

Anwendung der Gentechnik in der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung = Genetic Engineering in Food Production and Processing

Autor(en): **Baumgartner, A. / Schlatter, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und
Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène**

Band (Jahr): **83 (1992)**

Heft 2

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-982257>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Anwendung der Gentechnik in der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung

Genetic Engineering in Food Production and Processing

A. Baumgartner und J. Schlatter
Bundesamt für Gesundheitswesen, Bern

Einführung

Im Jahre 1869 isolierte der Schweizer *Miescher* zum ersten Mal Desoxyribonucleinsäure (DNS). Erst 1944 konnten *Avery* und Mitarbeiter dann aber beweisen, dass die DNS Sitz der Erbinformation ist. Danach folgten sich grundlegende Erkenntnisse in der molekularen Genetik Schlag auf Schlag. 1953 wurde von *Watson* und *Crick* die räumliche Struktur der DNS aufgeklärt und Mitte der 60er Jahre war der genetische Code entschlüsselt. In die gleiche Zeit fällt auch *Arbers* Entdeckung der Restriktionsenzyme, mit denen sich DNS an spezifischen Stellen in Stücke schneiden lässt. Damit war eine wesentliche Grundlage für zukünftige gentechnische Experimente geschaffen. Diese neue Wissenschaftsdisziplin wurde bis etwa 1975 vor allem im Rahmen der Grundlagenforschung betrieben und weiterentwickelt. Dann war der Zeitpunkt gekommen, die Gentechnik praktisch zu nutzen. Erste Erfolge wurden dabei mit Mikroorganismen erzielt, die sich besonders gut für gentechnische Eingriffe eignen. Heute sind gentechnische Veränderungen auch bei pflanzlichen und tierischen Zellen möglich geworden. Mit ihren ersten kommerziellen Erfolgen trat die Gentechnik aus den Forschungslaboratorien ins Licht der Öffentlichkeit. Die neue Technologie fand dabei nicht nur Befürworter, sondern sie erzeugte auch Angst und Unbehagen. Bei Teilen der Bevölkerung geht die Ablehnung gar soweit, dass ein Verbot der Gentechnik gefordert wird. Leider hat diese Haltung ihre Wurzeln nicht selten im Irrationalen, da die nötige Wissensbasis für eine brauchbare Urteilsbildung beim breiten Publikum noch kaum oder gar nicht vorhanden ist. Diese Konstellation erlaubt es, dass latente Ängste gegenüber der Gentechnologie teilweise auch politisch ausgenutzt werden. Auf diese Weise kann kurzfristig erwiesenermassen mehr Publizität gewonnen werden als mit profunder Aufklärung.

Gentechnische Methoden lassen sich auch im Bereich der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung anwenden. Auf Fragen, die die Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln betreffen, spricht der Konsument besonders stark an, ist das Essen

doch etwas, von dem jedermann jeden Tag betroffen ist. Vorbehalte bezüglich des Einsatzes der Gentechnik bei Lebensmitteln müssen deshalb ausgesprochen ernst genommen werden. In diesem Sinne möchte der vorliegende Artikel aufzuzeigen versuchen, wo die Gentechnik im Lebensmittelbereich heute bereits zum Einsatz kommt, was in Zukunft zu erwarten ist, wo mögliche Risiken liegen und wie diese zu bewerten sind.

Anwendung der Gentechnik im Lebensmittelbereich

Produktion von Nutzpflanzen (1, 2, 3)

Durch Einsatz der Gentechnik bei Pflanzen, die zur Produktion von Lebensmitteln dienen, werden hauptsächlich folgende Ziele angestrebt:

Einbringen von Resistenzen gegen Schädlinge, Krankheitserreger und Stressfaktoren

Bei verschiedenen Pflanzen wie Tomaten, Kartoffeln, Gurken, Zuckerrüben und Reis führen Viruserkrankungen weltweit zu grossen Ernteverlusten oder qualitativ minderwertiger Ware. Es wird deshalb versucht, virusresistente Varianten verfügbar zu machen. Dabei wird die genetische Information für das Hüllprotein des jeweiligen Virus in das Genom (Erbgut) der zu schützenden Pflanze eingeführt. Eine auf diese Weise veränderte Pflanze bildet das Virushüllprotein aus und erhält dadurch eine Immunität gegenüber Infektionen durch entsprechende Viruspartikel der natürlichen Umgebung. Beim Verzehr solcher Pflanzen wird auch Virusprotein mit aufgenommen. Dies stellt für den Konsumenten aber keine neue Situation dar, enthalten doch auch natürlicherweise mit Virus infizierte Pflanzen Hüllproteine, die somit seit jeher in den menschlichen Verdauungstrakt gelangen, ohne negative Auswirkungen zur Folge zu haben.

Auch in schweizerischen Forschungslaboratorien wird die Herstellung von krankheitsresistenten Pflanzen mittels Gentechnik erforscht. So wurde in der Eidg. Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Changins versucht, ein gegen das Kartoffelvirus Y resistenter Bintje-Klon zu erzeugen. Das Gen für das Hüllprotein von Virus Y wurde dabei mit dem Bakterium *Agrobacterium tumefaciens* in das Erbgut der Versuchspflanze eingeschleust. Der Erfolg des Experimentes wurde im Laufe des Jahres 1991 in einem Feldversuch überprüft. Da es sich in der Schweiz um den ersten Freisetzungsversuch mit einem gentechnisch veränderten Organismus beziehungsweise «Genetically Modified Organism» (GMO) handelte und die rechtliche Grundlage zu einer eindeutigen Beurteilungskompetenz bei den Behörden noch fehlte, erregte das Experiment von Changins recht grosses Aufsehen bei den Kritikern der Gentechnologie und bei den Massenmedien.

Neben der Resistenz gegen Krankheitserreger wird auch angestrebt, Pflanzen mittels Gentechnik gegen schädliche Insekten zu schützen. Als Beispiel sei eine

Tomate aufgeführt, der eine Resistenz gegen *Lepidoptera spp.* verliehen wurde. Zu diesem Zwecke wurde dasjenige Gen von *Bacillus thuringiensis* in das Genom der Tomate überführt, welches die Information des gegen die genannten Insekten wirksamen δ -Endotoxins enthält.

Als weitere Anwendung der Gentechnik bei Pflanzen ist die Erzeugung herbizidresistenter Varianten zu nennen. Solche Nutzpflanzen können einem Herbizid widerstehen, nicht aber unerwünschte Unkräuter. Diese Strategie wird besonders stark kritisiert, da Befürchtungen bestehen, dass Herbizide noch intensiver eingesetzt werden könnten als es heute bereits der Fall ist und dass Abhängigkeiten gegenüber marktbeherrschenden Firmen, die sowohl Saatgut als auch die darauf abgestimmten Pflanzenbehandlungsmittel verkaufen, entstehen.

Mittels Gentechnik sollen auch Pflanzen mit erhöhter Toleranz gegen Stressfaktoren wie Trockenheit, Kälte, hohe Salzkonzentrationen der Böden, Schwermetalle usw. geschaffen werden.

Steigerungen von Ertrag und Qualität

Als besonders bedeutend werden Veränderungen von Pflanzen erachtet, die ernährungsphysiologische Verbesserungen zur Absicht haben. Durch Einführen neuen Genmaterials soll z. B. der Gehalt einer Nutzpflanze an gewissen Proteinen oder Fettsäuren vorteilhaft verändert werden. Auch der umgekehrte Weg, d. h. das Entfernen gewisser genetischer Eigenschaften, kann angezeigt sein. Oft enthalten Pflanzen natürlicherweise Giftstoffe wie etwa das Solanin in grünen Teilen der Kartoffel. Durch Elimination der entsprechenden Gene könnten solche Pflanzen für den Konsumenten sicherer gemacht werden. Als weiteres Beispiel seien Kaffeepflanzen genannt, aus deren Erbgut das Gen zur Koffeinbildung entfernt worden ist. Damit liesse sich der marktwirtschaftlich bedeutsame koffeinfreie Kaffee ohne aufwendige und teure chemische Extraktionsverfahren herstellen. Zudem wären auch keine Rückstände von Lösungsmitteln mehr zu befürchten, welche von den Konsumenten immer weniger toleriert werden.

Über die Beeinflussung der Biosynthese von Aroma- und Farbstoffen erhoffen sich die Gentechniker eine Veränderung der geschmacklichen und ästhetischen Qualität gewisser pflanzlicher Lebensmittel. Eine Veränderung der *Textur* über die Beeinflussung der Kettenlänge von Stärkemolekülen wird diskutiert.

Wie weit die Gentechnik dereinst die Produktion pflanzlicher Lebensmittel beeinflussen könnte, soll abschliessend das Beispiel der Reifeverzögerung illustrieren. Bei Tomaten gelang es bereits, ein Gen zur Hemmung der Polygalacturonase einzuführen. Dieses Enzym führt bei der reifen Tomate zum Abbau des Zellwandbausteins Pektin, was ein Matschigwerden der Frucht bewirkt. Polygalacturonasefreie Tomaten haben nun den grossen Vorteil, dass sie nicht mehr im unreifen Zustand geerntet werden müssen, um reif auf den Tisch des Konsumenten zu gelangen.

Gentechnisch veränderte Pflanzen sind zurzeit im Handel als Lebensmittel noch nicht erhältlich und viele der aufgeführten Anwendungsmöglichkeiten befinden sich erst im Stadium der Erforschung. Dass die Entwicklung aber schon weit

fortgeschritten ist, beweist die Tatsache, dass Ende 1989 weltweit bereits 131 Freisetzungen beziehungsweise Feldversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen realisiert worden sind, wovon ein Drittel in Europa (4).

Mikrobielle Schädlingsbekämpfungsmittel

Um chemische Produkte zur Bekämpfung von Pflanzenschädlingen zu ersetzen, wird auch mehr und mehr versucht, biologische Schutzmittel wie Pilze, Bakterien und Viren einzusetzen (5). Auch in der Schweiz haben die mikrobiellen Pflanzenbehandlungsmittel in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen.

Verantwortlich für die Zulassung solcher Präparate sind die Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau Wädenswil (FAW), wo die Wirksamkeit beurteilt wird, und das Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG), wo aufgrund von Artikel 8 der Lebensmittelverordnung (LMV) die Frage der gesundheitlichen Unbedenklichkeit geprüft wird. Neben diversen Präparaten auf der Basis von *Bacillus thuringiensis*, die zum Teil schon seit den 70er Jahren im Verkehr sind, wurde in der jüngsten Vergangenheit eine ganze Reihe von neuen mikrobiellen Schädlingsbekämpfungsmitteln zugelassen. So Baculoviren zur Bekämpfung des Apfel- und Schalenwicklers, der Pilz *Beauveria brongniartii*, der gegen den Maikäfer wirkt, sowie der Pilz *Verticillium lecanii* zum Einsatz gegen die weisse Fliege. Weitere Präparate sind in Prüfung. Bei all den in der Schweiz bisher zugelassenen Mikroorganismen zur Pflanzenbehandlung handelt es sich um solche, an denen keinerlei gentechnische Veränderungen vorgenommen worden sind. In Australien, Italien und den USA wurden aber bereits verschiedene GMO als Schädlingsbekämpfungsmittel in Freisetzungsexperimenten geprüft. Dabei handelte es sich um *Agrobacterium radiobacter*, *Bacillus thuringiensis*, Baculoviren und Pseudomonaden (6).

Produktion von tierischen Lebensmitteln (1, 7)

Durch gentechnische Veränderungen bei Nutztieren (transgene Tiere) erhofft man sich eine Verbesserung von wirtschaftlich wichtigen Eigenschaften wie etwa der Milchsekretion, der Ausbildung von Muskelfleisch oder Wolle sowie der Resistenz gegen Krankheitserreger.

Transgene Tiere können über verschiedene Methoden erzeugt werden. So ist es beispielsweise möglich, die gewünschten Gene mittels Mikroinjektion in den Pronukleus der befruchteten Eizelle einzuschleusen. Weitere Techniken benutzen Retroviren zur Einführung von fremder DNS in das tierische Genom oder aber embryonische Stammzellen. Gentechnische Eingriffe sind bei den hochentwickeltesten Säugetieren mit grösseren Schwierigkeiten verbunden als bei Mikroorganismen. Vor allem Eigenschaften, die von mehreren Genen reguliert sind, wie etwa die Milchsekretion, dürften über gentechnische Veränderungen nur sehr schwer zu beeinflussen sein. Experimente mit einem transgenen Schwein, dem das Gen für die Ausbildung des menschlichen Wachstumshormons implantiert worden ist, machen

die Schwierigkeit gentechnischer Eingriffe bei Säugetieren ebenfalls deutlich. Trotz messbarer Hormonproduktion war bei den Versuchstieren kein markanter Zuwachs an Körpergewicht zu verzeichnen, dafür aber eine ganze Reihe von Defekten.

Schnelleren kommerziellen Erfolg verspricht man sich dagegen mit dem sogenannten «Molecular Farming». Hier wird das Genom eines Nutztieres in einer Weise erweitert, dass bestimmte ernährungsphysiologisch oder pharmakologisch interessante Stoffe produziert und ausgeschieden werden, im idealen Fall über die Milchdrüsen. Zurzeit gibt es bereits transgene Tiere, die zum Beispiel Plasminogen Aktivator, Interleukin-2 oder den für die Blutgerinnung wichtigen Faktor IX produzieren. Welche Bedeutung das «Molecular Farming» erhalten könnte, macht die Tatsache deutlich, dass zehn transgene Milchkühe ausreichen würden, um den Weltbedarf an Gerinnungsfaktor IX für Bluterkrankte zu decken. Bis es aber soweit ist, müssen noch diverse technische Probleme überwunden werden.

Grosse Fortschritte sind auch schon mit transgenen Fischen erzielt worden. Der Fisch ist wegen seines hohen Nährwertes Objekt intensiver Forschung. So gelang es vor kurzem, das Gen für das Wachstumshormon der Forelle in Karpfen überzuführen, wodurch ein Grössenzuwachs von 20–40% resultierte. Mit dem gleichen Ziel wurde das Wachstumshormon der Ratte mit Erfolg in das Genom von Forelle, Lachs und Karpfen implantiert. Weitere Eigenschaften, die man bei Fischen mittels Gentechnik zu verändern hofft, sind der Geschmack des Fleisches sowie die Sauerstoff-, Salz- und Temperaturtoleranz. Es wird erwartet, dass verschiedene transgene Fischarten in wenigen Jahren den Lebensmittelmarkt merkbar bereichern werden.

Von grosser Bedeutung ist die Gentechnik bei der Nutztierhaltung auch in der indirekten Anwendung, d. h. über Medikamente, Impfstoffe und produktionsfördernde Hilfsstoffe. Als ein Beispiel sei das gentechnisch hergestellte bovine Somatotropin angeführt. Dieser Milchleistungs- und Wachstumsförderer für Kühe ist in der Vergangenheit vor dem Hintergrund der Milchschwemme und des Butterberges allerdings stark diskutiert und kritisiert worden.

Einsatz der Gentechnik in der Lebensmittelverarbeitung

Bei der Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln gelangen neben Mikroorganismen auch eine grosse Zahl chemischer Stoffe zum Einsatz. Die Herkunft dieser sogenannten Fabrikationshilfsstoffe und Zusatzstoffe ist vielfältiger Natur. Sie können aus der unbelebten Natur stammen, chemisch synthetisiert oder aber aus Pflanzen, Tieren sowie Mikroorganismen isoliert worden sein. Die Gewinnung von Zusatz- und Fabrikationshilfsstoffen ist mittels konventioneller Methoden in vielen Fällen teuer und aufwendig. Bestimmte Stoffe sind zudem von ihrer natürlichen Verfügbarkeit her limitiert, was sich auf die entsprechenden Handelspreise auswirkt. Aus diesen Gründen liegt es nahe, auch in diesem Bereich die Mittel der Gentechnik zu nutzen.

Direkter Einsatz von GMO in Lebensmitteln (1, 3)

Schon im Altertum nutzte der Mensch Mikroorganismen unwissentlich bei der Herstellung, Verarbeitung und Haltbarmachung bestimmter Lebensmittel. Als erstem Wissenschaftler gelang es *Pasteur*, bestimmte Mikroben von lebensmitteltechnologischer Bedeutung zu isolieren und ihre Funktion zu beschreiben. Damit waren die Grundsteine der technischen Mikrobiologie und der Gärungslehre gelegt. Seither wurden eine Vielzahl von Mikroorganismen beschrieben, die bei der Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln Verwendung finden (8).

Bei den in der Lebensmitteltechnologie heutzutage eingesetzten Mikroorganismen handelt es sich durchwegs um Stämme, die mit Hilfe der klassischen bakteriologischen und genetischen Methoden selektioniert worden sind. Mit der Gentechnik steht nun aber ein weit wirksameres Instrument zur Verfügung, um lebensmitteltechnologisch nutzbare Mikroorganismen in ihren Eigenschaften zu ergänzen oder zu verbessern. Damit wiederum soll Einfluss auf die Haltbarkeit, den Geschmack und die Textur von mikrobiell fermentierten und gereiften Lebensmitteln genommen werden können. Schon recht weit fortgeschritten ist die Forschung diesbezüglich in der Milchwirtschaft. Zurzeit geht es dort in erster Linie darum, Starterkulturen zu schaffen, die resistent gegen Bakteriophagen (bakterienspezifische Viren) sind. Das ist vor allem dann von Bedeutung, wenn in einem Ansatz sehr grosse Mengen Milch mit Starterkulturen fermentiert werden, die manchmal nur aus einem einzigen Milchsäurebakterienstamm bestehen. Ein Phagenbefall solcher Kulturen kann verheerende Auswirkungen mit entsprechenden finanziellen Einbussen zur Folge haben (9).

Während einer Gärung ist es auch möglich, dass den beteiligten Keimen wichtige Eigenschaften, wie z. B. die Lactoseverwertung, Diacetylbildung, Proteinaseaktivität durch natürliche Instabilität des Erbgutes, verloren gehen. Mit Hilfe der Gentechnik hofft man darum, Bakterienstämme so weit stabilisieren zu können, dass solche Verluste nicht mehr oder weniger häufig auftreten. Mit diesen Beispielen aus der Milchwirtschaft ist die Fülle möglicher Innovationen nur angetönt. Vor allem bei den technologisch sehr wichtigen Hefen sind der Kreativität des Forschers kaum Grenzen gesetzt. In England wurde 1990 beispielsweise eine gentechnisch veränderte Bäckerhefe, die Maltose effizienter verwertet, zur Vermarktung zugelassen. Die Forschung beschäftigt sich auch mit Hefen, die Stärke abbauen können, eine Eigenschaft, die bei Wildstämmen nicht vorkommt. Vielleicht wird es auch einmal möglich sein, über Bäckerhefen mit einem zusätzlichen Gen für Lipoxygenase ein weisseres Brot zu erhalten. Die Brauereiindustrie verspricht sich durch die Gentechnik ebenfalls markante Vorteile. So sollen Bierhefen, die in der Lage sind, β -Glucan aus der Zellwand des Gerstenendosperms abzubauen, zu einem besser filtrierbaren Bier führen. Über Hefen, die Restzucker (Dextrine) verwerten, ist das Brauen kalorienarmer Biere vorgesehen, und mittels gentechnisch veränderten Hefen sollte auch eine einfachere Produktion alkoholfreien Bieres möglich werden. Zu erwähnen bleibt, dass auch die im Weinbau verwendeten Mikroorganismen Objekt intensiver genetischer Forschung sind.

GMO könnten in Zukunft auch als Hilfsmittel bei der Pflanzenproduktion Anwendung finden. Zur Anschauung sei dabei auf die Sojabohnen verwiesen, von denen auf 60 Millionen Hektar jährlich etwa 90 Millionen Tonnen Samen produziert werden, die zu den wichtigsten Eiweissquellen für die menschliche und tierische Ernährung zählen. Die Sojaerträge sind direkt von der Aktivität des in den Wurzelknöllchen in Symbiose lebenden Bodenbakteriums *Bradyrhizobium japonicum* abhängig. Mit Hilfe der Gentechnik wird nun angestrebt, Stämme dieses Keimes zu erzeugen, die Luftstickstoff zugunsten der Sojapflanze weit effizienter binden können (10).

In der Tierproduktion wird der Einsatz von GMO ebenfalls in Betracht gezogen. So könnten entsprechend modifizierte Mikroorganismen im Pansen der Kuh vielleicht einmal zu einer besseren Futtermittelverwertung beitragen (11).

Abschliessend sei mit den «Single Cell Proteins» (SCP) eine letzte mögliche Variante des direkten Einsatzes von GMO vorgestellt. Bei SCP handelt es sich um die Zellmasse von Bakterien, Algen oder Pilzen (Hefen), die als Lebensmittel oder Lebensmittelzusatz eingesetzt werden können. In England hat beispielsweise ein Mycoprotein des stärkeabbauenden Pilzes *Fusarium graminearum* ein «Certificate of Free Sale» erhalten. Aus dem Mycoprotein können Produkte hergestellt werden, welche in ihrer Textur zartem und magerem Fleisch ähnlich sind. Das verwendete *Fusarium* wurde keinerlei gentechnischen Veränderungen unterzogen. Es ist jedoch durchaus vorstellbar, dass die Gentechnik in Zukunft auch bei der Herstellung von SCP zur Anwendung kommen wird.

Einsatz von Produkten aus GMO (1, 3)

Aus pflanzlichen und tierischen Rohstoffen sowie mit klassischer Biotechnologie werden bereits heute zahlreiche Fabrikationshilfs- und Lebensmittelzusatzstoffe wie Aminosäuren, Aromen, Farbstoffe, Vitamine, Fruchtsäuren und Enzyme hergestellt. Die Isolierung und Reinigung dieser Stoffe ist oft sehr aufwendig und wenig ertragreich. Durch Einsatz der Gentechnik wird es in Zukunft aber möglich sein, höhere Ausbeuten zu erzielen. Dieses Ziel lässt sich dadurch erreichen, dass über einen gentechnischen Eingriff das Erbgut von natürlichen Produzenten gewünschter Stoffe vorteilhaft verändert wird oder aber, dass das Gen für einen herzustellenden Stoff in einen ganz anderen, speziell geeigneten Organismus (Mikroorganismus) eingeführt wird. Die jeweiligen Produktionsorganismen werden dann in Fermentern, die geschlossene Systeme darstellen, vermehrt. Das gewünschte Endprodukt erfährt eine Reinigung, so dass der rekombinierte Produktionsorganismus in demselben nicht mehr enthalten ist.

Im folgenden soll gezeigt werden, wie weit der indirekte Einsatz von GMO in der Lebensmitteltechnologie Eingang finden könnte oder bereits gefunden hat:

1. Enzyme

Zahlreiche Enzyme aus gentechnischer Produktion kommen heute bereits in verschiedensten industriellen Prozessen zum Einsatz. Für einige Stoffe dieser Kategorie sind schon Anträge zum Einsatz in der Lebensmittelindustrie hängig und

ein in der Hefe *Kluyveromyces lactis* hergestelltes Chymosin wurde vom BAG aufgrund von Artikel 83 der LMV bereits 1988 zugelassen. In der Zwischenzeit wurde das entsprechende Handelsprodukt mit Namen «Maxiren» in diversen anderen Ländern bewilligt. Labenzym wurde bisher aus Kälbermagen extrahiert. Auf diese Weise war es aber nicht mehr möglich, den weltweit zunehmenden Bedarf an hochwertigem Chymosin zu decken. Dank der Gentechnik steht Chymosin nun in beliebigen Mengen zur Verfügung. Der Einsatz von «Maxiren» wurde in der Schweiz jedoch von den Vermarktungsorganisationen für Hart- und Halbhartkäse untersagt, um unerwünschten Reaktionen der Konsumenten und Schwierigkeiten beim Export vorzubeugen (12).

2. Aromastoffe

Für die Lebensmittelindustrie werden Aromastoffe chemisch-synthetisch und durch Extraktion aus pflanzlichen und tierischen Rohstoffen gewonnen. Dabei können Enzyme oder Mikroorganismen zum Einsatz kommen. In Zukunft ist die Herstellung von Aromastoffen auch unter Einsatz von GMO zu erwarten. Die Gentechnik dürfte dabei am ehesten dort zum Einsatz kommen, wo gegenüber den klassischen Verfahren ein ökonomischer Vorteil zu erreichen ist.

Nach der LMV fallen Aromastoffe in die Kategorie Zusatzstoffe, die einer Bewilligung des BAG bedürfen. Die in Artikel 12 der Verordnung über die in Lebensmitteln zulässigen Zusatzstoffe (Zusatzstoffverordnung) publizierte Positivliste 8 «Aromastoffe» entspricht einer Veröffentlichung des Europarates (13). Die zurzeit gültige Version dieser Liste beinhaltet noch keine Aromastoffe aus gentechnischer Produktion.

3. Farbstoffe

Die Zusatzstoffverordnung führt in einer in 3 Kategorien unterteilten Positivliste total 56 Farbstoffe oder Farbstoffgruppen auf. Dabei handelt es sich um Substanzen, die durch physikalische oder chemische Verfahren gewonnen oder synthetisiert werden. Bei der Herstellung von Farbstoffen ist der Einsatz von gentechnischen Methoden am ehesten bei den Karotinoiden zu erwarten. Karotinoide sind als Zusatzstoffe bei Lebensmitteln und tierischen Futtermitteln von grosser kommerzieller Bedeutung. Viele Karotinoide werden von Algen, Pilzen oder Bakterien natürlicherweise produziert. Eine industrielle Nutzung dieser mikrobiellen Eigenschaft war bisher allerdings nicht möglich. Mit dem Pilz *Blakeslea trispora* liessen sich zwar recht hohe Ausbeuten an β -Karotin erzielen, das Produkt konnte aber mit dem chemisch-synthetisch hergestellten preislich nicht konkurrenzieren. Die Optimierung der zur Karotinoidproduktion verwendeten Mikroorganismus-Stämme erfolgte ausschliesslich über die klassischen bakteriologischen und genetischen Methoden. Da die Biosynthese der Karotinoide sehr komplex ist und über die daran beteiligten Gene und deren Regulation erst wenig Grundlagenwissen besteht, kann zurzeit nur schwer vorausgesagt werden, ob und wann Karotinoide aus gentechnischer Produktion ihre chemisch-synthetischen Äquivalente verdrängen werden (14).

Gesetzliche Regelung der Gentechnik

Bezüglich der Notwendigkeit einer gesetzlichen Regelung der Gentechnik spannt sich der Bogen der Meinungen sehr weit. Die Verfechter einer möglichst freien Grundlagenforschung erachten gesetzliche Leitplanken nicht oder nur bedingt als nötig. Demgegenüber fordern kritische Kreise eine strenge Kontrolle der gentechnischen Forschung oder in extremis sogar ein vollständiges Verbot. In der letzten Zeit sind aber auch überzeugte Vertreter einer uneingeschränkten Forschungsfreiheit zu einer differenzierteren Auffassung gekommen. So schliesst *Fey* in seinem Gentechnikbericht zuhanden des Grossen Rates des Kantons Bern die Schaffung eines gesetzlichen Rahmens für die genetische Forschung nicht mehr a priori aus. Er fordert aber, dass die dazu nötigen Grundlagen durch fachkompetente Personen gelegt werden (15).

Die vorliegende Abhandlung bezweckt nicht, sich zur politischen Forderung nach gesellschaftlicher Relevanz der gentechnischen Forschung zu äussern. Der Autor geht vielmehr davon aus, dass die Gentechnik in den kommenden Jahren massiv an Bedeutung gewinnen wird und diese sich in einem klaren gesetzlichen Rahmen abspielen muss. Wie weit die schweizerische Gesetzgebung die Gentechnik erfassen kann und wo noch Regelungslücken bestehen, hat *Trösch* bereits 1989 in einem Übersichtsartikel ausgeleuchtet (16). Die Elemente einer möglichen gesetzlichen Regelung im Lebensmittelbereich sollen nachfolgend näher betrachtet werden:

Anforderungen an Lebensmittel

Die LMV hat den Gesundheitsschutz und den Täuschungsschutz zu gewährleisten. Die genannten Kriterien sind bei der Beurteilung von Lebensmitteln richtungsweisend, unabhängig davon, ob diese traditionell oder unter Mithilfe der Gentechnik produziert oder verarbeitet worden sind. Gemäss der zurzeit gültigen LMV müssen Neuprodukte, Produkte mit Vitaminanpreisungen, diätetische Lebensmittel, Speziallebensmittel und gewisse Fabrikationshilfsstoffe, so z. B. Labersatzstoffe, durch das BAG bewilligt werden. Falls bei der Produktion solcher Erzeugnisse gentechnische Methoden verwendet worden wären, so könnte diesem Aspekt bei der Prüfung der vom Anmelder zur Verfügung gestellten Unterlagen gebührend Beachtung geschenkt werden. Bei vielen anderen Lebensmitteln oder Stoffen verlangt die LMV aber kein Zulassungsverfahren. So dürfte beispielsweise eine auf gentechnischer Basis hergestellte Aminosäure, die als nutritive Zutat Verwendung findet, heute noch ohne amtliche Prüfung in Verkehr gebracht werden. Das gleiche trifft im Prinzip auch für sämtliche lebensmitteltechnologisch nutzbaren Mikroorganismen zu. Die LMV legt in Artikel 83 Absatz 1 Buchstabe A zwar fest, dass für die Käseherstellung nur gesundheitlich unbedenkliche Bakterien, Hefe- und Schimmelpilzkulturen zugelassen sind. Darauf beruhend, könnte für milchwirtschaftlich einzusetzende GMO eventuell ein obligatorisches Zulas-

sungsverfahren begründet werden. Von dieser Ausnahme abgesehen, räumt die LMV den Behörden aber keine weitere Kompetenz ein.

Mit dem neuen Lebensmittelgesetz ist vorgesehen, die erwähnten Lücken zu schliessen, damit zukünftig alle gentechnischen Anwendungen im Lebensmittelbereich einer Bewilligung unterzogen werden können. So lautet Artikel 7 gemäss Botschaft von 1989 wie folgt (17):

«Der Bundesrat kann landwirtschaftliche Hilfsstoffe (Art. 70 und 71 Landwirtschaftsgesetz), Tierarzneimittel und bestimmte landwirtschaftliche Produktionsverfahren sowie physikalische, chemische, mikrobiologische oder gentechnologische Herstellungs- oder Behandlungsverfahren von Lebensmitteln einschränken oder verbieten:

- a) wenn sie zu gesundheitsgefährdenden Lebensmitteln führen,
- b) wenn nicht bekannt ist, ob ihre Anwendung zu gesundheitsgefährdenden Lebensmitteln führen kann oder
- c) wenn diese Stoffe oder Verfahren für die Herstellung nicht erforderlich sind.»

Im Jahre 1990 wurde die Gesetzesvorlage im Ständerat behandelt und verabschiedet. Die Beratung im Nationalrat erfolgte am 28. Januar 1992, so dass nun das Differenzenbereinigungsverfahren zwischen den beiden Kammern in Angriff genommen werden kann. Solange aber das neue Lebensmittelgesetz nicht in Kraft ist, könnten Rechtsunsicherheiten entstehen, wie das geltende Recht bei der Bewilligung oder Kontrolle gentechnischer Anwendungen bei Lebensmitteln auszulegen ist.

Bei zukünftigen Regelungen wird der schweizerische Gesetzgeber auch das Vorgehen der Europäischen Gemeinschaften (EG) berücksichtigen müssen. Die EG sind im Bereiche Gentechnik gesetzgeberisch schon relativ weit vorangekommen. So diskutiert der EG-Rat zurzeit den Entwurf für eine Richtlinie bezüglich «Novel Foods» beziehungsweise gen- und biotechnisch hergestellter Lebensmittel. Die Richtlinie soll sicherstellen, dass der Gesundheits- und Täuschungsschutz der Konsumenten und die Forderung, dass der Ernährungswert eines Neuproduktes mit dem in traditioneller Weise hergestellten identisch ist, garantiert werden (18).

Die Deklaration gentechnischer Anwendungen bei Lebensmitteln

Vor allem aus Kreisen des Umwelt- und Konsumentenschutzes wird gefordert, dass Lebensmittel, bei deren Herstellung und Verarbeitung Gentechnik beteiligt gewesen ist, einer entsprechenden Deklarationspflicht unterstellt werden müssen (19). In Fachkreisen wird diesbezüglich aber mehrheitlich die Auffassung vertreten, dass eine spezielle Deklaration von Lebensmitteln bio- und gentechnischer Herkunft nicht gerechtfertigt sei. Der Grund für diese Haltung ist, dass auf traditionelle Weise und mittels Gentechnik identische Produkte hergestellt werden können und sich somit keine klare Trennlinie ziehen lässt (20). Der Codex Alimentarius, ein gemeinsames Normenwerk der Food and Agriculture Organization (FAO) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO), hat an seiner Generalversammlung im

Juli 1989 in Genf über die Anwendung der Gentechnologie bei Lebensmitteln erstmals diskutiert. Als Grundlage diente ein von *Berkowitz* und *Maryanski* ausgearbeitetes Papier (21). Die beiden Autoren schlugen vor, Anwendungen neuer gentechnischer Verfahren im Rahmen der bestehenden Codex-Grundsätze zu behandeln. Weiter wurde beantragt, dass bei Lebensmitteln, Fabrikationshilfs- und Zusatzstoffen, die als sicher gelten und identisch mit den auf natürliche Weise gewonnenen Produkten sind, der traditionelle Name deklariert werden soll.

Aufgaben der amtlichen Lebensmittelkontrolle

Es ist von der Annahme auszugehen, dass in Zukunft sämtliche gentechnischen Errungenschaften bei Lebensmitteln vom BAG bewilligt werden müssen. Die Hersteller werden dabei diejenige Information zu liefern haben, aus der sich die Unbedenklichkeit eines Produktes für den Konsumenten mit ausreichender Sicherheit ableiten lässt. Neben ihrer Bewilligungstätigkeit werden die zuständigen Stellen auch in der Lage sein müssen, gewisse Auflagen bei Bedarf überprüfen zu können. Bei der Zulassung des Chymosinpräparates «Maxiren» durch das BAG wurde beispielsweise verlangt, dass der Produktionsorganismus oder seine rekombinierte DNS im Endprodukt nicht vorhanden sein darf. Zur Kontrolle solcher und weiterer Kriterien sind molekularbiologische Methoden notwendig. Diese sind teilweise recht kompliziert und aufwendig. Sie müssen auch auf jede neue Fragestellung adaptiert werden. Die analytische Überprüfung gentechnischer Aspekte von Lebensmitteln wird anfänglich darum kaum in jedem amtlichen Labor durchgeführt werden können. Zur Erfüllung dieser anspruchsvollen Aufgabe wären sicher spezialisierte Schwerpunktlaboratorien von Vorteil. Es stellt sich sogar die Frage, ob ein solches Kontrolllabor nicht bei der für die Bewilligungen zuständigen Behörde angesiedelt sein sollte, da nur dort die detaillierten Angaben zu den entsprechenden Produkten vorhanden sind.

Regelung im Umweltbereich

GMO dürfen nicht nur die Gesundheit des Menschen nicht gefährden, sondern sie müssen auch umweltverträglich sein. Die EG haben diesbezüglich ebenfalls schon gesetzliche Grundlagen vorgegeben, so unter anderem eine Richtlinie über die Freisetzung von GMO (22) und eine weitere, die den Einsatz von GMO in geschlossenen Betriebssystemen regelt (23). In der Schweiz sollen die Umweltaspekte von GMO durch die Störfallverordnung (SFV) und das Umweltschutzgesetz (USG) abgedeckt werden. Zur SFV hat das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) soeben den Entwurf des Handbuchs II «Richtlinien für Betriebe mit Mikroorganismen» veröffentlicht, das während eines Jahres auf seine Praktikabilität geprüft werden soll. Das USG steht zurzeit in einem Revisionsverfahren mit dem Ziel, den Geltungsbereich auch auf GMO auszudehnen.

Gewährleistung der Sicherheit für den Konsumenten

Ohne ausreichenden Konsumenten- und Umweltschutz darf eine gentechnische Innovation nicht zum Einsatz kommen, mag sie wirtschaftlich noch so vielversprechend sein. Die Forderung des Propheten Sirach «Quidquid agis, prudenter agas et respice finem» hat in Anbetracht der verschiedenen modernen und komplexen Technologien, darunter auch die Gentechnik, ihre Bedeutung nicht verloren (24, 25). Nachfolgend soll nur auf den Konsumentenschutz näher eingegangen werden. Primär müssen GMO, Produkte aus solchen wie auch traditionell produzierte Lebensmittel toxikologisch unbedenklich sein. Die Einhaltung dieser zentralen Anforderung lässt sich mit dem Instrumentarium der modernen Toxikologie ohne weiteres prüfen. Weiter darf ein GMO keine pathogenen Eigenschaften aufweisen. Auch zur Überprüfung dieser Forderung verfügen die biomedizinischen Wissenschaften über entsprechende Methoden. Je mehr Biotechnologie und Gentechnik bei der Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln an Bedeutung gewinnen, desto mehr werden «Food Safety Models» gefragt sein (20). Die WHO hat diese Notwendigkeit erkannt und kürzlich ein Positionspapier zu diesem Thema veröffentlicht (26). Was das praktische Vorgehen bei der Prüfung von gentechnischen Innovationen bei Lebensmitteln betrifft, so liegt von der Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) bereits ein konkretes Konzept vor, welches fordert, dass bio- und gentechnologisch hergestellte Lebensmittel nach dem Prinzip der «Substantial Equivalence» beurteilt werden sollen. Dieses Konzept umfasst zwei Stufen. In einem ersten Schritt soll das fragliche Neuprodukt mit dem traditionell hergestellten analytisch verglichen werden. Wenn die Übereinstimmung genügend gross ist, so darf für das neue Produkt derselbe Grad von Sicherheit angenommen werden, wie die dem ursprünglichen Produkte inhärente. Erst im zweiten Schritt wird dann schliesslich, falls dies überhaupt nötig ist, das Ausmass der Sicherheit genauer definiert. Die OECD-Experten beabsichtigen somit nicht, anhand eines technischen Handbuchs oder eines sogenannten «Decision Trees» vorzugehen. Ein solch starrer Rahmen würde der rasch fortschreitenden Entwicklung nicht gerecht werden. Vielmehr sollen Innovationen von Fall zu Fall beurteilt werden. Ein in extenso abgehandelter Fall kann dann als Leitplanke für die Beurteilung einer ähnlichen Fragestellung beigezogen werden und mithelfen, unnötige Untersuchungen, wie z. B. Tierversuche, zu vermeiden.

Ausblick und Schlussfolgerungen

Gen- und Biotechnik werden von Wirtschaftsstrategen zusammen mit den Forschungsgebieten Multimedia, Elektronik, Robotik, neue Werkstoffe, Energie, Verkehrstechnik und Raumfahrt als Schlüsseldisziplinen der zukünftigen Industrielandschaft erachtet (27). Die vorgängigen Ausführungen machen klar, welches enormes Potential der Gentechnik auch in der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung innewohnt. Japanische Firmen haben 1990 mit biotechnischen Produk-

ten beispielsweise erstmals mehr eingenommen, als sie für Forschung und Entwicklung in diesem Sektor ausgegeben haben (28).

Bei gentechnischen Anwendungen müssen Konsumenten- und Umweltschutz Vorrang haben. Dies um so mehr, weil es sich bei der Gentechnik um eine junge Wissenschaft handelt, wo noch viele offene Fragen bestehen, die erst im Laufe von praktischen Anwendungen beantwortet werden können. Themen im Zusammenhang mit Lebensmitteln finden in der Öffentlichkeit reges Interesse. Dazu kommt, dass ein Teil der Bevölkerung der Gentechnik, aus welchen Gründen auch immer, skeptisch gegenübersteht. In diesem Umfeld scheint es angebracht zu sein, dass vorerst sämtliche gentechnischen Errungenschaften bei Lebensmitteln einer Bewilligung des BAG bedürfen. Die Maxime der Bewilligungspraxis muss dabei stets die Gewährung des Gesundheits- und Täuschungsschutzes sein. Jegliche bürokratischen Umtriebe, die nicht dieses Ziel verfolgen, sollten vermieden werden. Damit ein wirksames Kontrollkonzept etabliert werden kann, braucht es die nötigen gesetzlichen Grundlagen. In der Schweiz fehlen diese teilweise noch. Ein Handlungsbedarf ist aber eindeutig gegeben und es ist zu hoffen, dass der Gesetzgebungsprozess der schnellen technologischen Entwicklung so bald wie möglich Rechnung tragen wird. Ein dringendes Anliegen ist es auch, dem Bürger die Gentechnik mittels gezielter Aufklärung soweit näherzubringen, dass die Skepsis in der Öffentlichkeit differenzierter wird und gegenüber den nützlichen Anwendungen allmählich Vertrautheit und Akzeptanz aufkommt.

Zusammenfassung

Die potentiellen und bereits realisierten Anwendungen der Gentechnik in der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung werden in ihrer gesamten Breite vorgestellt. Weiter wird die Notwendigkeit eines bezüglich Gentechnik griffigen Konsumentenschutzes und die dazugehörigen Kontrollinstrumentarien diskutiert. Dabei wird besonderes Gewicht auf die entsprechende Situation in der Schweiz gelegt und aufgezeigt, wo ein Handlungsbedarf besteht. Da die Gentechnik von globaler Bedeutung ist, wird die Position internationaler Organisationen besonders gewürdigt.

Résumé

Les utilisations actuelles et les possibilités futures de la génie génétique dans la production et préparation des produits alimentaires sont présentés. La discussion porte sur la nécessité d'assurer la protection du consommateur vis-à-vis de la génie génétique au moyen d'une réglementation appropriée. Une importance particulière est accordée à la situation de la Suisse, les domaines concernés sont décrits. L'opinion des organisations internationales est à prendre particulièrement en considération, l'utilisation de la génie génétique étant d'une importance mondiale.

Summary

Potential and already realized applications of genetic engineering in the field of food production and processing are outlined. Furthermore, the necessity of an efficient consumer protection concerning novel foods and appropriate control methods are discussed. As for this aspect, particular emphasis is put on the situation in Switzerland. In consideration of the central significance of gentechnology, international trends of regulation and control are especially included.

Literatur

1. Anon: Food and new biotechnology-novelty, safety and control aspects of foods made by new biotechnology. Nordic Council of Ministers, Store Strandstraede 18, 1255 Kopenhagen 1991.
2. Group of National Experts on Safety in Biotechnology: Report on the concepts and principles underpinning safety evaluations of food derived from modern biotechnology. OECD, Paris 1991.
3. *Hottinger, M.*: Gentechnologie in der Lebensmittelwirtschaft – Eine Technologie mit Zukunft? Schriftenreihe des Bundes für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde, Heft 115, 29–44 (1991).
4. Anon: Forschungsergebnisse Nr. 18/90, Bundesminister für Forschung und Technologie, Bonn 1990.
5. *Franz, M.* und *Krieg, A.*: Biologische Schädlingsbekämpfung. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg 1982.
6. *Düvell, A.*: Überblick über Freisetzungsexperimente betreffende Richtlinien verschiedener Länder und bekanntgewordene Freisetzungsexperimente mit gentechnisch veränderten Organismen. GBF, Braunschweig, 1990.
7. *Auerbach, G.I.*: Transgenic animals and patenting. ATCC Quarterly Newsletter **9**, 1–11 (1989).
8. Deutsche Forschungsgemeinschaft: Mikroorganismen für die Lebensmitteltechnik. Harald Boldt Verlag, Boppard 1974.
9. *Baumgartner, A.*, *Murphy, M.*, *Daly, Ch.* and *Fitzgerald, G.F.*: Conjugative co-transfer of lactose and bacteriophage resistance plasmids from *Streptococcus cremoris* UC 653. FEMS Microbiol. Letters **35**, 233–237 (1986).
10. *Hennecke, H.*: Gentechnologie an Bodenbakterien zum Nutzen der Landwirtschaft. Swiss Biotech **4**, 41–44 (1986).
11. Anon: Bioengineered rumen microorganisms may be reviewed by CVM. Food Chemical News October 15, 19–22 (1990).
12. *Teuber, M.*: Chymosin aus den Fermentor-Mikroben ersetzenden Kälbermagen. Neue Zürcher Zeitung vom 8. Januar 1992.
13. Anon: Substances aromatisantes et sources naturelles de matières aromatisantes. Conseil de l'Europe, Strasbourg 1981.
14. *Nelis, H.J.* and *De Leenheer, A.P.*: Microbial sources of carotenoid pigments used in foods and feeds. J. Appl. Bacteriol. **70**, 181–191 (1991).
15. *Fey, H.*: Grundlagen und Anwendungen der experimentellen Gentechnik, unter besonderer Berücksichtigung ethischer und politischer Fragen. Bericht im Auftrag des Regierungsrates zu Handen des Grossen Rates des Kantons Bern, 1989.

16. *Trösch, A.*: Die Gentechnologie im öffentlichen Recht des Bundes. Schweiz. Zentralbl. Staats-Verwaltungs. **90**, 377–397 (1989).
17. Anon: Botschaft zu einem Bundesgesetz über Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände vom 30. Januar 1989.
18. Anon: Draft Proposal for a Council Regulation on novel food ingredients and novel food processes der EG, Revision 4.2.1990.
19. *Watts, S.*: Have we the stomach for engineered food? *New Scientist* November 3, 24–25 (1990).
20. Anon: Biotech foods comparison with traditional foods urged. *Food Chem. News* June 17, 9–10 (1991).
21. *Berkowitz, D.* and *Maryanski, J.*: Implications of biotechnology on international food standards and codes of practice. Diskussionspapier Alinorm 89/39 der Codex Alimentarius Commission (1989).
22. Anon: Council Directive (90/220/EEC) of 23 April 1990 on the deliberate release of genetically modified organisms. *Official Journal of the European Communities* No. L 117/15.
23. Anon: Council Directive (90/219/EEC) of 23 April 1990 on the contained use of genetically modified microorganisms. *Official Journal of the European Communities* No. L 117/1.
24. *Grossklaus, D.*: Gentechnologie: Vorrang für den Verbraucher- und Umweltschutz. *Bundesgesundheitsblatt* 1/88, 421 (1988).
25. *Drews, J.*: Medizin und Gentechnik – Brauchen wir eine neue Ethik? *Swiss Vet.* No. 10, 7–10 (1990).
26. Anon: Strategies for assessing the safety of foods produced by biotechnology. Report of a Joint FAO/WHO Consultation. World Health Organization, Geneva 1991.
27. *Niedermann, C.*: Projekt Zukunft – Neue Technologien. *Cash* Nr. 2, 23–27 (1992).
28. Anon: Japan erzielt Gewinne aus Biotechnologie. *Laborscope* 6/91, 23 (1991).

Dr. J. Schlatter
 Institut für Toxikologie der
 ETH und der Universität Zürich
 CH-8603 Schwerzenbach

Dr. A. Baumgartner
 Bundesamt für Gesundheitswesen
 Abteilung Lebensmittelwissenschaft
 Sektion Mikrobiologie
 Postfach
 CH-3000 Bern 14