



Perspektiven der Biotechnik (Leicht geänderte Fassung... aus chemie-anlagen+verfahren)



Heinz BLENKE, Prof. Dr.-Ing. (67). Studium Flugzeug- und Maschinenbau TH München. Erster Assistent Institut für Wärmekraftmaschinen (1946 — 51); Promotion (1949) bei A. Loschge und W. Nußelt. In BASF (1951 — 63) FuE, Planung und Konstruktion, Produktion. Ordinarius und Direktor Inst.für Chem. Verfahrenstechnik (1963 — 85); Rektor und Prorektor Universität Stuttgart. Mitglied zahlreicher Aufsichts- und Beiräte, Vorstände und Kuratorien in Wirtschaft und Wissenschaft. Seit Emeritierung Leiter einer biologisch-chemisch-technischen FuE-Gruppe Bioverfahrenstechnik in Kooperation mit Industrie.

Biotechnik umfaßt aus heutiger Sicht (Abb. 1) den Kooperationsbereich von Mikrobiologie, Biochemie und Bioverfahrenstechnik, der ausgerichtet ist auf industrielle Nutzung biologischer Wirkungen unter den Maximen von Ökonomie und Ökologie (nicht Ökoideologie!). Aus dem Angelsächsischen direkt übernommen, spricht man auch (noch!) von Biotechnologie. Biotechnik ist nicht als Fachgebiet wie Fertigungs-, Energie- oder Verfahrenstechnik zu verstehen, sondern

per definitionem als natur- und technikwissenschaftlicher Kooperationsbereich, ausgerichtet auf technische Realisierung, etwa vergleichbar der Chemietechnik, die Chemiker und Verfahreningenieure verbindet. Aufgrund dieser Wesensverwandtschaft lassen sich auch viele Erkenntnisse und Erfahrungen der Chemietechnik (z.B. verfahrenstechnische unit operations, Apparate und Maschinen) prinzipiell für Entwicklung, Planung, Bau und Betrieb biotechnischer Prozesse und Anlagen nutzen.

Empirisch praktizierte Biotechnik dient — wie die meisten Produktionstechniken — dem Menschen schon seit vielen tausend Jahren. Zu den ersten Produkten, möglicherweise schon den paläolithischen Jägern und Sammlern bekannt, dürfte wohl Ethanol gehören, das sich »von selbst« durch alkoholische Gärung bei der Aufbewahrung zuckerhaltiger Früchte bildete. Der Schritt zur gezielten Durchführung der Gärung in natürlichen Behältern wie Nußschalen oder Holzgefäßen war dann nicht weit. Ebenso reicht auch die Essigerzeugung aus vergorenen Säften und Bierherstellung aus gesammelten Grassamen tief in die Vorzeit zurück. Hinzu kamen sicher auch schon früh Sauerteigbrot sowie zahlreiche Sauermilchprodukte und Käsearten [1].

Schon in dieser frühen Biotechnik nutzen die Menschen unbewußt Wirkungen der ältesten vor etwa 3 Milliarden Jahren entstandenen Lebewesen, nämlich der einzelligen niederen Protisten oder Prokaryonten wie Bakterien und der eine halbe Milliarde Jahre jüngeren, wesentlich strukturierten, höheren Protisten oder Eukaryonten wie Hefen. Gerade die ältesten Mikroorganismen sind wegen ihrer Einfachheit, Anpassungsfähigkeit, Kleinheit, damit großer spezifischer Oberfläche und Stoffübertragungsleistung, besonders geeignet für die jüngsten Entwicklungen der wissenschaftlichen Biotechnik. Andererseits schuf gerade wegen dieser kleinen Abmessungen erst das Elektronenmikroskop vor etwa 40 Jahren die entscheidenden Voraussetzungen für die wissenschaftliche und damit auch die industrielle Mikrobiologie und Biotechnik [2 bis 4] mit einem Weltumsatz von etwa 40 Mrd. DM/a (1985) bei jährlichen Zuwachsraten von 8% [1]. Nach einer UNO-Prognose könnte sich die Weltbevölkerung etwa im Jahr 2100

bei rund 11 Mrd. Menschen asymptotisch stabilisieren. Davon werden voraussichtlich 9 Mrd. in heutigen Entwicklungsländern leben — dreimal so viel wie jetzt. Allein dadurch müssen global der Natur immer mehr begrenzt vorhandene Stoffe und Energien abverlangt sowie stoffliche und energetische Belastungen aufgebürdet werden. Verstärkt wird das durch die berechtigten Hoffnungen und Wünsche zunehmender Milliarden darbender Menschen, durch Technisierung und Industrialisierung ihre Lebensbedingungen zu verbessern. Dieser weltweite Antagonismus zwischen Bedürfnissen der weiter wachsenden Menschheit und der begrenzten Ergiebigkeit und Belastbarkeit unserer Umwelt erfordert unausweichlich neben Geburtenkontrolle und Mäßigung der Ansprüche aller Menschen beschleunigte Entwicklung und Anwendung naturschonender Technik. Hier liegen die großen Zukunftsaufgaben der Biotechnik, die als sanfte Technik besonders umweltfreundliche Beiträge liefern kann zur globalen Sicherung menschlichen Lebens für die weiter wachsende Weltbevölkerung in bezug auf Rohstoffe, Energien, Ernährung, Gesundheit und Umwelt.

Die folgenden Beispiele dazu gehen zuständigkeitshalber vom Standpunkt des Verfahreningenieurs aus und konzentrieren sich überwiegend auf eigene Arbeitsgebiete.

Bioleaching von Armerzen und Ölschiefer

Die Metallvorräte unserer Erde sind in Armerzen um ein Vielfaches größer als in konventionell abbaubaren Reicherzen. Zu ihrer großtechnisch, wirtschaftlichen Gewinnung hat sich insbesondere bei Kupfer- und Uranarmerzen bereits das Bioleaching, die bakterielle Erzlaugung,

mit Hilfe der aeroben Thiobacilli ferrooxidans und thiooxidans bewährt [1]. Die Thiobacilli oxidieren biokatalytisch durch ausgeschiedene Enzyme im Erz vorhandene, schwer lösliche Metallsulfide MeS zu wasserlöslichen Metallsulfaten MeSO₄, die dann aus den sehr sauren wäßrigen Lösungen als Me[±] Ionen, z.B. durch Elektrolyse, Lösungsmittelextraktion oder Präzipitation gewonnen werden.

So werden bereits ein Viertel des in den USA und 5% des in der Welt produzierten Kupfers und auch ein bedeutender Anteil des Urans gewonnen. In der Bundesrepublik Deutschland laufen Entwicklungen zum Bioleaching von Kupferschiefer (12 Mio. t Cu geschätzt) sowie von Ni-, Pb-, Zn-Armerzen.

Von besonderer Bedeutung sind die fossilen Rohstoffe Kohle, Erdöl, Erdgas wegen ihrer Doppelwertigkeit als Chemierohstoffe und als Primärenergieträger. In ihnen hat die Natur durch biochemische Photosynthese mit Hilfe des Chlorophylls der grünen Pflanzen Kernenergie aus dem 150 Millionen km entfernten Fusionsreaktor Sonne über viele Millionen

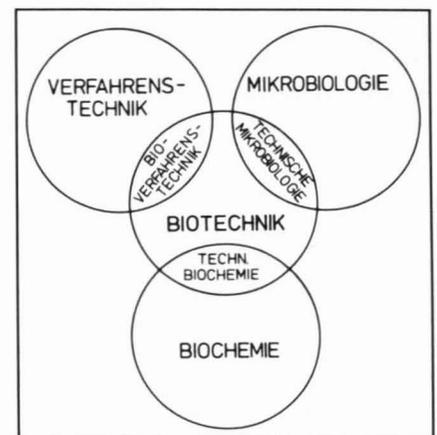


Abb. 1: Kooperationsgebiete der Biotechnik



Jahre hinweg als chemischen »Heizwert« der damals nachwachsenden, inzwischen fossilen Biomasse gespeichert. Der Weltenergieverbrauch beträgt derzeit etwa 10 Milliarden t SKE (Steinkohleeinheiten). Die Ressourcen (derzeit bekannte Vorräte) zeigt Abbildung 2. Aber die derzeit wirtschaftlich ausbringbaren Reserven betragen bei Kohle nur etwa 10% davon, bei Ölschiefer praktisch 0%. Hier kann voraussichtlich Bioleaching von Ölschiefern (auch minderwertigen) in absehbarer Zukunft größenordnungsmäßig das Hundertfache des Reservoirs der Ölfelder wirtschaftlich erschließen.

| | |
|-----------------------------------|------------------|
| Kohle | 12.000 Mrd t SKE |
| Ölfelder | 300 Mrd t SKE |
| Ölsande | 150 Mrd t SKE |
| Ölschiefer | 2.500 Mrd t SKE |
| Ölschiefer inkl. minderwertige | 80.000 Mrd t SKE |

Abb. 2: Ressourcen fossiler Rohstoffe

Dabei zersetzt die gebildete Schwefelsäure im Ölschiefer Carbonate, wobei CO₂ entweicht. Dadurch verliert das Gestein etwa 40% seiner Masse und wird grobporös. In den Hohlräumen fließt das zuvor kapillar fest eingebundene Öl zusammen und wird von der Leaching-Lösung zu 80 bis 90% ausgetragen. Laborversuche mit karbonathaltigen Ölschiefern aus Colorado, Utah, Wyoming, die 11% Kerogen und 3% Bitumen enthalten, verliefen erfolgversprechend [5]. So könnten die Reserven des so wichtigen Chemierohstoffs und Primärenergieträgers Erdöl zwar mehr als ver Hundertfach werden, aber dennoch bleiben die Ressourcen aller fossilen Biomassen begrenzt.

Nutzung nachwachsender Biomasse in agrarindustriellen Koppelproduktionen

Die überragende Bedeutung der fossilen Biomassen und ihre endgültige Begrenzung geben ihrer zumindest partiellen Substitution durch regenerative Biomasse besondere Dringlichkeit. Dabei handelt es sich um Nutzung von Agrar- und Forstprodukten durch stoffliche und energetische Umwandlung.

Als CO₂ der Luft und H₂O (sowie Mineralstoffen) des Bodens wachsen durch Photosynthese jährlich rund 200 Mrd. t Biomasse, entsprechend etwa 100 Mrd. t SKE; das ist das 10fache des derzeitigen Weltenergieverbrauchs. Davon werden aber nur knapp 3% land- und forstwirtschaftlich genutzt, wovon 40% Rückstände anfallen. Sie werden letztlich von den in der Natur reichlich vorhandenen Mikroorganismen abgebaut und als CO₂ und H₂O dem natürlichen Kreislauf zurückgegeben. Ebenso durchlaufen alle anderen Elemente der nachwachsenden

Biomasse den Gleichgewichtskreislauf der Natur. Daran ändert sich prinzipiell nichts, wenn regenerative Biomasse oder ihre Rückstände gezielt in Bioreaktoren umgesetzt werden zu nutzbaren Produkten wie Nahrungsmittel, Ethanol, Biogas, Biopolymere, Enzyme...

Hingegen bürden fossile Biomassen z.B. bei ihrer Verfeuerung Schadstoffe, die sie vor Hunderten von Millionen Jahren eingebunden haben, nun ohne ausgleichenden Verbrauch als Zusatzbelastung der heutigen Umwelt auf. Jede Nutzung nachwachsender Biomasse bedeutet also zweifachen Umweltschutz: Schonung begrenzter Ressourcen und keine zusätzliche Schadstoffbelastung.

Inzwischen sind sich alle damit befaßten Institutionen und Personen darüber im klaren, daß agrarindustrielle Produktionen nur bei Totalverarbeitung geeigneter Pflanzen in gekoppelten Parallel- und Folgeproduktionen beispielsweise zu Fasern, Zellulose, Stärke, Zucker, pflanzlichen Ölen und Fetten, Eiweiß, Pharmaka, Farbstoffen, Ethanol, Biogas wirtschaftlich sein werden [7 bis 10]. Das erfordert auf der landwirtschaftlichen Seite Züchtung oder genetische Veränderung und Anbau bzw. Wiederaanbau von Pflanzen mit entsprechend vielseitiger industrieller Verarbeitbarkeit, hoher Wertschöpfung und Marktakzeptanz wie Getreide einschließlich Mais, Kartoffeln, Rüben, Körnerleguminosen wie Erbse, Ackerbohne, Buschbohne, Zichorie, Zuckerhirse, Topinambur, Flachs, schilf- oder bambusartige Einjahrespflanzen wie Aronda donax ... Die landwirtschaftlichen Entwicklungen wären forstwirtschaftlich zu ergänzen durch Schnellwuchsplantagen, z.B. mit Pappeln, Weiden, Aspen.

Industriepflanzenbau bietet so viele weitreichende gesamtwirtschaftliche, umweltschonende und politische Vorteile, daß man unverzüglich von Kolloquien und Studien zu konkreten Entwicklungen, Planungen und Realisierungen übergehen sollte.

Bioalkohol

Ein Beispiel agrarindustrieller Koppelproduktionen, ausgehend von Weizenmehl, zeigt Abbildung 3 [11]. Primär geht es dabei um die Produktion von Glucose-sirup mit dem Nebenprodukt Gluten. Hierbei fällt als »Abfallprodukt« B-Stärke an, die mit Faserstoffen, Proteinen und Lipiden verunreinigt ist, so daß sie sich weder zur Erzeugung von Glucose noch zur Verwertung als Stärke eignet. Es gelang nach enzymatischer Verzuckerung dieser Abfallstärke, die gewonnene Glucose mit dem Bacterium *Zymomonas mobilis* zu Ethanol zu vergären [11]. Da

die Schlempe der Alkoholdestillation neben der Bakterienbiomasse noch die nicht vergärbaren Fasern, Proteine und Fette enthält, werden die organischen Verbindungen weiter zu Biogas (CH₂ + CO₂) abgebaut, und das Methan läßt sich direkt zur Beheizung der Destille nutzen.

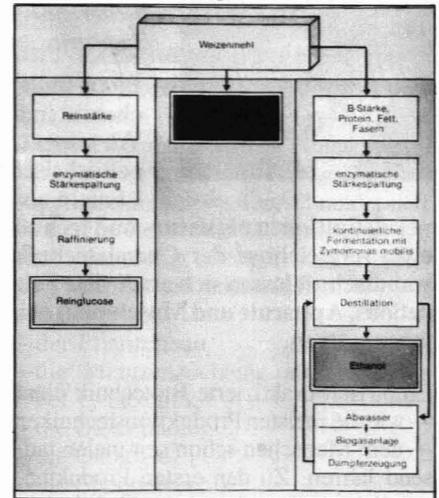


Abb. 3: Beispiel für agrarindustrielle Koppelproduktionen [11]

In der biotechnischen Arbeitsgruppe des Verfassers wird im Rahmen eines BMFT-Forschungsprojektes derzeit in Kooperation mit Prof. Sahn und Mitarbeitern sowie einem Industriepartner an der Entwicklung der kontinuierlichen Ethanolproduktion mit *Zymomonas mobilis* gearbeitet. Gegenüber der herkömmlichen Hefegärung ergeben sich ca. 6fache Produktionsgeschwindigkeit, 95% statt 90% Produktausbeute, etwa doppelt so hohe Ethanoltoleranz, geringere Zellmassebildung. Neben mikrobiologischen Stammoptimierungen geht es um Entwicklung und Betriebsweise eines geeigneten kontinuierlichen Bioreaktors hoher Produktivität und Betriebssicherheit mit weitgehender Anwendung von später besprochenen biotechnischen Entwicklungen.

Industrielle Biomasseproduktionen

Hier kommt Single Cell Protein (SCP) in der Zukunft sicher wachsende Bedeutung zu. Im Prinzip handelt es sich dabei um das Gegenteil der zuvor besprochenen agrarindustriellen Produktionen, nämlich um industrielle Nahrungsmittelproduktion zur Ergänzung der landwirtschaftlichen. Bei der menschlichen Ernährung ist Eiweiß — insbesondere tierisches — wegen seiner essentiellen Aminosäuren unersetzlich. Fehlen sie längere Zeit, führt das zu Mangelkrankheiten und frühem Tod. Derzeit hungern über 700 Millionen Menschen; über 30% der Weltbevölkerung leiden an Eiweißmangel.

Bei allen Möglichkeiten zur Intensivierung und Extensivierung der landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion behält diese doch die Nachteile:

- Abhängigkeit von Boden, Klima und Jahreszeit,
- Aufwand für Lagerung, Transport, Konservierung
- Vernichtung von 30 bis 40% der Ernte durch Schädlinge,
- konventionelle tierische Eiweißproduzenten benötigen z.T. Agrarprodukte, die auch zur Ernährungsbasis des Menschen gehören (Kartoffel, Rüben, Getreide).

Grundlegende Abhilfe und neuartige Möglichkeiten bietet die industrielle Produktion von mikrobiellem Bioprotein (Näheres in [12]). Dabei ersetzt man — verglichen mit tierischer Eiweißproduktion —

- Großtiere durch Mikroorganismen
- Ställe, Weiden und Gewässer durch Bioreaktoren [13, 14]
- landwirtschaftliche Futtermittel durch industrielle »Substrate«, hier Methanol, Ammoniak, Phosphorsäure, Mineralsalze.

Trotzdem handelt es sich bei SCP nicht um eine chemische Eiweißsynthese, sondern um natürliches Wachstum mikro-

bieller Biomasse unter technisch geschaffenen günstigsten Lebensbedingungen. Daraus wird das Bioprotein isoliert und aufbereitet zu Futter- oder Lebensmittelzusatz.

Während ein Rind von 500 kg in 24 h etwa 0,5 kg Eiweiß bildet, produziert die gleiche Masse von Hefezellen 50 t, also 100.000mal so viel, Bakterien noch mehr [2].

Die Entwicklungen von SCP-Prozessen brachten viele grundlegende Fortschritte hinsichtlich der Bioreaktoren und Aufarbeitung [15]. Im Rahmen ihrer schon weit vorangetriebenen SCP-Entwicklungen wurde von ICI ein Produktionsbioreaktor erbaut. Dieser Pressure Cycle Fermenter (PCF) ist ein Schlaufenreaktor mit Gasliftantrieb der Umlaufströmung um das konzentrische Leitrohr und einem Gesamtvolumen von annähernd 3000 m³. Um auf dem langen Strömungsweg Überkonzentrationen von Methanol zu vermeiden, wird es über einige tausend Zugabestellen eingebracht.

Die ICI konnte ihre SCP-Reaktoren und -Erfahrungen direkt zur Entwicklung von Biopolymeren verwenden [16]. Sie werden vom Bakterium *Alcaligenes intracellulär* als Reservestoff für »schlechte Zeiten« bis zu einem Anteil von 80% der

Zelltrockenmasse angelegt. Am bedeutendsten sind Poly- β -hydroxybuttersäure (PHB) sowie Polyhydroxyvaleriansäure (PHV). Für das Copolymerisat »Biopol« (PHBV) sieht man aufgrund seiner biologischen Abbaubarkeit vielseitige künftige Einsatzgebiete, z.B.

- Medizin: Künstliche Implantate, chirurgische Nägel und Fäden, Verkapselung von Langzeitmedikamenten (z.B. Insulin), Colostemiebeutel ...,
- Hygieneartikel, Verpackungsmaterialien,
- Landwirtschaft: Verkapselung von Düngemitteln und Pestiziden, die mit der Saat ausgestreut und mit Langzeitwirkung freigesetzt werden, ohne Nachspritzen und -düngen. Dadurch werden auch Übermengen, die das Grundwasser schädigen, vermieden.

Beide hier behandelten industriellen Biomasseproduktionen zeigen deutlich, wie die Biotechnik in Zukunft zur Sicherung von Ernährung, Gesundheit und Umwelt und zur Schonung begrenzter Ressourcen beitragen kann.

Aerobe biologische Abwasserreinigung

In der Bundesrepublik Deutschland fallen etwa 13 Mrd. m³/a Abwasser an, das

WAAGNER-BIRÓ 
AKTIENGESELLSCHAFT

Technik für besseres Leben

Wir produzieren auf den Gebieten:
Wärmetechnik
Stahlbau
Maschinenbau
Verfahrenstechnik
Großindustrieanlagenbau

Unser Umwelttechnikprogramm umfaßt:
Rauchgasreinigung
Filteranlagen
Kläranlagen
Wasseraufbereitung
Abfallverbrennung
Dampfwirbelschicht-trocknungsanlagen

Wir suchen:
Junge Diplomingenieure für anspruchsvolle und ausbaufähige Arbeitsgebiete. Bewerbungen richten Sie bitte an die Personalabteilung in Graz.



WIEN: A-1220 Wien, Stadlauer Straße 54
GRAZ: A-8020 Graz, Waagner-Biro-Straße 98
MÜNCHEN: D-8000 München, Landsbergerstraße 441



letztlich in die Flüsse gelangt. Da aus Niederschlägen etwa 70 bis 80 Mrd. m³/a über das Flußsystem abfließen, besteht statistisch gesehen jeder 6. Tropfen der Flüsse aus Abwasser [17, 18].

Große Fortschritte gegen diese Umweltverschmutzung bringt der biologische Abbau organischer Verunreinigungen in Kläranlagen, wie er im Prinzip auch in natürlichen Ökosystemen stattfindet, und zwar aerob in Oberflächengewässern mit gelöstem Luftsauerstoff (O₂) und anaerob in Sumpfen und Mooren, wobei sich Erdgas oder Sumpfgas (CH₄) bildet. Allerdings sind die offenen, flachen Belüftungsbecken mit Oberflächenbelüftern zum O₄-Eintrag, die heute in kommunalen Kläranlagen als moderne Errungenschaft gelten, verfahrenstechnisch gesehen wirkungsvolle Geruchs- und Geräuscherzeugungs- und Energieverrichtungsanlagen.

Als wirklich gelungene biotechnische Lösungen aerober Abwasserreinigung kann man erst die neuesten Entwicklungen der Turm- oder Hochbiologie der Bayer AG und der Hoechst AG sowie des Deep Shaft Gaslift Loop Reactor der ICI ansehen [15]. Da solche Anlagen keine Geräusch- und Geruchsbelästigung verursachen, können sie ohne Umweltbelästigung auch mitten in Städten betrieben werden. Ihr spezifischer Energiebedarf beträgt etwa 20 bis 30% dessen der Klärbecken mit Oberflächenbelüftern. Diese neuen Bioreaktoren verbinden vorbildlich Wirtschaftlichkeit, Energieeinsparung und Umweltschutz.

Anaerobe biologische Abwasserreinigung

Trotz ihres hohen biotechnischen Entwicklungsstandes haften aber auch den neuesten aeroben Abwasserreinigungen Nachteile an, und zwar immer noch ziemlich hoher Energiebedarf zum O₂-Eintrag mit Luft und Überführung von etwa 50% des abzubauenen organischen Kohlenstoffs in Klärschlamm [19]. Dieser Aerobschlamm muß stabilisiert und entwässert werden, bevor er deponiert, verbrannt oder eventuell anaerob zur Bildung von Biogas weiter genutzt werden kann. Bei entsprechend hoch belasteten Abwässern kann deshalb anaerobe Abwasserreinigung technisch-wirtschaftliche Vorteile ermöglichen, vor allem, weil etwa 95% des organischen Kohlenstoffs im Abwasser in Biogas (40 bis 60% CH₄; Rest CO₂) übergehen. Um bei kontinuierlichem Betrieb ein Auswaschen oder sehr langsam wachsenden anaeroben Mikroorganismen zu verhüten und durch erhöhte Populationsdichte im Reaktor dessen Produktivität zu steigern, ist für wirtschaftlichen Be-

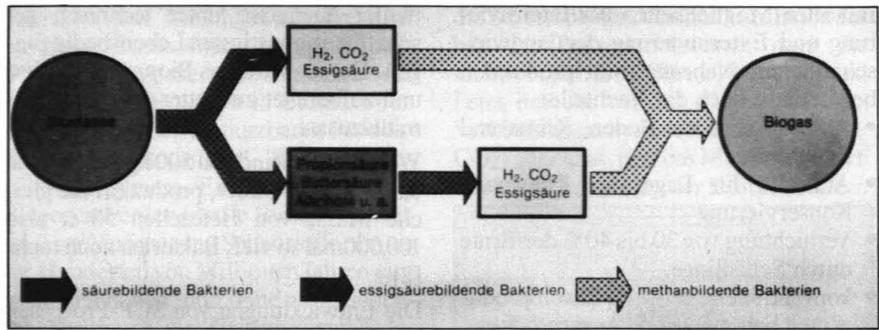


Abb. 4: Biochemische Umwandlungsstufen der Methangärung [19]

trieb Trägerfixierung — wie später gezeigt wird — unerlässlich. Voraussichtlich wird sich eine zweistufige Anlage entsprechend der in Abbildung 4 [19] gezeigten anaeroben Biogasproduktion als vorteilhaft erweisen. Dieses Beispiel zeigt, daß die Biotechnik Möglichkeiten eröffnet, auch Abfälle zum Beispiel der Lebensmittelindustrie als Rohstoffe zur Produktion von Nutstoffen, hier Biogas, zu verwerten.

Trägerfixierung von Mikroorganismen

Bei kontinuierlicher Bioproduktion erfolgt mit dem Stoffdurchsatz ein ständiger Austrag an Mikroorganismen. Zur Aufrechterhaltung einer optimalen Zelldichte müssen die Zellen laufend zurückgeführt werden. Das bereitet insbesondere bei den sehr kleinen Bakterien und geringen Dichtedifferenzen von 3% große Schwierigkeiten ihrer Abtrennung. Außerdem werden auch störende Bakterien (z.B. Milchsäurebakterien mit Zymomonas beim Ethanolprozeß) zurückgeführt und im Reaktor angereichert. Wesentlich günstiger als Rückführung ist Rückhaltung von Mikroorganismen im Reaktor durch ihre Fixierung auf festen Oberflächen [20, 21]. Besondere Vorteile dürfte wohl Partikelfixierung haben mit adsorptiv-adhäsiven Bindungen an kleinen porösen Partikeln (Sand, Sinterglas, A-Kohle oder -Koks, Kunststoff ...) von et-

wa 150 µm bis 3 mm. Zur Vermeidung von Verstopfungen hat ihre Fluidisierung in stationärer oder zirkulierender Wirbelschicht Vorteile gegenüber Festbettanordnung. Allerdings ergeben sich dabei Probleme hinsichtlich Aufwuchs und Abrieb.

Die Entwicklung von Bioreaktoren mit Trägerfixierung von Mikroorganismen oder Enzymen steht noch ganz am Anfang und bedarf vieler mikrobiologisch-verfahrenstechnischer Grundlagenuntersuchungen. Sie eröffnet aber Möglichkeiten für beträchtliche Produktivitätssteigerungen, insbesondere bei anaeroben Prozessen, und damit wirtschaftliche Voraussetzungen für industrielle Anwendung neuer Bioprozesse, wie der zuvor besprochenen Ethanolproduktion und der anaeroben Abwasserreinigung.

Substrat- und Produktinhibierung

Ein Beispiel für Substratinhibierung finden wir beim SCP-Reaktor der ICI. Die Methanolkonzentration sollte nirgends unter 1 Promille und über 1 Prozent liegen wegen mangelnder Versorgung oder Alkoholvergiftung. Deshalb muß das zugeführte Substrat schnell in der L-Phase verteilt werden. Das erfordert intensive Mischwirkung und/oder sehr viele Substratzuführungen, insbesondere bei großen Schlaufenreaktoren mit langen quasi Rohrströmungen, in denen wenig Axial-

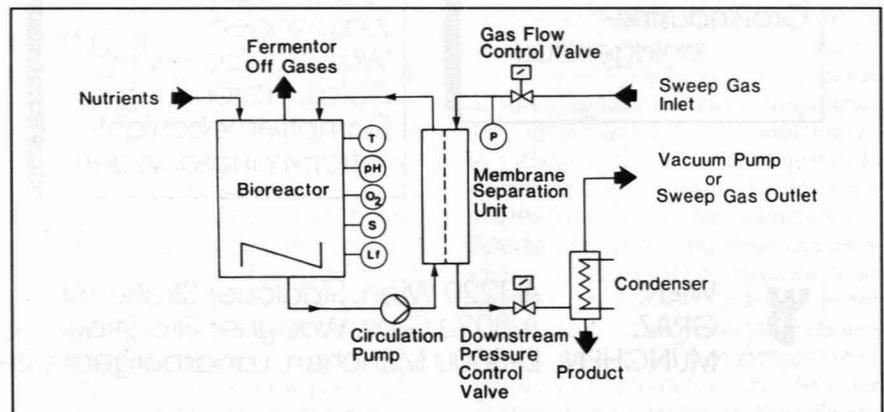


Abb. 5: Ethanolabzug aus Reaktionssystem über Membraneinheit

mischung erfolgt. Produktinhibierung setzt — wie besprochen — der Ethanolkonzentration bei der Bioalkohol-Produktion Grenzen, beim Bakterium *Zyomonas mobilis* allerdings beträchtlich höhere als bei der Hefe *Saccharomyces cerevisiae*. Hier kann kontinuierlicher EtOH-Abzug aus dem Reaktionssystem über selektive Pervaporationsmembranen Abhilfe schaffen. Der Anreicherungsfaktor beträgt etwa 6, d.h. von z.B. 8% im Reaktionssystem auf rd. 50% im Permeat. Das Ethanol könnte man in einem nachgeschalteten Membransystem durch selektiven Wasserabzug weiter anreichern. Durch geeignete Membranen hofft man, Anreicherungs-faktoren von 8 zu erreichen und durch die angedeutete Hintereinanderschaltung zweier Membransysteme über 99%iges Ethanol zu gewinnen, also die Destillation zu ersetzen und die Absolutierung einzubeziehen.

Dieses Beispiel soll Möglichkeiten andeuten für (partiell) integrierte Aufarbeitung in das Reaktionssystem, was erhebliche wirtschaftliche Fortschritte erwarten läßt gegenüber der nachgeschalteten, aber noch viel mikrobiologische, physikalisch-chemische und verfahrenstechnische Forschung und Entwicklung erfordert.

Aufarbeitung von Bioprodukten

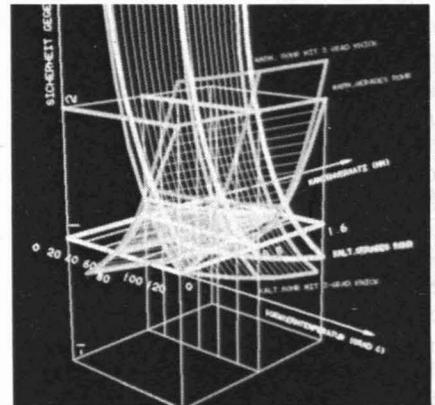
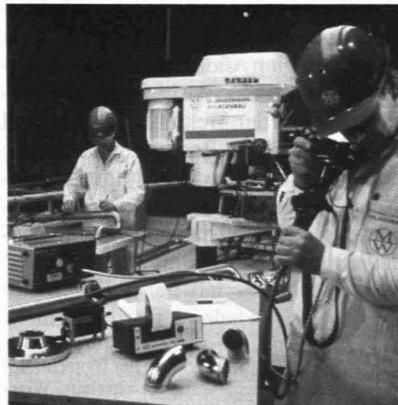
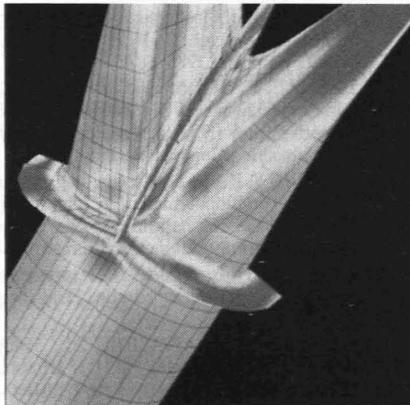
Verglichen mit Bioreaktoren zur Erzeugung von Bioprodukten befinden sich die vielen Verfahren zu deren Aufarbeitung mit zumeist höchsten Reinheits- und oft auch Sterilitätsanforderungen in deutlichem Rückstand, jedenfalls hinsichtlich industriellen Einsatzes. Das ist umso erstaunlicher, als die Aufarbeitung meist weit mehr als die Hälfte der Produktionskosten verursacht [22]. Hier stehen vor allem Verfahreningenieure vor den schwierigen Aufgaben, Grundverfahren und Einrichtungen zu deren Durchführung, die zwar zum Teil im Labor schon genutzt werden, zur technischen Großausführung und sicheren kontinuierlichen Betriebsweise zu entwickeln. Das betrifft vor allem physikalisch-chemische Verfahren, wie Flotation, Fällung, Flockung, Kristallisation, Extraktion, Adsorption, Ultrafiltration, Reversosmose, Elektrophorese, Elektrodialyse, Ionenaustausch, Chromatographie.

Erschwert werden diese vordringlichen Entwicklungen durch die außerordentliche Empfindlichkeit der meisten hochwertigen Bioprodukte gegenüber Milieubedingungen. So ist man bei Enzymen hauptsächlich auf wässrige Lösungen

angewiesen, weil organische Lösemittel vor allem Proteine denaturieren. Hinzu kommt die Schwierigkeit der Abtrennung insbesondere von Bakterienzellen mit Abmessungen von wenigen μm und einer Dichte, die mit ca. 1,03 der Flüssigphase sehr nahe ist, in der sie suspendiert sind. Schließlich fallen Bioprodukte meist als sehr verdünnte Lösungen an, die an sich schon großen Aufwand zum Aufkonzentrieren erfordern. So hängt die industrielle Realisierung vieler neuer Bioprozesse von den zukünftigen Entwicklungen vorwiegend physikalisch-chemischer Feinsttrennverfahren mit schonender Behandlung, höchster Trennschärfe, Sterilität, großtechnischer kontinuierlicher Betriebsweise und vertretbarer Wirtschaftlichkeit ab.

Biosensoren

Man unterscheidet Biosensoren im weitesten Sinn und meint damit Sensoren zur Erfassung von Einflußgrößen in den meist sehr schwierigen mehrphasigen Biosystemen, z.B. lokaler Werte in verschiedenen Phasen von Temperatur, Konzentrationen, pH-Wert, Leitfähigkeit, Zelldichte, Gasegehalt, Phasengrenzflächen, Strömungsgeschwindigkeiten, Viskositäten, Scherkräften. Deren Online-Meßwerterfassung in konti-



Mannesmann Anlagenbau Austria AG ist ein Unternehmen der Investitionsgüterindustrie. Es entwickelt, plant, liefert, montiert und betreibt Anlagen in den drei Geschäftsbereichen **Industrieanlagenbau**, **Ver- und Entsorgungsanlagenbau** sowie **Gebäudeanlagenbau**. Dabei wird das Ziel verfolgt, bei der Errichtung solcher Anlagen der **Energieeinsparung**, dem **Umweltschutz** und dem **Einsatz neuer Verfahren** besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Im **Bereich der Chemie** werden solche Anlagen durch biotechnische Anlagen im Pharmabereich mit Keimfreiheit und durch Reinraumtechnik als Voraussetzung für eine einwandfreie Produktion ausgeführt.

„Planen – Errichten – Warten.“
Mannesmann macht's!
Für unsere Umwelt.

MANNESMANN ANLAGENBAU

Mannesmann Anlagenbau Austria

1232 Wien, Oberlaaer Straße 331,
Telefon (0 22 2) 67 36 11-0



nuerlichen Langzeitproduktionen erfordert noch viel meßtechnische Entwicklungsarbeit. Davon hängt die anzustrebende Automatisierung und Realisierung moderner Prozeßleittechnik für biotechnische Prozesse und Anlagen ab, die Produktqualität, Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit erheblich steigern könnten [23].

Biosensoren im engeren Sinn arbeiten mit Biomaterialien, die auf »Biochips« von etwa 1/10 mm² fixiert sind und in Kontakt mit dem zu messenden Stoffsystem eine spezifische Reaktion bewirken. Sie löst ein elektrisches Signal aus, das als elektrische Anzeige oder in einem Mikroprozessor-Computer erfaßt wird. Mit solcher Kombination, z. B. eines Enzym-Feldeffektransistors, können bereits etliche Substanzen in komplexen Gemischen quantitativ erfaßt werden, wie Zucker, Alkohole, Ammoniak, Aminosäuren, Antibiotika.

Im Bereich der Biotechnik könnten solche Biosensoren durch permanente, sehr genaue und schnelle Online-Analysen der gewollten Produkte, Nebenprodukte, Substrate usw. wesentlich zur Optimierung und Stabilisierung der Produktion mit Hilfe von Prozeßleittechnik beitragen.

Vielfältige Einsatzgebiete sieht man vor allem in der Medizin (Diagnostik, Therapie, Prothetik) z. B. in-situ-Analyse von Körperflüssigkeiten, Organfunktions-tests, Verfolgung pathologischer Reaktionen, Überwachung und Steuerung implantierter Organe. Auch diese Zukunftsaussichten mögen die Bedeutung der Biotechnik für die Förderung der Gesundheit — einem Grundanliegen aller Menschen — andeuten.

Abbildung 6 zeigt die voraussichtlichen zeitlichen Einsatzmöglichkeiten marktreifer Biosensoren (Biochips) in wichtigen Bereichen [24]. Allein für solche Biosensoren wird in der Biotechnologie für 1995 ein Marktvolumen von 12 Mrd. sFr erwartet; in der Medizin im Jahr 2000 etwa 20 Mrd. sFr; zu gleicher Zeit in der Umwelttechnik 12 Mrd. sFr und in der Nahrungsmittelindustrie 10 Mrd. sFr [24]. Die Entwicklung dieser Biosensoren kennzeichnet das weit fachübergreifende Zusammenwirken der beiden High-Tech-Bereiche Biotechnik und Mikroelektronik in Verbindung mit den wichtigsten Anwendungsbereichen Biotechnik, Ernährung, Gesundheit, Umweltschutz. Die biotechnik ist daran doppelt beteiligt, nämlich als Entwickler und Anwender.

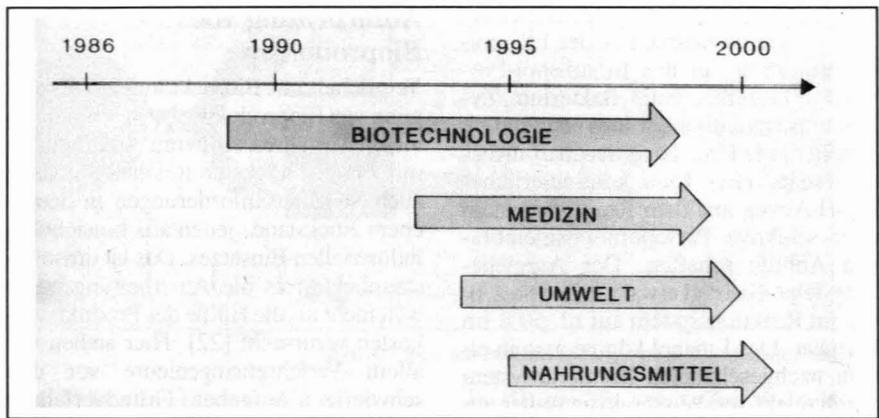


Abb. 6: Einsatzmöglichkeiten marktreifer Biochips

Ausblick

Die ausgewählten Beispiele sind aus Platz- und Kompetenzgründen unvollständig und lassen wichtige Gebiete der vielseitigen Biotechnik unerwähnt, um wenig aussagefähige Aufzählungen zu vermeiden. Statt dessen mögen zwei allgemeine Feststellungen zur Bedeutung und Aussichten der Biotechnik die ange deuteten Perspektiven ergänzen: »Sowohl für die modernen Industrienationen als auch für die Staaten der Dritten Welt wird in der Biotechnologie einer der innovations- und wachstumsträchtigen Wirtschaftssektoren der nächsten Jahrzehnte gesehen« [24]. »Die amerikanische Regierung rechnet die vergleichsweise junge Biotechnik zu jenen Schlüsseltechnologien, die mit über die künftige wirtschaftliche Position eines Industrielandes in der Welt entscheiden wird ... Die japanische Regierung wertet die Biotechnik sogar als die letzte große technische Herausforderung unseres Jahrhunderts« [25] und damit zugleich unseres Jahrtausends.

Literatur:

[1] PRÄVE, P. et al.: Handbuch der Biotechnologie, Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden 1982, S. 1 — 6.
 [2] SCHLEGEL, H.G. Allgemeine Mikrobiologie, 4. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1976.
 [3] WILKINSON, J.F.: Einführung in die Mikrobiologie, Verlag Chemie GmbH, Weinheim 1974.
 [4] REHM, H.-J.: Industrielle Mikrobiologie, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1980.
 [5] IMHOFF, J.F.: Bakterien zur Gewinnung von Metallen und Erdöl, in: Die Umschau 78 (1978) 2, S. 46 — 48.
 [6] SAHM, H.; SCHOBERTH, S.: Mikrobielle Umsetzung von pflanzlichen Rückständen, Jahresbericht 1978/79 der Kernforschungsanlage Jülich GmbH.
 [7] DAMBROTH, M.: Industrierohstoffe vom Acker, in: Die Umschau (1982) II, S. 359 — 362.

[8] Kolloquium »Kurzfristige Möglichkeiten zum Einsatz nachwachsender Rohstoffe« am 15./16. Mai 1986 in Stuttgart; Baden-württembergisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
 [9] Schriftenreihe des Fonds der chemischen Industrie: Cellulose (Heft 24), Stärke (Heft 25).
 [10] Veröffentlichungen des Verbandes der Chemischen Industrie, Fachausschuß Nachwachsende Rohstoffe.
 [11] SAHM, H.; BRINGER-MEYER, S.: Ethanolherstellung mit Bakterien, in: Chem.-Ing.Techn. 59 (1987) 9, S. 695 — 700.
 [12] BLENKE, H.: Industrielle Eiweißproduktion — eine Nahrungsquelle der Zukunft, Brennpunkte der Forschung; DVA Stuttgart, 1981.
 [13] SCHÜGERL, K.: Apparatetechnische Aspekte der Kultivierung von Einzellern in Turmreaktoren, in: Chem.-Ing.-Techn. 55 (1983) 2, S. 123 — 134.
 [14] BLENKE, H.: Biochemical Loop Reactors, Biotechnology, Vol. 2, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1985, S. 465 — 517.
 [15] BLENKE, H.: Verfahrenstechnische Beiträge zur Entwicklung von Bioreaktoren, in: BTF Biotech-Forum (1987) 5, Proceedings of the Bioengineering Congress 86 in Stuttgart.
 [16] LAFFERTY, R. M.: Die Gewinnung und Anwendung von Biopolymeren, 16. Jahrestagung der Österr. Gesellschaft für Hygiene, Mikrobiologie und Präventivmedizin, Graz.
 [17] HARTMANN, L.: Biologische Abwasserreinigung, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1982.
 [18] WANDREY, Ch.; AIVASIDIS, Al.: Mikrobielle Abwasserreinigung, in: Die Umschau (1984) 1.
 [19] SAHM, H. et al.: Biogasbildung und anaerobe Abwasserreinigung, Umweltforschung 1983 der Kernforschungsanlage Jülich GmbH.
 [20] HARTMEIER, W.: Immobilisierte Biokatalysatoren, Springer Verlag, Heidelberg, New York, Tokyo 1986.
 [21] ZLOKARNIK, M.: Immobilisierung ganzer Zellen — eine Bestandsaufnahme aus bioverfahrenstechnischer Sicht, in: BTF — Biotech-Forum (1986) 4.
 [22] SCHMIDT-KASTNER, G.; GÖLKER, C.: Aufarbeitung in der Biotechnologie, in: [4], Kapitel 8.
 [23] DZIENGEL, A.: Einsatzmöglichkeiten neuer On-line-Analysensysteme für die Bioprozeßtechnik, in: BTF-Biotech-Forum (1984) 1/2.
 [24] TSCHANNEN, R. et al.: Biosensoren — Märkte und Technologien, Bio Technologie 3/87.
 [25] ODRICH, P.: Die biotechnische Herausforderung, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 24.1.1985.