exotische Geschmackskomponente setzt die Lebensmittelindustrie Fruchtzubereitungen in Speiseeis oder Pudding ein. Wegen des hohen Gehalts an Vitaminen und dem Enzym Papain werden Papayas als „Wunderfrucht“ bezeichnet. Verschiedene gesundheitsfördernde Präparate und Nahrungsergänzungsmittel aus Papayas sind erhältlich.

Das Papaya Ringspot Virus

Weltweit ein ernstes Problem im Papaya-Anbau ist das „Papaya Ringspot Virus“ (PRSV). Das Virus verursacht enorme Ernteaufälle. Auf Hawaii wurde 1994 fast die Hälfte der Papaya-Ernte durch das Virus zerstört und die Papayaproduktion brach zusammen. Da Papaya neben der Ananas das zweitwichtigste landwirtschaftliche Produkt ist, war die Existenz vieler Bauern gefährdet.

Bereits 1987 wurde ein Forschungsprojekt zur Entwicklung von transgenen virusresistenten Papayas gestartet, um zukünftige Ernteaufälle zu minimieren. An der Universität Cornell und der Universität von Hawaii wurden mit Hilfe der Gentechnik zwei virusresistente Papayavarianten entwickelt. Zur „Immunsierung“ der Papayas wurde ein Gen für das Hüllprotein des PRS-Virus eingebracht. Wegen des erfolgreichen Verlaufs der Feldversuche wurde der Anbau von den amerikanischen Behörden zugelassen. Ein „Papaya Administrative Committee“ wurde damit beauftragt, die hawaiianische Papaya-Industrie bei der Vermarktung und der Beschaffung der Lizenzen zu unterstützen. Im Jahr 1998 wurden transgene Papayasamen an die Bauern auf Hawaii verteilt.

Mittlerweile werden auf etwa 700 Hektar, etwa der Hälfte der hawaiianischen Anbaufläche, virusresistente Sorten angebaut. Im Jahr 2000 konnte die Ernte im Vergleich zum Vorjahr um 33 Prozent gesteigert werden. Der Markt für die transgenen Papayas bleibt jedoch vorerst auf die USA und Kanada beschränkt. In anderen Ländern besteht keine Zulassung für diese Sorten. Japan bezieht rund 35 Prozent der Ernte aus Hawaii, die Zulassung als Lebensmittel steht noch aus. In der EU liegt bisher kein Zulassungsantrag vor.

In verschiedenen Regionen werden weitere Papayas entwickelt, die Resistenzen gegen dort verbreitete Viren besitzen. In einem Kooperationsprojekt, an dem internationale Unternehmen und Einrichtungen aus Indonesien, Thailand, Malaysia, den Philippinen und Vietnam beteiligt sind, wird an einer virusresistenten Papaya für die Region Südost-Asien gearbeitet.

5.9.2 Cassava/Maniok

Cassava, auch Maniok genannt, stammt ursprünglich aus den tropischen Zonen Amerikas. Heute wird diese Pflanze in 92 Ländern der Welt angebaut und ist Grundnahrungsmittel für 500 Millionen Menschen in Afrika, Südamerika und Südindien. Die Weltproduktion betrug 1999 rund 168 Mio. Tonnen.

Die Wurzeln der Cassava enthalten bis zu 85 Prozent Stärke. Cassava ist damit ein guter Energielieferant. Ihr Nachteil ist, dass die Wurzeln kaum Protein enthalten. In Regionen, in denen die Menschen sich grundlegend davon ernähren, herrscht die Gefahr von Protein-Mangelkrankungen.

Ein weiteres Problem ist, dass Cassavapflanzen Zyanid oder Blausäuresalz freisetzen. Den Gehalt durch traditionelle Bearbeitung zu senken, ist sehr aufwändig und nicht immer erfolgreich. Einige Krankheiten des Nervensystems lassen sich auf das Zyanid der Cassava zurückführen. Problematisch ist auch die Anfälligkeit der Pflanze für Viruskrankheiten, Schädlinge und die bakteriell bedingte Cassava-Braunfäule. Dadurch kann die Ernte zu 40 bis 70 Prozent vernichtet werden.

Mögliche gentechnische Verbesserungen der Cassavapflanze

Die Biotechnologie bietet Alternativen zu den herkömmlichen Züchtungsmethoden, um die Lebensmittelqualität und -sicherheit sowie die Krankheitsresistenz von Cassava zu verbessern:

Beispielsweise wurden Gene übertragen, die Zyanid „neutralisieren“ können, oder solche, die zu einer Reduktion der Stoffe führen, aus denen Zyanid freigesetzt werden kann. In einem anderen Projekt wird das Ziel verfolgt, in Cassavapflanzen Gene für Speicherproteine einzuführen, um den Proteingehalt zu erhöhen und essenzielle Aminosäuren in den Knollen anzureichern.

Mit gentechnischen Methoden werden Cassavapflanzen hergestellt, bei denen eine Virusvermehrung in den Pflanzenzellen verhindert werden kann oder die natürlichen Abwehrmechanismen der Pflanze verstärkt werden. Zur Züchtung von insektenresistenten Cassavapflanzen wird zurzeit Bt-Cassava erzeugt. Diese enthält – genauso wie die bereits angebaute Bt-Maissorten – ein Toxin aus einem Bodenbakterium. Das Toxin schützt die Pflanzen effektiv vor Insektenfraß.

Die Entwicklung von gentechnisch veränderten Cassava steht noch am Anfang, wird aber inzwischen von einem Netzwerk verschiedener Institute wie der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich, dem Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Kolumbien, und dem International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Nigeria, verstärkt betrieben. Nach Abschluss weiterer Entwicklungsschritte sollen gentechnisch veränderte Sorten in einigen südamerikanischen und afrikanischen Ländern getestet und danach an Kleinbauern kostenlos weitergegeben werden. Erste gentechnisch veränderte Cassavapflanzen stehen für Feldversuche zur Verfügung.



5.9.3 Süßkartoffel

Süßkartoffeln werden in tropischen und subtropischen Ländern angebaut. Mit einer Ernte von rund 130 Mio. Tonnen sind sie das fünftwichtigste Nahrungsmittel in tropischen Regionen. Süßkartoffeln sind wie Cassavaknollen sehr stärkehaltig, aber es fehlt ihnen an für den Menschen lebenswichtigen Proteinen.

Amerikanische Wissenschaftler haben das proteinarme Grundnahrungsmittel gentechnisch mit essenziellen Aminosäuren angereichert. Mit diesen proteinreichen Süßkartoffeln soll die Eiweißversorgung der mangelernährten Bevölkerung im südlichen Afrika und auf den pazifischen Inseln verbessert werden.

Problematisch für den Anbau ist das in Afrika weit verbreitete SPFM-Virus. Das Virus kann Ernteverluste von 50 bis 80 Prozent verursachen. Durchschnittlich gehen jährlich etwa 3 Mio. Tonnen Süßkartoffeln verloren, die zur Ernährung von mehr als 20 Millionen Menschen ausreichen würden.

In Kenia wird an der Entwicklung von Süßkartoffeln mit einer gentechnisch vermittelten Resistenz gegen das Virus gearbeitet. Die Entwicklung, eine Kooperation zwischen dem nationalen Kenya Agricultural Research Institute (KARI) und dem amerikanischen Unternehmen Monsanto, befindet sich im Stadium von Freilandversuchen. Bevor die gentechnisch veränderte Sorte für den kommerziellen Anbau zugelassen wird, müssen zahlreiche Tests durchlaufen werden, um mögliche Umweltwirkungen zu evaluieren. Das Prüfverfahren wird sich voraussichtlich über vier Jahre hinziehen.

5.10 Transgene Pflanzen – nicht nur Nahrungsmittel

- 5.10.1 Nachwachsende Rohstoffe
- 5.10.2 Umweltsanierung
- 5.10.3 Molecular Farming



5

5.10 Transgene Pflanzen – nicht nur Nahrungsmittel

5.10.1 Nachwachsende Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe gewinnen zunehmend an Bedeutung, da die fossilen Reserven an Erdöl und Kohle nicht erneuerbar sind und geschont werden müssen.

Stärke, Öl oder Fasern produzierende Pflanzen sind interessant, da sie immer wieder lokal angebaut werden können. Ökologische Aspekte wie die CO₂-Neutralität oder die biologische Abbaubarkeit spielen ebenfalls eine wichtige Rolle.

Bisher deckt die deutsche chemische Industrie ihren Rohstoffbedarf nur zu knapp 10 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen. Technisch möglich ist in den meisten Bereichen ein wesentlich höherer Anteil. Ein großes Potenzial haben pflanzliche Schmierstoffe, Naturfaserwerkstoffe, Naturfarben und Naturlacke.

Problematisch ist die aufwändige Isolierung und Reinigung, bis der pflanzliche Rohstoff industriell genutzt werden kann. Eine Lösung bietet hier der Einsatz der Gentechnik, um gezielt Pflanzeninhaltsstoffe in größeren Mengen und Reinheiten zu generieren. Beispiele für erfolgversprechende gentechnische Anwendungen sind:

Pflanzen mit kurzkettigen Industrie-Fettsäuren

Pflanzliche Öle werden nicht nur im Nahrungsmittelsektor, sondern auch in vielen Non-Food-Bereichen eingesetzt. Da die in Deutschland angebauten Ölpflanzen nicht die benötigten Fettsäuremuster aufweisen, müssen Öle importiert werden. Besonders die Laurinsäure(C10:0)-reichen Kokos- und Palmkernöle werden eingeführt. Laurinsäure wird hauptsächlich in der Detergentien-Industrie für Wasch-, Reinigungs- und Geschirrspülmittel genutzt. Auch in der Süßwaren-Produktion kommt sie zum Einsatz.

Rapsöl aus konventionellen Rapsorten enthält zu 60 bis 65 Prozent Ölsäure (C18:1). Laurinsäure und Caprinsäure sind mittelkettige Fettsäuren, die in herkömmlichem Raps kaum vorkommen. Für industrielle Anwendungen ist dagegen ein Fettsäuremuster interessant, das hauptsächlich Fettsäuren mit einer Kettenlänge von acht bis 14 Kohlenstoffatomen aufweist.

In unterschiedlichen Forschungsprojekten werden die von der deutschen oleochemischen Industrie gewünschten Fettsäuremuster gentechnisch erarbeitet: Das Speicherfett des lanzettblättrigen Köcherblümchens enthält zu 80 Prozent die mittellange Caprinsäure (C10:0). Bei der Übertragung entsprechender Gene in Rapspflanzen wurden mittlerweile erste Erfolge erzielt.

Raps mit mehr Erucasäure

Erucasäure ist in der Kunststoff- und Photoindustrie ein begehrter Rohstoff. Sie eignet sich zur Herstellung von Kunststoffen, Tensiden, Netzmitteln, Emulgatoren, Weichmachern, Lacken und Pharmazeutika.

Die vorhandenen konventionell gezüchteten Eruca-Rapsorten enthalten im Öl maximal 56 Prozent Erucasäure. Eine weitere Steigerung des Erucasäuregehaltes auf deutlich über 66 Prozent ist nur mit Hilfe der Gentechnik möglich. Gene für die geeignete Fettsäuresynthese-Enzyme müssen in Rapspflanzen übertragen werden. Entsprechende Rapslinien werden mittelfristig zur Verfügung stehen.

Amylopektin-reiche Pflanzen

Kartoffeln werden nicht nur für Ernährungszwecke angebaut. Als nachwachsender Rohstoff findet vor allem Kartoffelstärke breite Verwendung in einer Reihe von industriellen Anwendungen, vor allem in der Papier- und Textilindustrie.

Die Kartoffelstärke besteht aus zwei Komponenten: zu 80 Prozent aus Amylose und zu 20 Prozent aus Amylopektin. Amylopektin eignet sich sehr gut zur Herstellung von Klebstoffen (Kleister), aus Amylose lassen sich beispielsweise biologisch abbaubare Folien herstellen. Bei der industriellen Verarbeitung zu den verschiedenen Produkten müssen Amylose und Amylopektin möglichst vollständig voneinander getrennt werden. Dieser Prozess verbraucht erhebliche Mengen an Wasser und Energie.

Durch einen gentechnischen Eingriff konnte ein Enzym in der Kartoffel blockiert werden, das für die Bildung von Amylose verantwortlich ist. Die transgenen Kartoffeln enthalten nun einen Anteil von nahezu 100 Prozent Amylopektin. Das Amylopektin aus diesen Kartoffeln eignet sich nicht nur für den Einsatz in der technischen Industrie, sondern auch als Binde- und Dickungsmittel in der Lebensmittelindustrie. Die teure, da energieaufwändige Trennung von Amylose und Amylopektin entfällt. Diese neuen Kartoffelpflanzen wurden bereits zu Versuchszwecken angebaut.

Bis Februar 2002 wurden in Deutschland 30 Anträge auf Freisetzung gentechnisch veränderter Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratstoffwechsel gestellt. Hierbei wurden Veränderungen durchgeführt, die die Zusammensetzung der Kartoffelstärke verändern.

Es wird ebenfalls daran gearbeitet, Maissorten mit verändertem Stärkegehalt beziehungsweise veränderten Anteilen an Amylose und Amylopektin für spezielle Industrieanwendungen herzustellen.

Bioplastik aus Pflanzen

Der Umweltschutz steht auf der Prioritätenliste weit oben. Zu den drängendsten globalen Umweltproblemen gehören die Anreicherung von Kohlendioxid in der Erdatmosphäre, die wachsenden Müllberge sowie die Zerstörung von Lebensraum und Artenvielfalt.

In gentechnisch veränderten Pflanzen produziertes Bioplastik könnte helfen, die Umweltbelastung zu reduzieren, die heute durch die Produktion konventioneller Kunststoffe verursacht wird.

Ähnlich wie Tiere Fett als Energiespeicher anlegen, reichern bestimmte Bakterien in ihrem Inneren plastikartige Reservestoffe an. Diese Biokunststoffe werden im Gegensatz zu herkömmlich aus Erdöl hergestellten Kunststoffen aus erneuerbaren Ressourcen wie pflanzlichen Fetten, Ölen oder Kohlenhydraten erzeugt.

Bioplastik ist biologisch abbaubar, da es von einer Vielzahl natürlich vorkommender Mikroorganismen im Kompost oder Klärschlamm als Nahrungsquelle verwendet und zerlegt werden kann.

Verglichen mit aus Erdöl hergestellten Plastikprodukten ist die Gewinnung von Bioplastik aus Bakterien noch relativ teuer, weil die Ausbeute sehr klein ist. Hier könnte die Gentechnik Abhilfe schaffen. Mit gentechnisch optimierten Bakterien oder Pflanzen, die die Kunststoffe als Hauptprodukt ihres Stoffwechsels synthetisieren, wird die Produktion von Bioplastik im industriellen Maßstab angestrebt.

Biokunststoffe dürften zudem eine große Zukunft in der Chirurgie haben, wo körperverträgliche Implantate gefragt sind. Von Interesse sind sie auch für die Verpackungsindustrie.



Die Verwendung kompostierbarer Shampooflaschen, Trinkkartons, Windeln und anderer Verpackungen könnte die heute von konventionellen Kunststoffen verursachte Umweltbelastung enorm reduzieren.

Kunststoffe aus Pflanzen: Biopolymere aus Raps

Biologisch abbaubare Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind ein wertvoller Beitrag für das Abfall-Management. Die Materialien werden unter Einwirkung von Enzymen aus Mikroorganismen leicht abgebaut. So kann das Abfallaufkommen gesenkt werden. Bei den biologisch abbaubaren Kunststoffen konzentriert man sich vor allen Dingen auf die Gruppe der Polyhydroxyalkanoate (PHA).

Solche Bio-Kunststoffe können auch in transgenen Pflanzen, wie etwa Raps, hergestellt werden. Unternehmen wie Zeneca Seeds in Großbritannien und Monsanto in den USA arbeiten an der Entwicklung von PHA-Raps.

5.10.2 Umweltsanierung

Schadstoffabbauende und schadstofftolerante Pflanzen

Schadstoffe können den Menschen direkt oder indirekt über Nahrungsmittel, Wasser und Luft gefährden. Die Gentechnik kann nicht nur mithelfen, Umweltschäden zu vermeiden, sondern auch bestehende Umweltschäden zu beheben, etwa durch schadstoffabbauende Pflanzen oder Mikroorganismen.

Die traditionellen Verfahren zur Sanierung von Altlasten bieten nur begrenzte Möglichkeiten: Schadstoffbelastete Erde wird ausgehoben und in einer Deponie gelagert oder in speziellen Anlagen verbrannt. In beiden Fällen sind die Transportkosten hoch, und der für die Bodenfruchtbarkeit wichtige Humus geht verloren. Bei der Deponierung werden die Schadstoffe nur gelagert, wodurch sich später weitere Risiken ergeben können. In bebautem Gebiet kann unter Umständen verschmutztes Material gar nicht oder nur unter extrem großem Aufwand entfernt werden.

Biologische Sanierungsverfahren stellen eine effiziente, ökologisch sinnvolle und kostengünstige Alternative dar. Ein Beispiel sind Kupfer abbauende Pappeln, die alte Industrieanlagen mit hoher Kupferbelastung im Boden sanieren sollen. Die Pflanzen nehmen das Schwermetall über die Wurzeln auf und speichern es in den Blättern, die eingesammelt werden. Derzeit finden Freilandversuche in Deutschland und Russland statt.

Aluminiumtolerante Pflanzen

Weltweit sind viele Böden mit Aluminium belastet. In der Folge sinken die Erträge oft drastisch. Die Gefahr einer Aluminiumvergiftung ist besonders groß, wenn die Böden einen niedrigen pH-Wert haben. Chinesische und mexikanische Forschergruppen haben ein Gen, das an der Bildung von Zitronensäure beteiligt ist, in verschiedene Pflanzen wie Zuckerrüben, Papaya und Tabak übertragen. Diese transgenen Pflanzen wuchsen im Vergleich zu herkömmlichen Pflanzen wesentlich besser auf sauren und aluminiumbelasteten Böden und ihre Wurzeln entwickelten sich deutlich besser.

Hierbei von einer Problemlösung zu sprechen, ist sicher verfrüht. Das eigentliche Problem, die Aluminiumverseuchung von Böden, wird nicht beseitigt. Aber auf Böden, die bereits kontaminiert sind, könnten solche Pflanzen eines Tages tatsächlich wachsen.

Quecksilberaufnehmende Pflanzen

Amerikanische Wissenschaftler der Universität Georgia konnten transgene Senfpflanzen herstellen, die Quecksilber aufnehmen und in eine wesentlich weniger schädliche chemische Verbindung einbauen können. Gelingt es, die Ergebnisse der Laborarbeiten auf die Praxis zu übertragen, könnten quecksilberverseuchte Böden in Zukunft durch den Anbau derartiger Pflanzen gereinigt statt deponiert werden.

Pflanzen, die Sprengstoff entschärfen

Sprengstoffverseuchte Böden sind auf vielen ehemaligen Militärgeländen oder in Rüstungsbetrieben eine erhebliche Gefahr. Es gibt jedoch Mikroben, die TNT (Trinitro-Toluol) in unschädliche Substanzen umwandeln können, indem sie Sauerstoffatome aus der Verbindung entfernen. Diese Fähigkeit konnte auf Tabakpflanzen übertragen werden. Durch den Anbau dieser Pflanzen hofft man, den Sprengstoffgehalt belasteter Böden verringern zu können.



5.10.3 Molecular Farming

Transgene Nutzpflanzen besitzen ein enormes Potenzial zur Gewinnung von Impfstoffen, Medikamenten oder anderer therapeutisch wertvoller Eiweiße. Die Herstellung von diesen Proteinen in Pflanzen bezeichnet man als „Molecular Farming“.

Die Technologie bietet die Möglichkeit, große Mengen funktionaler Proteine zu niedrigen Preisen zu produzieren. Kritische Parameter im pharmazeutischen Bereich sind neben der Wirtschaftlichkeit die Qualität und Produktsicherheit der erzeugten Proteine. Ein positiver Aspekt bei der Produktion in Pflanzen ist, dass keine Gefahr besteht, die Produkte mit mikrobiellen Giften oder menschlichen Keimen zu verunreinigen. Weltweit wird auf diesem Gebiet intensiv gearbeitet.

Sicherheit und Produktivität durch Plastidentransformation

Besonders bei transgenen Pflanzen, die therapeutisch wirksame Proteine herstellen können, muss verhindert werden, dass die eingeführten Gene über die Pollen an andere Kultur- oder Wildpflanzen weitergegeben werden.

Ein Weg, um das zu verhindern, sind Pflanzen mit Pollen, welche die neue Erbinformationen nicht enthalten und folglich nicht weitergeben können. Um das zu erreichen, werden die Besonderheiten der pflanzlichen Natur genutzt: In der Pflanzenzelle gibt es nicht nur im Zellkern Gene, sondern auch in den Plastiden wie beispielsweise den grünen Chloroplasten. Plastiden haben also ihre eigene DNA, kommen bei den meisten Blütenpflanzen jedoch nicht in den Pollenzellen vor. Im Pollen ist lediglich der Zellkern mit seinen Erbinformationen enthalten. Bei solchen Pflanzen kann man die Fremd-DNA statt in den Zellkern in das Erbgut der Plastiden einführen und damit die neue Erbinformation in der Pflanze biologisch einschließen (Biocontainment). Erst im Jahr 2001 wurde erstmals erfolgreich eine essbare Pflanze, eine Tomate, auf diese Weise gentechnisch verändert.

Bei der Plastidentransformation geht es nicht nur um Sicherheitsaspekte. Wird das Fremdgen in die Plastiden eingeschleust, ist es sehr viel aktiver als im Zellkern. Der Grund: In der Zelle gibt es bis zu 100 Plastiden, die jeweils bis zu 100 Kopien ihres Erbgutes in sich tragen. Die gentechnisch veränderten Pflanzen enthalten auf jeder Kopie in allen Plastiden das neue Gen. In jeder Zelle liegen bis zu 10 000 Kopien des Gens vor. Das führt dazu, dass nach erfolgreicher Übertragung eines Fremdgens fast die Hälfte aller Proteine in der Zelle von diesem Gen gebildet werden. Eine solche Produktivität ist derzeit mit klassischen Verfahren nicht zu erreichen.

Aktueller Entwicklungsstand

International werden unterschiedliche rekombinante Proteine in Pflanzen entwickelt. Tabak eignet sich besonders gut als Forschungspflanze. Eine künftige kommerzielle Produktion könnte auch in Lebensmittelpflanzen wie Mais oder Kartoffeln stattfinden. Hauptsächlich werden Impfstoffe, Antikörper und andere therapeutisch wirksame Proteine produziert. Einige dieser in Pflanzen produzierten Stoffe befinden sich bereits in klinischen Prüfungen. In Kanada wird von der Firma Sem-Bio-Sys Genetics ein Medikament (Hirudin) zur Behandlung von Thrombose kommerziell aus Raps-Pflanzen gewonnen.

Beispiele für die Herstellung von Arzneimitteln in Pflanzen

Medikament/Protein	Pflanze	mögliche Anwendung
HbsAG (Antigen)	Tabak, Kartoffel, Banane	Hepatitis-B-Impfung
Malaria B-Zellen Epitop	Tabak	Malaria-Impfung
Protein SPaA	Tabak	Karies-Impfung
Immunglobuline	Tabak	unterschiedliche Anwendungen
Glucocerebrosidase	Tabak	Gaucher Krankheit
Hirudin	Raps	Thrombose
Hämoglobin	Tabak	Blutersatz
Angiotensin I Enzym	Tabak, Tomate	Bluthochdruck
Erythropoietin	Tabak	Anämie
Human aprotinin	Mais	Trypsininhibitor bei Transplantationen
Interferon alpha	Reis, Nelke	Hepatitis B und C

Tabakpflanzen für Gaucher-Patienten

Das Fehlen des Enzyms Glucocerebrosidase im Körper führt zum Auftreten einer vererb-
baren Krankheit, die als Gaucher-Krankheit oder Morbus Gaucher bekannt ist. Eine be-
stimmte Körpersubstanz, das Glucocerebrosid, kann dabei vom Körper nicht mehr rich-
tig abgebaut werden und sammelt sich in bestimmten Zellen an. Das führt häufig dazu,
dass Leber und Milz stark anschwellen. Die Krankheit ist für die Betroffenen häufig mit
starken Schmerzen und der Notwendigkeit chirurgischer Eingriffe verbunden. Der Wirk-
stoff hGC (human glucocerebrosidase) wird zur Behandlung von Gaucher-Patienten ein-
gesetzt. Es ist das derzeit weltweit teuerste Medikament: Eine Behandlung kostet etwa
160 000 US\$ pro Patient und Jahr. Das Medikament wird dem Patienten in ein- bis zwei-
wöchentlichen Abständen verabreicht. Die dabei eingesetzte Dosis entspricht einem
Äquivalent von etwa 2 000 Mutterkuchen, aus denen das humane Protein isoliert wer-
den musste. Seit 1997 steht der Firma Genzyme, die dieses Medikament herstellt, ein
wesentlich moderneres Verfahren zur Verfügung. Das Mittel wird in gentechnisch verän-
derten Säugerzellen hergestellt. Allerdings konnte der Preis des Medikamentes dadurch
bisher kaum gesenkt werden.

Nun wurde das entsprechende Gen in Tabakpflanzen übertragen. Durch diesen Schritt
wurden hervorragende Ergebnisse erzielt. Eine einzige Tabakpflanze produziert die für
eine Wochendosis benötigte Menge des Wirkstoffs. Es besteht die Aussicht, dass das
Medikament in Zukunft in größerer Menge und wesentlich billiger hergestellt werden
kann.

Impfstoffe aus Bananen

Die Produktion von Impfstoffen und deren Verteilung an Patienten stellt besonders in Entwicklungsländern ein Problem dar. Lebendimpfstoffe können in seltenen Fällen infektiös sein, ihre Produktion ist teuer und sie sind in der Regel ohne Kühlung nicht lange haltbar. Impfstoffe, die in Lebensmitteln produziert werden, könnten da eine Lösung sein. Deshalb wurden versuchsweise transgene Bananen entwickelt, die Impfstoffe gegen Cholera bilden. Der Verzehr dieser Banane kann vor Cholera schützen. In der Banane ist der Impfstoff ohne Kühlung lange haltbar, die Banane kann roh gegessen werden und ihre Produktion ist vergleichsweise preisgünstig. Schwierigkeiten bereitet, dass der Impfstoff im Magen nicht zerstört werden darf und in ausreichender Konzentration vorhanden sein muss.

5.11 Enzyme

- 5.11.1 Was ist ein Enzym?
- 5.11.2 Nutzung vom Altertum bis in die Gegenwart
- 5.11.3 Industrielle Herstellung von Enzymen
- 5.11.4 Potenzial gentechnisch hergestellter Enzyme
- 5.11.5 Gentechnische Herstellungsverfahren für Enzyme
- 5.11.6 Vorteile gentechnisch hergestellter Enzyme
- 5.11.7 Kommerziell erhältliche gentechnisch hergestellte Enzyme
- 5.11.8 Einsatzbereiche von Lebensmittelenzymen



5.11 Enzyme

5.11.1 Was ist ein Enzym?

Enzyme sind spezielle Proteine, die als Katalysatoren biochemische Reaktionen stark beschleunigen oder auch erst ermöglichen. Sämtliche Stoffwechselprozesse der Lebewesen sind biochemische Reaktionen, die ohne Enzyme im Prinzip nicht stattfinden könnten.

Bei der Verdauung wird die Nahrung mit Hilfe von Enzymen in die einzelnen Bausteine zerlegt. Nach der Aufnahme dieser Bausteine in den Körper wird daraus wiederum mit Hilfe von Enzymen Energie gewonnen oder es werden durch andere Enzyme körpereigene Stoffe hergestellt. Jeder lebende Organismus ist auf Enzyme angewiesen.

Enzyme haben eine hohe Spezifität: Sie verändern jeweils ganz bestimmte Stärke-, Fett-, Eiweiß- oder andere Moleküle an genau definierten Stellen. Enzymatische Reaktionen benötigen anders als viele chemische Prozesse weder hohe Temperaturen noch hohe Drücke und sind daher in der Regel weniger energieaufwändig. Aus diesem Grund werden Enzyme in steigendem Ausmaß auch in der industriellen chemischen Produktion eingesetzt.

5.11.2 Nutzung vom Altertum bis in die Gegenwart

Obwohl Enzyme uns seit jeher begleiten, gelang es erst der modernen Wissenschaft, ihr volles Potenzial als Hilfsmittel erschließen zu können.

- 2000 v.Chr.** Seit dem Altertum hat sich der Mensch die katalytischen oder „verändern“ Eigenschaften bestimmter Enzyme zur Herstellung von Lebensmitteln zunutze gemacht. Die Ägypter und Sumerer entdeckten die Gärung (Fermentation) und nutzten sie zum Bierbrauen sowie zur Brot- und Käseherstellung.
- 800 v.Chr.** Die Anwendung von Kälbermägen (und damit dem Enzym Chymosin) zur Käseherstellung wird in Homers „Ilias“ und „Odyssee“ erwähnt.
- 1833** Erstmals wird der Enzymkomplex des Malzes isoliert.
- 1874** Chymosin (Labferment) wird erstmals aus Kälbermägen extrahiert.
- 1897** Glucose wird mit zellfreiem Hefeextrakt in Ethanol und Kohlendioxid umgewandelt. Das ist der Beweis, dass die Umwandlung durch Enzyme und nicht durch die lebenden Hefezellen selbst verursacht wird.
- um 1900** Ein Verfahren zur industriellen Herstellung der stärkeabbauenden Amylase aus dem Pilz *Aspergillus oryzae* wird entwickelt.
- 1913** Die Effektivität von Waschmitteln wird durch die Zugabe des eiweißabbauenden Enzyms Trypsin, das aus Bauchspeicheldrüsen gewonnen wird, verbessert. Das Erzeugnis wurde bis in die sechziger Jahre unter dem Namen „Burnus“ vermarktet.
- 1917** Erstmals wird eine Amylase aus dem *Bacillus subtilis* genutzt, um Säuren, Basen und Oxidationsmittel zu ersetzen, die früher bei der Entschlichtung von Textilien (Entfernung der Stärke, die bei der Textilherstellung benutzt wird) verwendet wurden. Die Massenproduktion des Enzyms begann nach Ende des Zweiten Weltkrieges.

- 1950** Erstmals wird ein Waschmittel entwickelt, dem statt Trypsin aus Bauchspeicheldrüsen eine bakterielle Protease (eiweißabbauendes Enzym) zugegeben wird.
- um 1960** Das Enzym Amyloglucosidase wird verwendet, um Stärke vollständig in Glucose (Zuckersirup) abzubauen, was schnell zum fast vollständigen Ersatz von Säure in der Glucoseherstellung führt.
- 1971** Bakterielltes Chymosin wird als Ersatz für Lab aus Kälbermägen für die Käseherstellung verfügbar.
- um 1980** Enzyme werden genutzt, um die Effektivität von Chlor in der Papierbleiche zu erhöhen. Der Chlorverbrauch kann drastisch gesenkt werden.
- 1982** Amylase für die Stärkeindustrie wird in gentechnisch veränderten Mikroorganismen hergestellt.
- 1988** Fettabbauende Lipasen werden für den Einsatz in Waschmitteln entwickelt.
- 1988** Chymosin wird erstmals in gentechnisch veränderten Hefezellen hergestellt.
- 1997** Chymosin aus gentechnisch veränderten Mikroorganismen wird in Deutschland zugelassen.
- seit 1988** Viele in der Lebensmittelproduktion eingesetzte Enzyme werden gentechnisch erzeugt. Für Waschmittel gibt es verbesserte Enzyme. Diese wurden ausgehend von einem in der Natur vorkommenden Enzym durch gezielte Veränderung der molekularen Struktur für besondere Einsatzmöglichkeiten optimiert. Eine ähnliche Entwicklung ist für den Lebensmittelbereich vorhersehbar.



5.11.3 Industrielle Herstellung von Enzymen

Obwohl Enzyme in allen Lebewesen vorkommen, werden sie dort zumeist nur in kleinen Mengen und niedrigen Konzentrationen gebildet. Um Enzyme in den von der Lebensmittelindustrie benötigten Mengen zu gewinnen, werden sie heute in der Regel von speziell gezüchteten Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen oder Pilzen produziert. Diese „Produktionsorganismen“ lassen sich einfach und zuverlässig unter industriellen Bedingungen kultivieren.

Für viele Mikroorganismen liegen langjährige Erfahrungen bezüglich ihres Einsatzes in der Lebensmittelindustrie vor, und sie haben sich als absolut sicher erwiesen. Beispielsweise werden bestimmte Pilze schon seit Jahrhunderten zur Herstellung von Sojasaucen eingesetzt.

Unter einem industriellen oder technischen Enzym wird ein in ausreichend großen Mengen hergestelltes Enzym verstanden, das in der Erzeugung oder Verarbeitung eines Endprodukts eingesetzt wird. Einsatzmöglichkeiten von Enzymen sind:

- als Hilfsmittel in der Lebensmittel-, Textil-, Leder- und Papierherstellung,
- in der Abwasserreinigung,
- als Waschmittelzusatz.

Zur Gewinnung eines technischen Enzyms wird der entsprechende Produktionsorganismus in einem großen mit Nährlösung gefüllten Gärbehälter kultiviert, dem Fermenter. Die Wachstumsbedingungen – die Zusammensetzung der Nährlösung, Temperatur, Sauerstoffzufuhr usw. – werden optimal gewählt, so dass sich die Mikroorganismen rasch vermehren und große Mengen des gewünschten Enzyms produzieren. Ist der Wachstumsprozess abgeschlossen, wird das Enzym aus der Nährlösung isoliert und gereinigt. Die Enzyme sind identisch mit den unter natürlichen Bedingungen gebildeten. Am Ende werden die konzentrierten Enzyme in flüssiger Form oder als Granulat abgepackt.

Die bei der Nahrungsmittelherstellung eingesetzten Enzyme sind in der Regel nicht mehr im Endprodukt vorhanden. Einige werden im Verlauf des Verarbeitungsprozesses inaktiviert: Backenzyme durch Hitze oder Enzyme zur Fruchtsaftherstellung durch Pasteurisieren. Andere Enzyme werden in „immobilisierter“ Form verwendet. In diesen Fällen sind die Enzyme auf einem Trägermedium fixiert und wirken „von außen“ auf ein Lebensmittel ein.

Enzyme gelten lebensmittelrechtlich als technische Hilfsstoffe oder in Ausnahmefällen auch als Zusatzstoffe. In Deutschland ist für technische Hilfsstoffe – unabhängig von der Art und Weise ihrer Herstellung – keine Zulassung erforderlich und sie müssen im Rahmen der Zutatenliste nicht deklariert werden.

5

5.11.4 Potenzial gentechnisch hergestellter Enzyme

Seit erkannt wurde, dass Enzyme wesentlich zur Verbesserung von Lebensmitteln und zur Vereinfachung von Herstellungsprozessen beitragen können, haben Wissenschaftler die Suche nach natürlich vorkommenden Enzymen verstärkt. Viele der benötigten Enzyme konnten lange Zeit aus folgenden Gründen nicht in der gewünschten Größenordnung wirtschaftlich hergestellt werden:

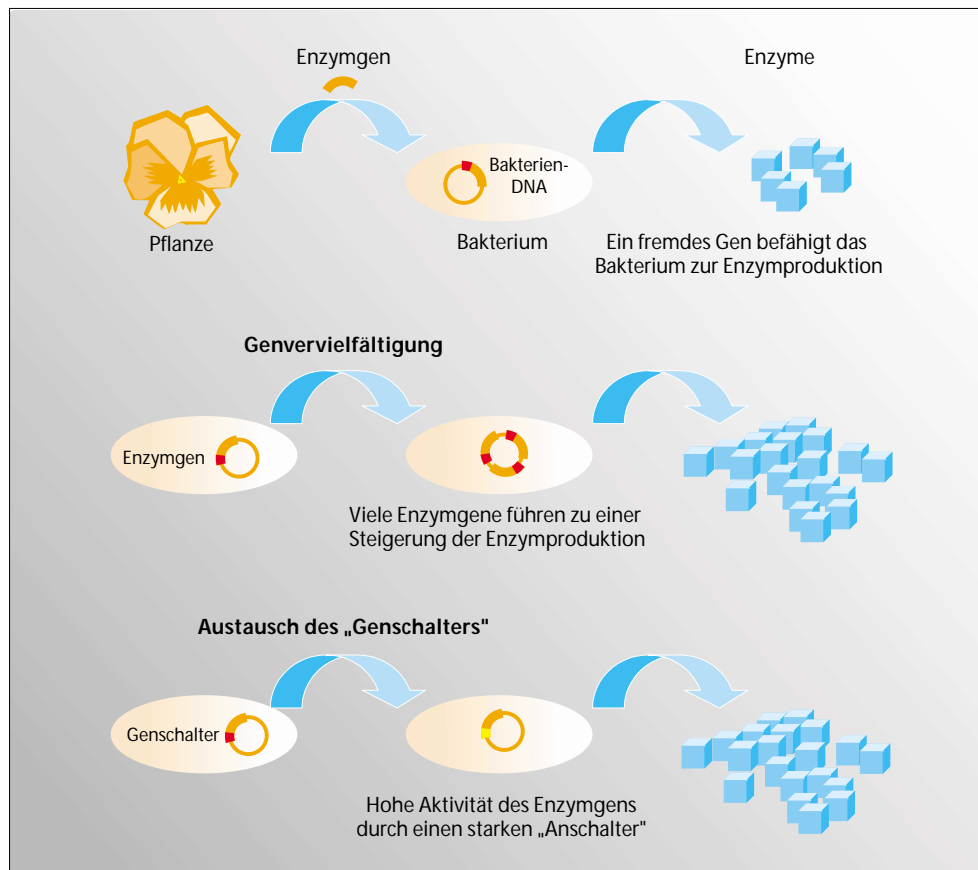
- Der Mikroorganismus produziert das Enzym nur in geringer Menge.
- Das gewünschte Enzym kann nicht sauber genug aufbereitet werden.
- Das gewünschte Enzym arbeitet unter den jeweiligen Prozessbedingungen schlecht, da es etwa die dort herrschenden Temperaturen oder den pH-Wert nicht verträgt.

Die Gentechnologie eröffnet verschiedene Möglichkeiten zur Problemlösung:

Warum Gentechnologie?	Gentechnisches Verfahren	Beispiel
Das passende Enzym wurde zwar gefunden, kann jedoch nur mittels gentechnischer Verfahren in größeren Mengen hergestellt werden.	Der Mikroorganismus könnte so verändert werden, dass er mehrere Kopien des Gens enthält, das das Enzym codiert. Die Produktionsrate erhöht sich dadurch (siehe 5.11.5) → Homologer Gentransfer (arteigener Gentransfer)	Xylanase , ein Enzym, das das Aufgehen des Brotteigs beim Backen verbessert
Das passende Enzym wurde zwar gefunden, der Mikroorganismus ist aber für die Produktion des Enzyms in großen Mengen ungeeignet oder es sind keine Mikroorganismen bekannt, die das Enzym natürlicherweise produzieren. Dies ist dann der Fall, wenn der Mikroorganismus im Fermenter nicht gut wächst, sich beim Einsatz von Lebensmitteln nicht als sicher erweist oder wenn das Enzym nur in Pflanzen oder Tieren vorkommt.	In diesem Fall wird das Gen, das das Enzym produziert, in einen anderen Wirtsorganismus eingeführt, dessen Sicherheit und Produktivität erwiesen sind. → Heterologer Gentransfer (artfremder Gentransfer)	Chymosin für die Fällung von Milcheiweiß in der Käseherstellung. Es kann in einem Mikroorganismus hergestellt werden, so dass auf die herkömmliche Quelle – der Magen von Milchkälbern – nicht länger zurückgegriffen werden muss.
Ein Enzym arbeitet unter den vorgegebenen Verarbeitungsbedingungen nicht oder nicht effizient genug. Beispielsweise findet der vorgegebene Verarbeitungsprozess eines Lebensmittels in zu heißer oder zu saurer Umgebung statt. Das Enzym wird zerstört oder ist inaktiv.	Hier bedarf es hochspezifischer und gezielter Veränderungen im Gen, das für das Enzym codiert. → Genmodifikation („protein engineering“)	Auf diese Weise wurde ein Enzym hergestellt, das Stärke in einen Süßstoff mit hohem Fruchtzuckergehalt umwandelt. Natürlicherweise kommt es in Honig und Früchten vor.

Quelle: AMFEP





Gesteigerte Enzymproduktion mittels Mutationszüchtung oder Gentechnik

5.11.5 Gentechnische Herstellungsverfahren für Enzyme

Es gibt drei Ansätze zur wirtschaftlichen Herstellung bekannter Enzymen mit gentechnischen Methoden.

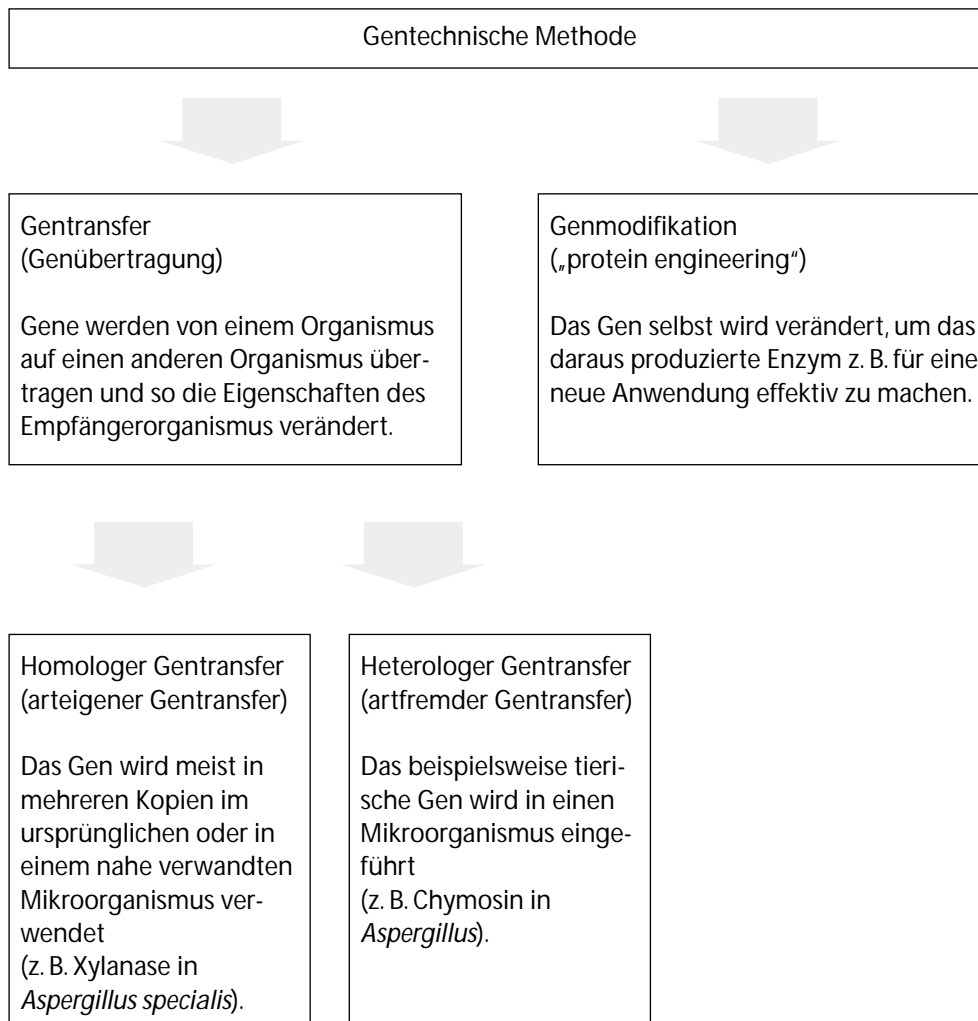
Die Gene für ein Enzym, das beispielsweise aus einer Pflanze oder einem Tier stammt, können in einen Mikroorganismus übertragen und in ihm produziert werden.

Die Produktionsleistung eines Mikroorganismus, der das Enzym natürlicherweise produziert, kann dadurch vergrößert werden, dass das Enzymgen im Mikroorganismus vervielfältigt wird (Erhöhung der Genkopienzahl).

Ein dritter Weg ist die Verknüpfung des Enzymgens mit einem stärkeren „Genschalter“, der die Aktivität des Gens und damit letztendlich die Enzymmenge erhöht.

Will man die Eigenschaften bekannter Enzyme ändern, so kann man durch Veränderung der Geninformation ihre Molekülstruktur ändern. So können Enzyme hergestellt werden, die beispielsweise unter anderen Temperaturen oder pH-Werten funktionieren als ihre natürlichen Vorgänger. Durch dieses „protein engineering“ entstehen Enzyme, die für technische Prozesse besser geeignet sind als ihre natürlichen Vorlagen.

Gentechnische Herstellungsverfahren von Enzymen



Quelle: AMFEP

5.11.6 Vorteile gentechnisch hergestellter Enzyme

Heute werden weit mehr als 90 Prozent der in der Lebensmittel- und Waschmittelindustrie eingesetzten Enzyme aus gentechnisch veränderten Organismen gewonnen. Der fast vollständige Ersatz der konventionellen Enzymquellen hat folgende Gründe:

Verfügbarkeit: Einige Enzyme, die in der Natur von Pflanzen, Tieren oder seltenen Mikroorganismen produziert werden, können nur mit gentechnischen Verfahren wirtschaftlich hergestellt werden.

Effizienzsteigerung: Enzyme können derart verändert werden, dass sie zum Beispiel höhere Stoffwechselleistungen erbringen oder kostengünstigere Rohstoffe umsetzen.

Geringeres Hygienierisiko: Ein Enzym kann aus einem Mikroorganismus häufig viel reiner als aus seinem ursprünglichen Wirtsorganismus gewonnen werden. So ist gentechnisch hergestelltes Chymosin zu 98 Prozent rein, das aus Kälbermägen gewonnene dagegen nur zu 75 Prozent.

Höhere Prozesssicherheit: Oft können Enzyme nicht im ursprünglichen Mikroorganismus hergestellt werden, da dieser für den Einsatz im Lebensmittelbereich ungeeignet ist.

Wirtschaftlichkeit: Durch Verkürzung der Verfahrensdauer oder Einsparung von Ressourcen während des Herstellungsprozesses.

Umweltschutz: Endliche Ressourcen werden geschont und die Abfallmenge wird reduziert (siehe Kapitel 8).

5.11.7 Kommerziell erhältliche gentechnisch hergestellte Enzyme

Weltweit werden mindestens 30 verschiedene gentechnisch hergestellte Enzyme kommerziell vertrieben. Viele von ihnen können in der Lebensmittelindustrie verwendet werden. Andere werden im Non-Food-Bereich eingesetzt wie bei der Herstellung von Papier, Leder oder Textilien sowie in der Abwasseraufbereitung und in Waschmitteln.

In der folgenden Tabelle werden Enzyme und ihre Hauptverwendungszwecke aufgeführt.

Enzym	Anwendung (Beispiele)
α -Acetolactat-Decarboxylase	Getränke (Brauerei)
Aminopeptidase	Käse, Milch, Gewürze, Getränke
α -Amylasen	Getreide und Stärke, Getränke, Futtermittel, Textilien, Waschmittel, Zellulose und Papier, Abwasseraufbereitung, Früchte und Gemüse, Zucker und Honig, Backwaren, Geschirrspülmittel, Verschiedenes
Amylo-glucosidase	Stärkeverarbeitung
Arabinofuranosidase	Getränke, Backwaren
Catalasen	Milch, Eier, Textilien, Verschiedenes
Cellulasen	Textilien, Waschmittel, Futtermittel
Chymosin	Käse
Cyclodextrin-Glycosyl-Transferase (CGTase)	Getreide und Stärke
Decarboxylase	Brauerei
α -Galactosidase	Futtermittel
β -Glucanase	Getreide und Stärke, Futtermittel, Diätahrung
endo-1,3- α -Glucanase	Papierindustrie
Glucose-Isomerase	Getreide und Stärke
Glucose-Oxidasen	Eier, Getränke, Backwaren, Salate, Verschiedenes
2-Haloalkanoate-Dehalogenase	Verschiedenes (Non-Food-Bereich)

Enzym	Anwendung (Beispiele)
Hemicellulase	Backwaren
Laccase	Textilindustrie
Lipase	Fette und Öle, Backwaren, Nudeln, Milchprodukte, Futtermittel, Waschmittel, Geschirrspülmittel, Zellulose und Papier, Leder, Verschiedenes
Maltogene Amylase	Getreide und Stärke, Getränke, Backwaren
endo-1,4- β -Mannanase	Futtermittel
Pectat-Lyase	Textilindustrie
Pectin-Lyase	Getränke
Pectinase	Getränke (Fruchtsäfte)
Pectinesterase	Fruchtzubereitungen, Fruchtsäfte
Pectintranseliminase	Fruchtverarbeitung
Penicillin-Amidase	Verschiedenes (Non-Food-Bereich)
Phospholipase (A u. B)	Backwaren, Stärke
Phytase	Futtermittel
Protease	Käse, Waschmittel, Fleisch, Fisch, Getreide und Stärke, Getränke, Backwaren, Salate, Futtermittel, Zellulose und Papier, Leder, Geschirrspülmittel, Verschiedenes
Pullulanase	Getreide und Stärke, Getränke, Backwaren
Transferase	Stärkeindustrie
Xylanase	Backwaren, Getränke und Stärke, Futtermittel, Textilien, Zellulose und Stärke

Quelle: AMFEP, BATS, Novo Nordisk, BAG (April 2000)

5.11.8 Einsatzbereiche von Lebensmittelenzymen

Stärkeverzuckerung

Der wirtschaftlich wichtigste Einsatzbereich von Enzymen in der Lebensmittelproduktion ist die Stärkeverzuckerung. Stärke ist ein Mehrfachzucker, der aus dem Einfachzucker Glucose aufgebaut ist. Enzyme spalten in einem mehrstufigen Prozess pflanzliche Stärke aus Mais oder Kartoffeln in ihre Zucker-Grundbausteine auf. Auf diese Weise können Süßungsmittel nicht nur aus Zuckerrohr und Zuckerrüben, sondern auch aus pflanzlicher Stärke gewonnen werden.

Anstelle der starken Säuren, die früher verwendet wurden, werden heute bei der Stärkeverzuckerung fast nur noch Enzyme eingesetzt. Da sie auf die verzweigten Stärkemoleküle jeweils nur an bestimmten Stellen einwirken, lässt sich der Verzuckerungsprozess gezielt steuern. So werden Kohlenhydrate und Stärkesirupe mit unterschiedlichen Eigenschaften gewonnen, die als Zutaten und Zusatzstoffe in einer Vielzahl von Lebensmitteln Verwendung finden.

Der Prozess der Stärkeverzuckerung verläuft in drei Stufen. An jedem Schritt sind Enzyme beteiligt, die mittlerweile überwiegend mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen hergestellt werden:

1. Stärkeverflüssigung: Die Stärke wird in verschiedene Zuckereinheiten aufgespalten. Die eingesetzten stärkespaltenden Enzyme, die Amylasen, sind überwiegend gentechnisch hergestellt.
2. Stärkeverzuckerung: Das Stärke-Zucker-Gemisch wird weiter zu Einfachzuckern abgebaut. Es bildet sich Glucosesirup, der in vielen Süß- und Backwaren ganz oder teilweise den traditionellen Zucker ersetzt. In dieser Stufe wird wiederum die spezifische Wirkung bestimmter Enzyme (Glucoamylase und Pullulanase) genutzt.
3. Isomerisierung: Ein weiteres Enzym (Glucose-Isomerase), das ausschließlich gentechnisch hergestellt wird, wandelt einen Teil der Glucose in Fructose um.

Nach mehrmaligem Prozessdurchlauf steigen der Fructosegehalt und damit die Süßkraft immer weiter an – bis der gewonnene Zuckersirup fast die Süßkraft von Saccharose erreicht. In den USA ist dieser sogenannte „High Fructose Corn Sirup“ das wichtigste Produkt der Maisstärkeindustrie.

Käse und andere Milchprodukte

Zur Produktion von Käse wird traditionell das im Magen säugender Kälber entstehende Lab beziehungsweise das darin enthaltene Enzym Chymosin verwendet. Bei den Kälbern sorgt das Lab dafür, dass die vom Jungtier aufgenommene Milch gerinnt und stellt dadurch die Verdauungsfunktion sicher. Die Milchgerinnung wird dadurch ausgelöst, dass Lab das Haupteiweiß der Milch spaltet, das Casein, wodurch dieses unlöslich wird und ein Gel bildet. Die Milchgerinnung war bereits in der Antike bekannt. Damals wurde die Milch in Mägen aufbewahrt, und „wundersam“ verdickte sich diese durch noch vorhandenes Lab. Unsere Vorfahren lernten die geronnene Milch als delikate Speise schätzen. So ließ sich Milch über einen gewissen Zeitraum bevorraten und leicht transportieren. Wahrscheinlich wussten die Römer die Verarbeitung von Milch zu Käse mit Kälbermagenlab bewusst zu nutzen.

Ab 1960 wurde nach Ersatz für das tierische Lab gesucht. Forscher entdeckten, dass auch Eiweiße gewisser Schimmelpilze Milch gerinnen lassen. Das war aber keine befriedigende Alternative, da die Schimmelpilze in ihrer Wirkung mit dem Kälbermagenlab nicht identisch sind. Werden derartige „Labersatzstoffe“ verwendet, bilden sich im Käse häufig unerwünschte Aromakomponenten und Bitterstoffe, die ganze Produktpartien unbrauchbar machen.

Gentechnisch hergestelltes Labferment sichert hingegen den weltweiten Bedarf an Chymosin: Die Käseproduktion hat einen enormen Aufschwung erfahren. Jährlich werden weltweit rund 14 Mio. Tonnen Käse hergestellt. Um diese Menge zu produzieren, werden etwa 56 000 kg reines Lab benötigt, das theoretisch aus 70 Millionen aufgearbeiteten Kälbermägen gewonnen werden müsste. Derzeit werden zum einen die Mägen von Kälbern genutzt, die für die Produktion von Kalbfleisch geschlachtet werden, zum

anderen wird der Bedarf durch fermentativ gewonnene Labersatzstoffe gedeckt. Für die Labgewinnung werden zurzeit wahrscheinlich weniger als 10 Millionen Kälbermägen jährlich gesammelt. Da der Verzehr von Kalbfleisch stetig zurückgeht, ist die weltweite Versorgung mit tierischem Lab längerfristig nicht sichergestellt.

Den Durchbruch schaffte die Gentechnik. Das Gen für Chymosin wurde aus den Schleimhautzellen von Kälbern isoliert und in das Erbgut eines Mikroorganismus eingebracht. Dieser war daraufhin in der Lage, selbst Chymosin zu produzieren.

Gentechnisch hergestelltes Chymosin ist heute in vielen Ländern der Welt zugelassen, seit 1997 auch in Deutschland. Hier wird es aber bisher noch nicht eingesetzt, wohingegen in den USA, Irland und Großbritannien mehr als die Hälfte des Käses mit gentechnisch hergestelltem Lab produziert wird. Allein in den USA wurden 6 bis 7 Mio. Tonnen Käse damit produziert.

Brot und Backwaren

Brot ist eines unserer ältesten Lebensmittel. Seit Menschen Brot backen, spielen Mikroorganismen und ihre Enzyme dabei eine wichtige Rolle. Die wichtigsten Enzyme beim Backen sind die Amylasen. Sie spalten die im Mehl enthaltene pflanzliche Stärke in Glucose. Diese wird dann durch die Bäckerhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) in Alkohol und Kohlendioxid umgewandelt, wodurch der Brotteig aufgeht.

Einige für die biochemischen Vorgänge im Teig wichtigen Enzyme sind natürlicherweise im Getreide vorhanden. Bei der Züchtung der modernen Getreidesorten war ein möglichst hoher Stärkegehalt des Korns ein wichtiges Ziel. Das daraus hergestellte Mehl enthält nur wenig Protein und damit wenige Enzyme. Deshalb werden dem Teig seit längerem industrielle Enzyme zugegeben. Verschiedene Enzyme tragen dazu bei, nicht nur die Produkteigenschaften von Brot und Backwaren zu verbessern, sondern auch die Teigverarbeitung zu erleichtern.

Verschiedene Enzympräparate können inzwischen mit Hilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen gewonnen werden.

Backenzym	Funktion	Wirkung beim Backen
Amylasen	spalten Stärke in Glucose	Lockereres Hefebrot mit mehr Volumen Bessere Krustenstabilität und Lagerfähigkeit, Verzögerung des Austrocknens
Hemicellulasen, Xylanasen, Pentosanasen	bauen verschiedene Faser- substanzen und Schleimstoffe in den Zellwänden von Ge- treide ab	verbesserte Teigeigenschaften gute Maschinengängigkeit verbesserte Krustenstabilität und Konsistenz
Proteasen	bauen Getreide-Proteine ab (z. B. Weizenkleber)	verbesserte Teigführung und maschinelle Verarbeitungsfähigkeit



Fruchtsäfte und andere Getränke

Fruchtsaft

Ein klassisches Anwendungsfeld für Enzyme ist die Fruchtsaftgewinnung. Seit Jahrzehnten werden hier Pektinasen eingesetzt. Pektine sind die Stützsubstanzen in pflanzlichen Zellwänden. Pektinasen können diese abbauen und damit die Saftausbeute beim Pressen deutlich erhöhen. Zur Saftgewinnung aus Beeren, Südfrüchten, Äpfeln und Birnen sind Pektinasezusätze allgemein üblich. In einigen Fällen tragen Pektinasen dazu bei, Trübstoffe abzubauen und die Säfte zu klären. So verstopfen die Filter weniger schnell. Für einzelne Pektinase-Typen sind gentechnische Herstellungsverfahren entwickelt worden.

Bier

Seit Bier von den alten Ägyptern gebraut wurde, sind Mikroorganismen und ihre Enzyme daran beteiligt. Für die Malzbereitung wird Gerste zum Keimen eingefeuchtet. Während des Keimens werden Amylasen gebildet, die Stärke innerhalb einer Woche zu Maltose abbauen. Maltose oder Malzzucker ist ein Zweifachzucker und besteht aus zwei Molekülen Glucose. Das Grünmalz wird luftgetrocknet. Dabei welken die Keimlinge ab, während die Enzymaktivität erhalten bleibt. Die Keime werden abgetrennt und die Körner anschließend bei einer Temperatur von 60 bis 90°C gedorrt. Die grob gemahlene Malzkörner werden dann in Bottichen mit heißem Wasser verrührt, wo weitere Stärke abgebaut wird (Maischen). Die dabei entstehende süße Flüssigkeit, die Würze, wird mit Hopfen versetzt und im Braukessel gekocht. Dabei werden die Enzyme zerstört und die für den Biergeschmack und die Haltbarkeit wichtigen Substanzen aus dem Hopfen gelöst. Die gehopfte Würze kommt nach dem Klären in den Gärkeller. Hier werden Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*) zugesetzt, die fast den gesamten Zucker in Alkohol und Kohlendioxid umwandeln.

Prozesshilfen

Das gentechnisch hergestellte Enzym Acetolactat-Decarboxylase wird eingesetzt, um Bitterstoffe schneller zu entfernen. Ein anderes, β -Glucanase, baut unlösliche Reste aus den Zellwänden der Gerste (β -Glucane) vollständig ab, wodurch die Filtrationszeit stark verkürzt werden kann.

Im Ausland werden solche Enzyme zum Bierbrauen verwendet, in Deutschland dagegen aufgrund des Deutschen Reinheitsgebots nicht.

5.12 Zusatz- und Aromastoffe



5.12 Zusatz- und Aromastoffe

In der Lebensmittelverarbeitung wird eine Vielzahl von Zusatzstoffen eingesetzt. Hierzu gehören Vitamine, Süßstoffe, Geschmacksverstärker, Aminosäuren, Farbstoffe, Konservierungsstoffe, Verdickungsmittel und Emulgatoren. Da Zusatzstoffe wie Enzyme in Mikroorganismen produziert werden können, wird auch hier versucht, die Produktion durch gentechnische Veränderungen zu optimieren und ökonomischer zu machen. Dies ist allerdings nicht so einfach wie in der Enzymproduktion. Im Unterschied zu den Enzymen, deren Produktion jeweils von einem spezifischen Gen gesteuert wird, sind die Zusatzstoffe meist Produkte komplizierter Stoffwechselwege, an deren Steuerung verschiedene Gene beteiligt sein können. Daher müssen meist mehrere Gene gleichzeitig übertragen beziehungsweise verändert werden, um die Produktionsorganismen zu optimieren. Wirtschaftlich spielen diese Stoffe daher – noch – keine entscheidende Rolle.

Gelungen ist bereits die Vitamin-C-Produktion mit Hilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen. Ausgehend von Glucose kann Vitamin C in einem Mikroorganismus synthetisiert werden. Dadurch konnten die vier chemischen Prozessstufen der konventionellen Synthese ersetzt werden, was zu einer spürbaren Entlastung der Umwelt führt.

Zusatzstoffe, die in gentechnisch veränderten Organismen produziert werden können

Aminosäuren	Arginin, Lysin, Isoleucin, Tryptophan
Konservierungsstoffe	Nisin, Natamycin, Iso-Ascorbinsäure
Süßstoffe	Thaumatococcus, Aspartam (aus Phenylalanin)
Geschmacksverstärker	Glutaminsäure, Guanylsäure, Inosinsäure
Aromastoffe	Diacetyl (Butteraroma), Vanillin
Vitamine	Vitamin B12, Vitamin B2, Vitamin B6, Vitamin C

Quelle: Jany, BLL 1998

5.13 Starter- und Schutzkulturen



5.13 Starter- und Schutzkulturen

Seit langem werden Mikroorganismen zur Herstellung und Veredelung fermentierter Lebensmittel eingesetzt. Hefen werden zur Produktion von Brot, Wein und Bier verwendet, Milchsäurebakterien und Schimmelpilze helfen bei der Produktion von Käse, Joghurt, Sauer Milch, Rohwurst oder Sauerteig. Als Starterkulturen werden die Mikroorganismen den Rohwaren zugesetzt, um einen kontrollierten Fermentationsprozess zu gewährleisten, zum Beispiel die Vergärung, Rohwurstreifung oder das „Gehen“ des Brotteigs.

Schutzkulturen können empfindliche Frischprodukte wie Fleisch oder Salat vor dem vorzeitigen Verderb bewahren, indem sie Stoffe ausscheiden, die Krankheitserreger am Wachstum hindern oder abtöten.

Um Kulturen zu erhalten, die ihrem jeweiligen Produktionssystem optimal angepasst sind und dort ihre Aufgaben möglichst effizient erledigen, werden die bekannten Mikroorganismen mit gentechnischen Methoden verbessert.

Ziele der gentechnischen Veränderung von Starter- und Schutzkulturen

Biokonservierung	Starterkulturen können durch Viren befallen werden, was Produktionsausfälle zur Folge hat. Mit Hilfe gentechnischer Methoden werden Milchsäurebakterien gezüchtet, die gegen Virenbefall resistent sind.
Zerstörung von Fremdkeimen	Milchsäurebakterien produzieren antimikrobielle, also keimabtötende Stoffe (z. B. Lysozym). Diese spielen eine wichtige Rolle in der Herstellung von Sauer Milch oder Käse, weil sie das Wachstum von konkurrierenden Mikroorganismen unterbinden. Mit Hilfe der Gentechnologie kann die Konkurrenzkraft der Kulturen gegenüber Fremdkeimen optimiert werden.
Geschmacksverbesserung	Während der Gärung kann Bierhefe α -Acetolactat bildet, das in einen unangenehm schmeckenden Stoff umgewandelt wird. In Japan wurde eine gentechnisch veränderte Bierhefe entwickelt, die ein Enzym enthält, das α -Acetolactat spalten kann und die Ausbildung des unangenehmen Geschmacks unterbindet.
Beschleunigung des Herstellungsprozesses	In der Käse reifung spielen eiweißspaltende Substanzen eine wichtige Rolle. Sie sorgen für die Entwicklung des Aromas. Diese Substanzen werden von Milchsäurebakterien produziert. Gentechnisch optimierte Milchsäurebakterien können mehr dieser wichtigen Substanzen produzieren, so dass die Käse reifung beschleunigt werden kann. Für die Backindustrie wurde eine Hefe entwickelt, die die Gehzeit des Teiges verkürzt. Normalerweise kommt es zu Verzögerungen der CO ₂ -Produktion während des Gähprozesses. Die gentechnisch veränderte Hefe produziert kontinuierlich CO ₂ . Dieser Hefepilz war 1990 in Großbritannien der erste lebende, gentechnisch veränderte Organismus, der für den Einsatz in Lebensmitteln zugelassen wurde.

<p>Zugang zu neuen Produkten</p>	<p>Light-Bier: Unter Mithilfe einer gentechnisch veränderten Hefe wurde in Großbritannien zu Forschungszwecken ein Light-Bier entwickelt. Die Hefe sorgt dafür, dass Dextrin – ein kalorienreiches Abbauprodukt der Stärke – schnell abgebaut wird. Bei der herkömmlichen Herstellung von Light-Bier muss Dextrin in einem zusätzlichen Arbeitsschritt entfernt werden.</p> <p>Alkoholfreies Bier: Eine Bierhefe, die keinen Alkohol erzeugt und trotzdem das Bieraroma voll ausbildet, befindet sich im Entwicklungsstadium. Bei den heutigen Verfahren zur Herstellung von alkoholfreiem Bier wird der Alkohol nachträglich entfernt, wobei Geschmacks- einbußen nicht zu vermeiden sind.</p>
---	---



Anhang

Informationsquellen – Bücher und Internet

Literatur

- Affolter, Michael; et al. (1998), Gen-Welten Ernährung
- Berg, Paul; Singer, Maxine (1992), Gene und Genome, Spektrum Akademischer Verlag
- Brandt, Peter (1995), Transgene Pflanzen, Birkhäuser Verlag
- Erbersdobler, Helmut F.; et al. (1995), Gentechnik und Ernährung, Wiss. Verl.-Ges.
- Gassen, Hans Günter; et al. (1997), Handbuch Gentechnologie und Lebensmittel, Behr's Verlag
- Gassen, Hans-Günther; Minol, Klaus (1996), Gentechnik, Gustav Fischer Verlag
- Hampel, Jürgen; Renn, Ortwin (1999), Gentechnik in der Öffentlichkeit, Campus Verlag
- James, Clive: (Preview) Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2001, The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). Ithaca, New York
- Menrad, Klaus; et al. (1999), Future Impacts of Biotechnology an Agriculture, Food Production and Food Processing, Physica-Verlag
- Norton, Ellen; Angela Lindner (1997), Gentechnik im Alltag, vgs

Internet-Links

Australien:

Australian Centre for International Agricultural Research:
<http://www.aciar.gov.au/acr4.htm>

Gene Technology in Australia: <http://genetech.csiro.au>

Deutschland:

Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID): <http://www.aid.de>

Biologische Bundesanstalt (BBA): <http://www.bba.de/datbank/datbank.htm>

bioSicherheit - Informationsplattform der Biologischen Sicherheitsforschung an Pflanzen: <http://www.biosicherheit.de>

Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV): <http://www.bgvv.de>

Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde (BLL): <http://www.bll.de>

Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE): <http://www.dge.de/e-image.htm>

Deutsche Stiftung Weltbevölkerung: <http://www.dsw-online.de>

GENIUS Biotechnologie Homepage: <http://www.genius-biotech.de>

Informations Sekretariat Biotechnologie: <http://www.i-s-b.org>

Robert Koch-Institut (RKI): <http://www.rki.de/GENTEC/GENTEC.HTM>

TransGen Datenbank: <http://www.transgen.de>

Europäische Union:

EUFIC Biotechnology: <http://www.eufic.org/gb/tech/fttech.htm>

European Commission - Scientific Committee on Foods:
http://europa.eu.int/comm/dg24/health/sc/scf/index_en.html

European Federation for Biotechnology:
<http://www.kluyver.stm.tudelft.nl/efb/home.htm>

European Initiative for Biotechnology Education: <http://www.rdg.ac.uk/EIBE/>

Frankreich:

Institut français pour la nutrition: <http://www.ifn.asso.fr>

Großbritannien:

British Nutrition Foundation: <http://www.nutrition.org.uk>

Institute for Food Research: <http://www.ifrn.bbsrc.ac.uk>

Institute for Food Science and Technology: <http://www.ifst.org>

Ministry for Agriculture, Fishery and Forest: <http://www.maff.gov.uk>

Monsanto, Achievements, Plant Biotechnology, 2001: <http://www.monsanto.co.uk>

The Royal Society for Medicine: <http://www.roysocmed.ac.uk>

Irland:

Food Communications Information Service, University College Cork:
<http://www.ucc.ie/fcis/>

Japan:

Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat: <http://ss.s.affrc.go.jp>

Biotechnology Safety Division, Research Council Secretariat, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan:
<http://www.s.affrc.go.jp/docs/sentan/guide/edevelop.htm>

Kanada:

Agriculture and Agri-Food Canada Electronic Information Service (ACEIS):
<http://www.agr.ca/newintre.html>

BIOTECanada: <http://www.biotech.ca>

Canadian Food Inspection Agency: <http://www.cfia-acia.agr.ca>

agbios Agriculture & Biotechnology (Canada) Inc.: <http://www.agbios.com>

Niederlande:

Voedingscentrum: <http://www.voedingscentrum.org>

Österreich:

Forum Ernährung Heute: <http://www.forum-ernaehrung.at>

Vitaweb:
<http://www.salzburg.com/vitaweb/ratgeber/infothek/gentechnik/index.html>

Schweiz:

Agency BATS: <http://www.bats.ch>

Bioweb: <http://www.bioweb.ch>

Gen Suisse: <http://www.gensuisse.ch>

InterNutrition: <http://www.internutrition.ch>

USA:

FDA (Food and Drug Administration) Centre for Food Safety and Applied Nutrition:
<http://vm.cfsan.fda.gov>

Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO): <http://www.fao.org>

Healthfinder: <http://www.healthfinder.gov/default.htm>

Information Systems for Biotechnology (ISB): <http://www.nbiap.vt.edu/cfdocs/field-tests1.cfm>

Nutrition Navigator - Tufts University: <http://navigator.tufts.edu>

USDA-APHIS (United States Department of Agriculture - Animal and Plant Health Inspection Service): <http://www.aphis.usda.gov>

U.S. Department of Agriculture /National Agriculture Statistic Service
<http://www.usda.gov/nass/>

Internationale Organisationen:

FAO - Food and Agriculture Organisation: <http://www.fao.org>

Fightbac: <http://www.fightbac.org>

Food Allergy Network: <http://www.foodallergy.org>

HYPERLINKInternational Food Information Council: <http://ificinfo.health.org>

International Food Policy Research Institute (IFPRI): <http://www.cgiar.org/ifpri/>

International Life Science Institute: <http://www.ilsa.org>

International Scientific Forum on Home Hygiene: <http://www.ifh-homehygiene.org>

International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications:
http://www.isaaa.org/ISAAA_WEB.html

OECD-Biotrack: <http://www.oecd.org/ehs/biobin/index.htm>

United Nations population Fund UNFPA: <http://www.unfpa.org>

WHO - World Health Organisation: <http://www.who.org>

WHO/FAO - Codex Alimentarius: <http://www.codexfacts.com>

Abkürzungsverzeichnis

AMFEP	Association of Manufacturers of Fermentation Enzyme Products
APHIS	Animal and Plant Health Inspection Service
BAG	Bundesamt für Gesundheit (Schweiz)
BATS	Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des Schwerpunktprogrammes Biotechnologie, Schweiz
BBA	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BGVV	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (jetzt BfR)
BNYVV	Beet necrotic yellow vein virus
Bt	Bacillus thuringiensis
CAAS	Chinesische Akademie der Agrarwissenschaften
CFIA	Canadian Food Inspection Agency
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DNA	desoxyribonucleic acid (= DNS; Desoxyribonukleinsäure)
EBT	1,1'-Ethylidenbistryptophan
EMS	Eosinophilie-Myalgie-Syndrom
EPSPS	Enolpyruvylshikimat-3-Phosphat-Synthase
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen
FAOSTAT	FAO Statistical Databases
FAS	Foreign Agricultural Service
GenTG	Gentechnikgesetz
GNA	Galanthus nivalis agglutinin (Schneeglöckchen-Lektin)
GS	Glutaminsynthetase
GUS	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
GVO	Gentechnisch veränderter Organismus
HGC	humane Glucocerasidase
IFPRI	International Food Policy Research Institute

IfZ	Institut für Zuckerrübenforschung
IGF	insuline-like growth factor
IITA	International Institute of Tropical Agriculture
IRGSP	Internationales Reis-Genom-Sequenzierungsprojekt
IRRI	International Rice Research Institute, Internationales Reisforschungsinstitut
ISB	Information Systems for Biotechnology
IUCN	World Conservation Union
JRC	Joint Research Center
LMKV	Lebensmittelkennzeichnungsverordnung
LMBG	Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz
NFV	Novel Food-Verordnung
PAT	Phosphinotricin-Acetyl-Transferase
PG	Polygalacturonase
PHA	Polyhydroxyalkanoat
PLRV	Kartoffelblattrollvirus
PPT	Phosphinotricin
PRSV	Papaya Ringspot Virus
PVX	Kartoffelvirus X
PVY	Kartoffelvirus Y
rBST	rekombinantes Rinderwachstumshormon
RKI	Robert-Koch-Institut
RRI	Rowett Research Institute
SAG	Schweizerische Arbeitsgruppe Gentechnologie
SPFMV	Süßkartoffelmosaikvirus
UBA	Umweltbundesamt
UNDP	United Nations Development Programme
UNFPA	United Nations Population Fund
UNO	United Nations Organisation
USDA	United States Department of Agriculture
WFP	Welernährungsprogramm der Vereinten Nationen
WHO	World Health Organisation
ZKBS	Zentrale Kommission für Biologische Sicherheit

Index

Allergierisiko **Bd. 4:** 13 f.; **Bd. 5:** 13 ff.

Aminosäuren **Bd. 1:** 6, 15, 23, 26, 33 f.; **Bd. 2:** 35, 42, 47, 55, 57, 66 f., 89; **Bd. 5:** 14

Amylopektin **Bd. 2:** 70

Amylose **Bd. 2:** 70

Antibiotikaresistenz **Bd. 1:** 16, 31; **Bd. 4:** 15 f.; **Bd. 5:** 14 ff.

Antisense-Gen **Bd. 1:** 31

Armut **Bd. 1:** 18; **Bd. 4:** 24 f.; **Bd. 5:** 8

Artenvielfalt **Bd. 2:** 70; **Bd. 4:** 4, 7 f., 18; **Bd. 5:** 26

Bacillus thuringiensis **Bd. 1:** 30; **Bd. 4:** 15; **Bd. 5:** 13

Beta-Karotin **Bd. 1:** 23; **Bd. 2:** 53, 57, 60; **Bd. 5:** 16

Bevölkerungswachstum **Bd. 1:** 16 f.; **Bd. 4:** 4

Bier **Bd. 1:** 12; **Bd. 2:** 77, 87, 91 f.; **Bd. 5:** 7, 13

Biocontainment **Bd. 2:** 73

Bioplastik **Bd. 1:** 7; **Bd. 2:** 70; **Bd. 4:** 10

Brot und Backwaren **Bd. 2:** 86

Bt-Baumwolle **Bd. 2:** 29 f., 62 f.; **Bd. 4:** 25; **Bd. 5:** 8, 10, 23

Bt-Mais **Bd. 1:** 30 f.; **Bd. 2:** 26 f., 41 f., 66; **Bd. 3:** 10, 17; **Bd. 4:** 7, 15, 18; **Bd. 5:** 24 ff.

Canola **Bd. 2:** 12, 56

Cassava **Bd. 1:** 19; **Bd. 2:** 6, 33, 66 f.; **Bd. 5:** 8

Chymosin **Bd. 1:** 16; **Bd. 2:** 77 f., 80, 82 f., 85 f.

Commodity-System **Bd. 1:** 5

Dürretoleranz **Bd. 1:** 23

EMS, Eosinophilie-Myalgie-Syndrom **Bd. 5:** 18

Entfernung unerwünschter Eigenschaften **Bd. 1:** 27

Entfernung von Allergenen **Bd. 1:** 27

Enzyme **Bd. 1:** 6, 15 f., 28; **Bd. 2:** 57, 69 ff., 77 ff., 89, 91; **Bd. 3:** 17 ff.; **Bd. 4:** 14,

EPSPS, Enolpyruvylshikimat-Synthase **Bd. 1:** 33; **Bd. 3:** 22

Ernährungssituation **Bd. 1:** 16; **Bd. 4:** 30

Ethik **Bd. 4:** 28 ff.; **Bd. 5:** 11

Feldversuche **Bd. 2:** 5, 9, 53, 66; **Bd. 5:** 8, 20, 26

Fettsäuren **Bd. 1:** 23, 25; **Bd. 2:** 17 ff., 35 f., 55 ff., 69; **Bd. 3:** 10, 15,

FlavrSavr-Tomate **Bd. 1:** 4, 26; **Bd. 2:** 12, 20, 28, 33, 52; **Bd. 3:** 8, 10; **Bd. 4:** 16; **Bd. 5:** 15

Forschungsziele **Bd. 1:** 22

Freisetzung **Bd. 1:** 10, 39; **Bd. 2:** 5, 7 f., 10, 27 f., 48, 70; **Bd. 3:** 4 f.; **Bd. 4:** 6; **Bd. 5:** 20

Freisetzungsrictlinie **Bd. 1:** 5; **Bd. 2:** 5, 40; **Bd. 3:** 4 ff., 10 f., 17 f.; **Bd. 4:** 6, 18

Fruchtsaft **Bd. 2:** 65, 79, 87; **Bd. 3:** 14

Futtermittel **Bd. 1:** 4 ff., 9 f., 16, 26; **Bd. 2:** 12, 18, 21, 27, 38 f., 55, 59, 83 f.; **Bd. 3:** 4f., 8, 11, 19; **Bd. 4:** 12; **Bd. 5:** 22

Genehmigungsverfahren **Bd. 1:** 4; **Bd. 3:** 5, 8

Gentechnikgesetz **Bd. 1:** 5; **Bd. 2:** 5; **Bd. 3:** 6; **Bd. 4:** 6, 12; **Bd. 5:** 20

Gentransfer auf Wildpflanzen **Bd. 2:** 73; **Bd. 4:** 21; **Bd. 5:** 21

Giftstoffe **Bd. 4:** 15

Glufosinat **Bd. 1:** 34; **Bd. 2:** 13 ff, 55; **Bd. 3:** 12 ff.

Glutaminsynthetase, GS, **Bd. 1:** 34

Glyphosat **Bd. 1:** 32 f.; **Bd. 2:** 13 ff., 55; **Bd. 3:** 12 ff.; **Bd. 5:** 17

Golden Rice **Bd. 1:** 25; **Bd. 2:** 60; **Bd. 4:** 25; **Bd. 5:** 16

Herbizide **Bd. 1:** 32 ff.; **Bd. 2:** 35; **Bd. 5:** 10, 21, 24

Herbizidtoleranz **Bd. 1:** 22, 23, 31 f.; **Bd. 2:** 10, 13 ff., 26 ff., 55; **Bd. 5:** 21

Herbizidtolerante Sojabohne **Bd. 2:** 25, 35; **Bd. 3:** 17; **Bd. 4:** 7 f.

Herbizidtolerante Zuckerrübe **Bd. 2:** 45

Heterologer Gentransfer **Bd. 2:** 80, 82

High Oleic Acid Soybean **Bd. 1:** 25; **Bd. 2:** 36

Homologer Gentransfer **Bd. 2:** 80, 82

Hybridsaatgut **Bd. 1:** 14, 36 f.; **Bd. 2:** 55; **Bd. 3:** 13

Identity Preservation System **Bd. 1:** 5

Impfstoffe **Bd. 1:** 5, 23, 39; **Bd. 2:** 8, 53, 72 f., 75; **Bd. 4:** 24

Insektenresistenz **Bd. 1:** 10, 30; **Bd. 2:** 10, 13 ff., 26 f., 42, 48, 63; **Bd. 4:** 17

Kartoffel **Bd. 1:** 13, 27, 30 ff.; **Bd. 2:** 12, 14, 28, 47 ff., 70, 73 f., 84; **Bd. 3:** 10, 15, 22 f.; **Bd. 4:** 7, 17, 21; **Bd. 5:** 7, 13, 21, 29 f.

Kartoffelkrankheiten **Bd. 1:** 31 f.; **Bd. 2:** 48

Kartoffelschädlinge **Bd. 1:** 30; **Bd. 2:** 28, 34, 39, 48

Käse **Bd. 1:** 12, 16; **Bd. 2:** 77 f., 80, 83 ff., 91; **Bd. 3:** 4, 10

Kennzeichnung **Bd. 1:** 5, 10; **Bd. 2:** 28; **Bd. 3:** 4 f., 8, 17 ff., 22; **Bd. 4:** 6; **Bd. 5:** 7

Kennzeichnungspflicht **Bd. 3:** 17, 19

Koexistenz **Bd. 5:** 7

Lebensmittelenzyme **Bd. 2:** 84

Liberty-Toleranz **Bd. 1:** 34; **Bd. 2:** 25, 42

LibertyLink **Bd. 1:** 32, 34; **Bd. 2:** 15, 17, 25, 27, 29, 42

Mais **Bd. 1:** 4 f., 10, 12 ff., 26, 30 f., 33 ff.; **Bd. 2:** 5 f., 9, 12, 14, 24, 26 f., 33 f., 37 ff., 47, 59, 66, 70, 73 f., 84 f., 87; **Bd. 3:** 4, 10, 12 ff., 17 f., 23; **Bd. 4:** 7 f., 13, 15, 17 f., 21; **Bd. 5:** 7, 9 f., 13, 21, 24 ff., 27

Maiszünsler **Bd. 1:** 30; **Bd. 2:** 41; **Bd. 5:** 26

Maniok **Bd. 1:** 33, 66

Männliche Sterilität **Bd. 1:** 23, 36 f.; **Bd. 2:** 10, 13 ff., 28 f., 55

Medikamente **Bd. 1:** 5, 7, 23, 39; **Bd. 2:** 72, 74; **Bd. 4:** 14; **Bd. 5:** 5, 13

Melone **Bd. 1:** 26; **Bd. 2:** 6, 16, 65

Molecular Farming **Bd. 2:** 72

Nachhaltigkeit **Bd. 4:** 4

Nachweisverfahren **Bd. 3:** 22 f.

Nährwert **Bd. 1:** 7, 25; **Bd. 2:** 35; **Bd. 3:** 17; **Bd. 4:** 8, 25

Novel-Food-Verordnung **Bd. 1:** 5, 10; **Bd. 2:** 21, 26, 40; **Bd. 3:** 4, 8 ff., 17, 19; **Bd. 4:** 6

Novel-Feed-Verordnung **Bd. 2:** 40

Öffentlichkeit **Bd. 2:** 52; **Bd. 3:** 5, 8; **Bd. 5:** 20

Ökologie **Bd. 1:** 30; **Bd. 2:** 35, 41, 69; **Bd. 4:** 6, 8 f., 25; **Bd. 5:** 20, 24, 26

Papaya **Bd. 1:** 31; **Bd. 2:** 7, 12, 17, 65, 71; **Bd. 4:** 13; **Bd. 5:** 13

Patentierung **Bd. 4:** 25; **Bd. 5:** 8, 10

Petunien **Bd. 1:** 4; **Bd. 2:** 7, 9, 17; **Bd. 5:** 27 f.

Pflanzenschutz **Bd. 1:** 6, 18, 30, 32; **Bd. 2:** 41, 62; **Bd. 3:** 11; **Bd. 4:** 8, 15 ff.; **Bd. 5:** 8, 10, 17, 22 f., 26

Phytin **Bd. 1:** 28; **Bd. 2:** 42, 59

Phyto-Östrogene **Bd. 5:** 17

Phytophthora infestans **Bd. 2:** 48

Pilzresistenz **Bd. 1:** 31; **Bd. 2:** 10, 14, 42, 48

Pilzresistenter Reis

Plastidentransformation **Bd. 2:** 53, 73

Produktqualität **Bd. 1:** 16, 22 f., 25 f.; **Bd. 2:** 10

Protein Engineering **Bd. 1:** 16; **Bd. 2:** 80 ff.

Provitamin A **Bd. 1:** 25; **Bd. 2:** 55 ff., 59 f.; **Bd. 4:** 25; **Bd. 5:** 16

Raps **Bd. 1:** 4, 14, 19, 25, 33 f., 37; **Bd. 2:** 5, 7, 9, 12, 17, 21, 24, 28 f., 33, 53, 55 ff., 69, 71, 73 f.; **Bd. 3:** 10, 12, 15; **Bd. 4:** 7 f., 15, 17, 21; **Bd. 5:** 21

Reis **Bd. 1:** 13, 19, 25, 27 f., 32 ff., 35 f.; **Bd. 2:** 7, 12, 19, 38, 47, 59 ff.; **Bd. 4:** 13 f., 24; **Bd. 5:** 8, 13, 16

Reis-Genom **Bd. 2:** 60

Resistente Schädlinge **Bd. 4:** 17

Rizomania **Bd. 2:** 44

Roundup Ready-Sojabohne **Bd. 1:** 33; **Bd. 2:** 19, 25, 35 f., 42; **Bd. 3:** 4, 22; **Bd. 5:** 17, 22

Rückverfolgbarkeit **Bd. 1:** 10; **Bd. 3:** 5, 19

Salztoleranz **Bd. 1:** 16, 19, 23, 36

Schädlingsresistenz **Bd. 2:** 57, 60; **Bd. 4:** 17, 21

Schadstoffabbauende und -tolerante Pflanzen **Bd. 1:** 23; **Bd. 2:** 71; **Bd. 4:** 10

Sojabohnen **Bd. 1:** 4 ff., 9 f., 25 ff., 33 f.; **Bd. 2:** 5, 7, 12, 19, 24 ff., 33 ff., 55, 78; **Bd. 3:** 4, 8, 10, 13, 17 f., 22 f.; **Bd. 4:** 7 f., 8, 21; **Bd. 5:** 9 f., 14, 17, 22, 30

- Stärke **Bd. 1:** 27; **Bd. 2:** 28, 38 f., 47, 49, 59, 63, 66 f., 69 f., 77 ff., 80, 83 f., 86, 88 f., 92; **Bd. 3:** 10, 17 f.; **Bd. 5:** 30
- Stärkeverzuckerung **Bd. 2:** 84 f.
- Stärkezusammensetzung **Bd. 2:** 28
- Starterkulturen **Bd. 2:** 91; **Bd. 3:** 10, 23
- Stickstofffixierung **Bd. 1:** 35
- Tabak **Bd. 1:** 16, 36; **Bd. 2:** 5, 7, 9, 12, 20, 71 ff.
- Thaumatococcus **Bd. 1:** 27; **Bd. 2:** 89
- Thioredoxin **Bd. 1:** 27; **Bd. 5:** 13
- Tomaten **Bd. 1:** 26, 36; **Bd. 2:** 5, 7, 12, 20, 28, 51 ff., 73 f.; **Bd. 3:** 8, 11, 13, **Bd. 4:** 21; **Bd. 5:** 15, 21, 30
- Tryptophan **Bd. 2:** 89; **Bd. 5:** 18
- Übersicht über Genehmigungsverfahren nach Richtlinie 90/220/EWG **Bd. 2:** 5; **Bd. 3:** 4, 17
- Umweltverschmutzung **Bd. 1:** 7; **Bd. 4:** 30
- Umweltsanierung **Bd. 1:** 39; **Bd. 2:** 71
- Verbesserung geschmacklicher Eigenschaften **Bd. 1:** 27
- Verzögerung des Reifeprozesses **Bd. 1:** 26
- Virusresistenz **Bd. 1:** 31; **Bd. 2:** 10, 14, 16 f., 19 f., 48
- Vitamin A **Bd. 1:** 19, 25; **Bd. 2:** 51, 57, 59 f.; **Bd. 5:** 16
- Welternährung **Bd. 1:** 19; **Bd. 4:** 24 ff.; **Bd. 5:** 9
- Weltweit zugelassene GVO **Bd. 2:** 12 ff.
- Wurzelbärtigkeit **Bd. 2:** 44
- Zuckerrübe **Bd. 1:** 4, 27, 31, 33 f.; **Bd. 2:** 5, 7, 9, 12, 21, 27, 44 f., 71, 84, **Bd. 3:** 10, 14, **Bd. 4:** 7, 17, 21; **Bd. 5:** 21
- Zünslerlarve **Bd. 1:** 30; **Bd. 2:** 41; **Bd. 5:** 10

Impressum

Herausgeber:

BASF Plant Science
Agrarzentrum Limburger Hof,
67117 Limburgerhof
<http://www.basf.de/biotechnologie>

Bayer CropScience
Elisabeth Selbert Straße 4a,
40764 Langenfeld
<http://www.bayercropscience.de>

Dow AgroSciences
Truderinger Straße 15
81677 München
<http://www.dowagro.com>

DuPont/Pioneer Hi-Bred International
Apensener Straße 198
21614 Buxtehude
<http://www.pioneer.com>

Monsanto Agrar Deutschland
Vogelsangerweg 91
40470 Düsseldorf
<http://www.monsanto.de>

Syngenta Deutschland
Am Technologiepark 1-5
63477 Maintal
<http://www.syngenta.de>

Text und Redaktion:

GENIUS Biotechnologie GmbH
<http://www.genius-biotech.de>

Als ursprüngliche Textvorlage diente das:
Kompendium „Gentechnologie und Lebensmittel“ (1997)
InterNutrition – Schweizerischer Arbeitskreis für Forschung und Ernährung
<http://www.internutrition.ch>

Layout

Piva & Piva, Darmstadt
Nach grafischer Vorlage von:
magoo-design, Markus Kahlenberg, Bonn

Druck

Direkt Druck & Verlagsservice GmbH, Darmstadt

5. Auflage, Stand: März 2003

