

# Gentechnik in der Ernährung – unnötiges Risiko oder notwendige Hilfe? (1. Teil)

K.-D. Jany

Gentechnische Verfahren sind im Agrar- und Lebensmittelbereich weltweit etabliert und werden zur Ausbildung neuer nützlicher Eigenschaften in Organismen verwendet. Derzeit werden hauptsächlich Mikroorganismen und Pflanzen für die Lebensmittelerzeugung und -verarbeitung gentechnisch verändert. Mikroorganismen werden für die fermentative Gewinnung von Enzymen, Vitaminen, Aminosäuren oder sonstigen Zusatzstoffen eingesetzt. Gegenwärtig sind weltweit 48 transgene Pflanzen zugelassen, und 21 Pflanzen stehen in kommerziellem Anbau. Die Hauptnutzpflanzen, wie transgene Sojabohnen, Kartoffeln, transgener Mais und Raps, werden vorwiegend in den USA angebaut, und weltweit beträgt die Anbaufläche 40 Mill. Hektar. Fast alle Pflanzen wurden in ihren agronomischen Eigenschaften, wie Herbizidtoleranz, Insekten- und Virusresistenz, verändert. In der Europäischen Union sind 11 transgene Pflanzen zugelassen, aber lediglich ein beschränkter Anbau von insektenresistentem Mais ist möglich. In die EU dürfen Soja, Mais und Raps für Verarbeitungszwecke eingeführt werden. Transgene Pflanzen und daraus gewonnene Lebensmittel unterliegen einer strengen Zulassung, und die Sicherheitsanalysen für neuartige Lebensmittel haben eine hohe Aussagekraft. Aufgrund der umfassenden Sicherheitsanalysen gehören gentechnisch modifizierte Lebensmittel hinsichtlich Toxikologie und Allergenität zu den am besten untersuchten Lebensmitteln. Die heute auf dem Markt befindlichen gentechnisch modifizierten Lebensmittel sind genau so sicher wie unsere traditionellen Erzeugnisse; sie weisen keine anderen oder höheren Risiken auf. Die Entwicklung der Gentechnik im Agrarbereich geht weg von Verbesserungen agronomischer Eigenschaften, hin zur Erzeugung funktionaler Lebensmittel, die präventiv gegen bestimmte ernährungsbedingte Erkrankungen wirken.

**Schlüsselwörter:** Gentechnik, transgene Organismen, gentechnisch veränderte Lebensmittel, Enzyme, Zusatzstoffe, Starterkulturen, Sicherheitsbewertung, substantielle Äquivalenz, Allergenität, Gentransfer

Today the various processes of strain optimization in microorganisms, of cross-breeding in plants and animals (breeding and hybridization) and the production of new products by fermentation can all be grouped under the general term "biotechnology". Within the area of biotechnology, gene technology represents only one section and covers the methodological spectrum of the genetic alteration of organisms. In contrast to classical breeding methods, gene technology allows the precise transfer of selected genetic information and enables, for the first time, inter-species boundaries to be crossed. The agricultural and food sector provides an enormous potential for the use of gene technology and there is every indication that its main use will be in this area. A whole spectrum of applications ranging from the reduction of pollution resulting from food production, achievement of the most economical use of our resources, to the preservation of our food sources and development of new and safe foodstuffs. Its greatest potential in the field of nutrition could be considered in the possibilities envisaged for the reduction of health risks and increase in the nutritional value of foods.

Today many of our foodstuffs (approximately 80 %) are processed, improved or preserved by biotechnological methods, either directly using classical biotechnological processes or indirectly using biotechnologically produced additives. With the introduction of genetic processes, food production is not fundamentally change, but rather existing processing methods will be augmented or optimised.

World-wide 48 transgenic plants are approved for commercialisation and 1999 transgenic plant were cultivated on area of about 40 Mill. ha. Most of the plants are genetically modified in respect to the agronomic properties, e. g. herbicide resistance, insect- or virus resistance. In the European Union 11 transgenic plants are approved, but only an insect resistant maize (Bt-corn) is allowed for growing in some countries. Transgenic soybeans, corn and rape seeds are imported for processing in the EU.

Transgenic animals will play no important role in the food sector in the next 10–20 years. Here there are not only safety regulations but also ethical questions to be considered.

Studies on the safety assessment of foods produced by "gene technology" are being carried out at national and international levels. No scientific evidence of new or different kinds of risks has been discovered. Genetically modified foods are as safe as the traditional counterparts. **J Ernährungsm** 2000; 2: 13–17.

**Key words:** gene engineering, transgenic organisms, genetically modified foods, enzyme, food additives, safety assessment, substantial equivalence, allergenicity, gene transfer

Gesundheit ist nicht alles, aber ohne Gesundheit ist alles nichts. Sicherheit und Gesundheit haben einen hohen Stellenwert in unserem Leben. Jeder möchte gesund sein und gesund bleiben; viele richten ihre Lebens- und Ernährungsweise auf dieses Ziel hin aus, aber noch vielmehr vertrauen auf ihre Konstitution und die Medizin, und hier auch auf die Gentechnik. Gesundheit und Ernährung stehen in engem Zusammenhang. Viel zu häufig, aber zu unrecht, werden technisch bearbeiteten Lebensmitteln negative Auswirkungen auf unseren Gesundheitsstatus angelastet. Viel zu selten werden aber Ernährungsweise und -verhalten mit der Gesundheit in Verbindung gebracht.

In einer bisher nicht dagewesenen Geschwindigkeit vollzieht sich gegenwärtig ein technischer Wandel in allen Lebensbereichen. Die meisten Menschen können kaum noch nachvollziehen, was hier geschieht. Sie stehen neuen Techniken zunehmend skeptisch bis ablehnend gegenüber, ohne grundsätzlich technikfeindlich zu sein. Die Notwendigkeit neuer Techniken wird immer häufiger in Frage ge-

stellt. Nutzen und Risiken werden zunehmend intensiver unter Beteiligung der Öffentlichkeit diskutiert. Gerade die Einführung der Gentechnik in den Agrar- und Lebensmittelbereich stellt ein besonders deutliches Beispiel dar.

Essen und Trinken dienen in unserer modernen Gesellschaft nicht nur der Nahrungsaufnahme; sie vermitteln gleichermaßen körperliches Wohlbefinden und sinnlichen Lustgewinn. Lebensmittel verkörpern auch Lebensstil und Prestige. Nahrungsmittel und Essen sind mehr denn je sensible Bereiche; sie werden von Traditionen und Emotionen geprägt. Nun soll die Gentechnik auch in diesem Bereich eingeführt werden. Als eine neue Technik erscheint sie vielen unheimlich und gefährlich. Für viele entspricht sie auch nicht den traditionellen Vorstellungen von Lebensmitteln und ihrer Herstellung. Darüber hinaus gibt es für diese gentechnischen Produkte keine Erfahrungswerte, und ein unmittelbarer persönlicher Nutzen oder Vorteil ist bei diesen neuen Produkten kaum erkennbar. Dies erzeugt Unbehagen und Verunsicherung. Schlagworte wie „Gen-

Eingelangt am: 25. April 2000; angenommen am: 15. 06. 2000

Aus dem Molekularbiologischen Zentrum der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe

Korrespondenzadresse: Prof. Dr. Klaus-Dieter Jany, Molekularbiologisches Zentrum der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Haid-und-Neu-Straße 9, D-76131 Karlsruhe; E-mail: klaus-dieter.jany@bfe.uni-karlsruhe.de

fraß“, „Gentech-Nahrung“, „Franken-Food aus Frankensteins Küche“ oder „unvorhersehbare Risiken“, aber auch das lange Schweigen von Wissenschaft und Wirtschaft haben hier ihren Beitrag geleistet. Dabei wird in der Öffentlichkeit übersehen, daß Herstellung und Verarbeitung unserer so vertrauten Lebensmittel einem ständigen Wandel unterliegen, herbeigeführt durch ernährungsphysiologische Erkenntnisse, soziologische und ökonomische Veränderungen, technische Entwicklungen und Verbraucherwünsche. Unsere Lebensmittel sollen immer schöner, wertvoller, besser, oder kurz gesagt genußvoller und gesünder, aber dabei auch naturbelassener, frischer, sicherer, haltbarer und billiger werden. Hier wird die Natur überfordert, und die Lebensmitteltechnik und -verarbeitung muß nachhelfen.

## Gentechnik und Züchtung

Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere werden seit Jahrtausenden zum Wohle und Nutzen des Menschen eingesetzt und optimiert, wobei gerade der weite Bereich der Gewinnung und Veredelung von Lebensmitteln und Genußstoffen im Vordergrund stand und noch steht. Heute werden diese biologischen Systeme sehr bewußt und zielgerichtet in ihren genetischen Eigenschaften verändert. Seit einigen Jahren werden die klassische Züchtung von Pflanzen und die Stammoptimierung von Mikroorganismen durch ein neues Hilfsmittel – *die Gentechnik* – unterstützt. Die Gentechnik stellt die Methoden zur Auswahl geeigneter Zuchtlinien und Stämme, zur Erforschung und Kartierung von Merkmalen (Genen) sowie zur Isolierung und Übertragung einzelner Gene bereit. Die Gentechnik ist *per se* weder gut noch schlecht. Die Gentechnik bedeutet immer einen gezielten Eingriff in die Erbinformation und eine *In-vitro*-Rekombination von genetischem Material.

Bei der Züchtung, der sexuellen Vermehrung, wird das gesamte Erbgut, die Genome, der Eltern neu gemischt und in den Nachkommen vereinigt. Gewünschte und unerwünschte Merkmale werden auf sie übertragen. Die unerwünschten, mitunter auch bedenklichen Eigenschaften müssen in zeitaufwendigen Rückkreuzungen wieder entfernt werden. Für die Kreuzungen können nur artgleiche oder nahe verwandte Organismen verwendet werden, da Kreuzungsbarrieren den freien Genaustausch verhindern. Bei der sexuellen Vermehrung sind grundsätzlich keine molekulare Kenntnisse über genetische Eigenschaften der Organismen von Nöten. Traditionell werden auch Veränderungen im Genom durch mutagene Substanzen oder Strahlung erzwungen. Die Ergebnisse dieser genetischen Veränderungen lassen sich weder voraussehen, noch lassen sich seine Auswirkungen abschätzen. Dennoch bestehen kaum Ängste oder Befürchtungen über mögliche Risiken bei dieser Art der Genmanipulation und den entsprechenden „Freisetzungen“. Die Erfahrung zeigt uns doch, oder wir glauben doch zu wissen, daß die konventionellen Züchtungsverfahren keine Risiken für Mensch und Umwelt bergen.

Die Gentechnik unterstützt die Züchtung, aber sie ist nicht identisch mit ihr und wird sie auch nicht ersetzen. Beim Einsatz der Gentechnik ist es notwendig, ausgehend von einem sichtbaren (bekanntem) Merkmal zunächst das entsprechende Gen (DNA-Stück) zu identifizieren und es zu isolieren und zu charakterisieren (Genisolierung). Anschließend ist die DNA zu vermehren (Klonierung), das Gen in den gewünschten Organismus einzuschleusen (Gentransfer, Transformation) und dort zur Ausprägung seiner Funktion zubringen (Genexpression). Für Funktionsfähigkeit wird das Gen in seiner Regulationsregion an den

Wirtsorganismus angepaßt, und für die Erkennung des transformierten Wirtes, des gentechnisch veränderten Organismus (GVO), wird es mit einem Marker-Gen versehen. Das so modifizierte Genkonstrukt wird dann je nach Wirtsorganismus mehr oder minder gezielt übertragen. Die verwendete Transfermethode richtet sich nach dem Organismus, wobei hauptsächlich die plasmidinduzierte und die direkte Genübertragung angewandt werden. Mit dem Gentransfer erhält der GVO somit gezielt nur die neue gewünschte Information. Da die in der DNA verankerte genetische Information grundsätzlich von allen Lebewesen verstanden wird, ist der Gentransfer nicht auf bestimmte, verwandte Organismen beschränkt, sondern erlaubt die Übertragung von Merkmalen frei von Kreuzungsbarrieren. Somit kann, anders als in der konventionellen Züchtung, auch artüberspringend genetische Information weitergegeben werden. Mit der Gentechnik werden keine neuen Organismen, geschweige denn Monster geschaffen, sondern nur wenige, gut charakterisierte Gene dem Empfängerorganismus hinzugefügt, ohne seine vorhandenen Merkmale zu verändern. Gegenwärtig steht die Übertragung artfremder Gene noch im Vordergrund, jedoch werden mit zunehmenden Wissen immer mehr artgleiche Gene in die gentechnischen Veränderungen (An- bzw. Abschalten von Genen) einbezogen werden. Die Gentechnik eröffnet die Züchtung *neue und zielgerichtete Wege* in der Gewinnung von Nutzorganismen.

Die Methoden der Gentechnik sind etabliert und werden weltweit eingesetzt. Aufgrund der engen internationalen Handelsverflechtungen und der Schaffung des gemeinsamen europäischen Marktes wird sich kein EU-Mitgliedsland gentechnisch gewonnenen Roh-, Hilfs- und Zusatzstoffen entziehen können. In der öffentlichen Diskussion werden Nutzenaspekte häufig verkannt und eventuell mögliche Risiken dafür überbewertet.

## Chancen und Nutzen der Gentechnik

Im Gegensatz zum Medizin- und Pharmabereich findet die Gentechnik im Lebensmittelsektor kaum Akzeptanz; im deutschsprachigen Raum lehnen 60–80 % der Verbraucher diese Technik ab. Ein Nutzen der Gentechnik ist in unserer Überflußgesellschaft kaum erkennbar oder nachvollziehbar, zumal qualitativ hochwertige und preisgünstige Lebensmittel in mehr als ausreichenden Mengen jederzeit verfügbar sind. Die Gentechnik ist innerhalb der Agrarproduktion und der Lebensmittelverarbeitung nur ein Teilaspekt. Die Gentechnik wird häufig nur in Verbindung mit Verfahrensoptimierungen, Rationalisierungen und Gewinnsteigerung gesehen. Zweifellos sind diese Punkte Triebkräfte für den Einsatz gentechnischer Verfahren, aber Produktverbesserungen, Kostenreduzierung und Wettbewerbsfähigkeit sollten in einem immer enger werdenden und weltumspannenden Angebotsmarkt die richtige Beachtung finden. Unmittelbarer Nutzen wird sich für alle aus den Möglichkeiten zur Verbesserung der ernährungsphysiologischen Wertigkeit von Nahrungsmitteln und der Entwicklung neuer, verbesserter diätetischer Lebensmittel sowie der Reduzierung gesundheitlicher oder mikrobieller Risiken ergeben. Daneben eröffnet die Verwendung von transgenen Organismen Chancen zur Umweltentlastung in Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion, zur ökonomischeren Nutzung unserer natürlichen Ressourcen sowie zum verbesserten Erhalt von wertgebenden Inhaltsstoffen bei der Verarbeitung von Rohstoffen. In Tabelle 1 sind Chancen und Nutzen der Gentechnik zusammengefaßt, wobei einige der Aspekte bereits nutzbringend umgesetzt worden sind.

## Anwendungsbereiche der Gentechnik

Heute werden nahezu alle Nutzorganismen in einer Kombination von Gentechnik und klassischen Methoden bearbeitet.

### Lebensmittelverarbeitung

- Zur fermentativen Gewinnung von Hilfs- und Zusatzstoffen durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen und Zellkulturen (GVO): Aus GVO oder den Fermentationsbrühen werden Enzyme, Geschmacksverstärker, Süßstoffe, Aromen, Vitamine, Hormone und Dickungsmittel isoliert.
- Zur Herstellung von GVO (Milchsäurebakterien, Hefen, filamentösen Pilzen) als Starter- und Schutzkulturen: Diese GVO sollen/werden in der Milch-, Fleisch- und Obst-/Gemüseverarbeitung, im Brau- und Backgewerbe sowie bei Fein- und Frischkostprodukten eingesetzt (werden).

### Landwirtschaftliche Urproduktion

- Zur Züchtung von transgenen Pflanzen mit neuen Resistenzen gegenüber Herbiziden, Virus-, Pilz- und Insektenbefall sowie mit Systemen zur Erhöhung der Lagerfähigkeit oder zur Qualitätsverbesserung landwirtschaftlicher Erzeugnisse.
- Zur Züchtung transgener Tiere sowie zur Diagnostik und Genomanalyse bei Nutztieren.

### Lebensmittelüberwachung

- Zur Kontrolle der Prozeßtechnik und der Hygiene und Qualität von Lebensmitteln sowie zum Nachweis von gentechnisch veränderten Lebensmitteln.

Entsprechend den Anwendungsbereichen und den gesetzlichen Vorgaben können drei Kategorien von „gen-

technisch veränderten“ Lebensmitteln unterschieden werden:

1. Das *Lebensmittel ist selbst der lebende GVO*: Tomate, Kürbis, Melone, Raps, Mais, Sojabohne, Kartoffel.
2. Das *Lebensmittel enthält lebende GVO*: Joghurt mit Milchsäurebakterien.
3. Das *Lebensmittel enthält isolierte oder verarbeitete Produkte aus GVO, aber nicht den lebenden GVO*: Enzyme, Aminosäuren, Vitamine, Stärken, Öle; oder es *enthält inaktivierte GVO*: Tomaten-Ketchup, Kartoffelpüree, Fruchtarmeladen, pasteurisierter Joghurt, Brühwurst, Bier, Brot.

Im deutschsprachigen Raum hat die Gentechnik im Agrar- und Lebensmittelsektor noch keine große praktische Relevanz. Gegenwärtig sind noch keine Lebensmittel, die selbst den lebenden GVO darstellen oder solche enthalten (Kategorien 1, 2), in der Europäischen Union in Verkehr gebracht worden bzw. für Verbraucher erhältlich. Transgene Sojabohnen dürfen nur zur Verarbeitung importiert werden und der Verbraucher erhält nur die Verarbeitungsprodukte wie Öl, Sojaprotein oder Lecithin. Ähnliches gilt für Mais und Raps. Im EU-Raum sind Lebensmittel, die mit „gentechnisch hergestellten“ Enzymen bearbeitet worden sind oder Zusatzstoffe aus GVO enthalten, auf dem Markt. In Deutschland werden von Verbrauchern und Medien häufig unter gentechnisch veränderten Lebensmitteln nur solche verstanden, die Erzeugnisse aus transgenem Soja oder Mais enthalten, während Lebensmittelhersteller häufig sehr einseitig nur kennzeichnungspflichtige Lebensmittel als gentechnisch modifizierte betrachten. In Nordamerika und Japan sind Lebensmittel der 1. und 3. Kategorie im Handel. Von der 2. Kategorie jedoch sind weltweit noch keine Erzeugnisse auf dem Markt.

Heute beziehen sich in der EU praktisch alle im Handel befindlichen Lebensmittel/Produkte auf die 3. Kategorie.

## Lebensmittelverarbeitung

### Fermentative Gewinnung von Enzymen und Zusatzstoffen

Für die Gewinnung von Enzymen und Zusatzstoffen hat die Fermentation von Mikroorganismen eine lange Tradition. Sowohl in der traditionellen als auch in der modernen Biotechnologie (Gentechnik) werden vorwiegend Bakterien, filamentöse Pilze und Hefen als Produktionsorganismen verwendet. In der Regel sind es „GRAS-Organismen“ (GRAS – **G**enerally **R**ecognized **A**s **S**afe), die bekanntermaßen bereits als Wildtypen als sicher gelten.

Enzyme haben um die Jahrhundertwende Eingang in Verarbeitungsprozesse gefunden, und ihr Anwendungsspektrum, nicht nur in der Lebensmittelverarbeitung, erweitert sich ständig. Enzyme weisen als Biokatalysatoren eine Reihe von Vorteilen für technische Verfahren auf.

Enzyme stellen als Proteine direkte Genprodukte dar; sie lassen sich einfach durch die Überexpression der entsprechenden Gene mit Hilfe von GVO in hoher Ausbeute gewinnen. Die aus GVO gewonnenen Enzyme sind Substitute für die bisher aus konventionellen Organismen isolierten Produkte. Die Enzyme aus GVO sind in ihren Strukturen und Aktivitäten jeweils mit den konventionellen identisch; in der Regel ist aber der Reinheitsgrad des Präparats höher. In Zukunft werden jedoch neue, in Hinblick auf die jeweilige Lebensmittelmatrix und das jeweilige Verfahren optimierte Enzyme eingesetzt werden. Durch

**Tabelle 1.** Nutzen und Chancen der Gentechnik im Agrar- und Lebensmittelsektor

#### Umsetzung ernährungswissenschaftlicher Erkenntnisse

- Optimierte Zusammensetzung von Makro- und Mikronährstoffen
- Verbesserte Erhalt von wertgebenden Inhaltsstoffen
- Erhöhung des Ballaststoffgehaltes
- Änderungen im Fettsäuremuster
- Erhöhung des Gehaltes an natürlichen Antioxidantien und Vitaminen
- Eliminierung antinutritiver Substanzen

#### Ausschaltung toxischer oder hygienischer Risiken im Produkt oder im Herstellungsverfahren

- Reduzierung von natürlich vorkommenden Toxinen
- Hemmung des Wachstums von pathogenen Keimen
- Reduzierung von mikrobiologischen Risikofeldern

#### Entwicklung hypoallergener und diätetischer Lebensmittel

##### Verbesserung und Erweiterung von sensorischen Eigenschaften

##### Verbesserte Haltbarkeit und Lagerfähigkeit von Lebensmitteln

- Unterdrückung der Fettoxidation
- Unterdrückung des Zellwandabbaus
- Hemmung des mikrobiellen Verderbs
- Minderung von Nachernteverlusten

#### Ressourcen- und Ertragssicherung

- Ausbildung von Resistenzen gegen Krankheitsbefall
- Verbesserte oder veränderte Rohstoff- und Reststoffverwertung

#### Entlastung der Umwelt

- Verringerung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln
- Verringerung des Energie- und Wasserverbrauchs
- Verringerung von „Abfallstoffen“ und Lösungsmitteln

#### Verfahrensoptimierung – Kosteneinsparung – Wettbewerbsfähigkeit

das *gene engineering* werden Enzyme – Proteine, wie sie in der Natur nicht vorkommen – entwickelt. Durch die gerichtete Mutagenese können gezielt Aminosäuren ausgetauscht und dadurch eine Erhöhung der Temperatur-, Proteolyse- oder pH-Stabilität erreicht werden. Aber auch eine Eingrenzung der Substratspezifität und die Aufhebung der Substrathemmung sind möglich. Da es sich hier um neue Enzyme handelt, werden sie erst nach eingehender Sicherheitsbewertung (Toxizität, Allergenität) den Lebensmittelverarbeitern zur Verfügung gestellt. Bei Enzymen, die Waschlösungen zugesetzt werden, ist die Entwicklung schon weiter fortgeschritten. Durch die gentechnische Optimierung der Organismen in ihrer Syntheseleistung für bestimmte Proteine werden demnächst verstärkt technologisch interessante Enzyme (z. B. Xylanase, Aminopeptidasen) angeboten werden, deren Produktion bislang in konventionellen Organismen aus ökonomischen Gründen nicht vorgenommen wurde.

Die Gewinnung von Enzymen und Zusatzstoffen mit GVO hat große Vorteile: Rohstoffe, Energie und Wasser werden in erheblichem Maße eingespart. Da auch wesentlich weniger Abfälle und Abwässer anfallen, ist das gentechnische Verfahren nicht nur umweltfreundlicher, sondern insgesamt auch kostengünstiger als die fermentative Gewinnung mit traditionellen Organismen. Kosteneinsparungen von bis zu 90 % können sich hierbei ergeben.

Gegenwärtig sind sicher mehr als 40 unterschiedliche Enzyme aus GVO kommerziell erhältlich (Tab. 2). Über ihren Einsatz in Deutschland/Österreich liegen kaum Daten vor. Sie werden eingesetzt, aber über den Umfang kann nur spekuliert werden. Lebensmittelverarbeiter geben kaum Auskünfte; sie befürchten eine Diffamierung ihrer

**Tabelle 2.** Kommerziell erhältliche Enzyme aus GVO für die Lebensmittelverarbeitung

Enzym	Anwendungsbereich
$\alpha$ -Amylase	Bäckerei Brauerei Stärkeverzuckerung Brennerei
$\alpha$ -Acetolactat-Decarboxylase, Zellulose	Brauerei, Obst-, Gemüseverarbeitung Getränke
Chymosin (Mikrobielles Lab)	Molkerei, Käseherstellung
$\beta$ -Glukanase	Brauerei
$\alpha$ -Glukantransferase	Stärkeverzuckerung
Glukose-Isomerase	Stärkeverzuckerung
Glukose-Oxidase	Bäckerei, Mehl-, Eiverarbeitung Feinkost – Mayonnaise
Hemizellulase	Bäckerei
Katalase	Feinkost – Mayonnaise
Lipase	Fett- und Ölverarbeitung Bäckerei, Konfitüren
Malto-Amylase	Obst-, Gemüseverarbeitung
Pektinase	Getränkeherstellung
Pektinesterase	Würze, Aromen
Pektinlyase	
Phytase	Tierernährung, Stärkeverarbeitung
Proteasen	Bäckerei Brauerei Molkerei Brennerei Fleisch- u. Fischverarbeitung Gemüseverarbeitung Würze, Aromen Stärkeverzuckerung
Pullulanase	Brauerei Bäckerei
Xylanase	Stärkeverarbeitung

Produkte. Im europäischen Ausland dagegen ist die Verwendung dieser Enzyme weit verbreitet. Mit diesen Enzymen verarbeitete Lebensmittel sind auch im deutschsprachigen Raum (Deutschland, Österreich, Schweiz) auf dem Markt. In einigen Ländern sind Enzyme, gleichgültig ob sie aus traditionellen Organismen oder aus GVO gewonnen werden, zulassungspflichtig. In der Schweiz sind Zulassungsverfahren für einige Enzyme aus GVO beim Bundesamt anhängig. In den Niederlanden z. B. wird (wurde) die Verwendung von Enzymen aus GVO mit „produziert mit Hilfe moderner Biotechnologie“ gekennzeichnet.

In Tabelle 3 sind die Einsatzbereiche von kommerziell genutzten Enzymen aus GVO zusammengefasst.

Zur Gewinnung von Zusatzstoffen werden verstärkt biotechnische Verfahren eingesetzt. Chemische Synthesen sollen weitgehend durch biologische Syntheseverfahren ersetzt werden und deren Spezifität und insbesondere deren Stereospezifität genutzt werden. Klassische Verfahren sollen durch die Verwendung von GVO sicherer, effektiver und rentabler gestaltet werden. Zusätzlich lassen sich mit GVO neue Produktionslinien eröffnen

Aufgrund der großen Anzahl von Produkten sollen hier einige exemplarisch behandelt werden. Die fermentative Gewinnung von Zusatzstoffen mit GVO hat gegenwärtig nur bei wenigen Produkten bereits eine wirtschaftliche Bedeutung. In Tabelle 4 sind aus GVO fermentativ gewonnene Produkte aufgelistet.

Weit fortgeschritten sind gentechnische Modifizierungen von Mikroorganismen zur optimierten Aminosäuresynthese. Viele Aminosäuren werden mit Hilfe von gentechnisch veränderten Mikroorganismen (GMO) produziert. Möglicherweise wird in den USA die auf gentechnischem Wege produzierte Aminosäure Phenylalanin zur Synthese des Süßstoffes Aspartam eingesetzt. Der Süß-

**Tabelle 3.** Kommerzielle Nutzung von Enzymen aus GVO in der Lebensmittelverarbeitung

Verarbeitendes Gewerbe	Enzyme
Bier- und Weinproduktion	Amylasen, Glukanasen, Pektinasen, Xylanasen
Stärke	Amylasen, Glukoamylase, Pullanasen, Glukose-Isomerase
Frucht- und Gemüsesäfte	Pektinasen, Zellulasen, Arabinasen, Glukose-Oxidase
Back- und Teigwaren	Amylasen, Glukanasen, Xylanasen, Glukosidasen, Proteinase
Fleisch- und Wurstwaren	Proteinase, Peptidasen, Glukoseoxidase
Milchprodukte	Proteinase (Chymosin), Laktase, Lipase

**Tabelle 4.** Aus GMO (gentechnisch veränderte Mikroorganismen) fermentativ gewonnene Zusatzstoffe oder Zutaten

Zusatzstoffe oder Zutaten aus GMO	
Arginin	Guanylat
Leukin	Inosinat
Isoleukin	Diacetyl
Lysin	$\beta$ -Carotin
Methionin	Fettsäuren
Phenylalanin	Vitamin B <sub>2</sub> (Riboflavin)
Threonin	Vitamin B <sub>12</sub> (Riboflavin)
Tryptophan	Natamycin
Glutaminsäure	Nisin
Iso-Ascorbinsäure	Thaumatococin

stoff Aspartam ist ein Dipeptidderivat aus Asparaginsäure und Phenylalanin. In Japan wird Glutaminsäure als Geschmacksverstärker mit GMO gewonnen.

In der Vitamin-C-Synthese wird bislang nur die Oxidation von Sorbit zu Sorbose auf biotechnischem Wege mit *Acetobacter suboxydans* durchgeführt. Alle weiteren Schritte zum Vitamin C, der Ascorbinsäure, erfolgen durch chemische Synthesen im Reichenstein-Verfahren. Mit Hilfe der Gentechnik ist es gelungen, die Synthese von Vitamin C ausgehend von Glukose mit einem einzigen Mikroorganismus zu bewerkstelligen. *Erwinia herbicola* vermag durch die Einklonierung eines Gens einem aus *Corynebacterium* Glukose zur 2-Keto-L-Glukonsäure, dem Schlüsselpolprodukt der Vitamin-C-Synthese, zu fermentieren. Hierdurch konnten vier chemische Prozeßstufen der konventionellen Vitamin-C-Produktion ersetzt werden.

Die Synthese von  $\beta$ -Carotin, Riboflavin ( $B_2$ ) und Zwischenstufen zum Vitamin  $B_{12}$  werden mit GMO durchgeführt und die Vitamine sind am Markt erhältlich.

Die Herstellung von organischen Säuren wie Zitronensäure, Äpfelsäure, Milchsäure und Essig mit Hilfe von

**Tabelle 5.** Ziele gentechnischer Veränderungen von Starterkulturen (mod. nach Scherer, 1996)

---

#### Modifizierungen von Starterkulturen

---

##### Optimierung von Produkteigenschaften

- Veränderungen in proteolytischen Prozessen
- Erhöhung der Aromastoffbildung
- Synthese neuer Aromastoffe
- Bildung extrazellulärer Polysaccharide
- Hemmung der Säuerung

##### Ernährungsphysiologische Aufwertung

- Nutzung probiotischer Effekte:
- Anticancerogene Wirkung,
- Cholesterin-Senkung
- Stabilisierung der Darmflora
- Reduktion der Bildung biogener Amine
- Erhöhung der Synthese von Vitaminen
- Erhöhung der Synthese essentieller Aminosäuren

##### Sicherung des hygienischen Status

- Bildung von Bakteriozinen

##### Optimierung der Produktionstechnik

- **Prozeßsicherheit:** Phagenresistenz; Stabilisierung metabolischer Eigenschaften
  - **Prozeßzeitverkürzungen:** Steuerung der Proteolyse, Unterdrückung der Synthese unerwünschter Geschmacksstoffe
  - **Effizienzverbesserung:** Freisetzung von Enzymen, Metaboliten, bei niedriger Temperatur
- 

GVO ist nicht gänzlich auszuschließen. Wahrscheinlicher ist es aber, daß diese Säuren mit klassisch optimierten Produktionsstämmen gewonnen werden.

#### Mikroorganismen als Starter- und Schutzkulturen

Milchsäurebakterien, Hefen und Schimmelpilze besitzen eine große Bedeutung als Starterkulturen, und sie sind Gegenstand vieler gentechnischer Modifizierungen. GVO sind für alle drei Mikroorganismengruppen entwickelt und in der Laborpraxis erprobt worden, aber gegenwärtig sind noch keine gentechnisch veränderten Mikroorganismen für die Lebensmittelproduktion auf dem Markt.

Hauptziele der gentechnischen Veränderungen von Starterkulturen liegen in der Erhöhung der Produktqualität und -vielfalt, in der Verbesserung der Prozeßführung und -sicherheit sowie in der Reduktion hygienischer Risiken (Tab. 5). Für die fermentative Verarbeitung von Milch zu Joghurt, Kefir, Dickmilch und Käse haben gentechnische Veränderungen an Milchsäurebakterien großes Interesse gefunden. Hohe wirtschaftliche Verluste treten immer wieder durch Phageninfektionen bei Fermentationen auf; sie machen den Hauptteil aller Prozeßstörungen aus. Der Phagenbefall kann durch eine gentechnische stabile Integration des natürlich vorkommenden, aber plasmidcodierten Resistenzgens ins Genom verhindert werden. Die Erbinformationen für weitere günstige Eigenschaften, z. B. Laktose-, Zitraterverwertung, Diacetyl-, Schleim- und Bakteriozinbildung, befinden sich häufig ebenfalls auf Plasmiden, so daß die entsprechenden Gene ins Genom transferiert und ihre Expressionsraten verändert werden können.

Milchsäurebakterien produzieren ein breites Spektrum an Peptiden mit antibakterieller Wirkung. Diese Substanzen weisen z. T. eine recht unspezifische Wirksamkeit gegenüber gram-positiven Bakterien auf und eignen sich zum Schutz von Lebensmitteln und Tierfutter vor Krankheits- und Verderbserregern. Für Schutzkulturen wurden Gene für die Bildung von bakteriostatischen oder bakterioziden Substanzen übertragen oder ihre Expressionsraten erhöht. Bakteriozine hemmen das Wachstum von Bakterien, und mit der Ausschüttung des Antagonisten verschaffen sich Milchsäurebakterien einen Vorteil in der Konkurrenz um Nährstoffe. Milchsäurebakterien, die stabil und vermehrt Bakteriozine bilden, können Frischfleisch- und Frischsalatprodukte vor vorzeitigem Verderb durch apathogene und pathogene Organismen schützen.

*Fortsetzung und Literaturverzeichnis im nächsten Heft*