Prof. Dr. Arnim von Gleich, Prof. Dr. Lothar Horst Grimme

Sanfte Biotechnik für die Region Bremen

Schriftenreihe des IÖW 76/94

i | ö | w
INSTITUT FÜR
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Schriftenreihe des IÖW 76/94

Prof. Dr. Arnim von Gleich/Prof. Dr. Lothar Horst Grimme

Sanfte Biotechnik für die Region Bremen

Eine Studie im Rahmen des Programms 'Arbeit und Umwelt'

des Senats der Freien Hansestadt Bremen

Berlin 1994

ISBN 3-926930-70-5

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung 1

A. Einleitung 3

I. Technologiepolitischer Ansatz 4
II. Umweltpolitischer Ansatz 6
III. Strukturpolitischer Ansatz und Leitvorstellungen 8

B. Technologieanalyse 13

I. Das Technologiefeld Biotechnik - Abgrenzung und Anwendungsgebiete 13

1. Wissensbasis und Objektbereich 13
   1.1 'Klassische', 'moderne' und 'neue' Biotechnologie 13
   1.2 Definitionen und Objektbereich 18
   1.3 Klassifikationsprinzipien 21
2. Biotechnik als technische Nutzung organismischer Leistungen 23
   2.1 Die Nutzung der Stoffwechselleistungen von Organismen 23
      2.1.1 Die Nutzung der Syntheseleistung der Pflanzen - eine Alternative zur Chemischen Industrie? 24
      2.1.2 Nachwachsende Rohstoffe? 32
      2.1.3 Die Nutzung mikrobieller Stoffwechselleistungen 36
      2.1.4 Produktionswerte der 'klassischen', der 'modernen' und der 'neuen' Biotechnologie 38
   2.2 Die Nutzung der Sensibilität und Interaktionsfähigkeit von Organismen und deren Bestandteilen/Analytik 43
3. Biotechniken als Formen des Umgangs mit Organismen und deren Bestandteilen 46
   3.1 Sammeln/ Jagen/ Screening 46
   3.2 Spontanfermentation/ Kompostierung/ Abwasserreinigung 47
   3.3 Kultivierung 48
      3.3.1 Land-, Forst-, Teich- und Meereswirtschaft 48
      3.3.2 Fermentationstechnik und mikrobielle Stoffumwandlung 48
      3.3.3 Zellkulturtechnik 50
   3.4 Züchtung und Vermehrung 51
   3.5 Enzymtechnik 54
   3.6 Gentechnik 57
4. Haupteinsatzgebiete der 'modernen' und 'neuen' Biotechnologien 57
   4.1 Verfahren und Produkte der pharmazeutische Industrie und Medizin 57
   4.2 Verfahren und Produkte in der Landwirtschaft 58
      4.2.1 Tierproduktion 58
      4.2.2 Pflanzenproduktion 59
   4.3 Verfahren und Produkte der Lebensmittelverarbeitung 60
   4.4 Chemie und Grundstoffindustrie 62
   4.5 Umwelttechnik 62
5. Zur Reichweite gentechnischer Möglichkeiten 62

II. Ansätze einer vergleichenden Bewertung biologischer Techniken 66

1. Probleme und Risiken der Gen- und harten Biotechniken 66
2. Kriterien der Technikbewertung und Technikwahl 69
   2.1 Werkzeugcharakter 73
   2.2 Eingriffstiefe 74
   2.3 Mitproduktivität 76
3. Elemente dreier konkurrierender biotechnischer Entwicklungspfade 78

III. Exemplarische Vertiefung: Die Produktlinie Nahrungs- und Genußmittel ..83
1. Zur Unhintergehbarkeit 'industrieller' Nahrungsmittelproduktion und -verarbeitung ..83
1.1 Primärproduktion ..83
1.2 Nahrungsmittelverarbeitung ..85
2. Kriterien der Technikbewertung für die Produktlinie Nahrungs- und Genußmittel ..88
3. (Bio-)Technologien der Produktlinie Nahrungs- und Genußmittel ..91

C. Regionalanalyse der Untersuchungsregion Bremen ..97

I. Strukturpolitische Regionalanalyse am Beispiel des Verbrauchsgüter- und Nahrungs- und Genußmittelgewerbes ..104
1. Strukturpolitische Risiken ..105
2. Strukturpolitische Chancen ..110
3. Elemente eines eigenständigen Zukunftsentwurfs ..112

II. Umweltorientierte Regionalanalyse: das Beispiel Gewerbemüll ..116
1. Biologische Abfälle und ihre Verwertung ..118
2. Chemische und Sonderabfälle und ihre Vermeidung ..121

III. Technologieorientierte Regionalanalyse: 'Moderne' und 'neue' Biotechnologien in der Region Bremen ..124

IV. Stofflich-technisch orientierte Regionalanalyse einzelner Branchen ..135
1. Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei ..135
1.1 Struktur und sozioökonomische Bedeutung ..135
1.2 Ökologische und biotechnologische Möglichkeiten ..136
2. Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe ..137
2.1 Das Grundstoff- und Produktionsgütergewerbe ..137
2.1.1 Die Chemische Industrie ..137
2.1.1.1 Struktur und sozioökonomische Bedeutung ..137
2.1.1.2 Ökologische und biotechnologische Möglichkeiten ..138
2.1.2 Das holzbearbeitende Gewerbe ..139
2.1.2.1 Struktur und sozioökonomische Bedeutung ..139
2.1.2.2 Ökologische und biotechnologische Möglichkeiten ..140
2.2 Das Investitionsgütergewerbe ..141
2.2.1 Struktur und sozioökonomische Bedeutung ..141
2.2.2 Ökologische und biotechnologische Möglichkeiten ..141
2.3 Das Verbrauchsgüter produzierende Gewerbe ..142
2.3.1 Das holzverarbeitende Gewerbe ..143
2.3.2 Das Textilgewerbe ..143
2.3.2.1 Struktur und sozioökonomische Bedeutung ..143
2.3.2.2 Ökologische und biotechnologische Möglichkeiten ..144
2.3.3 Das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe ..145
2.3.3.1 Struktur und sozioökonomische Bedeutung ..145
2.3.3.2 Ökologische und biotechnologische Möglichkeiten ..148

D. Empfehlungen ..151

I. Strukturpolitische Konsequenzen ..151
II. Umweltpolitische Konsequenzen ..151
III. Technologiepolitische Konsequenzen ..152

E. Literatur ..155

Verzeichnis der Abbildungen

1. Nutzung und Zusammensetzung pflanzlicher Biomasse ... 24
2. Erzeugung und Verwendung von Stärke (Welt) 1981/82 ... 28
3. Anwendungen von Stärke ... 28
4. Erzeugung und Verwendung von Zucker (EG) 1984/85 ... 29
5. Anwendungen von Chemiezucker (EG) 1984/85 ... 29
6. Erzeugung und Verwendung von Zellstoff (Welt) 1983 ... 30
7. Chemisch-technische Anwendungen von Cellulose ... 30
8. Erzeugung und Verwendung von Ölen/Fetten (Westeuropa) 1982 ... 31
9. Anwendung von Ölen/Fetten ... 31
10. Nutzbare Produkte aus Mikroorganismen ... 37
11. Wert/Mengen-Verhältnis einiger Bioprodukte ... 38
12. Herstellung monoklonaler Antikörper ... 44
13. Meßprinzipien eines Biosensors ... 45
14. Grundsätzlicher Ablauf vieler biotechnologischer Fermentationsverfahren ... 50
15. Steps in Bioprocessing ... 49
16. Möglichkeiten der Pflanzenzüchtung mit Hilfe moderner Biotechniken ... 53
17. Einsatzbereiche von Mikroorganismen und Enzymen ... 55
18. Werte im technischen Wandel ... 69
19. Rapide Deindustrialisierung? Beschäftigtenentwicklung im Verarbeitenden Gewerbe Bremen/Bund 1980-1988 ... 104
20. Beschäftigtenentwicklung in Branchen des Verarbeitenden Gewerbes im Lande Bremen 1980-1987 ... 105
21. Exportanteile wichtiger Wirtschaftsbereiche des Verarbeitenden Gewerbes im Lande Bremen 1981-1985 ... 107
22. Beschäftigtenentwicklung im Dienstleistungsgewerbe, Stadt Bremen/Bremerhaven/Bund 1974-1987 ... 107
23. Branchenstruktur des Verarbeitenden Gewerbes im Bundesgebiet 1987 ... 108
24. Branchenstruktur des Verarbeitenden Gewerbes im Lande Bremen 1987 ... 109
25. Abfallgruppen des Produzierenden Gewerbes im Lande Bremen 1984 ... 117
26. Abfälle des Produzierenden Gewerbes im Lande Bremen 1984 nach Beseitigungsarten ... 117
27. Abfälle des Produzierenden Gewerbes im Lande Bremen 1984 nach Branchengruppen und Beseitigungsarten ... 118
28. Reststoffe und Nebenprodukte bei der Erzeugung, Aufbereitung und Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte ... 119
29. Biotechnische Verfahren zur Gewinnung von Wertstoffen aus biogenen Reststoffen und Nebenprodukten ... 120
30. Chemische Abfälle des Produzierenden Gewerbes im Lande Bremen 1984 ... 122
31. Sonderabfälle des Produzierenden Gewerbes im Lande Bremen 1984 ... 123
32. 'Moderne' und 'neue' Biotechnologie nach Bundesländern; Zahl der Firmen nach Produktionstyp ... 128
33. Anteil der Erwerbstätigen in Land- und Forstwirtschaft, Fischerei (VZ 1987) ... 135
34. Beschäftigtenentwicklung im Nahrungs- und Genußmittelgewerbe im Lande Bremen ... 146
35. Index der industriellen Nettoproduktion im Nahrungs- und Genußmittelgewerbe im Lande Bremen und im Bundesgebiet ... 146

Verzeichnis der Tabellen

1. Daten zur geschichtlichen Entwicklung der Biotechnik ... 14
2. Neueinführung von Fermentations-Produkten nach 1940 ... 16
3. Periodisierung der Geschichte der Biotechnologie ... 17
4. Produktionsmengen organischer und mineralischer Grundstoffe im Vergleich zur Getreide- und Zuckerproduktion in der BRD 1986 ... 26
5. Produktionsmengen einiger Grundstoffe und Produkte der Chemischen Industrie in der BRD 1986 ... 27
6. Menge und Wert einiger fermentativ erzeugter Lebensmittel ... 36
7. Produktionsmengen von Fermentationsprodukten (Westeuropa/Welt) 1985 ... 37
8. Industrielle Nutzung biotechnischer Verfahren und ihr Weltmarktwert ... 40
9. Weltumsatz mit den wichtigsten Produkten der Biotechnologie im Jahre 1983 ... 40
10. Weltmärkte für die wichtigsten Produkte der Biotechnologie 1981 ... 41
11. Produktionswert von Produkten, die bereits teilweise oder vollständig biotechnologisch hergestellt werden könnten (BRD 1985) ... 41
12. Prognostizierte Weltmarktentwicklung neuer biotechnologischer Produkte ... 42
13. Geschätzte Entwicklung des Weltmarktes für Produkte der Gentechnik 1985-2000 ... 42
14. Allgemeine Prognose für Biotech-Produkte, neue Produkte plus substituierende Produkte, Weltmarkt in Mrd. $ ... 42
15. Wichtige industrielle Enzyme und ihre Anwendungen ... 56
16. Pflanzenarten, die mit Methoden der 'modernen' und 'neuen' Biotechnologie bearbeitet werden ... 59
17. Technikbewertungskriterien des VDI ... 70
18. Die Ordnung unserer Nahrung nach Kollath ... 90
19. Kriterien zur Bewertung von Techniken in der Produktlinie Nahrungs- und Genußmittel ... 91
20. Größte Wirtschaftszweige in den niedersächsischen Kreisen der Untersuchungsregion ... 102
21. Beschäftigtenanteile im Dienstleistungsbereich (AZ-Gliederung) Bremen/Umland/Bund 1987 ... 103
22. Umsätze, Betriebe und Beschäftigte in den Hauptgruppen des Verarbeitenden Gewerbes Land Bremen/Region Bremen/Bund 1987 ... 109
23. 'Moderne' und 'neue' Biotechnologien in Unternehmen und Forschungseinrichtungen der Region Bremen ... 125
24. Für 'moderne' und 'neue' Biotechnologien relevante Forschungseinrichtungen in der Region Bremen ... 127
25. Biotechnologiefirmen nach Tätigkeitsschwerpunkten (Anteile nach Bundesländern, in %) ... 128
26. Stärken und Schwächen der Bundesländer in einzelnen Biotechnologiebereichen ... 129
27. Das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe im Lande Bremen 1987 (Arbeitsstättenzählung) ... 145

Verzeichnis der Karten

1. Region der gemeinsamen Landesplanung Bremen-Niedersachsen 98
2. Herkunft niedersächsischer Studenten an der Universität Bremen 99
3. Die Untersuchungsregion Bremen 100
4. Zahl der Unternehmen und Forschungseinrichtungen der 'modernen' und 'neuen' Biotechnologie, bezogen auf die Gesamtbeschäftigtenzahl in den Kreisen der BRD 131
5. Zahl der Produktionsunternehmen im Bereich der 'modernen' und 'neuen' Biotechnologie, bezogen auf die Gesamtbeschäftigtenzahl in den Kreisen der BRD 132
6. Unternehmen mit 'moderner' biotechnischer Produktion in den Kreisen der BRD 133

Verzeichnis der Schemata

1. Kriterien der vergleichenden Technikbewertung 72
2. Biotechniken gruppiert nach der Eingriffstiefe 80

Vorbemerkung

Die hiermit vorgelegte Veröffentlichung 'Sanfte Biotechnik für die Region Bremen' beruht auf einer Studie für ein mehrstufig angelegtes interdisziplinäres Forschungs- und Entwicklungsprojekt im Rahmen des Programms 'Arbeit und Umwelt' des Senats der Freien Hansestadt Bremen. Sie wurde im Mai 1991 abgeschlossen. Aufgrund des exemplarischen Charakters der Arbeit, die auf der Basis einer Technologieanalyse der Bio-Technik und einer Regionalanalyse des Bremer Wirtschaftsraumes erste Empfehlungen für die Strukturpolitik, die Umweltpolitik und die Technologiepolitik entwickelt, hat sich das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) entschlossen, diese der Öffentlichkeit in einer leicht überarbeiteten Fassung zugänglich zu machen.

Die Studie ist folgendermaßen aufgebaut: In der Einleitung werden der Ansatz und die Ziele des Gesamtprojekts präzisiert und differenziert.

Im technologieanalytischen Teil wird nach einer Definition und Abgrenzung ein Überblick über das Feld der Biotechnologien, deren Anwendungsgebiete und technologisch-ökonomische Perspektiven gegeben. Es wird nach einem kurzen Überblick über die Diskussion zu den Problemen und Risiken der Gen- und harten Biotechniken ein Kriterienraster zur vergleichenden Technologiebewertung aufgestellt. Sodann werden die verschiedenen Biotechniken nach dem Kriterium der Eingriffstiefe in eher sanfte Biotechnologien, eine mittlere Gruppe und eher harte Biotechniken geordnet. Dieses Schema enthält damit die Kernelemente dreier konkurrierender biotechnischer Entwicklungspfade (sanfter Biotechnikpfad, mittlerer Biotechnikpfad, Gentechnikpfad). Die erarbeiteten Kriterien reichen aber für eine differenzierte Betrachtung einzelner Produktlinien noch nicht aus. Deshalb wird im Anschluß noch ein erster etwas genauerer Blick auf die Technologien und Verfahren der Produktlinie Nahrungs- und Genußmittel geworfen sowie auf weitere Kriterien zur Bewertung dieser Technologien.

Im regionalanalytischen Teil folgt zunächst eine Wirtschaftsstrukturanalyse der Untersuchungsregion auf deren Basis dann Überlegungen zur zukünftigen wirtschaftsstruktur- und umweltpolitischen Bedeutung des Verbrauchsgüter produzierenden Gewerbes und des in der Region besonders stark vertretenen Nahrungs- und Genußmittelgewerbes angestellt werden. Anschließend wird exemplarisch für die Umweltprobleme der Region die Struktur des bremischen Gewerbemülls untersucht, um darauf aufbauend Möglichkeiten zur Vermeidung von chemischen Sonderabfällen durch einen Umstieg auf naturnahe organogene Stoffe und Ansätze für eine bessere Verwertung der organischen Abfälle zu diskutieren.

Im dritten und vierten Abschnitt des regionalanalytischen Teils werden der derzeit erkennbare Stand der Region in Bezug auf die Einführung 'moderner' und 'neuer' Biotechnologien auch im Vergleich zu anderen Regionen der BRD dargestellt, und es werden die Branchen des verarbeitenden Gewerbes mit ihrer jeweiligen Binnenstruktur, ihrer ökonomischen Bedeutung sowie mit ihren relevanten Umweltproblemen und ökologisch-biotechnologischen Möglichkeiten angesprochen. Den Abschluß bilden Empfehlungen zur Umsetzung der bisher gewonnen Ergebnisse in den drei Politikfeldern Wirtschaftsstrukturpolitik, Umweltpolitik und Forschungs- und Technologiepolitik.

Die Studie umfaßt somit:

- einen systematischen Überblick über die wichtigsten praktizierten bzw. in Entwicklung befindlichen Biotechniken und ihre möglichen Einsatzbereiche;

- einen kursorischen Überblick über Risiken und Probleme, die mit den 'neuen' Biotechnologien, also mit den gentechnischen Verfahren verbunden sind;
- eine Darstellung der Kriterien, mit denen die verschiedenen Biotechnologien (bzw. biotechnischen Entwicklungspfade) vergleichend bewertet werden können;
- eine erste Gruppierung der verschiedenen Biotechniken nach dem Kriterium der „Eingriffstiefe";
- eine Skizze biologischer Techniken und Verfahren in der Lebensmittelproduktion und Lebensmittelverarbeitung;
- eine technologieorientierte Regionalanalyse, in der der erfaßbare Ist-Zustand bei der Einführung 'moderner' und 'neuer' Biotechnologien in der Region dargestellt wird, und mit der erste Hinweise auf mögliche regionale Anknüpfungspunkte für zukünftige biotechnologische Entwicklungen gegeben werden;
- eine im wesentlichen auf leicht zugänglichen statistischen Daten beruhende Analyse der Wirtschaftsstruktur Bremens unter besonderer Berücksichtigung des Naturprodukte verarbeitenden Gewerbes einschließlich erster Hinweise auf den Beitrag, den das Naturprodukte verarbeitende Gewerbe sowie eine stoffliche Konversion von chemisch synthetischen auf bio-organische Stoffe und Verfahren zur Lösung der Wirtschaftsstrukturprobleme der Region leisten können
- eine im wesentlichen auf leicht zugänglichen statistischen Daten beruhende Analyse der Umweltprobleme in der Region einschließlich erster Hinweise auf den möglichen Beitrag, den eine 'Biologisierung' der Produktion zu ihrer Überwindung leisten könnte mit Konzentration auf den Gewerbemüll;
- eine Zusammenstellung von Empfehlungen für die Umsetzung und Weiterarbeit.

Das dieser Veröffentlichung zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Senators für Bildung, Wissenschaft und Kunst der Freien Hansestadt Bremen gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

Rainer Lucas

IÖW Regionalbüro Nordrhein-Westfalen

Völklinger Str. 9

42285 WUPPERTAL

A. Einleitung

Ausgangspunkte für das Forschungs- und Entwicklungsprojekt 'Sanfte Biotechnik für die Region Bremen' sind gemäß der Ausrichtung des Programms 'Arbeit und Umwelt' sowohl die Umwelt- als auch die Wirtschaftsstrukturprobleme der Region Bremen und somit die Frage, ob und inwieweit eine gezielte Förderung der Biotechnologie zur Lösung der Umwelt- und Wirtschaftsstrukturprobleme der Region beitragen könnte. Da eine solche Frage aber nicht im Hinblick auf die Biotechnologie allgemein, sondern nur im Hinblick auf genauer bestimmbare Biotechniken in ihren spezifischen Einsatzbereichen diskutiert und in Ansätzen beantwortet werden kann, und da nicht zu Unrecht gerade die Gentechnik in der Öffentlichkeit sehr kritisch diskutiert wird, sollen insbesondere die Chancen der nicht auf Gentechnik beruhenden biotechnologischen Verfahren ausgelotet werden.

Im Zentrum der technologiepolitischen Überlegungen stehen somit einerseits die Chancen und Risiken, die voraussichtlich mit der Mobilisierung der technologischen Potentiale der Biotechnologie verbunden sein werden (technology push) und andererseits die spezifische Situation in der Bremer Region mit ihren Besonderheiten, Stärken, Schwächen und Bedürfnissen (demand pull).

Ziel des mit dieser Studie vorzubereitenden Gesamtprojekts ist es also - in einem integrierten Ansatz von regionaler Wirtschaftsstruktur-, Forschungs-, Technologie- und Umweltpolitik - einen Entwurf möglicher zukünftiger biotechnologischer Entwicklungspfade dieser Region für das kommende Jahrzehnt und darüber hinaus zu formulieren. Diese biotechnologischen Entwicklungspfade sollen mit Hilfe verallgemeinerbarer Kriterien bewertet und der regionalen Öffentlichkeit zur Diskussion und Entscheidung vorgelegt werden. Der Ansatz orientiert sich dabei am Vorbild der Energiepfade, wie sie erstmals vom Ökoinstitut Freiburg bzw. von der Enquête-Kommission 'Zukünftige Kernenergiepolitik' entwickelt wurden, und in deren Tradition auch die Arbeiten des 'Bremer Energiebeirats' stehen (vgl. Krause/Bossel/Müller-Reißmann 1980, Enquête-Kommission 1980)[1].

Das Gesamtprojekt, für das hier nur Vorarbeiten geleistet werden konnten, soll also mit seinen Ergebnissen auch einen Beitrag leisten zu der sich ohnehin schon intensivierenden Debatte über die Zukunft Bremens, („Bremen 2010").

Im Unterschied zur Energiedebatte stecken allerdings die Arbeiten über Entwicklungspfade im stofflich-biotechnischen Bereich noch völlig in den Anfängen. Hier muß noch Pionierarbeit geleistet werden. Die Chancen für die Erarbeitung solcher konkurrierender Entwicklungspfade sind im stofflich-biotechnischen Bereich trotzdem recht gut. Zumindestens bisher sind die 'neuen' Biotechnologien nämlich eher als Substitutionstechnologien zu charakterisieren, als Technologien, die schon eingeführte Produkte und Verfahren ersetzen sollen, und die - zumindest soweit das heute absehbar ist - nur ganz wenige völlig neue Leistungen und Produkte ermöglichen werden (vgl. Prognos 1990, S. 104).

---

1 Im damaligen Fall konnten zwei Kernenergiepfade sowie ein Pfad auf der Basis fossiler und ein Pfad auf der Basis regenerativer Energiequellen vorgestellt werden. Auf biotechnischem Gebiet wären ein bis zwei unterschiedlich weitgehende **harte** gentechnische Pfade möglich ('neue' Biotechnologie), ein Pfad auf der Basis wenig bis mittel eingriffstiefer 'moderner' Biotechnologien (Zellkultur- und Enzymtechnik, 'Nachwachsende Rohstoffe', Hochleistungszüchtungen bis hin zur Arbeit mit Organismen aus Extrembiotopen) und ein Pfad, bei dem auf 'klassische' und 'moderne' **sanfte** Biotechniken gesetzt wird. Die Abgrenzung zwischen 'klassischer', 'moderner' und 'neuer' Biotechnologie wird in Kapitel B I.1 und das Kriterium Eingriffstiefe als wesentliches Differenzierungs- und Abgrenzungskriterium zwischen 'harten' und 'sanften' Biotechniken wird in Kapitel B II.3 näher erläutert.

Zunächst sollen deshalb in dieser Einleitung technologie-, umwelt- und strukturpolitische Ansätze vorgestellt werden. Die Ergebnisse der Regionalanalyse und einige Ideen für mögliche Beiträge einer sanften Biotechnologie zur Lösung der Umwelt- und der Wirtschaftsstrukturprobleme der Region Bremen werden dagegen am Schluß dieses Berichts zusammengefaßt.

I. Technologiepolitischer Ansatz

Auf technologiepolitischem Gebiet werden im Kern drei grundlegende Thesen verfolgt:

These 1

Es gibt tatsächlich politische Einfluß- und sogar Wahlmöglichkeiten in der Technikentwicklung. Die Technikentwicklung vollzieht sich nicht (völlig) autonom.

These 2

Es lassen sich mindestens drei konkurrierende biotechnologische Entwicklungspfade für die Region Bremen entwerfen (ein harter, ein mittlerer und ein sanfter, vgl. Anm.1), wobei jeder Pfad für sich eine realisierbare, in der Summe der ökonomischen, ökologischen und sozialen Bewertungsmaßstäbe vergleichbare Perspektive für die Region darstellen soll.

These 3

Falls es stimmt, daß 'wissenschaftlich-technische Revolutionen' oder allgemeiner 'Phasen der Industrialisierung' einen (Haupt-)Ort haben - im deutschsprachigen Raum z.B. für die energetisch-schwerindustrielle Phase das Ruhrgebiet, für die chemische das Rhein-Main-Gebiet, für die mikroelektronische der süddeutsche Raum - dann sprechen einige Indizien dafür, daß eine sich andeutende biotechnologische Phase ihren 'Ort' im Norden haben könnte, wobei der 'Norden' allerdings von Skandinavien über Norddeutschland bis zu den Niederlanden und nach Großbritannien reicht[2].

Auf die These 1 braucht und auf die spekulative These 3 kann hier noch nicht näher eingegangen werden[3]. Deshalb hier nur einige klärende Vorbemerkungen zur These 2. Im Unterschied zur sanften Energie, zur behutsamen Nutzung regenerativer Energiequellen, ist eine 'sanfte Biotechnologie' derzeit noch eine recht vage Vorstellung, ein Begriff, den es im Rahmen dieser Studie zu konkretisieren und zu füllen gilt. Zur Vermeidung von Mißverständnissen sei von vornherein darauf hingewiesen, daß 'hart' und 'sanft' nicht als absolute Bestimmungen verstanden werden dürfen, sondern allenfalls als relative Bestimmungen im direkten Vergleich konkurrierender Technologien bzw. technologischer Entwicklungspfade. In einem direkten Vergleich kann allerdings unter Verwendung entsprechender Kriterien eine Techniklinie als 'härter' als die andere bestimmt werden.

Als eines der wesentlichen Unterscheidungskriterien zwischen eher 'harten' und eher 'sanften' Biotechniken soll das Kriterium der „Eingriffstiefe" dienen. Wobei sich die 'Tiefe' des Eingriffs sowohl auf die einzelnen Organismen als auch auf die ökologischen Systemzusammenhänge bezieht. Mit Hilfe des Kriteriums Eingriffstiefe können die verschiedenen Biotechniken auf einem Kontinuum zwischen den Polen 'hart' und 'sanft' angeordnet werden.

Als Beispiele für eher sanfte Biotechniken im derzeit wichtigsten Bereich der Nutzung der Stoffwechselleistungen von Organismen werden aufgrund der vergleichsweise geringen

---

2 In der Folge dieser dritten These erhebt sich sofort die Frage, welche Rolle die Region Bremen in dieser 'Nordkette' spielen könnte und sollte.

3 Vgl. jedoch die in dieser Hinsicht für die BRD recht unterschiedlichen Ergebnisse einer Analyse der räumlichen Verteilung von Unternehmen der modernen und neuen Biotechnologie in Kapitel B III.

(aber von 1-3 zunehmenden) Eingriffstiefe in Organismen und ökologische Zusammenhänge betrachtet:

- Erstens die technische Zusammenarbeit mit bzw. die *behutsame Nutzung von Stoffwechselleistungen unveränderter Wildformen von Organismen*. Die Beispiele reichen hier vom maßvollen Fischfang über die Spontanfermentation bei der Sauerkraut- und der Essigherstellung bis zur biologischen Abwasserreinigung und zur Kompostierung organischer Reststoffe.
- Zweitens die *behutsame Kultivierung von Organismen*, deren Stoffwechselleistungen genutzt werden. Die Beispiele gliedern sich entsprechend den großen Organismengruppen Tiere, Gefäßpflanzen und Mikroorganismen, einerseits in die behutsame Kultivierung von Pflanzen und Tieren zur Gewinnung von Nahrungs- und Futtermitteln, Bau- und Werkstoffen, Farben, Pflegemitteln, Textilfasern, Energie, Arzneimitteln und Düngemitteln. Die Kultivierung der Pflanzen und Tiere sollte dabei vorzugsweise in Formen des ökologischen Land- und Gartenbaus und einer ökologischen Forstwirtschaft erfolgen. Andererseits ist die Kultivierung von Mikroorganismen zur Lebensmittelveredelung, z.B. bei Milchprodukten, Bier, Wein, Fleisch (='klassische' Biotechnologie) und zur Gewinnung von Arzneimitteln und Feinchemikalien wie Antibiotika, Impfstoffen, Citronensäure, Vitaminen, Aminosäuren usw. (='moderne' Biotechnologie) zu nennen, wobei die kultivierten Mikroorganismen möglichst überall ohnehin schon vorkommen (ubiquitär sein) sollten wie dies z. B. bei Hefen, Essig- und Milchsäurebakterien, Schimmelpilzen und dergleichen der Fall ist.
- Drittens die *behutsame züchterische Weiterentwicklung* dieser kultivierten Organismen (Nutztiere, Nutzpflanzen, Starterkulturen) solange durch diese Züchtung das organismische Gleichgewicht dieser Organismen nicht so stark gestört wird, daß sie nur noch durch starken und steigenden Betriebsmitteleinsatz am Leben erhalten werden können, wie das leider bei vielen heutigen Hochleistungszüchtungen der Fall ist.
- Und viertens die *behutsame Erweiterung des Spektrums der genutzten Organismen* v. a. im Bereich bisher nicht kultivierter Pflanzen, bisher nicht kultivierter (und evtl. noch völlig unbekannter) Mikroorganismen aus verschiedenen Biotopen, wobei insbesondere das Meer ein noch weitgehend unbekanntes Potential darstellt.

Wenn wie die Kriterien „Eingriffstiefe", „Werkzeugcharakter" und „Mitproduktivität", die hier ausführlich vorgestellt werden sollen, auf die schon existierenden Biotechiken anwenden, stellt sich - nicht unbedingt überraschend - zunächst einmal heraus, daß die meisten 'klassischen' (alten) Biotechnologien vergleichsweise sanft sind bzw. waren. Bei den 'klassischen' und bei den 'modernen' (zwar schon verwissenschaftlichten aber noch nicht mit gentechnischen Verfahren arbeitenden) Biotechnologien, wird allenfalls auf konventionell züchterisch veränderte 'ganze' bzw. 'intakte' Organismen zurückgegriffen. Auf die Einsatzbereiche dieser 'klassischen' und 'modernen' Biotechnologie dürften heute noch schätzungsweise 99% der Stoffumsätze und mindestens 90% der Wertschöpfung entfallen, die mit biotechnischen Verfahren insgesamt erzielt werden. Es handelt sich hier also - das zeigen die großen Einsatzbereiche - keineswegs um Technologien 'von gestern'. Die Verbesserung und Weiterentwicklung der 'klassischen' und 'modernen' Biotechnologien stellt denn auch für die zukünftige Forschung und Entwicklung eine mindestens ebenso große Herausforderung dar, wie die Weiterentwicklung der gentechnischen Verfahren bzw. Entwicklungspfade.

Ein stofflich-technischer Entwicklungspfad auf der Basis 'sanfter' Biotechniken wird deshalb zunächst im wesentlichen auf die 'klassischen' Biotechnologien setzen, auf einen Teil der 'modernen' Biotechnologien und schließlich auf absehbare wissenschaftlich-technische Weiterentwicklungen dieser beiden Technologielinien.

II. Umweltpolitischer Ansatz

Der umweltpolitische Ansatz läßt sich in acht Punkten zusammenfassen:

1. Eine **vorsorgende** Umweltpolitik ist nur in Verbindung mit Wirtschaftsstruktur- und Technologiepolitik möglich, wenn nicht gar als Wirtschaftsstruktur- und Technologiepolitik.

2. Kernpunkte eines 'ökologischen Umbaus des Industriesystems' sind a) die stoffliche Konversion, also der Umstieg von nicht regenerierbaren und/oder synthetischen auf naturnahe organische Stoffe, b) der Umstieg auf sanfte Techniken und naturnahe Prozesse[4] und c) die Reduktion des Gesamtumsatzes an Stoffen und Energie.

3. Umweltverträgliches Wirtschaften kann erreicht werden durch naturnahes Wirtschaften, durch ein 'Lernen von der Natur'. Dies bedeutet nicht, daß ein Umgang mit Natur angestrebt wird, der im stofflich-technischen Bereich nur in Anpassung und Unterordnung unter die 'Gesetze' der Natur besteht, und bei dem nur auf einfache traditionelle Techniken zurückgegriffen wird[5]. Es wird ein Umgang mit Natur angestrebt, der durchaus auch auf 'Hochtechnologien' also auf ausgeklügelte (sophisticated) sowohl empirisch als auch wissenschaftlich optimierte 'moderne' Kultivierungs-, Verarbeitungs- und Verwertungstechniken setzt. Es kommt allerdings bei der wissenschaftlichen Optimierung von Technologien sehr auf die 'Form' der Wissenschaft an, auf deren Basis sie erfolgt[6].

4. Eine gezielte Hinwendung zu Naturprodukten, Naturstoffen und zu sanften biologischen Techniken, eine 'Biologisierung' der gesamtgesellschaftlichen Produktion, könnte, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind, einen wichtigen Beitrag liefern für ein ökologisches regionales Wirtschaften, insbesondere zur Bewältigung der Sondermüll- und Abwasserprobleme der Region bzw. allgemein zu einem am Vorsorgeprinzip orientierten Umwelt- und Gesundheitsschutz.

Bio-organische Naturstoffe und Naturprodukte werden nämlich nur zeitweise aus den stofflichen Naturkreisläufen entnommen und können deshalb auch leicht wieder in sie integriert werden. Stoffe, die natürlicherweise schon in größeren Mengen in der Biosphäre zirkulieren (hier verkürzt Naturstoffe bzw. Naturprodukte genannt), haben ihre Umweltverträglichkeitsprüfung in der Regel schon hinter sich.[7] Naturstoffe bzw. Naturprodukte sind meist umweltfreundlicher und können in sehr vielen Bereichen mit Produkten der synthetischen Chemie und Biologie (Gentechnik) sowohl technisch als auch ökonomisch durchaus erfolgreich konkurrieren.

Zu den ökologischen Vorteilen mikrobieller und enzymatischer Biotechniken gehören neben der Regenerierbarkeit der Rohstoffe die milden Reaktionsbedingungen (keine aggressiven Chemikalien, keine hohen Temperaturen oder Drücke), das Arbeiten mit natürlichen biologischen Substanzen (die vergleichsweise gut in natürliche Stoffkreisläufe integriert werden können) und die sehr spezifischen Reaktionen. Als Nachteile werden der Wasserverbrauch, die organische Abwasserbelastung, die Empfindlichkeit vieler Fermen-

---

4 Wenn es sich dabei um 'biologische' Techniken handelt, sprechen wir bei den Punkten a) 'stoffliche Konversion' und b) 'Umstieg auf sanfte Biotechniken zusammen von einer notwendigen 'Biologisierung der gesamtgesellschaftlichen Produktion', vgl. These 4.

5 Wobei diese traditionellen Techniken im übrigen immer schon mehr waren als eine solche bloße Anpassung und Unterordnung.

6 Vgl. zur Unterscheidung zwischen eher 'harten' und eher 'sanften' naturwissenschaftlichen Disziplinen als Wissensbasis eher harter und eher sanfter verwissenschaftlichter Techniken: von Gleich 1989a.

7 Eine humantoxikologische Prüfung muß gleichwohl noch erfolgen, denn es befinden sich unter den Naturstoffen die potentesten Gifte.

tationskulturen und die natürliche Variabilität des organischen Materials angeführt (vgl. Enquêtekomission 1987). „Die Biotechnologie bietet längerfristig große Chancen für eine energiesparende und ökologisch orientierte Gesellschaft von morgen" schreibt das BMFT (BMFT 1990a). Inwieweit und vor allem für welche Biotechniken dieser Satz seine Berechtigung hat, soll in dieser Studie geprüft werden.

5. Der besonders geringe Anteil der Chemischen Industrie bzw. allgemein der Grundstoffindustrie in der Region Bremen[8] und der besonders hohe Anteil des Naturprodukte verarbeitenden Gewerbes, v. a. des Nahrungs- und Genußmittelgewerbes [9], aber auch der landwirtschaftlichen Primärproduktion im 'Umland' und der direkte Zugang zum Meer mit seinen möglicherweise kultivierbaren biologischen Ressourcen kann als spezifische Chance der Region betrachtet werden, als Chance für ein sowohl ökologisch verträgliches als auch ökonomisch erfolgreiches Wirtschaften in der Region. Zusätzlich könnte sich Bremen im Dienstleistungsbereich auf den vermutlich zunehmenden Forschungs- und Entwicklungsbedarf dieser Branchen und der umliegenden landwirtschaftlichen Schwerpunktgebiete einstellen.

6. Der Umstieg von nicht regenerierbaren auf regenerierbare Rohstoffe ist nur mit einer deutlichen Verbrauchsreduktion möglich. Die Naturprodukte und Naturstoffe können in vielen Bereichen die Produkte der synthetischen Chemie nicht einfach mengenmäßig ersetzen. Im Zuge einer solchen Umstellung auf naturnahe Stoffe, Produktions- und Konsumtionsweisen wird eine Reduktion des gesamten Stoffumsatzes notwendig werden. Langfristig trotz der aktuellen Wanderungsbewegungen in den Industriestaaten immer noch sinkende Bevölkerungszahlen, eine ökonomisch sinkende Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes und steigendes Qualitätsbewußtsein der Verbraucher könnten hierfür die Voraussetzungen verbessern.

7. Da die Kultivierung und Verarbeitung von Naturprodukten weder per se ökonomisch erfolgreich noch sozial und ökologisch verträglich ist, muß das Hauptaugenmerk auf die Rahmenbedingungen und die Qualität der jeweiligen Prozesse und Produkte gelegt werden: (erstens) auf die *Herkunft der Stoffe, v. a. auf die Kultivierungsbedingungen* in der land- und forstwirtschaftlichen und vermutlich auch meereswirtschaftlichen Primärproduktion, (zweitens) auf die *Technologien ihres Transports, ihrer Lagerung und vor allem ihrer Verarbeitung*, die sich sowohl auf die Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit als auch auf die Produktqualität auswirken, (drittens) auf Fragen der *Produktqualität* (Gebrauchstauglichkeit, Preis, Repräsentationswert) und der Bedarfsentwicklung und (viertens) auf Fragen der *Entsorgung bzw. Reststoffverwertung* und zwar sowohl bezogen auf die Begleit- und Reststoffe der Produktionsprozesse als auch auf den Verbleib der Endprodukte.

8. Für die Erarbeitung, integrierte Betrachtung und vergleichende Bewertung der ganzen Produktlinie biotechnisch erzeugter Produkte angefangen von der Rohstoffversorgung über die Verarbeitung, die Produktqualität bis hin zur Abfallwirtschaft[10] und vor allem für die Unterscheidung zwischen 'naturnahen' und 'naturfremden' Stoffen, zwischen eher

---

8 Der Anteil der Beschäftigten der Chemischen Industrie an allen Beschäftigten des Bergbaus und Verarbeitenden Gewerbes betrug 1987 im Land Bremen 1,3 %, im Umland 4,8 % und im Bund 8,3 %. Quelle: Statistik des Verarbeitenden Gewerbes, Beschäftigte in Unternehmen mit im allgemeinen 20 und mehr Beschäftigten, Land Bremen, Kreise und kreisfreie Städte Niedersachsen und Bund.

9 Der Anteil der Beschäftigten des Nahrungs- und Genußmittelgewerbes an allen Beschäftigten des Bergbaus und Verarbeitenden Gewerbes betrug 1987 im Land Bremen 16,5 %, im Umland 21,7 % und im Bund 6,8 %. Quelle: Statistik des Verarbeitenden Gewerbes, Beschäftigte in Unternehmen mit im allgemeinen 20 und mehr Beschäftigten, Land Bremen, Kreise und kreisfreie Städte Niedersachsen und Bund.

10 Zur Produktlinienanalyse vgl. Öko -Institut 1987.

'sanften' Kultivierungs- und 'harten' Konstruktionstechniken sind begründete, verallgemeinerbare und handhabbare *Kriterien* notwendig.

Aus den angeführten Punkten und umwelt- und technologiepolitischen Orientierungen ergibt sich für diese Studie ein spezielles Interesse für ganz bestimmte Industriezweige und Branchen in der Untersuchungsregion. Es sind dies - eher als mögliche positive Anknüpfungspunkte gesehen - diejenigen Branchen, Betriebe und Betriebsteile, in denen (schon oder noch) vorwiegend Naturstoffe (bio-organische Materialien) bzw. Naturprodukte verarbeitet werden, und in denen 'klassische' und 'moderne' Biotechnologien zum Einsatz kommen, also das Holzgewerbe und das Textilgewerbe (soweit es noch Naturfasern verarbeitet), die pharmazeutische Industrie (insbesondere die Herstellung von pflanzlichen Arzneimitteln (Phytopharmazeutika) und die fermentative Gewinnung von Medikamenten), die Kosmetikindustrie (insbesondere die Herstellung von Naturkosmetik), die Herstellung von Naturfarben und naturnahen Wasch- und Reinigungsmitteln und vor allem das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe, das traditionell in Bremen und im Umland eine besonders große Bedeutung hat.

Kritisch interessieren darüber hinaus v. a. diejenigen Branchen, in denen eine stoffliche Konversion, also der Ersatz naturfremder Stoffe durch naturnahe Stoffe, aus ökologischen und gesundheitlichen Gründen besonders wünschenswert wäre, also die chemische und die kunststoffverarbeitende Industrie und darüber hinaus alle Branchen, Betriebe und Betriebsteile, in denen Produkte der Chemischen Industrie verarbeitet werden. Bremen hat zwar keine bedeutende Chemische Industrie. Da der Hauptemissionspfad dieses Industriezweigs allerdings sowieso nicht über die Schornsteine, über die Abwasserrohre oder die Sondermülldeponien verläuft, sondern über ihre Produkte, ist die Chemieproblematik in Bremen kaum geringer als anderswo.

Schließlich interessieren als positive Anknüpfungspunkte all jene Betriebe, in denen mit 'modernen' biologischen Techniken gearbeitet, bzw. in denen die entsprechende Ausrüstung und Analytik einschließlich der Software hergestellt wird, und natürlich mit ihrer Problematik diejenigen Betriebe, von denen neue ökologische und gesundheitliche Risiken ausgehen können, weil sie mit Mikroorganismen aus Extrembiotopen, mit infektiösem Material oder mit gentechnisch veränderten Organismen oder deren Funktionseinheiten arbeiten.

III. Strukturpolitischer Ansatz und Leitvorstellungen

Die Verwirklichung umwelt-, technologie- und strukturpolitischer Ziele ist ganz wesentlich auf Innovationen, insbesondere auf die Innovationsfähigkeit der Unternehmen der Region angewiesen. Umwelt- und Technologiepolitik muß den wirtschaftlichen Strukturwandel berücksichtigen und in bestimmte Richtungen auch gezielt fördern.

Der wirtschaftliche Strukturwandel interessiert in dieser Studie vor allem aus zwei Gründen: Erstens dürfte mit dem wirtschaftlichen Strukturwandel, v. a. mit dem vielfach schon als *Deindustrialisierung* bezeichneten Bedeutungsverlust des Verarbeitenden Gewerbes (insbesondere der Grundstoffindustrie, vgl. Blackaby 1979, Bluestone/Harrison 1982) eine wesentliche Umweltentlastung verbunden sein. Jänicke spricht in diesem Zusammenhang von einem '*umweltpolitischen Gratiseffekt des wirtschaftlichen Strukturwandels*' (vgl. Jänicke 1987). Zum zweiten soll mit diesem Ansatz ein möglicher technologiepolitischer Beitrag im Rahmen einer aktiven Struktur- und Beschäftigungspolitik geleistet werden, ein Beitrag für die Überwindung der gegenwärtigen Wirtschaftsstrukturprobleme, v. a. der hohen Arbeitslosigkeit in der Region.

Folgende Leitvorstellungen liegen dem in dieser Arbeit verfolgten strukturpolitischen Ansatz zugrunde[11]:

1. Der Strukturwandel ist keine Einbahnstraße

Auffassungen vom wirtschaftlichen Strukturwandel; die nur eine kommende Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft im Auge haben, sind viel zu grob und werden dem sich real vollziehenden strukturellen Wandel nicht gerecht. Auch völlig gegenläufige bisher aber kaum berücksichtigte Tendenzen und Prozesse könnten konkrete Ansatzpunkte für alternative Entwicklungsmodelle darstellen.

Neben der Tendenz zur Informatisierung und damit zur teilweisen Entstofflichung von Produktionsprozessen zeichnen sich spezifische Veränderungen in den verbleibenden stofflichen Bereichen ab. Diese Verschiebungen gehen einerseits in Richtung auf sogenannte 'Neue Werkstoffe', das sind vor allem neue Legierungen, neue Kunststoffe, Verbundwerkstoffe und Keramiken. Andererseits deutet sich ein Bedeutungsgewinn von Naturstoffen und Naturprodukten (v. a. von Holz, Naturfasern und biologischen Wirkstoffen) und biologischen Verfahren (Biotechniken) an und zwar nicht nur im sogenannten alternativen, sondern durchaus auch im konventionellen industriellen Bereich, nicht zuletzt auch in der Chemischen Industrie. Die sich intensivierende Debatte über 'Nachwachsende Rohstoffe' und über Bio- und Gentechniken dürfte diese Entwicklung erst andeuten.

Der sich langfristig vollziehende Bedeutungsverlust der Grundstoffindustrien (Stahl, Beton, Massenchemikalien), der ökologisch gesehen sehr zu begrüßen ist, könnte somit nicht nur von einem Bedeutungszuwachs des Tertiärsektors ('Dienstleistungs- und Informationssektor'), sondern auch des Naturprodukte liefernden Primärsektors (Land- und Forstwirtschaft bzw. ländlicher Raum sowie zukünftig vermutlich auch Meereswirtschaft) und des Naturprodukte verarbeitenden Gewerbes (v. a. Holzgewerbe, Textil- und Bekleidungsgewerbe, Nahrungs- und Genußmittelgewerbe, und zwar jeweils Industrie und Handwerk) begleitet werden.

Der sozialen und ökologischen Gestaltung des sekundären Sektors muß zudem auch dann noch unverminderte Aufmerksamkeit gewidmet werden, wenn seine relative ökonomische Bedeutung abnimmt. Ein Bedeutungsverlust der Fertigung setzt nicht automatisch ökologische Chancen frei. Das Verarbeitende Gewerbe wird auch in Zukunft in Zusammenarbeit mit dem primären Sektor den materiellen Unterbau schaffen müssen, auf den sich schließlich die produktionsorientierten Dienstleistungen direkt beziehen und von dessen Funktionieren sie abhängig sind.

Eine 'Biologisierung' der gesamtgesellschaftlichen Produktion im Sinne eines Bedeutungsgewinns bio-organischer Materialien und biologischer Techniken könnte somit nach der 'Energetisierung', 'Mechanisierung', 'Chemisierung' und 'Informatisierung' eine mögliche fünfte Phase in der Industriegeschichte darstellen. Die Frage, wie und auf der Basis welcher 'Bio'techniken eine solche Biologisierung, ein solcher Bedeutungsgewinn biologischer Prozesse und bio-organischer Stoffe in der gesamtgesellschaftlichen Produktion vonstatten gehen könnte und sollte, dürfte zu den spannendsten technologiepolitischen Fragen der kommenden Jahrzehnte gehören. Die Küstenregion, die bisher noch nicht das Kerngebiet einer der vorgängigen Phasen des Industrialisierungsprozesses war und deshalb auch nicht durch deren wirtschaftsstrukturelle

11 Vgl. zum folgenden auch von Gleich/Lucas/Schleicher/Ullrich 1988 und 1992.

und stoffliche 'Altlasten' gehemmt wird, böte für eine solche Entwicklung vergleichsweise gute Voraussetzungen[12].

2. Die Flexibilisierung der Produktionstechnik bietet auch ökologische Chancen

Eine 'Biologisierung' der Produktion erfordert auch andere Maschinen. Für diese neuen flexibleren Maschinen gibt es durchaus schon konkrete Ansätze und Entwicklungstendenzen. Durch die zum Teil noch ungenutzten Möglichkeiten des Einsatzes der Mikroelektronik im Bereich der industriellen Fertigung (flexible Automatisierung) könnte ein handwerkliches Paradigma, eine eher handwerkliche Herangehensweise an die Produktion, das Werkstück, den Werkstoff und das Produkt wieder an Bedeutung gewinnen[13].

Die flexible Automatisierung könnte die Möglichkeiten zur halbautomatischen maschinellen Bearbeitung wenig zugerichteter, nicht gereinigter und homogenisierter Naturstoffe wesentlich verbessern. Die vorindustrielle handwerkliche Produktionsweise beruhte schließlich noch ganz wesentlich auf der Verarbeitung naturnaher Materialien wie Holz, Leder, Pflanzenfasern, Naturstein usw. Die Maschinen der starren Automatisierung in der frühen Industrialsierung waren dann allerdings nicht in der Lage, diese inhomogenen und eigenstrukturierten Naturstoffe adäquat zu verarbeiten. Sie waren auf die Verarbeitung von homogenisierten (möglichst in pastöser Form vorliegenden) und gereinigten Stoffen angewiesen. Es entstand für diesen 'Zurichtungsprozeß' eine eigene Industrie, die Grundstoffindustrie. Die Stoffgrundlage der gesamtgesellschaftlichen Produktion verschob sich damit weg von den naturnahen und hin zu jenen homogenisierten und z. T. synthetischen Werkstoffen wie Stahl, Glas, Plastik und Beton.

Da überall dort wo 'gereinigt' wird auch 'Dreck' anfällt, war und ist die Grundstoffindustrie derjenige Produktionssektor, der zwar nur mit ca. einem Drittel an der Bruttowertschöpfung aber mit zwei Dritteln an der industriell erzeugten Umweltbelastung beteiligt ist (vgl. Jänicke 1987)

3. Wertewandel und Qualitätswettbewerb

Vor allem im Verbrauchsgütersektor ist der Umschlag vom eher angebotsgesteuerten zum eher nachfragegesteuerten (gesättigten und individualisierten) Markt am deutlichsten. Die Macht der Verbraucher bzw. des Handels nimmt hier zu. Die Konkurrenzfähigkeit von Unternehmen der modernen Industrienationen sowohl im Binnenmarkt als auch auf Auslandsmärkten entscheidet sich immer weniger im Preiswettbewerb, sondern immer mehr im Qualitätswettbewerb. Die erfolgreichen Firmen reagieren mit einer stark konsumentenorientierten 'differenzierten Qualitätsproduktion'.

Insbesondere bei Konsumgütern im Nahrungs- und Genußmittel-, Möbel- und Textilbereich ist ein Verbrauchertrend zum hochwertigen Naturprodukt unverkennbar. Er wird sich im Zuge des Wertewandels vermutlich noch verstärken. Die Macht von Verbrauchern und die Notwendigkeit von Unternehmen, sich auf diesen Trend rechtzeitig ein-

---

12 Eine solche Thesen ist weitreichend, aber zugegebenermaßen noch wenig akzeptiert. Planungs- und Beratungsinstitute, wie Prognos, setzen in der Logik der allgemeinen Tertiarisierungsthese - vereinfacht gesprochen der These von der kommenden Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft - immer noch fast ausschließlich auf die gezielte Ausweitung des Dienstleistungsbereichs und dabei sogar auch des öffentlichen Dienstes (vgl. Prognos 1986). Gerade letzteres dürfte aber ein Weg sein, der sich für Bremen angesichts seiner Verschuldungssituation kaum noch anbietet. Im Rahmen derselben Studie rechnet Prognos - ebenso wie im übrigen die bremische Arbeitsgruppe 'Langfristige Globalplanung' - mit einem geradezu dramatischen Deindustrialisierungsprozeß in der bremischen Wirtschaft (vgl. Heinemann 1987, S. 32).

13 Die wesentlichen Stichworte sind hier z. B. Einzelstückfertigung, individuelle Gestaltung, Eingehen auf die Eigenheiten des Werkstücks, vgl. zu Teilaspekten Piore/Sable 1985.

zustellen, mußte zum Beispiel die bremische Fischwirtschaft mit ihrer 'Nematodenkrise' vor nicht allzulanger Zeit erfahren. Maßnahmen wie die erst im nachhinein erfolgte Gründung eines 'Qualitätsinstituts' werden vermutlich auch in anderen Bereichen notwendig werden.

4. Die Bedeutung der Eigenarbeit nimmt wieder zu.

Die Arbeitszeitverkürzung erweitert die Spielräume für mehr Eigenarbeit, die z. B. im Ernährungsbereich wieder stärker für die Eigenproduktion im Garten und die Kultivierung einer hochstehenden Kochkunst oder im Wohnbereich für die Renovierung und Ausgestaltung von Häusern und der Wohnräume genutzt werden könnten. Der Verbraucher würde dann neben 'Fertig-' und Schnellprodukten auch und wieder mehr hochwertige Naturprodukte als Roh- und Werkstoffe nachfragen.

Diese Thesen sind Grundelemente des wirtschaftsstrukturpolitischen Ansatzes, der nicht als völliges Gegenkonzept zu den zur Zeit noch vorherrschenden Ansätzen verstanden werden soll. Sie sind eher als eine notwendige Blickerweiterung und Blickwende zu verstehen, auf deren Basis die Ausarbeitung konkurrierender Entwicklungspfade erfolgen kann. Notwendig ist allerdings die integrierte Betrachtung und Bearbeitung von wirtschaftsstruktur-, forschungs-, technologie- und umweltpolitischen Fragen und Problemen. Mit der bisher vorherrschenden Arbeitsteilung zwischen den verschiedenen Ressortpolitiken dürften die Zukunftsaufgaben Bremens nicht zu bewältigen sein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich diese Studie struktur- und wirtschaftspolitisch auf das Naturprodukte verarbeitende, das Verbrauchsgüter produzierende und insbesondere auf das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe konzentriert. Umwelt- und technologiepolitisch wird eine doppelte Orientierung verfolgt: zum einen auf den Ersatz umweltgefährdender Stoffe durch naturnahe bioorganischen Stoffe und zwar bezogen auf die gesamte Produktlinie, zum anderen auf der Prozeßebene auf sanfte biotechnische Verarbeitungsverfahren.

Tabelle 1: Daten zur geschichtlichen Entwicklung der Biotechnik

vorgeschichtliche Zeit (ab 3000 v. Chr.)	Herstellung von Bier und milchsauren Nahrungsmitteln Herstellung von Wein
ab 1500 v. Chr.	Herstellung von Weinessig
Beginn der Zeitrechnung	Essigherstellende Industrie um Orleans
14. Jahrhundert (Frühes Mittelalter)	Entwicklung der Gerbverfahren und der Flachsrotte
vor 1521	
seit etwa 1650	künstliche Champignonzucht in Frankreich
um 1680	Sichtbarmachung von Hefezellen durch LEEUWENHOEK
im 19. Jahrhundert	ERXLEBEN, PASTEUR, TRAUBE, HANSEN und BUCHNER forschen über die Gärungen, Gärorganismen und ihre Enzyme
1881	Herstellung von Milchsäure in einem Gärungsprozeß
Seit etwa 1885	Künstliche Champignonzucht in den USA
ab Ende des 19 Jahrh.	Erste kommunale Abwasseranlagen in verschiedenen Großstädten
1914-1916	Verfahren zur Großproduktion von Nähr- und Futterhefen (DELLBRÜCK, HEYDUCK, HENNEBERG)
1915	Zulaufverfahren zur Backhefeherstellung
1915/ 1916	Verfahren zur Aceton/Butanol-Herstellung in einem Gärungsprozeß
ab 1920	Citronensäureherstellung im Oberflächenverfahren; „Aspergillus niger" als Produzent
1928/ 1929	Entdeckung des Antibiotikums Penicillin durch ALEXANDER FLEMING
1943/ 1944	Beginn der Penicillin-Produktion und der sterilen Prozeßführung
ab 1944	Entdeckung vieler weiterer Antibiotika
1949	Herstellung von Vitamin B_{12} durch Mikroorganismen
seit etwa 1949	Durchführung mikrobiologischer Stoffumwandlungen (z.B. Steroid-Umwandlungen) in technischem Maßstab
1953	JAMES D. WATSON und FRANCIS H.C. CRICK publizieren das Doppelhelix-Modell als Strukturvorschlag für DNA
seit 1957	Produktion von L-Glutaminsäure
ab 1960	Produktion von verschiedenen Enzymen (bspw. mikrobielles Rennin zur Käseherstellung, Glucose-Isomerase zur Fructoseherstellung)
1972	Entdeckung der Restriktions-Endonucleasen
1973	Die brasilianische Regierung beginnt ein Großprogramm mit dem Ziel, Benzin durch Bioalkohol zu ersetzen (Industriepflanzenbau) STANLEY COHEN und HERBERT BOYER gelingt die erste Konstruktion eines rekombinierten Plasmids mit Hilfe eines Restriktions-Enzyms und DNA-Ligase mit anschließender Ansiedlung in einem Wirtsbakterium
1975	Herstellung des ersten monoklonalen Antikörpers im Labor (KÖHLER UND MILSTEIN)
1976	KHORANA beschreibt die erste chemische Totalsynthese eines biologisch voll aktiven Gens
1979	Großtechnische Herstellung von Bakterien-Protein (SCP) „Pruteen" durch ICI in England
1980	RANK HOVIS MCDOUGALL erhält in Großbritannien die Genehmigung, aus Pilzen produzierte Nahrung als Lebensmittel für Menschen zu vermarkten (Mycoprotein)
1982	Kommerzielle Produktion von Human-Insulin mit Hilfe von *Eschericha coli*
1984	Tierisches Interferon zum Schutz von Rindern vor Krankheiten zugelassen

Quelle: Neubert 1989 nach Rehm/Präve 1987

schen als auch die modernen und die neuen Biotechnologien werden heute und in Zukunft erfolgreich eingesetzt (werden), wenngleich Gewichtsverschiebungen zwischen den drei Gruppen zu erwarten sind. Die Verwissenschaftlichung der Produktion wird weiter fortschreiten, und somit werden die 'neuen' und die 'modernen' Biotechnologien weite Teile der 'klassischen' ersetzen bzw. revolutionieren.

Zu den **alten (klassischen) Biotechnologien** gehören demnach erstens die land-, forst- und fischwirtschaftlichen und die gartenbaulichen Techniken der Kultivierung von Organismen einschließlich der alten Formen der Züchtung durch Auslese und reproduktive Isolation, zweitens die darauf aufbauende Nutzung von mikrobiellen, pflanzlichen und tierischen Produkten und Prozessen im technischen, Lebensmittel-, Textil- und pharmazeutisch-kosmetischen Bereich, insbesondere die zunächst völlig auf Spontanfermentationen basierende, erst viel später mit Starterkulturen (Mischkulturen oder Reinkulturen) arbeitende Lebensmittelfermentierung (Milchverarbeitung, Herstellung alkoholischer Getränke, Essigproduktion, Herstellung von Hefe- und Sauerteigen, Gemüsefermentierung), drittens die ohnehin schon immer vor sich gehende aber auch gezielt optimierte Kompostierung pflanzlichen Materials und viertens die gezielte, ab Ende des 19. Jahrhunderts großtechnisch betriebene, Abwasserreinigung[17].

Die OECD unterscheidet als nächstes die **'moderne' Biotechnologie**. Sie steht zwischen der 'klassischen' und der 'neuen'. Die moderne Biotechnologie übergreift in der Tabelle 3 die „Pasteur-Ära", die „Antibiotika-Ära" und die „Post-Antibiotika-Ära". Das Wissen über die Organismen, die die Fermentationsprozesse bewerkstelligen, war in jener Phase schon wissenschaftliches Wissen. Nach anfänglichen Zufallsentdeckungen (Fleming) wurde mehr oder weniger systematisch nach weiteren interessanten Mikroorganismen gesucht (Screening). Spätestens mit der Steriltechnik und dem systematischen Screening in der Mikrobiologie muß deshalb von einer wissenschaftlichen Grundlage der fermentativen Produktionstechnik gesprochen werden. Die moderne Biotechnologie hat also ihre Anfänge in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, bekommt einen großen Schub nach dem ersten Weltkrieg und kommt nach dem 2. Weltkrieg mit der Antibiotika- und Postantibiotika-Ära zur vollen Entfaltung.

In der Tabelle 2 sind die wichtigsten Entwicklungschritte zwischen 1949 und 1977 zusammengefaßt, wobei die Vielfalt der Antibiotika auf ein eingehendes systematisches Sceening zurückgeht. Die immer noch ohne gezielte Verhinderung von Fremdkeimen arbeitende fermentative Produktion von organischen Säuren (Citronensäure ca. 1920), Enzymen (Amylasen, Proteasen, Invertasen ca. 1930) und Aminosäuren (z. B. Glutamin seit 1957) aus der 'Pasteur-Ära' sowie die den Ausschluß von Fremdkeimen (Steriltechnik) benötigende fermentative Produktion von Antibiotika (1941/44), Vitaminen (Vitamin B_{12} ab 1949), Alkaloiden, Enzymen und Aromastoffen und schließlich ab den 50er Jahren die mikrobielle Stoffumwandlung bei der Herstellung von Hormonen wie Cortison oder Östrogen gehören somit zur 'modernen' Biotechnologie[18].

---

17 Bei der OECD, die die Unterscheidung zwischen klassischeer moderner und neuer Biotechnologie eingeführt hat, werden nur die alten mikrobiellen Methoden der Gärung in der Lebensmittelverarbeitung, z. B. der Sauerteig oder das Bierbrauen "mit oftmals zufälliger Selektion der Mikroproduzenten und apparativ einfacher Aufzucht und Produktion" zu den 'klassischen' 'Biotechnologien gerechnet, vgl. OECD 1989, S. 4. Der BMFT nennt "industrielle Anwendungen bei der Brot-, Bier-, Wein- und Käseherstellung, die seit Menschengedenken unsere Lebensgrundlagen bilden", vgl. BMFT 1990, S. 9.

18 Bei der OECD werden als Beispiele für die 'moderne' Biotechnologie die jüngeren Methoden des gezielten Einsatzes von Mikroorganismen zur Herstellung von Antibiotika und Vitaminen mit bewußter Selektion (Screening), teils zufallsabhängigen Methoden der Produzentenoptimierung (auch Mutagenese) und verbesserten Vermehrungs- und Produktionsmethoden genannt, vgl. OECD 1989, S. 4. Der BMFT nennt "verbesserte, den jeweiligen wissenschaftlichen und technischen Fortschritten angepaßte Produktionstechniken als Fortentwicklungen der klassischen Biotechnologie (z. B. die heutige Penicillinproduktion", vgl. BMFT1990, S. 12).

Tabelle 2: Neueinführung von Fermentations-Produkten nach 1940

Einführung	Fein-chemikalien	Enzyme	Therapeutische	Präparate	Trans-formationen	andere Sub-stanzen
1940 - 1950	Itaconsäure 2-Keto-D-Gluconsäure	Cellulasen Pektinasen	Vitamin B_{12} Penicillin G Bacitracin Streptomycin 7-Chlortetracyclin	Tyrothricin Gramicidin Polymyxin Neomycin		
1950 - 1960	Kojisäure Glutaminsäure Lysin	Glucose-oxidase Catalase	Amphotericin B Colistin Cycloheximid Cycloserin Erythromycin Griseofulvin Kanamycin Novobiocin Nystatin Oleandomycin	Penicillin V Semisynthetische Penicilline Oxytetracycline Tetracycline Demeclocyclin Variotin Viomycin	Steroid-Oxidationen	Gibberalline Dextran Single Cell-Protein
1960 - 1970	Valin	Glucose-Isomerase Glucose-Amylase Lipasen Lactasen	Amphomycin Blasticidin Cactinomycin Candicidin Cephalosporine Dactinomycin Fusidinsäure Gentamicine Hygromycin B Kitasatomycin Lincomycin Mikamycine	Monensin Pimaricin Polyoxine Pristinamycine Ribostamycin Rifamycine Siomycin Spectinomycin Thiostrepton Tylosin Vancomycin	Dihydroxy-aceton	Xanthan 5'-Nucleoside Insektizide
1970 - 1977		Rennet Melibiase Dextranase	Adriamycin Bambermycin Bleomycin Candidin Capreomycin Daunorubicin Enduracidin Fortimicin Isoamycin Lasalocid Lividomycin Macarbomycin Mepartracin	Medicamycin Mocimycin Myxin Quebemycin Salinomycin Sisomicin Tetranactin Thiopeptin Tobramycin Validamycin Virginiamycin	Sterin-Spaltung Xylit Asparagin-säure	Ribose Zearalenon

Quelle: Periman 1977 aus Crueger/Crueger 1984

Tabelle 3: Periodisierung der Geschichte der Biotechnologie

Zeitafel	Entwicklungs-Tendenz	Verfahren	Produkte
Prä-Pasteur-Ära (vor 1865)	unbewußte Nutzung der Biotechnologie bei der Herstellung von Nahrungsmitteln	Alkoholische Gärung Michsäure Gärung Essigsäure Gärung	Wein, Bier Käse, Sauerteig, Joghurt Essig
Pasteur-Ära (1865-1940)	Biotechnische Verfahren ohne absoluten Ausschluß von Fremdkeimen	Fermentation Oberflächenkultur aerobe Abwasserklärung Biomasse-Herstellung	Butanol, Aceton, Ethanol Zitronensäure Bäckerhefe, Futterhefe
Antibiotika-Ära (1940-1960)	Biotechnische Verfahren unter Ausschluß von Fremdkeimen und mit selektiven Stämmen	Steril Technik Submers-Verfahren tierische Zellkulturen mikrobielle Stoffumwandlungen	Penicillin u.a. Antibiotika Virus-Impfstoffe Cortison, Vitamin B_{12} Ovulationshemmer
Post-Antibiotika-Ära (1960-1975)	Integration und Anwendung wichtiger Forschungsergebnisse aus Naturwissenschaften und Technik in der Biotechnologie	mikrobiologische Herstellung von Biopolymeren Immobilisierung von Enzymen und Zellen anaerobe Abwasserklärung Alkoholische Gärung	Einzeller-Protein (SCP) Enzyme (Waschmittel) Polysaccharide (Xanthan) Fructose-Sirup (Isomerase) Biogas Industrie-Alkohol (Gasohol)
Neue Biotechnologie (1975)	Konstruktive Optimierung von Zellen und vorhersagbare Bioprozeß-Technologie	Hybridoma-Technik Gentechnik (genetic engineering)	monoklonale Antikörper Diarrhoea Impfstoff Human-Insulin

Quelle: Fonds der Chemischen Industrie 1985

Die **'neue' Biotechnologie** ist im Unterschied zur `modernen´ im wesentlichen zu charakterisieren durch ihr konstruktives bzw. synthetisches Element (synthetische Biologie), durch die „konstruktive Optimierung" bzw. „Herstellung" der jeweiligen Organismen oder ihrer funktionellen Bestandteile wie Zellen, Gene oder biologisch aktive Moleküle[19].

Eine Unterscheidung nach der 'Form' der wissenschaftlichen Basis, nach der 'Tiefe' und dem 'Ansatzpunkt' des technischen Eingriffs (vgl. Kap. BI.1.3) hebt also aus dem Bereich der verwissenschaftlichten Biotechnologien das Feld der Gentechniken als 'neue' Biotechnologien heraus, wobei dann innerhalb derselben mit Blick auf die Gezieltheit der „konstruktiven Optimierung von Zellen" noch eine weitere Unterscheidung eingeführt werden kann. Nicht schon die Mutagenese, das künstliche Erzeugen von ungezielten Mutationen durch Strahlen oder Chemikalien, also die 'frühen' Gentechniken, die schon seit

19 Die OECD nennt als Beispiele für die 'neue' Biotechnologie die gen-/hybridomtechnisch fundierten Methoden der gezielten 'Züchtung' von für eine breite Palette von Verwertungen (Stoffabbau, -abspaltung, -synthese, -nachweis) einsetzbaren Mikroorganismen sowie Zell- und Gewebekulturen pflanzlicher und tierischer Art mit bewußter Selektion und Optimierung durch wissenschaftlich fundierte 'Konstruktion' der Produzenten oder ihrer Komponenten und komplexer Aufzuchts-, Produktions- und Aufbereitungstechnik einschließlich rechnergestützter Prozeßkontrollverfahren (vgl. ebd.). Zentraler Ausgangspunkt dieser Technologien sei die Aufklärung fundamentaler molekularbiologischer insbesondere molekulargenetischer Zusammenhänge, ergänzt durch Fortschritte in der Mikrobiologie, Biochemie, Biophysik, Analytik und Bioverfahrenstechnik einschließlich Meß-, Regel- und Steuertechnik. Der BMFT nennt "Anwendung von Gentechnik, Hybridomatechnik (Produktion monoklonaler Antikörper) und Informationstechnik (Biosensoren, Expertensysteme)" als Charakteristika der 'neuen' Biotechnologie (vgl. BMFT 1990a, S. 12).

den 30er Jahren dieses Jahrhunderts praktiziert werden, sondern erst die *gezielten* Gentechniken gehören dann zu den 'neuen' Biotechnologien.

Wenn die Wissensbasis unter besonderer Berücksichtigung des konstruktiv-synthetischen Elements und der Gezieltheit der Eingriffe (Eingriffstiefe) zum dominierenden Abgrenzungskriterium gemacht werden, können aufbauend auf den Klassifikationen von VCI, OECD und BMFT drei Gruppen unterschieden werden: die 'klassischen', die 'modernen' und die 'neuen' Biotechnologien.

'Klassische' Biotechnologie

- Empirisch verbesserte Nutzung, Kultivierung und Züchtung von Nutzpflanzen/ Nutztieren und (zunächst) ubiquitären Mikroorganismen (Bsp.: Brot, Bier Käse, Abwasserreinigung)
- Technisches Ansetzen am Gesamtorganismus und am Phänotyp
- Wissensgrundlage: Erfahrungswissen/Alltagswissen

'Moderne' Biotechnologie

- Nutzung 'neuer' über gezielte (wissenschaftliche) Screening-Verfahren entdeckter Organismen oder deren Funktionseinheiten;
- Neue Vermehrungs- und Reproduktionstechniken (z. B. Mikrovermehrung, Bioreaktortechnik, Steriltechnik, Zellkulturtechnik,. immunologische Techniken, Enzymtechnik (Bsp.: Antibiotikaherstellung, In-Vitro-Fertilisation, Waschmittelenzyme)
- Technisches Ansetzen am Gesamtorganismus, auf der Organebene, der zellulären und der molekularen Ebene
- Wissensgrundlage: Agrarwissenschaften, (Tier-)Medizin, Mikrobiologie,
- Verfahrenstechnik, Zellbiologie, Molekularbiologie, Biochemie

'Neue' Biotechnologie

- Gentechnik, direkte Analyse und gezielte Veränderung von Genen, Übertragung von genetischem Material über Artschranken hinweg (Hybridomatechnik, Zellfusion, vektorvermittelte Gentechnik), synthetische Biologie (Bsp. Herstellung körpereigener Wirkstoffe, herbizidresistente Nutzpflanzen, Impfstoffe, monoklonale Antikörper)
- Technisches Ansetzen direkt am Genom
- Wissensgrundlage: Molekulargenetik, Zellbiologie

Quelle: Eigene Darstellung

1.2 Definitionen und Objektbereich

In der Einleitung ist schon angedeutet worden, daß nach dem Kriterium der Eingriffstiefe die meisten 'alten' Biotechniken zu den eher 'sanften' Biotechnologien gehören. Der Umkehrschluß, daß dann neben den 'neuen' auch die 'modernen' Biotechnologien von vornherein eher zu den 'harten' zu zählen sind, ist zwar naheliegend, aber nicht zwingend. Es gibt durchaus Formen der Verwissenschaftlichung von Biotechniken, die bei weitem nicht so eingriffstief (und deshalb 'hart' sind), wie die Gentechnik. Schon mit den zuletzt genannten Beispielen 'moderner' Biotechnologien, der Nutzung 'neuer' aber nicht gentechnisch konstruierter, sondern gescreenter, gesuchter und 'gefundener' Mikroorganismen, dürfte deutlich geworden sein, daß in der Natur ein noch weitgehend unbekanntes und

unausgeschöpftes Potential auch für 'sanfte' Biotechniken schlummert. Da 'Verwissenschaftlichung' und 'Eingriffstiefe' nicht gleichgesetzt werden dürfen, sondern die 'Form' von Wissenschaft betrachtet werden muß, die der jeweiligen Technik zugrunde liegt (vgl. von Gleich 1989a), wird ein 'sanfter' Biotechnikpfad auch ganz verantwortlich auf der Basis 'moderner' Biotechnologien zu entwerfen sein. Darüber hinaus können auch die 'alten' Biotechniken nicht unbesehen als 'sanft' gelten. Das läßt sich am Beispiel der höchst anfälligen Hochleistungszüchtungen in der Landwirtschaft zeigen. Hier wurden Organismen gezüchtet, die z. T. nur durch ganz konventionelle Züchtungsmethoden so extrem aus dem Gleichgewicht gebracht wurden, daß sie nur noch durch massive technische, chemische und pharmazeutische Stützungsmaßnahmen am Leben erhalten werden können. Ganz so einfach und romantisch im Sinne von 'das Alte ist gut und das Neue ist schlecht' sind die Unterscheidungen also nicht zu haben[20].

Die Wissensbasis spielt auch bei den gängigen Definitionsversuchen der Biotechnologie eine große aber selten expliziete Rolle. So heißt es z. B. im von Präve u. a. herausgegebenen „Handbuch der Biotechnologie":

> „Gegenwärtig versteht man unter Biotechnologie den Einsatz biologischer Prozesse im Rahmen technischer Verfahren und industrieller Produktionen. Sie ist also eine anwendungsorientierte Wissenschaft der Mikrobiologie und Biochemie, die in sehr enger Verbindung mit der technischen Chemie und der Verfahrenstechnik steht" (Rehm/ Präve 1987, S. 1).

Bei dieser Definition wird die Biotechnologie zunächst auf eine angewandte Wissenschaft und auf industrielle Produktionsverfahren begrenzt. Trotzdem schleicht sich im gleichen Kapitel eine erheblich erweiterte Definition der Biotechnologie mit direktem Bezug zur Wissensgrundlage ein, wenn dort von der „unbewußten Nutzung der Biotechnologie" bei der Herstellung von Nahrungsmitteln gesprochen wird (ebd.).

Die von Rehm/Präve angeführten, den neuen Biotechnologien zugrundeliegenden, Wissenschaftsdisziplinen sind mit Mikrobiologie, Biochemie, technischer Chemie und Verfahrenstechnik zudem sehr eng gefaßt und zwar sowohl was die biologischen Grundlagendisziplinen als auch was die Disziplinen der angewandten Biologie anbelangt. Am gravierendsten dürfte die Nichtberücksichtigung der Genetik, der Zellbiologie, der Molekularbiologie, der Immunologie und insbesondere der molekularen Genetik sein. Letztere ist immerhin eine der wesentlichen Basiswissenschaften der Gentechnik. Es fehlen aber auch alle traditionellen Disziplinen der angewandten Biologie angefangen von den Agrarwissenschaften über die Ernährungswissenschaften, die Lebensmitteltechnologie bis hin zur Pharmazie, Human- und Veterinärmedizin. Nicht genannt sind überhaupt alle Disziplinen, die von 'höheren' Organismen, den von ihnen 'produzierten' Stoffen und Strukturen und den Beziehungen zwischen ihnen handeln.

Diese Feststellung leitet schon über zu dem nach der Wissensbasis zweiten Grundproblem bei den gegenwärtig vorherrschenden Versuchen zur Definition von Biotechnologie[21], zur Frage nach „den Organismen der Biotechnologie" (vgl. Millis 1985, S. 7 ff.). Es gibt zwar auch hinsichtlich des Gegenstandsbereichs der Biotechnologie sehr breite Definitionen wie die schon ältere von Bogen: Biotechnik sei „die planmäßige Indienststellung anderer Lebewesen" (vgl. Bogen 1976, S. 12), vorherrschend ist zur Zeit jedoch eine völlig unbegründete Konzentration auf die zelluläre Ebene, wie sie auch in der Fortsetzung

---

20 Wir werden im Rahmen der Technikbewertung im Kapitel BII auf diese Fragen der Technikbewertung noch ausführlicher zurück kommen.

21 Einen Überblick über die wichtigsten Definitionen bis Mitte der 80er Jahre geben Bull/Holt/Lilly 1984, S. 29 und 110 ff.

der oben angeführten Definition von Rehm/Präve zum Ausdruck kommt: „Diese Reaktionen werden entweder mit lebenden Mikroorganismenzellen, pflanzlichen oder tierischen Zellen oder Zellteilen durchgeführt" (a. a. O.). Es gibt hier also eine Tendenz, das Gebiet der Biotechnologie eher in den Bereich der organischen Chemie hineinragen zu lassen und den Umgang mit intakten höheren Organismen, also mit Pflanzen und Tieren und dem Menschen, auszuschließen. Auch im Aufsatz von Millis über "die Organismen der Biotechnologie" im Handbuch 'Comprehensive Biotechnology' werden nur Viren, Bakterien, Pilze, Algen und pflanzliche und tierische Zellkulturen behandelt (vgl. a. a. O.). Doch der letzte Satz in der Definition von Rehm/Präve, die sich ihrerseits auf eine weithin anerkannte Definition der DECHEMA stützen (vgl. DECHEMA 1982), scheint diese Begrenzung bereits wieder zur sprengen. Da heißt es nämlich: „Auch die Gewinnung von Biomasse aus den genannten Organismen oder Organismenteilen ist ein Gebiet der Biotechnologie" (a. a. O.).

Mit breiterem Objektbereich, dafür mit einer Begrenzung auf die biologische Stoffproduktion, heißt es in einem Text über Biotechnologie in der Landwirtschaft im dritten großen Handbuch der Biotechnologie, herausgegeben von Rehm und Reeds:

> „Biotechnology involves the production, isolation, modification and use of substances derived by means of biosynthesis. These substances can be produced not only from microorganisms or suspensions of cells from higher plants, but also from the entire plant. Thus, agriculture based on such plants can be looked at as biotechnology" (Wenzel 1988, S. 772).

Auch das BMFT verfolgt, was den Objektbereich anbelangt, ein solches umfassendes Verständnis von Biotechnologie. Im 'Programmreport Biotechnologie' werden „Pflanzenschutz, Pflanzenzüchtung und Nachwachsende Rohstoffe" miteinbezogen, genauso wie der Mensch als Objekt von biotechnologischen Verfahren in den Bereichen Tumorbiologie und Gentechnik[22]. Der Mensch ist schließlich nicht nur im Bereich der genetischen Analyse direkt ein Objekt bio- bzw. gentechnologischer Verfahren, sondern auch bei den aus der modernen Viehzucht übertragenen Techniken der Reproduktionsbiologie (künstliche Besamung, In-Vitro-Fertilisation), und er soll es bei der angestrebten somatischen Gentherapie noch in einer ganz neuen Qualität werden. Der Objektbereich der Biotechnologie darf also keinesfalls, wie das z. T. aus der Tradition der Fermentationstechniken heraus immer wieder geschieht, auf Mikroorganismen, Zellen und Zellteile beschränkt werden.

> Wir definieren deshalb Biotechnologie als: Die technische Nutzung der biologischen Leistungen von Organismen und deren Funktionseinheiten.

Die Definition der European Federation of Biotechnology von 1989: "Biotechnology is the integration of natural sciences and engeneering sciences in oder to archieve the application of organisms, cells, parts there of and molocular analogues for products and services" (zitiert nach Karde 1993, S.6.), allgemeinere Definitionen von Binder: „die technische Anwendung und Optimierung biologischer Prozesse" oder des 'Office of Technology Assessment' (OTA): „any technique that uses living organisms (or parts of organisms) to make or modify products, to improve plants or animals, or to develop micro-organisms for specific use", kommen somit der von uns bevorzugten Definition am nächsten (vgl. Binder 1984, S. 30; OTA 1984, S. 3).

---

22 Auch die "Ersatzmethoden zum Tierversuch" sind hier u. E. durchaus nicht fehlplaziert, vgl. BMFT 1989.

Unsere Definition umfaßt somit nicht die Bionik bzw. Biomechanik, also die technische Gestaltung architektonischer, mechanischer bzw. hydromechanischer und aerodynamischer Systeme nach dem Vorbild der Natur, obwohl die Bionik mit Blick auf die ihr zugrundeliegenden Technikphilosophie der sanften Biotechnik durchaus nahe kommen kann[23].

Wenn man den Begriff der „Funktionseinheiten von Organismen" so weit faßt, daß bioorganische Moleküle darin enthalten sind, reicht unsere Definition von Biotechnologie vom Zusammenwachsen von Molekularbiologie bzw. Enzymtechnik mit Elektronik, das in der Gestalt von Biosensoren Gestalt annimmt[24], über die Nutzung der Leistungen von Mikroorganismen, über Pflanzenbau und Viehzucht bis in den Bereich biomedizinischer Technologien hinein.

Zum (potentiellen) Gegenstandsbereich der Biotechnologie gehören somit alle bekannten (ca. 1,6 Millionen) Organismenarten[25], d. h. die ca. 1,2 Mio. Tierarten (darunter allein 850.000 Insektenarten, 128.000 Molluskenarten und 23.000 Fischarten), ca. 450.000 Arten des Pflanzenreichs (darunter allein 236.000 Arten von Samenpflanzen, 120.000 Pilz- und Flechtenarten, ca. 30.000 Moosarten, 33.000 Algenarten, 15.000 Farnarten, 2.000 Blaualgenarten und 1.600 Bakterienstämme), (vgl. Reinbothe/Wasternack 1986, S. 17). In den zuletztgenannten Bereichen wird im übrigen die größte Zahl bisher unbekannter Arten und Stämme vermutet. So wird z. B. geschätzt, daß allein von den Bodenbakterien der gemäßigten Zonen bisher allenfalls 5% bekannt sind (vgl. Jensen u. a. 1986).

1.3 Klassifikationsprinzipien

Neben einer Definition und Abgrenzung ist für eine systematische Betrachtung der Biotechnologie eine Technikklassifikation notwendig. Auch hierfür gibt es allerdings bisher kaum systematische Vorarbeiten.

Am stärksten verbreitet ist derzeit noch eine Strukturierung nach *Anwendungs- bzw. Einsatzbereichen* wie: Land- und Forstwirtschaft, Pharmazie, Medizin, Chemie und Umweltschutz (vgl. z. B. Bull/Holt/Lilly 1984, OTA 1984). Eine solche Gruppierung ist für die Erarbeitung konkurrierender biotechnologischer Entwicklungspfade natürlich wichtig, und deshalb wird ihr im zweiten Teil des Überblicks über die wichtigsten Biotechniken auch gefolgt. Andererseits ist sie aber auch völlig unbefriedigend, weil damit über die jeweiligen Techniken selbst gar nichts ausgesagt wird.

Mit direktem Blick auf die verschiedenen Technologien wird das Feld, wie oben schon angesprochen einerseits nach 'klassischen', 'modernen' und 'neuen' und andererseits nach den jeweils verwendeten *Organismen bzw. ihren Funktionseinheiten* (insbesondere Zellen, Antikörper und Enzyme) strukturiert. Nicht ganz vereinbar mit der biologischen Systematik wird außerdem unterschieden zwischen Biotechnologie am Menschen, an Tieren

---

23 Vgl. zur Bionik Rechenberg 1973, Nachtigall 1984. Die Bionik kann sozusagen die mechanisch-konstruktive Entsprechung zur sanften Biotechnik, sanften Chemie (vgl. von Gleich 1986a) und sanften Energie (vgl. Lovins 1978) werden.

24 Die vielprognostizierten Biochips sind allerdings noch Zukunftsmusik. An den sogenannten Biosensoren ist im übrigen oft das einzig 'biologische' ein womöglich rein synthetisch hergestelltes Enzym, das in einen elektronischen Meßfühler so eingebaut ist, daß dieser dessen elektrische Potentialänderungen als Reaktion auf bestimmte stoffliche Reize auffangen und darstellen kann. Ob man beim technischen Einsatz rein synthetischer, wenn auch 'nach dem Vorbild der Natur' hergestellter, Enzyme noch von Biotechnologie sprechen kann, erscheint uns zweifelhaft.

25 'Bekannt sein' heißt hier allerdings meist nur, daß diese Arten registriert und morphologisch beschrieben wurden. Über ihre biologischen Leistungen ist meist wenig bekannt. Schätzungen über die Gesamtzahl der auf der Erde vorhandenen Organnismenzahlen bewegen sich zwischen 3 und 30 Millionen Arten (vgl. May 1992).

(insbesondere an Säugetieren und Fischen aber auch an anderen Stämmen wie Insekten und Weichtieren), an Pflanzen (insbesondere Samenpflanzen, aber auch an Moosen, Farnen und Großalgen) und an Mikroorganismen (insbesondere an Prokaryonten wie Bakterien, Viren, aber auch an ein- und mehrzelligen Eukaryonten wie Protozoen, Pilzen, Algen und Flechten).

Für die Erarbeitung konkurrierender biotechnischer Entwicklungspfade und für eine die verschiedenen Organismengruppen und Anwendungsbereiche übergreifende Technikklassifikation sind aber allgemeinere direkt auf die Technologie bezogene Unterscheidungsmerkmale notwendig. Deshalb wird hier neben den schon genannten vier Klassifizierungsprinzipien, denen die Unterscheidung zwischen 'klassischer', 'moderner' und 'neuer' Biotechnologie zugrunde liegt, noch ein fünfter vorgeschlagen:

1. Die Strukturierung nach Anwendungs- und Einsatzgebieten
2. Die Strukturierung nach den angewandten Organismen bzw. Funktionseinheiten
3. Die Klassifizierung nach der **Wissensbasis**
4. Die Form des Umgangs mit biologischen Systemen, insbesondere die Heranziehung der **Eingriffstiefe** bzw. der Eingriffsebene und der Gezieltheit des Eingriffs. Bei der Eingriffsebene lassen sich Eingriffe an der 'Umwelt' von Organismen, an Populationen, an intakten Organismen, Eingriffe auf der Organebene, der zellulären Ebene, an Zellorganellen oder an biologisch aktiven Molekülen unterscheiden. Bei den Zielen reicht die Palette der Möglichkeiten vom 'Finden', 'Kultivieren', 'Vermehren' und 'Züchten' von Organismen und deren Bestandteilen über die 'synthetische Biologie' (das 'Herstellen' neuer Organismen bzw. Organismenbestandteile) und das 'Ökosystemmanagement' bis hin zum Versuch einer 'Steuerung der Evolution'. Die Eingriffstiefe hängt also auch von der 'Funktion' der Struktur ab, an der technisch angesetzt wird (vgl. Kap. B II 2.2)[26].
5. Der Bezug auf die jeweils genutzten biologischen Prozesse bzw. Leistungen der Organismen.

   Wir unterscheiden dabei zunächst zwischen 'stofflichen' und 'informationellen' Leistungen. Bei den stofflichen Funktionen sind vor allem die Stoffwechselleistungen zu nennen, die noch einmal nach den drei Hauptrichtungen 'Biosynthese', 'Biotransformation' und 'Biodegradation' unterschieden werden sollten. Bei den informationellen Funktionen sind vor allem die 'Regulations-', 'Steuerungs-' und 'Interaktionsleistungen' von Populationen, Organismen, Organen und Strukturen zu nennen. Hier geht es um die Steuerung und Regulation von Prozessen und Funktionen zwischen Organismen (z. B. mit Botenstoffen) oder innerhalb derselben auf der Ebene des Gehirns (z. B. mit der Dressur) bzw. auf hormoneller und genetischer Ebene, sodann um die sensorischen und die interaktiven Leistungen von Organismen oder deren Funktionseinheiten, um Bioindikatoren, Biosensoren, biologische Signale (stofflich, akustisch, optisch), um Abwehr- und Schutzmechanismen und schließlich auch um immunologische Reaktionen.

---

26 Der in den nächsten Kapiteln folgende Überblick über die wichtigsten Biotechniken wird nach allen fünf Gliederungsprinzipien dargestellt: zunächst nach der Nutzung organismischer Leistungen, dann nach den Formen des Umgangs bzw. nach der Eingriffsebene und innerhalb dieser Gruppierung auch nach der organismischen Systemebene und schließlich nach den Einsatzbereichen von Biotechniken. Aufbauend auf diesen Klassifizierungen wird eine Gruppierung der wichtigsten biologischen Techniken nach der verwendeten Organismengruppe (Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen) und nach der Eingriffstiefe als eines der wichtigsten Ergebnisse dieser Studie und als erste Grundlage für die Konstruktion konkurrierender biotechnologischer Entwicklungspfade dann in Kapitel BII.3 vorgestellt.

2. Biotechnik als technische Nutzung organismischer Leistungen

2.1 Die Nutzung der Stoffwechselleistungen von Organismen

Der Mensch kann ohne die Leistungen der Organismen nicht überleben. Er muß in die natürlichen Stoffkreisläufe eingreifen. Diese Eingriffe müssen so gestaltet werden, daß diese Stoffkreisläufe langfristig erhalten bleiben und die materiellen Bedürfnisse der ganzen Menschheit global und langfristig abgesichert werden. Langfristig kann nicht mehr verbraucht werden, als die Natur in derselben Zeit bereitzustellen in der Lage ist. Die Nutzung der Stoffwechselleistungen von Organismen, v. a. ihrer Fähigkeit zur Naturstoffsynthese, zur Stoffumwandlung und zum Stoffabbau ist und bleibt der größte und wichtigste Bereich der 'klassischen', der 'modernen' und auch der 'neuen' Biotechnologie. Die angepaßte 'sanfte' Biotechnik und insbesondere eine vorsorgende Umweltpolitik mit dem Ziel der stofflichen Konversion setzt innerhalb dieses Bereichs zunächst vor allem auf die Syntheseleistung von Pflanzen. Die Nutzung ihrer Syntheseleistung soll nicht nur den gegenwärtigen Bedarf an Nahrungsmitteln sondern auch an Werkstoffen befriedigen und damit auch einen Großteil der Produkte der synthetischen Chemie ersetzen. Es stellt sich somit die Frage, ob und wieweit dies qualitativ und quantitativ möglich sein wird.

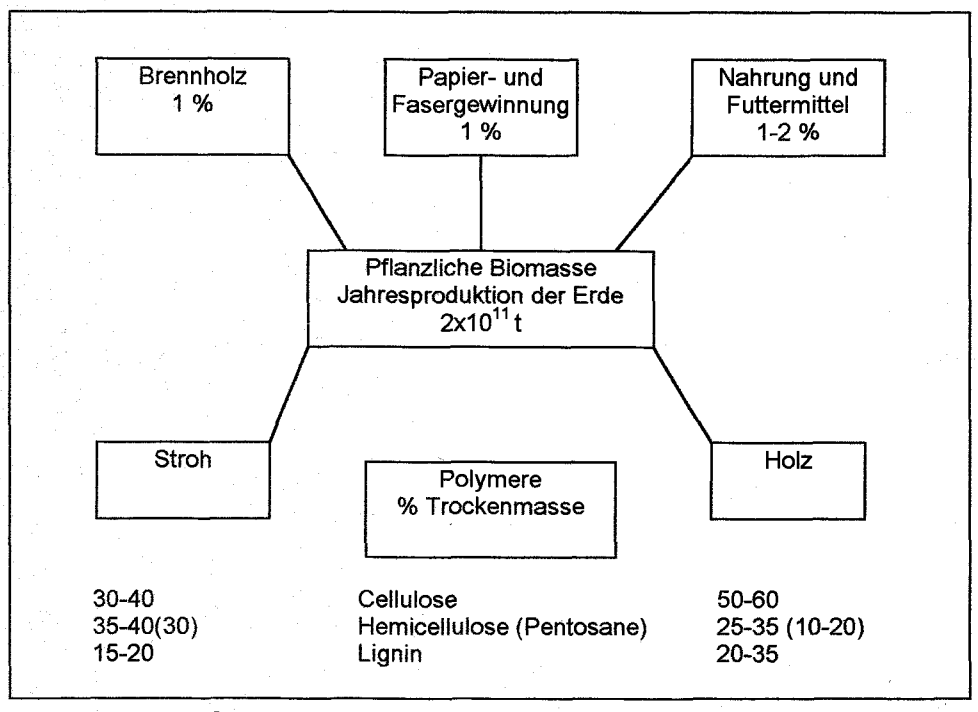
Die sanfte Biotechnik ist zudem als Alternative zu gentechnologischen Verfahren gedacht. Auch hier stellt sich die Frage inwieweit dies qualitativ und quantitativ möglich sein wird. Derartige Fragen der Machbarkeit in dieser Studie adäquat zu beantworten, ist nicht möglich. Trotzdem empfiehlt sich für eine erste Abschätzung der Größe der Aufgabe ein Blick auf die von den Menschen genutzten Leistungen von Organismen, auf die jeweiligen Produktionsmengen und die damit erzielten Umsätze.

Die Stoffwechselleistungen fast aller Organismen basieren letztendlich auf der Photosyntheseleistung autotropher (grüner) Pflanzen und chemoautotropher Mikroorganismen. Die Landpflanzen erzeugen weltweit jährlich schätzungsweise 1,5-2 x 10^{11} Tonnen Biomasse, 50% davon als Holz (vgl. Smith 1983, S. 9). Zum Vergleich: 4-5 x 10^{9} Tonnen Biomasse werden weltweit jährlich auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen erzeugt, ein Viertel davon auf den Feldern. Die ca. 3%ige menschliche Nutzung der jährlich erzeugten Biomasse verteilt sich fast gleichmäßig auf die drei Gebiete Nahrungs- und Futtermittel (1-2%), Papier- und Fasergewinnung (1%) und Brennholz (1%) (siehe Abb.1).

Von der erzeugten pflanzlichen Biomasse leben die heterotrophen Mikroorganismen, die Tiere und der Mensch. Sie zerlegen sie dabei in mehreren Schritten wieder in ihre mineralischen Ausgangsbestandteile. Die wichtigsten Nutzungen heterotropher Organismen durch den Menschen sind die Fleischproduktion (ca. 80 Mrd. t/a), der Fischfang (ca. 80 Mrd. t/a), die Gewinnung von Wolle (1,7 Mio t/a), Fett, Leder, Gelatine, Knochenmehl, Seide (68.000 t/a), Wachs, Farb- und Arzneistoffe.

Schließlich sind die in der Nahrungsmittelverarbeitung genutzten Abbau- und Stoffumwandlungsleistungen von Mikroorganismen (v. a. Hefen, Milchsäurebakterien und Essigbakterien) zu nennen und nicht zu vergessen die Nutzung der Abbauleistungen von Mikroorganismen bei der Dung- bzw. Müllkompostierung und bei der Abwasserreinigung. Die Kompostierung und Abwasserreinigung, die Nahrungsmittelerzeugung und -verarbeitung und die Holzgewinnung und -verarbeitung stellen sicher die volumen- und gewichtsmäßig bedeutendsten Nutzungen der Synthese-, Stoffumwandlungs- und Abbauleistungen von Organismen dar.

Abbildung 1: Nutzung und Zusammensetzung pflanzlicher Biomasse



Quelle: Giesel 1984

2.1.1 Die Nutzung der Syntheseleistung der Pflanzen - eine Alternative zur Chemischen Industrie?

Die Indienstnahme der pflanzlichen Primärproduktion ist schon relativ weit fortgeschritten und sie ist auch nicht beliebig ausweitbar. Wenn die Schätzungen stimmen, erreicht die Holznutzung schon 38% des insgesamt wachsenden Holzes und die Stärkenutzung 0,9‰ der gesamten photosynthetisch erzeugten Biotrockenmasse (vgl. Smith 1983, S. 10). Das Erntegewicht von Zuckerrohr und Zuckerrüben - um bei den Kohlenhydraten des Primärstoffwechsels zu bleiben - lag 1989 bei 1,3 x 10^7 t, bei Knollenfrüchten wie Kartoffeln und Cassava lag es bei 5,4 Mio. t/a und - um einmal ein Genußmittel auf der Basis von Produkten des Sekundärstoffwechsels, zum Vergleich heranzuziehen - Kaffeebohnen wurden in einer Menge von 5,8 Mio. t geerntet (vgl. FAO 1990).

Von der Primärproduktion der Pflanzen werden aber nicht nur Nahrungs- und Genußmittel und Holz (Holzeinschlag ca. 3,4 x 10^9 t 1989) gewonnen bzw. genutzt (davon ca. 13% für Papier), sondern auch Textilfasern (v. a. Baumwolle 18 Mio. t/a, Jute 3,7 Mio. to/a, Hanf und Sisal je 436.000 t/a und Flachs 226.000 t/a, vgl. Gesamttextil 1988, S. 56), ferner technische Roh- und Werkstoffe (Stärke, Fette, Öle, Wachse, Harze, Kork, Klebstoffe, Kautschuk[27], Gummen, Gerbstoffe usw.) und biologische Wirkstoffe (Geschmacks- und Geruchsstoffe, Arzneimittel und Insektizide[28]).

---

27 Zu vielen Stoffen liegen uns leider derzeit keine Weltproduktionszahlen vor. Beim Kautschuk wird die derzeitige Naturkautschukproduktion auf 3-4 Mrd. t/a geschätzt. Die Produktion synthetischen Kautschuks lag Anfang der 80er Jahre bei ca. 5 Mrd. t/a und damit in derselben Größenordnung (1987: 4,7 Mrd. vgl FAO 1990). Die Chemische Industrie verbrauchte weltweit 1979/80 5 Mio. t 'Pflanzensekrete und Extrakte' (3,7 Mio. t Kautschuk, 0,6 Mio. t Kolophonium, 0,25 Mio. t Terpentin, 0,27 Mio. t Gerbstof-

Wenn man die ganze Breite der genutzten Leistungen von Organismen zugrundelegt, dürften, - wenn wir einmal von Luft und Wasser absehen - die wirtschaftlich genutzten Umschlagsmengen mineralischer Rohstoffe und Energieträger diejenigen biogener Stoffe nicht um Größenordnungen übersteigen. [29] Der Verbrauch nicht regenierbarer Energieträger - der ja wegen der maßlosen weltweiten Energieverschwendung in keinem Fall als Maß für in irgend einer Form notwendige Umschlagsmengen genommen werden darf - kommt was die Mengen anbelangt auf 4,8% der jährlich wachsenden Biomasse (vgl. Meussdoerfer/Hirsinger 1989). Die menschliche Nutzung lag, wenn die Schätzungen stimmen, bei 2-3%. Solche Überlegungen, die hier noch auf völlig ungesicherten Daten erfolgen müssen, sind wichtig, wenn es um die Fragen nach der Realisierbarkeit einer umfassenden stofflichen Konversion, eines breiten Umsteigens auf bio-organsichen Werk- und Rohstoffe geht. Als erster Schritt käme es hier aber sowohl global als auch auf Länderebene darauf an, zu einer angemessenen Datenlage für realistische Stoffbilanzen zu kommen. Davon sind wir leider noch sehr weit entfernt. In den Tabellen 4 und 5 wurden zumindest für einen ersten Eindruck einige leicht zugängliche industrielle und landwirtschaftliche Produktionsmengen[30] für die BRD und in den Abbildungen 2-9 einige Verbrauchsmuster und Verbrauchsmengen für verschiedene Raumeineheiten zusammengetragen.

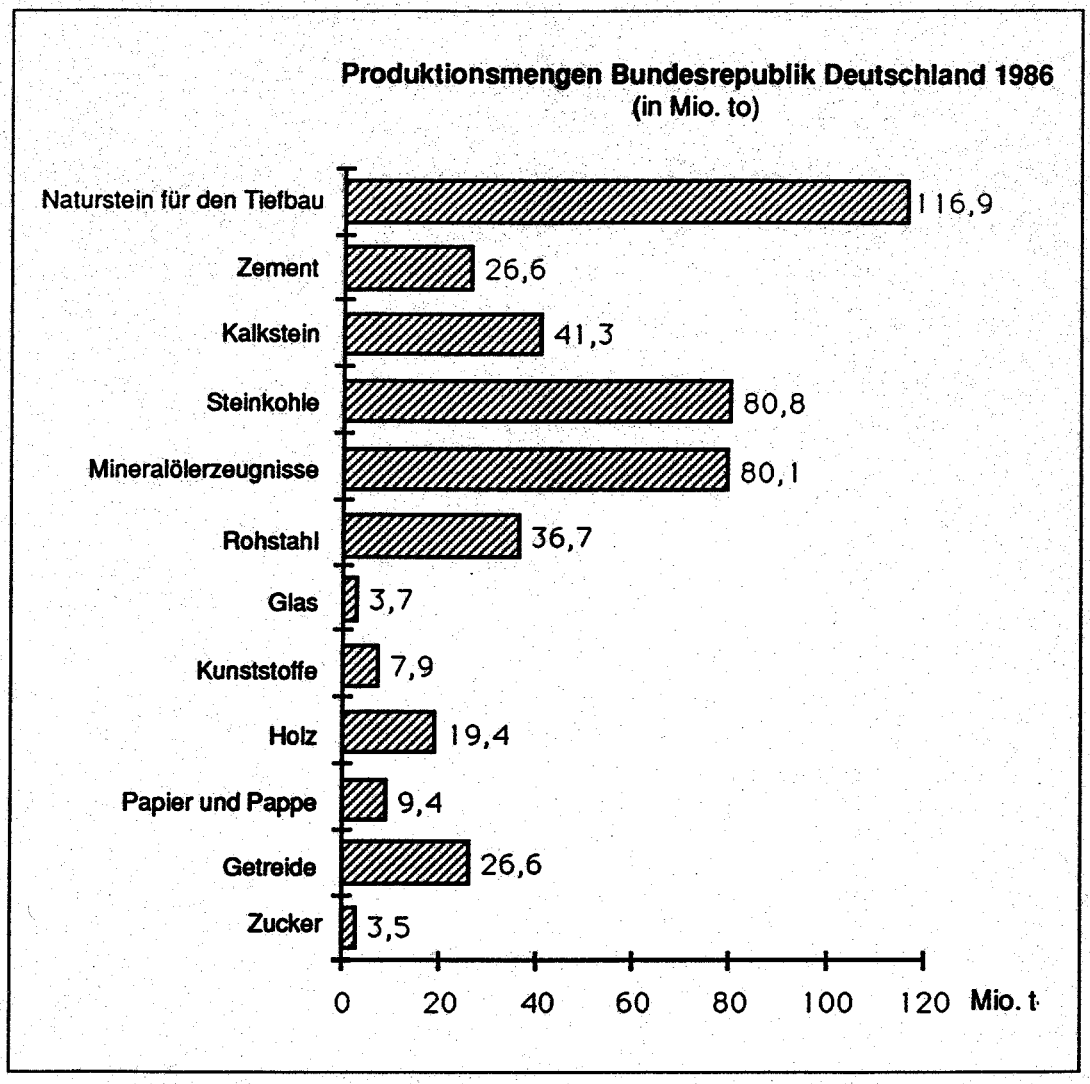
fe, 60.000 t natürliche Farbstoffe, 40.000 t ätherische Öle, 75.000 t Polysaccharide, vgl. Semel/Steiner 1983). Auf die BRD entfielen von der Gesamtmenge 200.000 t. Der Verbrauch dieser Pflanzensekrete und Extrakte lag damit nach dem Verbrauch an Ölen und Fetten (400.000-450.000 t/a) und Stärke (350.000 t/a) an dritter Stelle der verwendeten Naturstoffe und damit noch vor Cellulose (160.000 t/a) und Zucker (22.000 t/a), vgl. Enquêtekommission 1987, S. 50 und die Abbildungen 2-9.

28 Die ökonomische Bedeutung 'biologisch aktiver' Stoffe ist immens. Der Weltumsatz mit Aromen und Riechstoffen betrug 1982 ca. 4,2 Mrd. Dollar (1987 waren es schon 5 Mrd.). Mehr als 70% der von der deutschen Lebensmittelindustrie verarbeiteten Aromen sind derzeit natürlichen Ursprungs (vgl. Drawert 1990). Der Weltumsatz mit Arzneimitteln betrug 1981 76 Mrd. Dollar. Ca. ein Drittel der Wirkstoffe sind natürlichen (meist pflanzlichen) Ursprungs. Farnsworth, der die Bedeutung von Pflanzenstoffen in der Pharmazeutischen Industrie in den siebziger Jahren untersuchte, schätzte, daß über 25% der Medikamente in den USA einen oder mehrere der 76 aktiven Wirkstoffe enthalten, die ausschließlich aus Pflanzen gewonnen werden, vgl. Farnsworth 1977. Zum Vergleich: Der Weltumsatz mit Pestiziden betrug 1984 34,5 Mrd. Dollar, die Hälfte entfiel dabei auf Herbizide, vgl. Amecke 1987.

29 Karde (1993) schätzt, daß ca 50% der weiltweiten materiellen Bedürfnisse durch Biomasse gedeckt werden. Das scheint durchaus kompatibel mit den Schätzungen bzw. den Berechnungen von Rees u.a., die zum Schluß kommen, daß wir beim derzeitigen Verbrauchsniveau in den Industrieländern zwei weitere Planeten bräuchten, wenn alle Länder das Verbrauchsniveau der Industrieländer erreichen würden und alle Bedürfnisse auf der Basis biogener Ressourcen befriedigt werden sollen. Ca. 61 % der Flächen würden dann allein für die Energiebereitstellung gebraucht (vgl. Wackernagel, Rees u.a. 1993)

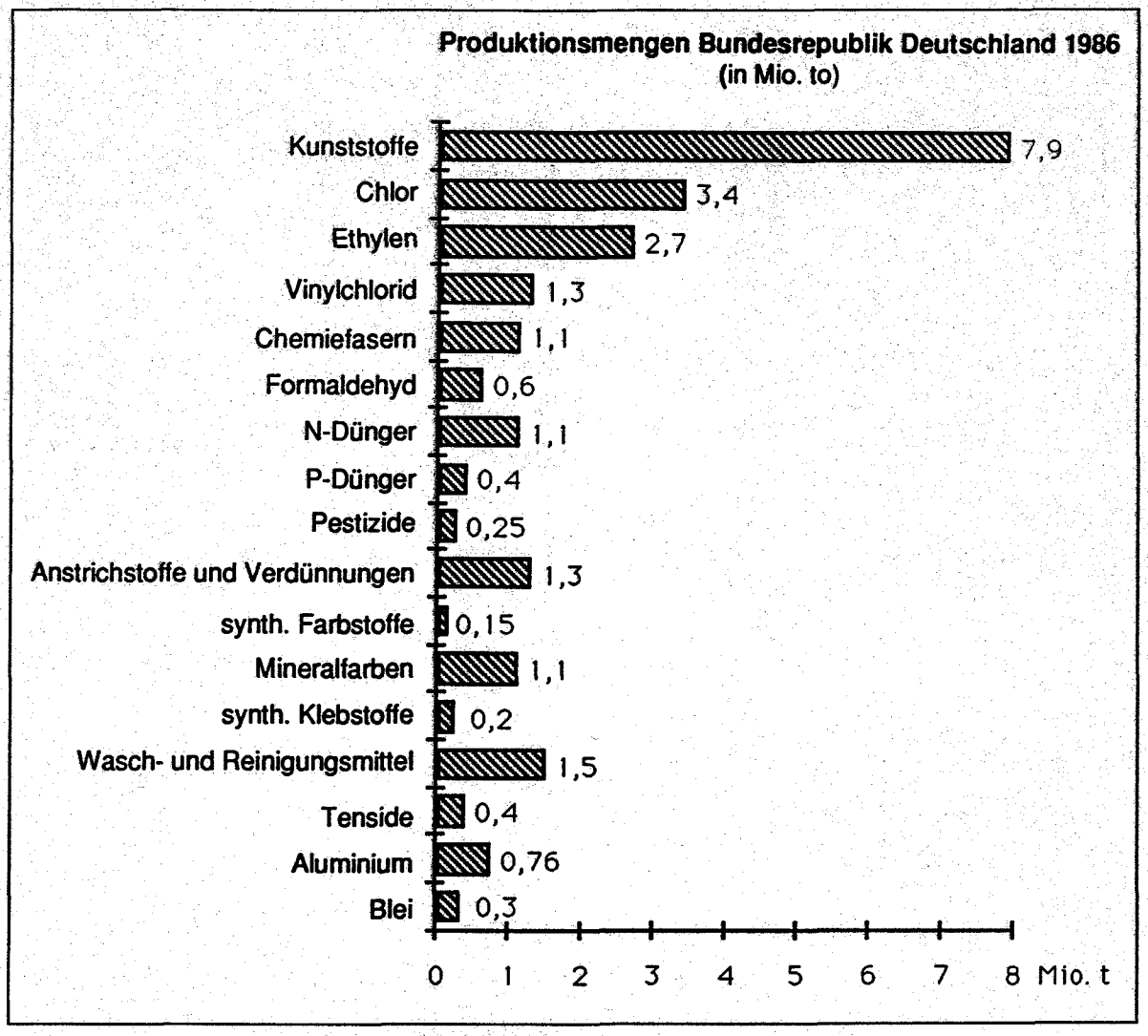
30 Es handelt sich hierbei also nicht um Nutzungsmengen, weil die dafür notwendige Im- und Exportbilanz nicht erstellt werden konnte.

Tabelle 4: Produktionsmengen organischer und mineralischer Grundstoffe im Vergleich zur Getreide- und Zuckerproduktion in der BRD 1986



Quelle: Statistisches Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland 1988

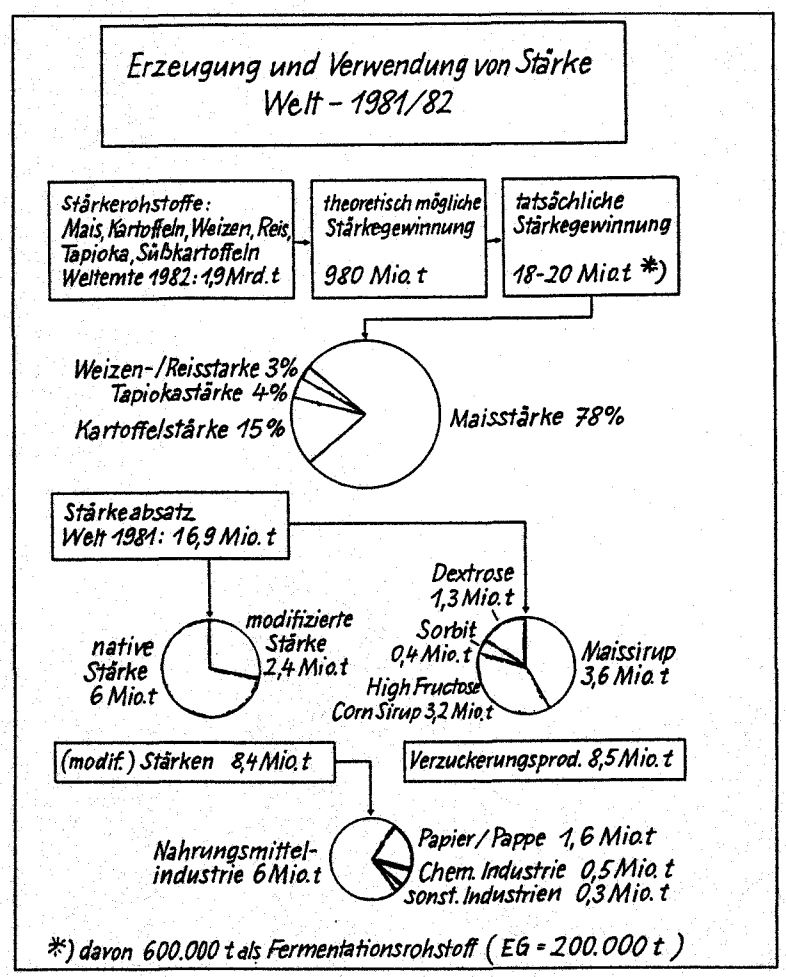
Tabelle 5: Produktionsmengen einiger Grundstoffe und Produkte der Chemischen Industrie in der BRD 1986



Quellen: Amecke 1987, VCI 1987

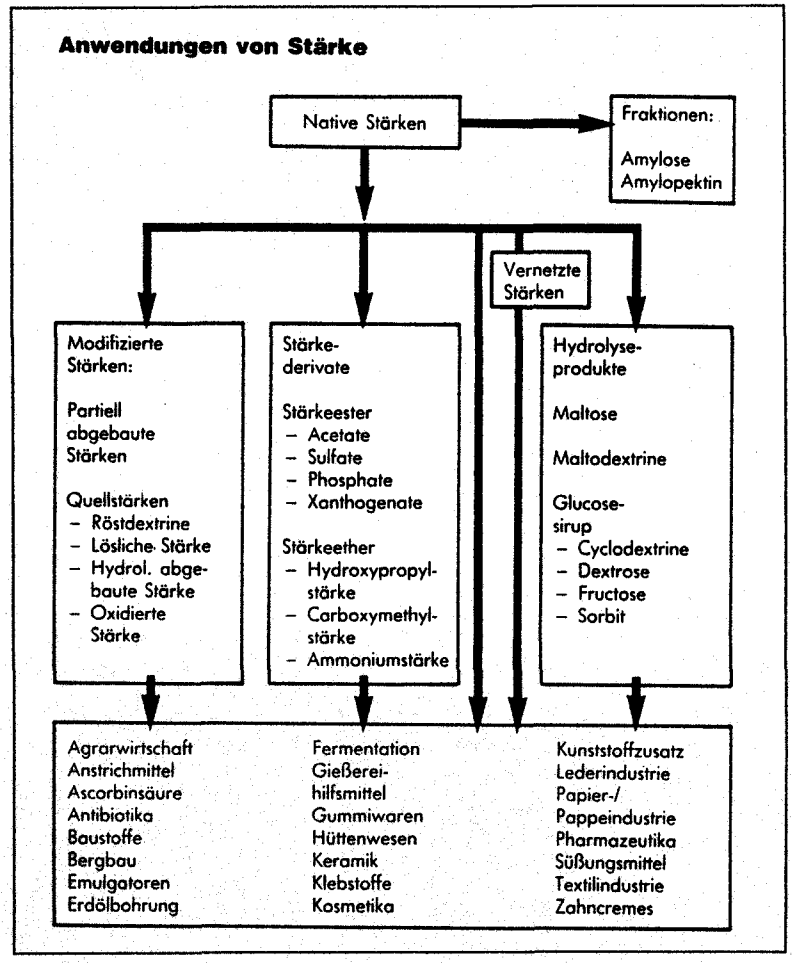
Die Weltproduktion synthetischer Chemikalien liegt z. B. bei ca. 350 Mio to. Die Weltproduktion von Milch und Zucker ist höher als die von Rohbenzin (vgl. Dunhill 1982). Die Landwirtschaft produziert z. B. in der BRD gewichtsmäßig zehnmal so viel wie die Chemische Industrie, von deren Rohstoffen immerhin auch noch (oder schon) 10% 'nachwachsend' sind. Von der bundesrepublikanischen Chemischen Industrie werden jährlich 700.000 Tonnen Öle und Fette, 400.000 Tonnen Stärke, 250.000 Tonnen Cellulose und 22.000 Tonnen Zucker verarbeitet (vgl. Zoebelein 1988). Die wichtigsten Einsatzbereiche sind in den Abbildungen 2 bis 9 wiedergegeben.

Abbildung 2: Erzeugung und Verwendung von Stärke, (Welt) 1981/82



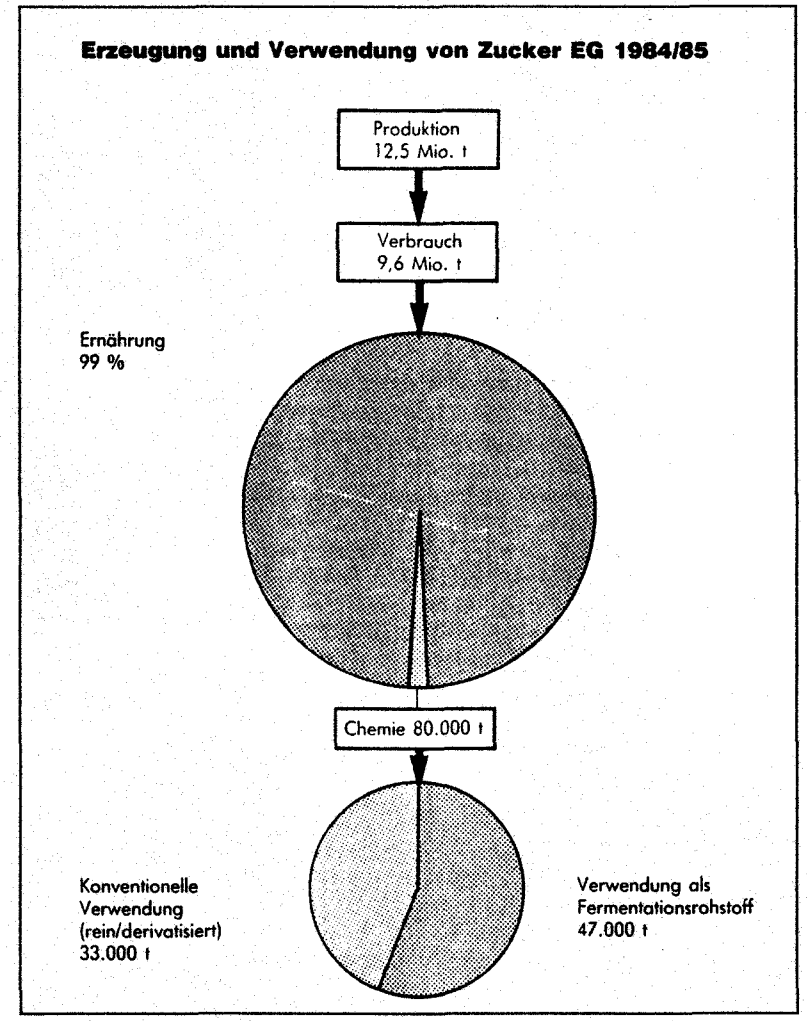
Quelle: Zoebelein 1988

Abbildung 3: Anwendungen von Stärke



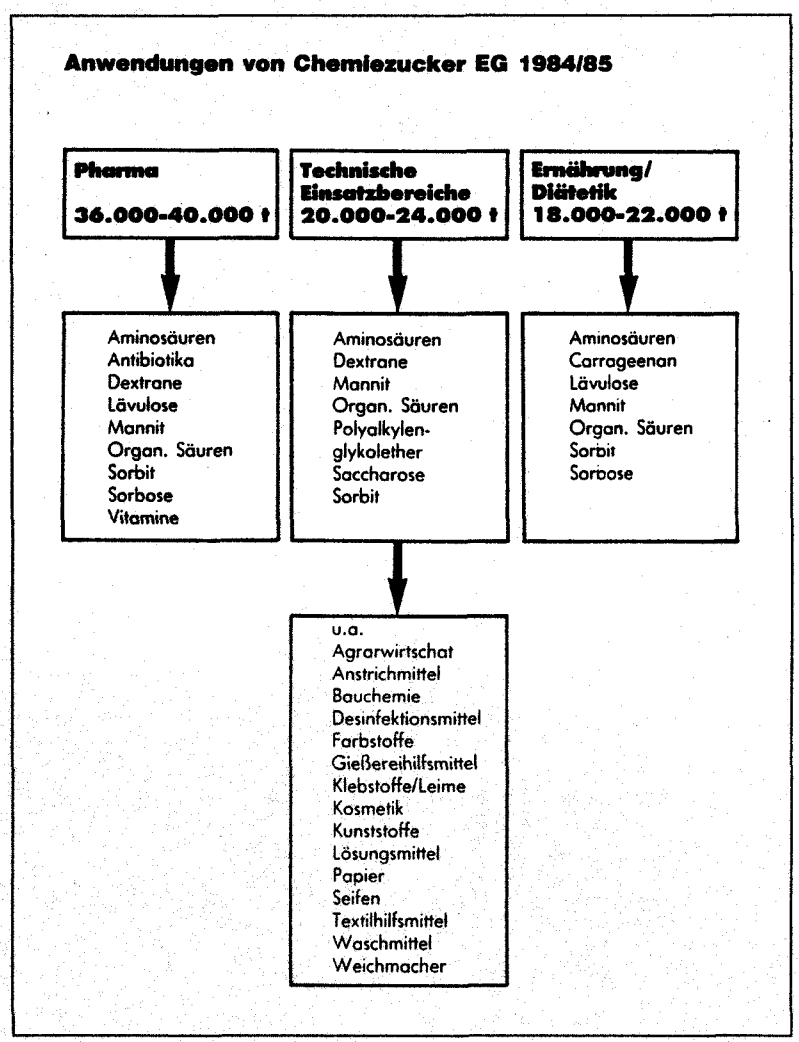
Quelle: Zoebelein 1988

Abbildung 4: Erzeugung und Verwendung von Zucker (EG) - 1984/85



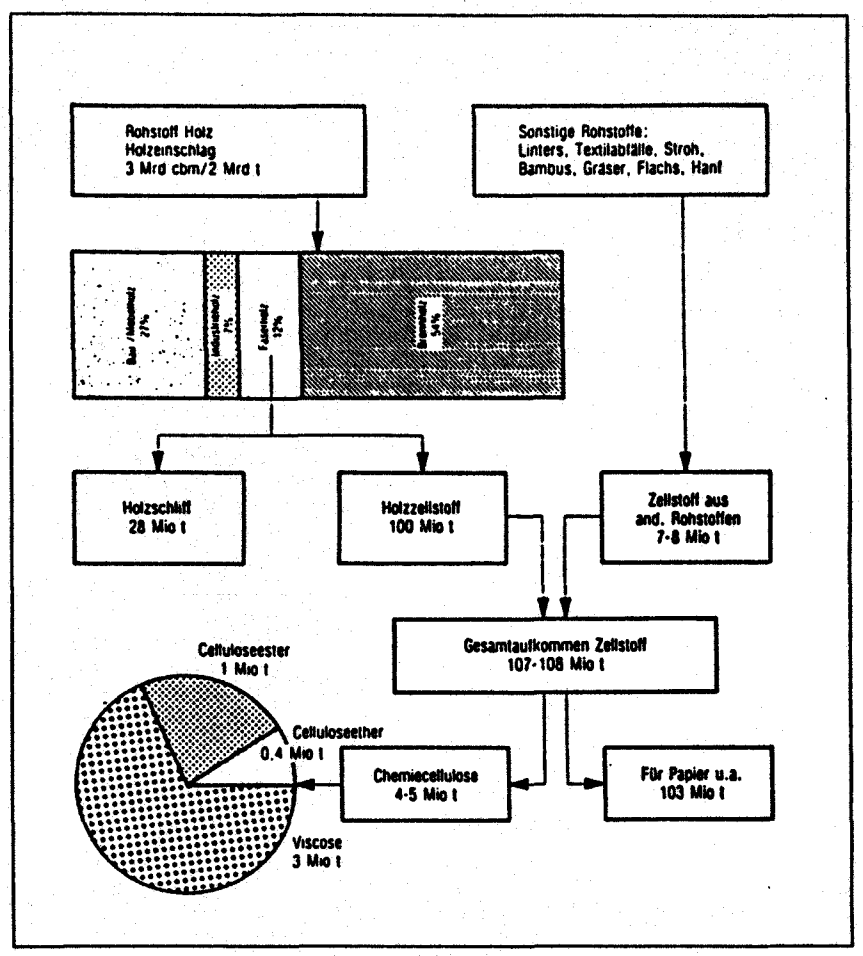
Quelle: Zoebelein 1988

Abbildung 5: Anwendungen von Chemiezucker (EG) 1984/85



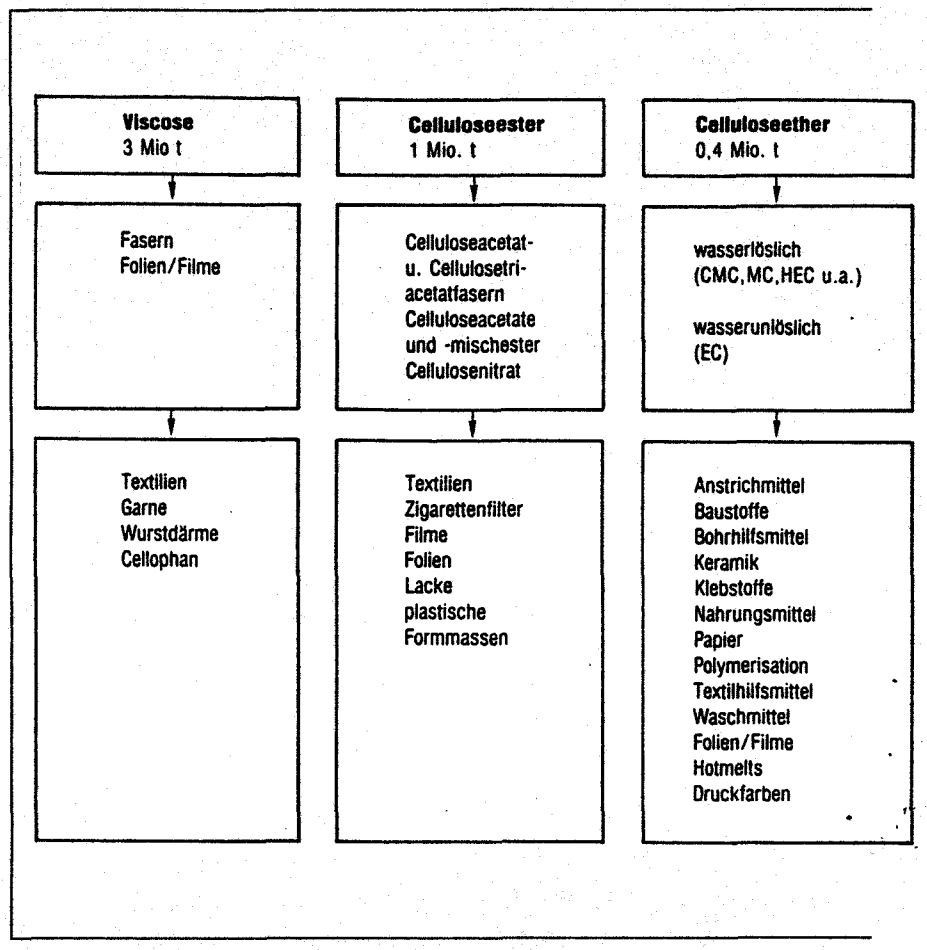
Quelle: Zoebelein 1988

Abbildung 6: Erzeugung und Verwendung von Zellstoff (Welt) 1983



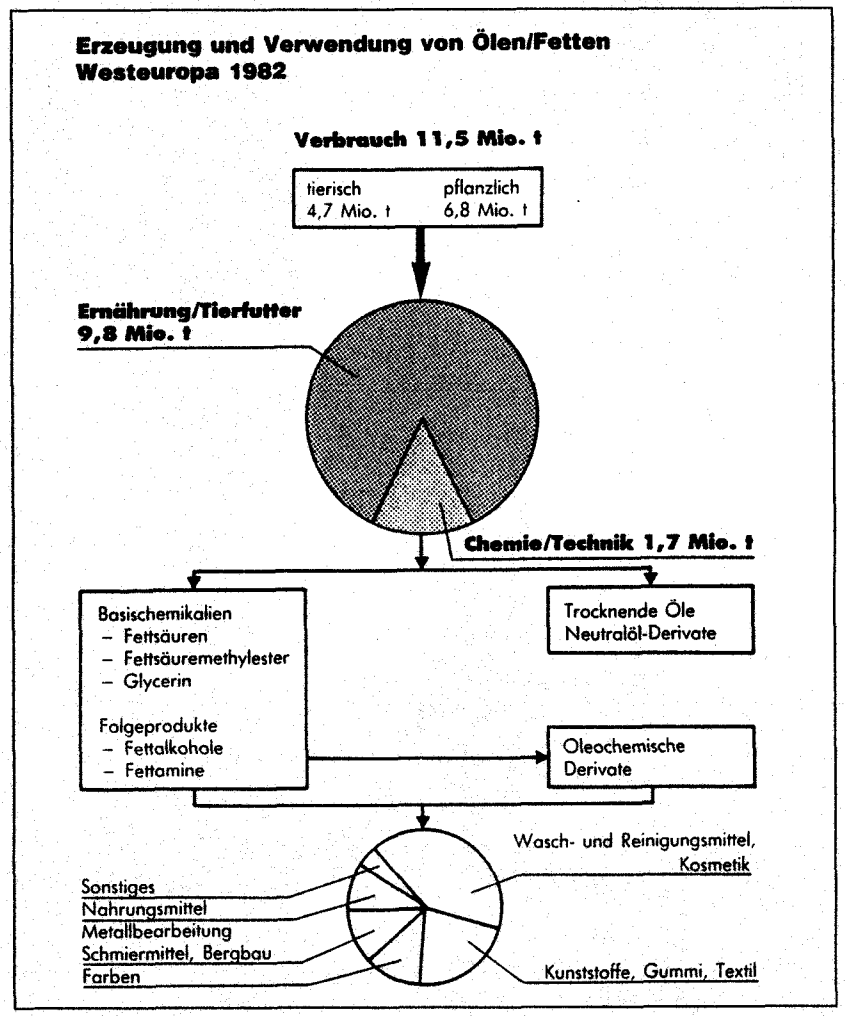
Quelle: Zoebelein 1988

Abbildung 7: Chemisch-technische Anwendungen von Cellulose



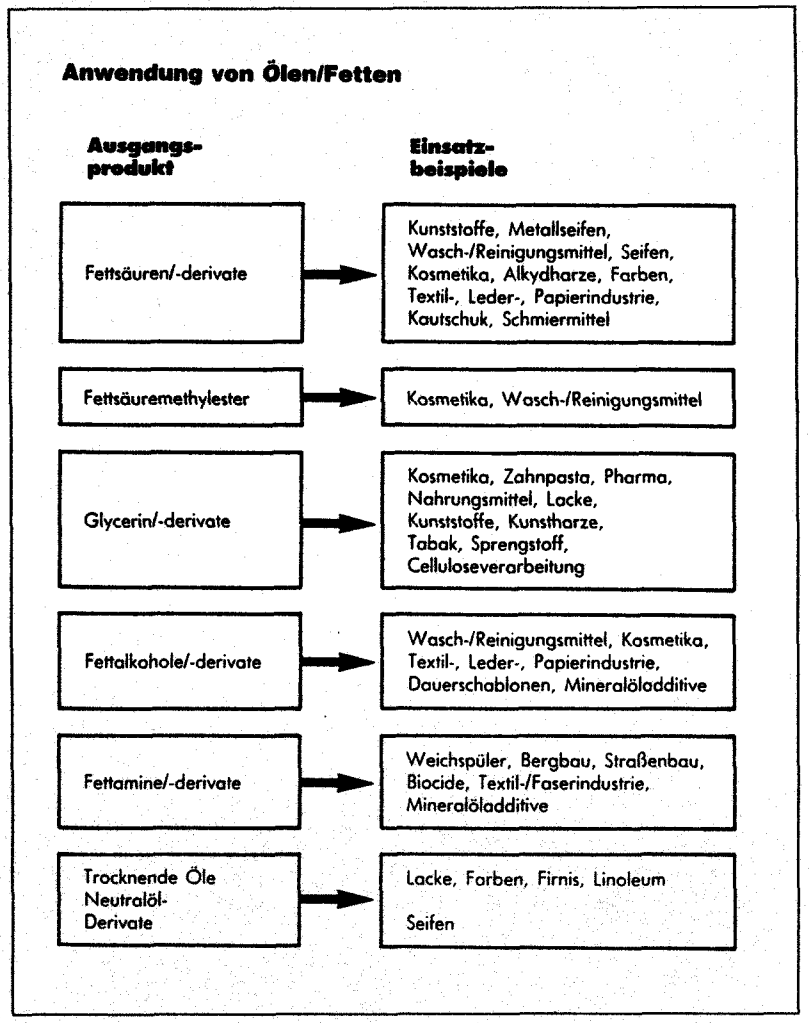
Quelle: Zoebelein 1988

Abbildung 8: Erzeugung und Verwendung von Ölen/Fetten (Westeuropa) 1982



Quelle: Zoebelein 1988

Abbildung 9: Anwendungen von Ölen/Fetten



Quelle: Zoebelein 1988

Obwohl bisher für einen Entwicklungspfad im stofflichen Bereich auf der Basis von Pflanzenstoffen als alternative zu synthetischen Stoffen der Chemischen Industrie nur Bruchstücke existieren, soll hier schon kurz auf die derzeit absehbare Reichweite eines solchen Konzepts eingegangen werden.

Vor allem in den Bedürfnisbereichen Essen, Kleiden, Waschen/Pflegen/Reinigen/Kosmetik und Bauen/Wohnen konnte sich die synthetische Chemie nie vollständig durchsetzen. Auf diesen Feldern, denen ein besonders intensiver Kontakt der Menschen mit den Stoffen gemeinsam ist (unter der Haut, auf der Haut, unmittelbare Wohnumwelt), ist gegenwärtig auch die Gegenbewegung am stärksten. So liegen beim Einsatz von Textilfasern die Naturfasern mit wieder deutlich steigender Tendenz vorn und auch die Chemie am Bau, die sich fast völlig durchgesetzt hatte, muß wieder Marktanteile an Naturwarenproduzenten abgeben. Vor allem in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft, Fasern/Textilgewerbe, Farben/Lacke/Holzschutzmittel/Kleber, Wasch- und Reinigungsmittel/Kosmetika und Werkstoffe/Baustoffe gibt es für so ziemlich alle Anwendungsbereiche überzeugende stoffliche Alternativen.

Bei Überlegungen zur Reichweite des Konzepts muß auch berücksichtigt werden, daß selbst die konventionelle 'harte' Chemie und Pharmazie noch stark auf Naturstoffe angewiesen ist. 33% der pharmazeutischen Wirkstoffe sind natürlichen Ursprungs[31]. Bei den Aromen und Riechstoffen stellen die Naturstoffe noch mehr als 70% mit voraussichtlich wieder steigender Tendenz (vgl. Young 1987). Bei den natürlichen Werkstoffen organischen Ursprungs stehen Hölzer, Harze, Pflanzenöle und Kautschuk im Zentrum. Selbst in die konventionelle chemische Klebstoffproduktion gehen zu 35% natürliche Rohstoffe ein. Auch die Tensid- und Waschmittelproduktion basiert ganz wesentlich auf natürlichen Ölen und Fetten. Einer Kolophoniumproduktion von 600.000 t/a weltweit standen Mitte der 80er Jahre nur 500.000 t/a synthetische Kohlenwasserstoffharze gegenüber. Knapp 43% der weltweiten Kautschukproduktion wurde Anfang der 80er Jahre durch Naturkautschuk abgedeckt (vgl. Amecke1987, VCI 1987a und 1987b).

Auch die Haupteinsatzbereiche von Kunststoffen (Bau 21%, Verpackung 21%, E-Technik 15%, Klebe- und Anstrichmittel, Fahrzeugbau, Möbel und Einrichtungen, Landwirtschaft und Haushalt 33%) lassen gute Möglichkeiten für einen Ersatz durch Naturstoffe vermuten. Über 40% der Produktionswerte der Chemischen Industrie gingen Mitte der 80er Jahre in Abnehmerbranchen mit einem hohem Substitutionspotential wie Landwirtschaft, Textilindustrie, Baugewerbe, Nahrungs- und Genußmittelindustrie, Verpackungsindustrie, Papier- und Druckindustrie. Über 45% der Produktionswerte der Chemischen Industrie wurden mit Produkten erzielt, die auf den ersten Blick schon substitutionsverdächtig sind, wie Düngemittel (2%), Kunststoffe (15,8%), Chemiefasern (4%), Lacke (4,2%), Farbstoffe (2%), Seifen und Waschmittel (2,9%), Körperpflegemittel (2,5%), Hilfsmittel der Textil- und Lederpflege und Produktion (2,5%), Mineralfarben (3,4%), Pflanzenschutzmittel (2,5%), Bautenschutzmittel (1,5%), Klebstoffe (1,2%)(vgl. Amecke1987, VCI 1987a und 1987b).

2.1.2 Nachwachsende Rohstoffe?

Ein ernst zunehmender Einwand gegen die Konversion zu einer bio-organischen 'sanften' Chemie ist die Frage, ob die Land- und Forstwirtschaft ausreichend Werk- und Rohstoffe zur Verfügung stellen kann, ohne daß dadurch mit Blick auf die Flächenverfügbarkeit die Nahrungsmittelversorgung gefährdet und/oder die Naturgrundlagen durch industrialisierte Intensivlandwirtschaft noch stärker zerstört werden. Ausgehend von der langfristigen

---

31 vgl. Farnsworth, N. R.: The current importance of plants as a source of drugs, in: Seigler, D. S. ed.: Crop Resources, New York 1977.

Notwendigkeit eines Umstiegs von nicht regenerierbaren auf regenerierbare Ressourcen sollte klar sein, daß ein solcher Umstieg nicht im Verhältnis 1:1 erfolgen kann, sondern mit einer drastischen Reduzierung des gesamtgesellschaftlichen Stoffumsatzes einhergehen muß. Gleichzeitig ist eine gewisse 'Brutalität' im Konzept 'Nachwachsende Rohstoffe' zu beachten. Was da wächst, sind ja nicht Rohstoffe, sondern Pflanzen. Mit der Rede von nachwachsenden 'Rohstoffen' werden die Pflanzen immer schon als in ihre Elemente zerlegt gedacht, wobei das meiste als Müll übrig bleibt. Trotzdem gibt es zwischen dem Konzept einer 'sanften Chemie'[32] und dem mit Recht sehr kritisch diskutierten Konzept der 'Nachwachsenden Rohstoffe' Gemeinsamkeiten. Bei beiden wird auf die Produktivität der Pflanzen und auf Regenerierbarkeit gesetzt und damit eher auf natürliche Kreisläufe als auf lineare Ausbeutungskonzepte mit Rohstoffplünderung am einen und Sondermüllbergen am anderen Ende. Der Hinweis auf die Endlichkeit der nicht regenerierbaren Ressourcen und auf die Sonne als einziger Energiespenderin für die pflanzliche Synthese spielt auch bei den Begründungen für die Notwendigkeit des Übergangs zu einer sanften bio-organischen Chemie eine wichtige Rolle, ebenso wie der Hinweis, daß jährlich von Pflanzenstoffen nicht mehr verbraucht werden kann, als die Natur bzw. die Land-, Forst- (und ggf. in Zukunft auch Meereswirtschaft) in der gleichen Zeit bereitzustellen in der Lage sind.

Sowohl das Konzept 'Nachwachsende Rohstoffe' als auch das Konzept 'sanfte Chemie' setzen auf eine neue Verbindung zwischen Landwirtschaft einerseits und verarbeitendem Gewerbe andererseits. Diese neue Verbindung könnte eine wichtige Alternative im wirtschaftlichen Strukturwandel darstellen, in dem ansonsten vor dem Hintergrund einer abnehmenden Bedeutung des verarbeitenden industriellen Sektors (insbesondere der Grundstoffindustrie) allein auf Versuche zu einem Durchbruch in Richtung Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft gesetzt wird.

Die Unterschiede zwischen den beiden Konzepten, insbesondere wenn die Kriterien Eingriffstiefe und Mitproduktivität (bzw. Achtung vor der gewachsenen Struktur) zugrunde gelegt werden, sind jedoch so groß, daß sie in Wirklichkeit strategische Alternativen darstellen, also verschiedenen Entwicklungspfaden zuzuordnen sind, wobei noch keineswegs entschieden ist, welcher Pfad sich durchsetzen wird. Dabei geht es auch um die Frage, ob die mit beiden Konzepten verbundene neuerliche Hinwendung zu bioorganischen Naturstoffen und damit auch zur landwirtschaftlichen Primärproduktion als Chance für eine ökologische und sozioökonomische sinnvolle Gesamtwirtschaft und für eine eigenständigere Ökonomie des ländlichen Raums genutzt werden kann, oder ob sich mit dem Konzept 'Nachwachsende Rohstoffe' eine neue Stufe der Industrialisierung der Landwirtschaft, der Naturausbeutung und der Kolonisierung des ländlichen Raums durchsetzen wird [33].

Mit dem Konzept der 'Nachwachsenden Rohstoffe'[34] waren zumindest bisher ganz andere Interessen als ökologische verbunden. Für dieses Konzept gab es in der jüngeren Vergangenheit im wesentlichen zwei Impulse, die Ölkrise und die Agrarüberschüsse, wobei

---

32 Die 'sanfte Chemie' wird hier als Teilstrategie im Rahmen des Konzepts 'sanfte Biotechnik' diskutiert. In der chemiepolitischen Debatte spielt sie jedoch als Konzept eine eigenständige Rolle, vgl. z. B. das Themenheft der Zeitschrift 'Wechselwirkung' zur 'sanften Chemie', April 1991

33 vgl. für erste Ansätze zur Einbindung des Konzepts der sanften Chemie in ein gesamtwirtschaftliches, ökologisch orientiertes Konzept 'eigenständiger Regionalentwicklung': von Gleich/Lucas/Schleicher/ Ullrich 1988 u. 1992 , von Gleich1989b; von Gleich1990b.

34 vgl. für einen ersten Überblick über die Debatte: Bericht des Bundes und der Länder über Nachwachsende Rohstoffe, Bonn 1989, BMFT/ BMELF (Hrsg.): Expertenkolloquium Nachwachsende Rohstoffe. Möglichkeiten und Grenzen einer Produktion und Verwendung heimischer Pflanzen für die Industrie, 2 Bde., Bonn, 1986.

beiden Impulsen gemeinsam ist, daß in ihnen der derzeitige Umfang der Stoff- und Energieumsätze *nicht* in Frage gestellt wird.

Die **Ölkrise** machte nach der Debatte über die Grenzen des Wachstums die Rohstoffabhängigkeit der Industriestaaten und vor allem die Endlichkeit der nichtregenerierbaren Rohstoffe noch einmal deutlich[35].

Die 'Biospritkampagne', die in der Folge der Ölkrise begann und bei der auf den (zumindest teilweisen) Ersatz von Benzin durch Bioalkohol gesetzt wurde, scheint derzeit allerdings v. a. mit Rückzugsgefechten beschäftigt zu sein (vgl. z. B. Niegel 1988). Die Gründe hierfür liegen einerseits in den immer noch relativ niedrigen Ölpreisen, andererseits aber auch in der Erfahrung, daß die ökologischen Probleme dieses Ansatzes, wie sie z. B. in Brasilien und in den beiden Pilotanlagen[36] deutlich wurden, übergroß sind. Allein die Abwassereinigung scheint in den beiden bundesrepublikanischen Versuchsanlagen mehr Geld zu kosten, als für den produzierten Alkohol zu erlösen ist.

Vom Ansatz der sanften Chemie und sanften Biotechnik her stellt die Reduktion der Pflanzen auf ihren Gehalt an Energie, das Verbrennen der wertvollen Pflanzenstoffe und Pflanzenstrukturen - erst recht nach der schon extrem selektiv die Pflanzenstoffe nutzenden Alkoholgewinnung - eine riesige Verschwendung dar[37]. Allenfalls die Biogasgewinnung im Rahmen der Bewältigung nicht vermeidbarer Belastungen von Abwässern oder die Restholzverbrennung ist von diesem Ansatz her als Beitrag der Biomasse im Rahmen der Nutzung regenerativer Energiequellen diskutabel[38].

Der zweite Impuls für das Konzept 'Nachwachsende Rohstoffe' kam aus der Agrarpolitik. Der Anbau von sogenannten Industriepflanzen wurde hier empfohlen als Reaktion auf die gewaltigen **Überschüsse in der Agrarproduktion** der Europäischen Gemeinschaft. Ohne die hochproblematische agroindustrielle Intensivlandwirtschaft in Frage zu stellen[39], wurde nur ein neuer Absatzmarkt, eine neue Verwendung für deren Produkte gesucht.

Dieser Ansatz stieß erst in den vergangenen Jahren auch auf ein gewisses **(Modernisierungs-)Interesse bei der Chemischen Industrie**, die inzwischen auch das 'molekulare Niveau' von komplexen Naturstoffen zu schätzen gelernt hat und mittlerweile davon ausgeht, daß sich der Anteil der in der Chemischen Industrie verarbeiteten Pflanzenstoffe in den nächsten Jahrzehnten auf ca. 20% erhöhen wird (vgl. Zoebelein 1988, BMFT 1990b). Die Chemische Industrie sieht sich in den westlichen Industriestaaten vor allem auf dem Gebiet der Massenchemikalien einer zunehmenden Konkurrenz durch die Schwellenländer ausgesetzt, die direkten Zugang zum Öl haben und deren Umweltstandards mit den hiesigen kaum vergleichbar sind. Sie sieht ihre technische und wirtschaftliche Zukunft deshalb eher im Gebiet der hochwertigen Feinchemikalien, für deren Produktion wiederum biotechnische Verfahren zunehmend wichtiger werden. Viele dieser Verfah-

---

35 Mit derartigen Impulsen eng verwoben war auch immer das Streben nach mehr Autonomie, wenn nicht gar nach Autarkie in der Rohstoffversorgung. So wird z. B. von der Chemischen Industrie durchaus darauf geachtet, daß die Abhängigkeit von einem einzigen Rohstofflieferland - z. B. für Palmöl für die Tensidproduktion - nicht zu groß wird . Eine derartige Argumentation hat auch für die Bundesregierung bei der Förderung der Erforschung ölliefernder Wolfsmilchgewächse, die in unseren Breiten gedeihen, durchaus eine Rolle gespielt.

36 Eine der beiden Anlagen befindet sich sogar innerhalb der Untersuchungsregion (in Ahausen-Eversen in der Nähe von Rotenburg/Wümme.)

37 Die sich über den ganzen Lebenszyklus erstreckenden Energiebilanzen eines solchen Vorgehens sind denn auch insgesamt negativ.

38 Über die Wasserstoffproduktion durch Mikroorganismen, die eventuell auch noch interessant sein könnte, ist uns derzeit noch zu wenig bekannt.

39 Man könnte auch sagen: 'um sie nicht in Frage stellen zu müssen' ...

ren sind wiederum auf Stärke und Zucker für die Fermentationsnährbrühen angewiesen[40].

Während solche Tendenzen der Chemischen Industrie zur 'Biologisierung' ihrer Produktion ein differenziertes Interesse verdienen, wenn nicht gleich wieder umstandslos auf die nächste extrem eingriffstiefe Technik, die Gentechnologie, umgestiegen wird, dürften die Folgen einer agrarischen Intensivwirtschaft als Zulieferant der Chemischen Industrie sowohl ökologisch als auch sozialökonomisch problematisch werden. Ohne Umstellung der landwirtschaftlichen Produktionsweise muß mit einer Verschärfung der schon bekannten Umweltprobleme der Intensivlandwirtschaft gerechnet werden[41], wobei eine industrielle Verwendung der Produkte möglicherweise noch die letzten, durch die Rückstandsproblematik bedingten Hemmnisse im Pestizid- und Düngemitteleinsatz beseitigen würde. Schließlich muß soziokulturell mit einer weiteren Konzentration der Landwirtschaft auf die 'guten Standorte' und somit mit einem weiteren Höfesterben und einem weiteren Ausbluten des ländlichen Raumes v.a. in den Mittelgebirgslagen und anderen sogenannten 'Grenzertragsflächen' gerechnet werden. Eine weitere negative Folge wäre die Abhängigkeit der Bauern von industriellen Großabnehmern wie es zum Teil schon im Vertragsanbau mit der Lebensmittelindustrie der Fall ist und womöglich die Ausbreitung großer Monokulturen im nahen Umkreis der Verarbeitungsbetriebe.

Auch die industrielle Verwertung von Stärke, Zucker und Ölen wird allerdings die Überschußprobleme der Intensivlandwirtschaft nicht lösen können. Sie könnte allenfalls die nach wie vor jährlich steigenden Produktivitätszuwächse der Intensivlandwirtschaft absobieren helfen, so daß die wahrscheinlichste Entwicklung bei nicht gebremster Intensivierung der Agrarproduktion, trotz Ausschöpfung des Marktpotentials 'nachwachsender' Rohstoffe nicht die auch von Kritikern einer 'stofflichen Konversion' befürchtete Mobilisierung der letzten landwirtschaftlichen Flächen, nicht der flächendeckende Anbau von Industriepflanzen und auch nicht eine Konkurrenz zwischen Nahrungsmittelanbau und Industriepflanzenanbau ist, sondern schlicht die Fortführung des Prozesses der Konzentration der landwirtschaftlichen Produktion auf den günstigsten Standorten für Weizen, Kartoffeln, Zuckerrüben und vielleicht noch Raps mit den bekannten negativen ökologischen Konsequenzen für das Grundwasser, die ausgeräumte Agrarwüste und die Bodenfruchtbarkeit[42]. Die übrigen Flächen würden als unrentabel stillgelegt, mit katastrophalen sozialen Folgen für die Bauern und den ländlichen Raum und mit zumindest ambivalenten ökologischen Folgen für die nicht mehr kultivierten ehemaligen Kulturlandschaften.

Ökologisch wesentlich interessanter wäre eine Erweiterung des Spektrums angebauter Nutzpflanzen. Sie dürfte aus mehreren Gründen auch im Rahmen des Konzepts der 'Nachwachsenden Rohstoffe' unumgänglich sein[43]. Eine solche Entwicklung wäre aus ökologischer Sicht unter folgenden Bedingungen sinnvoll:

---

40 Die wachsende Bedeutung von Pflanzenstoffen in der Chemischen Industrie reicht aber, wie der verstärkte Einsatz von Pflanzenstärke in der Kunststoffproduktion zeigt, längst bis in die Produktion von Massenchemikalien hinein.

41 Vgl. Rat von Sachverständigen 1985.

42 Bechmann (1987) hat demgegenüber nach der Versorgungssicherheit auf der Basis eines biologischen bzw. biologisch-dynamischen Landbaus gefragt. In seiner ersten Skizze einer 'Landbauwende', wird dargelegt, daß - wenn der Fleischkonsum um ca. 20 % verringert wird - selbst bei biologisch-dynamischer Landwirtschaft auf allen derzeit bewirtschafteten Flächen der BRD noch Raum für den Anbau von Nichtnahrungspflanzen bliebe, vgl. Bechmann 1987. Da es in dieser Studie nur um die Ernährungssicherheit ging, wurden die Waldflächen als Lieferanten von Holz, Kolophonium, Balsamterpentinöl und Gerbstoffen noch gar nicht berücksichtigt.

43 Der Anbau von Nichtnahrungspflanzen ist im übrigen keine Erfindung des Konzepts der 'Nachwachsenden Rohstoffe'. Er hat vielmehr schon eine Tradition, die so alt ist wie die Landwirtschaft selbst. Eher muß von einer Verdrängung des Anbaus von Faserpflanzen wie Flachs und Hanf oder Färbepflanzen

- Die neu (oder wieder) in Kultur zu nehmenden Pflanzen müssen andere Nährstoffansprüche haben - wie das z. B. beim mehrfachnutzbaren Flachs (Fasern und Öl), bei den Färbepflanzen oder den alten Ölpflanzen wie Leindotter, Ölrauke oder schwarzer Senf der Fall ist.
- Sie dürfen nicht in direkte Konkurrenz zum Anbau von Nahrungspflanzen treten, sondern sollten im Gegenteil eine wertvolle Bereicherung des Fruchtwechsels darstellen.
- Sie sollten schließlich mit ökonomischem Erfolg auch auf Flächen angebaut werden können, die ansonsten stillgelegt würden.
- Es sollte eine dezentrale Verarbeitung der Pflanzen und eine regionale Vernetzung der Verarbeitungsschritte verwirklicht werden. Eine Option, die auch regionalpolitisch für die Zukunft nicht nur des ländlichen Raumes höchst interessant ist.

2.1.3 Die Nutzung mikrobieller Stoffwechselleistungen

Bei der Nutzung mikrobieller Stoffwechselleistungen stehen neben der Kompostierung und Abwasserreinigung die Nahrungsmittelfermentation und die Herstellung alkoholischer Getränke, also die Nutzung von ursprünglich ubiquitären Mikroorganismen wie Hefen, Milchsäure- bzw. Essigbakterien und Schimmelpilzen im Vordergrund. Gewichtsmäßig liegen hier Brot- und Backwaren gefolgt von Bier mit je um die 100 Mio. Jahrestonnen weltweit an der Spitze. Dann kommen die Wein- (ca. 40 Mio. t/a) und Käseherstellung (6-10 Mio. t/a) und schließlich die Gewinnung von Backhefe (ca. 3 Mio. t/a) und Essig (ca. 1 Mio. t/a) (vgl. Hepner/Male 1987, S. 580). Die Weltproduktion von Einzellerprotein und high-fructose-corn-syrup lag Mitte der 80er Jahre bei 5-6 Mio t, die Produktion von Aminosäuren bei 0,5 Mio. t. Es folgen Citronensäure mit 0,3 Mio t, Vitamin C mit 0,1 Mio. t, Antibiotika mit 30.000 t, der Süßstoff Aspartame mit 10.000 t und technische Enzyme mit 1.000 t/a (Kasche, 1993). Die Mengen und Werte einiger fermentativ erzeugter Lebensmittel in der BRD im Jahre 1986 zeigt Tabelle 6.

Tabelle 6: Menge und Wert einiger fermentativ erzeugter Lebensmittel, BRD 1986

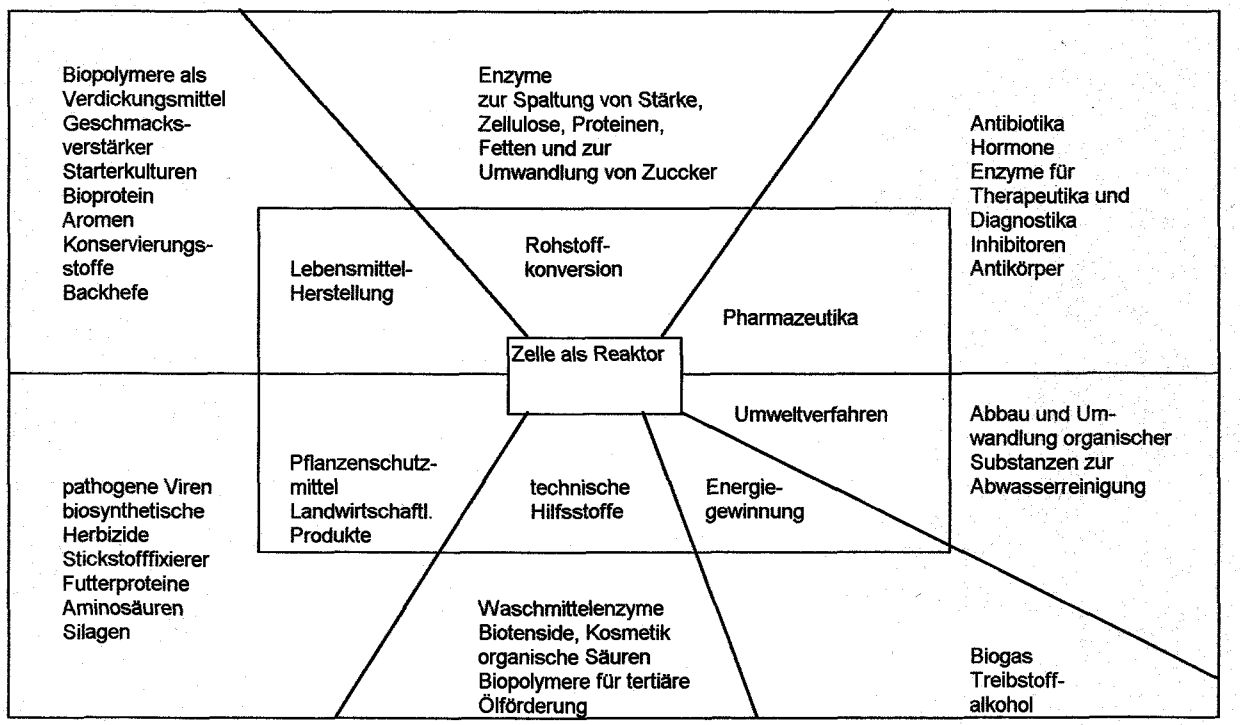
Lebensmittelart	Menge	Wert in Mrd. DM
Sauerkraut u.a. milchsauervergorenes Gemüse	111.100 t	0,13
Brot u.a. Backwaren aus Brotteig		
- ohne Kleingebäck	1.238.500 t	2,6
- mit Kleingebäck und ähnlichen Backwaren	-	3,7
Dauerbackwaren	413.000 t	2,5
Käse (Hartkäse, Schnittkäse, Weichkäse, Frischkäse, Sauermilchquark Sauermilchkäse)	885.200 t	4,6
Joghurt (mit und ohne Zusätzen)	654.600 t	1,4
Rohwurst	245.700 t	2,4
Bier	89,3 Mio. hl	10,4
Wein	2,8 Mio. hl	0,96
Essig (10% Säure)	123,1 t	0,12

Quelle: Holzapfel/Hammes 1989

Einen Überblick über nutzbare Produkte von Mikroorganismen und die produzierten Mengen, Werte und Wert/Mengenverhältnisse geben die Abbildungen 10 und 11 und die Tabelle 7.

wie Waid, Krapp und Reseda durch die Intensivlandwirtschaft bzw. durch die Chemische Industrie mit ihrer Produktion von synthetischen Farben und Chemiefasern gesprochen werden.

Abbildung 10: Nutzbare Produkte aus Mikroorganismen



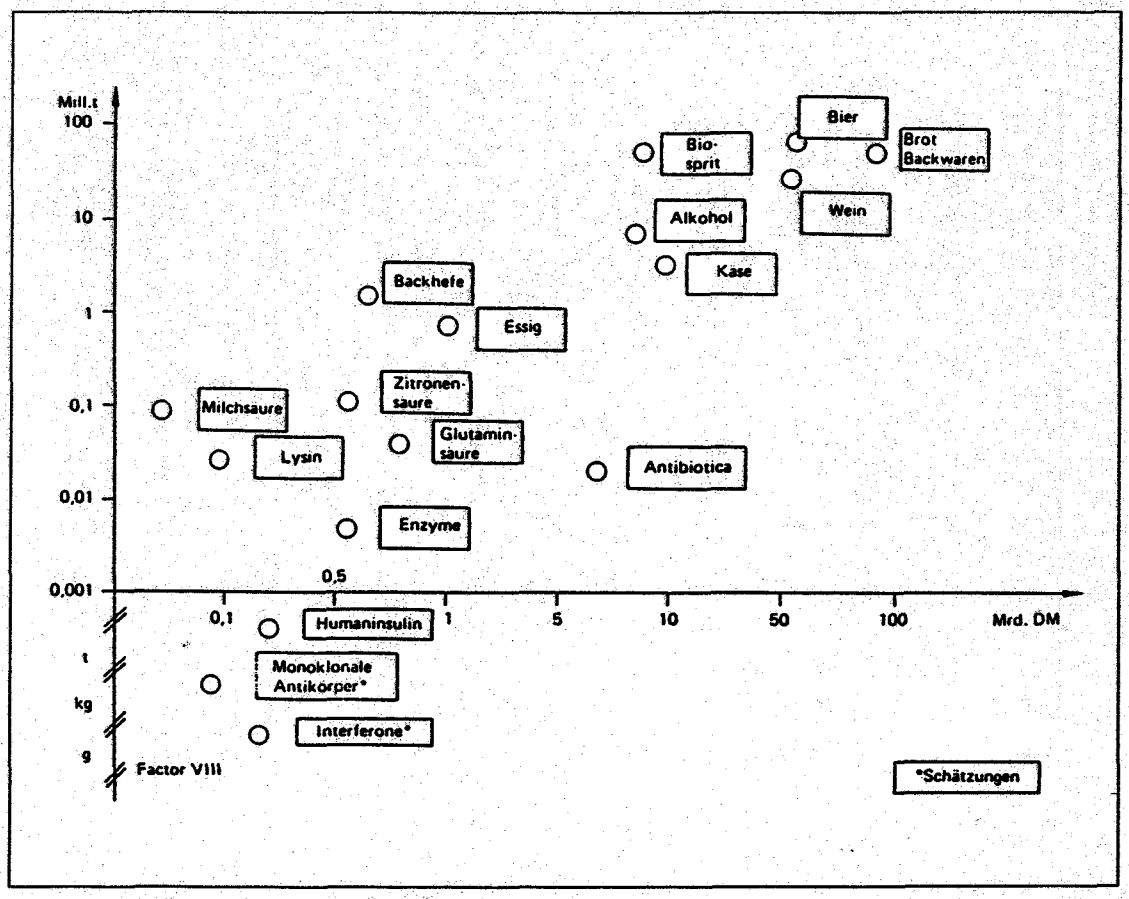
Quelle: Fonds der Chemischen Industrie 1985

Tabelle 7: Produktionsmengen von Fermentationsprodukten (Westeuropa/Welt) 1985

Fermentationsprodukt-Kategorie	Westeuropa Tonnen	Welt Tonnen
Antibiotika (Human + Veterinär)		
Penicillin	6 000 - 7 000	10 000
Tetracyclin	2 000 - 3 000	3 000 - 4 000
Andere Antibiotika	1 500 - 2 000	4 000 - 5 000
Organische Säuren		
Citronensäure	140 000 - 150 000	350 000
Gluconsäure/ Itaconsäure/ Milchsäure	30 000 - 40 000	50 000 - 60 000
Verschiedene Produkte		
Vitamin B12	5	10
Ergot Alkaloide	10	10
SCP	50 000 - 100 000	300 000 - 400 000
Dextrane	1 000	2 000
Xanthan Gum	4 000	15 000
Aminosäuren	60 000	270 000

Quelle: Hepner/Male 1987

Abbildung 11: Wert/Mengen-Verhältnis einiger Bioprodukte



Quelle: Hepner/Male 1987

2.1.4 Produktionswerte der 'klassischen', der 'modernen' und der 'neuen' Biotechnologie

Bei den aktuellen und prognostizierten Produktionswerten biotechnologischer Produkte herrscht derzeit noch eine große Unübersichtlichkeit[44]. Aus den Zahlen in Tabelle 7 ergibt sich für die wichtigsten Produkte der mikrobiellen Biotechnologie für 1987 ein geschätzter Weltmarktumsatz von ca. 243 Mrd. Dollar. Davon entfallen 220 Mrd. auf den Nahrungs- und Genußmittelbereich und damit im wesentlichen auf die 'klassische' Biotechnologie. Nur ca. 10% des Umsatzes entfielen auf die Produkte der 'modernen' (und 'neuen') Biotechnologie wie Antibiotika, Enzyme und Aminosäuren. Rund die Hälfte der Produktionswerte der 'modernen' Biotechnologie wurden wiederum von der Pharmaindustrie erwirtschaftet[45].

---

44 Vgl. für einen Überblick Yonsel/Deckwer 1987

45 Vgl. zu den im Einzelnen allerdings stark abweichenden Schätzungen die Tabellen 8-12. Yonsel/Deckwer schätzen im Anschluß an Harnisch und Wöhner den Weltmarktwert der Produkte der 'modernen' Biotechnologie auf 50 Mrd. $ im Jahr 1987. Sie legen eine Wachstumsrate von 8% zugrunde, was innerhalb von 10 Jahren zu einer Verdoppelung führen würde, und was bei dem vergleichsweise schon recht hohen Ausgangsvolumen als sehr dynamische Entwicklung angesehen werden muß, vgl. Yonsel/Deckewer 1987, S. 21, Harnisch/Wöhner 1985.

Schätzungen der Weltumsätze, die mit Produkten der 'klassischen', der 'modernen' und der 'neuen' Biotechnologie erzielt werden, sind auch in den Tabellen 8 und 9 dargestellt. Umsatzzahlen, die nach dem Wissensstand von 1985 in der BRD mit Produkten der 'modernen' und der 'neuen' Biotechnologie (z. T. in Ersetzung von 'klassischen' Verfahren) erzielt wurden bzw. werden könnten, enthalten die Tabellen 10 und 13. Eine Zusammenstellung einiger Marktprognosen für gentechnisch hergestellte Produkte bis zum Jahr 2000 findet sich in den Tabellen 11 und 12. Die Produktionswerte, die mit gentechnologischen Verfahren (einschließlich Zellfusion) bisher erzielt wurden, sind im Vergleich zu den Dimensionen in der 'klassischen' und 'modernen' Biotechnologie eher bescheidene Größen. Der Weltumsatz mit gentechnologisch hergestellten Produkten betrug 1984 weniger als 1 Mrd. Dollar (Für 1985 wurden von Rau allerdings auch mal eben 64 Mrd. $ genannt, vgl. Rau 1986). Für 1990 wurden 10 Mrd. Dollar erwartet und ca. 1,2 Mrd. Dollar erreicht und für das Jahr 2000 werden zwischen 25 und 200 Mrd. Dollar prognostiziert, mit einer Häufung der Prognosen zwischen 40 und 60 Mrd. Dollar[46]. Für solche langen Prognosezeiträume weichen allerdings die in der Literatur vorfindbaren Daten schon um den Faktor 1-10 voneinander ab[47]. Für das Jahr 2000 wird somit ein Marktanteil der Produkte der 'modernen' und der 'neuen' Biotechnologie von ca. 150 Mrd. Dollar erwartet, wobei 1/3 auf die Produkte der 'neuen' Biotechnologie entfallen sollen (vgl. Yonsel/Deckwer 1987, S. 22)

Richtig dürfte in jedem Fall die Annahme sein, daß Markterfolge mit gentechnischen Verfahren zunächst im 'high-value-low-volume'-Bereich also vor allem bei Arzneimitteln, Diagnostika und Feinchemikalien erzielt werden können. Immerhin erreichte der Produktionswert gentechnisch hergestellter Arzneimittel 1988 weltweit schon rund 1,1 Mrd. Dollar (vgl. Handelsblatt vom 11. 5. 1989)[48]. Die Frage, ob und inwieweit gentechnologische und mikrobiologische Verfahren auch im 'low-value-high-volume'-Bereich konkurrenzfähig werden können, inwieweit also z. B. der Fermenter gegen den Acker bei der Naturstoffproduktion in großen Mengen konkurrenzfähig werden wird, ist noch weitgehend offen[49]. Die Frage, was und wieviel (und wo) in Zukunft fermentativ oder land-, forst- und fischereiwirtschaftlich (meereswirtschaftlich) produziert werden wird, gehört sicher zu den spannendsten und auch reichlich politischen Zündstoff enthaltenden technologischen Fragen der näheren Zukunft[50].

---

46 Yonsel/Deckwer gehen für den Bereich der gentechnisch hergestellten Pharmaprodukte von Zuwachsraten zwischen 23 und 32% aus, vgl. ebd. S. 19

47 Vgl. Prognos 1990, S. 101. Daß überdies bei diesen Schätzungen kaum mit Akzeptanzproblemen gerechnet wird, zeigen die hohen Verkaufserwartungen z. B. beim Rinderwachstumshormon, die in der Realität längst einen empfindlichen Dämpfer erfahren haben.

48 Das entspricht 90 % des Weltmarkts aller gentechnisch erzeugten Produkte, vgl. Yonsel/Deckwer 1987.

49 Auf die möglicherweise nicht 'nur' aus ökonomischen sondern vor allem auch aus technischen Gründen doch stark begrenzte Reichweite insbesondere gentechnischer Verfahren wird im Kapitel BII1 noch gesondert eingegangen.

50 Vgl. z.B. zu einigen damit möglicherweise verbundenen Verschiebungen in der internationalen Arbeitsteilung, Junne 1984.

Tabelle 8: Industrielle Nutzung biotechnischer Verfahren und ihr Weltmarktwert

Branche	Beispiele	Weltmarktwert Mill. US $
Lebens- und Genußmittel	Backwarenzusätze, Fisch- und Fleischprodukte, Getränke u.a. Bier, Wein, Lebensmittelzusätze (Antioxidantien, Farb- und Geschmackstoffe) Modifizierte Proteine, Gemüsekonservierung, Krautbereitung u.a.	220 000
Pharmaka	Antibiotika, Diagnostika, (Enzyme, Antikörper), Vakzine, Steroide, Vitamine, Alkaloide	15 000
Chemische Produkte		5 000
Grundchemikalien Massenprodukte	Äthanol, Aceton, Butanol, Glukose, Fruktosesirup, organ. Säuren, Biopolymere, Waschmittelenzyme	
Feinchemikalien	Enzyme, Polysaccharide, Duftstoffe, Aminosäuren	
Anorganische Produkte	Metallgewinnung durch Erzlaugung und Anreicherung (Kupfer, Uran)	
Landwirtschaft	Viehfutter, Viehfutterzusätze, Veterinärvakzine, Silierung, Kopostierung, Biopestizide, Bioinsektizide, Stickstoffixierende Mikroorganismen, Pflanzenveredlung, Pflanzenwuchsstoffe	2 000
Energiestoffe	Äthanol, Methan, Biomasse als Ausgangstoffe	1 500

Quelle: Enquête-Kommission Gentechnik 1987

Tabelle 9: Weltumsatz mit den wichtigsten Produkten der Biotechnologie im Jahre 1983

Product	Volume (1000 t)	Price ($ per t)	Value ($ millions)
Fuel/ industrial ethanol			
USA	1 000	576	576
Brazil	4 500	576	2 600
India	400	576	230
Others	400	576	230
Total			3 636
High fructose syrups			
USA	3 150	400	1 260
Japan	600	400	240
Europe and others	200	400	80
Total			1 580
Antibiotics			
Pennicillin and synthetic pennicillins			3 000
Cephalosporins			2 000
Tetracyclins			1 500
Others			1 500 - 2 000
Total			8 000 - 8 500
Other Products			
Citric acid	300	1 600	480
Monosodium glutamate	220	2 500	550
Yeast biomass	450	1 000	450
Enzymes			400
Lysine	40	4 000	160
Total			2 040
Total of all products listed			**15 256 - 15 756**

Quelle: Brown u. a. 1987

Tabelle 10: Weltmärkte für die wichtigsten Produkte der Biotechnologie 1981

Product	Sales ($ millions)
alcoholic beverages	34 500
cheese	21 000
antibiotics	6 750
* fermentation alcohol	4 000
diagnostic tests	3 000
high fructose syrups	1 200
amino acids	1 125
bakers yeast	810
steroids	650
vitamins	495
citric acid	315
enzymes	300
vaccines	225
human serum albumin	185
insulin	150
urokinase	75
human factor VIII	60
human growth hormone	50
microbial inseticides	18
Figures for1981 modified from Hacking (1986) * Figure for 1984	

Quelle: Brown u. a. 1987

Tabelle 11: Produktionswert von Produkten, die bereits teilweise oder vollständig biotechnisch hergestellt werden könnten (BRD 1985)

Produkte	Mill DM
Arzneimittel	15 798
Öle, Fette, Fettsäuren	1 107
Vitamine	761
Hormone	416
Drogen und Extrakte	356
Tier- Arzneimittel	324
Glykoside und Alkaloide	271
Desinfektionsmittel	231
Gelatine	210
Antibiotika	205
Sera und Impfstoffe	188
Pflanzliche Klebstoffe	179
Enzyme	52

Quelle: Enquêtekommission Gentechnik 1987

Tabelle 12: Prognostizierte Weltmarktentwicklung neuer biotechnologischer Produkte

Produktbereiche	in Milliarden DM	
	1990	2000
Pharmazie	2,4	47,8
Chemie	0,2	29,2
Landwirtschaft	4,8	80,0
Umwelt	0,8	4,0
Technische Ausrüstung	2,0	5,6
Gesamt	10,2	166,6

Quelle: Wirtschaftswoche Nr. 37 vom 7. 9. 1990 nach SAGB[51]

Tabelle 13: Geschätzte Entwicklung des Weltmarktes für Produkte der Gentechnik 1985 - 2000

	1985	2000	Wachstumsrate pro Jahr in %
	Mill. US $		
Monoklonare Antikörper (Medizinische Diagnosetechnik, 1975 entwickelt und 1981 zugelassen)	500	1 000	5
Wachstumshormone für Tiere	100	500-720	11-14
Insulin (1978 entwickelt und 1982 zugelassen)	200-300	500-650	6-8
Impfstoffe gegen Maul- und Klauenseuche	225	400-500	5,5
Menschliches Wachstumshormon	100	360	9
Interferon (1979 entwickelt und 1983 zugelassen)	80	280	9
Steroid Hormone	600	1 800	7,5

Quelle: Enquêtekommission Gentechnik 1987, Zusammengestellt nach verschiedenen Quellen, insb. Office of Technology Assessment, Commercial Biotechnology, An International Analysis, Washington D.C. 1984

Tabelle 14: Allgemeine Prognose für Biotech-Produkte, neue Produkte plus substituierende Produkte, Weltmarkt in Mrd. US-Dollar

Produktbereich	1990	2000
Chemikalien	1,2 - 4,2	4,2 - 10,5
Pharma	17	9 - 43
Umwelt	10 - 68	75
Agrarbereich	1,9	6 - 9

1) nur durch biotechnische Verfahren herstellbar
2) biotechnische Verfahren als alternative Verfahren zu herkömmlichen Verfahren

Quelle: Prognos 1990

51 SAGB = Senior Advisory Group Biotechnology des europäischen Chemieverbandes CEFIC.

2.2 Die Nutzung der Sensibilität und Interaktionsfähigkeit von Organismen und deren Bestandteilen/Analytik

Die Nutzung der Stoffwechselleistungen von Organismen steht in der Debatte über Biotechnik immer im Vordergrund. Doch traditionell nutzen wir auch andere Leistungen von Organismen. ,Neben dem Dressieren, Abrichten und Einspannen von Tieren für eigene Zwecke (wobei neben der Kraft meist die sensorischen Fähigkeiten genutzt wurden, z.B. beim Wachhund und der Brieftaube), hat vor allem die Nutzung von Pflanzen und Tieren als Bio-Indikatoren schon eine sehr lange Tradition. Organismen wurden beobachtet und verwendet als Anzeiger für einen Wetterwechsel, die Anwesenheit anderer Organismen oder (etwas neueren Datums) für die Beschaffenheit und Zusammensetzung des geologischen Untergrunds, die Bodenqualität, für Umweltbelastungen oder gar für kommende Erdbeben. Gerade im Bereich einer solchen 'intelligenten' weil auf die organismische Sensorik und die interorganismischen Interaktionen zielende oder an ihnen ansetzende Biotechnik sind noch immense unausgeschöpfte technische Potentiale insbesondere auch für eine 'sanfte' Biotechnik zu sehen.

Wenn z. B. im biologischen Gartenbau die Möhre neben der Zwiebel gepflanzt wird, weil die Zwiebel die Möhrenfliege und die Möhre die Zwiebelfliege abhält, dann ist dies ein Beispiel für eine solche - in diesem Fall noch völlig auf empirische Erfahrung aufbauende - intelligente Nutzung der zwischenorganismischen Interaktionen. Wir wissen noch wenig über solche Interaktionen, aber es ist zu erwarten, daß eine systematisch betriebene Forschung, wie sie in Ansätzen z. B. in der 'Chemischen Ökologie' betrieben wird, hier sehr weitreichende Fortschritte erbringen könnte. Die 'Chemische Ökologie' ist eine Disziplin im Grenzgebiet zwischen Ökologie, Physiologie und Naturstoffchemie, die sich vornehmlich mit der stofflich/chemischen Interaktion von Organismen beschäftigt. Sie könnte zu einem der wesentlichsten Wissenslieferanten für eine sanfte Biotechnik in der Landwirtschaft und dort v. a. im Bestandsschutz werden. Weit über die ersten technischen Umsetzungen in der sogenannten biologischen Schädlingsbekämpfung hinaus (man denke nur an die Borkenkäferfallen auf der Basis von Pheromonen) dürften hier Technologien für einen 'biologischen' Pflanzenschutz entwickelbar sein, die einen Großteil des derzeitigen Pestizideinsatzes (immerhin ein Markt von 35 Mrd. DM/a) ersetzen könnten[52].

Schließlich gehört hierher aber auch die Nutzung von Mikroorganismen und von Teilen von Organismen in der Analytik. Mit Hilfe von Mikroorganismen können viele chemische Verbindungen nachgewiesen und z. T. quantitativ bestimmt werden, z. B. viele Antibiotika (Hemmstofftest), Vitamine, Aminosäuren u. a.[53]. Enorme Leistungssteigerungen sind außerdem mit dem Einsatz von Teilen von Organismen und Zellen in der Analytik erzielt worden, zunächst mit dem Einsatz von Enzymen, dann von Immunglobulinen (Antikörpern) und in jüngster Zeit auch mit gentechnisch vermehrten DNA-Sonden. Die Haupteinsatzbereiche dieser Verfahren der 'modernen' und 'neuen' Biotechnologie liegen in der wissenschaftlichen Analytik aber auch in der Lebensmittelüberwachung und in der

---

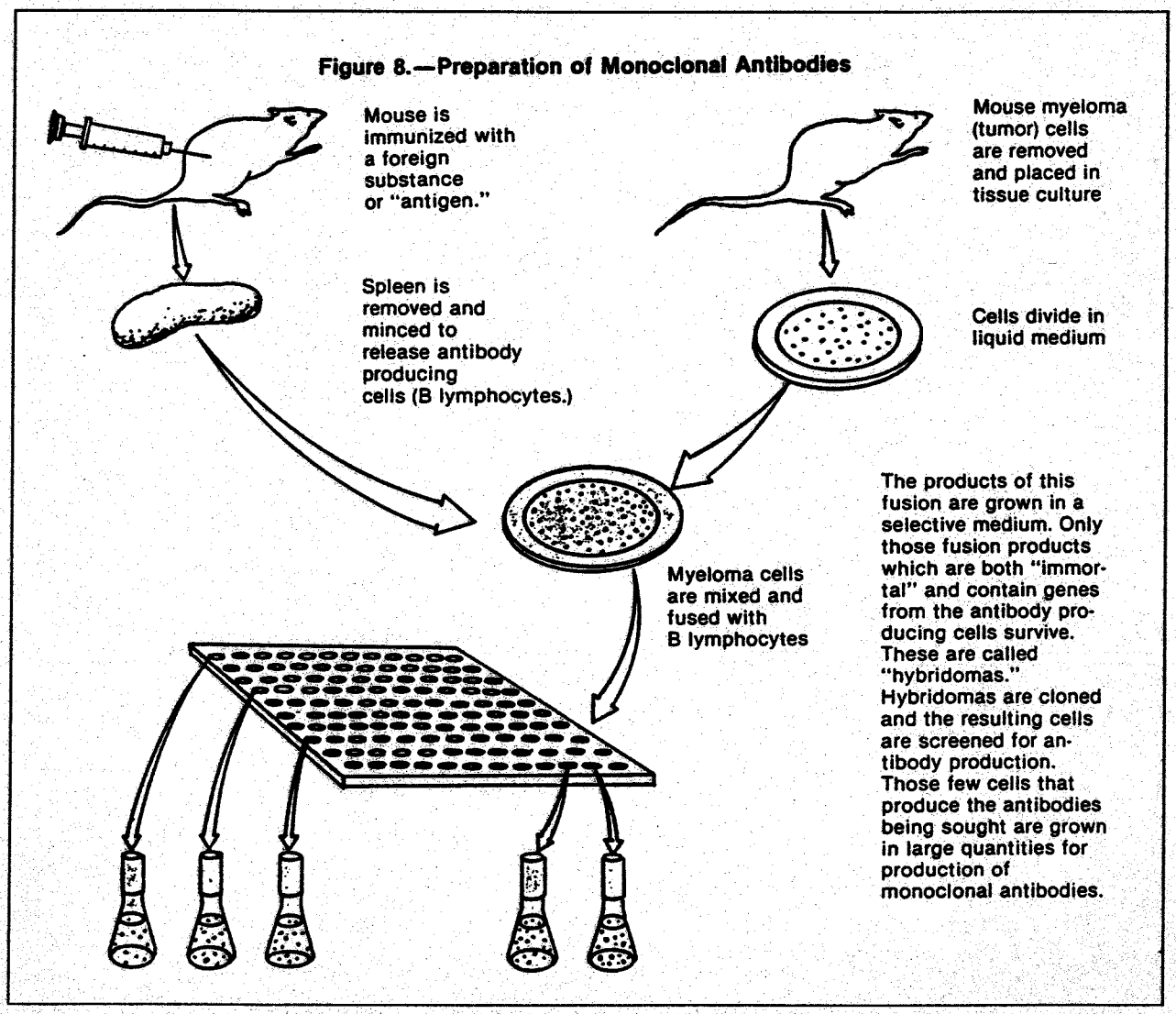
52 Vgl. zur 'chemischen Ökologie' Francke 1989 und Hegnauer 1986, S. 120ff. Interessanterweise sind auf diesem Wege nicht nur wie bei der biologischen Schädlingsbekämpfung Alternativen zu Insektiziden entwickelbar, sondern auch für Herbizide sind Alternativen auf Naturstoffbasis bzw. durch geschickte Pflanzenkombinationen denkbar: "The identification and the elucidation of the chemical structure of the compounds involved in the communication (both attractive and repulsive) intra- and inter-species will allow the development of highly specific strategies for the protection of crops. This could be part of the solution of the very important problem of resistance of pathogens to pesticides", heißt es z. B. bei Monsan 1988, S. 327.

53 Vgl. zur Nutzung von Mikroorganismen in der Analytik Hewitt 1977.

medizinischen Diagnostik[54]. In der Lebensmittelüberwachung reicht das Spektrum der Möglichkeiten enzymatischer Tests und von Immunoassays zum Nachweis von Bestandteilen, Verunreinigungen und Rückständen (Fremdeiweiß in Fleischprodukten, Schimmelpilztoxine, Antibiotika, Östrogene oder z.B. auch Glykoalkaloide in Kartoffeln), über den Nachweis von Behandlungsarten (erhitzt?) bis zur Rohstoffqualität und Frische (z.B. Enzymaktivitätsbestimmung, vgl. Belitz/Grosch 1987).

Die analytische Einsetzbarkeit von Antikörpern basiert auf der hochspezifischen Bindung des Antikörpers an das gesuchte Antigen. Die Gewinnung von Antikörpern erfolgt heute allerdings kaum mehr über die 'Sensibilisierung' (ein schönes Wort für ein doch recht brutales Verfahren) von Mäusen mit anschließender Blutabnahme, wie es in Abbildung 12 gezeigt wird, sondern über Zellkulturen. Die Herstellung der die monoklonalen Antikörper produzierenden Kulturzellen erfolgt allerdings über das im weiteren Sinne zu den Gentechnologien zählende Verfahren der Zellfusion. Es wird eine Zellfusion durchgeführt zwischen einer Krebszelle - die ein Dauerwachstum auszeichnet - und einem Antikörper produzierenden B-Lymphozyten.

Abbildung 12: Herstellung monoklonaler Antikörper



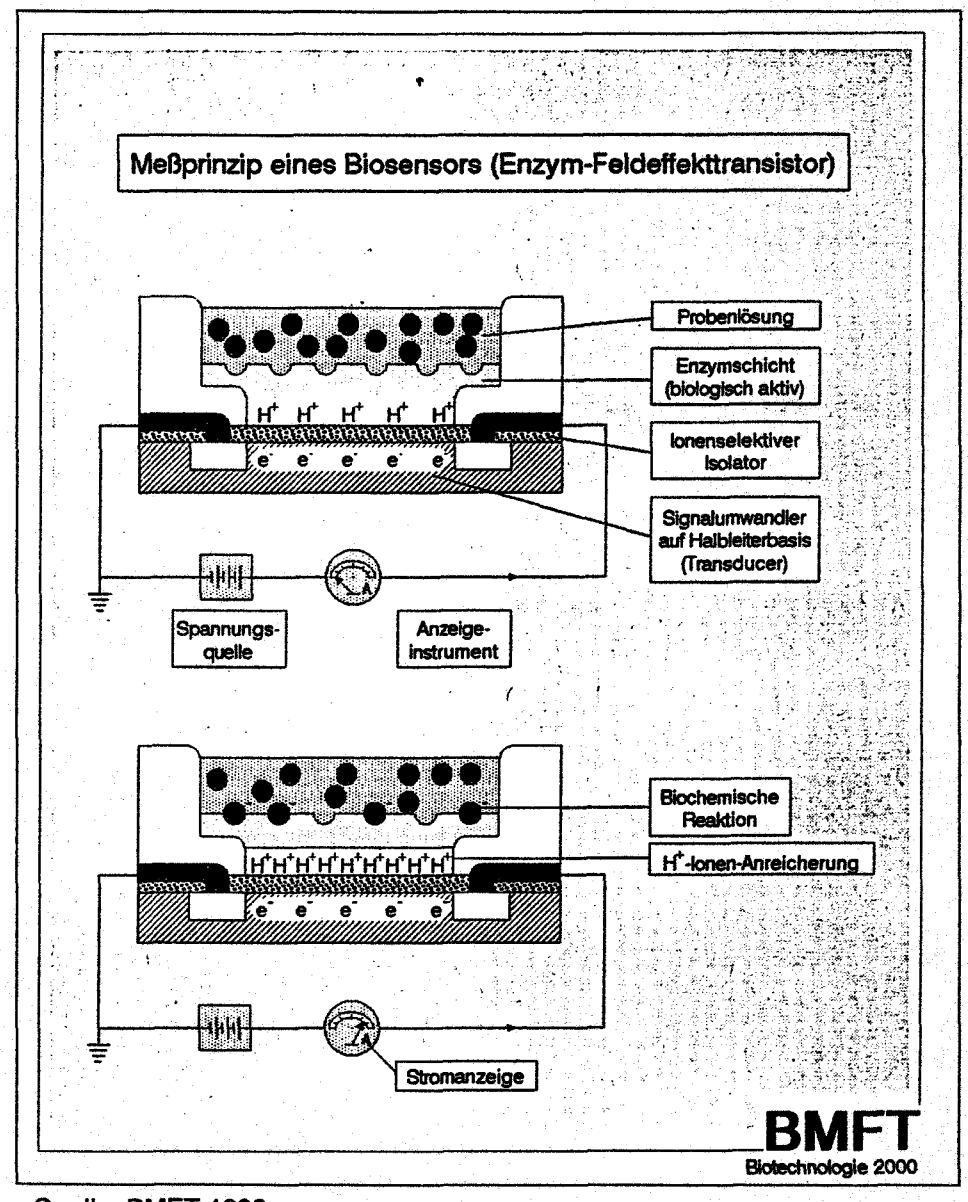
Quelle: Office of Technology Assessment 1984

54 Wobei der Markt für Diagnostika trotz größerer Dynamik zumindest bisher nur ein Zwanzigstel des Marktes für Therapeutika umfaßt, vgl. Prognos 1989, S. 104.

Mit DNA-Sonden wird analytisch direkt auf der Gen-Ebene angesetzt und nicht mehr wie bei den Immunreaktionen auf der Proteineben. DNA-Sonden werden schon in der genetischen Analyse und Diagnostik angewandt. Sie dürften aber auch bei einer kausalen - den Erreger/Befall direkt nachweisenden - Infektionsdiagnostik in der Medizin und im Lebensmittelbereich große Vorteile mit sich bringen, und zwar sowohl was ihre Geschwindigkeit (wenn die zeitraubende Anzucht entfällt) als auch was ihre Spezifität anbelangt.

Bleiben noch die oben schon einmal kurz angesprochenen sogenannten 'Biosensoren' zu erwähnen. Sie sind im Grunde nichts anderes als die Verkoppelung von Enzymen (evtl. auch monoklonalen Antiköpern oder DNA-Sonden) mit meist elektrischen Meßeinrichtungen.

Abbildung 13: Meßprinzipien eines Biosensors



Quelle: BMFT 1990a

3. Biotechniken als Formen des Umgangs mit Organismen und deren Bestandteilen

In diesem Kapitel soll ein kursorischer Überblick über die verschiedenen schon eingesetzten und auch über einige noch in der Entwicklung befindliche Biotechniken gegeben werden. Es werden die großen biotechnischen Bereiche gegliedert nach den Grundumgangsformen mit Organismen. Es sind dies im Rahmen des Umgangs mit ganzen intakten Organismen erstens die Nutzung frei lebender Organismen, zweitens das Kultivieren, drittens das Züchten und Vermehren als am Phänotyp ansetzende Umgangsformen mit 'ganzen' Organismen, drittens die Nutzung von Teilen von Organismen in der Enzymtechnik und der Zellkulturtechnik und schließlich die auf der Genebene ansetzende Gentechik.

3.1 Sammeln/Jagen/Screening

Die wohl älteste Form der Nutzung von Organismen, die Nutzung frei lebender Organismen, ist keineswegs mit dem Übergang zur Seßhaftigkeit in der Geschichte der Menschheit ausgestorben. Sie ist nach wie vor die herrschende Nutzungsform des Meeres - und zwar nicht nur der Fische und Krustentiere sondern auch der Algen (z. B. Algin, Carrageen) - und der (noch) nicht-kultivierten Landflächen. Da hierbei für die Reproduktion der Natur kein spezifischer Einsatz geleistet wird, ist bei der Entnahme größerer Mengen von Organismen die Gefahr des zerstörerischen Raubbaus sehr groß.

Zu diesem ersten Bereich gehört aber auch eine in jüngster Zeit aus den verschiedensten Gründen wieder wichtiger werdende Vorform der Kultivierung, das Suchen nach nutzbaren Organismen, das, wenn es wissenschaftlich betrieben wird, „screening" genannt wird.

Das Screening nach nutzbaren organismischen Leistungen insbesondere nach Pflanzeninhaltsstoffen[55] und nach noch nicht bekannten Stoffwechselleistungen von Einzellern und anderen Mikroorganismen (vgl. Seal u. a. 1988) ist eine grundlegende Voraussetzung für die weitere Entwicklung jeglicher und insbesondere auch einer 'sanften' Biotechnologie. Sie ist als gezieltes Durchforsten des weltweiten Genpools nach interessanten Genen eine nicht minder wichtige Grundlage für den Einsatz gentechnologischer Verfahren in den verschiedensten Gebieten. Zur Zeit wird Screening schwerpunktmäßig im Auftrag der pharmazeutischen Industrie betrieben, als Suche nach neuen Arzneimittelwirkstoffen. Auch hier spielen neben der Überprüfung von traditionell in den verschiedensten Gebieten der Erde genutzten Heilpflanzen das Durchtesten der schon bekannten und die Suche nach noch unbekannten Mikroorganismen und insbesondere Meeresorganismen (Makro- und Mikroalgen, Einzeller, Bakterien usw.) eine zentrale Rolle[56].

Besondere Beachtung fanden in letzter Zeit Erfolge bei der Suche nach extrem hitzetoleranten Bakterien, wie sie unterseeisch in heißen Quellen und anderen vulkanischen Erscheinungen vorkommen (vgl. Stetter 1982, zur möglichen biotechnologischen Einsetzbarkeit vgl. Deming 1986). Gerade im Bereich der systematischen Screeningverfahren sind allerdings methodische Fortschritte und auch Formen einer gewissen Automatisierung dringend notwendig. Nur wenn die Substanz, nach der gesucht wird, schon bekannt ist, wenn es also nur um eine neue organische Quelle für einen bestimmten Stoff geht, kann mit modernen analytischen Verfahren (assays) schon sehr effektiv gearbeitet werden.

---

55 Zur Vorgehensweise vgl. Farnsworth/Bingel 1977, Reis-Altschul 1977, Spjut 1985 und Baldrin/Kooke 1988. Zum diesbezüglichen Stand der pflanzenphysiologischen Forschung vgl. Hegnauer 1964 ff.

56 Immerhin werden derzeit schon ca. 300 bekannte pharmakologisch aktive Naturstoffe aus Mikroorganismen gewonnen, vgl. Büchel 1984.

Das Screening ist als Grundlagenforschung eine Voraussetzung für alle biotechnologischen Entwicklungspfade. Über die Härte oder Sanftheit des Umgangs mit den Organismen wird im allgemeinen erst im zweiten Schritt entschieden. Für die Beurteilung etwaiger Risiken beim Einsatz neu genutzter Organismen ist allerdings die genaue Betrachtung des ökologischen Zusammenhangs, aus dem der Organismus kommt, besonders wichtig. Bekanntlich ist z. B. die Übertragung von Organismen aus ihren ursprünglichen Biotopen in neue künstliche oder natürliche Biotope nicht ohne Risiko, weil dabei Schranken der ökologischen Isolation durchbrochen werden, die evolutionär und ökologisch meist nicht unwichtig sind. Beispiele für verheerende Wirkungen eines solchen Durchbrechens von Schranken der geographischen Isolation sind die Pestepidemien in Europa und Epidemien von hier relativ harmlosen Erkältungs- und Kinderkrankheiten unter den Ureinwohnern des amerikanischen Kontinents. Bei den größeren Organismen dürften die problematischen Folgen des Einschleppens von Säugetieren nach Australien am bekanntesten sein. Bei der Arbeit mit Mikroorganismen dürfte also die Verwendung von überall vorkommenden (ubiquitären), nicht krankheitserregenden (Prüfverfahren?) Mikroorganismen am sichersten und am unproblematischsten sein. Die Arbeit mit Mikroorganismen aus sogenannten Extrembiotopen, seien es nun die bereits angesprochenen besonders hitzetoleranten aus den heißen unterseeischen Quellen, oder seien es die bei der Altlastensanierung bisher immer noch am erfolgreichsten 'arbeitenden' Mikroorganismen aus den zu sanierenden belasteten Böden, aus Giftmülldeponien oder Kläranlagen von Chemiewerken, stellt dagegen immer ein gewisses Risiko dar. Wir wissen nie in welche natürlichen oder auch bisher von Mikroben überhaupt noch nicht besiedelten künstlichen, vom Menschen geschaffenen, Biotope sie eventuell einwandern können[57].

3.2 Spontanfermentation/Kompostierung/Abwasserreinigung

Die Nutzung der Abbauleistungen von Mikroorganismen dürfte neben der Land- und Forstwirtschaft zu den mengenmäßig gesehen bedeutendsten Biotechnikbereichen gehören. Interessant ist, daß die Verfahren der Abwasserreinigung dabei schon sehr viel früher technisch weiterentwickelt und in eine Form der Kultivierung überführt wurden (Belebtschlamm, anaerobe Abwasserklärung) als die Kompostierung organischen Restmaterials. In beiden Bereichen dürfte durch eine intensivere empirisch-technische und auch wissenschaftliche Beschäftigung mit den jeweils beteiligten Organismen und dort ablaufenden Stoffwechselprozessen eine wesentliche Leistungssteigerung zu erreichen sein.

Die Spontanfermentation spielt aber auch bei einigen technisch relevanten Prozessen der Naturproduktverarbeitung, z. B. beim Ledergerben und der Flachsröste, vor allem aber bei der Futtermittelkonservierung und -veredelung (Silage) und der Lebensmittelkonservierung und -veredlung eine wichtige Rolle. Die Spontanfermentation ist in der Lebensmittelverarbeitung durchaus nicht 'veraltet', sondern stellt einen wichtigen Vorgang in vielen Bereichen auch der industriellen Lebensmittelverarbeitung dar. Zu den wichtigsten Gebieten gehören die Gemüsefermentierung (Sauerkraut, saure Gurken, mixed pickles, Oliven), die Fermentierung von Wurst- und Fleischwaren (Salami) und Fisch (Matjes) und die Essigherstellung. Auch in vielen Bereichen der alkoholischen Gärung und der Milchsäuregärung spielen heute noch Spontanfermentationen eine wichtige Rolle, selbst wenn inzwischen meist aus Gründen der Leistungssteigerung und der mikrobiologischen Sicherheit mit besonderen Züchtungen sogenannten 'Starterkulturen' gearbeitet wird. Auch bei der

57 Andererseits wissen wir auch, daß eine gewisse Fremdheit/Nichtangepaßtheit, wie sie für die meisten unserer Nutzpflanzen gegeben ist, durchaus ökologisch positiv gewertet wird, weil sie die Möglichkeiten des Auswanderns (Verwilderns) in umgebende natürliche Biotope begrenzt.

Verarbeitung von Genußmitteln wie Tee, Kaffee, Kakao und Tabak ist fast immer die Spontanfermentation beteiligt.

In der industriellen Milchwirtschaft hat sich dagegen das Arbeiten mit hochleistungsgezüchteten Starterkulturen (Misch- und Reinkulturen) inzwischen vollständig durchgesetzt. In der Fermentation von Fleisch- und Wurstwaren setzt es sich gegenwärtig immer mehr durch.

3.3 Kultivierung

3.3.1 Land-, Forst-, Teich- und Meereswirtschaft

Die wichtigsten Bereiche sind hier die Land- und Forstwirtschaft aber auch die Teichwirtschaft und in Ansätzen (vor allem in anderen Ländern) auch schon eine Meereswirtschaft.

Die Kultivierung von Organismen kann bekanntermaßen in sehr unterschiedlichen Formen vonstatten gehen. Das in seiner Produktivität und in seinen ökologischen Wirkungen durchaus unterschiedliche Spektrum der Möglichkeiten reicht bei der Nahrungsmittelproduktion vom ökologischen Land- und Gartenbau über die chinesischen Gartenkulturen bis zur großflächigen Monokultur der intensivierten und chemisierten Landwirtschaft, und es reicht von den wandernden Schaf- und Kuhherden bis zur fabrikmäßigen Intensivschweine- und Hühnerzucht, vom klösterlichen Karpfenteich bis zur Hochleistungslachs- und Forellenzucht auf der Basis von Importfutter und Dauerantibiotikabehandlung.

Den größten Stellenwert, was die Mengen und vermutlich auch was die geschaffenen Werte anbelangt, dürfte aber die Kultivierung von Nutzpflanzen haben[58].

3.3.2 Fermentationstechnik und mikrobielle Stoffumwandlung

Die Kultivierung von Mikroorganismen beginnt mit dem Sauerteig, der von Backtag zu Backtag aufbewahrt wird, mit den Joghurt- und Kefirkulturen in der Milchveredlung und der mengenmäßig die größte Rolle spielenden alkoholischen Gärung (v. a. Bier, Wein, Sekt und Most)[59]. Rund ¼ des Umsatzes der Nahrungs- und Genußmittelindustrie entfallen in der BRD auf fermentierte Produkte (z. B. Weine, Biere, Moste, Spirituosen, Hefebackwaren, Sauerteigbrot, Sauergemüse und Gemüsesäfte, Essig, Kakao, Kaffee, Tee, Tabak, Soja-Sauce, Dickmilch, Joghurt, Sauerrahmbutter, Kefir, Käse, Rohwurst, Rohschinken, Matjes). Aus der Spontanfermentation, die heute noch bei der Herstellung von Most, Essig, Sauergemüse, Kakao, Kaffee, Tee, Tabak (pflanzeneigene Enzyme), Rohwurst und Matjes (tiereigene Enzyme) eine Rolle spielt, entwickelte sich die Fermentationstechnik auf der Basis definierter und züchterisch entwickelter Starterkulturen.

Wichtige Weiterentwicklungen der Kultivierung von Mikroorganismen und der Bioreaktortechnik bestanden einerseits in der Erweiterung der Palette der kultivierten Organismen, wobei einer der bedeutendsten Schritte ohne Zweifel die Antibiotikaherstellung durch Schimmelpilze wie Penicillium darstellte[60]. Die Antibiotikaherstellung basierte schon auf

---

58 Für einen Überblick über den Reichtum an Nutzpflanzen mit ihren Einsatzgebieten als Nahrungs- und Genußmittellieferanten, Gewürzpflanzen, Arzneipflanzen, Futterpflanzen, Faser-, Holz- und Korklieferanten, Gerbstoff-, Kautschuk-, Gummi-, Öl-, Harz-, Wachs- und Farbstoff- und Insektizidlieferanten vgl. Franke 1985, Natho u.a. 1986, Reinbothe/Wasternack 1986.

59 Vgl.dazu und zum folgenden z .B. Rehm 1980.

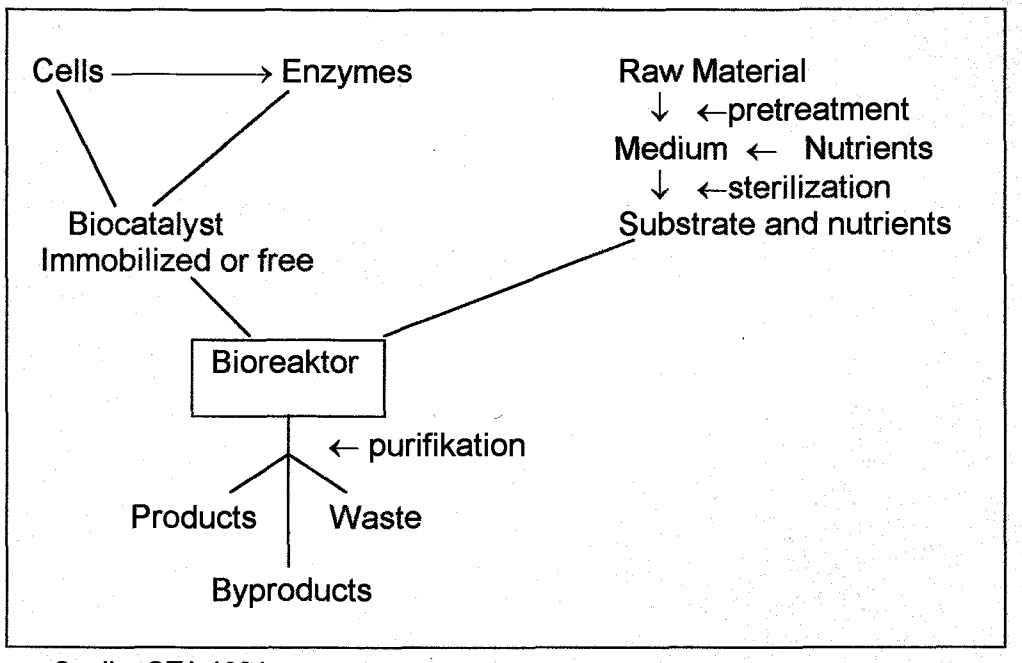
60 An der Antibiotikaherstellung kann man auch sehr schön den Modellfall einer solchen Erweiterung studieren, und zwar in allen ihren Schritten vom Screening von Wildformen über die Kultivierungsprobleme bis zur züchterischen Weiterentwicklung, mit der die Produktivität der enstprechenden Mikroorganismen bis zum Faktor 10^4 gesteigert werden konnte.

der Steriltechnik, also auf dem gezielten Ausschluß von Fremdkeimen, der natürlich auch die Sterilisation der ganzen Anlage und der Nährbrühe zur Voraussetzung hat (mit entsprechend hohem Energie- oder Chemikalienverbrauch). Dies gilt auch für die Herstellung zahlreicher organischer Säuren, Aminosäuren, Nukleinsäuren, Enzyme, Polysaccharide, Lipide, Vitamine, Gibberelline, Farb- und Aromastoffe, Alkaloide und Impfstoffe, die inzwischen auf der Basis mikrobieller Produktionsprozesse in Bioreaktoren hergestellt werden.

Eine Sonderstellung nehmen im Rahmen der schon angesprochenen Stoffwechselleistungen von Mikroorganismen neben den Abbauleistungen die mikrobiellen Stoffumwandlungen ein. Viele pharmazeutisch genutzte biologisch aktive Substanzen (insbesondere körpereigene Wirkstoffe wie Hormone) bereiten bei einer chemisch-synthetischen Produktion große Schwierigkeiten, was zum Teil mit ihrer Stereoselektivität zu tun hat. Deshalb wird bei der Herstellung dieser Stoffe entweder auf Organismen zurückgegriffen, die diese Stoffe schon stereoselektiv synthetisieren, oder es werden in den synthetischen Prozeß mikrobielle Stoffumwandlungen eingeschoben. Am bekanntesten dürfte hier die Herstellung von Steroidhormonen sein.

Eine wichtige Weiterentwicklung der Fermenter- bzw. Bioreaktortechnik war in jüngster Zeit die Immobilisierung von Zellen und von Enzymen. Das erleichtert in vielen Fällen die Produkttrennung und -aufbereitung, die zu den aufwendigsten Prozessen in der industriellen Biotechnik gehört[61] und ermöglicht oft auch den Übergang vom chargenweisen (Batch-) Verfahren zum kontinuierlichen Fließprozeß. Flußdiagramme von Bioreaktorfermentationen zeigen die Abbildungen 14 und 15.

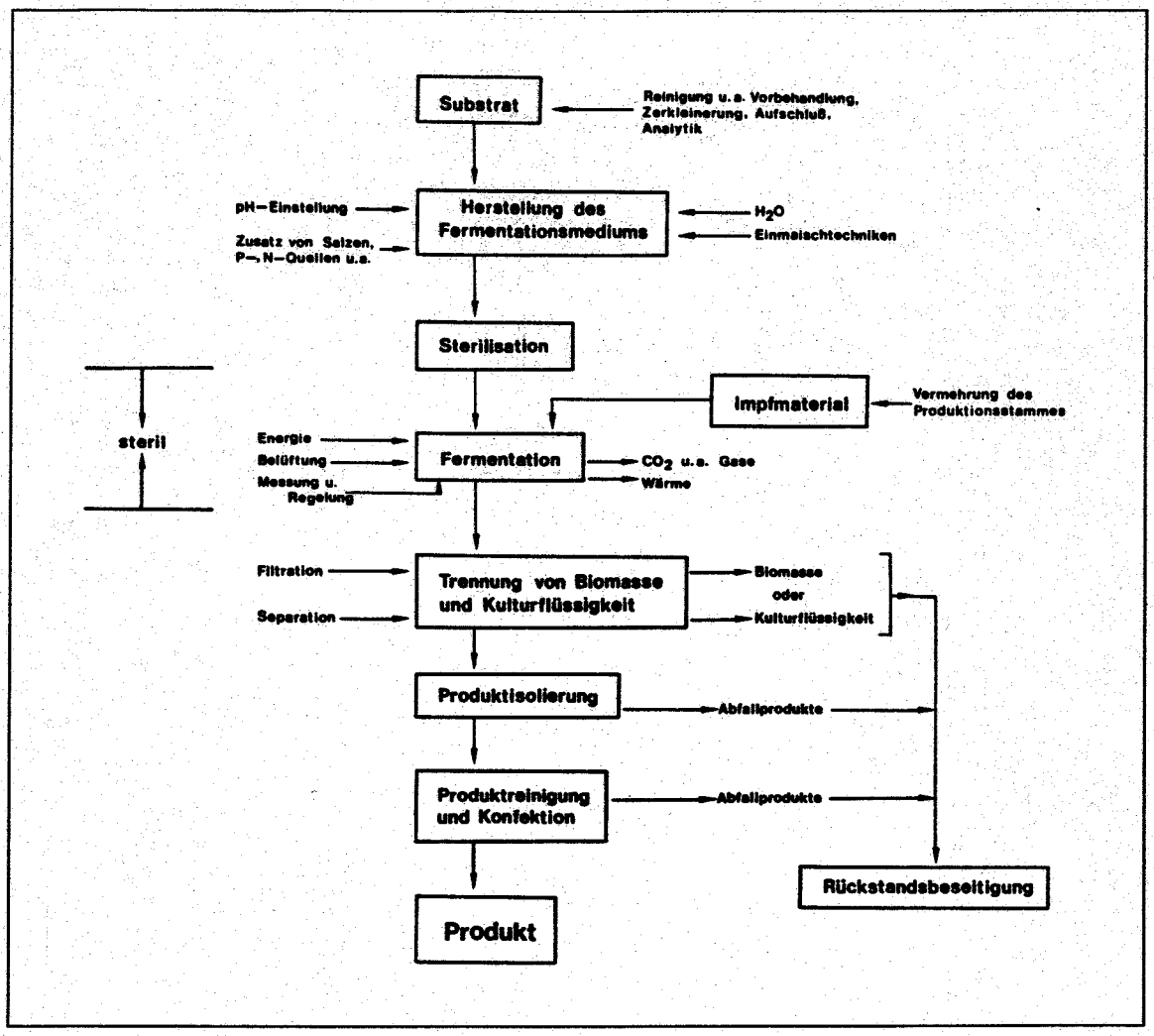
Abbildung14: Steps in Bioprocessing



Quelle: OTA 1984

61 "Von den tatsächlichen Produktionskosten entfallen je nach Produkt 80% auf die Aufschluß- und Seperationstechniken", vgl. Prognos 1990, S. 112.

Abbildung 15: Grundsätzlicher Ablauf vieler biotechnologischer Fermentationsverfahren



Quelle: Rehm 1980

Trotz dieser Weiterentwicklungen wird immer noch die Verfahrenstechnik, also die großtechnische Handhabung von Kulturen lebender Zellen einschließlich der Aufreinigung und Separation der erzeugten Produkte als der eigentliche Engpaß für die weitere technologische Entwicklung in der modernen Biotechnik angesehen (vgl. Prognos 1990, S. 113). Chromatographische Trennverfahren (z. B. High performance liquid affinity chromatography und Immunoaffinity chromatography mithilfe immobilisierter Enzyme oder monokonaler Antikörper) und neue Membranverfahren gehören bei den Separationstechniken neben neuen Extraktionsverfahren (z. B. mithilfe überkritischer Gase) auch für eine sanfte Biotechnologie zu den interessantesten Entwicklungen.

3.3.3 Zellkulturtechnik

Nicht nur intakte Organismen lassen sich kultivieren. Die 'moderne' Biotechnik hat auch gelernt, nur Teile von Organismen nämlich teilungs- und vermehrungsfähige Einzelzellen zu kultivieren. Die Kultur tierischer Zellen hat inzwischen bei der (gentechnischen) Herstellung von Impfstoffen und Medikamenten (meist körpereigenen Wirkstoffen wie z. B. Interferone) eine gewisse Bedeutung erlangt, weil diese Stoffe in Bakterien nicht in ihrer biologisch wirksamen Form hergestellt werden können (vgl. Umeda/Koyama 1987). Auf der Kultur hybridizierter tierischer Zellen beruht auch die Herstellung monoklonaler Antikörper. Sie dürfte rasch zunehmen.

Die Kultur von Pflanzenzellen spielt dagegen bisher nur bei der ungeschlechtlichen Mikrovermehrung eine ökonomisch relevante Rolle. Die Produktion von pflanzlichen Wirkstoffen, nicht mehr durch die Kultivierung ganzer Pflanzen auf dem Acker, sondern durch Zellkulturen im Fermenter steckt erst in den Anfängen[62]. Dem anfänglichen Enthusiasmus ist größere Skepsis gewichen (vgl. Collinge 1986), obwohl in jüngster Zeit relevante technische Fortschritte erzielt werden konnten (vgl. Schäfer-Menuhr u. a. 1989 und die Serie in BioEngineering im Jg. 1990).

Insbesondere bei der Arbeit mit tierischen Zellkulturen zeigt sich allerdings auch schon deutlich die Problematik solcher Verfahren, nämlich die Infektion/Verunreinigung von Zellkulturen vor allem mit Viren (auch sogenannten 'endogenen' Viren, die in das Genom der Wirtszellen schon fest integriert waren). Intakte Organismen haben ein intaktes Immunsystem. Sie haben also ein eigenes aktives Abwehrsystem gegen Infektionen. Einzelzellen fehlen dagegen alle Funktionen, die nur auf der Organ- bzw. Organismusebene ausgebildet werden, wozu auch weite Bereiche des Immunsystems gehören.

Dieses Fehlen aller Funktionen, die nur auf Organ- bzw. Organismusebene vorhanden sind, hat insbesondere bei Pflanzenzellkulturen auch zu dem (eigentlich gar nicht so) überraschenden Ergebnis geführt, daß die Zellen in Zellkulturen nicht dieselben Stoffe produzierten wie im intakten Organismus. Die Produktion des gewünschten Stoffs ist in vielen Fällen von der Zelldifferenzierung bzw. vom Funktionieren bestimmter Organe abhängig (vgl. Constabel/Vasil 1987).

3.4 Züchtung und Vermehrung

Eng verbunden mit der Kultivierung ist die züchterische Bearbeitung und Veränderung der kultivierten Organismen. Die *Züchtung* der Nutzpflanzen und Nutztiere, auf denen wir unser ganzes Leben aufgebaut haben, gehört zu den größten (bio-)technischen Leistungen der Menschheit. Sie wird auch in Zukunft als eine am Gesamtorganismus (Phänotyp) ansetzende Technik eine zentrale Stütze 'sanfter' Biotechniken sein. Doch auch das Züchten muß genauer betrachtet werden. Zu beachten sind z. B. die jeweils verfolgten Züchtungsziele und Züchtungsmethoden. Verengte Züchtungsziele, die nur auf die Maximierung eines bestimmten outputs aus sind, und bei denen der ganze Organismus aus dem Blick gerät, können Organismen derart aus dem Gleichgewicht bringen, daß sie nur noch durch massive technische und chemisch-pharmazeutische Stützungsmaßnahmen am Leben erhalten werden können. Dies gilt im übrigen nicht nur für Hochleistungszüchtungen von Pflanzen und Tieren, sondern auch schon für Hochleistungsstarterkulturen in der Milchwirtschaft, bei denen ebenfalls schon mit einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Phagen gekämpft wird[63].

Für unsere Fragestellung nach eher 'harten' und eher 'sanften' Biotechniken ganz zentral ist bei einer Betrachtung der Biotechnik 'Züchtung' die Ansatzebene der züchterischen Maßnahmen. Die 'klassischen' Züchtungstechniken setzten durch Auslese, reproduktive Isolation und gezielte Kreuzung allein am Phänotyp an. Die 'neuen' 'gentechnischen' Züchtungsformen setzen dagegen direkt und mehr oder weniger gezielt am Genotyp an.

---

62 Das bisher aus ganzen Pflanzen gewonnene Immunstimulanz Echinazin wird z. B. schon auf diese Weise hergestellt. Versuche mit der Produktion von Aromastoffen, Quinin, Thaumatin, Essenzen und Alkaloiden sind im Gange, vgl. Ulbrich 1988, Armstrong/Yamazaki 1986, Klausner 1985, Alfermann/Westhoff 1988. Da die Bioreaktortechnik vergleichsweise kapitalintensiv und zudem noch sehr schwer zu steuern ist, und da die Steriltechnik zudem einen hohen Betriebsmitteleinsatz (Energie und/oder Chemikalien zur Desinfektion bzw. Sterilisierung) erfordert, haben solche Verfahren bisher nur in diesem "high-value/low-volume-Bereich" eine ökonomische Perspektive, vgl. Scragg 1986.

63 Dies geschieht in einigen Forschungs- und Entwicklungsabteilungen und -institutionen, z. B. am Institut für Milchwirtschaft in Kiel auch schon mit gentechnischen Methoden.

Die begann bereits mit der künstlichen Erhöhung der Variabilität, der Mutagenese durch Strahlenbehandlung oder Chemikalienbehandlung (z. B. Colchizin) in den 30er Jahren dieses Jahrhunderts. Dabei handelte es sich allerdings noch um eine 'Gentechnik', durch die nur die Gene innerhalb eines Organismus und diese auch nur völlig ungezielt verändert werden konnten. Diese ungezielte Form der 'Gentechnik' war denn auch zumindest im Tier- und Pflanzenbereich vergleichsweise wenig erfolgreich (vgl. Wenzel 1989b). Die Palette der Möglichkeiten reicht heute hingegen von der gezielten Modifikation von Genen innerhalb eines Organismus über die Zell- bzw. Protoplastenfusion bis zur gezielten gentechnischen Übertragung ganzer genetischer Funktionseinheiten über Artschranken, ja über Stammesgrenzen hinweg.

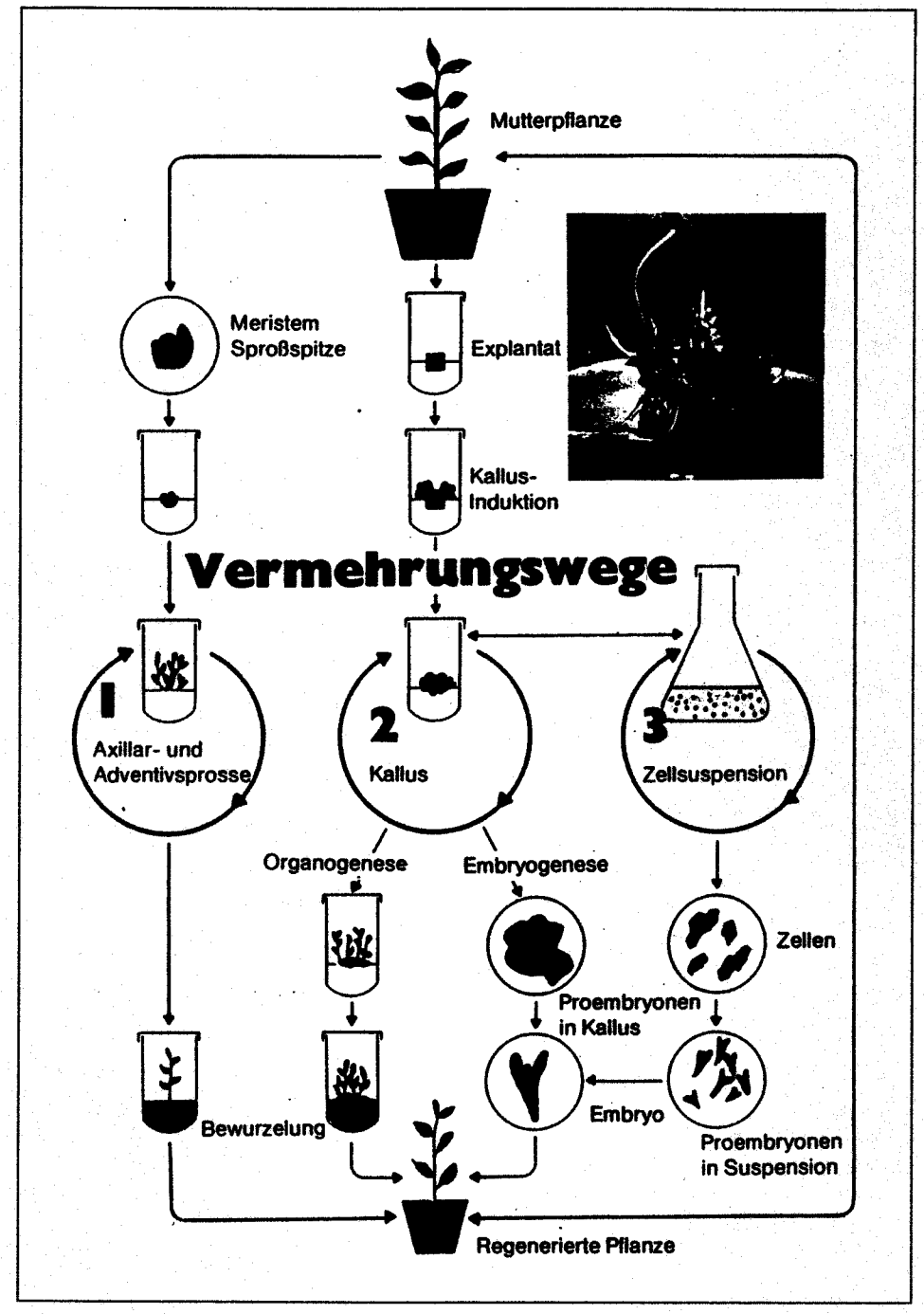
Eine gewisse Zwischenstellung zwischen der klassischen Züchtung und gentechnologischen Verfahren hat eine bestimmte Form der 'Züchtung' von Mikroorganismen für den Abbau von Xenobiotika, also von extrem naturfremden synthetischen Chemikalien z. B. aus der Klasse der chlorierten Kohlenwasserstoffe. Chakrabarty in den USA und Knackmuss in der Bundesrepublik verwenden dazu sogenannte *'Evolutionsreaktoren'*, die mit Substrat aus Sondermülldeponien mitsamt den dort vorfindbaren Mikroorganismen gefüllt werden (vgl. z. B. Rojo u. a. 1988, Chakrabarty u. a. 1984). Sie arbeiten dann mit einem extrem harten Selektionsdruck, indem sie dem Substrat nach und nach alle übrigen Stoffe außer dem gewünschten bisher nicht oder nur extrem langsam abzubauenden chlorierten Kohlenwasserstoff entziehen. Eine gewisse Verwandschaft mit gentechnologischen Verfahren besteht dabei im bewußten Setzen auf die natürliche Grundlage der frühen und noch verbreitetsten gezielten gentechnologischen Übertragungsverfahren, auf den plasmidgebundenen „horizontalen Gentransfer".

Bei der *Vermehrung* unterscheiden wir die geschlechtliche und die ungeschlechtliche Vermehrung. Bei der geschlechtlichen Vermehrung findet Rekombination, eine Vermischung und ungleiche Verteilung des elterlichen Erbguts auf die Nachkommen statt. Aus der ungeschlechtlichen Vermehrung resultieren genetisch mit dem Ausgangsorganismus identische Nachkommen. Die Erzeugung solcher identischer Nachkommen nennt man auch Klonierung. Die ungeschlechtliche Vermehrung spielt als natürlicher Vorgang bei Mikroorganismen und bei Pflanzen eine große Rolle. Die neuen Biotechniken setzen denn auch bei Tieren vor allem an der geschlechtlichen Vermehrung an, nicht zuletzt vermittelt über Reproduktionstechniken wie künstliche Besamung, Embryotransfer und In-Vitro-Fertilisation. Bei Pflanzen setzen sie hingegen eher bei der ungeschlechtlichen Vermehrung an. Bei der modernen Mikrovermehrung sind die entscheidenden Techniken die Herstellung von Zell- und Gewebekulturen aus Meristemen und potentiell endlos wachsenden undifferenzierten Zellen (Kallus), die Vermehrung und ggf. Teilung derselben (Klonen) und die Regeneration wieder zu ganzen Pflanzen.

In beiden Anwendungsdimensionen bei Tieren und bei Pflanzen sind diese Techniken allerdings nicht nur Techniken der Vermehrung und Züchtung. Sie stellen zugleich wichtige technologische Voraussetzungen dar für die Anwendung gentechnischer Methoden an Eizellen, Sperma, Pollen und an über die enzymatische Entfernung der Zellwände herstellbaren sogenannten Protoplasten. Einen Überblick über verschiedene 'moderne' und 'neue' biotechnologische Methoden der Pflanzenzüchtung und -vermehrung gibt Abbildung 16.

Zur Zeit sind allerdings längst noch nicht alle diese Techniken bei allen Pflanzen anwendbar. Gerade bei den einkeimblättrigen Pflanzen, zu denen die Getreidearten gehören, glückt die Regeneration von ganzen Pflanzen aus den Protoplasten noch kaum und entsprechend gering sind auch die Erfolge gentechnischer Manipulationen.

Abbildung 16: Möglichkeiten der Pflanzenzüchtung mit Hilfe moderner Biotechniken



Quelle: BMFT 1990 a

3.5 Enzymtechnik

Wir hatten das Arbeiten mit ganzen und intakten Organismen und das Arbeiten mit (noch biologisch aktiven) Teilen von Organismen unterschieden. Aus dem letztgenannten Bereich haben wir im Kapitel über die Nutzung der Sensorik von Organismen schon einmal die ganze Palette von den intakten Organismen über Zellkulturen bis zu den biologisch aktiven Molekülen also zu den Enzymen und den DNA-Proben durchlaufen.

Die Enzymtechnik liegt im Grenzbereich von Biologie (Biotechnik) und organischer bzw. synthetischer Chemie. Wir haben es nicht mehr mit lebendigen Zellen, sondern nur noch mit 'biologisch' aktiven Molekülen zu tun, was zumindest im Vergleich zum Arbeiten mit gentechnisch veränderten Organismen als weniger risikoreich angesehen werden kann[64]. Wir haben es hier mit einer 'modernen' Biotechnik zu tun, die - entsprechende Grundorientierungen vorausgesetzt - zu einem wichtigen Bereich auch im Rahmen eines 'sanften' Biotechnikpfades werden kann. Das Arbeiten mit dem aus Kälbermägen gewonnenen Labferment hat in der Enzymtechnik wohl die längste technische Tradition. Das Arbeiten mit isolierten Enzymen aus Mikroorganismen begann erst in den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts. Zunächst wurden Pektinasen zur Fruchtsaftklärung eingesetzt. Inzwischen ist der Einsatz isolierter Enzyme weit verbreitet, v. a. in der Waschmittel- und in der Nahrungsmittelindustrie. Auf dem Enzymmarkt werden derzeit Wachstumsraten von 10-13%/a gemeldet. Ein wichtiger Schritt zur Verbilligung enzymatischer Stoffumwandlungen ist zudem das Arbeiten mit immobilisierten Enzymen. Ein an Bedeutung rasch zunehmender Bereich ist der Einsatz von Enzymen in der Analytik und medizinischen Diagnostik (vgl. Wiseman 1985). Hier dürfte die Enzymtechnik, z. B. als 'Enzyme Linked Immunosorbent Assays' (ELISA), in vielen Fällen auch als nichtgentechnische Alternative relevant werden.

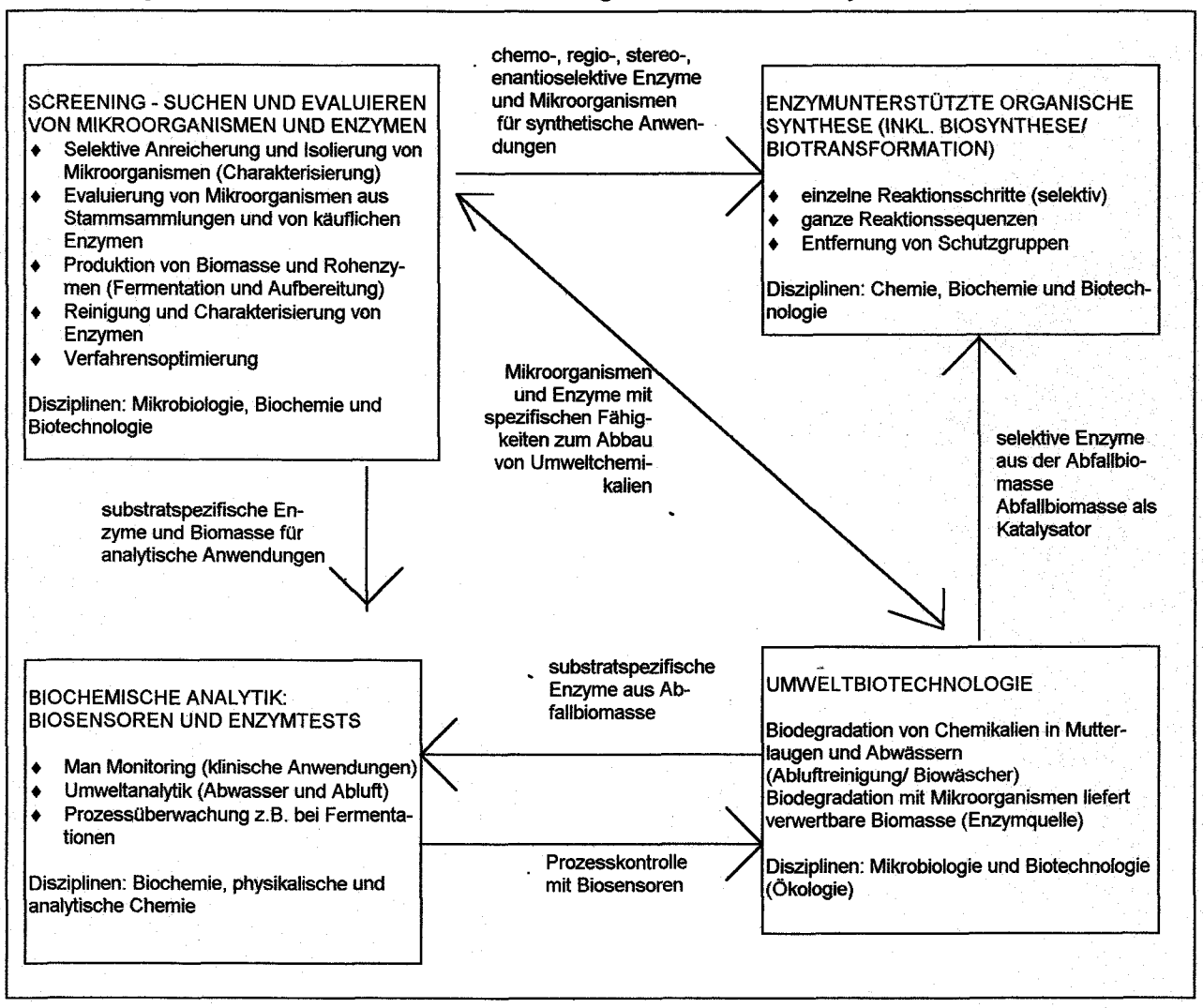
Enzyme sind Katalysatoren, sie 'veranlassen' und 'steuern' bestimmte (bio)chemische Umsetzungsreaktionen. Sie sind sozusagen die biochemischen 'Werkzeuge' aller lebenden Zellen. Als meist komplizierte Eiweißmoleküle gehören sie zu den unmittelbar auf der genetischen Information aufbauenden Produkten (vgl. die ehemalige Ein-Gen-ein-Enzym-Hypothese) und liegen deshalb auch in der unmittelbaren Reichweite gentechnischer Manipulationen. Es ist durchaus wahrscheinlich, daß die Herstellung technischer Enzyme zu den volumenmäßig größten Anwendungsgebieten einer Stoffproduktion mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen im Bioreaktor werden wird.

Im Vergleich zur sonstigen synthetisch-chemischen Stoffproduktion stellen Enzymtechniken allerdings eine ökologisch durchaus interessante Alternative dar. Enzymatisch gesteuerte Reaktionen sind, was die Reaktionsbedingungen anbelangt, vergleichsweise 'sanft' und vor allem hochspezifisch. Dies ist im Vergleich zu vielen bisherigen Synthese- und Umwandlungsverfahren der synthetischen Chemie mit ihren unzähligen unerwünschten Nebenprodukten ein wichtiger toxikologischer und ökologischer Vorteil. Abbildung 17 zeigt die 'klassische' Form der Gewinnung und die wichtigsten Einsatzbereiche von Enzymen.

---

64 Die Risikoproblematik kann sich allerdings je nach Enzym-Quelle und Gewinnungsverfahren in die womöglich gentechnische Herstellung von Enzymen verschieben.

Abbildung 17: Einsatzbereiche von Mikroorganismen und Enzymen



Quelle: Nachr. Chem. Tech. Lab 10/1986

Ein Problem hat sich allerdings schon beim ersten großtechnischen Einsatz von Enzymen - im Waschmittelbereich - herausgestellt, nämlich ihre starke sensibilisierende Potenz. Ein für die Bewertung dieser Techniklinie viel entscheidenderer Punkt ist allerdings die Gewinnung bzw. Herstellung der Enzyme. Gentechnische Verfahren konkurrieren hier mit Verfahren der synthetischen Chemie und mit den eher sanften Verfahren der Extraktion aus schon vorhandenen Organismen (Mikroorganismen/Pflanzen) oder aus organischem Restmaterial wie Schlacht- (Lab) oder Fischabfällen[65]. Der Reichtum an Enzymen der evolutionär entwickelt wurde, ist noch nicht einmal in Ansätzen bekannt. Bekannt sind

65 Die heute auf dem Markt befindlichen Enzyme mit einem Jahresumsatz von ca. 1,2 Mrd. DM stammen noch zu etwa 40% aus nicht gentechnisch veränderten Mikroorganismen und zu 60% aus pflanzlichen und tierischen Quellen, vgl. Neubert 1989, S.19. Ein mithilfe gentechnisch manipulierter Bakterien (E. coli) hergestelltes Labferment ist schon auf dem Markt. Daß allerdings auch die Suche nach weiteren sanften, natürlichen Alternativen vielversprechend ist, zeigt die Tatsache, daß schon nach kurzer Suche ein genauso gut für die Milchgerinnung einsetzbares Pepsin in den Mägen der atlantischen Dorsche gefunden wurde, vgl. Brewer u. a. 1984, S 38-43. Dieses Beispiel stützt im übrigen unsere Vermutung, daß aus Fischabfällen hochwertige biologisch aktive Wirkstoffe isoliert werden können vgl. BIV 2.3.3.2.

bisher nur etwa 3.000 Enzyme[66]. Zweihundert davon sind kommerziell erhältlich. Hauptkunde ist, wenn man die Vielfalt ins Zentrum setzt, die Wissenschaft, die sie in der Analytik einsetzt (etwas weniger als 1% des Weltumsatzes). In Bezug auf die Quantitäten sind es neben der Waschmittel-, die Nahrungs- und Genußmittelindustrie. Bezogen auf die Produktionsmengen entfallen 90% des Enzymmarktes derzeit auf nur fünf Enzyme: Glucose-Isomerase, Glucose-Amylase, Alpha-Amylase, Protease und Labferment (vgl. für einen ersten Überblick Tabelle 15).

Tabelle 15: Wichtige industrielle Enzyme und ihre Anwendungen

Enzym	Mikro-organismen	Reaktion	Anwendung
Protease	Bacillus Aspergillus Mucor	unspezifische endo-Hydrolyse von Proteinen spezifische Casein-Spaltung	Waschmittel-, Mehl-Zusätze, Lederverarbeitung, Käseherstellung
a-Amylase	Bacillus Aspergillus	unspezifische endo-Hydrolyse von Stärke zu Oligosacchariden	Stärkeverzuckerung Textil- und Papier-Verarbeitung Back- und Maisch-Prozesse
Gluco-amylase	Aspergillus	exo-Hydrolyse von Oligosaccharide zu Glucose	Stärkeverzuckerung, Glucose-produktion
Glucose-Isomerase	Streptomyces Bacillus	Isomerisierung von Glucose in Fructose	Stärkesirup-Herstellung
Pektinase (Sammelbegriff)	Aspergillus	Hydrolyse von Polygalacturonsäure und ihren Methylestern	Verarbeitung von Gemüse- und Obstsäften, Bier und Wein
Cellulase	Trichodermea	Hydrolyse von Zellulose	Mazerierung und Trocknungsprozesse pflanzlicher Rohstoffe
Lipase	Candida Pseudomonas Mucor	Hydrolyse von Triglyceriden, Veresterung von Fettsäuren	Fettspaltung, Verdauungsförderung, Herstellung von Emulgatoren (Glyceride) und Spezialfetten (Kakaobutter)
Lactase	Aspergillus	Hydrolyse von Lactose zu Galactose und Glucose	Molkerei-Abwasser, Verdauungsförderung
Glucose-Oxidase	Penicillium	Oxidation von Glucose zu Gluconsäure und Wasserstoff-Peroxid	Glucose-Oxidase/ Katalase-System zur Sauerstoff-Entfernung in Obst
Katalase	Aspergillus	Zersetzung von Wasserstoff-Peroxid	Gemüse-Konserven und Bier

Quelle: Fonds der Chemischen Industrie 1985

Bei der Herstellung bzw. Gewinnung der ca. 20 technischen Enzyme wird derzeit vor allem auf mikrobielle Verfahren und hier wiederum perspektivisch auf das Arbeiten mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen gesetzt. Man könnte jedoch auch hier vor das derzeit bevorzugte Projekt einer eingriffstiefen Konstruktion des 'Gewünschten' die 'Suche' nach dem 'Geeigneten' setzen. Man könnte also das gezielte Screening nach mikrobiellen und insbesondere nach pflanzlichen Enzymproduzenten noch beträchtlich intensivieren. Daß auch Pflanzen als Enzymlieferanten erfolgreich eingesetzt werden, zeigt nicht nur das mengenmäßig überragende Beispiel des Malzes sondern auch die Beispiele des aus Papayablättern gewonnenen Papains, des Bromelains aus Ananas, der Hesperidimasen aus Citrusfrüchten und der aus Pflanzen gewonnenen Anthocyanasen und des Ficin. Auch hier eröffnet sich somit ein reiches Betätigungsfeld für die Entwicklung einer 'sanften' Biotechnik.

66 Schätzungen gehen von mindestens 25.000 zu entdeckenden Enzymen aus.

3.6 Gentechnik

Unter Gentechnik versteht die Enquête-Kommission 'Chancen und Risiken der Gentechnologie' die „Gesamtheit der Methoden zur Charakterisierung und Isolierung von genetischem Material, zur Bildung neuer Kombinationen sowie zur Wiedereinführung und Vermehrung des neukombinierten Erbmaterials in anderer biologischer Umgebung" (vgl. Enquête-Kommission 1987, S. 7). Über dieses Technologiefeld wurde das Nötigste schon bei der Definition von Biotechnologie gesagt. Wir hatten die 'alte' Gentechnik, d.h. die Mutagenese von der 'neuen' Gentechnik, dem gezielten technischen Ansetzen am Genom (von der Protoplastenfusion und dem Kernaustausch bis zur gezielten Veränderung von Genen und ihrer Steuerung) und der 'synthetischen Biologie', dem gezielten Gentransfer über Artschranken hinweg (mithilfe von Geninjektion, Inkubation, Elektroperforation und vektorvermittelter Gentechnik bis hin zur Gensynthese) unterschieden. Zu den Anwendungsgebieten und -möglichkeiten dieser Technik zuder hier vorallem Alternativen gesucht werden sei auf die Kapitel BI 2.1.3 und CII 1 sowie insbesondere auf das nun folgende Kapitel BI 4 verwiesen.

4. Haupteinsatzgebiete der 'modernen' und 'neuen' Biotechnologien

Dieser mehr kursorische Überblick soll einerseits das Spektrum der existierenden Möglichkeiten der 'modernen' und 'neuen' Biotechnik auffächern (insbesondere mit Blick auf die Größe der Aufgabe, jeweils nach sanfteren Allternativen zu suchen), andererseits soll in Abgrenzung zu den in der Literatur kursierenden zahllosen technischen Utopien und Versprechungen ein 'realistischer' Blick auf das derzeit wirklich schon Machbare gelenkt werden.

4.1 Verfahren und Produkte der pharmazeutische Industrie und Medizin

Verfahren[67]

- genetische Analyse (z. B. pränatale Diagnostik, in geringem Umfang schon mit gentechnologischen Verfahren; Screening nach bestimmten Stoffwechselfunktionen (Arbeitnehmerscreening); Entschlüsselung des menschlichen Genoms)
- Reproduktionstechniken (künstliche Besamung, Embryotransfer/Leihmutterschaft, In-Vitro-Fertilisation, Sexbestimmung von Samenzellen)
- Diagnosen über enzymatische Tests, Immunoassays, monoklonale Antikörper und DNA-Proben (Als Projekte werden in der Literatur Tests auf AIDS, Parkinsonsche und Alzheimersche Krankheit und Krebs genannt).
- somatische Gentherapie (z. B. Leukämietherapie erwartbar)
- enzymatische Umwandlung und Synthese von Steroidhormonen
- drug design/Proteindesign

Produkte

Auf medizinisch-pharmazeutischem Gebiet dürften in den nächsten zehn Jahren die Haupteinsatzmöglichkeiten der 'modernen' und 'neuen' Biotechnologien liegen. Noch sind 25% aller Pharmaprodukte auf dem Weltmarkt klassisch biotechnologischer Herkunft, die wichtigste Gruppe dürften davon die Antibiotika sein (Büchel 1985, S.17).

- Antibiotika

67 Vgl. Enquête-Kommission 1987, S. 115 ff, Hohlfeld 1984, Starlinger 1984, Tabor 1989

- körpereigene Wirkstoffe:
  1. Hormone wie Insulin und Wachstumshormon. Gentechnologisch hergestelltes Insulin ist auf dem Markt. Über 90% der verbrauchten Mengen werden allerdings noch klassisch aus Schlachtabfällen (Bauchspeicheldrüsen) gewonnen,
  2. Blutplasmaprodukte wie Serum Albumin, Faktor VIII, Plasminogen Aktivator TPA, Urokinase (z. T. auf dem Markt),
  3. Immunregulatoren wie Interferone und Interleukine (auf dem Markt)
- neuroaktive Peptide (geplant)
- Diagnostika (Enzyme, Antikörper, vgl. 4.2.1)
- Impfstoffe (gegen Hepatitis B, Malaria und Herpes, z. T. auf dem Markt, z. T. in der Entwicklung)

4.2 Verfahren und Produkte in der Landwirtschaft

4.2.1 Tierproduktion

Verfahren[68]

- künstliche Befruchtung
- Embryotransfer (z. Zt. ca. 150.000 Kälber/a)
- In-Vitro-Fertilisation (incl. Superovulation)
- Sexbestimmung von Samenzellen und Embryozellen (molecular probes)
- Klonen durch Embryoteilung
- transgene Tiere durch Zellfusion und Geninjektion oder virale Vektoren (neuerdings evtl. auch durch „beladene" Spermien). Experimentiert wird bisher v. a. mit Wachstumshormongenen. Gearbeitet wird auch an der Übertragung von Krankheitsresistenzen, an einer Veränderung der Fleisch- und Milchzusammensetzung und an der Nutzung transgener Tiere als 'Bioreaktoren' zur Produktion biologisch aktiver Moleküle, z. B. in der Milch (vgl. Keil 1989)

Produkte

- Impfstoffe (Ersatz der bisherigen Impfstoffe gegen Maul- und Klauenseuche, Tollwut und Durchfall von neugeborenen Kälbern und Schweinen. Der Tollwutimpfstoff ist noch nicht auf dem Markt)
- Wachstumshormone (Rinderwachstumshormon BST in den USA auf dem Markt, in Europa noch nicht zugelassen)
- Futterzusatzstoffe (z. B. single cell protein, Antibiotika)
- Diagnostika (z. B. monoclonale Antikörper)

---

68 Vgl. Enquête-Kommission 1987, S. 57 ff. sowie z.T. Kapitel BIII 1-3 und vgl. Niemann u. a. 1989.

4.2.2 Pflanzenproduktion

Tabelle 16: Pflanzenarten, die mit Methoden der 'modernen' und 'neuen' Biotechnologie bearbeitet werden

Planzenart	Angewendete Methoden				
	in-virto-vegetative Vermehrung	Erzeugung Haploider	Protoplasten-fusion (P) Isolierung Fusion (F)	Genmani-pulation	Genetische Selektion auf Resistenz gegen Krankheiten und Streßfaktoren
Beta-Rüben	+		+ P		+
Kartoffel	+	+	+P/F	+	+
Topinambur	+	+			
Wurzelzichorie	+		+P		
Mais	+	+	+P		+
Weizen		+	+P		+
Ackerbohne	+				
Erbse	+		+P		+
Buschbohne	+		+P		+
Lupine	+		+P		
Raps	+	+	+P/F		+
Senf	+				
Mohn	+	+			
Sonnenblume	+	+	+P	+	+
Wolfsmilch	+				
Öl- und Faserlein	+	+			
Hanf	+				
Brennessel	+				

Anmerkung: Nur in den mit + oder Symbolen gekennzeichneten Feldern wird gearbeitet
Quelle: Institut für Pflanzenbau und Pflanzenernährung der FAL, Braunschweig Völkenrode

Quelle: Bericht des Bundes 1989

Verfahren[69]

- Hybridpflanzen (selbstaufspaltende Hochleistungssorten, Eigenvermehrung durch die Bauern nicht mehr möglich)
- Zellkulturen zur Arzneimittel- und Aromengewinnung
- Zell- und Gewebekulturscreening zur Auslese salz- oder trockenheitstoleranter Sorten
- Mikrovermehrung
- mikrobielle Schädlingsbekämpfung
- Impfen mit Bodenbakterien und Bodenpilzen (Rhizobium, Mykorrhiza)

69 Vgl. Wenzel 1989a.

- transgene Pflanzen[70]:
  1. Einbau von Resistenzen (erfolgreich bisher: Herbizidresistenz in verschiedenen Nutzpflanzen, Virusresistenz in Kartoffel und Tabak und Einbau eines Bacillus-Thuringiensis-Toxin-Gens in Tabak, Kartoffel und Tomate),
  2. Versuche zur Veränderung von Pflanzeninhaltsstoffen, z. B. Fettsäurenzusammensetzung, bestimmte Stärkekomponenten
  3. Optimierung bzw. Einbau der Fähigkeit zur Stickstoff-Fixierung (noch Zukunftsmusik)

Produkte

- neue Herbizide, Fungizide und Insektizide auf der Basis mikrobieller Wirkstoffe
- Diagnostika
- Wachstumsregulatoren

4.3 Verfahren und Produkte der Lebensmittelverarbeitung[71]

Hier könnte ein rasch größer werdender Anwendungsbereich der 'modernen' und evtl. auch der 'neuen' Biotechnologien liegen. Doch angesichts eines relativ restriktiven Lebensmittelrechts und eines konservativen Verbraucherverhaltens dürfte hier die Kluft zwischen dem technisch Machbaren und dem gesellschaftlich Realisierbaren am größten werden (vgl. Spillecke 1989, S.33ff).

Verfahren

- Fermentation mit neuen oder gentechnisch veränderten Organismen:
  1. in der Brauwirtschaft (light-beer mit 'modern' züchterisch veränderten Hefen, die auch Dextrine abbauen, Arbeiten mit alkoholproduzierenden Bakterien statt Hefen, Arbeiten im Fließ- statt Chargenverfahren, Verbesserung der Thermo- und Ethanoltoleranz von Hefen)
  2. in der Milchwirtschaft (phagenresistente Milchsäurebakterien)
  3. in der Herstellung von Fleischerzeugnissen
  4. in der Getränke- und Sauergemüseherstellung
- Enzymeinsatz und Enzymproduktion (z. B. Glucose-Isomerase, ß-Glucosidase, Invertase, Cellobiase, a und b-Galactosidase, Xylanase, a und b-Amylase, Cellulase, Dextranase, Tannase, Pullulanase, Pectinase, Esterase, Katalase, Glucoseoxidase, Protease, Lab/Rennin, Bromelain, Lipase, Lysozym, Hesperidinase, Anthocyanase). Die Lebensmittelindustrie ist nach der Waschmittelindustrie der zweitwichtigste Anwendungsbereich für technische Enzyme, v. a. in der ausländischen Brauwirtschaft (bakteriell erzeugte Amylasen), in der Stärke-, Fruchtsaft-, Fleischwaren, Teigwaren- und Milchverarbeitung. Geplant: enzymatische Umwandlungen (z. B. von Palmöl zu Olivenöl oder von Olivenöl zu Kakaobutter); Einsatz von Proteasen (zur Beschleunigung der Aromabildung und Käsereifung); gentechnische Herstellung von Enzymen wie Lab (auf dem Markt aber in der BRD noch nicht zugelassen), Amylasen, Invertasen, Lipasen (vgl. van Beynum 1988, S. 330).

---

70 Vgl. Wenzel 1989b.

71 Vgl. auch Kapitel BIII 1-3. Das Anwendungsfeld Nahrungsmittelproduktion und -verarbeitung wird zudem im Kapitel CIV 2.3.3 noch einmal ausführlicher aufgegriffen.

- Food-Design. Funktionelle Modifikation von Proteinen, Stärke, Pektinen. Eine Tendenz in der Nahrungsmittelverarbeitung ist die völlige Zerlegung der Naturprodukte und die beliebige Neukombination ihrer molekular definierten Bestandteile, wie das bei der Margarineherstellung schon seit geraumer Zeit praktiziert wird. Eine ebenfalls molekular denkende Ernährungslehre verstärkt diese Tendenz zusätzlich.
- Lebensmittelüberwachung/ -analytik:
  - Nachweis von Toxinen, Bakterien- und Pilzkontaminationen, Zusatzstoffen, Rückständen von Pestiziden und Hormonen durch Immunoassays, monoclonale Antikörper (bisher für Salmonellen) und Gensonden (bisher für Salmonellen) (vgl. z. B. Allen/Smith 1987, Schleifer 1990).
  - Frischenachweis bei Fleisch und Fisch
- biologische Verfahren der Lebensmittelkonservierung

Lebensmittelzusatzstoffe[72]

Der Markt ist hier stark expandierend. In der BRD werden z. Zt. ca. 15% der Lebensmittel aromatisiert. Der Anteil natürlicher Aromastoffe liegt hierbei zwischen 50-70% (vgl. Wink u. a. 1987, S. 235). Wie in den meisten anderen Bereichen konkurrieren auch hier verschiedene im weitesten Sinne biotechnische Herstellungsverfahren [Pflanzenextraktion, Zellkulturtechnik, mikrobielle Fermentation (mit oder ohne gentechnisch veränderten Mikroorganismen)] mit chemisch-synthetischen Herstellungsverfahren):

- Fruchtsäuren (Citronensäure, Itaconsäure, Gluconsäure, Fumarsäure, Äpfelsäure, Weinsäure, Bernsteinsäure, Oxalsäure, Milchsäure)
- Süßstoffe/Zuckeraustauschstoffe (z. B. high-fructose-corn-syrup (enzymtechnisch aus Maisstärke), Fructose, Sorbit, Xylit, Mannit, Süßstoffe auf der Basis von Aminosäuren wie Aspartam und Thaumatin)
- Aromastoffe (Diacetyl, Käsearoma, Essigsäure)(Versuche mit pflanzlichen Zellkulturen, bisher keine gentechnischen Verfahren)
- Geschmacksstoffe/Geschmacksverstärker (z. B. Inosinsäure, Guanylsäure, L-Glutaminsäure)
- Farbstoffe (Ersatz synthetischer durch biologische, z.B. Anthocyane, Lactoflavin, Cochenille, Fruchtextrakte)
- Vitamine (Cobalamin, Riboflavin, ß-Carotin, Ascorbinsäure, Ergosterin)
- Aminosäuren (L-Lysin, L-Cystein, L-Tryptophan, L-Histidin, L-Methionin, L-Glutaminsäure)
- Bindemittel/Geliermittel/Emulgatoren (Xanthan gum fermentativ aus Xanthomonas campestris als Stabilisator (20.000 t/a weltweit), Alginat, Pullulan, Curdlan, Pectin, Traganth, Gummi arabicum, Gelatine)
- Emulgatoren (Lecithine, Na/K/Ca-Salze der Speisefettsäuren).
- Antibiotika (Nisin, Pimaricin)
- Konservierungsstoffe/Antioxidantien/Komplexbildner (Essigsäure, Milchsäure, L-Ascorbinsäure, Lecithine, Citronensäure tocopherolhaltige Extrakte, Weinsäure, neue Konservierungsstoffe pflanzlichen Ursprungs)

---

72 Vgl. Holzapfel/Hammes 1989, Kunz 1989.

4.4 Chemie und Grundstoffindustrie

Die Konkurrenz der Schwellenländer im Bereich der Massenchemikalien zwingt die Chemische Industrie in der BRD zu verstärkten Aktivitäten im Bereich der Veredelung und der Feinchemikalien. Hierbei dürften biotechnologische Verfahren und Nachwachsende Rohstoffe eine zunehmende Rolle spielen. Im Einzelnen sind dies[73] :

- Herstellung von Grundchemikalien (außer Bioethanol ist die Herstellung von Butanol, Isopropanol, Azeton, Methanol und Glycerin schon im großtechnischen Maßstab durchgeführt worden, sie ist aber mit immensen Umweltproblemen verbunden und auch gegenüber der Erdölchemie nicht konkurrenzfähig),
- Herstellung von Feinchemikalien (v. a. organische Säuren wie Zitronensäure, Essigsäure, Aminosäuren, Itaconsäure, Milchsäure, Nukleinsäuren, Vitamine, Duft- und Aromastoffe, Enzyme, Biotenside, Polysaccharide),
- mikrobielle und enzymatische Stoffumwandlungen (stereoselektive Synthesen, Acrylonitril enzymatisch zu Acrylamid),
- biotechnische Gewinnung, Rückgewinnung und Reinigung mineralischer Rohstoffe (Erzleaching Cu, U; Biosorption gering konzentrierter Stoffe, tertiäre Erdölförderung und biotechnische Kohleentschwefelung).

4.5 Umwelttechnik

- Abwasser- und Abluftreinigung (Trinkwasserdenitrifizierung, Abluftbiofilter auf mikrobieller Basis, vgl. z. B. Hüttermann 1988, Beck u.a. 1989)
- Abfallverwertung (vgl. dazu die Vorschläge im Kapitel CIV)
- Altlastensanierung (auch hier liegt für die Zukunft ein großer Markt, wobei allerdings bisher gentechnische Techniken noch wenig Einfluß haben. Auch hier konkurrieren biotechnologische Verfahren mit chemischen und vor allem thermischen Verfahren.
- Umweltanalytik (Bioindikatoren, Biosensoren)

5. Zur Reichweite gentechnischer Möglichkeiten

Der kursorische Überblick über die Biotechnologien insgesamt sowie über die derzeitigen und absehbaren Einsatzbereiche der 'modernen' und 'neuen' Biotechnologien hatte im wesentlichen drei Funktionen: Er sollte erstens die Bedeutung darstellen, die biotechnische Verfahren allgemein in unserem Leben heute noch (bzw. schon) haben. Er sollte zweitens zeigen, welche Einsatzmöglichkeiten für die 'modernen' und 'neuen' Biotechnologien schon existieren bzw. erwartet werden, wobei auch deutlich werden sollte, daß gentechnische Verfahren zumindestens bisher noch eine ziemlich marginale Rolle spielen. Drittens sollte gezeigt werden, daß die 'neuen' Biotechnologien also gentechnische Verfahren in den meisten Bereichen (zumindest bisher) keine ganz neuen technischen Möglichkeiten eröffnen, sondern daß sie vor allem schon vorhandene Techniken

73 Vgl. Enquête-Kommission 1987, S. 40 ff..

verbessern bzw. ersetzen sollen[74]. Das heißt wiederum, daß es für die meisten Ziele (Verfahren und Produkte), für die gentechnische Verfahren eingesetzt werden (sollen), auch (noch) alternative biotechnische Lösungswege gibt. Diese Lösungswege dürften ihrerseits mit modernen und trotzdem noch nicht gentechnischen Verfahren zu verbessern sein, und/oder es sind auch ganz neue alternative biotechnologische Lösungswege denkbar.

Da es unsere Grundintention ist, eine möglichst demokratische Technikwahl im Rahmen einer vorsorgenden Umwelt- und Wirtschaftsstrukturpolitik zu ermöglichen, sollen nach dem Vorbild der Energiepfade auch im biotechnischen Bereich konkurrierende stofflich-technische Entwicklungspfade mit vergleichbaren Ergebnissen erarbeitet werden, Entwicklungspfade, über die dann eine öffentliche Diskussion geführt und anschließend eine demokratische Entscheidung gefällt werden kann. Unsere Hypothese, daß die Erarbeitung solcher konkurrierender technischer Entwicklungspfade prinzipiell auch im Bereich der Biotechniken möglich ist, dürfte angesichts der vorgestellten Vielfalt biotechnologischer Verfahren und angesichts der Tatsache, daß die 'neue' Biotechnologie (die Gentechnologie) zumindestens bisher im wesentlichen nur ein Substitutionstechnologie darstellt, nicht völlig unrealistisch sein. Zu der damit angeschnittenen Frage, ob Entwicklungspfade, die auf der Basis nichtgentechnischer 'klassischer' und 'moderner' Biotechnologien entworfen werden, sich mit gentechnologischen Entwicklungspfaden 'messen' können, ob sie also überhaupt zu vergleichbaren Ergebnissen kommen können, sollen hier noch einige zusätzliche Überlegungen angefügt werden.

Die Leistungsfähigkeit der Gentechnik soll möglichst realistisch eingeschätzt werden. Es kann weder darum gehen, so zu tun, als sei diese Technik einfach überflüssig, als gäbe es kein Problem, das mit dieser Technik gelöst, keinen sinnvollen Bedarf, der mit ihrer Hilfe befriedigt werden könnte. Die Möglichkeiten dieser Technologie sollten aber auch nicht überschätzt werden (auch nicht beim 'Ausmalen' der möglicherweise von ihr drohenden Gefahren). Die Geschichte der Menschheit ist schließlich voll sowohl von (nie erfüllten) technologischen Versprechungen als auch von nicht eingetretenen Befürchtungen. Wir erinnern uns z. B. noch recht gut an die Versprechungen vom elektrischen Strom zum Nulltarif, der durch Atomkraftwerke bereitgestellt werden sollte, oder erst jüngst an die medizinischen Erwartungen, die in vielen öffentlichen Erklärungen mit den körpereigenen Abwehrstoffen v. a. den Interferonen verbunden wurden. Die Ernüchterung folgte auf dem Fuße.

Wenn die bisherigen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Leistungen gentechnologischer Verfahren genauer analysiert werden, beschränken sich ihre Erfolge bisher auf die Herstellung einiger Proteine (v. a. körpereigener Wirkstoffe und Enzyme), d. h. auf Stoffe, die direkte Genprodukte darstellen und an deren Zustandekommen meist nur ein Gen beteiligt ist[75]. Diese Situation ist nicht zufällig. Es handelt sich sozusagen um die am einfachsten zu lösenden Aufgaben, die überdies zumeist auch mit den am einfachsten 'organisierten' Organismen erzielt wurden.

Gentechnische Verfahren funktionieren bisher vor allem bei Prokaryonten, also bei Mikroorganismen, die keinen Zellkern und ein viel einfacheres Genom haben als Eukaryonten[76]. Es ist zu vermuten - und die bisherigen Versuche bestätigen diese prinzipielle

---

74 Prognos spricht deshalb von der 'neuen' Biotechnologie als Substitutionstechnologie, vgl. Prognos 1990, S. 108.

75 Das Faktor IV-Molekül mit einem Molekulargewicht von 330.000 Dalton gehört bisher zu den größten auf diese Art und Weise erzeugten biologisch aktiven Molekülen.

76 Auf letzteren beruht aber fast die ganze land-, forst- und fischereiwirtschaftliche Primärproduktion. Bakterien haben 2.000 strukturelle Gene. Pflanzen haben davon ca. 10.000 im diploiden Satz und zu-

Überlegung -, daß bei wesentlich komplizierteren Verhältnissen (sowohl bezüglich der verwendeten Organismen als auch bezüglich der Stoffwechselebene, auf der agiert wird) wohl kaum ähnlich schnelle Fortschritte zu erwarten sind. Zur Zeit scheint ohnehin, nichtzuletzt aufgrund dieser Problemlage, der bisherigen Aufbruchsstimmung eine recht große Ernüchterung zu folgen. Viele Erwartungen wurden gedämpft. Im zunächst enthusiastisch angegangenen Projekt des gentechnischen Einbaus der Stickstoffixierung in Nutzpflanzen ist das Ziel in weite Ferne gerückt. Insgesamt hat sich die Gentechnik an Pflanzen und an Tieren als wesentlich komplizierter als zunächst angenommen herausgestellt.

Bei der (enzymatischen) Stoffumwandlung liegen die bisherigen Erfolge außerdem eher beim enzymatischen Abbau (degrade) als bei der an sich technologisch und ökonomisch wesentlich interessanteren enzymgesteuerten Synthese (upgrade). Sowohl der Primärstoffwechsel (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße) als auch vor allem der (pflanzliche) Sekundärstoffwechsel mit seinem unglaublichen Reichtum an wertvollen 'biologisch aktiven' Stoffen (Medikamente, Aromen, Abwehrstoffe, Werkstoffe) liegen noch weit jenseits der Reichweite gentechnischer Aktivitäten[77]. Es ist sogar durchaus fraglich, ob es je möglich sein wird, den gesamten Stoffwechsel von (höheren) Organismen ausgehend von der genetischen Ebene durch das Gewirr der Stoffwechselwege hindurch bis in den Bereich des Sekundärstoffwechsels hinein zu steuern. Dies hängt nicht zuletzt damit zusammen, daß je weiter von der Genebene weg 'agiert' wird, desto mehr zusätzliche 'somatische' Steuerungsmechanismen relevant werden.

Neben diesen prinzipiellen technischen Problemen, die sich durchaus auch als technische 'Schranken' herausstellen könnten, sind zudem ökonomische Schranken zu berücksichtigen. So kann wohl mit Recht davon ausgegangen werden, daß Bioreaktoren nur im 'high-value-low-volume-Bereich' gegenüber einer land-, forst- oder meereswirtschaftlichen Primärproduktion konkurrenzfähig sein werden. Die 'bodenunabhängige' Landwirtschaft dürfte nur eine begrenzte auf die Gewinnung weniger, besonders wertvoller Pflanzenstoffe beschränkte Perspektive haben.

Aus heutiger Sicht muß davon ausgegangen werden, daß die gentechnischen Verfahren vor allem in folgenden Gebieten ihre wichtigsten und erfolgreichsten Einsatzgebiete haben werden:

1. bei der Herstellung von Medikamenten, insbesondere körpereigenen Wirkstoffen und Impfstoffen,
2. in der Analytik und Sensorik, also in der wissenschaftlichen Analyse, der medizinischen und mikrobiologischen Diagnostik und bei der Überwachung von Produktionsprozessen, sodann schon mit etwas Abstand:
3. in der Pflanzen- und Tierzucht sowie im Pflanzenschutz und in der Tiermedizin
4. bei der Herstellung von Lebensmittelzusatzstoffen

Hinter den zuletzgenannten Einsatzbereichen in der Land- und Forstwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung stehen allerdings große Fragezeichen, weil es hier vermutlich die größten Akzeptanzprobleme geben wird. Diese werden noch dadurch verstärkt, daß in diesen relativ verbrauchernahen Bereichen eingeführte und bewährte Alternativen zu

sätzlich die zytoplasmatische genetische Information, z. B. die Gene in den Choloroplasten. Vgl. dazu auch den - was die gentechnischen Verfahren anbelangt - in der Tendenz eher skeptischen Überblick über 'Biotechnology in Agriculture' von Wenzel 1988.

77 Das Problem gibt es im übrigen wie schon erwähnt auch bei Pflanzenzellkulturen, bei denen viele Mißerfolge einfach darauf zurückzuführen sind, daß die Produktion des erwünschten Stoffs an die Organbildung gebunden ist und deshalb auf der isolierten zellulären Ebene gar nicht zustande kommt.

gentechnischen Verfahren schon lange bestehen. In den Bereichen Analytik und bei einigen Medikamenten und Impfstoffen ist dagegen eher mit dem Fall zu rechnen, daß es 'sanftere' Alternativen, die eine ähnliche 'Leistung' in Bezug auf Treffsicherheit (Spezifität), Geschwindigkeit und Wirksamkeit aufweisen können, nicht gibt und vielleicht auch in Zukunft nicht geben wird. All dies gilt es bei der Konstruktion und vor allem bei der Wahl zwischen den erst noch zu erarbeitenden konkurrierenden technologischen Entwicklungspfaden zu berücksichtigen[78].

78 Es ist durchaus damit zu rechnen, daß - wenn es solche Pfade erst einmal geben sollte - die letztendliche technologiepolitische Entscheidung auf einen bis dahin noch gar nicht entworfenen 'Pfad' hinausläuft, der wesentliche Elemente der verschiedenen zur Debatte stehenden konkurrierenden Pfade vereinigt. Auch im Energiebereich ist schließlich (noch?) keine Entscheidung für einen der Pfade gefallen. Es werden vielmehr an den verschiedensten Orten je unterschiedliche Pfade und somit insgesamt gesehen alle vier Energiepfade gleichzeitig beschritten, wenn auch mit unterschiedlicher Intensität. Dies gilt nicht mehr nur für den inzwischen in Form regionaler und kommunaler Energiekonzepte in Rottweil, Saarbrücken usw. verfolgten 'sanften' Energiepfad sondern auch für den extrem harten Plutoniumpfad, der in der Bundesrepublik mehr oder minder abgebrochen ist, in Frankreich z.B. aber weiter verfolgt wird.

II. Ansätze einer vergleichenden Bewertung biologischer Techniken

Wenn erst einmal die verschiedenen stofflich-technischen Entwicklungspfade im Bereich der biologischen Techniken ausgearbeitet sind, kommt es darauf an, sie vergleichend zu bewerten. Eine solche vergleichende Bewertung umgeht viele Probleme, die entstehen würden, wenn man eine bestimmte Techniklinie für sich alleine bewerten wollte. Dann wären nämlich 'absolute' und nicht nur 'relative' Bestimmungen erforderlich. Man müßte dann sagen können: Dies ist eine 'harte' und dies ist eine 'sanfte' Technik. Solche Absolutbestimmungen sind kaum möglich. Im direkten Vergleich konkurrierender Techniken sind dagegen relative Bestimmungen, wie: Diese Techniklinie ist auf der Grundlage dieser und jener Kriterien als 'sanfter' oder 'härter' zu bewerten als jene, sehr wohl möglich. Für die Bewertung konkurrierender Pfade (und im übrigen auch schon für deren Konstruktion) bedarf es also verallgemeinerbarer und auch handhabbarer Kriterien der vergleichenden Technikbewertung. Außerdem muß festgelegt werden, welche Problembereiche in die Prüfung einbezogen werden sollen[79]. Deshalb soll hier versucht werden, noch vor der eigentlichen Behandlung der Kriterien einen zumindest groben Überblick über mögliche Probleme und Risiken der Gen- und harten Biotechniken zu vermitteln.

1. Probleme und Risiken der Gen- und harten Biotechniken

Nachdem die Debatte über 'Chancen und Risiken' der Gentechnik schon relativ lange und intensiv geführt wird, kann hier das Wichtigste vorausgesetzt werden[80]. Hier soll deshalb nur auf einige Punkte eingegangen werden, unter anderem auch mit dem Ziel, einer drohenden Verengung der Diskussion zu begegnen.

Eine solche Verengung droht schon mit dem Risikobegriff, der allzuoft nur versicherungsmathematisch definiert wird: als Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert mit der Schadenshöhe. Bei einem solchen Riskoverständnis wird die neue Qualität in der Schadenshöhe, ganz im Gegensatz zum in der Bevölkerung herrschenden Bewußtsein, durch eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit relativiert. Wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit nur gering genug ist, kann damit jedes Risiko in Kauf genommen werden.

Außerdem hat dieser Risikobegriff nur Unfälle und Katastrophen im Blick. Zu beachten sind aber außerdem: 2. Risiken des Erfolgs, 3. Risiken des Mißbrauchs und 4. Neben- und Folgewirkungen. Zu beachten sind auch nicht nur gesundheitliche Risiken, die in den Sicherheitsrichtlinien der 'Zentralen Kommission für Biologische Sicherheit' (ZKBS) allein dominieren, sondern auch ökologische, ökonomische, politische, kulturelle und ethische Risiken, die mit der Einführung bzw. Durchsetzung von Technologien verbunden sein können.

Das größte Problem stellen allerdings die noch **unbekannten Risiken** dar. Sie konfrontieren uns mit der Frage, was 'Vorsorge' im Hinblick auf diese Techniken bedeuten kann. Die Handlungsmächtigkeit der verwissenschaftlichten und besonders eingriffstiefen Techniken wie Atomtechnik, synthetische Chemie und Gentechnik, die ungeheure und bisher nicht gekannte Macht, die sie den Menschen in die Hand geben, stellt uns hier vor ein neues viel zu wenig reflektiertes Problem.

---

79 Kriterien sind dann oft nicht mehr als die Benennung solcher Prüfbereiche vgl. Kap. BII 3.

80 Vgl. z. B. Enquête-Kommission 1987, Kollek/Tappeser/Altner 1986, BMFT 1988 und als sehr gute permanente Informationsquelle den "Gen-ethischen Informationsdienst".

Die Handlungsmöglichkeiten der Menschen dürften zwar schon immer ihre Wissensmöglichkeiten überstiegen haben. Wir waren schon immer gezwungen etwas auszuprobieren, ohne über die Folgen ganz genau Bescheid zu wissen. Ein solches Vorgehen war und ist aber nur vertretbar bei Techniken mit einigermaßen überschaubaren Wirkungen, also bei im großen ganzen reversiblen Eingriffen.

Die Handlungsmächtigkeit (die Reichweite der Wirkungen), die die Gentechnik den Menschen in die Hand gibt, übersteigt aber ihre Wissensmächtigkeit (die Reichweite ihres Wissens über die Folgen solcher Eingriffe) in einem bisher nicht gekannten Ausmaß. Wir können mit dieser Technik Ungeheures bewirken in einem Feld des extremen Nichtwissens.

Da die Möglichkeiten, die Reichweite unseres Wissens an diese übergroße Handlungsmächtigkeit anzupassen, aus erkenntnis- bzw. wissenschaftstheoretisch darlegbaren Gründen prinzipiell stark beschränkt sind[81], muß darüber nachgedacht werden, inwieweit Techniken mit einer derartigen Handlungsmächtigkeit überhaupt verantwortbar sind. Wirkliche Vorsorge dürfte hier die Notwendigkeit eines weitestgehenden Verzichts auf derart eingriffstiefe Techniken bedeuten.

Die immens gesteigerte Handlungsmächtigkeit der Gentechnik geht einher mit entsprechend dieser Macht extrem gesteigerten Risikopotentialen (möglichen Schadenshöhen). Und sie ist schließlich die Quelle für die bei der Bewertung gerade solcher Technologien zu beachtenden 'Risiken des Erfolgs'. Vor allem Jonas weist immer wieder darauf hin, daß mit Atomtechnik, syntetischer Chemie und Gentechnik Ziele verfolgt und erreicht werden können, an denen frühere Generationen - zum Glück - aus technischen Gründen noch scheiterten (vgl. Jonas 1985, S. 42ff.) Diese Problematik erstreckt sich nicht nur auf das Projekt einer Menschenzüchtung[82], sondern auch das Projekt einer vollständigen Umgestaltung der äußeren Natur. Nicht zuletzt durch die extrem eingriffstiefen und handlungsmächtigen Techniken wie die Atomtechnik, die synthetische Chemie und die Gentechnik hat sich das Verhältnis zwischen Mensch und Natur geradezu umgekehrt. Mußten frühere Generationen sich noch gegen eine übermächtige Natur verteidigen, so ist uns heute die Natur 'als Ganze' in die Hand gegeben und zwar nicht nur in bezug auf ihre mögliche Zerstörung, sondern auch in bezug auf ihre grundlegende und durchgreifende 'Umgestaltung'. Selbst die alte Utopie einer vollständigen „Humanisierung der Natur" erscheint nun verwirklichbar. Eine vollständig humanisierte Natur wäre aber Jonas zufolge auch eine von sich „völlig entfremdete" Natur (vgl. Jonas 1979, S. 369ff.).

Vor dem Hintergrund dieser 'Machbarkeiten' muß ganz neu gefragt werden, ob ein allgemein anerkanntes 'Ziel' wie die Bekämpfung von Krankheit und Tod wirklich jedes 'Mittel' rechtfertigt (vgl. ebd. S. 47 ff.), ob es Grenzen gibt bei der beliebigen Umwandlung biologischen Materials, wenn z. B. Nahrungsmittel aus Erdöl, Stroh oder Hausmüll gewonnen werden können oder ob die landwirtschaftliche Intensivierung unbegrenzt weitergetrieben werden darf. Diese Techniken stellen also insbesondere unser Verantwortungsbewußtsein, unser ethisches Urteilsvermögen vor schwierige Aufgaben. Nicht zuletzt deshalb spielen denn auch ethische Kriterien im nächsten Abschnitt eine wichtige Rolle.

---

81 Es sei denn man glaubte noch an die laplacesche Utopie einer vollständigen Berechenbarkeit der Welt. Immerhin haben alle Naturwissenschaften mit der Erkenntnis multifaktorieller Zusammenhänge größte Schwierigkeiten. (Nicht nur) in der Biologie kommt aber noch eine ganze Portion im Prinzip durch Risikoforschung aufhebbaren Nichtwissens dazu, vgl. dazu z. B. BMFT 1988.

82 In das nun über eine 'negative Eugenik', vermittelt durch die Möglichkeiten der pränatalen Diagnostik, selbst gutmeinende Eltern 'mit den besten Absichten' hineinschlittern können.

Bei den **Risiken des Mißbrauchs** stehen die biologischen Waffen im Vordergrund. Schließlich gehörten bisher noch bei jeder potenten neuen Technik die Militärs zu den ersten Nutzern. Dies wird bei der Gentechnik nicht anders sein.

Bei den **Nebenwirkungen** soll das ganze Spektrum der Problemebenen zumindest kurz angerissen werden, wie das im Prinzip auch bei den Risiken des Erfolgs, des Mißbrauchs und bei den Unfällen und Katastrophen möglich wäre.

Es geht hier auf der Ebene der kulturell-geistigen Folgen z. B. um Veränderungen im Menschenbild und im gesellschaftlichen Verständnis von Krankheit und Behinderung. Durch die Betonung möglicher genetischer Faktoren und durch die Möglichkeiten, auf dieser Ebene technisch anzusetzen, werden andere Auffassungen von Krankheit und alternative medizinische Ansätze tendenziell zurückgedrängt, und es besteht die Gefahr einer Wiederbelebung des genetischen Determinismus. Aber auch das Verständnis von Natur kann sich ändern. Natur kann verstärkt als bloße 'Ressource' verstanden werden, als Baukasten genetischer Module, aus denen man sich nach Belieben das Gewünschte zusammenbasteln kann. So droht schließlich das in der Physik schon wankende 'Mechanistische Weltbild' sich zuletzt doch noch im Bereich des Organischen durchzusetzen.

Auf der Ebene der politisch-ökonomischen Wirkungen besteht zudem wie auf den anderen Ebenen auch die Gefahr, daß sich durch diese Techniken schon vorhandene problematische Tendenzen beschleunigen und Abhängigkeiten verschärfen. Ein vieldiskutiertes Beispiel ist die Übernahme von kleinen regionalen Saatgutfirmen durch Chemie- und Ölkonzerne, weil letztere eher über die notwendigen Voraussetzungen für die forschungs- und damit auch kapitalintensive Gentechnik in der Züchtung verfügen. Diese Konzerne könnten, wenn sie mit der gentechnischen Veränderung von Saatgut Erfolg haben, ganze 'Paketlösungen' an die Bauern verkaufen, angefangen vom nicht vermehrungsfähigen Hybridsaatgut, in das z. B. eine Herbizidresistenz eingebaut wurde, über das zugehörige Herbizid bis zum entsprechenden Dünger.

Auf der medizinisch-ökologischen Argumentationsebene reicht die Palette der möglichen Nebenwirkungen von Arbeitsschutzproblemen über (sehr wahrscheinliche und sehr weitreichende) Nebenwirkungen bei Therapieversuchen mit körpereigenen Substanzen bis zum großen Problem eines unkontrollierten 'horizontalen Gentransfers' (vgl. von Gleich 1986b). Immerhin ist damit zu rechnen, daß gerade die besonders 'mobilisierten' gentechnisch übertragenen Gene nicht in ihrem Zielorganismus verbleiben, sondern daß sie über Mechanismen des horizontalen Gentransfers auch in andere Organismen übertragen werden[83].

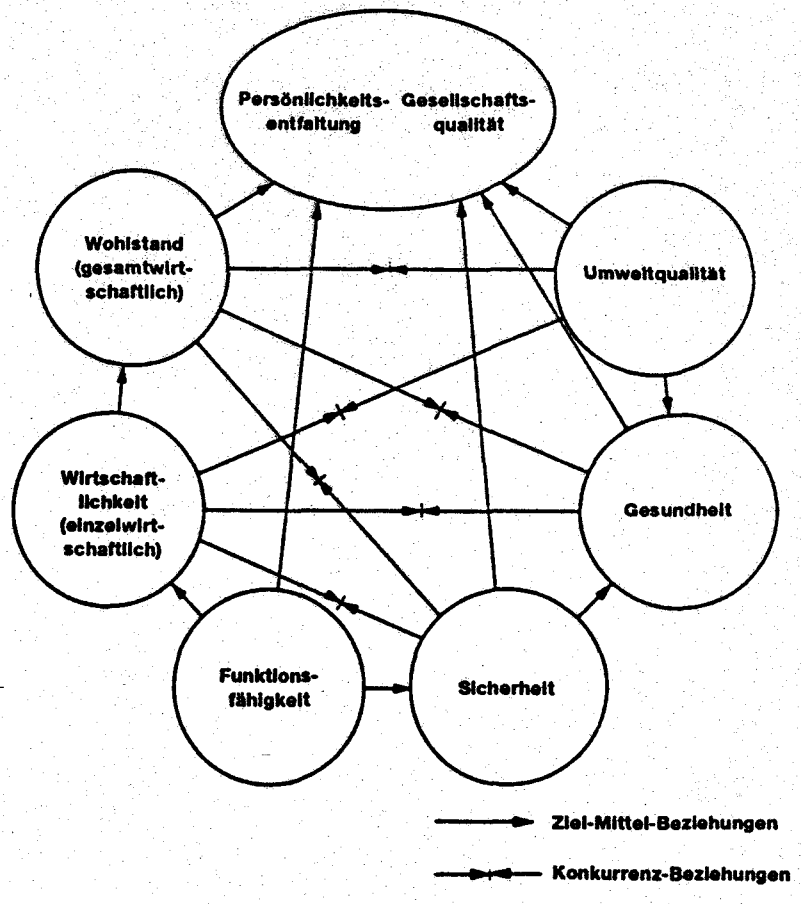
Das Auftauchen von solchen gentechnisch in Mikroorganismen oder auch in Nutzpflanzen übertragenen hocheffizienten 'neuen' Genen in entsprechenden Wildformen könnte dann schon überleiten zur letzten Problemkategorie zu den **Unfällen und Katastrophen**. Hier ist schon viel geschrieben worden über ein mögliches Auftreten neuer Krankheiten für Mensch, Tier und Pflanze, das zugegebenermaßen relativ unwahrscheinlich sein mag. Doch auch an partielle bis weitreichende ökologische Gefährdungen oder gar Zusammenbrüche durch eine ungehemmte Verbreitung von durch übertragene Gene besonders 'effizient gewordenen' Organismen oder auch nur von Organismen, die so 'naturfremd' sind, daß sie keine natürlichen Feinde haben, ist hier zu denken (vgl. von Gleich 1990a).

---

83 Zu ersten Ergebnissen der diesbezüglichen Risikoforschung vgl. Lorenz/Wackernagel 1988.

2. Kriterien der Technikbewertung und Technikwahl

Abbildung 18: Werte im technischen Wandel



Werte im technischen Handeln
Zwischen allen in Teil 3 dargestellten Wertbereichen bestehen mittelbare oder unmittelbare Beziehungen; hier werden – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – wichtige Ziel-Mittel- und Konkurrenzbeziehungen zwischen diesen Wertbereichen dargestellt.

Quelle: VDI 1989

Trotz der Bedeutung, die der Erarbeitung von Kriterien der Technikberwertung eigentlich zukommen müßte, ist die dazu verfügbare deutschsprachige Literatur noch durchaus überschaubar, wobei sich die Debatte bisher vor allem auf die Energietechniken und die Informations- und Kommunikationstechniken konzentrierte[84]. Aus der Energiedebatte und der Auseinandersetzung mit den Informations- und Kommunikationstechnologien stammen z. B. die sehr allgemeinen Kriterien der 'Wirtschaftlichkeit', der 'Sozialverträglichkeit', der 'Umweltverträglichkeit' und der 'Internationalen Verträglichkeit'[85]. Der Ausschuß 'Grundlagen der Technikbewertung' des Vereins deutscher Ingenieure (VDI) hat zudem eine Richtlinie „Empfehlungen zur Technikbewertung" erarbeitet, die „Werte im technischen Handeln" auflistet und diskutiert, die auch als Kriterien (zumindest im Sinne von Prüfbereichen) zu verstehen sind (vgl. Abbildung 18). Den Kriterien bzw. Leitwerten 'Funktionsfähigkeit', 'Wirtschaftlichkeit', 'Wohlstand', 'Sicherheit',

84 Vgl. vor allem Müller-Reißmann/Bossel 1979, Enquêtekomission 1980, Renn u. a. 1985, Meyer-Abich/Schefold 1986 und Müller-Reißmann/Bossel 1986.

85 Vgl. Enquêtekommission Zukünftige Kernenergiepolitik 1980, Meyer-Abich/Schefold 1986, S. 18ff.

'Gesundheit', 'Umweltschutz', 'Persönlichkeitsentfaltung' und 'Gesellschaftsqualität' sind jeweils noch bis zu 13 Unterkriterien/-leitwerte zugeordnet (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Technikbewertungskriterien des VDI

Funktionsfähigkeit

Brauchbarkeit
Machbarkeit
Wirksamkeit
Perfektion
- Einfachheit
- Robustheit
- Zuverlässigkeit
- Lebensdauer
technische Effizienz
...

Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)

Kostenminimierung
Rentabilität
Unternehmenssicherung
Unternehmenswachstum
...

Wohlstand (gesamtwirtschaftlich)

Bedarfsdeckung
Quantitatives bzw. qualitatives Wachstum
Internationale Konkurrenzfähigkeit
Vollbeschäftigung
Verteilungsgerechtigkeit
...

Sicherheit

Körperliche Unversehrtheit
Lebenserhaltung des einzelnen Menschen
Lebenserhaltung der Menschheit
Minimierung des Risikos (Schadensumfang und Eintrittswahrscheinlichkeit)
- des Betriebsrisikos
- des Versagensrisikos
- des Mißbrauchsrisikos
...

Gesundheit

Körperliches Wohlbefinden
Psychisches Wohlbefinden
Steigerung des Lebenserwartung
Minimierung von unmittelbaren und mittelbaren gesundheitlichen Belastungen
- in der Berufsarbeit
- in der privaten Lebensführung
- durch umweltbelastende Produkte und Produktionsprozesse
...

Umweltqualität

Landschaftsschutz
Artenschutz
Ressourcenschonung
Minimierung von Immisionen und Deponaten
...

Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität

Handlungsfreiheit
Informations- und Meinungsfreiheit
Kreativität
Privatheit
Beteiligungschancen
Soziale Kontakte und soziale Anerkennung
Solidarität und Kooperation
Geborgenheit und soziale Sicherheit
Kulturelle Identität
Minimalkonsens
Ordnung, Stabilität und Regelhaftigkeit
Transparenz und Öffentlichkeit
Gerechtigkeit
...

Quelle: VDI 1989

Auffallend ist bei der Enquêtekommission der defensive Ansatz mit der Orientierung an 'Verträglichkeiten'. Die Grundhaltung gegenüber technischen Systemen erscheint als prinzipiell skeptisch. So als käme es im Wesentlichen darauf an, Schäden und Belastungen so zu begrenzen, daß sie gerade noch 'verträglich' bleiben. Die Kriterien der Verträglichkeit fixieren damit, überspitzt formuliert, allenfalls noch die Grenzen des technisch Zumutbaren. Ganz anders der VDI. Auch bei ihm tauchen zwar Kriterien auf, die sozusagen Mindestvoraussetzungen fixieren wollen. Hierher gehört das Kriterium der 'Wirtschaftlichkeit', das immerhin mit dem nicht unwichtigen Zusatz 'einzelbetrieblich' ver-

sehen ist, was auf die vorherrschende verkürzte, die gesamtwirtschaftlichen (externen) Kosten nicht berücksichtigende Form des Wirtschaftens verweist. Sodann werden mit den klassischen ingenieurswissenschaftlichen Kriterien 'Funktionsfähigkeit' und 'Sicherheit' weitere Mindestvoraussetzungen formuliert, wobei das Kriterium der 'Sicherheit' auch explizit auf die Zukunft „im Hinblick auf das Überleben der ganzen Menschheit" zielt. Die anderen Kriterien/Leitwerte wie 'Wohlstand' (gesamtwirtschaftlich), 'Gesundheit', 'Umweltqualität', 'Gesellschaftsqualität' und 'Persönlichkeitsentfaltung' sind dann aber durchaus vorwärtsweisend als Zielkategorien formuliert.

Auch wir sind der Meinung, daß solche Leitideen oder utopischen Kriterien notwendig sind, und wir werden mit dem Kriterium der 'Mitproduktivät' hier ein weiters vorstellen. Wir vermissen allerdings sowohl bei der Enquêtekommission als auch beim VDI ein ethisches Grenzen setzendes Kriterium für das, was nicht nur nicht 'verträglich', sondern nicht 'verantwortbar' ist. Gerade im Hinblick auf die ethische Problematik der Verantwortbarkeit werden in beiden Ansätzen keine Konsequenzen aus den Technikdebatten der vergangenen Jahrzehnte gezogen. Schließlich gibt es Techniken, denen gegenüber prinzipielle ethische Bedenken erhoben werden, und bei denen eventuell auch die wohlmeinendsten Ziele nicht die Bedenken gegen ihren Einsatz als 'Mittel' auszuräumen in der Lage sind. Bekanntlich heiligen die 'Zwecke' nicht jedes 'Mittel'. Wir werden mit dem Kriterium der 'Eingriffstiefe' das Ergebnis unserer Versuche vorstellen, ein solches Kriterium zu formulieren.

Obwohl also v. a. mit den eingangs angeführten Arbeiten schon ein durchaus brauchbarer Satz von Kriterien zur Verfügung steht, werden hier noch insgesamt drei weitere Kriterien vorgestellt, Kriterien, die schon in früheren Arbeiten entwickelt wurden, und die nun hier auf die Bewertung von Biotechnologien hin spezifiziert, differenziert und angewendet werden sollen. Im Schema 1 sind diese drei Kriterien 'Werkzeugcharakter', 'Eingriffstiefe' und 'Mitproduktivität' und noch einige damit zusammenhängende (Unter)Kriterien dargestellt. In diesem Schema wurden auch die drei schon angesprochenen Problemebenen und eine utopische Ebene unterschieden: 1. die Ebene der politischen und ökonomischen Probleme, die durch den Einsatz einer Technik ausgelöst bzw. verschärft werden können, 2. die psycho-sozialen, gesundheitlichen und ökologischen Probleme und 3. die ethischen Probleme. Die in dem Schema darunter plazierte 4. Ebene ist die Leitbildebene, die Ebene der konkret-utopischen Argumentation. Sie muß als quer dazu liegend gedacht werden. Die Positionierung der drei Problemebenen erfolgte nach dem Kriterium der 'Enge' der Zweck-Mittel-Bindung und der ebenfalls oben schon kurz angesprochenen 'Länge' der durch die Technologien ausgelösten Wirkungsketten in Raum und Zeit.

Die Enge der Zweck-Mittel-Bindung ist als Ausdruck der Tatsache zu verstehen, daß es einerseits Techniken gibt, die ohne weiteres für diesen und für jenen Zweck eingesetzt werden können, die relativ 'zweckneutral' sind, also eine lockere Zweck-Mittel-Bindung aufweisen. Als (vielleicht nicht allzu gutes) Beispiel wird in der Technikdebatte immer wieder auf das Messer verwiesen, mit dem man Äpfel schälen aber auch Menschen umbringen kann. Es gibt andererseits aber auch Techniken, bei denen die Zweck-Mittel-Bindung wesentlich enger ist. Als Beispiele wären das Fließband oder die Atombombe anzuführen. Bei ihnen besteht praktisch kein Spielraum für 'alternative' (sanfte) Einsatzmöglichkeiten.

Sodann gibt es Techniken, deren Wirkungen einigermaßen überschaubar sind (in Zeit und Raum), und es gibt Techniken, mit denen Wirkungen ausgelöst werden, die bezüglich ihrer zeitlichen und räumlichen Dimensionen alles bisher gekannte in den Schatten stellen. Als Beispiel für ins Unermeßliche ausgedehnte Wirkungsketten in der Zeit (in Richtung irreversible Wirkung) ist die Plutoniumerzeugung zu nennen. Plutonium hat eine Halbwertszeit von ca. 20.000 Jahren, d. h. wir belasten unsere Nachkommen über einen

unvorstellbar langen Zeitraum mit unserem Atommüll. Als Beispiel für ungeheuer ausgedehnte Wirkungsketten im Raum (in Richtung globale Wirkung) ist die Produktion von Polychlorierten Biphenylen (PCBs) zu nennen, die als technische Öle ihre Einsatzpunkte in den Industrieländern hatten, nach kurzer Zeit aber schon im Fettgewebe der Pinguine in der Antarktis nachgewiesen werden konnten. Bei derartig 'globalen' und 'irreversiblen' Wirkungen stellt sich dann die Frage, inwieweit das Auslösen derart unüberschaubarer Wirkungsketten überhaupt verantwortbar ist.

Schema 1: Kriterien der vergleichenden Technikbewertung

	Argumentationsebenen	Orientierung	Kriterien
Zunehmende Zweck-Mittelbindung und Reichweite raum-zeitlicher Wirkungsketten	politisch ökonomisch	Verträglichkeit	Form der Arbeitsteilung Herrschaft Effizienz Technisches Niveau
	psycho-sozial medizinisch ökologisch	Gemäßheit	Flexibilität Größe Werkzeugcharakter Adäquatheit Verallgemeinerbarkeit
	ethisch	Verantwortbarkeit	Eingriffstiefe
	utopisch	Partnerschaft	Mitproduktivität

Quelle: von Gleich 1989

In der Anordnung der Problemebenen und der ihnen zugeordneten Kriterien drückt sich somit auch eine Gewichtung der Kriterien bzw. Argumente aus, und es werden auch die Chancen für immanente technische Nachbesserungen zur Beseitigung der jeweils diskutierten Probleme dargestellt. Wenn z. B. auf der Ebene der politischen und ökonomischen Argumentationen problematisiert wird, daß die Einführung der enzymatischen Zerlegung von Maisstärke in den USA (high fructose-corn-syrup) zum partiellen Zusammenbruch des Weltzuckermarktes geführt hat und die Abhängigkeit der Zuckerproduzenten in den Ländern der Dritten Welt verschärfte, so hat dies mehr mit den politischen und ökonomischen Verhältnissen in der Welt als mit der Technik selbst zu tun. Entsprechende Abhilfemaßnahmen müßten dann (mindestens auch) dort ansetzen. Oder wenn auf der Ebene der psycho-sozialen, medizinischen und ökologischen Argumentationen kritisiert

wird, daß Waschmittelenzyme ein sehr hohes allergenes Potential haben (insbesondere wenn sie eingeatmet werden), so kann durch technische Maßnahmen (in diesem Fall war es eine Kapselung) versucht werden, das Problem in den Griff zu bekommen. Den Problemen, die auf der dritten ethischen Argumentationsebene aufgeworfen werden, ist mit solchen technischen Maßnahmen allerdings kaum noch beizukommen. Die Länge der raum-zeitlichen Wirkungsketten wird sich ohne einen Wechsel in der Technik selbst kaum 'technisch' verkürzen lassen. Für solche Techniken stellt sich die Frage nach 'alternativen' Einsatzmöglichkeiten im Grunde genommen nicht mehr. Es stellt sich viel grundsätzlicher die Frage, ob derart 'eingriffstiefe' Techniken überhaupt verantwortbar sind.

Auf den ersten beiden Argumentationsebenen wird also z. B. darüber diskutiert, ob und inwiefern bestimmte Anwendungen einer möglicherweise ansonsten recht unproblematischen Technik problematisch werden können. Hier ist z. B. auch das Kriterium 'Effizienz' angesiedelt, das ja fast ausschließlich dominiert, solange die Auswahl von Techniken allein nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten über den Markt erfolgt. Hierher gehört auch das Kriterium 'Herrschaft', mit dem z. B. untersucht wird, inwiefern eine Technik bestimmte schon vorhandene Tendenzen und Herrschaftsstrukturen noch verstärkt bzw. verfestigt. Mit dem Kriterium 'Herrschaft' ist aber auch die Verfügbarkeit über eine Technik angesprochen. Diese ist z. B. abhängig von ihrer Kapital- und Forschungsintensität, also z. B auch von der Frage, ob es sich um wissenschafts-, apparate- und kapitalintensive 'high-tech' oder um erfahrungs-, geschicklichkeits- und know-how-intensive 'sophisticated-tech' (raffinierte, ausgeklügelte Technologie) handelt. Spielt also auf dieser Ebene der gesellschaftliche Kontext, in dem eine Technik eingesetzt wird, die entscheidendere Rolle, so wird schon auf der nächsttieferen Ebene über ökologische und gesundheitliche Risiken diskutiert, die bei jeglicher Anwendung der entsprechenden Technologie auftreten, gleichgültig in welchem Kontext oder Gesellschaftssystem dies geschieht.

Mit den drei Hauptkriterien Werkzeugcharakter, Eingriffstiefe und Mitproduktivität wird somit auch der Versuch unternommen, aus den u. E. drei wichtigsten Strängen der bisherigen Technik- und Wissenschaftskritik Konsequenzen zu ziehen. Das Kriterium Werkzeugcharakter steht in der Tradition der Industrialisierungs- und Maschineriekritik, das Kriterium Eingriffstiefe in der Tradition der Naturwissenschaftskritik und das Kriterium Mitproduktivität steht in der Tradition der technischen und gesellschaftlichen Utopien.

2.1 Werkzeugcharakter

In der industriesoziologischen Industrialisierungskritik ist bisher hauptsächlich die Zurichtung der menschlichen Arbeit betrachtet worden. Es wurde zurecht festgestellt, daß im Zuge der Industrialisierung der arbeitende Mensch vom Subjekt, das sein Werkzeug führt und handhabt (handwerkliche Arbeit), zum bloßen Anhängsel der Maschinerie degradiert wurde. Dieser Prozeß ging allerdings einher - und das wurde bis jetzt fast immer übersehen - mit einem anderen Prozeß, nämlich der Zurichtung der Gegenstände der Arbeit, der Werkstücke und Werkstoffe. Die Mechanisierung und Automation hat nicht nur dazu geführt, daß der Mensch Anhängsel der Maschinerie geworden ist, sondern auch dazu, daß sich die Stoffgrundlage der Produktion ganz beträchtlich verschoben hat. Dies ist eine generelle Tendenz, die in fast allen Branchen zu beobachten ist. Handwerklich wurden meist organische Werk- und Rohstoffe wie Holz, Naturstein, Pflanzenfasern, Leder usw. verarbeitet. Mit der Industrialisierung hat sich die Stoffgrundlage der gesamtgesellschaftlichen Produktion ziemlich radikal geändert. Maschinell industriell wird vor allem Stahl, Glas, Plastik und Beton verarbeitet. Das sind Stoffe, die am entscheidenden Punkt ihrer maschinellen Verarbeitung als homogene Masse, als beliebig formbare Paste vorliegen. Als solche sind sie dann sehr einfach mechanisch und im Fließprozeß verarbeitbar.

Ein wesentliches Problem liegt nun darin, daß die natürlichen Strukturen und Stoffe, die ja z. T. auch Ausgangspunkte dieser 'neuen' Roh- und Werkstoffe sind, kleingemahlen werden, daß der Naturstoff zugerichtet, homogenisiert und gereinigt werden muß. Für diese Zurichtung und Reinigung der Naturstoffe ist eine eigene Industrie entstanden, die Grundstoffindustrie, die als Zementindustrie, Stahlindustrie und Chemische Industrie zu den gewichtigsten Verursachern der alltäglichen Umweltbelastungen gehört[86].

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen wird deshalb hier als Kriterium gefragt, inwieweit eine Technik 'Werkzeugcharakter' hat:

> Inwieweit ist es mit dieser Technik möglich, auf die Eigenheiten der nicht zugerichteten Naturstoffe einzugehen. Müssen die Gegenstände an die Maschine angepasst werden, oder sind die Maschinen/die Techniken in der Lage, sich an die Gegenstände anzupassen (auf ihre Eigenheiten, Besonderheiten und Unregelmäßigkeiten einzugehen)[87].

Letzteres ist gerade für die Verarbeitung nicht homogener und unregelmäßiger Naturprodukte und insbesondere für die (schonende) Verarbeitung von Lebensmitteln von großer Bedeutung.

Wir setzen in dieser Hinsicht nicht nur auf eine 'sanfte' Biotechnik, sondern durchaus auch auf eine flexible und schonende 'maschinelle' Verarbeitung von Naturprodukten. Hierfür ist das Flexibilisierungspotential der Mikroelektronik, das bisher fast auschließlich für die Flexiblisierung von Marktstrategien entwickelt wurde (kleine Serien, quick response), durchaus als ökologische Chance zu betrachten, als eine Chance allerdings, die es erst zu entwickeln bzw. zu erarbeiten gilt. Entsprechend entwickelte Verarbeitungsmaschinen wären dann auch Beispiele dafür, daß 'sanftere' technische Weiterentwicklungen durchaus nicht nur als 'low-technologies' in Frage kommen, sondern vor allem auch als 'sophisticated technologies', als ausgeklügelte Technologien[88].

2.2 Eingriffstiefe

Mit dem vielleicht wichtigsten Kriterium, dem ethische Grenzen ansprechenden Kriterium der 'Eingriffstiefe' kann nicht nur die besondere Qualität der 'neuen' Biotechnologien, der Gentechnik, im Vergleich zu 'klassischen' und 'sanfteren' Biotechniken herausgearbeitet werden, sondern es kann auch innerhalb des Bereichs der nichtgentechnologischen 'modernen' Biotechnologien zwischen eher 'sanften' und eher 'harten' unterschieden werden, wie das bei der Auswahl und züchterischen Bearbeitung von (Mikro)Organismen oder bei der Diskussion von Enzymtechniken und Zellkulturen in den entsprechenden Kapiteln schon angedeutet wurde. Das Kriterium Eingriffstiefe ist ein Kriterium, das als Konsequenz aus der wissenschaftskritischen Debatte entwickelt wurde. Es versucht zu fassen, was das gemeinsam Problematische der drei am kritischsten diskutierten verwissenschaftlichten Technologien ist, der Atomtechnik, der synthetischen Chemie und der Gentechnik.

---

86 Wo gereinigt wird, fällt schließlich 'Dreck' an und dies nicht zu knapp. Jänicke weist darauf hin, daß die Grundstoffindustrien zwar zwei Drittel der (allerdings rein quantitativ betrachteten) Umweltbelastungen und nur ein Drittel der Wertschöpfung zum gesamten Wirtschaftsprozeß beisteuern, vgl. Jänicke 1985.

87 Das gleiche muß natürlich nach wie vor in bezug auf die lebendige Arbeit gefragt werden.

88 Zur Operationalisierung des Kriteriums Werkzeugcharakter gehören noch genauer überprüfbare Bestimmungen wie: Überschaubarkeit der Wirkungen technischer Eingriffe, Handlungsspielräume, Freiheitsgrade, Gestaltungsspielräume, Verfügbarkeit von Kompetenzen, sinnliche Rückkopplung/Erfahrbarkeit der Wirkungen usw., vgl. von Gleich 1988a.

Alle drei Technologien sind wissenschaftliche Technologien, Technologien also, die auf der Wissensbasis der mathematisch-experimentellen Naturwissenschaften entwickelt wurden.

Diese Wissenschaften haben ein ganz spezifisches Verhältnis zu ihrem Gegenstand, der Natur. Die mathematisch-experimentell arbeitenden Naturwissenschaftler gehen nicht von dem aus, was unmittelbar wahrnehmbar ist, von den sogenannten Phänomenen, von denen alle bisherigen Techniken ausgingen und an denen diese ansetzten. Die Naturwissenschaftler sagen hingegen: Die Phänomene interessieren uns nicht, uns interessiert, was **hinter** den Phänomenen steckt, uns interessieren die Gesetze, die die Phänomene erst hervorbringen, uns interessiert, was die Welt im Innersten zusammenhält, der Archimedische Punkt, von dem aus die Welt aus den Angeln gehoben werden kann. Alle drei großen Naturwissenschaften waren sehr erfolgreich bei ihrer 'Suche' nach solchen Strukturen bzw. Gesetzen, die die Phänomene sehr weitgehend steuern: Die Physiker 'fanden' die Atome und gingen auch gleich daran, sie zu spalten. Die Chemiker bestimmten die Molekülstruktur als verantwortlich für die Eigenschaften von Stoffen. Auch sie gingen gleich dazu über, Stoffe zu konstruieren, die es bisher in der Natur noch gar nicht gab. Und die Biologen bestimmten die Gene als Grundlage der Eigenschaften und z. T. auch Verhaltensweisen von Organismen. Auch sie gingen alsbald dazu über, diese Gene zu verändern und zu manipulieren, zunächst völlig ungerichtet durch Chemikalien und Strahlen und inzwischen mithilfe der Gentechniken auch sehr gezielt. Sie sind jetzt dabei, Organismen mit ganz neuen Eigenschaften und demnächst vielleicht auch mit neuen 'synthetischen' Genen zu konstruieren, Organismen, die auf natürlichem Wege nie hätten zustandekommen können.

Als erste 'Definition' von 'Eingriffstiefe' kann deshalb formuliert werden:

> Eine Technik, die nicht an den Phänomenen ansetzt, sondern an den 'dahinter' liegenden Strukturen, die diese Phänomene sehr weitgehend steuern, ist eine besonders eingriffstiefe Technik.

Die wesentlichen Folgen solcher besonders tiefen Eingriffe haben wir oben schon angesprochen: Die **Wirkungen** derartiger Eingriffe sind meist **irreversibel**, d. h. die Wirkungsketten erreichen eine bisher nicht gekannte raumzeitliche Dimension. Die **Macht** über die Phänomene bzw. die ganze Natur und damit sowohl die **Gestaltungs-** als auch die **Risikopotentiale** erreichen ein Ausmaß, das von den bisherigen handwerklich-hauswirtschaftlichen Techniken nicht bekannt war[89]. Und schließlich vergrößert sich die **Kluft** zwischen dem, was wir **bewirken** (machen/anrichten) können und dem, was wir über mögliche Folgen unserer Eingriffe **wissen** können in einem nicht mehr überschaubaren und damit nicht mehr verantwortbarem Ausmaß.

Die Ausdifferenzierung des Kriteriums Eingriffstiefe kann und muß aber noch weiter getrieben werden. Es taugt nicht nur zur Bestimmung der neuen Qualität von Techniken auf der Wissensbasis der mathematisch-experimentellen Naturwissenschaften, sondern ist auch auf andere mehr oder weniger verwissenschaftlichte Techniken anwendbar. Wenn wir Eingriffstiefe definieren als 'technisches Ansetzen an Strukturen, die bestimmte Phänomene sehr weitgehend steuern', dann gehört das technische (physiologisch-pharmazeutische) Ansetzen an Hormonen, die den Körper steuern oder an Neuropeptiden, die das Bewußtsein bzw. Befinden sehr weitgehend steuern ebenso dazu, wie der technische Eingriff in die Zeugung, der mit den verschiedenen Reproduktionstechniken

89 ... auch wenn bei diesen vor allem durch eine Häufung, d. h. durch eine extreme quantitative Steigerung der Eingriffe ebenfalls sehr große Schäden angerichtet und recht große Risikopotentiale aufgebaut werden können...

vollzogen wird, also mit Techniken, die von der Tierzucht direkt auf die menschliche Zeugung übertragen wurden. Wir können auch versuchen, die Eingriffstiefe in gesellschaftliche (Steuerungs-)Strukturen zu bestimmen, die Eingriffstiefe in ökologische Zusammenhänge und die Eingriffstiefe in den übergreifenden Prozeß der Evolution.

2.3 Mitproduktivität

Das Kriterium der 'Mitproduktivität' ist das Ergebnis des Versuchs, nicht nur Kriterien aufzustellen, mit denen Probleme, die mit Technologien verbunden sind, erfaßt und beurteilt werden können, sondern auch Kriterien mit denen beurteilt werden kann, inwieweit eine Technik einer technischen Utopie, einer Utopie eines anderen Umgangs mit der 'inneren' und 'äußeren' Natur nahekommt. Das wünschenswerte Ziel ist in diesem Fall ein partnerschaftliches, ein nicht mehr nur herrschaftliches Verhältnis der Natur gegenüber, eine Zusammenarbeit mit der Produktivität der Natur[90]. Das Kriterium der 'Mitproduktivität' geht vor allem auf Überlegungen von Ernst Bloch zurück. Er entwarf die Utopie einer Technik, bei der der Mensch mit der Natur zusammenarbeitet, bei der also die Produktivität des Menschen mit der Produktivität der Natur zusammenwirkt (vgl. Bloch 1973, Bd. 2, S. 729 ff.).

> Die Natur hat im Laufe ihrer Naturgeschichte einen ungeheuren Reichtum an Formen, Strukturen und Organismen hervorgebracht und tut dies immer noch. Mit diesem Reichtum und mit dieser Produktivität gilt es zusammenzuarbeiten.

Biologische Techniken bieten sich für einen solchen Ansatz geradezu an. Er ist aber, wie die folgenden Annäherungen zeigen werden, keinesfalls auf sie beschränkt. Auch das Kriterium 'Mitproduktivität' ist natürlich nicht absolut, sondern nur vergleichend anwendbar. Es läßt wie die anderen Kriterien auch nur graduelle Bestimmungen zu. In diesem Sinne sind die nun folgenden 'Annäherungen' an das zu verstehen, was mit 'Mitproduktivität' gemeint ist. Eine erste Annäherung wäre z. B. mit der Aufforderung zu formulieren, daß die gewachsenen Strukturen geachtet werden, und daß mit der Natur und nicht gegen die Natur gearbeitet wird.

Mögliche Beispiele hierfür reichen von der Papierherstellung über den sanften Energiepfad, von der künstlerischen Produktion bis hin zur Leitidee der Vollwertkost:

1. Papier wurde zunächst aus Hadern und Lumpen, also aus Pflanzenfasern (zunächst v. a. aus Flachs- später auch aus Baumwollfasern) hergestellt. Die gewachsene faserige Struktur konnte relativ einfach aus den Pflanzenteilen herausgelöst und direkt verwendet werden. Erst als Papier aus Holz hergestellt wurde, entwickelte sich die Papierproduktion zu dem höchst umweltbelastenden Prozeß, den sie noch heute darstellt. Anstatt die gewachsene Struktur des Holzes zu achten und es als Werkstoff weiterzuverarbeiten, wurde im Holz nur die Zellulose gesehen, wurde das Holz mit großem Energieaufwand kleingerieben, und anschließend mußten noch über 40% der Holzinhaltsstoffe (v. a. das Lignin) in einem extrem umweltbelastenden chemischen Prozeß herausgelöst werden, während die Pflanzenfasern ohnehin schon die gewünschte Struktur haben und zu 95% aus Zellulose bestehen.
2. Das Prinzip der 'sanften Energien' wie die Nutzung der Wind-, Wasser- und Sonnenenergie besteht darin, nicht extra ein eigenes 'Feuer' anzuzünden, sondern sich in die

90 Das Kriterium 'Mitproduktivität' wird hier, wo es um Biotechniken geht, nur in der Dimension des Umgang mit Natur diskutiert. Es ist allerdings auch fruchtbar auf den Umgang mit Menschen bzw. auf die Stellung der Menschen im Produktions- bzw. Arbeitsprozeß anwendbar, vgl. von Gleich 1988a+b.

ohnehin schon ablaufenden energetischen Prozesse mit Windrädern, Turbinen und Sonnenkollektoren 'einzuklinken'. Das Segeln, insbesondere das 'Kreuzen gegen den Wind', stellt dabei schon eine besonders ausgeklügelte Form dieser Art von Technik dar (sophisticated technology).

3. Viele alte Holzplastiken zeigen, daß die Künstler nicht einfach ihre Form gegen 'das Material' durchzusetzen versuchten, sondern daß sie zunächst auch fragten: „Was steckt in diesem Stück Holz"? Sie versuchten eine Synthese/Harmonie zwischen Stoff und Form zu erreichen.

4. Nicht zufällig stammen viele Beispiele für mitproduktive Techniken aus dem Bereich der 'klassischen' Biotechnologien. Hierher gehören vor allem wesentliche technische Errungenschaften der ersten großen 'technischen Revolution' in der Geschichte der Menschheit, des Übergangs zur Seßhaftigkeit und damit zu Ackerbau und Viehzucht in der Jungsteinzeit. Dieser Revolution verdanken wir die meisten auch heute noch gebräuchlichen Haustiere und Nutzpflanzen und die Techniken der Nutzung von allseits verbreiteten Mikroorganismen wie Hefen, Milchsäurebakterien und Essigbakterien zum Gären, Brauen und Konservieren.

5. In der Theorie der Vollwertkost herrscht schließlich vor allem die Maxime vor, möglichst wenig an den Nahrungsmitteln zu verändern[91]. Unter dem Gesichtspunkt der 'Mitproduktivität' ist aber u. E. gegenüber der Beurteilung durch Kollath eine Korrektur angebracht. Bei Kollath sieht es so aus, als ob jegliche Veränderung von Nahrungsmitteln deren Qualität mindert. Es spricht aber sehr viel dafür, daß gerade die Fermentation als Technik der Nahrungsmittelverarbeitung die Qualität vieler Nahrungsmittel eher noch erhöht. Sauerkraut, Joghurt und dergleichen dürften physiologisch wertvoller sein als rohes Kraut und rohe Milch. Mit der Fermentierung steht zudem eine beispielhaft 'mitproduktive' Form der Lebensmittelkonservierung zur Verfügung, deren Möglichkeiten noch lange nicht ausgeschöpft sind. Das Prinzip dieser Konservierung besteht im Unterschied zu allen anderen Konservierungsformen nicht darin, Leben abzutöten bzw. ein lebensfeindliches Milieu zu schaffen, sondern in einer spezifischen Form der 'Verlebendigung', bzw. darin, gewünschtes Leben, in diesem Fall Milchsäurebakterien, sich derart verbreiten zu lassen, daß unerwünschte Mikroorganismen auf den dicht besiedelten Substraten sich nicht mehr ausbreiten können[92].

6. Was für die Nahrungsmittelverarbeitung gilt, dürfte auf den Naturumgang allgemein zu übertragen sein. Eine ökologische Orientierung muß sich nicht in der Parole 'Hände weg von der Natur' erschöpfen. Nicht alle Eingriffe in die Natur müssen prinzipiell ökologisch problematisch sein. Die sich über Jahrhunderte erstreckende, behutsame und schrittweise Kultivierung des Landes in Mitteleuropa bescherte z. B. auch der nichtmenschlichen Natur einen neuen Reichtum von Möglichkeiten (ökologischen Nischen), den sie in einem evolutionären Schub für sich nutzte. Die Artenvielfalt in solchen alten Kulturlandschaften übersteigt diejenige in den ursprünglich vorherrschenden Wäldern beträchtlich. Nicht zufällig können diese Kulturlandschaften allein durch Schutzkonzepte des 'in Frieden lassens' nicht erhalten werden, sondern nur durch 'Arbeit' durch akti-

---

91 Vgl. die zunehmende Eingriffstiefe von Lebensmitteltechnologien, die in dem in Tabelle 18 (S. 90) wiedergegebenen Schema von Kollath von links nach rechts zunimmt. Grimme u. a. gehen mit dem Kriterium "Erhaltung der natürlichen Komplexität und Frische" auf biologisch-naturwissenschaftlicher Basis in eine ähnliche Richtung, vgl. Grimme u. a. 1986.

92 Diese derzeit noch zu den 'klassischen' zählende 'alte' Biotechnik kann durchaus zu einer 'modernen' werden, wenn sie erst besser verstanden ist und dadurch ggf. auch besser handhabbar wird. Immerhin werden derzeit auch im 'Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung', das nun wirklich nicht der Ökoromantik verdächtig ist, entsprechende Versuche zur "Biokonservierung von Lebensmitteln mithilfe von Schutzkulturen" durchgeführt, vgl. Hennlich 1988.

ve Landschaftspflege. Die Harmonie und Schönheit dieser Kulturlandschaften signalisiert zumindest den Ansatz einer gelungenen Synthese wenn nicht gar Symbiose, die Mensch und Natur neue Entfaltungsmöglichkeiten eröffnet für die weitere behutsame Kultivierung des Landes zur Heimat für Mensch und Natur.

Die Erarbeitung von Kriterien zur vergleichenden Technikbewertung und für eine rationale Technikwahl steht auch mit den hier vorgestellten schon relativ ausgearbeiteten Kriterien erst am Anfang. Diese Kriterien müssen ebenso wie die im Rahmen der Energiedebatte und vom VDI erarbeiteten weiter operationalisiert werden. Ihre Trennschärfe muß verbessert und ihre begrenzte Reichweite muß genauer ausgelotet werden. Keines dieser Kriterien reicht allein zur Beurteilung einer Technologie oder gar eines technologischen Entwicklungspfades aus, obwohl wir im nächsten Kapitel zu zeigen versuchen, daß gerade das Kriterium Eingriffstiefe zumindest für die Strukturierung und Gruppierung von Techniken schon recht brauchbar ist.

Die Anwendung der Kriterien kann auch nicht 'mechanisch' erfolgen. Die Technikbewertung und Technikwahl sind schließlich politische und damit diskursive Prozesse. Die Erarbeitung von konkurrierenden stofflich-technischen Entwicklungspfaden schafft u. E. die absehbar besten Voraussetzungen für einen solchen öffentlichen Dialog.

Um anzudeuten, auf der Basis welcher Biotechnologien drei konkurrierende stofflich-technische Entwicklungspfade entworfen werden können, und um exemplarisch die Anwendbarkeit des Kriteriums 'Eingriffstiefe' zu demonstrieren, haben wir im nächsten Kapitel sozusagen als eines der zentralen Ergebnisse dieses technologieanalytischen Teils der Studie die wichtigsten der oben vorgestellten Biotechniken grob nach dem Kriterium der Eingriffstiefe gruppiert.

3. Elemente dreier konkurrierender biotechnischer Entwicklungspfade

Wenn es darum geht, konkurrierende soziotechnische Entwicklungspfade auf der Basis biologischer Techniken zu entwerfen, sind die grundlegenden Kriterien 'Mitproduktivität' und 'Eingriffstiefe' zwar zentral, sie reichen aber bei weitem nicht für eine vergleichende Technikbewertung aus. Nicht jede biologische Technik, bei der **nicht** mit gentechnischen Methoden gearbeitet wird, ist allein deshalb deshalb schon eine 'sanfte' Biotechnik. Auch sanfte Techniken sind nicht gegen Mißbrauch gefeit[93]. Es müssen also noch weitere Kriterien herangezogen werden, und die Kriterien Eingriffstiefe und Mitproduktivität müssen noch weiter differenziert werden.

Da es auf dem Gebiet der Bewertung biologischer Techniken und v. a. für die Erarbeitung 'sanfter' biotechnologischer Alternativen bisher fast keinerlei Vorarbeiten gibt, kann hier nur eine vorläufige Gruppierung verschiedener biologischer Techniken vorgestellt werden, bei der diese Techniken auf drei Ebenen nach dem Grad ihrer Eingriffstiefe angeordnet sind. Immerhin kann dieses Schema schon als ein erster Ausgangspunkt betrach-

93 (Einige) Sanfte Techniken können zwar sowohl sanft als auch hart eingesetzt und damit mißbraucht werden, die meisten harten, eingriffstiefen Techniken können dagegen - wie schon gesagt - kaum sanft oder alternativ eingesetzt werden. Zumindest sind 'sanft' eingesetzte Atomkraftwerke und eine 'sanft' eingesetzte Gentechnik kaum vorstellbar.

tet werden für die Ausarbeitung dreier (oder vierer) konkurrierender biotechnologischer Entwicklungspfade[94].

Auf der „**obersten Ebene**" sind die traditionellen Nutzungen der Stoffwechselleistungen von Organismen angeführt, also die Jagd, die fast nur noch bei Meeresfischen eine bedeutende Rolle spielt, die Nutzung von Spontanfermentationen beim Kompostieren organischen Restmaterials und bei der Abwasserreinigung (die mengenmäßig wohl die bedeutendsten biotechnologischen Prozesse darstellen), die Nutzung von Spontanfermentationen in der Lebensmittelverarbeitung, -veredlung und -konservierung (die in den Industrieländern insbesondere noch bei der - durchaus industriellen - Herstellung von Sauerkraut eine Rolle spielt[95]) und Ackerbau und Viehzucht. Vor allem die Nutzung der Syntheseleistung von Pflanzen, die für die Nahrungsmittelproduktion, die Futtermittelproduktion, die Produktion von Genußmitteln, Gewürzen, Arzneimitteln und Kosmetika aber auch für technische Zwecke als Faserlieferanten (Baumwolle, Flachs, Hanf, Jute usw.), als Werkstofflieferanten (Holz, Kork, Kautschuk, Harze, Wachse, Gerbstoffe) und für die Produktion naturnaher Farben/Lacke, Wasch- und Reinigungsmittel angebaut werden, stellt eine wichtige - auf die pflanzliche Mitproduktivität setzende - Alternative zur synthetischen Chemie dar. Ein Entwicklungspfad auf der Basis sanfter Biotechniken wird also ganz wesentlich auf der Nutzung und Kultivierung von Pflanzen und auf Fermentationsprozessen mit nicht gentechnisch veränderten Mikroorganismen aufbauen.

Nun ist angesichts dieser Zusammenstellung sanfter Biotechniken der Einwand zu erwarten, daß hier allzu einfach die 'alten' Biotechniken mit 'sanften' Biotechniken gleichgesetzt werden. Doch die Angelegenheit ist wie schon erwähnt nicht gar so einfach und auch nicht gar so rückwärtsgewandt. Auf der ersten Ebene sind immerhin auch die Starterkulturen angeführt, die z. B. bei der Milchverarbeitung aber auch bei der Fleisch- und Wurstreifung eine Qualitätsverbesserung und auch ein mehr an Sicherheit bedeuten können[96]. Und es ist hier auch das **Screening** nach neuen bisher noch nicht genutzten Organismen angeführt (v. a. nach neuen Mikroorganismen aber auch nach neuen Nutzpflanzen). Das Screening stellt zwar wohl eine der ältesten zugleich aber auch eine sehr moderne und durchaus wissenschaftliche Tätigkeit dar, ein Projekt, das z.Zt. sowohl von großen Pharma- und Chemiekonzernen in der Industrieforschung als auch in staatlichen Forschungsprogrammen vorangetrieben wird. Die Geister scheiden sich nämlich erst im zweiten Schritt. Die einen betreiben Screening nur noch nach interessanten Genen, die

---

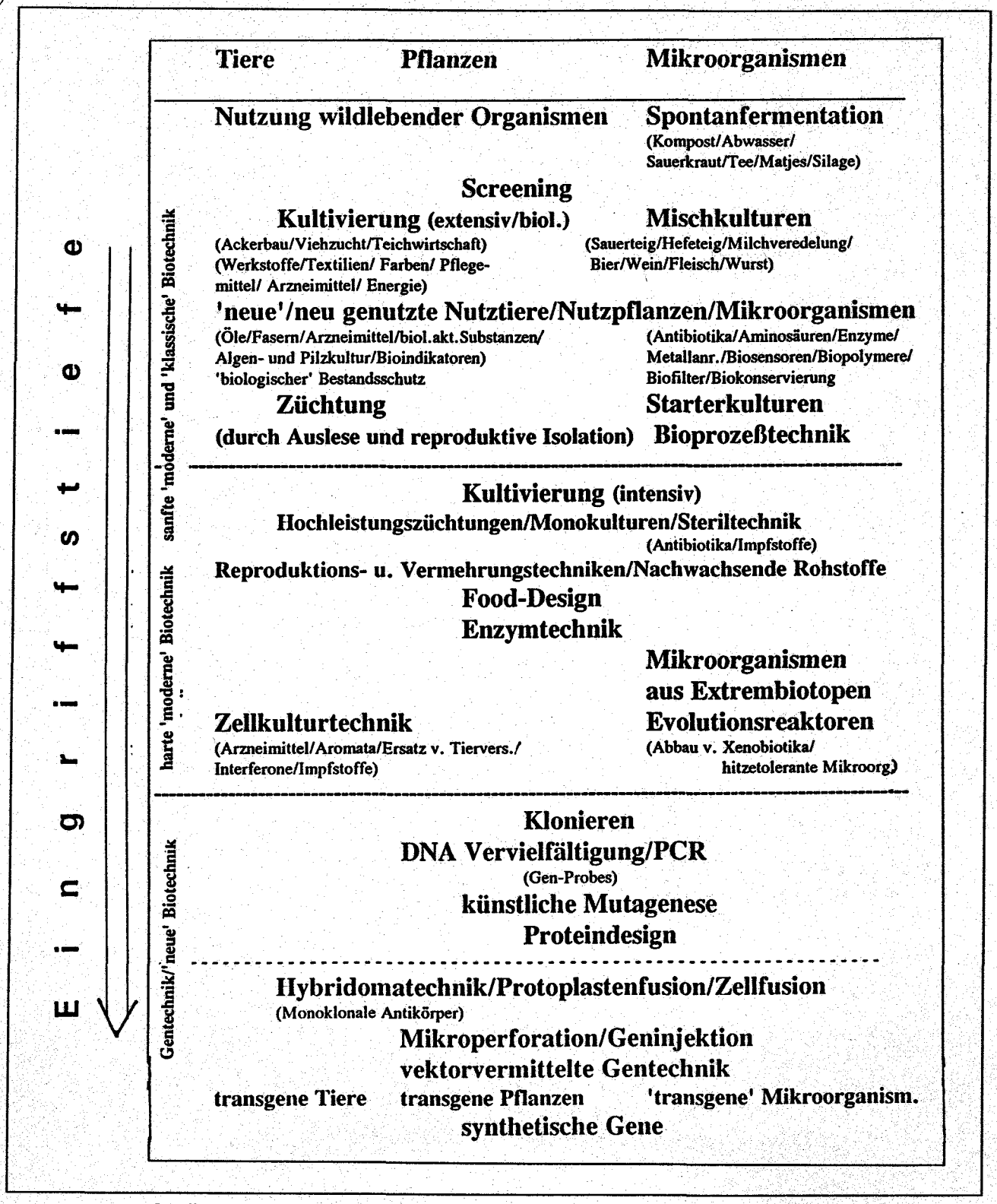
94 Von soziotechnischen Entwicklungspfaden kann auf dem jetzigen Stand der Diskussion allerdings noch keine Rede sein. Auch kann es keinesfalls darum gehen, nur die Technologien auszutauschen. Ein sanfter biotechnologischer Entwicklungspfad - der nicht erst seit dem tendenziellen Zusammenwachsen von Biotechnologie und Chemie immer ein Pfad auf der Basis sanfter Biotechniken **und** einer 'sanften Chemie' sein muß - kann nur dann realistisch entworfen werden, wenn eine **Reduktion des gesamten Stoffumsatzes** erreicht werden kann. Diese Reduktion müsste in ihrer Größenordnung in etwa mit der Reduktion des Energieumsatzes in den sanften Energiepfaden vergleichbar sein, z.Zt. werden reduktionen auf ein zehntel der derzeitigen Umsätze in den Industrieländern diskutiert. Vgl. zur sanften Chemie: von Gleich 1986a und 1988b.

95 Die Sauerkrautherstellung stellt eine geradezu beispielhafte sanfte Biotechnik dar. Nicht nur weil wir es hier mit einer Spontanfermentation zu tun haben - auch gegen nicht allzu hochgezüchtete Starterkulturen wäre kaum etwas einzuwenden -, sondern weil sie eine Technologie der Lebensmittelverarbeitung darstellt, die nicht nur die Qualität dieses Lebensmittels nicht verringert, sondern sogar noch steigert. Sie stellt darüber hinaus eine sanfte biologische Konservierungsmethode dar, eine Konservierungsmethode, die nicht vornehmlich auf Abtötung in lebensfeindlichen Milieus setzt, (wovon das Abkochen noch das harmloseste wäre), sondern auf 'Verlebendigung',

96 Problematisch wird es mit den Starterkulturen dort, wo sie ähnlich wie die auf Hochleistung gezüchteten Nutztiere und Nutzpflanzen durch allzu einseitige Orientierung auf Out-put-Maximierung derart aus ihrem organismischen Gleichgewicht gebracht wurden, daß sie nur noch mit permanenter technischer und chemischer 'Stützung' überleben können.

sie dann in schon eingeführte Organismen gentechnisch einbauen wollen. Die anderen denken eher an die klassischen und modernen Formen der Züchtung und Kultivierung, also an eine Erweiterung der Fruchtfolge oder der Palette genutzter Mikroorganismen.

Schema 2: Biotechniken gruppiert nach der Eingriffstiefe



Quelle: eigene Darstellung

Das systematische Screening, ja allgemeiner die systematische (durchaus wissenschaftliche) Naturbeobachtung ist eine wichtige Voraussetzung für die Weiterentwicklung elaborierterer biologischer Techniken, die ebenfalls zu den 'sanften' Biotechniken gehören, bei denen aber nicht nur Stoffwechselleistungen von Organismen, sondern auch deren Interaktionen und deren Sensorik genutzt wird, wie das bei der Umsetzung von Erkenntnissen der 'Chemischen Ökologie' im biologischen Bestandsschutz beispielsweise der Fall ist (vgl. Kapitel BI 2.2). Eine genauere Kenntnis von Pflanzen (und eingeschränkt auch Tieren), die allelopathische Stoffe, insbesondere sogenannte Abwehrstoffe (repellens) und natürliche Wuchshemmer produzieren und ausscheiden, könnte die biotechnischen Grundlagen der biologischen Landwirtschaft wesentlich weiterentwickeln und mithelfen, den größten Teil der synthetischen Insektizide und Herbizide noch schneller überflüssig zu machen[97].

Auf der **mittleren Ebene** sind nun im wesentlichen 'moderne' biologische Techniken aufgeführt, die z. T. zwar 'härter' und eingriffstiefer sind als die traditionellen 'klassischen', die aber noch nicht zu den 'neuen' biologischen Techniken gehören, bei denen direkt (und gezielt) am Genom angesetzt wird. Hier sind also auch die Techniken angesiedelt, bei denen Organismen nicht mehr als Ganzheiten betrachtet und behandelt, sondern zunächst im Geiste und dann meist auch sehr real zerlegt werden. Hier sind die einseitig auf betriebswirtschaftliche Effizienz ausgerichteten Hochleistungszüchtungen angesiedelt, die großen Monokulturten und das Konzept 'Nachwachsende Rohstoffe', bei dem, wie der Name schon sagt, keine Pflanzen mehr auf dem Acker zu wachsen scheinen, sondern 'Rohstoffe'. Der größte Teil der Pflanzenstoffe gilt in dieser Sicht schon von Anfang an als der zu beseitigende 'organische Müll', als der er dann ja auch tatsächlich anfällt. Hierher gehört auch die beliebige Zerlegung und Neukombination von Nahrungsmitteln, das sogenannte Food-Design, bei dem beliebig viele Stoffe einerseits entzogen und andererseit zugesetzt werden (enrichment, fortifikation) und bei dem jeglicher Überblick über die Herkunft und die Verarbeitungsweisen der Naturprodukte verlorengeht. Hier sind auch die 'modernen' Biotechniken angesiedelt, bei denen nicht mehr mit ganzen Organismen sondern nur noch mit Teilen von ihnen gearbeitet wird, also die Enzymtechnik und das Arbeiten mit Zellkulturen[98].

---

97 Wenn allerdings 'nur' nicht mehr mit 'synthetischen' Pestiziden sondern mit 'natürlichen' gearbeitet wird, wie das bei einer Verwendung von Pyrethrum- oder Neem-Extrakt der Fall ist, dann ist das noch keineswegs sanft. Noch problematischer wird es, wenn wie beim Pyrethrum der Naturstoff durch Beigaben von Chemikalien stabilisiert bzw. in der Wirkung verstärkt wird, oder wenn gar das natürliche Molekül nur als Vorlage für einen synthetischen Nachbau einschließlich Chlorierung dient. Gerade beim Pyrethrum ist die Problematik einer zunehmenden 'Eingriffstiefe' sehr gut zu studieren. Die zerriebene Chrysanthemenblüte wirkt als Abwehrstoff (Repellens), der Wirkstoffextrakt schon als Insektizid, nach synthetischem Nachbau inclusive Chlorierung haben wir es schon mit einem vergleichsweise 'naturfremden' und deshalb persistenten chlorierten Kohlenwasserstoff zu tun. Das Arbeiten mit nur 'abschreckenden' Stoffen (repellens) ist demgegenüber als erheblich sanfter zu bewerten. Zu den wirklich 'sanften' Techniken gehört allerdings evtl. nur das bisher schon praktizierte pflanzende Kombinieren ganzer intakter Organismen, wie das der biologische Gartenbau z.B. mit der Kombination von Möhre und Zwiebel praktiziert.

98 Es ist klar, daß das Schema noch einen sehr unbefriedigenden Zustand wiedergibt, wenn hier die Enzymtechnik, mit den Hochleistungszüchtungen und Monokulturen und wenn die pflanzlichen mit den tierischen bzw. menschlichen Zellkulturen in einen Topf geworfen werden, obwohl wir wissen, daß mit diesen Techniken sehr unterschiedliche Probleme verbunden sind. Immerhin hatten wir schon angedeutet, daß z. B. die Enzymtechnik auch in einem 'sanften' Biotechnologiepfad eine große Rolle spielen wird, wenn die Art und Weise der Enzymgewinnung geklärt ist und dies zuläßt. Gleiches gilt für die 'nachwachsenden Rohstoffe', denn ein 'sanfter' Biotechnologiepfad wird sich stark auf 'nachwachsende' Pflanzenstoffe stützen. Die konkrete Ausgestaltung des Konzepts, die Formen des Anbaus und der Verarbeitung entscheiden letztlich über die Zuordnung zu dem einen oder anderen Pfad. Dieses Schema stellt eine erst vorläufige (auf jeden Fall noch weiter zu differenzierende) Annäherung dar. Es wird