

Die Entwicklung der Biotechnologie von Max Rühr, Wien

Wir sind derzeit Zeugen einer lebhaften Diskussion über Wesen, Wirkungen und Chancen der Biotechnologie, und es werden Worte gebraucht wie »Schlüsseltechnologie«, »Sanfte Technologie«, »ähnlich bedeutsam wie die Mikroelektronik« usw. Andererseits können sich viele nicht recht vorstellen, was Biotechnologie eigentlich ist — das geht von der Bierbrauerei über Penicillin bis zur aktuellen Gentechnik, wobei auch die Manipulation am tierischen und menschlichen Genom als Biotechnologie mißverstanden wird.

Im folgenden soll daher versucht werden, Biotechnologie als heute eines der aktuellsten Wissensgebiete, von mehreren Seiten betrachtet, einem interessierten Publikum nahezubringen:

Sie haben morgens ein Frühstück gegessen — es war mit Hefe, einem klassischen Produkt der Biotechnologie erzeugt: Ihre Wäsche wird mit Biokraft

gewaschen; Sie diskutieren über Biosprit, trinken traditionelle Biotechnologieprodukte wie Bier und Wein, oder auch mit Gärungscitronensäure und (bald) mit moderneren Bio-Süßstoffen hergestellte Erfrischungsgetränke. Biotechnologie spüren Sie aber auch ganz anders: Die Entwicklung der Antibiotica hat (statistisch) Ihre Lebenserwartung um sechs bis acht Jahre erhöht. Durch zahlreiche Enzymdiagnostica und ähnliche Biotests wacht man oder wachen Sie selbst über Ihre Gesundheit — neue Heilmittel und Prophylaktika aus der Biotechnologie sind in Entwicklung, z. B. um Ihren Urlaub sicher zu machen. Biotechnologie ist es auch, die bei der Beseitigung bzw. Verwertung der von Ihnen produzierten Abfälle mitwirkt: Aus Müll werden Dünger und Energieträger, die Abwasserreinigung funktioniert (fast) klaglos — übrigens das größte Unternehmen der Biotechnologie überhaupt, mit einem kaum abschätzbaren Volumsdurchsatz (etwa 100 Milliarden m³ pro Jahr in den Industrieländern der Welt).

Und wenn Sie noch erfahren, daß derzeit etwa ein Viertel der Weltkupferproduktion biotechnologisch erzeugt wird, sollten Sie schon bereit sein zu glauben, daß Biotechnologie eine aufregende Sache ist — mit breiten Anwendungen und entsprechenden Auswirkungen — mit Zukunft.

Der Weltmarkt der Biotechnologie im Jahre 2000
ARZNEIMITTEL 200 Md. öS

CHEMIKALIEN	220 Md. öS
NAHRUNGSMITTEL	260 Md. öS
LANDWIRTSCHAFT	180 Md. öS
ENERGIE	320 Md. öS
VERSCHIEDENES	140 Md. öS

Was ist nun Biotechnologie? Eine Kurzdefinition soll den Einstieg erleichtern:

BIOTECHNOLOGIE NUTZT STOFFWECHSELPHYSIOLOGISCHE LEISTUNGEN BIOLOGISCHER SYSTEME FÜR TECHNISCHE PRODUKTIONSZWECKE VERWENDETE SYSTEME SIND MIKROORGANISMEN, ZELLEN VON PFLANZEN UND TIEREN SOWIE ISOLIERTE ENZYME AUS DIESEN ORGANISMEN.

Im folgenden soll nun gemäß dem Vortragstitel die Entwicklung der Biotechnologie historisch dargelegt werden:

Biotechnologie beginnt praktisch mit der menschlichen Kultur! Verbunden mit der Bereitung von Brot kannte man in den Stadtstaaten des Orients schon vor über 6000 Jahren die gewerbsmäßige Herstellung von Bier; es gab allein 20 babylonische Biere, und die Ägypter waren auf dunkle Biersorten spezialisiert. Später traten auch Kelten und Germanen als Brauer auf, und heute werden auf der Welt pro Jahr über 100 Mt Bier erzeugt und getrunken, d. s. 200 Milliarden Krügel ! Die Bereitung von Wein ist ähnlich alt, und wir registrieren heute einen Weltkonsum von etwa 35 Mt, d. s. wiederum

200 Milliarden Achtel! Essig trat naturgemäß immer im Gefolge des Weins auf und wurde bereits im Mittelalter zunftmäßig organisiert hergestellt. Gleichzeitig lernte man auch die Kunst des Destillierens. Alle diese Prozesse — man denke auch noch an die zahlreichen Produkte aus Milch sowie an die Biotechnologie der Lederherstellung — wurden ohne Kenntnis der Verursacher ausgeübt. Erst mit dem 17. Jh. beginnend (Libavius, um 1600) wurden entsprechende Fragestellungen konkreter und mündeten in drei Problemkreise, die vornehmlich Werden und Vergehen lebender Substanz betrafen: (1) Was ist die Ursache der Fäulnis (putrefactio)? (2) Was ist Gärung (fermentatio)? (3) Gibt es eine Urzeugung (generatio spontanea)?

1675 sieht Antonie van Leeuwenhoek erstmals Mikroorganismen, doch erst im 19. Jh. ist die Zeit reif für die Beantwortung der eben angeführten Fragen, ja zum Teil erst im 20. Jh. Um 1840 werden Hefen und Bakterien als Gärungserreger beschrieben (Kützing, Schwann, Cagniard-Latour u. a.), doch gleichzeitig verkündet J. v. Liebig autoritativ »Gärung ist kein Lebensprozeß, sondern mechanische Kontaktwirkung«. Um eben dieselbe Zeit wird in mehreren Ländern Europas Hefe in eigens dafür eingerichteten Betrieben vermehrt und als Bäckerhefe verkauft. Insbesondere das sog. Wiener Verfahren (Reininghaus u. Mautner) um die Mitte des vorigen Jahrhunderts darf als reife Biotechnologie angesprochen werden — ähnlich das sog. Schützen-

bach-Verfahren zur Erzeugung von Essig in einem kontinuierlich (!) betriebenen ‚Bioreaktor‘.

1850 etwa erkennt Louis Pasteur »Gärung ist Leben — jede Gärung hat einen spezifischen Erreger — Fehlgärungen, wie Essigstich des Weins, ‚Krankheiten‘ des Bieres, sind durch mikrobielle Verunreinigungen aus der Luft verursacht«. Pasteur entwickelt aus dieser Erkenntnis die nach ihm benannte Methode des Pasteurisierens, aber auch die Idee, daß auch Krankheiten von Tier und Mensch durch mikrobielle Erreger aus der Umgebung verursacht seien und schafft damit die Grundlage für die moderne Infektionslehre (Robert Koch) sowie die Anti- und Asepsis (Joseph Lister). Von den mehreren von Pasteur erforschten Gärungen wird eine, die Milchsäuregärung, bereits 1881 in den USA als industrieller Produktionsprozeß verwirklicht.

Um die Jahrhundertwende ist das Wissen, daß Mikroorganismen wertvolle Produkte bilden können, schon gut etabliert. 1897 wird an der K. u. K. Technischen Hochschule in Wien das ‚Laboratorium für Gärungsphysiologie und Bakteriologie‘ eingerichtet und es bildet sich ein als ‚Technische Mykologie‘ (Franz Lafar) bezeichnetes wissenschaftliches Fach.

Um diese Zeit wird der Versuch unternommen, die Stoffwechselwege der alkoholischen Gärung zu ergründen (Carl Neuberg) und dabei erkannt, daß man diese Gärung zur Produktion von Glycerin

umlenken kann; dies führt während des 1. Weltkrieges zur großtechnischen Herstellung von Dynamitglycerin.

Aus der Eiweißnot des 1. Weltkrieges stammt auch das erste Verfahren zur Massenvermehrung von Einzellern als Eiweißquelle für Ernährungszwecke — Max Delbrück (der Onkel des als einer der Begründer der modernen Molekularbiologie geltenden gleichnamigen Nobelpreisträgers) in Berlin regt an, das ausgeprägte Wuchsvermögen von Fremdhefen bei Hefegärungsprozessen technisch zu nutzen.

In Großbritannien wird gleichzeitig die Fähigkeit von Bakterien (Clostridien) studiert, Butanol und Aceton aus Stärke oder Zuckerrohstoffen zu bilden; man will Butanol als Ausgangsmaterial zur Darstellung von künstlichem Kautschuk studieren, doch im 1. Weltkrieg ist man mehr an Aceton als Lösungsmittel für Schießbaumwolle interessiert. Einem Mitarbeiter dieser Gruppe, Chaim Weizman, gelangen wesentliche Verfahrensverbesserungen, und er erwirkt von der britischen Regierung das Versprechen (Balfour Declaration, 1917), das zionistische Anliegen der Errichtung des Staates Israel zu fördern. Dreißig Jahre später erfüllt sich dieser Wunsch, und Weizmann wird der erste Staatspräsident Israels.

Ab 1920 wird in den USA der erste Gärprozeß mit Schimmelpilzen, die Citronensäuregärung ent-

wickelt und so erfolgreich betrieben, daß innerhalb weniger Jahre die hauptsächlich in Italien ausgeübte Produktion von Citronensäure aus Citrusfrüchten praktisch zum Erliegen kommt. Heute beträgt die jährliche Erzeugung von Gärungscitronensäure etwa 350000 t.

Zunehmend werden nun neben den typischen (aneroben) Gärungen auch Gärprozesse eingeführt, bei denen aerobe, also sauerstoffbedürftige Mikroorganismen vermehrt und zu spezifischen Produktionstätigkeiten angeregt werden. Es entstehen Verfahren, sog. Submersverfahren, bei denen die Organismen einzeln oder in kleinen Zellaggregationen untergetaucht belüftet und umgewälzt werden. Hier wären besonders wirksame Apparaturenentwicklungen des österreichischen Ingenieurs Vogelbusch zu erwähnen.

1928 entdeckt Alexander Fleming das Penicillin als Stoffwechselprodukt eines Schimmelpilzes. Im Gefolge des 2. Weltkrieges wird die technische Produktion dieses Antibioticums in den USA als eine der segensreichsten Entwicklungen in kürzester Zeit verwirklicht. Die Folgen für den Fortschritt der Biotechnologie sind beträchtlich: Erstmals muß ein Fermentationsprozeß vollsteril geführt werden. Erstmals ist man mit dem Problem der großtechnischen Gewinnung kleiner Mengen Produkt aus Fermentationsflüssigkeiten konfrontiert. Man erkennt auch, daß höhere Fähigkeiten zur Produkt-

bildung stammbedingt sind. Dies führt zu weltweiten Suchprogrammen (screening) zur Auffindung von Mikroorganismen mit sowohl qualitativen als auch quantitativen Unterschieden in der Bildung spezifischer Produkte. Aus der Erkenntnis der genetischen Ursachen dieser Eigenschaften entwickelt sich die noch ebenso junge Mutationstechnik — ursprünglich nur wissenschaftliche Methode zur Analyse von Stoffwechselmechanismen — zur Technik der Stammverbesserung. Offenbar unter dem Schock des verlorenen Krieges setzt die japanische Wissenschaft einen deutlichen Schwerpunkt im Bereich der Biotechnologie und führt die Mutationstechnik zu bewundernswerter Virtuosität.

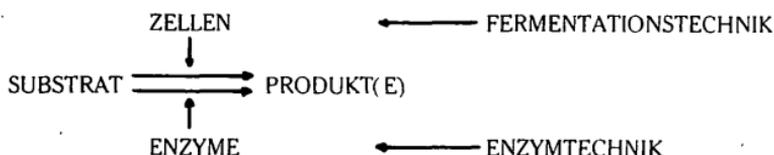
Aber auch in Österreich werden spektakuläre Erfolge im Bereich der Biotechnologie erzielt: 1952 gelingt einem Team der jungen Firma Biochemie (E. Brandl, H. Margreiter, R. Brunner, K. Schröder) in Tirol die Entwicklung und weltweite erfolgreiche Verbreitung des ersten säurefesten und damit oral applizierbaren Penicillins, des sog. Penicillin V.

Man beachte: Die erste Phase der Entwicklung der Biotechnologie ist dadurch gekennzeichnet, daß man empirisch um die Fähigkeit eines Mikroorganismus ein Produkt zu bilden wußte, diesen Prozeß wissenschaftlich zu verstehen suchte und aus diesem Verständnis Verbesserungen suchte.

Die zweite Phase ist nun in folgender Weise charakterisierbar: Wir kennen zahlreiche Mikroorganis-

men, die Mannigfaltigkeit ihres Stoffwechsels und wissen um die Tatsache, daß alle dafür bedeutsamen Eigenschaften genetisch fixiert sind. Diese genetische Fixierung erweist sich in zunehmendem Maße als in verschiedener Weise beeinflussbar. Die daraus resultierenden Möglichkeiten werden im abschließenden Teil erörtert.

Wir können nun einen biotechnologischen Prozeß verständlich erfassen bzw. definieren:



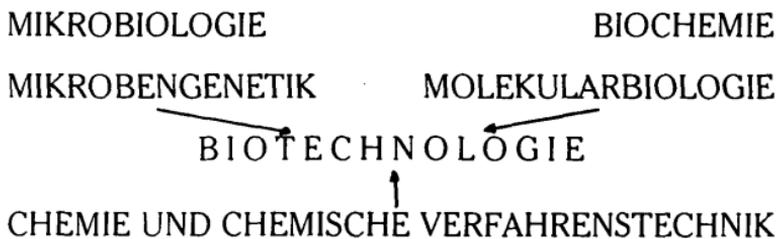
Substrate sind überwiegend Produkte der Landwirtschaft (ggf. Forstwirtschaft), also sog. erneuerbare biogene Rohstoffe. Die Reaktionen sind typische Biokatalysen, wobei als Biokatalysatoren Zellen, hauptsächlich Mikroorganismenzellen, bzw. aus Zellen isolierte Enzyme wirken. Das Arsenal des Biotechnologen umfaßt also im wesentlichen Bakterien einschließlich Actinomyceten, Pilze (Hefen, Schimmelpilze, höhere Pilze) sowie Zell- bzw. Gewebeskulturen von Pflanzen und Tieren — deren Biologie, Biochemie, Genetik zu kennen eine Grundvoraussetzung darstellt.

Grundlage der Nutzbarmachung dieses Potentials sind dabei folgende Überlegungen: Mikroorganis-

menzellen (und andere isolierte Zellen) besitzen eine hohe spezifische Oberfläche, korreliert mit einer hohen Stoffwechselleistung, die besonders bei Einzellern die hohen Wachstums- bzw. Vermehrungsraten und so die einfachste Form des Überlebens ermöglicht. Die Überlegenheit von Mikroorganismen als Produktionsfaktor gegenüber Pflanze und Tier in der Biotechnologie ist in dieser hohen spezifischen Stoffwechselintensität begründet. Mikroorganismen verdoppeln ihre Zellzahl bzw. Zellmasse in einem Zeitraum von weniger als einer Stunde bis etwa zehn Stunden; dies entspricht einer Stoffumsatzgeschwindigkeit, welche die einer Nutzpflanze oder eines Tieres bis zum mehrhundertfachen übertrifft. Dazu ermöglicht es der hohe Genbestand einer Zelle, mit wechselnden Umweltbedingungen fertig zu werden. Bei Mikroorganismen haben sich im Laufe der Evolution zahlreiche Stoffwechseltypen herausgebildet. Sie sind dadurch gekennzeichnet, daß ein Organismus bei seinem Bestreben, die Nährstoffe der Umgebung optimal zur Produktion von Zellbausteinen und der für den Zellbau nötigen Energie zu nutzen, nicht nur Zellmasse und $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (als Produkte der Energie liefernden Reaktion) produziert, sondern auch gemäß seiner genetischen Ausstattung und als Antwort auf die Außenbedingungen Reaktionen ausführt, die zu typischen anderen Stoffwechselprodukten führen, welche die Grundlage biotechnologischer Prozesse bilden. Die Fähigkeit — quali-

tativ und quantitativ — zur Bildung bestimmter Stoffwechselprodukte ist also sowohl genetisch determiniert als auch durch Außenbedingungen beeinflusbar.

Fermentationstechnik beginnt somit mit der Suche und Isolierung sowie Charakterisierung potentieller Produktionsorganismen, setzt sich fort in deren genetischer Beeinflussung (Stammverbesserung) und endet mit der Optimierung der technischen Bedingungen eines Fermentationsprozesses — bis zum Einsatz von Computern — also ein Vorhaben, dessen Erfolg das Zusammenwirken mehrerer Disziplinen erfordert:



Wenden wir uns nun den Produkten der Biotechnologie zu. Die folgende Übersicht ist nach Einsatzgebieten orientiert und soll nur beispielhaft charakteristische Produkte anführen, um die umfassende Breite und Bedeutung dieser Technologie zu zeigen.

PRODUKTE

ZELLMASSE = BIOMASSE

ZELLINHALTSTOFFE
UMSETZUNGSPRODUKTE
AUSSCHIEDUNGSPRODUKTE

(1) ENERGIE

Bekannt ist die allorts diskutierte Problematik des Biosprits, der aus erneuerbaren Rohstoffen hergestellt eine Chance für die Landwirtschaft darstellt. Aber auch Biogas zeigt sich als Produkt der Landwirtschaft — jedoch auch der Abfallwirtschaft. Neu auf dem Energiesektor sind mikrobielle Produkte, die als Emulgatoren und Deemulgatoren in der tertiären Erdölförderung einsetzbar sind.

(2) NAHRUNGS- UND GENUSSMITTEL

Neben den bereits einleitend erwähnten traditionellen Produkten seien nur einige neuere Entwicklungen aufgezählt, um das potentielle Spektrum aufzuzeigen:

Mikrobielle Starterkulturen für die Veredelung von Nahrungsmitteln, für die Nahrungs- und Futtermittelkonservierung; mikrobielles Lab als Ergänzung für das traditionelle Enzym; mikrobielle Polysaccharide als Streckungs- bzw. Versteifungsmittel für zahlreiche moderne Nahrungsmittel; Geschmacksverstärker wie Nucleotide, Na-glutamat; Aminosäuren zur Aufwertung pflanzlichen Eiweißes; Vitamine, z. B. Cobalamin in der Tierernährung; Fructosesirup aus der enzymatischen Isomerisierung von Glucose — ein in außerordentlich hohen Tonnagen hergestelltes Produkt.

(3) LANDWIRTSCHAFT

Eines der großen Hoffungsgebiete — mit wachstumstimulierenden Antibiotica, Vitaminen und Aminosäuren zur Ergänzung von Futtermitteln; problematisch aus wirtschaftlichen Gründen die Produktion von Biomasse für den Einsatz als Einzellerprotein in der Tierfütterung; biologische Schädlingsbekämpfungsmittel als Alternative für die entsprechenden chemischen Produkte.

(4) INDUSTRIE

Neben der Produktion von verschiedensten Chemikalien z. B. Alkoholen und Säuren (Ethanol, Butanol, Citronensäure usw.) aus erneuerbaren Rohstoffen wird der Produktion und dem Einsatz von Enzymen eine enorme Zukunftsentwicklung vorausgesagt. Enzyme können sowohl als hochselektive Biotransformationskatalysatoren eingesetzt werden als auch in der Produktion von Massenprodukten (z. B. Fructose aus Glucose; Glucose aus Cellulose). Bereits eingangs erwähnt wurde die Praxis der mikrobiellen Erzlaugung, aber auch das Potential zur Biosorption oder Biotransformation umweltbelastender Stoffe (von persistenten Chemikalien bis zu Metallen) sollte angeführt werden.

(5) MEDIZIN

Größten Umfang nehmen die schon traditionellen Antibiotica sowie die Steroidtransformationsprodukte (Kontrazeptiva, Corticoide) ein. Im Pharmabereich wurden aber auch die ersten Erfolge er-

zielt, die moderne Gentechnik biotechnologisch zu nutzen.

Gerade die Biotechnologie setzt in die neue Gentechnik größte Erwartungen und erhofft sich wesentliche Impulse.

Grundsätzlich kann man zwei Methoden moderner Gentechnik unterscheiden:

Zellhybridisierungstechniken

Rekombinant-DNA-Techniken

Im Bereich der Zellhybridisierung wird als neue Technik die der Fusion von Protoplasten (Sphäroplasten) bei Mikroorganismen, Pflanzen- und Tierzellen eingesetzt. Bei Mikroorganismen erhofft man sich technisch nutzbare Merkmalskombinationen, konnte aber noch keinen wirklich durchschlagenden Erfolg verbuchen. Ähnliches gilt für Nutzpflanzen, bei denen ein Erfolg sowohl für Zellkulturen (Produktion von Sekundärmetaboliten) als auch für neue Pflanzenindividuen angestrebt wird.

Spektakulär aber ist bei tierischen Zellen die sog. Hybridomatechnik zur Herstellung monoklonaler Antikörper. Sie beruht darauf, daß man Zellen mit der Fähigkeit zur Synthese spezifischer Antikörper (aber begrenzter Lebensfähigkeit in Zellkultur) mit Zellen hybridisiert, die als Tumorzellen das Merkmal permanenten Wachstums aufweisen. So gewonnene spezifische Antikörper können sowohl diagnostisch (z. B. Krebsdiagnose) als auch therapeutisch eingesetzt werden. Die hohe Spezifität

monoklonaler Antikörper ermöglicht auch eine therapeutische Variante, die darin besteht, daß man an einen spezifischen Antikörper eine chemotherapeutische bzw. antibiotische, speziell cytotoxische, Komponente anhängt, wodurch sog. Immunotoxine entstehen.

Die aufsehenerregendste Technik ist aber sicher die Rekombinant-DNA-Technik, das eigentliche »genetic engineering«. Sie besteht darin, daß man definierte Stücke (Gene) aus dem Genom einer Zelle in eine andere Zelle übertragen und dort stabil d. h. reproduzierbar zur Expression bringen kann.

Die Voraussetzung dafür waren einerseits die Entdeckung von Enzymen, sog. Restriktionsendonucleasen, in Mikroorganismen, welche die Fähigkeit aufweisen Desoxyribonucleinsäure (DNA) an ganz bestimmten aber je nach Enzymen verschiedenen Stellen zu zerschneiden, wodurch man die erwähnten trennbaren DNA-Bruchstücke erhält — andererseits die Entdeckung der Existenz von ringförmigen extrachromosomalen Genelementen, sogenannten Plasmiden, die sich annähernd synchron mit dem Zellgenom bzw. der Zelle replizieren.

Das Prinzip der Methodik ist damit leicht erläutert: Man isoliert die DNA-Bruchstücke (Gene); ebenso isoliert man aus der Empfängerzelle Plasmide, schneidet sie analog auf und kann sie nun durch Einfügen eines DNA-Fragmentes erweitern, wofür es wieder geeignete Enzyme, sog. Ligasen, gibt. Nun

können die erweiterten Plasmide in Empfängerzellen eingebracht werden, der dies ermöglichende Vorgang der Aufnahme von DNA durch eine intakte Zelle ist als Transformation lange bekannt. Durch (vegetative) Vermehrung der Empfängerzelle entstehen Klone mit identischen Plasmideigenschaften, die in technischen Prozessen einsetzbar sind. Da Plasmide Eigenschaften aufweisen, die nicht zur normalen Genausstattung einer Zelle zählen (z. B. Antibioticaresistenz), kann man plasmidhaltige Zellen von anderen unterscheiden und damit auch züchterisch selektionieren.

Das Aufregende dabei ist nun, daß es diese Technik auch möglich macht, wenn auch in der Praxis nicht so einfach wie eben geschildert, biologisch vorgegebene Schranken weitestgehend zu überspringen; dementsprechend ist es z. B. möglich typisch tierische bzw. menschliche Genexpressionsprodukte wie Hormone, Serumproteine u. ä. nach Übertragung der entsprechenden Gene als Fermentationsprodukte von Mikroorganismen in technischem Maßstab zu produzieren. Die folgende Übersicht zeigt einige typische Produkte dieser neuen Technologie, welche die Bedeutung dieser Entwicklung erkennen lassen.

PRODUKTE DER GENTECHNIK

HORMONE — Humaninsulin, Wachstumshormone usw.

IMPfstoffe — MKS, Hepatitis B usw.

ISOLIERTE ANTIGENE — z. B. Virusproteine
(Capside)

FAKTOREN DER BLUTGERINNUNG — Plasmino-
genaktivator

FAKTOREN DES ZELLULÄREN IMMUNABWEHR-
SYSTEMS — Interferone, Lymphokine z. B. Inter-
leukin, Makrophagenaktivator, Tumornekrosefaktor

WUNDHEILUNGSFAKTOREN UND BLUTDRUCK-
REGULATOREN — Signalsubstanzen, Leukotriene,
Prostaglandine

FAKTOREN VON SCHMERZ/WOHLBEFINDEN —
Endorphine

HUMANENZYME, TIERENZYME — z. B. Prorennin

Die neueste Entwicklung geht in die Richtung, spezielle Proteine einer Strukturanalyse zu unterwerfen, diese Struktur in die entsprechende DNA Sequenz zu übersetzen, sodann diese DNA (dieses Gen) automatisiert zu synthetisieren, in einem Produktionsorganismus zu klonieren und so das Protein zu produzieren. Dabei wird es auch möglich, die von der Natur evolutiv vorgegebenen Strukturen abzuwandeln, wodurch Proteine mit veränderten Eigenschaften zugänglich werden.

Alle diese Aspekte können äußerst segensreich sein, bergen aber auch Ansatzpunkte bedenklicher Entwicklungsmöglichkeiten in sich, die das ganze Verantwortungsbewußtsein des forschenden Menschen ansprechen. Zusammenfassend kann jedenfalls mit Grund gesagt werden: Biotechnologie ist

ein äußerst aktueller Zweig der Wissenschaft und Technik — mit alter Tradition und faszinierenden Zukunftsaspekten.

Anschrift des Verfassers:

Univ. Prof. Dr. Max Röhr

Technische Universität

Institut für Biochemische Technologie und Mikrobiologie

1060 WIEN, Getreidemarkt 9.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [124](#) [125](#)

Autor(en)/Author(s): Röhr Max

Artikel/Article: [Die Entwicklung der Biotechnologie. 149-166](#)