

Industrielle Biotechnologie - Zu ihren Grundlagen und ihrer Anwendung

Dr. Klaus Buchholz, geboren 1941 in Freiburg, studierte Chemie in Saarbrücken und Heidelberg, arbeitete ab 1971 an der Entwicklung von Enzymtechnologien in Frankfurt und ist seit 1982 in Braunschweig tätig. Der vorliegende Text wurde von Diana Buchholz redaktionell bearbeitet.

Seit Urzeiten, verstärkt aber seit Mitte dieses Jahrhunderts, spielen biologische Verfahren im Alltagsleben eine Rolle. Inzwischen können mit ihrer Hilfe in der industriellen Biotechnologie neue Produkte hergestellt werden, deren Nutzen in manchen Fällen unumstritten, in anderen zu diskutieren ist. Dieser Bereich ist Thema des Aufsatzes.

Was sind industrielle Biotechnologie und Gentechnik?

- Schwerpunkte der Biotechnologie liegen vor allem in den Bereichen
- Nahrungsmittelherstellung (Bier, Käse, Joghurt usw.),
 - Gesundheit (Impfstoffe, Antibiotika, Diagnostika usw.),

- Grundstoffe für die Chemie und den Energiesektor (Alkohol z. B.),
- Umwelt (mit der biologischen Abwasserreinigung als bedeutendstem Einsatzgebiet der Biotechnologie sowie der Umwandlung von Abfall- und Schadstoffen z. B. in Biogas).

Eine Definition der Europäischen Föderation Biotechnologie deckt in knapper Form die Breite der *industriellen* Biotechnologie ab¹: „Biotechnologie bedeutet die integrierte Anwendung von Biochemie, Mikrobiologie und Verfahrenstechnik mit dem Ziel, das Potential von Mikroorganismen, Zell- und Gewebekulturen sowie Teilen davon technisch anzuwenden und zu nutzen.“

Die moderne *Gentechnik* ist, wenn industrielle Einsatzmöglichkeiten diskutiert werden, als eine Arbeitsmethode innerhalb der Biotechnologie zu sehen. Ohne (bio-)verfahrenstechnische Entwicklung z. B. können keine Produkte wie Interferon in großem Maßstab hergestellt, ohne meist sehr aufwendige biotechnologische Reinigungsverfahren können sie nicht für medizinische Zwecke aufgearbeitet werden. Die Gentechnik spielt andererseits auf verschiedenen Ebenen, nicht nur bei der Züchtung und Programmierung von Mikroorganismen für die Gewinnung neuer Produkte, sondern auch bei Reinigungsmethoden, Stabilisierung technischer Produkte, Verbesserung von Ausbeuten und anderen biotechnologischen Problemen die Rolle eines Katalysators. Sie ist also als eine Methode anzusehen, die, auf verschiedenen Ebenen, eingeführte und neue technische Prozesse zu verbessern gestattet, in einigen Fällen diese erst ermöglicht.

Angesichts euphorischer Erwartungen einerseits und düsterer Prophezeiungen andererseits muß gefragt werden, welcher *Fortschritt* mit Biotechnologien im allgemeinen und neuen genetischen Methoden im besonderen erzielt werden kann; welche Innovationen mit welchem wirtschaftlichen Gewicht denkbar sind, welchen *Nutzen* sie bieten können, welche *Probleme* und *Folgewirkungen* zu erwarten bzw. zu lösen sind. Im folgenden soll diesen Fragen nachgegangen, sollen nach einem kurzen historischen Abriß an drei Beispielen Forschungs- und Entwicklungsprobleme dargestellt werden.

Seit dem 17. Jahrhundert weiß man, daß es Kleinstlebewesen gibt, die mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen sind und erst mit Hilfe des Mikroskops sichtbar gemacht werden können. Erst in der Mitte des vorigen Jahrhunderts erkannte man (Pasteur war hier maßgeblich beteiligt), daß diese Mikroorganismen viele alltägliche, damals handwerklich durchgeführte Vorgänge wie die alkoholische Gärung, bewerkstelligen.

¹ Behrens, D., Rehm, H. J., Buchholz, K.: Biotechnology in Europe, DECHEMA, Frankfurt 1983.

Die Gewinnung von Alkohol ist einige tausend Jahre alt. Schon im Zweistromland hat man alkoholische Getränke gezielt hergestellt, auch biblische Geschichten weisen darauf hin. Das zeigt, wie alt solche Prozesse sind, ohne daß dem Menschen die Bedeutung von Mikroorganismen oder Enzymen bekannt war. Vermutlich stieß man rein zufällig auf solche Rezepturen, und die Herstellung berauschender Getränke wurde im Laufe der Zeit zur handwerklichen Tätigkeit. Auch in der Nahrungsmittelherstellung (z. B. Käse und Butter) geht die Tradition der Fermentationen sehr weit zurück.

Die Entstehung der Industrie, die mit Mikroorganismen arbeitet, begann etwa im Laufe des letzten Jahrhunderts. Seitdem ist Bier in industriellem Maßstab hergestellt worden. Nach der Jahrhundertwende kamen Butanol, Aceton und andere chemische Grundstoffe dazu, die man während des ersten Weltkrieges durch Fermentation mit Mikroorganismen gewonnen hat, weil die traditionellen Rohstoffquellen nicht zugänglich waren.

Große Bedeutung hat die Biotechnologie seit der Mitte dieses Jahrhunderts in den Bereichen Pharma und Medizin erlangt. Zahlreiche Arzneimittel werden seitdem auf biotechnologischem Wege hergestellt. Die Antibiotika sind die bekannteste Gruppe solcher Medikamente.

Die biologische Abwasserreinigung - an sich ein seit Jahrzehnten bekannter Prozeß - ist durch die Umweltdiskussion in den Blickpunkt des Interesses gerückt. Abwasser wird meistens mit biotechnologischen Reinigungsmethoden behandelt, um eines der wichtigsten Produkte für das Alltagsleben herzustellen, nämlich gereinigtes Wasser.

Sehr wesentlich ist der technologische Gesichtspunkt in allen diesen Prozessen. Die Mikroorganismen und ihre Biologie liefern zunächst die Grundlage, aber sie müssen dann im technologischen Maßstab eingesetzt werden. Zunächst wird im Forschungslabor damit begonnen, Mikroorganismen zu selektieren, dann werden sie in Schüttelkulturen überführt und in einem flüssigen Nährmedium in etwas größeren Volumina von einem zehntel bis zu einem Liter produziert (Mikroorganismen als Masse). Sie müssen dann in die nächste Größenordnung von Reaktionsgefäßen übertragen werden, die meist 50 bis 500 Liter fassen. Das sind schon industrielle Apparaturen; darin sind die Mikroorganismen weiter zu kultivieren, meist in einem wäßrigen Medium - in einer sogenannten Wasserphase -, das Nährstoffe enthält. Es wird in der Regel stark gerührt, Luft eingeblasen - und dies alles unter strikt sterilen Bedingungen. In dieser Größenordnung wird das Beherrschen solcher Prozesse immer schwieriger. Die Organismen sind nun starken Druck- und Zugverhältnissen ausgesetzt, durch die sie sehr schnell zerstört werden können; Erfahrung und

beste Fachkenntnisse sind Voraussetzung für diese Arbeit. Schließlich geht die Produktion bis zu sehr großen Einheiten. 100000 Liter ist eine übliche Größenordnung. Der höchste Bioreaktor, der in England aufgestellt worden ist, um Einzeller-Protein (Bakterieneiweiß) herzustellen, ist 60 Meter hoch. In diesen großindustriellen Dimensionen, in denen mit empfindlichen Mikroorganismen gearbeitet wird, werden die Probleme immer vielfältiger, und es bedarf sehr großer Anstrengungen, im gesamten Bereich eines solchen Reaktors die Lebensbedingungen für die Organismen aufrecht zu erhalten.

Die Geschichte der Penicillinherstellung²

Am Beispiel der Penicillinherstellung wird deutlich, welche Anstrengungen unternommen werden müssen, einen solchen Prozeß im industriellen Maßstab in Gang zu setzen.

Fleming hat 1928 entdeckt, daß der Organismus, den er zufällig kultivierte, das *Penicillium*, eine bakterizide Wirkung auf andere Organismen ausübte. Er kam allerdings an diesen Stoff nicht heran, weil er nur in äußerst kleinen Konzentrationen vorlag. Ihm und anderen gelang die Isolierung nicht, eine industrielle Produktion erschien nicht praktikabel.

Die Situation änderte sich erst im zweiten Weltkrieg; es gab nun einen Anlaß, außerordentliche Anstrengungen zu unternehmen, doch noch zum Ziel zu gelangen. Es gelang zunächst, konzentriertere Lösungen mit Penicillin herzustellen und in Tierversuchen die antibakterielle Wirkung nachzuweisen. Damit war klar, daß man zahlreiche sonst tödlich verlaufende Infektionen an der Front beherrschen könnte, wenn man Penicillin in die Hand bekäme. Nun wurden auch in Amerika Untersuchungen in Forschungslaboratorien und Industriefirmen begonnen. Nach zwei Jahren konnte tatsächlich in geringen Mengen Penicillin isoliert und für klinische Tests eingesetzt werden. Es wurde sofort ein zentral gesteuertes großes Regierungsprogramm mit Hunderten von Wissenschaftlern in Gang gesetzt.

Biologen, Chemiker, Ingenieure, Toxikologen und Mediziner wurden zu einem riesigen Team zusammengefaßt, verschiedene Firmen einbezogen, um sofort industrielle Kapazitäten zur Verfügung zu haben. Innerhalb von zwei weiteren Jahren gelang es tatsächlich, Penicillin in industriellem Maßstab zu produzieren. Um anzudeuten, was das bedeutet, seien einige Schritte in dem damaligen Prozeß näher erläutert: Zunächst mußte die Verbesserung der Peni-

² The History of Penicillin Production. Chemical Engineering Progress Symposium Series No. 1(10 (1970) Vol. 66. Am. Inst. Chem. Eng., New York. K. Buchholz in: Technik und Gesellschaft. M.E.A. Schmutzler. H. Winter, Springer Wien 1981.

cilliumstämme erreicht werden, damit diese mehr Penicillin ausscheiden, was sie natürlicherweise nicht tun. Dazu bedarf es in der Regel genetisch defekter Mutanten, d. h. solcher Organismen, die durch Mutation genetisch verändert sind. Zunächst konnte die Produktivität um das Zehnfache, im Verlauf weiterer Arbeiten um das Zweihundertfache gesteigert werden. Der ganze Prozeß mußte unter absolut sterilen Bedingungen ablaufen. Das gelang anfangs nur in Schüttelkulturen; pro Tag ließ man die Organismen in hunderttausenden von Schüttelflaschen produzieren, um einigermaßen hinreichende Größenordnungen zu erreichen. Schließlich gelang es, Fermenter von etwa 1000 bis 5000 Liter Inhalt steril abzudichten, so daß, trotz intensiver Belüftung, keine Fremdorganismen in die Reaktoren eindringen und die Penicilliumstämme den Wertstoff produzieren konnten. Dabei durften nicht einmal kleinste Spalten (mit 1/1000 Millimeter) nach außen offen bleiben, um Infektionen zu verhindern. Ebenso mußten die großen Mengen zugeführter Luft absolut steril sein. Da es sich um genetisch defekte Mutanten handelte, die Penicillin in großen Konzentrationen produzierten, wären sie sofort jedem Wildstamm, der von außen eindringen konnte, unterlegen, so daß der Prozeß zum Erliegen gekommen wäre.

Schließlich mußte das hochempfindliche Penicillin isoliert und gereinigt werden, damit es auch im medizinischen Bereich, etwa zur Injektion, anwendbar war. Dazu war das Produkt auch zu konfektionieren, d. h. in eine stabile Form, gelöst oder als Pulver, zu überführen. Zu diesem Zweck sind schon im Krieg große Sprühtrockner entwickelt worden.

Die industrielle Produktion von Penicillin im Jahre 1944 war ein großer Erfolg. Das Beispiel macht deutlich, daß Forschung und Entwicklung bei einem so schwierigen Problem nur dann erfolgreich durchgeführt werden, wenn ein dringender Bedarf dahinter steht. Heute liegt die Produktivität der Penicillin-Stämme um das Tausendfache über derjenigen der ursprünglichen Stämme. Diese Zahlen verdeutlichen die mikrobiologischen Leistungen, die der Realisierung einer biotechnologischen Produktion vorangehen müssen.

Neben den positiven Ergebnissen dieser Entwicklung, dem großen Erfolg bei der Bekämpfung bakterieller Infektionen, brachte sie auch Probleme mit sich. So werden durch den Gebrauch von Penicillin Resistenzen geschaffen, so daß Organismen, die bekämpft werden sollen, sich sozusagen an das Penicillin gewöhnen, d.h. durch spontane genetische Mutationen in der Lage sind, das Medikament unwirksam zu machen. Ein anderes Problem ergab sich durch die Anwendung von Antibiotika in großem Maße in der Tierfütterung, um beispielsweise das Wachstum zu beschleunigen. Dabei kam es häufig zu Mißbrauch durch übermäßige Dosierung, der unnötige Resistenzprobleme verur-

sacht. Diese Schattenseiten eines technischen Erfolgs zeigen, daß zu Beginn einer Entwicklung nicht nur Nutzen, Vorteile und volkswirtschaftliche Bedeutung, sondern auch Folgeprobleme zu diskutieren sind.

Die technische Gewinnung von Glukose-Fruktose-Sirup

Das zweite Beispiel stammt aus dem Bereich der Enzymtechnologien. Sie sind eine Entwicklung des letzten Jahrzehnts.

Was sind Enzyme? Enzyme sind die Katalysatoren der Natur, mit denen Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere ihre lebensnotwendigen Stoffumwandlungen gezielt und schnell steuern. Eine Reihe von Enzymwirkungen war im Laufe des 19. Jahrhunderts entdeckt worden, so auch eine ihrer hervorstechendsten Eigenschaften: Mit größter Genauigkeit und Geschwindigkeit wird nur eine Reaktion, meist nur an einer ganz bestimmten Substanz durchgeführt. Die Enzyme selbst sind hochkomplizierte Eiweißkörper mit einer sehr genau definierten Struktur, die ihre Wirkung festlegt, die meist sehr empfindlich ist und leicht zerstört werden kann.

In den sechziger Jahren dieses Jahrhunderts setzte eine neue, expansive Entwicklung im Bereich der Enzymtechnologien ein. Ausgangspunkt war wiederum der Bedarf, genauer die Marktlage. Es ging um die Welt-Zuckerproduktion, ein attraktives Ziel für Industrien, die preiswerten Glukosesirup aus Maisstärke einführen wollten. Die für diesen Vorgang erforderlichen Enzymwirkungen, nämlich den Abbau von Stärke zu Zuckerbausteinen, hatte man schon im 19. Jahrhundert entdeckt. Ein gravierender Nachteil der Glukose ist jedoch ihre schwächere Süßkraft im Vergleich zu Rohrzucker oder Invertzucker. Zwar ließ sich Glukose auf chemischem Weg in Invertzucker umwandeln, jedoch mit erheblichen Mengen störender Nebenprodukte. In den fünfziger Jahren war ein Enzym entdeckt worden, das Glukose in Fruktose umwandeln konnte und so zum Invertzucker führte.

Die entscheidende Neuerung basiert auf einem Prinzip, das etwa zwanzig Jahre zuvor in Forschungslabors entwickelt worden war.³ Enzyme werden in der Regel in wasserlöslicher Form gewonnen und auch so eingesetzt, z. B. gelöst in einem Stärke- oder Zuckersirup. Nach einmaligem Einsatz sind sie dann in der Regel verloren, ihre Rückgewinnung wäre sehr aufwendig. Das ist für die meisten Enzyme, die teuer sind, wirtschaftlich nicht tragbar. Ende der vierziger Jahren kamen Forscher auf die Idee, Enzyme „an die Kette zu legen“, d. h. an Feststoffe zu binden.

³ Buchholz. K., ebenda.

Die Anwendung dieses Prinzips erforderte außerordentliche Anstrengung seitens Forschung und Entwicklung: Das Enzym mußte mit hoher Aktivität bei der Fermentation von Mikroorganismen gebildet werden und mit hoher Ausbeute an einen Träger gebunden oder in einen Träger eingeschlossen werden, ohne daß bei den erforderlichen chemischen Schritten die Aktivität verloren ging; das Enzym durfte auch unter technischen Anforderungen über längere Zeit wenig Aktivität verlieren; die Reinheit des Produktes mußte dabei gewährleistet bleiben; der Träger mußte mechanisch so stabil sein, daß er den auftretenden Drücken standhielt, in Säulen mit bis zu 5 m Höhe, oft bei 1 bis 2 atm Überdruck. Schließlich durfte der Preis des Biokatalysators nicht zu hoch sein, so daß damit ein preiswerter Zuckersirup herstellbar war. Die Lösung dieser Probleme bei verschiedenen Firmen in den USA und Europa brachte im Laufe der siebziger Jahre einen durchschlagenden Erfolg⁴. 1,8 Millionen Tonnen Zuckersirup aus Maisstärke wurden 1978 produziert, 1983 waren es etwa 4,5 Millionen Tonnen.

Das hat, abgesehen von den unmittelbaren technischen und wirtschaftlichen Ergebnissen, weiterreichende Folgen. Die Zuckerproduktion verschiebt sich zu größeren Industrieeinheiten, traditionelle Produzenten, Zuckerrohr- und Zuckerrübenanbau drohen zurückgedrängt zu werden. Dabei rückte z. B. die kubanische Zuckerproduktion ins Blickfeld. Die Verhältnisse in der europäischen Gemeinschaft führten zu einer schnellen Lösung gegenüber den drohenden Verschiebungen: Regelungen in der Marktordnung schrieben rechtzeitig den Anteil des Zuckersirups aus Stärke auf einem niedrigen Niveau fest.

Die biologische Abwasserreinigung

Hierbei handelt es sich um das größte biotechnologische Verfahren überhaupt. Der Abwassersektor hat auch ein erhebliches ökonomisches Gewicht. Wenn es gelänge, die Kosten in der Abwasserreinigung um nur 10 Prozent zu reduzieren, etwa indem man den biotechnologischen Prozeß verbessert, dann würde das, allein in der Bundesrepublik, etwa eine Milliarde Mark an Kosten einsparen. Es lohnt sich also, in diesem Bereich biotechnologische Entwicklungsarbeit voranzutreiben. Vor diesem Hintergrund wird auch verständlich, warum große Firmen - wie Bayer und Hoechst - in den letzten Jahren viel Geld in neue Generationen von Bioreaktoren investiert haben, um die Kosten in diesem Sektor zu senken.

Ein „Abwasserturm“, die sogenannte Bayer-Turmbiologie, stellt im Gegensatz zu den allgemein bekannten Kläranlagen - großen, flachen offenen Becken - einen geschlossenen Reaktor mit sehr hoher Füllhöhe dar. Dadurch

⁴ O.R. Zaborsky. Enzymatic Production of Chemicals. World Conference on Future Sources of Organic Raw Materials, Toronto 1978.

wird die in großen Mengen benötigte Luft besser ausgenutzt; gleichzeitig werden die Energiekosten gesenkt. Diese Reaktoren haben einen weiteren wesentlichen Vorteil: die Aerosolbildung - das Ausblasen feinstverteilter Wassertröpfchen - und die Geruchsentwicklung lassen sich besser kontrollieren bzw. unterbinden. Es zeigt sich an diesem Beispiel, daß auch die Umweltbiotechnologie Folgeprobleme aufwirft. Neben der belasteten Abluft entstehen Schlämme in sehr großen Mengen, die zuerst stabilisiert, dann deponiert werden müssen. Eine Alternative stellt das Verbrennen dar, was wiederum energetisch aufwendig ist.

Unter dem Druck der steigenden Energiekosten ist in den letzten Jahren eine andere Methode aus älteren Verfahren weiterentwickelt worden: die Biogastechnik. Dabei werden die Reinigungsprozesse ohne Luftzufuhr durchgeführt. Die eingesetzten Bakterien brauchen keinen Sauerstoff, benötigen allerdings für den Abbau der Belastung sehr viel mehr Zeit. Der Prozeß benötigt keine zusätzliche Energie, das produzierte Biogas kann in vielen Fällen sogar einen gewissen Energieüberschuß liefern. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß nur noch ein Zehntel der sonst üblichen Menge Schlamm entsteht. Bei der mit Luftzufuhr arbeitenden Abwassertechnik sind in der Bundesrepublik viele Millionen Kubikmeter Klärschlamm jährlich zu entsorgen. Um alternative Biogasverfahren einzusetzen, kann man die Reaktoren nicht zehnmal größer bauen; statt dessen muß angestrebt werden, daß die Organismendichte durch eine Optimierung des Prozesses sehr hohe Konzentrationen innerhalb des Reaktionsraumes erreicht, um auf diesem Wege zu technisch und wirtschaftlich interessanten Umsätzen zu kommen.

Teilerfolge auf diesem Weg sind erzielt worden, so daß heute in der Bundesrepublik allein in der Zuckerindustrie schon 12 Reaktoren stehen, meist mit einem Inhalt von etwa 5 000 Kubikmeter, also 5 Millionen Liter. Hier zeigt sich erneut, daß der Zwang - in diesem Fall, Energie einzusparen und mit dem Schlammproblem fertig zu werden - dazu geführt hat, daß man auch in diese sonst nicht so attraktiven Technologien sehr viel investiert hat. Allerdings gibt es viele Störfälle und es zeigt sich, daß die Anwendung der Entwicklung vorausgelaufen ist. Man hat Großreaktoren gebaut, bevor die Technik ausgereift war. Die Probleme müssen im nachhinein gelöst werden, während es eigentlich wünschenswert gewesen wäre, einen längeren Technologievorlauf gehabt zu haben. Außerdem besteht eine Ausbildungslücke, es fehlt an fachlich versiertem Personal, um solche Reaktoren optimal zu steuern.

Perspektiven

Die Betrachtung historischer Entwicklungen sollte dazu beitragen, die zukünftigen besser einschätzen zu können. Besonders deutlich wird dabei, daß

zwingende Bedürfnisse (Beispiel: Penicillin als Heilmittel) oder Marktchancen (Beispiel: Glukose-Fruktose-Sirup) Innovationen enorm beschleunigen. Deutlich wird aber auch, daß wissenschaftliche und technologische Voraussetzungen in ausgewogenem Verhältnis gegeben sein oder entwickelt werden müssen.

Vor dem Blick auf mögliche zukünftige Entwicklungen sei kurz auf den heutigen wirtschaftlichen Stellenwert der Biotechnologie hingewiesen; wichtige Bereiche sind beispielhaft in der folgenden Tabelle mit Mengen, Preisen und Umsätzen angeführt.

Tabelle mit einer Auswahl wichtiger Prozesse und Produkte der klassischen Biotechnologie, mit Angabe der Größenordnungen hinsichtlich Mengen, Preisen, Umsätzen (weltweit mit Ausnahme von Wasser/Abwasser)⁵

	t/Jahr	DM/t	Umsätze (Mrd DM)
Wasser/Abwasser	13.000.000.000 (nur Bundesrep.)	1	10–13 (Kosten nur BRD)
Bier	80.000.000	ca. 1.000	(weltweit) 80
Antibiotika, insges.			10–13
Bäckerhefe	1.750.000	1.300	2– 4
Glukose-Fruktose-Sirup	4.500.000 (1983)	1.000	4,5
Aminosäuren			2– 4
Zitronensäure	300.000	3.500	1
Penicillin (Rohware)	10.000	60.000	0,6– 3
Vitamin B ₁₂	10	11.500.000	0,1

Für die biologische Abwasserreinigung konnten die Kosten nur für die Bundesrepublik geschätzt werden, sie liegen weltweit um ein Vielfaches höher. Damit belegt die Umweltbiotechnologie, nach dem wirtschaftlichen Gewicht gemessen, eindeutig den ersten Rang unter allen Bereichen, in denen biotechnologische Verfahren und Produkte eine Rolle spielen. Es folgen die traditionellen Bereiche der Nahrungs- und Genußmittel, mit Bier als Spitzenreiter, erst dann Pharmazeutika, mit Antibiotika als wichtigster Produktklasse.

Im Verhältnis zu den großen Wirtschaftszweigen wie Nahrungsmittel, Maschinen- und Automobilbau, Chemie (deren Umsätze allein in der Bundesrepublik Deutschland jeweils bei einigen 100 Milliarden DM liegen) werden sowohl die gesamte Biotechnologie, erst recht neue Prozesse auf gentechnolo-

⁵ Behrens, D. u. a., a. a. O. S. 150.

gischer Grundlage, in den nächsten ein bis zwei Jahrzehnten vergleichsweise unbedeutende Umsätze erzielen. Das bedeutet, daß Biotechnologie und Gentechnologie für Innovationen methodisch zwar hochinteressant sind, durch sie werden aber

- die Modernisierung der Volkswirtschaft in ökonomischer Hinsicht nicht wesentlich beeinflußt,
- Arbeitsplätze nur in unbedeutendem Ausmaß geschaffen,
- der Außenhandel, auch Patent- und Lizenz-Bilanzen, in der Größenordnung kaum verändert.

Ausnahmen für wesentliche Veränderungen in Außenhandelsbeziehungen können sich für Länder der Dritten Welt ergeben, die von Monokulturen abhängen und dabei von Veränderungen in einem Produktionsschema stärker betroffen werden: Die Gewinnung von Zuckersirup auf enzymtechnologischem Weg aus Stärke, das bedeutendste neue biotechnologische Verfahren, verdrängte in gravierendem Umfang importierten Zucker in den USA (vgl. Angaben zu Glukose-Fruktose-Sirup).

Probleme und Aufgaben

Die Zahlen machen deutlich, daß gesamtökonomische Ziele keine hinreichenden Gründe sein können, biotechnologische Prozesse als Motor der Innovation und wirtschaftlicher Dynamik zu fördern und zu entwickeln. Weder sind Biotechnologie und Gentechnologie erstrangige Wachstumsfaktoren, noch ist die Behandlung von Technik allein unter dem Gesichtspunkt der Innovation in den letzten Jahren von der Allgemeinheit akzeptiert worden.

Selbst die Substitution eingeführter Technologien durch Biotechnologie als „sanfte“ Technik erscheint als pauschales Argument unzureichend; wie jede Technik haben Biotechnologie und Gentechnik unerwünschte, zum Teil unvorhergesehene Neben- und Folge-Wirkungen:

- Sie können mit hohen ökologischen Kosten verbunden sein, etwa wenn nachwachsende Rohstoffe mittels intensiver land- und forstwirtschaftlicher Anbaumethoden gewonnen werden sollen.
- Sie produzieren ihrerseits Abfälle, die behandelt oder beseitigt werden müssen: in großem Ausmaß beispielsweise im Bierbrauereiwesen und in der Nahrungsmittelindustrie, auch bei der Abwasserreinigung; im Idealfall können solche Abfälle weiterverwendet werden, etwa in Biogasprozessen (dies ist im Prinzip fast immer möglich).
- Sie können soziale Konflikte hervorrufen, wenn die Gewinnung nachwachsender Rohstoffe in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion tritt oder traditionelle Branchen in ihrer Existenz bedroht werden. Die Verdrän-

gung des Zuckerrübenanbaus durch die enzymtechnologische Herstellung von Süßsirupen aus Mais erwies sich als eine so brisante Entwicklung, daß die Einführung des genannten Prozesses in der Europäischen Gemeinschaft politisch durch eine Marktregulierung faktisch unterbunden wurde. Mißbrauch bei Antibiotika - oder zukünftig bei Neuropeptiden - geben schwierige Probleme auf. Das Beispiel der Verdrängung exportierten Zuckers aus Entwicklungsländern durch das enzymtechnologische Verfahren ist schon erwähnt worden.

Die Perspektive einer in biologische Kreisläufe einzupassenden Technik kann schließlich den Blick für rationale Planungen verstellen, wenn z. B. im Energiebereich die zweckmäßigste Maßnahme, die Einsparung von Energie, analog die Vermeidung von Abfällen in chemischen Verfahren, in den Hintergrund rücken.

⁶

Die eigentliche Rechtfertigung neuer biologischer Techniken muß aus ihrem Zweck im einzelnen, und zwar nach Abwägung von Vor- und Nachteilen, Nutzen und Problemen, erfolgen. Aufgaben und Zwecke, denen sie nachzukommen haben, sind in allgemeiner Form vielfach, so auch seitens des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) formuliert worden. Danach muß Biotechnologie langfristig beitragen zur Versorgung mit

- Nahrungs- und Futtermitteln,
- Grundstoffen und Energieträgern,
- Arzneimitteln,
- sauberem Wasser.

Der Versuch, die komplexen Zusammenhänge zwischen der Entwicklung technischer Disziplinen als Grundlage, den Aspekten gewünschter Produkte und Verfahren und wirtschaftlichen, sozialen und politischen Problemen deutlich zu machen, ist besonders in einer Studie für die Europäische Gemeinschaft unternommen worden⁶. Sie soll dazu dienen, die Entwicklung der Biotechnologie einem permanenten Prozeß der Folgenabschätzung zu unterziehen, die Zwecke und die Probleme technischer Verfahren regelmäßig und wiederholt abzuwägen. In ihr wird die Notwendigkeit hervorgehoben, alle beteiligten Disziplinen gleichmäßig zu fördern und zu entwickeln. Die einseitige Betonung modischer Trends und die Vernachlässigung anderer Teilgebiete werde zu Engpässen im technischen Know-how, schlimmer aber: bei ausgebildeten Fachleuten, führen. Eine solche Gefahr zeichnet sich in der Bundesrepublik z. B. für die Gebiete der Stoffisolierung und der Bioverfahrenstechnik bereits ab. Ferner wird in der genannten Studie auf die Notwendigkeit ständiger Lernprozesse und offener Diskussion zukünftiger Entwicklungen hingewiesen.

⁶ Behrens, D. u. a., ebenda.