

Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft
Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft
Band: 85 (1991)

Artikel: Biotechnologie und Erziehung : Grundsatzüberlegungen zum Spannungsfeld Naturwissenschaft/Technik/Gesellschaft und Erziehung
Autor: Frischknecht, Kurt P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-832751>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Berichte der St.Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft

85. Band Seiten 61–141 12 Abbildungen 11 Tabellen St.Gallen 1991

Biotechnologie und Erziehung

Grundsatzüberlegungen zum Spannungsfeld
Naturwissenschaft/Technik/Gesellschaft und
Erziehung

Kurt P. Frischknecht

Kurt P. Frischknecht, Dr. rer. nat., M. A. T., Uf Gurt, Fontnas, 9476 Weite

Kantonsschule Sargans, Abt. Biologie/Chemie, Pizolstraße 14,
CH-7320 Sargans

Universität Zürich, Institut für Pflanzenbiologie, Abt. Mikrobiologie,
Zollikerstraße 107, CH-8008 Zürich

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	64
1. Das naturwissenschaftliche Zeitalter:	
Wahrnehmung und Realität	65
1.1. Zur Situation der Naturwissenschaften	
1.2. Zur Situation der Biotechnologie	
1.3. Zur Situation der Erziehung im naturwissenschaftlichen Bereich	
2. Bedeutung und Wesen der Biotechnologie	71
2.1. Biotechnologie als künftige Schlüsseltechnologie	
2.2. Grundmerkmale der Biotechnologie	
2.3. Chancen und Risiken	
3. Biotechnologie und Erziehung	85
3.1. Einleitung	
3.2. Pädagogische Grundfragen zur Biotechnologie	
3.3. Biotechnologie und Bildungsauftrag	
3.4. Biotechnologie und Innovationen im Unterricht	
4. Ein kritischer Ausblick	96
4.1. Bereich Biotechnologie	
4.2. Bereich Schule	
5. Glossar	99
6. Literaturverzeichnis	104
7. Tabellenanhang	113

Zusammenfassung

Der erste Teil dieses Übersichtsartikels beleuchtet unsere *zwiespältige Einstellung zu Naturwissenschaften und Technik*: einerseits massive Kritik und Mißtrauen in diese Disziplinen, andererseits aber maßloser Konsum und hemmungslose Anwendung der eben durch Naturwissenschaft und Technik ermöglichten Güter und Erkenntnisse. Die äußerst verzerrt wahrgenommene Biotechnologie, die als Reproduktionstechnologie mißverstanden wird, ist ein ausgezeichnetes Fallbeispiel dafür. Solch kontroverse und komplexe Themen provozieren Ansprüche und Kritik am naturwissenschaftlichen Unterricht und stellen am Ende des 20. Jahrhunderts *neue Herausforderungen an unser Bildungssystem* dar.

Der zweite Teil versucht, mit einprägsamen Abbildungen und reichem Tabellenmaterial eine Kurzcharakterisierung der *Grundzüge* sowie *Anwendungsbeispiele der Biotechnologie* zu vermitteln. Ein kurzer *historischer Abriss* stellt die *«Jahrhundertwissenschaft»* in Perspektive. Die *herausragende Rolle der Mikroorganismen* wird biologisch begründet. Biotechnologie ist eigentlich eine *«weiche»* Technologie, die uns näher an eine *«sanfte Chemie»* bringen könnte, würde sie nicht einer *«zeitgeistgemäßen»* undifferenzierten Technikkritik anheimfallen. Die *heftige Kontroverse um «Chancen und Risiken»* der modernen Biotechnologien wird in ihren Grundzügen skizziert.

Der dritte Hauptteil ist ein Plädoyer für den Einbezug der Themen Biotechnologie/Gentechnologie und Reproduktionstechnologie in eine gegenwartsbezogene und zukunftsorientierte Allgemeinbildung in Naturwissenschaften. Biotechnologie ist als ideales *Integrationsthema* eine wichtige Ergänzung für unsere einseitig disziplinenorientierte Fächerung der höheren Ausbildung. Biologisch-chemisches Fachwissen als Grundlage zur Entscheidungsfindung in gesellschaftlich wichtigen und brisanten Fragen (Verfügungswissen) muß heute zwingend ergänzt werden durch nachdenkendes ethisches Wissen (Orientierungswissen), soll die moderne Biotechnologie mit ihren Versprechungen der *«Verminderung von Leiden»* nicht in einer frevelhaften *«Verbesserung des Lebens»* enden.

Ein kritischer Ausblick hält Forderungen an Befürworter und Gegner zum Umgang mit der unvermeidlichen Biotechnologie fest und weist auf latente Tendenzen hin, die den angesichts unseres technologischen Zeitalters wichtigen naturwissenschaftlichen Bereich in der Erziehung weiter schwächen, statt ihn *inhaltlich* wie *ethisch* fördern.

Ein Glossar und ausgewählte Literatur sollen den Einstieg in diesen wichtigen Zweig der modernen Biologie erleichtern.

1. Das naturwissenschaftliche Zeitalter: Wahrnehmung und Realität

1.1. Zur Situation der Naturwissenschaften

1.1.1. Bedeutung der modernen Naturwissenschaften und der Technik im Alltag

Es besteht längst kein Zweifel mehr: unsere Zeit ist zutiefst von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und Produkten der Technik geprägt (DIXON, 1989a; 1989b). Sie beeinflussen jeden Aspekt des menschlichen Lebens: was wir essen und was wir anziehen; wo und was wir arbeiten und wie wir unsere Freizeit verbringen; wie gesund wir sind, wie wir als Kranke medizinisch betreut werden; wie wir geboren werden und wie wir sterben. Sogar intimste Momente des menschlichen Daseins kommen heute nicht mehr ohne Wissen und ohne Produkte naturwissenschaftlichen Ursprungs aus!

Willkürlich herausgegriffene Stichworte wie Informatik, Gentechnik, Biotechnologien, Antibiotika, Drogen, Treibhauseffekt, Biosensoren, Neurocomputer, Sondermüll, Dioxine, AIDS, Bodenbelastung, Ozonloch, Katalysatorautos, Hygiene, Fusion, Telefax, Toxikologie, Radioaktivität, Fortpflanzungstechnologien, Lufthygiene, Kernenergie, Computertomographie, CIM (Computer integrated manufacturing), Umweltschutzmaßnahmen, Laserchirurgie, Fotokopiergeräte, Schmerzmittel, Photographie, globaler Artenschwund oder Nutzpflanzenzüchtung – die Liste ließe sich mühelos beliebig verlängern – können die praktisch unüberblickbare Bedeutung der Technisierung unseres Alltags sowie die gewaltigen Konfrontationen im ausgehenden 20. Jahrhundert nur antippen. Ein jeder von uns, ob Lehrer oder Schüler, Erziehungswissenschaftler oder Politiker, ob Kritiker oder Befürworter der Technisierung unserer Zivilisation sollte sich einmal einen ganz gewöhnlichen Tagesablauf ohne irgendwelche Produkte oder Kenntnisse aus naturwissenschaftlicher Herkunft plastisch vorstellen!

Eine dermaßen geprägte Gesellschaft braucht ohne Zweifel naturwissenschaftlich gebildete Laien in allen Berufskategorien, *umwelt- und technikkompetente Bürger und Politiker*, die in unserem System der direkten Demokratie mehr und mehr über ökologische und naturwissenschaftliche

Sachfragen entscheiden müssen. Es stellt sich nämlich immer deutlicher heraus, daß gerade hier eine nachhaltige Kluft zwischen Wahrnehmung und Realität aufgegangen ist, die wesentlich auf unsere gegenwärtigen gesellschaftlichen Entscheidungsmechanismen zurückzuführen sind (Abb. 1). Diejenigen mit der geringsten Wissensbasis haben den stärksten Einfluß; die *Wahrnehmung* hat eine größere Gewichtung als die *Wirklichkeit*. Die tatsächliche Bedeutung der Naturwissenschaften ist umgekehrt proportional zu dem in der Bevölkerung vorhandenen Grundwissen.

1.1.2. Dualismus von Wertvorstellungen und Verhaltensweisen

Das interessanteste und gleichzeitig störendste Phänomen in dieser Situation ist ein Paradoxon: einerseits wird allgemein akzeptiert, daß wir in einer von Technik abhängigen Gesellschaft leben; mehr noch, wir sind sogar stolz darauf, eine der führenden «High-Tech»-Nationen der Welt zu sein, und setzen wirtschaftlich alles daran, auf diesem Spitzenplatz verbleiben zu können. Aber auch jeder noch so kritische Sozialwissenschaftler und jeder Pädagoge, der beruflich mithalten will, hat selbstverständlich High-Tech-Werkzeuge beruflich und privat im Einsatz (Personalcomputer mit Laserdrucker, Taschenrechner, Telefax); schluckt biotechnologische Produkte (z.B. Antibiotika), um bei der nächsten Fachtagung

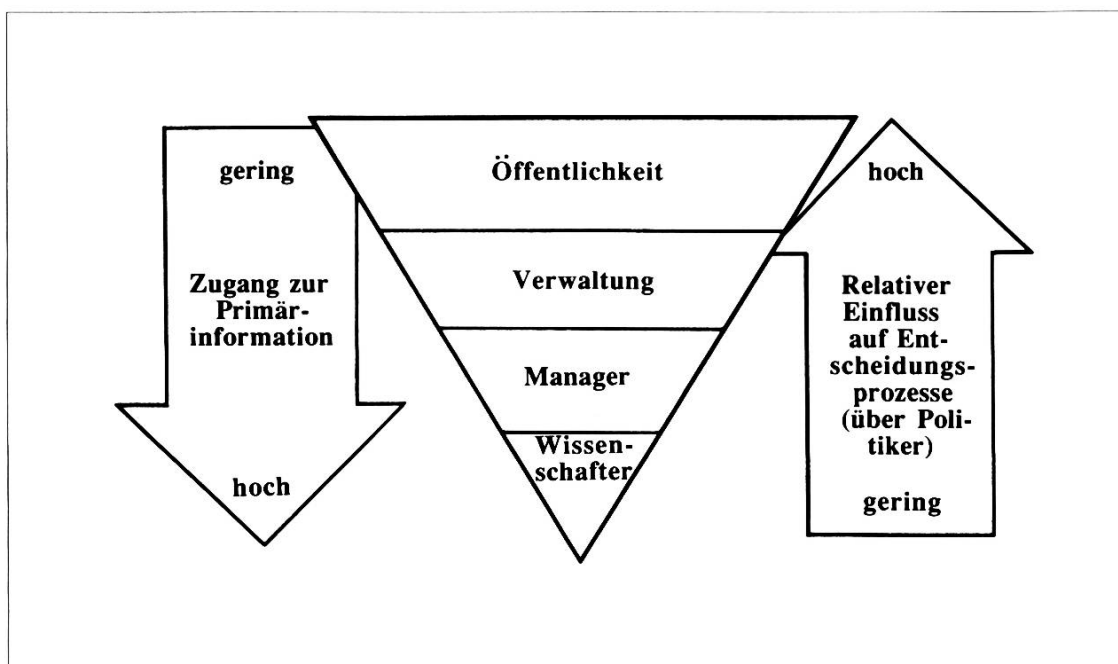


Abb. 1

Gegenwärtige Schwerpunktsetzung in gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen.

trotz einer Infektionskrankheit dabeizusein, und läßt sich bei «schwerwiegenderen» gesundheitlichen Problemen vorzugsweise in einer Universitätsklinik mit modernsten Techniken (z.B. Computertomographie) und biotechnischen Diagnose-/Therapiemethoden (z.B. enzymanalytische und immunbiologische Verfahren) behandeln. Im Falle von AIDS erhoffen sich alle rasche Durchbrüche, selbst wenn sie auf gentechnologischen Methoden beruhen. Andererseits wird bei jeder Gelegenheit ein Unbehagen manifestiert, das sogar in Abwehr bis hin zur Feindlichkeit der «Technik» gegenüber umschlagen kann (ZIEFUSS, 1988). Im Schulbereich zeigt sich das etwa in einer an der Bedeutung gemessen eher mageren Stundendotierung der naturwissenschaftlichen Fächer, ja sogar in einer Aushöhlung dieser Gebiete (z.B. in Form der faktischen Abwertung der Fächer Chemie und Biologie als Maturitätsprüfungsfach), in der Kritik gewisser Pädagogen an den «harten» Naturwissenschaftsfächern, «zu wenig pädagogisch» zu sein, in der Unbeliebtheit der Fächer Chemie und Physik (KAUFMANN, 1989) oder der fehlenden Unterstützung naturwissenschaftlicher Erziehungsprojekte.

1.2. Zur Situation der Biotechnologie

Die Biotechnologien sind ein geeignetes Fallbeispiel für die oben skizzierte Situation der Naturwissenschaften. Obwohl sie als «ältestes Gewerbe der Welt» – 3000 v. Chr. Gärgetränke in Mesopotamien, schriftlich erwähnt auf babylonischen Handels-Gesetzestafeln, bildhaft dargestellt vor ca. 2400 v. Chr. auf ägyptischen Tafeln aus der Zeit der fünften Dynastie – seit mehr als 5000 Jahren unseren Alltag und in diesem Jahrhundert entscheidend auch den Gesundheitssektor mit Produkten wie Wein, Bier, Käse, Joghurt, Essig, Penicillin, Virus-Impfstoffen, Ovulationshemmern und Enzymen (z.B. in Waschmitteln oder als Diagnostika) beeinflussen, werden sie von Öffentlichkeit und (vielen) Politikern äußerst kritisch bis verzerrt wahrgenommen (Abb. 2).

Die Biologie hat endgültig aufgehört, eine «kontemplative» Wissenschaft zu sein; weil sie zu einer angewandten Wissenschaft geworden ist mit enormem Anwendungspotential (KLÄMBT et al., 1991; BÖHLMANN, 1985), werden mit zunehmender Heftigkeit Debatten über Chancen und vor allem Risiken der «neuen» Wissenschaft des Lebens geführt, die nicht minder heftig sind als jene um die Nuklearphysik. Wissenschaften mit umwälzendem Charakter rufen Ängste und Wissenschaftsfeindlichkeit,

aber auch Euphorien hervor. Doch gerade die Biotechnologie könnte zu einer alternativen, umweltfreundlichen und daher menschenfreundlichen Technologie werden, denn die in Frage kommenden Bioprozesse laufen weitgehend bei biologischen Bedingungen ab und verursachen deshalb eine wesentlich geringere Schadstoff-

BIOTECHNOLOGIEN

Im Spiegel der Presse: Schlagzeilen

"Wollen wir den perfekten Menschen?" (UB 125\1987)

"Kommt der manipulierte Mensch?" (BM 30.6.1979)

"Ein Mensch - vervielfältigt wie eine Fotokopie?" (16.9.1979)

"Mein Gott, was habe ich getan?" (Spiegel 15\1987)

"Die Natur betreibt Gentechnik seit Urzeiten" (CLB\BT+ 11\1987)

"Mikroben fressen die "Gerüche" aus der Abluft"
(SLZ 10\1987)

"Erbkrankheiten: Das Gen ist kein Schicksal" (BdW 8\1987)

"Bakterien verwerten (fast) jeden Stoff" (TA 1987)

"Menschliche Veränderungen an Tieren - Biomaschinen"
(Bliib gsund 24\1988)

"Das unkalkulierbare Risiko ist die Züchtung neuer Krankheitserreger"
(BM 21.11.1976)

"Den Nobelpreis werden sie nie bekommen. Verdient hätten sie ihn: Die einzelligen Chemiker" (RM 11\1980)

"Von Menschenzüchtung triebhaft fasziniert" (Spiegel 3\1986)

"Forscher formen den Menschen nach Mass - Menschenwürde in Gefahr" (BdW 3\1986)

Abb. 2

Schlagzeilen zur «Biotechnologie». Von 13 aus einer Separatasammlung zufällig herausgezogenen Zeitungsartikeln befassen sich 6 mit Fortpflanzungsmedizin (= 46 %), 4 mit Gentechnologie (31 %) und nur gerade 3 (= 23 %) mit der eigentlichen Biotechnologie.

belastung als andere Verfahren. Die Biotechnologie ist keine Ja-Nein-Technologie mehr, jeder ist von ihr betroffen, jeder profitiert schon längst davon. Aber sie muß von informierten, mündigen und kompetenten Bürgern mit Vernunft und mit Verantwortung begleitet werden, damit sie ihre Chancen und Grenzen wahrnehmen kann. «Wir stehen am Anfang eines großen Abenteuers der menschlichen Intelligenz. Hoffen wir, daß es auch das Abenteuer der Vernunft und des Herzens wird» (GROS, 1988). Unabdingbare Voraussetzung dazu ist die auf sachlichen Informationen beruhende Urteilsfindung. Hier hat die Erziehung einen entscheidenden Beitrag zu leisten.

1.3. Zur Situation der Erziehung im naturwissenschaftlichen Bereich

1.3.1. Kritik am Naturwissenschaftsunterricht

Stichworte wie *Technikfeindlichkeit*, *Hilflosigkeit* gegenüber dem raschen Technologiewandel mit spürbaren Auswirkungen in den Lebensalltag des Einzelnen, *Informationsübersättigung* (z.B. Umfang der Lehrbücher in Biologie), *Motivations-, Leistungs- und Lernbereitschaftsdefizite* bei Schülern, *Theoretisierung/Kopflastigkeit* (insbesondere der Fächer Chemie und Physik), *Wirkungslosigkeit und Unbeliebtheit* des «modernen» Naturwissenschaftsunterrichtes und *Sinndefizite* («No future generation») sind in der pädagogisch-psychologischen Literatur häufig anzutreffen.

Neben dieser eher allgemeinen Kritik gibt es auch eine versteckte Kritik, die sich aus dem Nichteinhalten des Anforderungsprofils seitens der Fachdidaktik ergibt. Diese Fachdidaktik verlangt vom naturwissenschaftlichen Unterricht als wesentliche Bildungselemente die Gewinnung von elementaren naturwissenschaftlichen *Einsichten*, die Hinführung zu fundamentalen *Erkenntnissen*, die Erlangung sachlicher *Arbeitshaltungen* und sozial-menschlicher *Einstellungen*, die Reifung zu *Selbst- und Weltverständnis*, die *Verantwortung und Achtung gegenüber Natur und Lebendigem*, die *Befähigung*, naturwissenschaftliche Kenntnisse und Arbeitsmethoden zu übertragen und anwenden zu können. Aber auch die Orientierung an der *Lebenswelt* («Existenznaturwissenschaft»), *Offenheit*, *erfahrungsbezogener, handlungs- und schülerorientierter Fachunterricht* sind zentrale Ansprüche, die der real praktizierte Unterricht in der Tat selten zu erfüllen vermag.

Zeiten des geistigen Umbruchs, des Wertewandels und großer technologischer Neuerungen haben immer schon ihre tiefen Spuren im Erziehungswesen hinterlassen. Die letzten zehn Jahre waren gekennzeichnet

durch immer stärkere Aufgaben naturwissenschaftlicher Ausrichtung für die Schule. Umweltprobleme, Gesundheitserziehung, AIDS, Informatik, Gentechnologie und Bioethik sind neue Kristallisationsfelder der Anforderungen und zugleich auch der Kritik an der Schule geworden, ohne ihr aber, mit Ausnahme der wirtschaftlich interessanten Informatik, adäquate Mittel zur Bewältigung zur Verfügung zu stellen.

1.3.2. Spaltung zwischen Geistes- und Technikkultur

Das längerfristige Resultat der oben skizzierten Entwicklungen und Defizite ist ein ständig wachsender Graben zwischen einer kleinen technologisch/naturwissenschaftlich gebildeten Spitzengruppe und dem Rest der breiten Bevölkerung, eine Entfremdung und ein Mißtrauen zwischen Experten, Bürgern und Regierung – C.P. SNOWs Konzept von «zwei Kulturen» innerhalb der gleichen Gesellschaft wird Wirklichkeit (SNOW, 1959; HANDBERG/McCRAE, 1980; FLEMING, 1989). Ironischerweise werden Naturwissenschaft und Technik einerseits verantwortlich gemacht für viele Probleme der westlichen Zivilisation – der Glaube des 19. und 20. Jahrhunderts an die Omnipotenz der Wissenschaften beginnt drastisch zu erodieren –, andererseits sind wir abhängig vom Zwiespahn Naturwissenschaft/Technik wie nie zuvor und warten allzu häufig gebannt auf rein wissenschaftlich-technologische Lösungen (z.B. Luftreinhaltung). Wir brauchen eine in *wissenschaftlich/technischen Belangen aufgeklärte und gebildete Bevölkerung*. Wir brauchen aber ebenso Wissenschaftler, die nicht zu einseitigen, rein intellektuellen Spitzenleistungen herangezogen werden, sondern über engste Fachgrenzen hinaus reflektierend ihr technologisches Wissen und ihre Fertigkeiten ganzheitlich anwenden und akzeptieren, daß Lösungen auch außerhalb des technologischen Bereiches zu suchen sind. Wissenschaftler und Techniker sind gesucht, die bereit sind, ihre Verantwortung nicht zu delegieren. Die bisherige Erziehungsphilosophie und Erziehungsmethodik haben diese Ziele nur bedingt erreicht. Neue, zum Teil ungewohnte Wege müßten beschritten werden, wenn unsere Erziehungsinstitutionen für einmal vorausschauend den kommenden Herausforderungen gerecht werden sollten (FRISCHKNECHT, 1980).

Eine weitere, für unser noch wohlhabendes Industrieland Schweiz entscheidende Frage ist, ob der derzeitige naturwissenschaftliche Unterricht zusammen mit den eher technologiekritischen Presseberichten nicht den Schüler von diesen «harten» Fächern wegführt. Als Indizien dafür können neben der bereits zitierten Unbeliebtheit u.a. die sinkende

Leistungsbereitschaft der Schüler, die sich besonders in den naturwissenschaftlichen Kernfächern bemerkbar macht, der Zulauf zu ‹weiche­ren› Gymnasialtypen wie Wirtschaftsgymnasium oder der geringe Zuspruch zu naturwissenschaftlichen Wahlfachkursen bewertet werden. Die Unzulänglichkeiten des naturwissenschaftlichen Unterrichtes und die mangelnde Bereitschaft zur nüchternen, informierten und ehrlichen Auseinandersetzung mit technisch/naturwissenschaftlichen Themen werden unweigerlich unangenehme Langzeitwirkungen haben und müßten uns eigentlich erhebliche Sorge um unsere Zukunft als Industriestandort bereiten. Einerseits müssen Fachlehrer und Pädagogen diese Situation ernst nehmen und energisch an der Reform von Inhalt und Methoden des Naturwissenschaftsunterrichtes arbeiten. Andererseits wäre es fatal, von der geisteswissenschaftlichen Seite her diese Situation zur weiteren Bedrängung der naturwissenschaftlichen Fächer mißbrauchen zu wollen. Diese Gefahr besteht bei einer Verkürzung der Ausbildungslehrgänge bis zur Matura, da in den Entscheidungsgremien Naturwissenschaftler praktisch nicht vertreten sind. Gerade aus Misere heraus ergeben sich aber neue Chancen, die z.B. mit *integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichtsthemen*, von denen Biotechnologie ja nur gerade ein Beispiel darstellt, genutzt werden können.

Um den Stellenwert der Biotechnologie im Schulbereich überhaupt abschätzen zu können, wird im folgenden Kapitel versucht, einen Einblick in Bedeutung und Wesen der Biotechnologie zu vermitteln.

2. Bedeutung und Wesen der Biotechnologie

2.1. Biotechnologie als künftige Schlüsseltechnologie

2.1.1. Eine notwendige Begriffsklärung

Die veröffentlichten Meldungen, Artikel, Bücher und Stellungnahmen zur Biotechnologie sind ausgesprochen vielfältig in der Betrachtung des Themas (vgl. Abb. 2), leider aber auch in der Benutzung der Begriffe. Oft werden *Biotechnologie*, *Gentechnologie* und *Reproduktionstechnologien* (Fortpflanzungsmedizin) als Synonyme verwendet, der Einsatz von Ultraschall in der pränatalen Diagnostik beispielsweise bereits unter dem Schlagwort Gentechnik behandelt.

Was ist unter den ‹Biotechnologien› zu verstehen? Drei Arbeitsfelder sind strikte zu unterscheiden (Abb. 3):

1. Die Biotechnologie ist eine anwendungsorientierte Naturwissenschaft, die den Stoffwechsel zumeist *«einfacher biologischer Systeme»* und dessen Nutzung im Rahmen technischer Verfahren und industrieller Produktion zum Gegenstand hat. Bei den von ihr untersuchten und verwendeten biologischen Systemen handelt es sich um Mikroorganismen (Bakterien, Pilze), zellfreie Enzyme sowie Zellkulturen höherer Pflanzen und Tiere (einschließlich des Menschen).
(Methoden: Verfahrensschemie, Einsatz von Bioreaktoren, Zellkulturen, immobilisierte Enzyme, Eingriffe in die Regulation des Stoffwechsels, Protoplastenfusion, u.a.).
2. Die Gentechnologie ist eine anwendungsorientierte Naturwissenschaft, die die Charakterisierung und die gezielte Veränderung der Erbsubstanz von Lebewesen sowie die Synthese von Erbsubstanz und deren Einsatz in Lebewesen und/oder biologischen Systemen zum Ziel hat.
(Methoden: Molekularbiologie, Sequenzanalyse, Schneiden mit Restriktionsenzymen, Neukombination, synthetische Herstellung von DNA, Gensonden, PCR [Polymerase Chain Reaction], Gene disruption, Proteinengineering, u.a.)
3. Die Reproduktionstechnologie ist, sehr allgemein formuliert, die anwendungsorientierte Wissenschaft von den Möglichkeiten, selbstablaufende Reproduktionsvorgänge der Lebewesen im Sinne von Fortpflanzung und Vermehrung gezielt einzusetzen, zu erzwingen oder auch zu verhindern.
(Methoden: Embryologie, künstliche Befruchtung (homologe, heterologe), In-vitro-Fertilisation, Embryonentransfer, Anlage von Samen- und Embryobanken, Kryokonservierung, pränatale Diagnostik, u.a.).

Mit der Biotechnologie wirkt die Gentechnologie dort zusammen, wo sie die von der Biotechnologie untersuchten Organismen und biologischen Systeme durch gezielte Eingriffe in Strukturen und Funktionen des genetischen Geschehens so zu verändern sucht, daß sie unter den Gesichtspunkten technischer Verfahren und industrieller Produktion effizienteres Arbeiten (Ausbeutesteigerung) bzw. neue Verfahren und Produkte erschließen. Die *modernen* Reproduktionstechniken (advanced reproductive engineering), die ganz erheblich der Embryologie dienen, sind bis auf die Vereinigung heterologen Genmaterials (z.B. von Schaf und Ziege) im Soma von Wirtstieren *keine* Gentechnologie im eigentlichen Sinne. Erst eine reproduktionstechnische Erzeugung von transgenen Tieren mit Transfer von homologen, heterologen oder chimären Genen und das Erzeugen von Haustieren aus transgenen Embryonen (Eizellen als Wirte rekombinanter DNA) ist Gentechnik. *«Klassische Bio-*

BIOTECHNOLOGIEN

Begriffserklärungen:

BIOTECHNOLOGIE:

Die Biotechnologie ist die integrierte Anwendung von Biochemie, Mikrobiologie, Molekulargenetik und der Verfahrenstechnik und zielt darauf ab, die biologische Syntheseleistung von Mikroorganismen, Zellkulturen höherer Pflanzen und Tiere oder von zellfreien Enzymen zur Umwandlung und Bildung von Stoffen im Rahmen technischer Verfahren und industrieller Produktion zu nutzen:

Stoffproduktion durch Zellen

GENTECHNOLOGIE:

Die Gentechnologie umfasst Analyse und gezielte Veränderung des ererbten genetischen Materials durch Hinzufügen, Wegnehmen oder Austauschen von einem oder mehreren Genen (Erbinformationen) in bakterielle, pflanzliche, tierische oder auch menschliche Zellen mit der Folge einer Weitervererbung dieser veränderten genetischen Information an Nachkommen:

Analyse und Neukonstruktion des Erbgutes

REPRODUKTIONSTECHNOLOGIEN:

= Fortpflanzungstechnologien: ein System von Methoden (u.a. pränatale Diagnostik, In-vitro-Fertilisation, Embryotransfer, Kryokonservierung), um bei Tier und Mensch gezielt in den Prozess der Fortpflanzung einzugreifen:

Steuerung von Fortpflanzung und Vererbung

Abb. 3

Begriffserklärungen zu den Biotechnologien.

technologie wird unter Einbezug gentechnischer Methoden häufig als *«Moderne Biotechnologie»* oder gar als *«Neue Biologie»* bezeichnet. Insbesondere für die Biotechnologie ist eine eindeutige Begriffsklärung notwendig. In der Öffentlichkeit wird sie entweder mit Gentechnologie gleichgesetzt oder nur unter ihren humanmedizinischen Aspekten betrachtet.

2.1.2. Was macht Biotechnologie zur Schlüsseltechnologie?

Eigentlich ist es paradox, ausgerechnet von einem uralten Technologiezweig Innovationsschübe von großem Ausmaß in Industrie und Wirtschaft zu erwarten. Biotechnologie wird zusammen mit Mikroelektronik/Informatik, neuen Stoffbearbeitungs-/Hochveredelungstechnologien und Ökotechnologien häufig als Schlüsseltechnologie oder

gar als Jahrhundertwissenschaft bezeichnet. Biotechnologie ist in doppeltem Sinne eine Schlüsseltechnologie. Einerseits im konventionellen Sinne, da biotechnologische Prozesse ein außerordentliches Effektivitätspotential und eine volkswirtschaftliche Breitenwirkung aufweisen. Sie ist in neuen Dimensionen material- und energiesparend und führt neue Wirkprinzipien in die Produktion ein. Typische schlüsseltechnologisches Merkmale sind etwa hohe Arbeitsproduktivität, hoher Veredelungsgrad und vollständige Nutzung der eingesetzten Rohstoffe, große Anwendungsbreite in der Volkswirtschaft (vgl. Tab. 7), Schrittmacher bei der Ökologisierung der Produktionsprozesse sowie Kombinationsfähigkeit mit klassischen Technologien (WOLFFGRAMM, 1989).

Andrerseits ist moderne Biotechnologie im Verbund mit Gentechnologie im tiefsten Sinne eine «Schlüssel»-Technologie, erlaubt sie doch den gezielten Zugriff auf die «Schlüssel des Lebens», nämlich die Informationen des Lebens, codiert in der Erbsubstanz DNA. «Der gesamte Gen-Pool, das Produkt von drei Milliarden Jahren Evolution, steht zu unserer Verfügung. Der Schlüssel zum Leben ist in unsere Hände gelegt. Es gibt gelegentlich Vorschläge – aus wissenschaftlichen und moralischen Gründen – den Schlüssel wegzuwerfen. Aber ein solches Ignorieren von Möglichkeiten liegt nicht in der menschlichen Natur. Das Tor zur Schatzkammer ist bereits offen, und die einzige Frage ist, welchen Nutzen wir von den Reichtümern darin ziehen werden» (WADE, 1977, zitiert in NAGL, 1987).

2.1.3. Die drei Phasen der Biotechnologie

Die Entwicklung der Biotechnologie von der Urgeschichte bis heute kann grob in drei Phasen unterteilt werden, die jeweils durch eine Leitidee charakterisiert sind.

Phase 1: «Warum Verbindungen mühsam herstellen, wenn es auch ein Bazillus kann?» (HALDANE, 1929, zitiert in FRISCHKNECHT, 1990b). Kennzeichen: von der Frühzeit der kulturellen Entwicklung der Menschheit bis heute präsent; mikrobielle Prozesse mit wenig charakterisierten Mischkulturen; hohe volumetrische und finanzielle Marktumsätze bei niedrigen Produktionskosten und Marktpreisen von ca. 1 Fr./kg Produkt; relativ einfache Produktionstechnik; typische Produkte: alkoholische Getränke, Milchprodukte wie Käse oder Joghurt.

Phase 2: «Mikroorganismen können *fast alles*, man muß es nur *finden*.» Kennzeichen: Beginn dieser Phase mit den Arbeiten von Pasteur ab etwa 1860; definierte mikrobielle Monokulturen; mittlere Produktvolumina

bei hohem verfahrenstechnischem und prozeßtechnischem Entwicklungsstand; Marktpreise der Produkte bis zu 100 Fr./kg; Typisch: Gärungsverfahren für organische Säuren und Penicillinfermentation.

Phase 3: «Die Mikroorganismen können *alles*, man muß es ihnen nur *beibringen*.» Kennzeichen: Einsatz der Gentechnik seit Beginn der 70er Jahre; Gewinnung von Naturstoffen mit Mikroorganismen und Zellkulturen; geringe Produktvolumina mit hohem Preisniveau bis zu 10⁹ Fr./kg; Produkte: meist Pharmaprodukte wie Human-Insulin, Interferon, Vakzine.

Die großen Entwicklungsphasen der Biotechnologie sind in der Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt. Tabellen 2 und 3 halten die Meilensteine der Biotechnologie und der wesentlich jüngeren Gentechnologie fest (Tabellen S. 114/115, 116/117, 118/119).

Dieser kleine geschichtliche Exkurs zeigt deutlich den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt der Biotechnologieentwicklung: je bewußter die Nutzung und je tiefer die parallel damit einhergehende Eingriffstiefe in die Funktionen der Zellen war, desto rasanter folgte die Entwicklung der Biotechnologie. Von einer angenehmen Beschäftigung ausgehend (Bierbrauen) auf der Suche nach wertvollen Produkten (Antibiotika, Enzyme) kulminieren in der modernen Biotechnologie zwei außerordentlich erfolgreiche Entwicklungen, die *Evolution des Lebens* und die *vom Menschen aufgebaute Technik*. Diese Verbindung und Nutzbarmachung ist das Substrat der neuen Schlüsseltechnologie, die völlig neuartige Produkte und Verfahren verspricht. Techniken mit hohem Entwicklungspotential und weiten Anwendungsfeldern und entsprechenden gesellschaftlichen Implikationen stellen aber nur dann einen echten Fortschritt dar, wenn die *Chancen* erkannt, die *Ziele* in öffentlichem Konsens festgelegt und festzulegende *Grenzen* nicht überschritten werden.

Die beiden folgenden Kapitel versuchen, den Grundstock an elementarem Wissen zur Biotechnologie zu umreißen, um die gesellschaftliche Bedeutung dieses modernen Bereichs der Biologie und Chemie für die Schule erahnen zu können.

2.2. Grundmerkmale der Biotechnologie

2.2.1. Die biologische Grundlage: das Leistungspotential der Zelle

Die Biotechnologie zielt darauf ab, die Zellen zur Gewinnung von *Zellmasse* und *Stoffwechselprodukten* und zur Nutzung der vielfältigen *biologischen Leistungen* einzusetzen. Das Schwergewicht lag bislang auf dem

Einsatz von Mikroorganismen, insbesondere von Bakterien. Eine Übersicht der in der Biotechnologie überhaupt eingesetzten «Zellen» ist in Tabelle 4 gegeben (Tab. 4, S. 120/121).

Was sind nun aber die herausragenden *biologischen Merkmale*, welche die Mikroorganismen, allen voran die Eubakterien, zu den *Hauptdarstellern der Biotechnologie* prädestinieren? Diese entscheidenden Eigenschaften sind in Tabelle 5 zusammengetragen (Tab. 5, S. 122–124).

Zusammenfassend: kleine Zelldimensionen, großes Oberflächen/Volumen-Verhältnis, extrovertierte Lebensweise, hohe Stoffwechsel-, Wachstums- und Produktionsleistungen, Anpassungsfähigkeit (ökonomische Substratverwertung, breites Substratspektrum) sowie Mannigfaltigkeit bezüglich der biochemischen Leistungen sind die herausragenden Merkmale der Bakterien (Abb. 4). Für die Biotechnologie besonders attraktiv ist das etwa 100- bis 1000fach höhere Leistungspotential im Vergleich zu Tieren und Pflanzen!

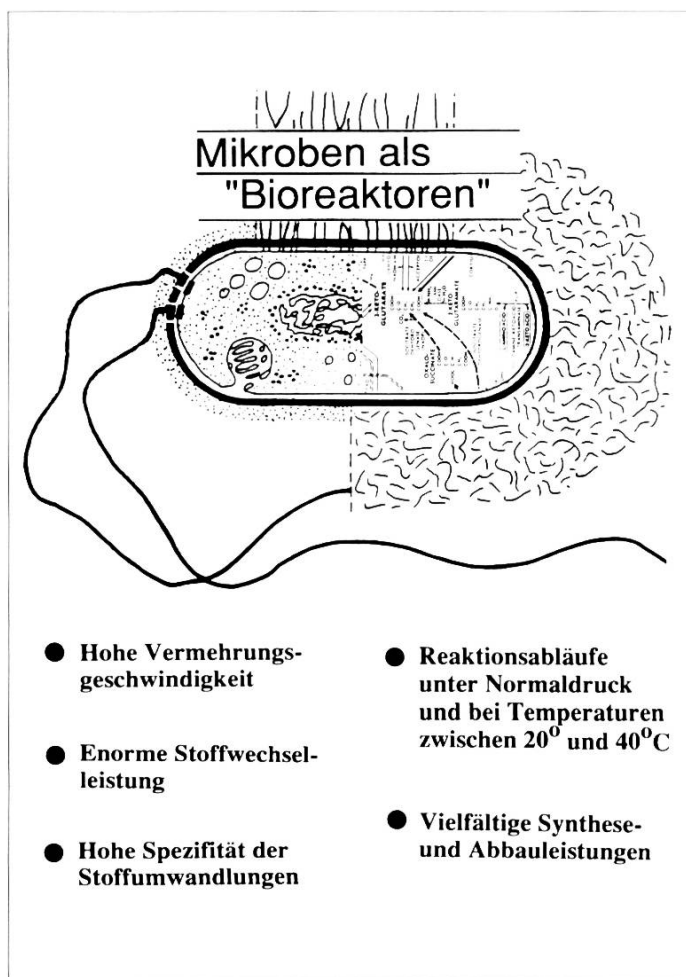


Abb. 4
Mikroben als «einzellige Synthesysteme».

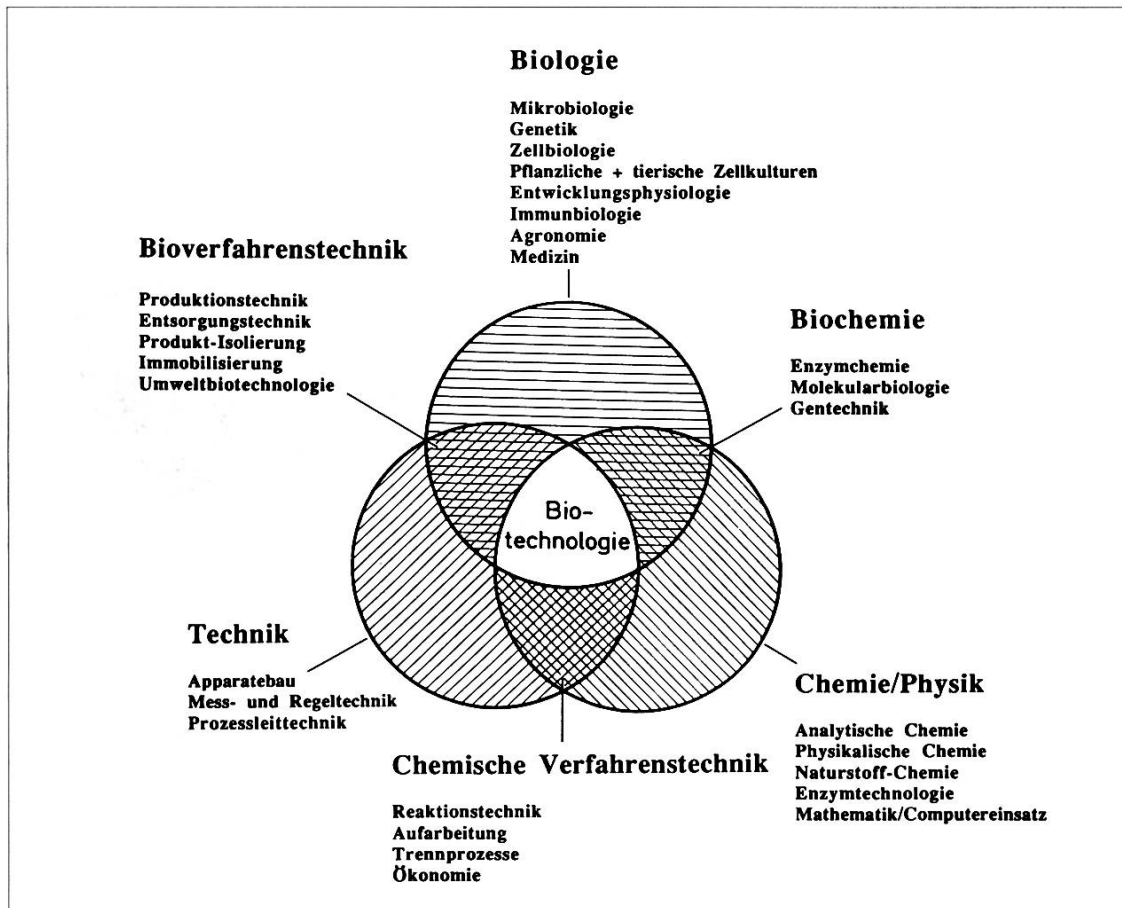


Abb. 5

Integration von naturwissenschaftlichen und technischen Kenntnissen als unabdingbare Voraussetzung für die moderne Biotechnologie (nach DIEKMANN/METZ, 1991, verändert).

2.2.2. Die technische Grundlage: Biotechnologie als multidisziplinärer Bereich

Die Biotechnologie ist einerseits eine *multidisziplinäre Wissenschaft*, andererseits aber auch ein *multifunktionaler Produktionszweig* (siehe Kapitel 2.3.1.). Der Forschungsansatz ist ebenso multidisziplinär: die Methoden zur Lösung biotechnischer Probleme werden durch Zusammenwirken der verschiedenen Teildisziplinen von Biologie, Chemie und Ingenieurwissenschaften erarbeitet (Abb. 5).

2.2.3. Die klassische Grundformel der Biotechnologie

Die Mehrzahl der biotechnologischen Vorgänge verlaufen grundsätzlich nach der in Abb. 6 dargestellten Grundformel.

Der Grundstoff: Die lebenden Systeme sind in der Regel *Mikroorganismen*. Auch höhere Zellen von Pflanzen und Tieren werden verwendet;

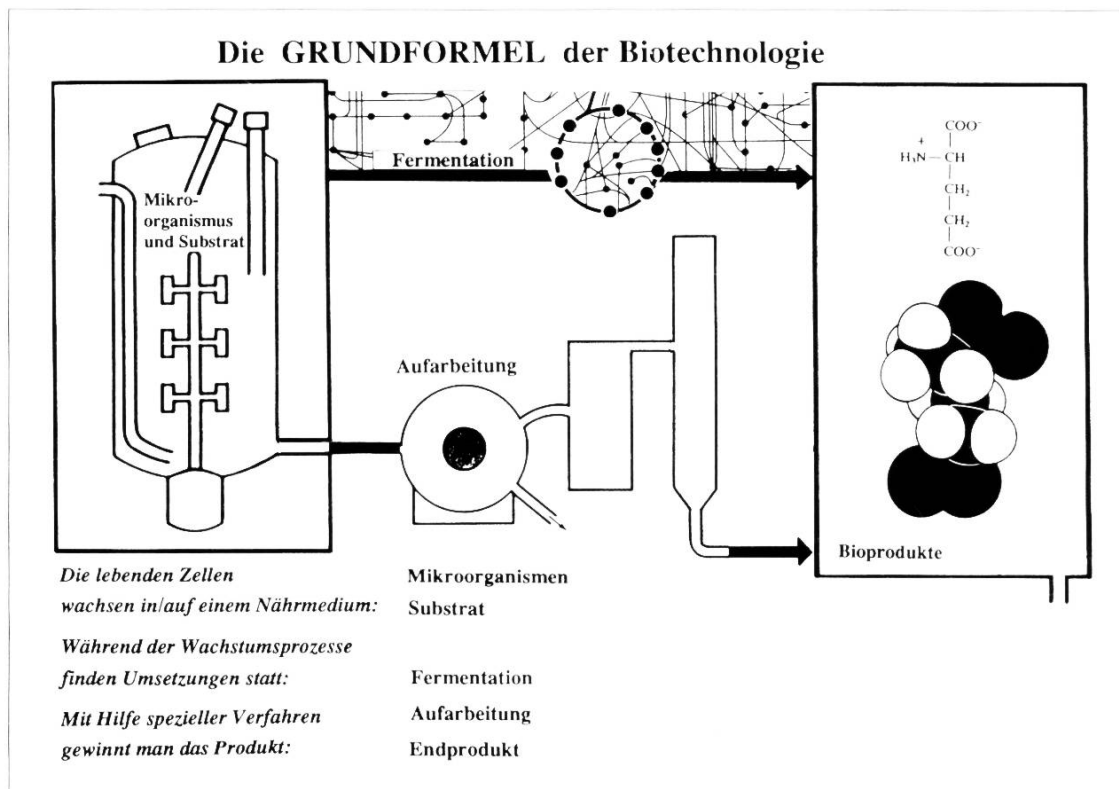


Abb. 6
Die Grundformel der Biotechnologie.

diese *Zell- und Gewebekulturtechnik* wurde in der letzten Zeit verstärkt bearbeitet, so daß in Zukunft auf diesem methodischen Gebiet neue Entwicklungen zu erwarten sind (PRÄVE et al., 1987; MARX, 1989; WEIDE et al., 1991). Neben diesen pflanzlichen und tierischen Zellkulturen spielen auch die zellfreien Systeme, die *Enzyme*, eine Rolle. Wenn diese Biokatalysatoren der Zellen für einen bestimmten Stoffwechselschritt in einem Verfahren bekannt sind, besteht die Möglichkeit, das betreffende Enzym oder Enzymsystem aus der Zelle herauszulösen und frei gelöst oder immobilisiert an einer Trägersubstanz direkt mit dem Substrat reagieren zu lassen (vgl. DELLWEG, 1987). Störende Nebenreaktionen oder schwierige Aufarbeitungsabläufe können so umgangen werden. Diese Art der Verfahrenstechnik wird beispielsweise bei der Herstellung bestimmter Steroide angewendet.

Die Fermentation: Das Medium, in dem eine Fermentation abläuft, enthält als Substrat vor allem eine Kohlenstoffquelle, die meist Zucker oder Stärke ist, aber auch ein Kohlenwasserstoff sein kann. Beispiele von Medien sind *C-haltige Reinsubstrate* (Mono-, Di-, Polysaccharide; Kohlenwasserstoffe; Alkohole; Kohlendioxid), *komplexe Substrate* (Melasse,

Zellstoffablaugen, Holzzuckerlösung, Schlempen, Cornsteep-Lösung, Pharmamedia, Molke), meistens ergänzt durch *N-Quellen* (NH_4^+ , NO_3^- , Harnstoff, Aminosäuren, Soja) sowie *anorganische Salze/Spurenelemente* (PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- ; K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Zn^{2+}). Man erkennt, daß zumindest Mikroorganismen auf fast allen bekannten Substraten leben, oft sogar massiv wachsen können. Bevorzugt werden billige landwirtschaftliche Produkte und Abfallprodukte. Aber auch ausgefallene Verbindungen, zum Beispiel in Problemabwässern, werden abgebaut oder zumindest verändert. Die Zusammensetzung des Wachstumsmediums ist aus zwei Gründen wichtig. Einmal bestimmt z.B. das C/N-Verhältnis Wachstumsgeschwindigkeit, Ausbeute und Zusammensetzung eines gewünschten Produktes. Zum anderen gehen die Komponenten des Nährmediums mit im Durchschnitt bis zu 50 % in die Herstellkosten ein.

Es gibt eine große Zahl von *Behältern* und *fermentationstechnischen Verfahren*, in denen der Wachstums- oder Umsetzungsprozeß mit den Zellen stattfinden kann (vgl. PRÄVE et al., 1987). Der begaste Rührkessel (Bioreaktor, Fermenter) ist das normale Arbeitsgerät. Die Begasung mit Luft ist bei den aeroben Prozessen nötig zum Wachstum der Zellen. Die Rührung mischt die verschiedenen Komponenten des Prozesses (Zellen, Nährmedium, Gas), damit der Austausch optimal stattfinden kann.

In der Regel wird ein Verfahren, das im Labormaßstab entwickelt wurde, über Technikumsgrößen in den Betriebsmaßstab überführt. Dieser sogenannte «Scale-up»-Prozeß wird stufenweise von z.B. der Kultur der Zellen in kleinen Schrägröhrchen in 10er-Schritten über Schüttelkulturen bis hin zu 100 bis 500 m³ fassenden Fermentationsreaktoren als normale Produktionseinheiten für Enzyme oder Antibiotika durchgeführt (CRUEGER et al., 1989).

Die Aufarbeitung: Nach der Fermentationsstufe erfolgt die Gewinnung des gewünschten Bioproduktes mittels des sog. «Down-stream-processing», d.h.: 1. der *Abtrennung* der Zellen (Flockung, Filtration, Zentrifugation), 2. dem *Aufschluß* der Zellen, teils mechanisch (Wassermahlung, Homogenisatoren, Gefrierpressung, Gasdekompression, Ultraschall, Trocknung), teils chemisch (Laugen, Säuren, Detergenzien oder enzymatisch) oder durch Einfrieren/Auftauen, Lyse durch osmotischen Schock, Plasmolyse durch Einwirkung von Lösungsmitteln, 3. der *Anreicherung* der Inhaltsstoffe (Verdampfung, Extraktion, Membranprozesse, Fällungsverfahren), 4. der *Reinigung* (Kristallisation, chromatographische Verfahren), 5. der *Modifikation* (Stabilisierung, z.B. Enzyme für Waschmittel; selektive Inaktivierung, z.B. unerwünschte Enzyme) und

6. der *Trocknung* (DELLWEG, 1987; WEIDE et al., 1991). Diese aufwendigen Schritte schlagen sich ebenfalls bis über 50% der Gesamtkosten zu Buche. *Fermentation* und *Aufarbeitung* sind die beiden Teile des eigentlichen Herstellverfahrens, in dem die Leistungen der Zellen im Nährmedium mit technischen Methoden genutzt werden. Ein typisches Beispiel eines klassischen Prozesses ist in Abb. 7 an der Alkoholgewinnung gezeigt.

Die *Vor- und Nachteile* der biotechnischen Verfahren sind in Tabelle 6 zusammenfassend dargestellt (Tab. 6, S. 125).

2.2.4. Die moderne Biotechnologie

Die moderne Biotechnologie umfaßt ein großes Arsenal der verschiedensten Methoden, u.a. Hybridoma-Technik, Zellfusion/Protoplasten-Fusion, Enzym-Immobilisierung und insbesondere eine Vielzahl molekular-genetischer Arbeitsmethoden, die als Gentechnologien zusammengefaßt werden. Dazu gehören u.a. In-vitro-Rekombination der

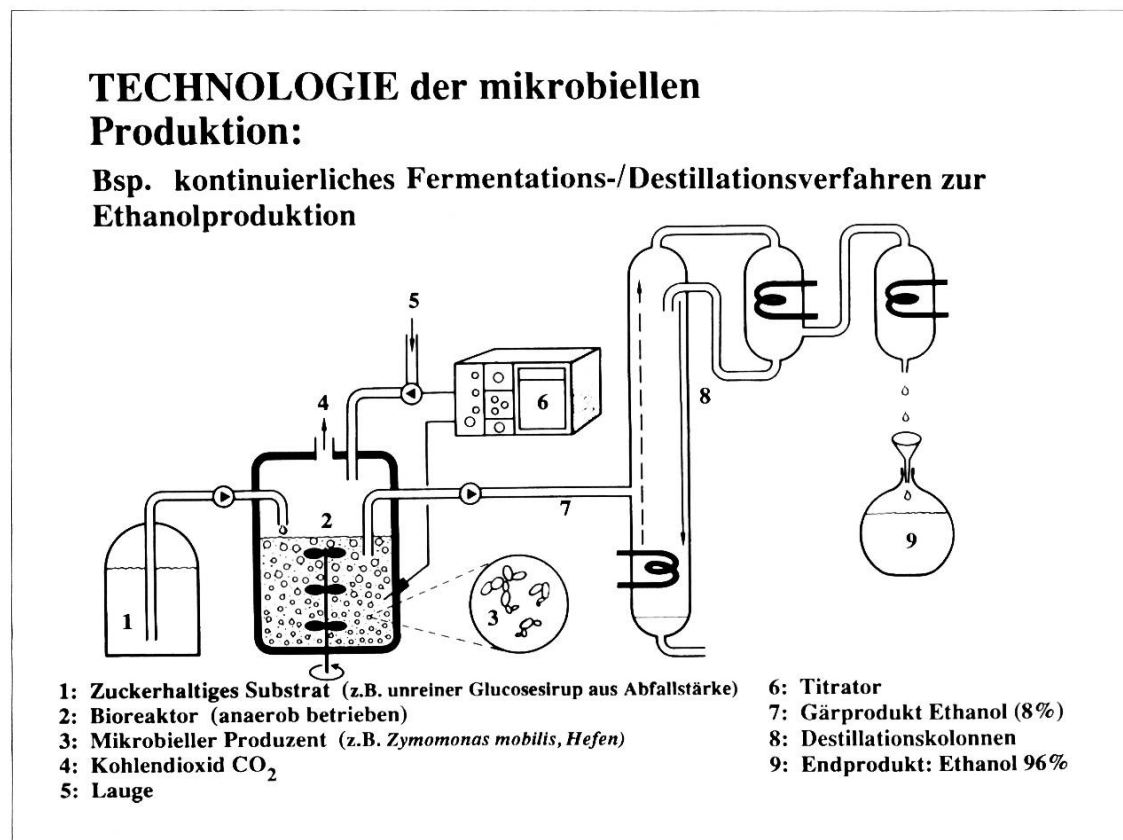


Abb. 7

Gewinnung eines klassischen biotechnologischen Produktes: Alkohol (nach GOTTSCHALK, 1986, mod.).

DNA (engl. «cloning»), Transformation, Expression, gezielte Mutagenese, Gene disruption, Sequenzierung, cDNA, PCR, DNA-Sonden (Kurzerklärungen: siehe Glossar).

Für die Auseinandersetzung mit den einzelnen Methoden muß auf die Fachliteratur verwiesen werden (IBELGAUFTS, 1990; LEWIN, 1991; SINGER & BERG, 1991; WENZEL/AMANN, 1991). Es sei hier einzig auf die *fundamentale rekombinante DNA-Methode* in Abb. 8 hingewiesen, die der Biotechnologie mit lebenden Mikroorganismen/Zellen völlig neue Wege ermöglicht. Diese schlicht auch als *Gentechnik* bezeichnete Methode ermöglicht die gezielte genetische Veränderung von lebenden Zellen, die dadurch neue Eigenschaften erhalten und zur Herstellung von anderen Naturstoffen, als sie normalerweise produzieren, verwendbar sind. Dabei kann Erbmaterial ganz verschiedener Organismen funktionsfähig verknüpft werden.

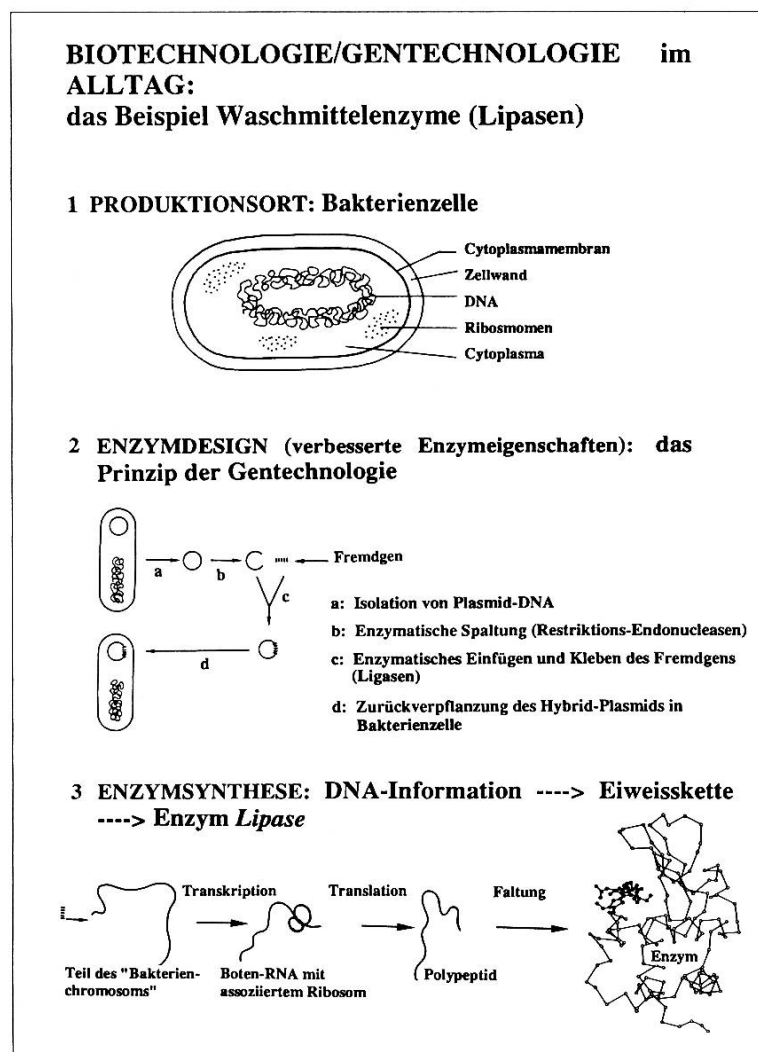


Abb. 8
Angewandtes Beispiel
der rekombinanten
DNA-Technik in der
Biotechnologie.

2.3. Chancen und Risiken der Biotechnologie

2.3.1. Was leistet die Biotechnologie?

Multifunktionell ist der Anwendungsbereich der biotechnologisch erzeugten Produkte, die in vielen Bereichen unseres Lebens bereits seit langem und in Zukunft immer mehr zu finden sind. Biotechnische Prozesse werden in den Bereichen *Gesundheit, Ernährung, Land- und Forstwirtschaft, Umwelt, Rohstoff- und Energiegewinnung sowie Technik* eingesetzt. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die wichtigsten Verfahren und Produkte biotechnischen Ursprungs (Tab. 7, S. 126–131).

Die wichtigsten Arbeitsgebiete der Zukunft werden zweifellos die Medizin und die Umweltbiotechnologie sein. Im Verbund mit molekular-/gentechnischen Methoden liegen für die Biotechnologie in den Bereichen der Virusinfektionen (Herpes, Hepatitis, AIDS), der neurologischen Erkrankungen (Multiple Sklerose, Morbus Alzheimer), der Knochen- und Gelenkerkrankungen (Rheuma, Osteoporose) sowie der vielen Krebsvarianten die größte Herausforderung. Aber auch die «Mikrobenökologie» wird zur Beseitigung spezifischer, schwer abbaubarer Stoffe wichtige Beiträge liefern (SCHLUTTIG, 1990). Neben diesen imposanten Produkte- und Verfahrensbeispielen ist auch die Wechselwirkung der molekular-/gentechnischen Arbeitsbereiche auf die Grundlagenforschung der Zellbiologie, Immunologie, Biochemie und Mikrobiologie nicht hoch genug einzuschätzen. Dieser wissenschaftliche Erkenntniszuwachs wird dann wiederum z.B. in der Medizin zu neuen Therapiekonzepten führen. So zeichnet sich beispielsweise mit dem Konzept des Protein-Engineering ein Durchbruch im Hinblick auf das Verständnis von Zusammenhängen zwischen Raumstruktur und Funktion biologischer Makromoleküle ab. Mittels der durch computerunterstützten Modellierung ermöglichten Auswahl der aussichtsreichsten Strukturvarianten, der anschließenden Gensynthese und durch Genexpression hergestellten Zielproteinen kommt man einem echten «Drug Design», einer präzisen molekularen Pharmakologie (sog. «maßgeschneiderte» Arzneimittel), entgegen.

2.3.2. Biotechnologie/Gentechnologie im gesellschaftlichen Spannungsfeld

«Die menschliche Gesellschaft kann es sich nicht leisten, auf die Möglichkeiten der Gentechnik zu verzichten, wenn sie Hunger und Krankheiten wirksam bekämpfen, wenn sie ihre Existenz sichern will. Nichts ist ohne Risiko zu haben – das ist niemals anders gewesen, seit es Leben gibt» (Manfred EIGEN, nach BAYER, 1990).

«Die Konstruktion von neuartigen Lebewesen, von Zwittern, ist ein nicht rückgängig zu machender Angriff auf die Biosphäre. Dazu haben wir – gerade angesichts künftiger Generationen – kein Recht... In beiden Fällen (Atomspaltung, Genmanipulation) habe ich das Gefühl, daß die Wissenschaft eine Schranke überschritten hat, die sie hätte scheuen sollen» (E.CHARGAFF, in FRISCHKNECHT, 1990b).

«Die Biotechnik ist wohl für viele Ehepaare geeignet, doch daß man sich schon die Kinder wie auf einem Markt aussuchen kann, ist zuviel» (KSS-Kantonsschülerin, 1988).

Die modernen Biotechnologien, zusammen mit der Reproduktionsmedizin, werden in einem äußerst polaren gesellschaftlichen Spannungsfeld diskutiert, wie das die vorangestellten Zitate deutlich belegen. Buchtitel, Schlagzeilen und Sprayereien wie «Der Wahn der unbegrenzten Machbarkeiten» (HERBIG, 1989), «Gentechnologen Menschenzüchter ihr werdet uns noch fürchten» (UNI, 1989) oder «Mensch nach Maß?» (DAELE, 1985) deuten das große Unbehagen und die öffentliche Kontroverse an. Die beiden Cartoons der Abb.9 sind ebenso treffende Charakterisierungen des modernen Zeitgeistes: Wir wollen zwar die Produkte der Industriegesellschaft, nicht aber die Prozesse mit den (unerwünschten) Nebenprodukten, die zu diesen Produkten führen!

Die rasante Technologieentwicklung der letzten 20 Jahre löste tiefe Verunsicherung und damit auch zwangsläufig verbundene Orientierungsbedürfnisse aus, wodurch sich die Notwendigkeit einer ethisch-moralischen Bewertung dieser wissenschaftlichen Methoden und deren

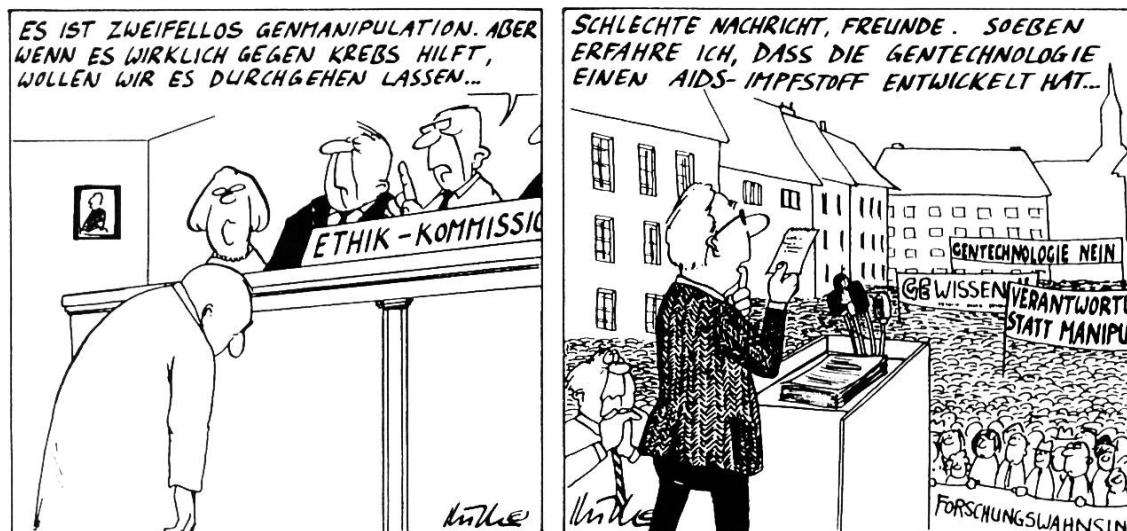


Abb. 9
Cartoons zum Spannungsfeld der modernen Biotechnologien (aus UNI, 1989).

Anwendungen ergibt. Weizsäcker hat einmal tief sinnig bemerkt, daß eine *«Kultur nicht stabil und human sein könne, deren Technologiepotential um Größenordnungen besser durchgebildet sei als das Bewußtsein des Zweckes»* (WEIZSÄCKER, 1977). Zutiefst liegt ein Konflikt zwischen dem Imperativ der Technik, der als *«Verführung durch das Machbare»* umschrieben werden kann, und der *«Wahrung der Menschenwürde»* zugrunde, oder, wie das Schreiber formuliert hat: *«Wir müssen lernen, verantwortlich zu unterscheiden zwischen dem, was sinnvollerweise technisch realisiert werden soll, und dem, worauf verzichtet werden sollte»* (SCHREIBER, 1987).

Die modernen Biotechnologien sind in der Tat ein Instrument von *kaum je gekannter Eingriffstiefe* mit einem praktisch unbegrenzten Anwendungsspektrum. Welche Argumente werden in der öffentlichen Diskussion *für* oder *gegen* die moderne Biotechnologie vorgebracht? In Tabelle 8 sind einige wichtige Argumente zusammengestellt (Tab. 8, S. 132).

Konkrete Beispiele für umstrittene Projekte aus dem Bereich Bio-/Gentechnologie und – obwohl vorderhand die menschliche Reproduktionstechnologie noch ohne gentechnischen Eingriffe auskommt – auch aus dem für den *«Laien»* besonders brisanten Bereich der Fortpflanzung sind in Tab. 9 zusammengefaßt. Die Reproduktionstechnologien sind strikte genommen ein außerhalb der Biotechnologie angesiedelter medizinisch-biologischer Bereich, der vor allem in der Nutztierzucht in den letzten 20–30 Jahren große Veränderungen bewirkt hat (GEO, 1991). Erst die Anwendung dieser *«konventionellen»* medizinischen Techniken am Menschen hat eine Kontroverse ausgelöst. Da aber einerseits in der öffentlichen Diskussion nicht unterschieden wird zwischen der Gentechnik und den neueren fortpflanzungsbiologischen Methoden – ja häufig Gentechnik sogar fälschlicherweise als z. B. In-vitro-Fertilisation (IVF) verstanden wird – und andererseits gerade die Fortpflanzungsbiologie für den Laien ein wichtiges Thema ist, sollte dieser Bereich zwar scharf abgegrenzt, aber unbedingt diskutiert werden. Zudem ist es nicht ausgeschlossen, daß die dank den Methoden der Fortpflanzungsmedizin gewonnenen menschlichen Eizellen den gentechnischen Verfahren zugänglich werden (*«Einfallstor für die Gentechnik»*; ALTNER, 1988), auch wenn Industrie und Politik vorderhand solche Eingriffe strikte ablehnen (Tab. 9, S. 133).

Wo die *Grenzen* der Eingriffe in das Erbgut von Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere und Menschen zu ziehen sind, wird noch ausdiskutiert. Bei den

Wissenschaftlern scheint sich ein Konsens abzuzeichnen, daß «die Unantastbarkeit des Erbgutes des Menschen in der Keimbahn ein Fundament der molekularbiologischen Arbeiten ist und sein wird» (KLEIN, 1991; GEN SUISSE, 1991). RINGELING (1989) trifft den Punkt, wenn er feststellt: «Wachsamkeit und Empfindlichkeit für die Versuchungen der Gentechnologie sind geboten, um zu verhindern, daß aus einer berechtigten *«Verminderung von Leiden»* eine frevelhafte *«Verbesserung des Lebens»* nach eigentlichen Züchtungsutopien für den Menschen wird. Solche Utopien sind tendenziell totalitär. «Wir werden die «Bild»-Macher sein, und nach welchen Vorbildern und auf Grund welchen Wissens?» fragt Hans Jonas.

Ethik ist allerdings *kulturbedingt* und enthält darum sehr viel *Willkür*. Was wir beschließen, nicht zu tun, wird sicher jemand anders in die Hand nehmen, wenn es darum geht, menschliche Not zu lindern, Macht zu erringen, wirtschaftlichen Profit herauszuschlagen – trotz allen Nachteilen für Mensch und Umwelt.

3. Biotechnologie und Erziehung

3.1. Einleitung

«Unsere so völlig enttabuisierte Welt muß angesichts ihrer neuen Macharten freiwillig neue Tabus aufrichten. Wir müssen wissen, daß wir uns weit vorgewagt haben, und wieder wissen lernen, daß es ein Zuviel gibt» (Hans JONAS, in FURTMAYR-SCHUH, 1986).

Wissen ist Macht und gleichzeitig Verantwortung. Der Naturwissenschaftler kann sich heute nicht mehr nur mit seinem engsten Fachgebiet beschäftigen oder sich nur auf eine wissenschaftliche Abschätzung von Chancen und Risiken zurückziehen; er muß auch die Auswirkungen auf die Gesellschaft und Umwelt bedenken. Allerdings vermag er nicht alleine die Neben- und Langzeitwirkungen seiner Forschung abzusehen. Er kann deshalb nur Entscheidungsmöglichkeiten und Konsequenzen aufzeigen, die der Fachfremde ohne die Hilfe des Wissenschafters nicht sehen würde. Damit aber der Wissenschaftler in einen echten Dialog mit der Öffentlichkeit treten kann, sind zwingend Kenntnisse und eine *umfassende Information* in breiten Bevölkerungsschichten notwendig (FLEMING, 1989). Die Gentechnologie und damit die moderne Biologie geht alle an. Viel stärker noch als bei der Computertechnik sind jedoch Laien hier nicht mehr in der Lage, ohne eigene Anstrengungen die Zusammen-

hänge zu verstehen. Nicht nur weniger gebildete Bevölkerungskreise, sondern auch Menschen an Entscheidungsstellen in Politik, Wirtschaft und Erziehung verfügen nur über äußerst mangelhafte Kenntnisse der biologischen Zusammenhänge. Diese Unkenntnis läßt Angst vor den neuen Techniken aufkommen. Angst aber macht den Menschen zum Spielball von Ideologen.

Von allen Zweigen der Naturwissenschaften verzeichnet die Biologie in den letzten Jahren den größten Wissenszuwachs. Weltweit, vor allem in den USA und in Japan, entwickeln sich biologische Verfahren zur Technik der Zukunft. Mikroorganismen werden immer mehr als einzellige «sanfte Chemiker» zur Produktion vieler Substanzen eingesetzt. Es ist unbestreitbar, daß fast alle globalen Probleme, mit denen die Menschheit zu Beginn des dritten Jahrtausends zu kämpfen hat, vor allem mit biologischem Wissen als Grundlage, überwindbar sind: Rohstoff- und Energieverknappung, Unterernährung, Krankheit und Umweltschutz (KING/SCHNEIDER, 1991). Die gewaltige Quantität – und auch Qualität – des neuen biologischen Wissens sickert nur langsam in das Bewußtsein der Öffentlichkeit und in die Praxis. Das liegt nicht nur an wirtschaftlichen und organisatorischen Vorbehalten. *Es fehlt in nicht-biologischen Berufen vor allem an biologischem Wissen und an der Fähigkeit, in biologischen Systemen zu denken!*

Wenn der Unterricht an unseren Schulen den/die SchülerIn gesellschaftsfähig machen will, dann muß Nutzung, Manipulation von Lebewesen und deren weitreichenden Konsequenzen in Industrie, Medizin und Forschung auch Unterrichtsthema der Ausbildungsstufen sein, die künftige Entscheidungsträger ausbildet. Die kaum abschätzbaren Möglichkeiten zum Gedeih wie Verderb sollen weder zu einer Position der übermäßigen Faszination («Der achte Tag der Schöpfung») noch zu einer einseitigen Verdammung («Wehret-den-Anfängen-Mentalität») führen. Durch sorgfältige Information über klassische wie moderne Biotechnologie, Gentechnologie und – psychologisch folgerichtig, wenn auch sachlich-logisch nicht zwingend – Reproduktionstechnologien muß eine Grundlage geschaffen werden, auf welcher der Schüler die Entwicklungen auf diesen Gebieten aktiv und kritisch-würdigend mitverfolgen und werten kann.

3.2. Pädagogische Grundfragen zur Biotechnologie

3.2.1. Grundsatzüberlegungen

Die Fortschritte in Mikrobiologie, Molekularbiologie, Verfahrenstechnik und Informatik haben den entscheidenden Anstoß gegeben, daß die Biologie zu einer Wissenschaft der industriellen Praxis wurde. Lange nach der visuellen Entdeckung der Bakterien (1676, Leeuwenhoek) und verhältnismäßig kurze Zeit nach der Aufklärung der Struktur der Erbsubstanz (1953, Watson/Crick/Wilkins) nimmt die Biologie einen ähnlichen Weg wie die Chemie im letzten Jahrhundert, nachdem es dieser gelungen war, Farbstoffe künstlich herzustellen. Dabei werden in der Forschung und in der Anwendung so schnelle Fortschritte gemacht, daß es für viele Lehrer schwierig ist, den Überblick zu bewahren und die Entwicklung in den Unterricht zu integrieren. In dieser Situation stellt sich vor allem dem Biologielehrer, teilweise auch dem Chemielehrer, die Aufgabe, *Orientierungshilfen* zu geben, um die Schüler zu einem sachgemäßen und sicheren Urteil zu befähigen. Angesichts der heftigen Auseinandersetzungen um die Biotechnologien ist dies keine leichte Erziehungsaufgabe. Es ist aber andererseits pädagogisch reizvoll, die junge Generation an der Faszination und Entwicklung der modernen Biologie teilhaben zu lassen und mit ihr über das Pro und Contra der neuen Verfahren zu reflektieren. Und schließlich interessieren sich auch viele SchülerInnen in besonderem Maße für die praktischen Anwendungen der Biologie und Chemie.

Welche *Überlegungen* muß also der Lehrer anstellen, der sich vornimmt, Themen der Biotechnologie und Fortpflanzungsmedizin in Lehrpläne, Unterricht und Labor der Sekundarstufe II (Mittelschule, Gymnasium) einzubringen? Er muß sich wohl zuallererst überlegen, in welcher Weise er auf die Schüler erzieherisch einwirken will. Von den Zielen, die er sich setzt, hängt nicht zuletzt die Eigenart der Kenntnisse ab, die erworben werden. Es stellt sich speziell die Frage, ob sich Schüler auch mit ethischen oder ökonomischen Bezügen befassen sollen. Von der Beantwortung dieser Fragen hängt die Art des Erziehungseinflusses ab, insbesondere das Bild vom Menschen und die Vorstellung von der Natur, die im Unterricht vermittelt werden, sowie das Ausmaß der Urteilsfähigkeit, das die Schüler erwerben.

Weitere pädagogische Überlegungen, die mit den eben genannten eng zusammenhängen, betreffen die Auswahl konkreter biotechnischer Themen (Lerninhalte), die Unterrichtsmethoden und der Medieneinsatz.

Bezüglich der Inhalte ist z.B. zu entscheiden, ob biotechnische Inhalte im Rahmen allgemeinbiologischer/chemischer Themen, in besonderen Unterrichtseinheiten oder in Wahlfachkursen behandelt werden sollen. Im Hinblick auf Methoden stellt sich speziell die Frage, in welcher Schulstufe die Schüler gefahrlos mit welchen Arten von Mikroorganismen bzw. mikrobiologischen Methoden umgehen können.

Es ergeben sich zusammenfassend somit die folgenden *pädagogischen Grundfragen*:

1. Welche biotechnischen Themen kommen für die Schule überhaupt in Frage?
2. Welche Möglichkeiten hat die Schule zur direkten Konfrontation mit Biotechnologie? (Laborübungen, Exkursionen zu Industrie und Hochschule)
3. Wie mache ich Schüler urteilsfähig?
 - Wie muß man den Stoff aufbereiten, um diesem Ziel näher zu kommen?
 - Wie gehe ich im Unterricht mit ethischen Fragen um?

Auf eine ausführliche Beantwortung mit konkreten Beispielen kann in dieser Arbeit nicht eingegangen werden. Zur vertieften Auseinandersetzung sei jedoch auf die Schul- und pädagogische Literatur verwiesen (BAYRHUBER, 1987; FRISCHKNECHT, 1990b; HENDERSON/KNUTTON, 1990).

3.2.2. Schnittstellen der klassischen Unterrichtsinhalte mit Biotechnologie

Biotechnologische Themen können leicht in die klassischen Unterrichtsinhalte eingebaut werden (‘Infiltrationsdidaktik’). Abb. 10 zeigt dies am Beispiel der natürlichen Leistungen von Organismen. Die Nutzung gentechnisch veränderter Organismen im Rahmen der Genetik ist Gegenstand der Abb. 11. Natürliche Leistungen von Lebewesen sind normale Themen allgemeinbiologischer Kurse. Deshalb läßt sich auch ihre Nutzung zwanglos im Unterricht behandeln. Die Nutzung gentechnisch veränderter Lebewesen wird, da die Grundlagen der Genetik zum Verständnis der Gentechnologien Voraussetzung sind, im Normalfall auf den Genetikkurs beschränkt sein.

Aber auch unter dem Schlagwort ‘Sanfte Chemie’ lassen sich ausgewählte Aspekte der Bio-/Gentechnologie im Chemieunterricht einbauen (siehe FRISCHKNECHT, 1990b).

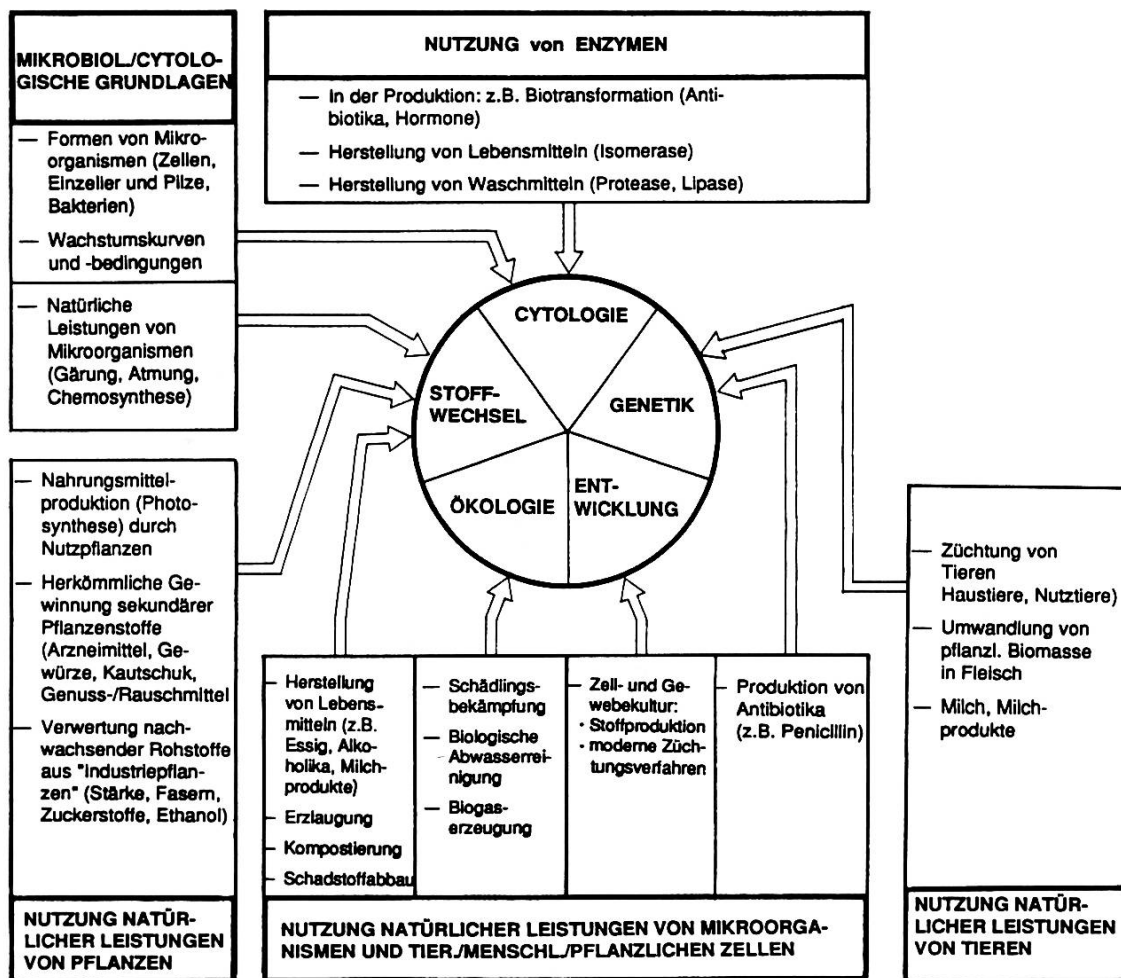


Abb. 10

Natürliche Leistungen von Organismen und Zellen/Zellbestandteilen als Themen des naturwissenschaftlichen Unterrichtes an Kantonsschulen (nach BAYRHUBER, 1987, verändert).

Ein *Mindestvorschlag*, der mit der Methode der Infiltrationsdidaktik im Normalunterricht realisiert werden sollte, ist in Tabelle 10 enthalten (Tab. 10, S. 134–136).

Die Anreicherung des Inhalts der konventionellen Lehrinhalte mit fachlich-konkreten Einzelerkenntnissen zur Biotechnologie (Tab. 10: biotechnologische Anwendungen, z.B. Zell- und Gewebekulturen, Immuntechnik, Gentechnik) wird mit Allgemeinerkenntnissen über die Bedeutung dieser Schlüsseltechnologie für eine «sanftere» Industrie und der sich ergebenden sozialen und humanen Wirkungen verbunden (z.B. Gentechnik → Nutzung des von Bakterien erzeugten Human-Insulins für die Behandlung von Diabetikern).

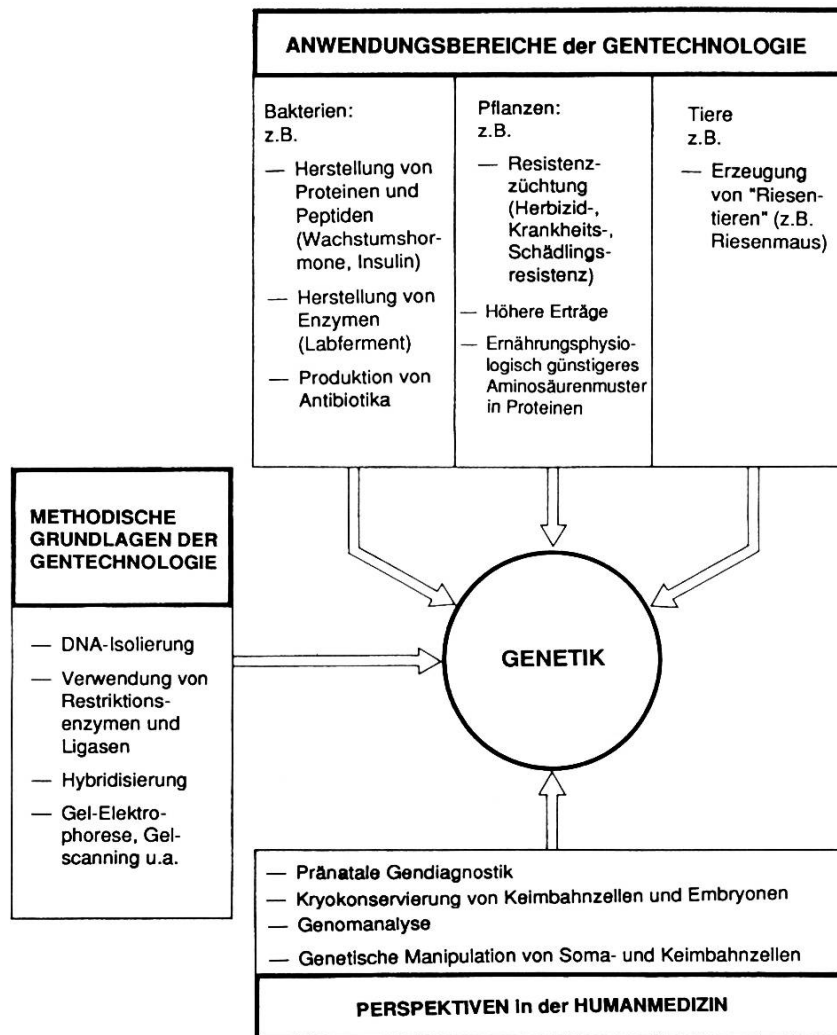


Abb. II

Nutzung gentechnisch veränderter Lebewesen als Thema verschiedener Fachbereiche (Biologie, Chemie, Teilaspekte auch in Philosophie und/oder Religion; nach BAYRHUBER, 1987, verändert).

3.3. Biotechnologie und Bildungsauftrag

3.3.1. Aufgaben des Biotechnologieunterrichtes

Biotechnologie ist ein geeignetes Unterrichtsthema, um den in der Einleitung (Kap. 1.3) angeführten Unzulänglichkeiten des naturwissenschaftlichen Unterrichtes entgegenzuwirken, die vielzitierten Bildungs- und Curriculum determinanten der Schülerrelevanz, Gesellschaftsrelevanz und Wissenschaftsrelevanz zu berücksichtigen sowie die Bildungsanforderungen der Fachdidaktiker, Pädagogen und Psychologen zu erfüllen. Eine Synopsis der Aufgaben des Biotechnologieunterrichtes wird mit der Tabelle II vorgelegt (Tab. II, S. 138–140).

3.3.2. Unterrichtsziele

Als Hauptzielvorgabe muß ein *naturwissenschaftlich kompetenter, entscheidungsfähiger und ethisch reflektierender Schüler*, mit lebensnahe Orientierungs- und Handlungswissen für das anbrechende neue Jahrhundert ausgestattet, anvisiert werden. Als differenzierte Unterrichtsziele sind anzugeben:

1. *Kenntnisse* über die praktische Bedeutung der Biotechnologie
 - Grundlagenwissen (z.B. Mikroorganismen als ‹Bioreaktoren›, Grundlagen der Gentechnologie, biotechnische Produkte)
 - Verknüpfung des Grundlagenwissens in Biologie/Chemie/Physik u.a. mit angewandten Aspekten
 - Konsequenzen (z.B. aus neuen Diagnose- und Therapieverfahren der Medizin, neue Nutzpflanzen)
2. Orientierungshilfen für die durch Biotechnologie mitgestaltete Zukunft
 - Einfluß auf das eigene Leben (angesichts neuer Diagnose-, Therapie- und Fortpflanzungsverfahren)
 - Konfliktpotential der Biotechnologien innerhalb der Gesellschaft
 - Hilfen zur Bewältigung der Zukunft durch Nicht-Naturwissenschaftler
3. Vermittlung von *Wertmaßstäben*
 - Betroffenheit vermitteln (z.B. zum Thema der Hochleistungszucht, genetischer Eingriffsmöglichkeiten)
 - Gleichgültigkeit überwinden (z.B. bei Eingriffen in die Fortpflanzung)
 - Bewertung von Methoden und Folgen der Biotechnologien
 - Hybris der Machbarkeit hinterfragen (‹nicht alles, was machbar ist, ist auch wünschbar›)
 - Ethische Grundrichtungen kennenlernen (z.B. Verantwortungsethik, naturalistische Ethik, Widerstandsethik, vgl. AMELUNG, 1991; BADE, 1989, 1990; BAYRHUBER, 1990; PRAETORIUS, 1991).
4. Bildung der eigenen *Urteilsfähigkeit*
 - Evaluation gegensätzlicher Positionen: Technikkritik versus Technikgläubigkeit
 - Methoden und Ansätze zur Entscheidungsfindung kennen
 - kritikfähige, mündige Schüler
5. Fähigkeit zur *Umsetzung* und zum *praktischen Handeln* im Alltag
 - mit den Händen lernen (z.B. durch Herstellung eines biotechnischen Produktes; vgl. FRISCHKNECHT, 1990)

- als Langzeitziel nach Schulabschluß: Sicherheit, Selbstbestimmung, emotionale Stabilität und Tatkraft im Alltag trotz zunehmend komplexer naturwissenschaftlicher Probleme mit bio-/gentechnologischem Hintergrund, kurz: *emanzipierte* und *agierende* Menschen

PROBST (1986) hat das Unterrichtsziel der Biotechnologie sinngemäß wie folgt formuliert: «Schüler sind zum Experten mit breiter Gesamtschau und ethischen Hinterfragungen, nicht aber zum Spezialisten nur mit Interesse für Details und ohne Zuständigkeit für Zusammenhänge auszubilden». Wie üblich ist der Anspruch der Unterrichtsziele hochgesteckt und wird sich im Unterrichtsalltag nur teilweise befriedigend verwirklichen lassen. Aber als Filter zur Auswahl der Unterrichtsinhalte und zur Unterrichtsgestaltung können sie von Nutzen sein.

3.3.3. Von der Genetik zur Gen-Ethik

Geht es in der Bio- und Gentechnologie um die Erforschung und Nutzung der Natur, so erfragt die Ethik nach *Menschenwürde* (das Menschsein des Menschen) und *Bewahrung der Natur*. «Ethik ist die Suche nach den Bedingungen eines gelingenden, beglückenden und sinnhaften Lebens des Menschen in seiner sozialen und natürlichen Umwelt. Sie reflektiert das Verhalten des Menschen im Hinblick auf seine Bestimmung und auf sein Streben nach Verfügung über materielle und geistige Güter. Menschen müssen sich bewußt bleiben, daß dieses Streben die Tendenz hat, immer wieder über das Ziel hinauszuschießen, Unvernünftiges zu begehren und damit zu Schädigungen, Gegensätzen und Gefahren zu führen. Deshalb sollte der Mensch seinem Streben, entsprechend den Forderungen seiner ethischen Vernunft, einen qualitativen Maßstab anlegen. Diese Forderung ethischen Verhaltens gilt für den Menschen auch im Zusammenhang mit seiner Neugier, seinem Forscherdrang und der Verwendung der dabei gewonnenen Erkenntnisse und Möglichkeiten im allgemeinen und im Zusammenhang mit der Gentechnologie im besonderen» (GKW, 1989).

Die für die Ethik wesentlichen Fragen sind seit jeher: «Worin besteht das Gute?», «Was macht das gute Leben aus?», «Was ist lebensförderlich und für die Natur und den Menschen gut?» oder «Wie sieht eine menschen- und umweltgerechte Ordnung der Gesellschaft aus?». Diese Fragen sind heute auch an die modernen Biotechnologien zu stellen. Schlagworte wie «Chancen und Risiken», «Herrschaft oder Beherrschbarkeit», «Mensch und Natur nach Maß» oder «Patenterte Schöpfung»,

die in bezug auf die Gentechnologie gebraucht werden, deuten auf Ängste, Bedenken oder gar Ablehnung dieser neuen Technologien hin. Für die einen bedeutet sie eine Möglichkeit für die Mehrung der Wohlfahrt des Menschen, für die anderen stellt sie eine potentielle Minderung dieser Lebensqualität dar.

In dieser Situation stellen sich *drei für die Ethik grundlegende Fragen*:

- Wozu ist Biotechnologie/Gentechnologie gut? (Frage nach Gebrauch und Mißbrauch)
- Wieweit lassen sich die modernen Biotechnologien gesamtgesellschaftlich verantworten?
- Was sollen wir konkret tun, angesichts der bereits weltweit betriebenen Gentechnologie als Forschung und Wissenschaft mit entsprechender industrieller Anwendung und angesichts der sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Zukunftsmöglichkeiten (GKW, 1989)?

Ethik kann und wird nie eine ‹Fachdisziplin› sein, die uns endgültige Maßstäbe und Verhaltensregeln ‹erforschen› könnte. Aber sie hilft, unsere Verantwortung und unsere Grenzen zu erkennen und zu akzeptieren. Was soll der Fachlehrer in seinem Fachunterricht von der Ethik nun einfließen lassen?

Der Schulunterricht hat die Aufgabe, Grundlagen und Auswirkungen der Biotechnologien zu behandeln. Nur wenn fundierte Wissenskomponenten ergänzt werden durch ethische Hinterfragungen, befähigen wir den jungen Menschen, die Leistungen und Auswirkungen der Biotechnologien zu durchdringen, auf dieser Basis eigene Urteile zu fällen und verantwortlich zu handeln. Bei der Bildung des ‹neuen Bewußtseins›, als *Gen-Ethik* oder *Bio-Ethik* umschrieben, hat der naturwissenschaftliche Unterricht eine ganz wichtige Rolle zu spielen. ‹Bildung sollte einen Menschen in die Lage versetzen, *verantwortlich* zu handeln. Verantwortlich handeln bedeutet, daß wir bereit und in der Lage sind, unser Wollen explizit zu begründen und durch *Zurückführen auf Wissen* zu rechtfertigen. Der verantwortlich handelnde Mensch benötigt Wissen in zweierlei Form: *Verfügungswissen und Orientierungswissen.*› (MOHR, nach KLEIN, 1989). Während wir es im Bereich des Verfügungswissens bereits zu ansehnlichen Leistungen in der Schule gebracht haben, läßt sich bei kritischer Durchsicht der Fach- und Schulbücher leicht feststellen, daß kaum je kritische Hinterfragungen des eigenen Fachgebietes oder gar ethische Anregungen zu finden sind: ein offensichtliches Manko also. Es kann und darf nicht die Aufgabe des Lehrers sein, abschließende Urteile über ethische Grundfragen dem Schüler zu vermitteln. Der Lehrer muß zwar eine

eigene, gefestigte und begründbare Ansicht erarbeitet haben, um sie auch – nach Anfrage durch die Schüler – als persönliche Meinung vertreten zu können. Seine Aufgabe ist es aber, dem Schüler an exemplarischen Beispielen nicht nur Vor- und Nachteile bio- und gentechnologischer Verfahren, Erkenntnisse und Produkte vorzustellen oder die Argumente der verschiedenen Seiten darzulegen, sondern vielmehr *Kriterien zur Beurteilung kontroverser Bereiche* in die Hand zu geben. BAYRHUBER (1990) hat das klar und bündig festgehalten: Der Lehrer sollte «den Schülern helfen, die verschiedenen Möglichkeiten der ethischen Letztbegründung zu systematisieren. Neben fundiertem Sachwissen gehört auch die Kenntnis ethischer Beurteilungskriterien zu den Voraussetzungen für begründete Entscheidungen und verantwortliches Handeln.» Themen, an denen exemplarisch ethische Konflikte erarbeitet werden können, sind in der Tabelle 9 enthalten.

Es gibt in ethischen Belangen kein «schulbewährtes» Verfahren. Dazu ist einerseits die allgemeine und die pädagogische Diskussion noch zu jung; andererseits widersprechen «Verfahrensregeln» und «Unterrichtsrezepte» der Wesensart der Ethik. Erfahrungsgemäß sind auch die «Ethiker vom Fach» wie Theologen und Sozialwissenschaftler überfordert, wenn sie auf Anfrage hin im Unterricht oder in Studienwochen «Bio-Ethik übernehmen» sollen. Aus diesen Gründen soll auch hier kein erprobtes Patentrezept vorgeschlagen werden. Um dennoch die notwendige Diskussion in der Schule über die Biotechnologien anzuregen, sollen einige hilfreiche Veröffentlichungen besonders erwähnt werden (ethische Grundthesen: BAYRHUBER, 1989; BIRNBACHER/ WOLF, 1988; GFK, 1989; GEBHARD/JOHANNSEN, 1990; HEDEWIG/STICHANN, 1988; HÜBNER, 1986; IRRGANG, 1990; PRAETORIUS, 1986, 1991); Vermittlung von Urteilsfähigkeit: BAYRHUBER, 1987, 1990; DULITZ/KATTMANN, 1990; EFS, 1989; GEBHARD/JOHANNSEN, 1990; KLEIN, 1987; MILANI, 1987; SCHOLLES, 1989, 1990). Als Einstieg zur Diskussion sind in Abb. 12 einige Thesen zur Diskussion zusammengestellt.

3.4. Biotechnologie und Innovationen im Unterricht

Die zukünftige Schule habe die Trennung von Schul- und Lebenswelt durch einen *lebensnäheren* Unterricht tendenziell aufzuheben, die starre Fächerabgrenzung zu überwinden, Inhalte vermehrt exemplarisch auszuwählen, die Zusammenhänge zu betonen und das ganzheitliche Erfassen von Fakten zu fördern. So oder ähnlich sind die Schlußfolgerungen in

Thesen zur Bioethik:

Grundlagen zur Diskussion

1. Der Mensch darf nicht alles tun, was er kann. Wichtig ist deshalb der Vorrang der ethischen Vernunft vor der bloss technischen. Auch die Gentechnologie als Methode kann die Grenzen ihres Tuns nicht selbst bestimmen.

2. Es geht nicht um die Alternative "Bejahung oder Verneinung der Gentechnologie", sondern um Auswahl der ethisch verantwortbaren Forschungsaktivitäten und Anwendungen. Entsprechende Gesamtzusammenhänge müssen mitbedacht werden.

3. Soweit es immer wieder ungelöste Probleme technischer oder ethischer Natur im Bereich der Gentechnologie gibt, bedarf die angewandte Forschung und technische Anwendung in den entsprechenden Gebieten Schritt für Schritt der kritischen Überprüfung.

4. Die Nutzbarmachung des Lebendigen zum Wohle des Menschen soll sich an verbindlichen ethischen Massstäben orientieren, von denen aus beurteilt werden kann, ob die entsprechenden Anwendungen der Gentechnologie positiv oder negativ zu bewerten sind.

5. Bei ethischen Zielkonflikten sind die folgenden Regeln zu beachten:

- Vorrang der Sicherheit vor der Wirtschaftlichkeit
- Vorrang des Allgemeinwohls vor der Verwirklichung von Einzelinteressen
- Gerechtigkeit als räumlich und zeitlich universale Verantwortung
- Inkaufnahme eines Risikos, das zur Erreichung eines an sich guten Zieles unabdingbar ist, wenn der Nutzen das potentielle Risiko bei weitem übertrifft (Gesundheit, AIDS-Therapie)

6. Wird die Gentechnologie mit ihren weitreichenden Konsequenzen für unser Leben als eine mögliche sinnvolle Technologie betrachtet, dann ist es unumgänglich, dass in die entsprechenden Entscheidungsprozesse die ethische Dimension einbegracht wird. Dazu gehört:

- den Stand der Technik und ihre Entwicklungsmöglichkeit zu prüfen
- unmittelbar und mittelbar technische, wirtschaftliche, gesundheitliche, soziale Folgen dieser Technik und möglicher Alternativen abzuschätzen
- aufgrund begründeter Ziele und Werte diese Folgen zu beurteilen und weitere wünschenswerte Entwicklungen zu fördern

Abb. 12

Thesen zur Bio-Ethik (nach GKW, 1989).

Berichten zur Schule von morgen. Biotechnologie erfordert phasenweise geradezu einen *fächerübergreifenden, integrierten* Naturwissenschaftsunterricht (vgl. Abb. 5). Ein solcher Unterricht zeichnet sich dadurch aus, daß er Informationen *aus* naturwissenschaftlichen Disziplinen (z.B. Biologie, Ökologie, Chemie, Physik, Technik) und Informationen *über die Auswirkungen* der angewandten Naturwissenschaften einbaut (z.B. ethische, ökonomische, politische und soziale Dimensionen). Brennende gesellschaftsrelevante Themen können letztlich nur mit einem fächerübergreifenden Unterricht adäquat behandelt werden. Es ist aber unmißverständlich festzuhalten, daß *fachspezifisches Lernen weiterhin die Grundlage für fächerübergreifendes Lernen* darstellt, daß es aber alleine nicht mehr ausreicht, um Probleme unserer Zeit ganzheitlich zu erfassen. «Fächerübergreifendes Lernen ersetzt aber fachspezifisches Wissen und Können nicht. Dieses ist Voraussetzung für ganzheitliches Lernen, denn wer nichts weiß, kann nicht ganzheitlich denken.» (DUBS, 1989). Die Unterrichtsformen und -methoden eines «vernetzten» Unterrichtes sind vielfältig und abwechslungsreich; produkt- wie prozeßorientiertes Lernen kommen zum Zuge; die Welt des Stoffs wie auch die Welt des Lernenden werden berücksichtigt. Trotz gewisser inhaltlicher wie organisatorischer Schwierigkeiten ließe sich in den letzten Semestern der Mittelschule fächerübergreifende Ansätze gewinnbringend realisieren. Ein Weg der kleinen Schritte, z.B. über Koordination zwischen Fachbereichen, Konzentrationstage, Studienwochen, Team-Teaching oder zeitlich begrenzte Kooperation zwischen zwei oder mehreren Fächern gäbe Lehrern wie Schülern Gelegenheit, das Erlebnis des fächerübergreifenden Unterrichtes zu kosten. Voraussetzung dazu ist allerdings, daß Schulleitung wie Erziehungsbehörden solche «neuen» Unterrichtsformen auch unterstützen. Eine Fülle konkreter Anregungen zur Biotechnologie ist in FRISCH-KNECHT (1990a, 1990b) zu finden.

4. Ein kritischer Ausblick

4.1. Bereich Biotechnologie

Biotechnologie und Gentechnologie – Fluch oder Segen? Weltweit, besonders aber in deutschsprachigen Ländern, werden mit zunehmender Heftigkeit Debatten über die modernen Biotechnologien geführt. In diesen Diskussionen verknüpfen sich die beeindruckenden Aufrechnungen

der Ergebnisse, welche die Gentechnik und andere Biotechnologien schon heute sowohl hinsichtlich des biowissenschaftlichen Erkenntnisfortschritts als auch grundlegender Verbesserungen in medizinischen Anwendungsgebieten sowie der Steigerung der Produktivität im landwirtschaftlichen Bereich vorzulegen vermögen, mit Fragen nach möglichen negativen Auswirkungen der Gentechnik auf den Naturhaushalt, auf ökologische Systeme und nicht zuletzt auch direkt auf den Menschen. Die Gentechnik ist aber bereits eine Realität. Japan hat 1990 mit biotechnologischen Produkten erstmals mehr eingenommen, als es für Forschung und Entwicklung auf diesem Sektor ausgegeben hat. 1991 sind alleine in den USA bereits 132 gentechnisch hergestellte Arzneien in der klinischen Prüfung und 14 gentechnische Präparate für den Verkauf zugelassen. Die «Für und Wider»-Kontroverse wird diese Entwicklung nicht mehr bremsen können. Wir haben es bei der Anwendungspalette der modernen Biotechnologien immanent mit einzelwissenschaftlichen, weltanschaulichen, juristischen und ethischen Fragen zu tun, die sorgfältig geprüft werden müssen.

Entscheidend ist, daß dies nicht die Angelegenheit der Forschung und Wirtschaft alleine ist, sondern Interdisziplinarität und eine informierte und mitdiskutierende Öffentlichkeit erfordert. Informiert sein heißt aber auch

- *für Biotechnologie/Gentechnologie-Gegner*: sich mit etwelcher Anstrengung um ein sachlich fundiertes Wissen bemühen, auf Schwarzweißmalerei (geklonte Menschen, Turbo-Kuh, der gläserne Mensch, Biotechnologie = Reproduktionstechnologie, Ultraschall = Gentechnologie, Ernährung aus dem Genlabor) und extreme Horrorvisionen zugunsten differenzierter Aussagen zu verzichten, das Anwendungspotential nicht zu überschätzen und an einem Konsens wünschenswerter Anwendungen und Produkte mitzuarbeiten.
- *für Biotechnologie/Gentechnologie-Befürworter*: Ängste und Mißtrauen der Öffentlichkeit ernst zu nehmen, auf ganzheitliches Anpacken der Problematik unter Einbezug der psycho-sozio-ökonomischen Probleme hinzuwirken, kritische Bereiche von der Erforschung und Vermarktung klar abzugrenzen und nicht nur verbal Abstand zu nehmen, Sicherheitsaspekten der gentechnischen Experimente und Produkte klar den Vorrang vor ihrer Nützlichkeit einzuräumen.

Biotechnologische, aber insbesondere gentechnologische Forschung sollte inskünftig durch systematische ethische, juristische und sozio-ökonomische Forschung institutionalisiert begleitet werden. Die Repro-

duktionstechnologie sollte stark eingeschränkt werden, da sie zweifellos einen Einstieg in eine «neue Eugenik» und Menschenzüchtung ist; auch die Urbefürchtung von Mensch-Tier-Chimären und geklonten Menschen ist letztlich nur über diese Technik erreichbar. «Der Homo faber, der «Macher», würde mit der Züchtung von Menschen den höchsten Gipfel seiner Macht erklimmen. Zugleich aber würde er damit in die tiefste Tiefe seiner Frevelhaftigkeit stürzen. Der Mensch ist nicht Gott und darf sich nicht gottgleich gebärden wollen.» (SALADIN, 1989).

4.2. Bereich Schule

Biotechnik ist als Chance und Herausforderung zu wichtig für die Menschheit, als daß sie nicht von einer Mehrheit erörtert, verstanden und mitgetragen werden müßte. Die Schule muß hier ihren wichtigen Beitrag leisten, sachlich fundiert und engagiert. Wissenschaftliche Faszination, ökonomischer Nutzen, ökologische Probleme, ethische Brisanz und gesellschaftliche Bedeutung müssen in einer schwierigen Gratwanderung ausgewogen vorgelegt und diskutiert werden. Trotz des wissenschaftlichen Höhenfluges der biologischen Forschung und ihrer Bedeutung für das Leben eines jeden einzelnen sind die naturwissenschaftlichen Grundlagenfächer Biologie und Chemie eher gefährdet im Hinblick auf die «Europäisierung» unserer Ausbildungsdauer an Kantonsschulen und der Abwahlmöglichkeiten der «harten» Fächer an der kantonalen Maturitätsprüfung. Auch die für das «Gymnasium der Zukunft» anvisierte Reduktion der Zahl der Maturitätsprüfungsfächer auf acht wird die drei naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik schwächen, da sie in *einen* Topf «Integrationsfach Technik» (DUBS, 1991) geworfen werden und so aus der Schülerperspektive noch mehr an Gewicht verlieren.

Es herrscht im Erziehungssektor (Erziehungsdepartement, Erziehungsräte) auch weitgehend Unkenntnis und Unverständnis den dringenden naturwissenschaftlichen Belangen gegenüber, wie das z.B. im Kanton St.Gallen am Fehlen von ernsthaften Umwelterziehungsprojekten oder an mangelnder Unterstützung von naturwissenschaftlichen Projekten zur Verbesserung dieser Situation (z.B. an der Pädagogischen Arbeitsstelle oder an der Pädagogischen Hochschule St.Gallen [INU, 1989]) zum Ausdruck kommt. Das erstaunt allerdings wenig, sind doch die Naturwissenschaftler in Politik, Verwaltung und Schulbehörde praktisch inexistent.

Die Stundentafeln in unseren Schulen sind, um ein Tabu anzusprechen, in ihrer ›Ausgewogenheit‹ nicht mehr zeitgemäß. Wer hat denn die Probleme der neueren Zeit wie Ökologie, die enorm wichtige und breite Umweltproblematik, Gesundheitserziehung, Sexualkunde, AIDS u.a. weitestgehend auffangen müssen (GYMNASIUM HELVETICUM, 1990)? Es geht nicht darum, daß von allen Wissensbereichen ein bißchen unterrichtet wird, es geht darum, den Schülern und damit Bürgern und politischen wie wirtschaftlichen Entscheidungsträgern von morgen Kenntnisse zu vermitteln, die für das *biologische* und *wirtschaftliche* Überleben unserer Zivilisation unentbehrlich sind. Und das ist heute eben auch naturwissenschaftliches Wissen!

Nur mit einem soliden biologischen und chemischen Wissen in allen Bevölkerungsschichten werden wir in der Lage sein, die Herausforderungen der modernen Biotechnologien zum Segen und nicht zum Fluch zu nutzen. Weder Ethik-Kommissionen noch Politiker können oder dürfen uns diese Aufgabe abnehmen!

5. Glossar

Alginate: Salze und Ester der Alginsäure, einem vorwiegend in den Zellwänden von Braunalgen vorkommendem Polysaccharid

Auxine: eine Gruppe von natürlichen und synthetischen Wachstumsregulatoren (Wuchsstoffe, Phytohormone)

Biokonversion: chemische Umwandlungen unter Verwendung von Biokatalysatoren (Enzyme, Mikroorganismen)

Biotransformation: mikrobielle oder enzymatische Zwischenschritte in chemischen Synthesen, z.B. Steroidtransformationen

Bioreaktor (Fermenter): zur submersen Kultivierung von Mikroorganismen und zur Produktion bestimmter chemischer Substanzen, z.B. Antibiotika, mit Hilfe von Mikroorganismen dienende Apparatur

cDNA: Herstellung von DNA aus RNA-Molekülen mit Hilfe des viralen Enzyms Reverse Transkriptase; diese Technik ist besonders wichtig für die Isolierung von noch unbekannten Genen

Chimäre: Individuum, das aus Zellen besteht, die von verschiedenen Zygoten abstammen; diese Lebewesen besitzen also Erbinformationen aus zwei oder mehreren Lebewesen. Bekannt wurde z.B. die ›Tomofel‹, eine Verschmelzung aus Tomate und Kartoffel

Chimäres Gen: codierende Sequenz, die von Expressionssignalen biologisch anderer Herkunft flankiert wird

Corn-steep: das bei der Gewinnung von Maisstärke als Nebenprodukt anfallende Einweichwasser (= Maisquellwasser): hoher Gehalt an essentiellen Substanzen und Nährstoffen

DNA (DNS): Desoxyribonukleinsäure (engl. Säure: acid); chemischer Träger der Erbinformation: doppelsträngiges, langkettiges, polymeres Biomolekül

DNA-Sonden: mit einem kurzen, einsträngigen Stück DNA können komplementäre DNA-Abschnitte oder auch RNA-Abschnitte aus einem Zellextrakt «herausgefischt» oder sichtbar gemacht werden

Exoenzyme (Sekretenzyme, extrazelluläre Enzyme): von der Zelle gebildete und ins Medium ausgeschiedene Enzyme

Expression: Herstellung eines Proteins mittels transformierter Mikroorganismen oder Zellkulturen. Auf diese Weise hergestellte Proteine nennt man rekombinante Proteine

Fermentation: – in der Technologie: Prozeß, bei dem mit Hilfe von Mikroorganismen Produkte erzeugt oder veredelt werden; – in der Biochemie: Gärung

Fusion (Zell-, Protoplasten-): Zusammenfügung (Verschmelzung) zweier Zellen/zellwandloser pflanzlicher Zellen (= Protoplasten, mit intakter Zellmembran) im Labor

Gene disruption: gezielte Inaktivierung eines einzelnen Gens in Bakterien und Hefe

Generationszeit: Zeitintervall der Verdoppelung der Organismenzahl (Zellzahl/ml)

Genom: die Gesamtheit der genetischen Information eines Organismus, eines Organells bzw. eines Virus

Gentechnologie (Gentechnik): Verfahren zur Neukombination von Erbinformation (Genen) durch direkten Eingriff in die Erbsubstanz (DNA) mit biochemischen Methoden. Durch die Gentechnologie ist es möglich, z.B. Bakterien so zu verändern, daß sie etwa bestimmte Eiweiße oder Hormone produzieren. Die Gentechnologie dürfte sich in Zukunft zu einem der wichtigsten Forschungsgebiete entwickeln, das aber auch immer wieder Diskussionen um Sicherheit, Risiken und Ethik hervorruft

Gentherapie: gezielter genetischer Eingriff mit dem Ziel, eine erblich bedingte Krankheit zu heilen. Man unterscheidet somatische Gentherapie und Keimbahn-Therapie. Bei der ersteren erfolgt der Eingriff nur in die Körperzellen, die genetischen Veränderungen sind also nicht

- vererbbar. Beim Eingriff in Keimzellen werden die veränderten Merkmale auf die Nachkommen vererbt; daher wird die Keimbahntherapie heute mehrheitlich abgelehnt
- Gewebekulturen*: eine Methode zum Züchten von Zellen aus Tier-/Mensch- und Pflanzengeweben in vitro
- Gezielte Mutagenese*: Einführung von Punktmutationen (Veränderung einzelner Nukleotidbausteine in einem DNA-Molekül und Entzifferung der darin enthaltenen genetischen Information [Aminosäuren-Abfolge der entsprechenden Proteine oder Struktur von Kontrollregionen])
- Gibberelline*: eine Gruppe von weitverbreiteten Phytohormonen, die das pflanzliche Längenwachstum, die Zellteilung und die Samenkeimung fördern
- Glycoproteine*: im Tier- und Pflanzenreich weitverbreitete Verbindungen, die im selben Molekül Zucker und Eiweiß enthalten
- Glycosylierung*: Veknüpung der Zucker- mit der Proteinkomponente, eine der wichtigsten Aufgaben des endoplasmatischen Reticulums
- Heterologe Gene*: Fremdgene
- HIV*: Humanes Immundefekt-Virus (= AIDS-Virus)
- HUGO* (Human Genome Organization): internationales Projekt zur Entschlüsselung (Sequenzierung) des gesamten menschlichen Genoms
- Huntington-Chorea-Krankheit*: autosomal-dominante Erbkrankheit des Zentralnervensystems, gekennzeichnet durch ausführende Bewegungen (‘Veitstanz’) und geistigen Verfall
- Hybridom*: Fusionsprodukt aus Krebszellen und Antikörpern
- Hybridomatechnik*: eine Methode der Zellverschmelzung zur Gewinnung monoklonaler Antikörper
- Hypercholesterolämie*: erhöhte Konzentration von Cholesterin im Blutserum; gilt als Risikofaktor für Arteriosklerose
- Immobilisierte Enzyme*: ursprünglich lösliche Enzyme, die durch Bindung an anorganische oder organische Träger unlöslich gemacht werden; man unterscheidet an Träger gebundene Enzyme und eingeschlossene Enzyme
- IVF* (In-vitro-Fertilisation): Befruchtung einer reifen, aus dem Eierstock entnommenen Eizelle durch eine Samenzelle außerhalb des tierischen oder menschlichen Körpers (in einem ‘Glasgefäß’, veraltet ‘Retorte’); auch als extrakorporale Befruchtung bezeichnet
- In-vitro-Rekombination* (engl. cloning): Ausschneiden eines Gens oder eines beliebigen DNA-Abschnittes aus einem DNA-Molekül und

- Einsetzen in einen sogenannten Vektor (= DNA-Molekül meist mikrobiellen Ursprungs, das zur Herstellung von biologisch aktiven DNA-Molekülen im Reagenzglas [In-vitro-Rekombination] verwendet wird)
- Klone*: eine Gruppe genetisch identischer Zellen oder Organismen, die auf ungeschlechtliche Weise aus einem gemeinsamen Vorgänger abgeleitet wurden. Alle Mitglieder des Klons haben dieselbe genetische Zusammensetzung
- Konjugation* (in der Bakteriengenetik): zeitweise Verbindung von Bakterienzellen, in deren Verlauf DNA von einer Donorzelle (Spenderzelle) auf eine Rezeptorzelle (Empfängerzelle) übertragen wird
- Monoklonal*: von nur einem Klon abstammend
- Monoklonale Antikörper*: chemisch reine Proteine vom gleichen Typ, die nur gegen ein ganz bestimmtes Antigen gerichtet sind
- Mukoviszidose*: Synonym für zystische Fibrose; häufigste erbliche Stoffwechselstörung mit einem genetischen Defekt am Chromosom 7. Durch vermehrte Produktion und erhöhte Viskosität des Sekrets der mukösen Drüsen der Bronchien und des Verdauungsapparates kann es zu schweren Komplikationen im Bereich Atemwege, zu Verdauungsstörungen im Darmkanal, zu Störungen der Nahrungsstoffabsorption und zu Flüssigkeits- und Kochsalzverlusten kommen
- Nukleoid* (Kernäquivalent): «Zellkern» der Prokaryoten. Das Nukleoid unterscheidet sich vom Zellkern (Nukleus) der Eukaryoten durch das Fehlen einer Kernmembran. Anstelle von Chromosomen liegt die DNA meist in Form eines einfachen, ringförmig geschlossenen, rund 1 mm langen Doppelstranges vor
- PCR* (Polymerase Chain Reaction): biochemische Vervielfältigung eines beliebigen, isolierten DNA-Moleküls. Wichtige analytische Methode, z.B. zur Identifikation von Krankheitserregern oder zur Erstellung genetischer Diagnosen
- Phenylketonurie*: erbliche Stoffwechselanomalie: Enzymdefekt mit Störung des Umbaus von Phenylalanin zu Tyrosin (Stoffwechselblock). Ein Teil des Phenylalanins wird in Brenztraubensäure umgewandelt und im Urin ausgeschieden. Das Krankheitsbild ist durch geistige Retardierung mit mehr oder minder stark ausgeprägtem Schwachsinn gekennzeichnet
- Plasmid*: ringförmiges kleines Stück DNA bakteriellen Ursprungs, das zur selbstständigen Vermehrung innerhalb eines Organismus fähig ist. Da die Mikroorganismen von Natur aus Erbinformationsstücke aus-

- tauschen, nutzt die Gentechnologie die kurzen Moleküle als Transportvehikel (Vektoren) zur Übertragung fremder DNA
- Rekombinante DNA-Technik*: für die Gentechnologie grundlegende Technik zur In-vitro-Erzeugung chimärer DNA; umfaßt Isolation der DNA, Zerlegung mittels Restriktionsendonucleasen in Fragmente und Verknüpfung mit Ligasen
- Reproduktionstechnologie*: verschiedenste Methoden zur Beeinflussung der Fortpflanzung bei Wirbeltieren (inkl. Mensch); umfaßt u.a.: 1. artifizielle Insemination (künstliche Besamung), 2. IVF (= In-vitro-Fertilisation = extrakorporale Fertilisation = In-vitro-Befruchtung), 3. Embryonentransfer, 4. Geschlechtswahl der Nachkommen, 5. Züchtung von Chimären. Alle diese Methoden sind keine gentechnischen Verfahren, da die Erbsubstanz DNA bei diesen Techniken nicht berührt wird
- Restriktionsnuclease*: aus Bakterien gewonnene Enzyme, die DNA an einer bestimmten Stelle durchschneiden. Wichtigste Werkzeuge in der Molekularbiologie
- Sequenzierung*: Bestimmung der Abfolge der Nukleotidbausteine in einem DNA-Molekül und Entzifferung der darin enthaltenen genetischen Information
- Schlempen* (Trester): das bei der Herstellung von Alkohol aus stärkehaltigen Rohstoffen, z.B. Getreide oder Kartoffeln, anfallende Nebenprodukt, dem der Alkohol durch Destillation entzogen worden ist
- SCP* (Abkürzung für den englischsprachigen Begriff Single Cell Protein): Einzellerprotein. Produkt, das durch Massenvermehrung einzelliger Mikroorganismen bei kontinuierlichen Kultivierungsregimen auf kohlenhydrathaltigen Rohstoffen und Abprodukten (Zucker, Stärke, Cellulose) sowie auf fossilen C-Quellen (n-Alkane, Methanol, Erdgas bzw. Methan) gewonnen wird
- Steroide*: Stoffklasse mit Grundgerüst des Sterans; darunter als Naturstoffe z.B. Geschlechtshormone, D-Vitamine und Gallensäuren
- Submerskultur*: Kultivierung von aeroben und anaeroben Mikroorganismen in flüssigem Nährmedium. Im Gegensatz zur Emerskultur, bei der die Mikroorganismen nur an der Oberfläche des Nährmediums wachsen, erfolgt bei dem Submersverfahren das Wachstum in der gesamten Nährlösung (z.B. als Schüttelkultur, im Bioreaktor resp. Fermenter)
- Substrat*: Nährbodenbestandteile. Auch Stoff, der spezifisch von einem bestimmten Enzym erkannt und umgesetzt wird

Thalassämie: erbliche Störung der Hämoglobinbildung (‘Blutarmut’) infolge verminderter Synthese strukturell normaler Globin-Polypeptidketten

Transduktion: die Übertragung genetischen Materials von Bakterien in andere Bakterien durch Phagen (Bakterienviren); allgemein das Einbringen von artfremdem, genetischem Material in eine Zelle mit Viren.

Transformation: Einpflanzen eines natürlichen oder eines in-vitro-rekombinierten DNA-Moleküls in einen Organismus, so daß dieses DNA-Molekül weitervererbt wird. Transformierte höhere Tiere nennt man transgen

Verdopplungszeit: Zeitintervall der Verdopplung der Mikroorganismenmasse

Zellkulturen: die Kultivierung von mehr oder minder vereinzelter, in der Regel omnipotenter Zellen unter sterilen Bedingungen mit dem Ziel der Nutzung dieser In-vitro-Technik für die Pflanzenzüchtung, Produktgewinnung und Aufklärung von Stoffwechselreaktionen

Zytokinine: Klasse von Proteinen, die meist unter benachbarten Zellen ausgetauscht werden und die die Reifung, Vermehrung und die Funktionen der Zellen koordinieren. Beispiele: Interleukine, Tumornekrose-Faktor

Zur Klärung weiterer Begriffe siehe IBELGAUFTS (1991), SCHLEE/KLEBER (1991) und WENZEL/AMANN (1991).

6. Literaturverzeichnis

ALTNER, G. (1988): Leben auf Bestellung? Das gefährliche Dilemma der Gentechnologie. – Verlag Herder, Freiburg i. Br., 158 S.

AMELUNG, E., Hrsg. (1991): Ethisches Denken in der Medizin. Ein Lehrbuch. – Springer-Verlag, Berlin, 280 S.

BADE, L. (1989): Ethik und Biologie (Lesehefte Ethik – Werte und Normen – Philosophie). – Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 97 S.

– (1990): Bioethik. Eine annotierte Bibliographie. IPN-Materialien. – IPN, Kiel, 322 S.

BAYER AG, Hrsg. (1990): Molekularbiologie und Gentechnik – Fortschritt und Verantwortung. Ziele, Chancen, Grenzen. – BAYER AG, Leverkusen, 93 S.

- BAYRHUBER, H. (1990): Biotechnik im Biologieunterricht. – Unterricht Biologie 14 (151): 4–13.
- (1987): Biotechnik und Pädagogik. – In: NEVERS, P., BAYRHUBER, H. (Hrsg.): Biotechnik und Schule. 15. IPN-Symposium, IPN, Kiel, S. 9–27.
- BENDER, W., GERBER, U. (1990): Die selbstgestrickte Schöpfung. Gentechnologie – Was ist sie? Was kann sie? Was darf sie? – Quell-Verlag, Stuttgart, 191 S.
- BIRNBACHER, D., WOLF, J.-C. (1988): Verantwortung für die Natur (Reihe: Forum Philosophie. Materialien für den Unterricht der Sekundarstufe II). – Schroedel-Schulbuchverlag, Hannover, 80 S.
- BÖHLMANN, D. (1985): Wirtschaftsbiologische Aspekte im Biologieunterricht. – J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 178 S.
- CRUEGER, W., CRUEGER, A. (1989): Biotechnologie – Lehrbuch der angewandten Mikrobiologie. – R. Oldenbourg Verlag, München/Wien, 342 S.
- DAELE, W. v. d. (1985): Mensch nach Maß? Ethische Probleme der Genmanipulation und Gentherapie. – Verlag C. H. Beck, München, 286 S.
- DELLWEG, H. (1987): Biotechnologie. Grundlagen und Verfahren. – VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 324 S.
- DIEKMANN, H., METZ, H. (1991): Grundlagen und Praxis der Biotechnologie. Eine Einführung für Naturwissenschaftler und Ingenieure. – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York, 276 S.
- DIXON, B. (1989a): The Science of Science. Changing the Way We Think. – Cassell, London, 130 S.
- (1989b): Society and Science. Changing the Way We Live. – Cassell, London, 130 S.
- DUBS, R. (1991): Gedanken zur Zukunft der Schweizer Gymnasien. – Gymnasium Helveticum 45(6): 335–347.
- (1989): Vernetztes Denken im Wirtschaftsunterricht. – Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik 85(1): 50–61.
- DULITZ, B., KATTMANN, U. (1990): Bioethik. Fallstudien für den Unterricht. – J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 182 S.
- EFS/EVANGELISCHER FRAUENBUND DER SCHWEIZ, Hrsg. (1989): Arbeitsheft Bioethik. – EFS, Zürich, 115 S.
- EVB/ERKLÄRUNG VON BERN, Hrsg. (1989): Hunger aus dem Genlabor. Biotechnologie, Dritte Welt und die Rolle der Schweiz. – Erklärung von Bern, Zürich, 102 S.

- FISCHER, E. P. (1988): Gene sind anders. Erstaunliche Einsichten einer Jahrhundertwissenschaft. – Rasch und Röhling Verlag, Hamburg, 316 S.
- FLEMING, R. (1989): Literacy for a Technological Age. – Sci. Ed. 73(4): 391–404.
- FCI/FONDS DER CHEMISCHEN INDUSTRIE (o.J.): Biotechnologie/Gentechnik (Folienserie Nr. 20, Textheft mit grundlegender Einführung in die Biotechnologie und Gentechnologie). – Fonds der Chemischen Industrie, Frankfurt a. M.
- FRISCHKNECHT, K. P. (1980): Science Education for Tomorrow. – In: Report to the College of Education, Nr. 20. Michigan State University, E. Lansing, 49 S.
- (1990a): Ein grundlegendes Manual zur Mikrobiologie/Biotechnologie. Band 1: Die mikrobiellen Grundlagen. Ein Labormanual. – Institut für Pflanzenbiologie der Universität Zürich, 167 S.
 - (1990b): Ein grundlegendes Manual zur Mikrobiologie/Biotechnologie. Band 2: Mikrobiologie/Biotechnologie im Unterricht. – Institut für Pflanzenbiologie der Universität, Zürich, 246 S.
 - (1990c): Über die Kunst, Naturwissenschaften zu lehren. Das Beispiel Biotechnologie. – In: FRISCHKNECHT, K. (1990b): Ein grundlegendes Manual zur Mikrobiologie/Biotechnologie. Band 2, S. 34–63.
- FRITSCHKE, W. (1990): Mikrobiologie. – Gustav Fischer Verlag, Jena, 497 S.
- FURTMAYR-SCHUH, A. (1986): Biologen und Gentechnik. – Naturw. Rdsch. 39(3), Mitteilungen des VDBiol. Nr. 330: 1499–1501.
- GASSEN, H. G., MARTIN, A., SACHSE, G. (1988): Der Stoff, aus dem die Gene sind. Bilder und Erklärungen zur Gentechnik, 2. Aufl. – J. Schweitzer Verlag, Frankfurt a. M./München, 124 S.
- GEBHARD, U., JOHANNSEN, F. (1990): Gentechnik als ethische Herausforderung. Anregungen und Materialien für die Sekundarstufe II. – Gütersloher Verlagshaus Gerd Mohn, Gütersloh, 128 S.
- GEN SUISSE / Schweizer Stiftung für eine verantwortungsvolle Gentechnik (1991): Die Gentechnik, eine Chance und Herausforderung. Broschüre. – Gen Suisse, Bern, 16 S.
- GKW/Gesprächskreis Kirche – Wirtschaft, Hrsg. (1989): Ethische Leitgedanken zur Anwendung der Gentechnologie im industriellen Umfeld. – GKW, Zürich, 24 S.
- GEO Wissen (1991): Die programmierte Natur. Landwirtschaft + Biotechnik. – Verlag Gruner + Jahr, Hamburg, Nr. 3, 197 S.

- GOTTSCHALK, G. et al. (1986): Biotechnologie (Das ZDF-Studienprogramm als Buch). – vgs (Verlagsgesellschaft Schulfernsehen), Köln, 190 S.
- GRAF, H.-U., GRAF, U. (1991): Mikrobiologie und Biotechnologie. Reihe Wahlpflichtunterricht Biologie. Schülerband, Lehrerband. – Schroedel-Schulbuchverlag, Hannover, 64 S. und 29 S.
- GROS, F. (1988): Das neue Gesicht der Biologie. – Unesco-Kurier 29 (3): 4–8.
- GYMNASIUM HELVETICUM (1990): Biologie in Zeit – Not – Zeit. – Gym. Helv. 44 (3): 150–176.
- HANDBERG, R., MCCRAE, J. L. (1980): Science Education and the Acquisition of Information about Science and Technology: The two Cultures Emergent. – J. of Research in Science Teaching 17 (2): 179–183.
- HEDEWIG, R., STICHMANN, W., Hrsg. (1988): Biologieunterricht und Ethik. – Aulis Verlag Deubner, Köln, 326 S.
- HENDERSON, J., KNUTTON, S. (1990): Biotechnology in Schools. A Handbook for Teachers. – Open University Press, Milton Keynes/Philadelphia, 164 S.
- HERBIG, J. (1982): Der Bioboom. Möglichkeiten und Gefahren der Gen-Manipulation. – Verlag Gruner + Jahr, Hamburg, 287 S.
- HÜBNER, J. (1986): Die neue Verantwortung für das Leben. Ethik im Zeitalter von Gentechnologie und Umweltkrise – Chr. Kaiser Verlag, München, 253 S.
- IBELGAUFTS, H. (1990): Gentechnologie von A bis Z. Erweiterte Ausgabe. – VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 658 S.
- INU-ARBEITSGRUPPE (1989): Projekt Integrierter Naturwissenschaftsunterricht an Mittelschulen (INU). Ein Rück- und Ausblick nach dreijähriger Projektarbeit. – In: Tätigkeitsbericht 1988/89 Pädagogische Arbeitsstelle des Kantons St. Gallen, St. Gallen, S. 19–31.
- IRRGANG, B. (1990): Leitlinien einer Ethik der Gentechnik. Vorüberlegungen zu einer Ethik der Biotechnologie. – Naturwissenschaften 77 (12): 569–577.
- JAENICKE, J., KNIPPENBERG, A., SOBKE, J. (1985): Zellen, Einzeller und andere Mikroben. Reihe Wahlpflichtunterricht Biologie. – Schroedel-Schulbuchverlag, Hannover, 64 S.
- KAUFMANN, U. (1989): Chemie – nein danke! Eine Folge des gegenwärtigen Chemieunterrichts. – MNU (Math. naturw. Unterricht) 42 (2): 113–115.

- KING, A., SCHNEIDER, B. (1991): Die globale Revolution – Bericht 1991. – SPIEGEL Spezial Nr. 2, Spiegel-Verlag R. Augstein, Hamburg, 130 S.
- KLÄMBT, D., KREISKOTT, H., STREIT, B., Hrsg. (1991): Angewandte Biologie. – VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 582 S.
- KLEIN, A., Hrsg. (1989): Verantwortung in Naturwissenschaft und Technik. Ein Textbuch. – Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn, 148 S.
- KLEIN, J. (1991): Die Biotechnologie in den 90er Jahren – mit Verantwortung die Zukunft gestalten. – Biol. i. u. Zeit 21 (3): 125–131.
- KLEIN, R. L. (1987): Genetische Manipulation erfaßt alle Lebensbereiche – ein Unterrichtsentwurf. – PdN – B. (Praxis der Naturwissenschaften – Biologie) 36 (2): 23–41.
- KLUGE, S., MENZEL, G., EISENHABER, F., ANDERS, B. (1991): Mikrobiologie. Ein Arbeitsbuch für Schüler. – Volk und Wissen Verlag, Berlin, 184 S.
- LEWIN, B. (1991): Gene. Lehrbuch der molekularen Genetik, 2. Aufl. – VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 926 S.
- MAASSEN, B., STAUBER, A. (1988): Der andere Weg zum eigenen Kind. Zeugung im Reagenzglas. – Walter de Gruyter, Berlin, 238 S.
- MARX, L., ed. (1989): A Revolution in Biotechnology. – Cambridge University Press, Cambridge/New York, 227 S.
- MILANI, J. P., ed. (1987): Biological Science. An Ecological Approach. Teacher's Resource Book and Test Item Book for BSCS Green Version, 6th ed. – Kendall/Hunt Publ. Comp., Dubuque, Iowa USA, 372 S.
- MÜLLER, HJ., Hrsg. (1987): Reproduktionsmedizin und Gentechnologie. Schweizer Experten informieren. – Schwabe & Co. AG, Verlag, Basel/Stuttgart, 236 S.
- NAGL, W. (1987): Gentechnologie und Grenzen der Biologie (Reihe: Dimensionen der modernen Biologie, Band 1). – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 210 S.
- PRAETORIUS, I. (1986): Wozu brauchen wir das alles? Eine Anregung zum kritischen Nachdenken über ethische Fragen. – In: Schritte ins Offene 6/86: 26–29.
- (1991): Feministische Ethik: Anders über gutes Leben nachdenken. – In: ROTH, C. (Hrsg.) (1991): Genzeit. Limmat Verlag, Zürich, S. 195–204.
- PRÄVE, P., FAUST, U., SITTIG, W., SUKATSCH, D. A., Hrsg. (1987): Handbuch der Biotechnologie, 3. Aufl. – R. Oldenbourg Verlag, München/Wien, 653 S.

- PRENTIS, S. (1987): Technik des Lebendigen: Biotechnologie. Eine neue industrielle Revolution. – vgs (Verlags gesellschaft Schulfernsehen), Köln, 264 S.
- PRIMROSE, S. B. (1990): Biotechnologie. Grundlagen, Anwendungen, Perspektiven. – Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Heidelberg, 215 S.
- PROBST, W. (1987): Biotechnik in der Schule: Sinn und Ziele. – In: NEVERS, P., BAYRHUBER, H. (Hrsg.): Biotechnik und Schule. 15. IPN-Symposium, IPN, Kiel, S. 193–197.
- REISS, J. (1989): Biotechnologie im Unterricht. Reihe: Praxis Schriftenreihe Biologie, Band 36. – Aulis-Verlag Deubner, Köln, 138 S.
- RENNEBERG, R. (1991): Bio-Horizonte. Die Chancen der Biotechnologie. – Urania-Verlag, Leipzig/Jena/Berlin (1991), 256 S.
- RIFKIN, J. (1988): Genesis zwei. Biotechnik – Schöpfung nach Maß. – Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 267 S.
- RINGELING, H. (1989): Ethische Fragen zum gentechnologischen Eingriff in die Erbanlagen von Pflanzen, Tieren und Menschen. – In: SVILAR, M., BRAUN, R., Hrsg. (1989): Gentechnologie: Chance oder Bedrohung? Verlag Peter Lang, Bern, S. 183–198.
- ROSENBLADT, S. (1988): Biotopia. Die genetische Revolution und ihre Folgen für Mensch, Tier und Umwelt. – Droemersch Verlagsanstalt Th. Knaur Nachf., München, 318 S.
- ROTH, C., Hrsg. (1991): Genzeit. Die Industrialisierung von Pflanze, Tier und Mensch. Ermittlungen in der Schweiz, 3. Aufl. – Limmat Verlag Genossenschaft, Zürich, 279 S.
- SALADIN, P. (1989): Rechtliche Aspekte der Gentechnologie. – In: SVILAR, M., BRAUN, R., Hrsg. (1989): Gentechnologie: Chance oder Bedrohung. Verlag Peter Lang, Bern, S. 199–235.
- SCHLEE, D., KLEBER, H.-P., Hrsg. (1991): Wörterbücher der Biologie. Biotechnologie, Teil I und Teil II. – Gustav Fischer Verlag, Jena, 1096 S.
- SCHLUTTIG, A. (1990): Umweltbiotechnologie. Mikroben für eine gesündere Umwelt. – Urania-Verlag, Leipzig/Jena/Berlin, 179 S.
- SCHOLLES, F. (1989): Gen-Zeit. – Öko-Vertrieb, Remagen-Kripp.
- (1990): Genwelt. Ein Spiel um den risikoreichen Forschungswettkampf in der Gentechnologie. – Öko-Vertrieb, Remagen-Kripp.
- SCHREIBER, H.-P. (1987): Gentechnologie – eine ethische Herausforderung. – In: MÜLLER, H.J., Hrsg. (1987): Reproduktionsmedizin und Gentechnologie. – Schwabe & Co. AG, Basel/Stuttgart, S. 187–195.

- SCHROEDER-KURTH, T. M., WEHOWSKI, S., Hrsg. (1988): Das manipulierte Schicksal. Künstliche Befruchtung, Embryotransfer und Prä-natale Diagnostik. – J. Schweitzer Verlag, Frankfurt a.M./München, 150 S.
- SINGER, M., BERG, P. (1991): Genes & Genomes. A Changing Perspective. – University Science Books, Mill Valley USA, 929 S.
- SMITH, J. E. (1990): Einstieg in die Biotechnologie, 2. Aufl. – Carl Hanser Verlag, München/Wien, 159 S.
- SNOW, C. P. (1959): The Two Cultures and the Scientific Revolutions. – Cambridge University Press, New York.
- SOYEZ, K. (1990): Biotechnologie. – Birkhäuser Verlag, Basel/Boston/Berlin, 259 S.
- SVILAR, M., BRAUN, R., Hrsg. (1989): Gentechnologie: Chance oder Bedrohung? – Verlag Peter Lang, Bern, 246 S.
- TESTART, J. (1988): Das transparente Ei. – J. Schweitzer Verlag, Frankfurt a. M./München, 96 S.
- THURAU, M. (1990): Gute Argumente: Gentechnologie ? – Verlag C. H. Beck, München, 122 S.
- UNI ZÜRICH (1989): Wissen und Gewissen. – In: UNI Zürich, Informationsblatt der Universität Zürich, Nr. 2: 14–15.
- WEIDE, H., PACA, J., KNORRE, W. A., Hrsg. (1991): Biotechnologie, 2. Aufl. – Gustav Fischer Verlag, Jena, 457 S.
- WEISSING, J. (1991): Geheimnisse mikrobiologisch entdeckt. Experimentier- und Arbeitsbuch. Schülerbuch, Lehrerband. – Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart, 89 S. und 89 S.
- WEIZSÄCKER, C. F. v. (1977): Der Naturwissenschaftler, Mittler zwischen Kultur und Natur. – In: Der Garten des Menschlichen, Hanser Verlag, Zürich, S. 104.
- WENNICKE, H., BARTH, G. (1986): Mikrobiologie. Ökologischer, technologischer und medizinisch-hygienischer Aspekt der Mikrobiologie. Reihe: SVN-Schülerversuche Naturwissenschaften. Schülerheft, Lehrerheft. – MAEY/Leybold-Heraeus, Bonn, 51 S. und 63 S.
- WENZEL, W., AMANN, M. J. (1991): Lexikon der Gentechnologie. – Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 290 S.
- WOLFFGRAMM (1989): Schlüsseltechnologien im Überblick. – VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 159 S.
- ZELL, R. A (1990): Das Gen-Zeitalter. Menschen, Mächte, Moleküle. – Trias-Thieme, Hippokrates Enke, Stuttgart, 201 S.

ZIEFUSS, H. (1988): Erzieht die Schule zur Technikfeindlichkeit? – schweizer schule 10: 15–23.

Bücher für den Einstieg in die Biotechnologie

PRENTIS (1987); RENNEBERG (1991); SMITH (1990); THURAU (1990); ZELL (1990).

Kritische Literatur zur Bio-/Gen- und Reproduktionstechnologie

ALTNER (1988); BENDER/GERBER (1990); EvB (1989); RIFKIN (1988); ROSENBLADT (1988); ROTH (1991); TESTART (1988).

Unkritische Lobpreisungen der Biotechnologien

FCI (o.J.); FISCHER (1988); GASSEN et al. (1988); RENNEBERG (1991).

Schulbücher zum Thema Mikrobiologie/Biotechnologie/ Reproduktionstechnologie

GRAF/GRAF (1991); JAENICKE et al. (1985); KLUGE et al. (1991); REISS (1989); WEISSING (1991); WENNICKE/BARTH (1986).

Bücher für den Lehrer

Mikrobiologie: FRITSCH (1990). *Bio-/Gentechnologie*: GASSEN et al. (1988); MÜLLER (1987); PRIMROSE (1990); RENNEBERG (1991); *Reproduktionstechnologien*: MÜLLER (1987); MAASSEN/STAUBER (1988); SCHROEDER-KURTH/ WEHOWSKY (1988). *Labor*: FRISCHKNECHT (1990a).

Zeitschriften über Bio-/Gentechnologie

Fachlich: BIOforum. (Biologische Chemie. Mikrobiologie. Genetik. Immunologie. Virologie. Biotechnologie). GIT-Verlag, Rößlerstr. 90, D-6100 Darmstadt (12 Ausgaben/Jahr). – *Swiss Biotech*. Schweizerische Zeitschrift für Biotechnologie. Verlag Dr. Felix Wüst AG, Freiestr. 204, Postfach 239, CH-8032 Zürich (6 Ausgaben/Jahr).

Kritisch: GID. Gen-Ethischer Informationsdienst. Winterfeldtstraße 3, D-1000 Berlin 30 (12 Ausgaben/Jahr).

Adressen für Informationen über Bio-/Gentechnologien

SGCI/Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie. Nordstraße 15, CH-8035 Zürich.

Verein IBG/Verein für Information über Bio- und Gentechnologie.
Sekretariat SKBS/CSSB, c/o Stabstelle Forschung, ZUX D14 ETH-Z,
CH-8092 Zürich.

GEN SUISSE. Die Schweizer Stiftung für eine verantwortungsvolle
Gentechnik. Postfach, CH-3000 Bern.

EvB/Erklärung von Bern für solidarische Entwicklung, Postfach 177,
Quellenstraße 177, CH-8031 Zürich.

SAG/Schweizerische Arbeitsgruppe Gentechnologie. Kritisches Forum
zur Problematik von Bio-, Gen- und Fortpflanzungstechnologien.
Postfach, CH-8037 Zürich.

Basler Appell gegen Gentechnologie. Postfach 74, CH-4007 Basel.

7. Tabellenanhang

Die Entwicklungsphasen der Biotechnologie

Tab. 1

Zeitraum	Charakteristik	Hauptverfahren	Produkte (Auswahl)	Wichtige Auswirkungen auf die Gesellschaft
1. Empirie 6000 v. Chr. bis ca. 1860 n. Chr.	<ul style="list-style-type: none"> - unbewußte Nutzung der Biotechnologie (behüteter Zufall) - mikrobielle Prozesse mit wenig charakterisierten Mischkulturen (Black box-Systeme) 	Gärungen (alkoholische, Milchsäure, Essigsäure)	Nahrungsmittel: Wein, Bier, Essig, Käse, Joghurt Wertschöpfung: ca. 1 Fr./1 kg	<ul style="list-style-type: none"> - Lebensmittelkonservierung (Käse als 'Milchkonserven') - Bier als 'historischer Exportartikel, Staatsmonopol bei Ägyptern' - Alkoholprobleme
2. Klassische Biotechnologie Pasteur- und Antibiotika-Ära 1860-1975	<ul style="list-style-type: none"> - definierte mikrobielle Monokulturen (Ausschluß von Fremdkeimen) - selektionierte Stämme - bewußte Beeinflussung des Stoffwechsels - Integration von Naturwissenschaften und Technik 	<ul style="list-style-type: none"> - Erarbeitung steriler Arbeitstechniken - Fermentation - Oberflächenkultur - Submerskultur - Zellkulturen - Immobilisierung von Zellen und Enzymen 	Technische Chemikalien, Pharmaprodukte: <ul style="list-style-type: none"> - organische Säuren (z.B. Citronensäure) - Lösungsmittel (Butanol, Aceton, Ethanol) - Antibiotika (z.B. Penicillin) - Virus-Impfstoffe Wertschöpfung: ca. 100 Fr./1 kg	<ul style="list-style-type: none"> - Konservierungstechniken bei Lebensmitteln: neues Verhalten und große Mobilität der Menschen (z.B. ägyptischer Feldzug Napoleons 1789/90 ohne Konserven undenkbar) - Veredelung von Lebens- und Genußmitteln - Sieg über wichtigste Infektionskrankheiten dank Antibio-

tika und Hygienemaßnahmen → Verbesserung des Gesundheitszustandes und Verlängerung der Lebenserwartung
 – Beeinflussung der Bevölkerungsstruktur

3. <i>Moderne Biotechnologie</i>	– genetische Optimierung von Zellen, gezielte Steuerung	– Gentechnologie (rekombinante DNA-Technik) – Hybridoma-Technik	Körpereigene Wirkstoffe: – Hormone (Human-Insulin, Wachstumshormon) – Gewebefaktoren (Plasminogen-Aktivator, u.a.) – monoklonale Antikörper – Blutbildende Wachstumsfaktoren (Interleukine), Gerinnungsfaktoren	– noch kaum abschätzbar – spekulative Hinweise: vgl. ROSENBLADT, 1988; ROTH, 1991; RENNEBERG, 1991 – Extremaussagen: 'genetischer Rassismus bis Genokratie' oder 'qualitativ neue Medizin', 'Welt ohne Krankheit und Hunger'
Gentechnologie resp. moderne Biotechnologie ab 1975	– Bioprozeß-Technologie			
				Wertschöpfung: 10 ⁶ –10 ⁹ Fr./1 kg

15 000 v. Chr.	NATURVÖLKER Einfache Fermentationsverfahren: Herstellung von Bier, Wein, Essig und milchsauren Nahrungsmitteln
ca. 1150 v. Chr.	Gewinnung von Alkohol durch Brennen von Wein
um 1350 n. Chr.	FRANKREICH (Orléans) Essigherstellung in größerem Maßstab
1521	AZTEKEN Algen als Nahrungsquellen
1667	HOÖKE Erste Beobachtung filamentöser Pilze
1670	SPANIEN Mikrobieller Kupferabbau in Rio-Tinto-Minen
1676	VAN LEEUWENHOEK Erste Beobachtung von Bakterien
1796	JENNER Erste Impfung eines Menschen (Kuhpockenvakzine)
1818	HANSEN Fermentationseigenschaften der Hefen erkannt
1833	PAYEN/PERSON Zentrale Bedeutung der Enzyme erkannt
1846	MAUTNER Großtechnische Gewinnung von Mikroorganismen (Backhefe)
1847	SEMMELWEIS Einführung der Händedesinfektion mit Chlorkalklösung
1854–1864	PASTEUR Widerlegung der 'Urzeugung'; Gärung wird durch Mikroorganismen verursacht; Keimvernichtung durch trockene, heiße Luft (120–130 °C)

1866	PASTEUR Aufklärung der alkoholischen Gärung Einführung des ›Pasteurisierens‹
1881	Milchsäureproduktion in einem Gärungsprozeß
1877	KÜHNE Bakterizide Wirkung von Sonnenstrahlen (UV) erkannt
1890	VON BEHRING Entdeckung der Antikörper als Immunitätsträger
1893	OSTWALD Wirkung der Enzyme als Katalysatoren
1900	HANNING Erste erfolgreiche Pflanzengewebskultur
1900	Mikroorganismeneinsatz zur Abwasserreinigung
1915	WEIZMANN Erstmalige Herstellung von Butanol und Aceton in einem Gärungsprozeß
1920	Citronensäure-Produktion mit Hilfe eines Pilzes (<i>Aspergillus</i>)
1928	FLEMING Entdeckung des ersten Antibiotikums: Penicillin
1937	Biotransformation von Hormonen
1943/44	Beginn der Penicillin-Großproduktion
ab 1944	Entdeckung weiterer Antibiotika
1949	Herstellung von Vitamin B ₁₂ mit Mikroorganismen
1957	Großtechnische Produktion der Aminosäure Glutaminsäure
ab 1960	Produktion von technischen Enzymen (z.B. für Waschmittel)
1972/73	BOYER/COHEN/BERG Beginn der Arbeiten zur Gentechnik (Neukombination von DNA-Fragmenten)
1982	Produktion von Human-Insulin mit Hilfe des Bakteriums <i>Escherichia coli</i>

1869	MIESCHER Entdeckung der Nukleinsäuren (Leukozyten-Zellkerne/Eiter)
1944	AVERY DNA speichert Erbinformation
1953	WATSON/CRICK/WILKINS DNA-Struktur geklärt: Doppel-Helix-Modell
1956	Entdeckung der DNA-Polymerasen, Transfer-RNA, Biosynthese von RNA und DNA
1967/68	Entdeckung DNA-reparierender Enzyme (‘DNA-Kleber’: Ligasen)
1968	KOHNE Erste Genisolation mittels Hybridisierungstechnik
1969/70	ARBER/SMITH/NATHANS Entdeckung DNA-schneidender Enzyme (‘DNA-Scheren’: Restriktionsenzyme)
1972	JACKSON/SEYMOURS/BERG Grundlegende DNA-Rekombinations-Technik erarbeitet
1973	BOYER/COHEN Erstes gentechnisches Experiment: Einschleusung von Fremd-DNA mittels Plasmide als ‘Genvehikel’ in <i>Escherichia coli</i> , funktionstüchtig
1975	MILSTEIN/Köhler Hybridomatechnik, monoklonale Antikörper
1977	GENENTECH Gründung der ersten ‘Gen-Firma’: Beginn der Kommerzialisierung der DNA-Neukombinations-Technik

1977	RIGGS Genetisch veränderte <i>Escherichia coli</i> produzieren menschliches Wachstumshormon (Somatostatin)
1978	Synthetisch hergestelltes Insulin-Gen funktionell wirksam in Bakterien eingeschleust
1978	Erste pränatale Gendiagnose (Sichelzellanämie)
1981	HOOD Gen-Synthesemaschine entwickelt
1982	Erstes menschliches Krebs-Gen analysiert
1982	Injektion von Wachstumshormon-Genen in befruchtete Mäuse-Eizellen führt zu erblichem Großwuchs
1982	ELI LILLY Erstes gentechnisch gewonnenes Medikament (Human-Insulin) auf dem Markt
1988	Erste Keimbahntherapie bei Mäusen geglückt (Zittermäuse)
1989	Beginn der Kartierung des menschlichen Genoms
1990	BLAESE Erste somatische Gentherapie am Menschen (Adenosin-Desaminase-[ADA-]Mangel)
1991	USA 14 gentechnisch hergestellte Arzneien auf dem Markt, 132 gentechnische Medikamente in klinischer Prüfung

In der Biotechnologie eingesetzte Organismen und Zellkulturen
(weitergehende Informationen bei DIEKMANN/METZ, 1991; SCHLE/KLEEBER, 1991; WEIDE et al., 1991)

Tab. 4

Organismtyp	Vorteile	Nachteile	Typische Produkte/ Leistungen (<i>Auswahl</i>)
Mikroorganismen	<ul style="list-style-type: none"> – einfache, häufig billige Wachstumsmedien – mechanisch sehr stabile Zellen – hohe Wachstums- und Produktionsrate 	<ul style="list-style-type: none"> – keine Produktion komplexer Glycoproteine 	
Viren		<ul style="list-style-type: none"> – keine eigene Vermehrung, sondern Zellparasiten – Bakteriophagen befallen ›Produktionsbakterien‹ 	Insektizide zur Bildung monoklonaler Antikörper gegen unerwünschte Viren notwendig
Prokaryoten			
Archaeobakterien			
Eubakterien	<ul style="list-style-type: none"> – Produktion von Exo-Enzymen – Genetisches System und Stoffwechselwege einfacher als bei Eukaryoten, weitgehend entschlüsselt → leichtere Eingriffs-möglichkeiten – Produktion artfremder Proteine nach gentechnischer Modifikation 	anaerobe Zuchtverfahren	Methan Hydrolasen (z.B. Lipasen), organische Säuren, Enzyme, Hormone, Proteine, Biomasse, Impfstoffe, Vitamine, Abbau von Schadstoffen, Mineralien-gewinnung, Biotransformationen

Eukaryoten					
Mikroalgen	billige anorganische Medien	<ul style="list-style-type: none"> - Lichtbedarf - relativ langsames Wachstum 	Algenbiomasse als Futter- mittelzusatz (Protein- und Vitaminzusatz)		
Pilze					
- Hefen	Gärungs-Endprodukte in großen Mengen	keine Bildung human- identischer Glycoproteine	Alkohol, Wein, Bier		
- Mycelbildende Pilze			Antibiotika, Citronensäure, Enzyme		
Protozoen	Abwasser als Substrat	Teilungsfähigkeit oft begrenzt	Abwasserreinigung		
Zellkulturen	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Produktion komplexer Proteine</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>teuere, komplexere Nährmedien</i> - <i>Sterilitätsprobleme</i> - <i>Kulturen mechanisch weniger belastbar</i> - <i>Probleme bei Stammhaltung (Stabilität)</i> 			
Pflanzliche Zellkulturen	Befähigung zu spezifischen Stoffwechselleistungen (Biotransformationen, Bio- konversionen, Produktion sekundärer Naturstoffe)	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Kontaminationsrate - lange Verdopplungszeiten (30-150 h) 	Biomasseproduktion (z.B. Tabakzellen) Sekundärstoffgewinnung: Arzneimittel, resp. Vorstufen, Farbstoffe, Geruchs- und Aromastoffe, Bioinsektizide		
Tier-/Mensch- Zellkulturen	Produktion komplexer Humanproteine (Mol- gewicht, Glycosylierung), teilweise reinere Präparate	<ul style="list-style-type: none"> - lange Verdopplungszeiten (ca. 1 Tag) - geringe Zelldichten 	monoklonale Antikörper, Interferone, Impfstoffe, Wachstumshormone, Enzyme		

Eigenschaft	Veranschaulichung	Konsequenzen
1. Größe resp. Kleinheit: Länge des ›Durchschnittsbakteriums› = $1\ \mu\text{m}$ ($= 10^{-6}\ \text{m}$)	– 1000 Bakterienlängen = $1\ \text{mm}$	– in kleinsten Nischen vorhanden (ubiquitär)
2. Volumen 10^9 Zellen/ $1\ \text{mm}^3$ (z.B. als Mikrokolonie)	– in 1 <i>Escherichia coli</i> -Cytoplasma-volumen ($= 0,6\ \mu\text{m}^3$) 10^6 Polypeptidketten, entspr. ca. 250 000 funktionsfähigen Proteineinheiten – in 1 Würfel von $1,7\ \text{mm}$ Kantenlänge (= Stecknadelkopf) so viele Bakterien wie Menschen auf der Erde (6×10^9)	– aus Raumgründen nur geringer Bestand an biologisch aktiven Proteinen vorhanden (d.h. nur kleiner Teil des genetischen Potentials realisiert) – enorm hohe Zelldichten in Kulturen: $10^9/\text{ml}$ Bakterien $10^8/\text{ml}$ Hefen
3. Struktur der Bakterienzelle – einzellig, primitive Differenzierung – einfachste Zellstruktur ohne Organellen und Kern, mechanisch stabil	›membranhüllter Sack‹ mit ca. 500 verschiedenen Enzymen	kurze Generations- und Verdopplungszeiten
4. Generations-/Verdopplungszeiten $10\text{--}720\ \text{min}$ Durchschnittswert: ca. 20 min	bei 20 min Generationszeit in 48 Stunden ergibt das: – 144 Generationen – $2^{144} = 2,2 \times 10^{43}$ Individuen – bei $2 \times 10^{-9}\ \text{mg TG/Einzelle}$ → $4,4 \times 10^{25}\ \text{t TG}$,	– explosionsartige Vermehrung – enorme Produktionskapazität von Biomasse

entspr. $7333 \times$ Erdmasse

(1 Erdmasse: $\text{ca. } 6 \times 10^{21} \text{ t}$;

in Praxis jedoch nach wenigen Stunden Nährstofferschöpfung)

5. Selektion

dank riesigen Individuenzahlen
Herausbildung von extremen
Stoffwechselfähigkeiten

- extreme Umweltbedingungen:
 - Temperaturen: -20°C bis 110°C
 - pH: 1–11; Druck: bis 250 atm
- Lebensräume: überall, auch Wüsten, Salzlager, Schwermetallösungen
- Schadstoffe wie z.B. Phenol als Substrat
- Bsp. *Pseudomonas multivorans*: über 100 versch. C- und Energie-Substrate

- biochemische Mannigfaltigkeit
- ubiquitäres Vorkommen dank speziellen Stoffwechselwegen (Anpassungsfähigkeiten)
- ungewöhnlich viele Nährsubstrate sowie außergewöhnliche Substrate (z.B. Lignin, Paraffine, Phenole)

6. Oberfläche-/Volumen-Verhältnis
extrem groß dank Kleinheit der
Bakterien

- O/V bei 1-cm-Würfel: $6 \text{ cm}^2 / 1 \text{ cm}^3 = 6:1$
- O/V bei 1- μm -Bakterien in 1 cm^3 Würfel (entspr. 10^{12} 1 μm^3 -Bakterien) = $6 \times 10^{-8} \text{ cm}^2 : 10^{-12} \text{ cm}^3 = 60\,000:1$
- O/V-Verhältnis bei Hefen und Pilzen:
 - $6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 : 10^{-9} \text{ cm}^3 = 6000:1$
- pro 1 Liter Bioreaktorinhalt: Mikrobenoberfläche von 300 m^2 für Stoffaustausch und Stoffumsetzungen
- Vergleichswerte:
 - Mensch $130\,000 \text{ cm}^2 : 100\,000 \text{ cm}^3 = 0,13:1$
 - Elefant $1300\,000 \text{ cm}^2 : 3\,000\,000 \text{ cm}^3 = 0,4:1$

- schneller Stoffaustausch mit Umgebung
- intensive Wechselwirkung mit Umwelt
- (extravertierte Lebensweise)

Eigenschaft	Veranschaulichung	Konsequenzen														
7. Stoffwechselaktivität enorm hoch	<ul style="list-style-type: none"> - Beispiel Atmungsraten (mm³ O₂/mg TG.h) <table> <tr> <td><i>Acetobacter chromococcus</i></td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td><i>Escherichia coli</i></td> <td>272</td> </tr> <tr> <td><i>Bacillus subtilis</i></td> <td>170</td> </tr> <tr> <td>Mensch</td> <td>2,5-10,5</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> - Beispiel Produktionsleistung pro Tag: <table> <tr> <td>500 kg Rind</td> <td>0,5 (kg Protein/Tag)</td> </tr> <tr> <td>500 kg Hefen</td> <td>50 000 "</td> </tr> <tr> <td>500 kg Bakterien</td> <td>500 000 "</td> </tr> </table>	<i>Acetobacter chromococcus</i>	2000	<i>Escherichia coli</i>	272	<i>Bacillus subtilis</i>	170	Mensch	2,5-10,5	500 kg Rind	0,5 (kg Protein/Tag)	500 kg Hefen	50 000 "	500 kg Bakterien	500 000 "	<ul style="list-style-type: none"> - kurze Generationszeiten - kurze Verdopplungszeiten
<i>Acetobacter chromococcus</i>	2000															
<i>Escherichia coli</i>	272															
<i>Bacillus subtilis</i>	170															
Mensch	2,5-10,5															
500 kg Rind	0,5 (kg Protein/Tag)															
500 kg Hefen	50 000 "															
500 kg Bakterien	500 000 "															
8. 'Einfache' Stoffwechselwege, einfache Genomstruktur																
- Stoffwechselwege meist entschlüsselt																
- kein Zellkern, nur Nukleoid und Plasmide	<ul style="list-style-type: none"> - Virus-Genom: 3000 Basenpaare (= 1 Buchseite mit 3000 Buchstaben) - Bakterien-Genom: 3 × 10⁶ Basenpaare (= 1 Buch mit 1000 Seiten) - Menschl. Genom: 3 × 10⁹ Basenpaare (= 1000 Bücher) 	<ul style="list-style-type: none"> - leichte Eingriffsmöglichkeiten in Stoffwechselregulation - natürliche Gentransfermechanismen (Transformation, Transduktion, Konjugation) - Plasmide ('Genfähren') als Grundlage der Gentechnik (rekombinante DNA-Technik) 														

Vor- und Nachteile biotechnologischer Verfahren gegenüber chemischen Prozessen

Tab. 6

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Verminderter Energiebedarf durch eine Prozeßführung bei Raumtemperatur und Normaldruck - Verringerte Umweltbelastung durch Ausschluß aggressiver Chemikalien und verminderten Einsatz organischer Lösungsmittel - Nutzung nachwachsender Rohstoffe statt fossiler Ausgangsstoffe - Abkürzung von teilweise vielstufigen klassischen Verfahren der Chemie durch eine Fermentationsstufe mit geringer Nebenproduktbildung - Biotechnologische Verfahren sind oft die einzig möglichen Herstellungswege bestimmter Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbeiten unter sterilen Bedingungen - Mitunter ungünstige Produkt/Volumen/Zeit-Ausbeute - Häufig aufwendige Reinigungsverfahren der gewonnenen Rohprodukte - Gefahr der Ausbeuteschwankungen und Schwankungen der Zusammensetzung von komplexen natürlichen Nährstoffen - Einhaltung gesetzlicher Sicherheitsvorschriften bei bestimmten Organismen

1. Ernährung
(Lebens- und Futtermittel)
- a) Direkte Konsumation der Organismen (mikrobielle Biomasse):
- Einzellerprotein (SCP) als Viehfutter; Hefen (*Candida*, *Hansenula*, *Pichia*, *Saccharomyces* u.a.) und Bakterien (*Methanomonas*, *Pseudomonas*, *Methylomonas* u.a.) bilden Biomasse aus Kohlenwasserstoffen, Alkoholen und Kohlenhydraten
 - Protein aus Methan (z.B. Erdgas) als Viehfutter mit Hilfe von methanotrophen Bakterien
 - Protein als Viehfutter aus Methanol durch Bakterium *Methylophilus methylotrophus*
 - Protein zur menschlichen Ernährung aus Stärke durch Pilz *Fusarium*
 - Protein aus Ethanol durch Hefe *Candida utilis*
- b) Produkte aus Organismen zur Geschmacksverbesserung und Konservierung:
- Milchsäuregärung: Sauerkraut, Joghurt, Kefir, Sauerteig, Dickmilch, Kombucha, u.a.
 - Alkoholische Gärung: Wein, Bier, Hefeteig
 - Herstellung von Joghurt, Käse, Essig, Wurstwaren, u.a.
 - Organische Genußsäuren: Citronensäure, Apfelsäure, Weinsäure, Essigsäure, Milchsäure, Gluconsäure, u.a.
 - Duft- und Aromastoffe für Lebensmittel aus Pilzen: z.B. Ketone und Lactone
 - Farbstoffe für Lebensmittel: z.B. roter Farbstoff aus dem Pilz *Monascus purpureus* (Ersatz von Nitrat und Nitrit in Fleischwaren)
 - Fermentierte Lebensmittel: Tempeh, Miso, Sojasauce (durch verschiedene Schimmelpilze fermentierte Sojaprodukte)
- c) Biomasseproduktion aus Rest- und Abfallstoffen:
- Abbau von Laub, Stroh, Sägemehl und Verarbeitungsrückständen der Lebensmittel-, Textil- und Papierindustrie durch Weißfäulepilze, die als einzige nutzbare Organismen Lignin abbauen können

- Abbau von Holz in Süd-Chile durch den Weißfäulepilz *Ganoderma applanatum*
 - (flacher Lackporling) zu einer elastischen und faserigen Masse (= «Palo podrido» = verfaultes Holz), als Viehfutter verwertbar
- d) *Lösliche und immobilisierte Enzyme zur Herstellung von:*
- Stärkesirup mit α -Amylase, Käse mit mikrobiellem Lab, geklärte Fruchtsäfte und Most mit pectinolytischen Enzymen, u.a.
 - Invertzucker mit Invertase, Isomeratzucker (high corn fructose syrup) mit Glucoseisomerase, u.a.

2. Chemische Industrie

- a) *Organische Säuren:*
Citronen-, Essig-, Milch-, Gluconsäure
- b) *Organische Lösungsmittel:*
Ethanol durch *Saccaromyces*-Hefen und durch Bakterium *Zymomonas mobilis*
- c) *Aminosäuren:*
z.B. Na-Glutamat, Lysin, Tryptophan (Supplementierung von Lebens- und Futtermitteln)
- d) *Enzyme:*
z.B. Amylase, Glucosidomerase, Proteasen, Lipasen
- e) *Sekundäre Stoffwechselprodukte aus Pflanzenzellkulturen:*
- Arzneimittel, Vorstufen zu Arzneimitteln: z.B. Chinin, Chinidin, Atropin, Hyoscyamin, Scopolamin, Codein
- Farb-, Geruchs- und Aromastoffe
- Bioinsektizide
- f) *Mikrobielle Erzlaugung (Leaching), Metallrückgewinnung:*
aus Haldenrückständen und Armerzen, z.B. Eisen, Kupfer durch *Thiobacillus ferrooxidans* und *Th. thiooxidans*, Uran durch Pilz *Rhizopus arrhizus*

3. Gesundheit/Medizin (*: im klinischen Test)

a) Klassische Impfstoffe:

Lebendimpfstoffe, z.B. gegen Masern, Mumps, Röteln, Gelbfieber; Totimpfstoffe z.B. gegen Poliomyelitis, Cholera, Tollwut, Typhus; Toxoidimpfstoffe z.B. gegen Tetanus, Diphtherie

b) Rekombinante Proteine als

1. *Impfstoffe* gegen z.B. Hepatitis-B, Keuchhusten, Malaria*, Herpes simplex*, Influenza*, Cholera*, Typhus*, Gonorrhoe*
2. *Wachstumsfaktoren* wie Erythropoietin (EPO, bei Anämie), epidermaler Wachstumsfaktor* (EGF, bei Verbrennungen, Wundheilung), Fibroblasten-Wachstumsfaktor* (FGF, bei Gewebeschädigungen)
3. *Immunomodulatoren* wie Interferon- α (bei z.B. malignes Melanom, Genitalherpes), Interferon- γ (bei z.B. Hautkrebs, Nierenzellkarzinom), Interleukin 2 (bei z.B. Virusinfektion, rheumatoide Arthritis), Tumornekrosefaktor α * (TNF α , bei Krebs, Virusinfektion)
4. *Hormone* wie humanes Insulin (bei Diabetes), humanes Wachstumshormon (hGH), Calcitonin* (bei Osteoporose)
5. *Blutproteine* wie Pro-Urokinase (PUK, bei Herzinfarkt, Thrombosen), Humange-webe-Plasminogen-Aktivator* (rt-PA, bei Thrombosen), Faktor VII und Faktor VIII (bei Hämophilie)

c) Antibiotika wie Penicillin, Streptomycin, Tetracyclin, Rifamycine, Erythromycin, Griseofulvin, Bacitracin, Cephalosporine

d) Mutterkornalkaloide als Arzneistoffe in Gynäkologie, innerer Medizin und Neurologie; z.B.: Ergopeptine, Clavin-Alkaloide

e) Vitamine wie Vitamin B₁₂, Riboflavin (B₂), Ergocalciferol (D₂), Ascorbinsäure (C)

f) Enzyminhibitoren wie Protease-Inhibitoren (z.B. Leupeptin als Entzündungshemmer), spezifische Inhibitoren (z.B. Mevinolin bei Hypercholesterolämie), Glycosidhydrolasen-Inhibitoren (z.B. α -Glucosidase-Inhibitor bei intestinalen Kohlenhydrat-Stoffwechselstörungen)

g) *Biotransformationen* z.B. Steroide (19--Norsterioide als Kontrazeptiva, Cortison gegen rheumatische Erkrankungen, u.a.)

h) *Diagnostika* wie enzymatische Tests auf z.B. Zucker, Proteine; DNA-Sonden (PCR-Test für HIV); Antikörper-Tests auf Krankheitserreger; Gendiagnose (z.B. Bluterkrankheit, Mukoviszidose, Muskelschwund, Thalassämie); monoklonale Antikörper bei Schwangerschaftstests, Krebsfrüherkennung, Hepatitis-Diagnose

4. Land- und Forstwirtschaft (** : im Erforschungs- stadium)

a) *Wachstumsregulatoren* für höhere Pflanzen wie Gibberelline, Zytokinine, Auxine, Radiclonsäure

b) *Biologische Pflanzenschutzmittel* (Biopestizide) wie Bakterien (z.B. *Bacillus moritai*, β -Exotoxin und δ -Endotoxin aus *Bacillus thuringiensis*); Pilze (z.B. *Beauveria bassiana* gegen Mais- und Kartoffelkäfer); Biofungizide wie Blasticidin S aus *Streptomyces chromogenes*, Kasugamycin aus *Str. kasugaensis*, Polyoxine aus *Str. cacaui*, im Reisanbau eingesetzt; Insektenviren (z.B. Kern-Polyederviren *Baculovirus heliothis* gegen Schmetterlingsraupen)

c) *Stickstoff-Fixierung* z.B. durch Gründüngung, Rhizobien-Inokulationserde, mikrobielle Ammoniakproduktion mit immobilisierten Zellen, nif-Gentransfer in Zellen von Kulturpflanzen**, neue Symbiose/Assoziationen**

d) *Verwertung landwirtschaftlicher Abfallprodukte* z.B. durch mikrobielle Gewinnung von Futter- und Düngemitteln, Kompostierungsverfahren, Autoxidationsverfahren, Biogasgewinnung

e) *Konservierung von Futtermitteln* z.B. Silage durch Milchsäuregärung

f) *Pflanzenzuchtverfahren ohne Gentechnik* durch Protoplastenfusion verschiedener Arten**, Zell-, Gewebe- und Organkulturen

4. Land- und Forstwirtschaft (** : im Erforschungs- stadium)

- g) *Pflanzen mit neu kombinierten Eigenschaften***
(*Agrobacterium tumefaciens* als ‹Genfahre› mit Ti-Plasmid als Vektor).
Z.B. Resistenzgene gegen Pilze, Viren; salz- und hitzetolerantere Pflanzen, Pflanzen mit höheren Erträgen oder anderem Nährstoffmuster
- h) *Tiergesundheit und Tierzucht*
Antibiotika, Hormone, Impfstoffe, Futterzusatzstoffe wie Vitamine und essentielle Aminosäuren
Reproduktionstechnologien (z.B. künstliche Besamung, Embryonentransfer)

5. Umweltbiotechnologie

Im Vordergrund steht hier nicht die Gewinnung erwünschter Produkte, sondern der *Abbau von Abfall- und Gifstoffen* zu ungefährlichen oder wertvollen und nutzbaren Substanzen.

- a) *Biogasgewinnung*: Methan aus Klärschlamm, Tierkot, Stroh, Abwässern und Mülldeponien mit Hilfe der Methanbakterien (Archaeobakterien)
- b) *Proteingewinnung aus Kunststoffabfällen*: Polystyrol in Essigsäuremethylester als Nährsubstrat für Schilf (*Phragmites communis*), Hefe *Candida ingens* wandelt durch anaerobe Fermentation Schilfbiomasse in proteinreiche Biomasse um
- c) *Abbau von Schadstoffen* z.B. Organochlorverbindungen wie DDT, Lindan, ‹Seveso-Dioxin› durch Weißfäulepilz *Phanerochaete chrysosporium*
- d) *Abbau von Ölverunreinigungen* (z.B. von polyzyklischen Aromaten) im Erdboden durch adaptierte Bakterien oder durch Weißfäulepilz-Stroh-Substrat
- e) *Biologische Abluftfilter* für Abluft aus landwirtschaftlichen Prozessen (Tierhaltung und Tierkörperverwertung) mit Bodenfilter und/oder Belebtschlammverfahren, industrielle Prozesse/Gießerei mit Belebtschlammverfahren (mit Tauchstrahlreaktoren) und chemische Industrie mit ‹Biowäscher› (Festbett-Reaktoren und Sand-Filter)
- f) *Abfallbeseitigung* durch Kompostierung fester Abfallstoffe

- g) *Abwasserreinigung* in Kläranlagen (aerobe und anaerobe Verfahren, Biohoch-Reaktor)
- h) *Entschwefelung* von Kohle und Erdöl durch *Thiobacillus ferrooxidans*, *Sulfolobus spec.*
- i) *Biosorption*: Schwermetallelimination durch Algen-, Hefe- und Bakterienkulturen, z.B. Industrieabwässer und Klärschlämme mit Cd, Pb, Cu, Ni, Hg
- k) *Biokunststoffe (Bioplaste)*: Gewinnung von abbaubaren Biopolymeren als Kunststoffersatz, z.B. Polyhydroxybutyrat (PHB) aus *Alcaligenes eutrophus* und Pullulan (Glucose-Polysaccharid) aus dem Pilz *Pullularia pullulans*.
- l) *Biomonitoren*: Mikroorganismen als Umwelt-Biomonitoren, z.B. *Flechten* für Luftverschmutzung, *Acetobacter* für Bodenfruchtbarkeit

6. Nachwachsende Rohstoffe und Energieträger

Als Ergänzung zur Petrochemie, vorwiegend basierend auf den fossilen Rohstoffen Erdöl und Erdgas, und zur langfristigen Substitution petrostämmiger Produkte müssen *erneuerbare Rohstoffe* herangezogen werden: pflanzliche Biomasse als «nachwachsende Rohstoffe».

Beispiele: – Pflanzenöle/Pflanzenfette aus Nüssen, Sonnenblumenkernen: enthalten Fettsäuren, Glycerin, Fettsäureester und Fettsäureamide; Verwendung: Tenside, Weichmacher, Kosmetika, Kunststoffe

– Cellulose in Holz enthält Celluloseester und Regeneratcellulose für Verpackungsfolien, Kunstfasern, Lackrohstoffe

– spezielle Polysaccharide aus Pflanzensamen enthalten Ester und andere Derivate für Fällungs- und Flockungsmittel

– Mono- und Oligosaccharide aus z.B. Zuckerrohr/Zuckerrübe enthalten vielfältige chemische Stoffe für neuartige Tenside und Kunststoffe

– Pflanzenharze/ätherische Öle aus Holz und Zitrusfrüchten enthalten Terpene und Derivate für Lösemittel, Riech- und Aromastoffe

– Latex vom Gummibaum enthält Gummi für Gummiprodukte (z.B. Autoreifen)

Contra-Argumente	Pro-Argumente
<ul style="list-style-type: none"> - Umweltschützer: weltweite ökologische Katastrophe durch gefährliche rekombinante DNA bzw. transgene Organismen - Bauern: weitere Spezialisierung und Leistungssteigerung der Betriebe und damit Sterben kleiner und mittlerer Betriebe - Tierschützer: gegen rein «mechanische» Betrachtung der Tiere (reine Produktionsmaschinen) und gegen höheren physiologischen Stress (Hormonbehandlung zur Leistungssteigerung) - Friedensbewegung: gegen Nutzen gentechnisch veränderter Bakterien zur Herstellung chemischer Kampfstoffe - Frauenbewegungen: gegen Mißbrauch im Fortpflanzungsbereich - Technologiekritiker: prinzipielle Ablehnung des «Bastelns an Genen»; Vergleich des «Hantierens mit dem Zellkern» mit der Spaltung des Atomkerns und seiner negativen Folgen 	<ul style="list-style-type: none"> - Große Fortschritte in Ernährung, Gesundheit, Umwelt sowie wirtschaftlicher Erfolg - Zukunftshoffnungen: Pflanzen mit verbesserten Stoffwechselleistungen, sich selbst düngende Pflanzen, Erhöhung der Leistungsfähigkeit existierender Symbiosen zwischen Nutzpflanzen und Stickstofffixierenden Mikroorganismen, Erzeugung von Resistenzeigenschaften, u.v.m. - Mensch: neuartige Impfstoffe gegen z.B. Hepatitis B, neuartige Diagnostika (z.B. monoklonale Antikörper), Diagnose und evtl. Heilung von Erbkrankheiten (somatische Gentherapie), gentechnisch entwickelte Therapeutika wie z.B. Humaninsulin, Interferon, Blutgerinnungsfaktor VIII

-
- Züchtung und Vertrieb von Kulturpflanzen samt angepaßter Düngung und Pflanzenschutzmitteln
 - Erweiterte Möglichkeiten der biologischen Kriegsführung
 - Biotechnische Beseitigung von Problemabfall (z.B. Bakterien gegen polychlorierte Kohlenwasserstoffe): fördert weiteres kritikloses Konsumverhalten
 - Freisetzungsproblematik genetisch veränderter Mikroorganismen (z.B. «Eis-Minus-Bakterien» *Pseudomonas syringae*) oder Schädlingsbekämpfung mit *Pseudomonas Fluorescens* (mit *Bacillus thuringiensis*-Gen für Toxinbildung, aber im Gegensatz zu *Bacillus thuringiensis* ist *Pseudomonas* überlebensfähig in der Natur)
 - Herbizidresistente Pflanzen bedrohen «Restfauna und Flora» und begünstigen Konglomerate von Pflanzenzüchtern, Saatgutfirmen und Chemiekonzernen
 - Industriepflanzen für nachwachsende Rohstoffe begünstigen Monokulturen, Chemieinsatz und Konkurrenz mit Nahrungspflanzen
 - Arzneimittel aus pflanzlichen Zellkulturen lassen Markt in tropischen Ländern zusammenbrechen
 - Wirtschaftliche Probleme für Drittwelt-Länder
 - Pharmaka zur Beeinflussung von Geistes- und Verhaltensstörungen
 - Neue Techniken der Tierzucht fördern Zerstörung der biologischen Integrität des Tieres (z.B. Hochleistungsmilchvieh, rekombinante Lebewesen) und fördern weitere Konzentrierung der Landwirtschaft
 - Einstellungstests für Arbeitnehmer, z.B. Diagnose allergischer Anfälligkeit am Arbeitsplatz
 - DNA-Fingerabdruckmethode und juristische Auswirkungen
 - Biotechnisch erzeugtes menschliches Wachstumshormon
 - Analyse des gesamten menschlichen Genoms (Projekt HUGO)
 - Reproduktionstechnische Eingriffe zur Behandlung der Unfruchtbarkeit
 - Frühdiagnose z.B. der Phenylketonurie, der Huntington-Chorea-Krankheit
 - Neue diagnostische und therapeutische Maßnahmen gekoppelt mit Reproduktionstechniken könnten eine «neue Eugenik» fördern (negative Eugenik durch pränatale Diagnose und Schwangerschaftsunterbrechung; positive Eugenik bei künstlicher Inseminierung und In-vitro-Fertilisation [IVF])
 - Gefahr des Mißbrauchs der Reproduktionstechniken (z.B. «billige» ausländische Leihmütter)
 - Somatische Gentherapie und Keimbahntherapie

Aneignung biologischer Grundlagen und ihrer Anwendung zur Entwicklung eines elementaren Verständnisses der Schüler in Biotechnologie

Tab. 10

konventionelles Thema	biologische Objekte	biologische Prozesse	biotechnologische Anwendungen
Beziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt	Mikroorganismen	enzymatischer Abbau organischer Stoffe zu anorganischen Stoffen, Umwandlung von Energie Enzyme als biologische Katalysatoren	Abbau von Schadstoffen, Müllkompostierung, Aufbereitung von Müll Einsatz von Enzymen zum Abbau organischer Stoffe in Klärschlamm zu Faulschlamm in kürzeren Zeiträumen
Vererbung	pflanzliche Zellen und Gewebe, Teile von Pflanzen (z. B. Ableger)	Weitergabe der Gene von Mutterzelle zu Tochterzellen durch Zellteilung von Körperzellen bei Wachstum und Entwicklung und an die Nachkommen bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung	Erzeugung von Biogas aus Gülle und in Faultürmen von Kläranlagen Produktion vieler Nachkommen mit gleichen Genen – Klonierung, Zell- und Gewebekulturen

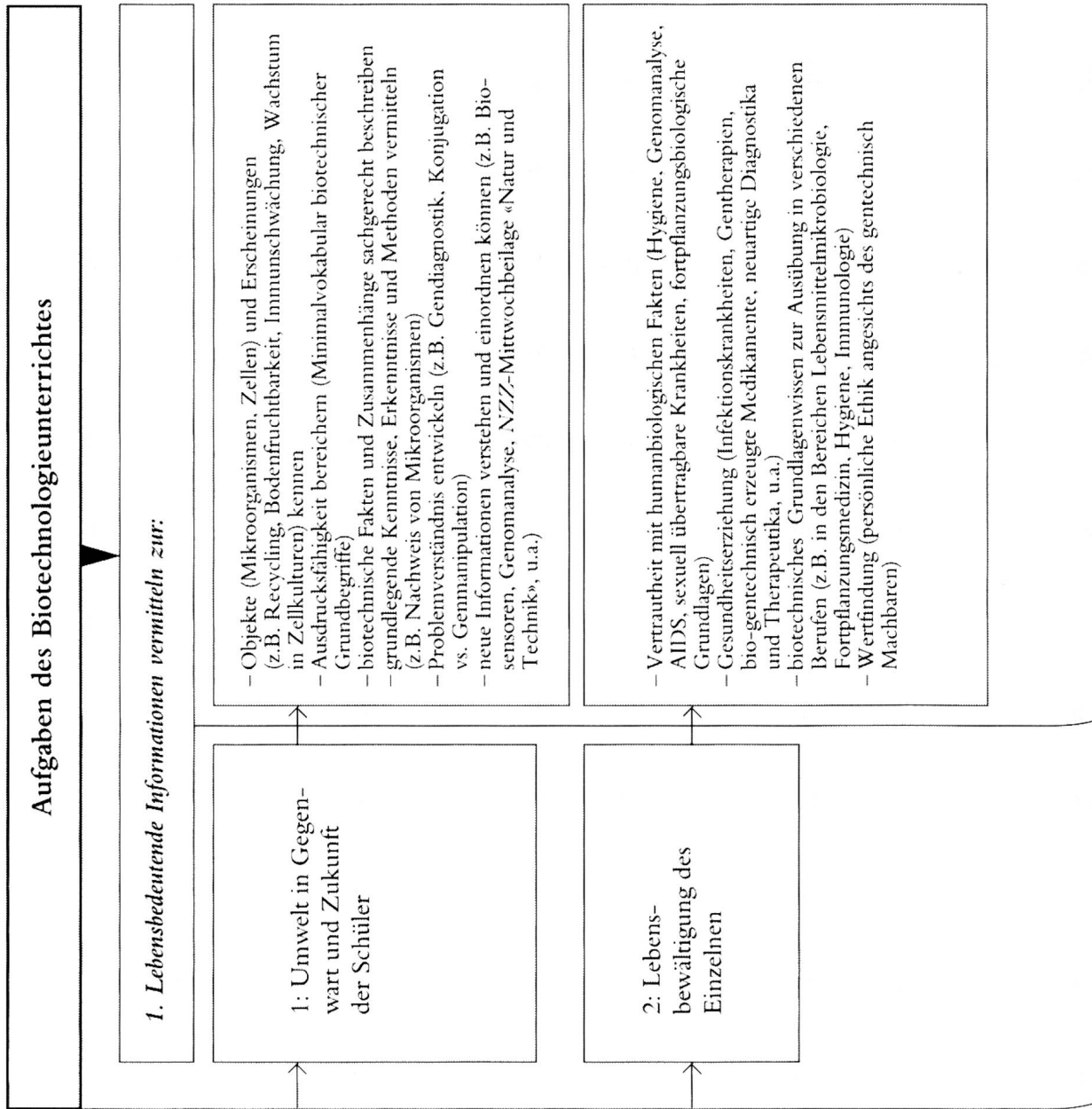
	DNS-Abschnitte aus lebenden Zellen (z.B. Säuger)	Bildung von Eiweißen, Eiweiße als Merkmale oder als Grundlage für die Ausbildung von Merkmalen, Merkmalsausbildung	gezielte Veränderung oder Übertragung von Genen durch Gentechnik z. B. massenhafte Vermehrung von Bakterien zur Produktion von Insulin
Pilze	Schimmelpilze	Umwandlung von Stoffen	Herstellung von Nahrungsmitteln (z. B. Käse, Joghurt)
		Bildung körpereigener Stoffe, die Wachstum anderer Mikroorganismen beeinträchtigen	Herstellung von Antibiotika
	Hefepilze	Umwandlung von Stoffen	Herstellung von Hefengebäck, Bier, Wein
			Produktion von Futter- und Bäckerhefe

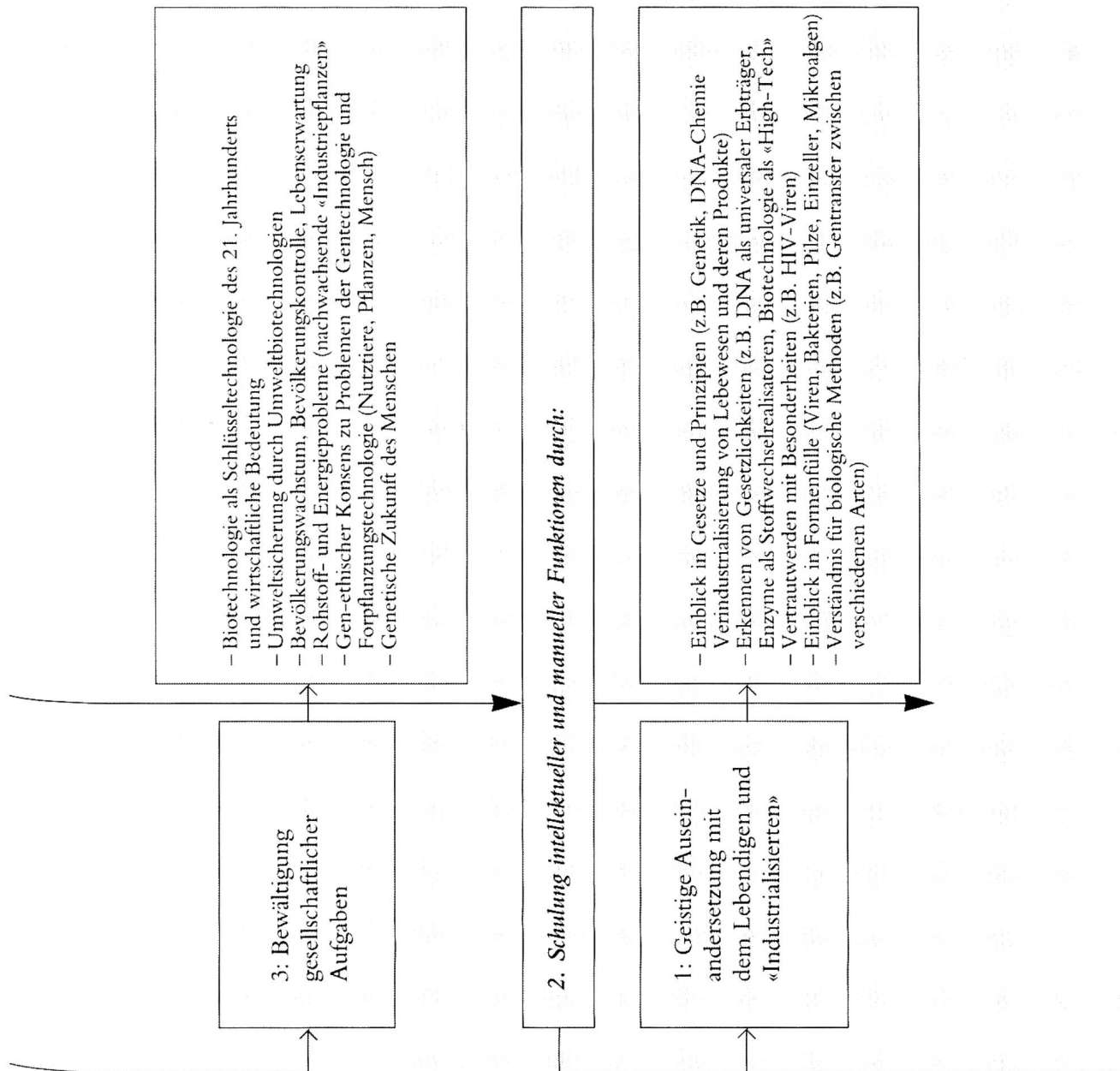
Aneignung biologischer Grundlagen und ihrer Anwendung zur Entwicklung eines elementaren Verständnisses der Schüler in Biotechnologie

*Tab. 10
(Fortsetzung)*

konventionelles Thema	biologische Objekte	biologische Prozesse	biotechnologische Anwendungen
Bakterien/ Blaualgen	Bakterien	Umwandlung von Stoffen	Müllkompostierung Gülleaufbereitung Biogas
Algen, Moos-, Farn- pflanzen	einzellige Algen	Substanzzunahme durch Bildung von körpereigenen Stoffen (Biomasse)	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln
Systematisierung	Bakterien	Umwandlung organischer in anorganische Stoffe	Gewinnung von Futtermitteln
Mensch	weiße Blutkörperchen (Lymphzellen)	Bildung körpereigener Stoffe zur Abwehr von Krankheitserregern	Nutzung als Zersetzer organischer Stoffe in biotechnologischen Verfahren
			Herstellung von Antikörpern durch immunotechnische Verfahren

Pflanzen und ihre Lebenserscheinungen	Bakterien	Bildung von bakterienfremden Stoffen (z. B. Insulin)	biotechnische Herstellung von Insulin und Wachstumshormonen
	Mikroorganismen	enzymgesteuerter Abbau organischer Stoffe, Umwandlung von Energie durch Gärung bzw. Atmung	Herstellung von alkoholischen Getränken, von Eiweißen als Futtermittel; Nutzung zur Abwasserreinigung und zur Gewinnung von Biogas
	pflanzliche Zellen und Gewebe	ungeschlechtliche Fortpflanzung durch Zellteilung	Zell- und Gewebekulturen als Grundlage für Produktion von Pflanzen
			chem.-techn. Synthese von Pflanzenhormonen und Einsatz als Herbizide





*Sachlich orientierte Ziele, verfahrensorientierte Zielsetzungen und Verhaltensziele
des Biotechnologie-Unterrichts*

Tab. 11
(Fortsetzung)

