

# ERGEBNISSE VON TA-PROJEKTEN – NEUE TA-PROJEKTE

## Biotechnologie im produktions-integrierten Umweltschutz

von Bärbel Hüsing, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe

**"Produktionsintegriert" und "nachhaltig (sustainable)" – so sollte ein "Umweltschutz der Zukunft" ausgestaltet sein. Was bedeutet das aber für die Biotechnologie, die schon jetzt im Umweltschutz eine wichtige Rolle spielt? Welchen Beitrag können biotechnische Verfahren zum produktionsintegrierten Umweltschutz und zu einer nachhaltigen Entwicklung überhaupt leisten? In welchen Branchen und bei welchen industriellen Prozessen bieten sich Einsatzmöglichkeiten? Und was kann getan werden, um den Einsatz umweltschonender biotechnischer Verfahren in der Industrie zu forcieren? Antworten auf diese Fragen versuchte das Karlsruher Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) im Auftrag des Umweltbundesamtes zu finden.**

Bisher sind biotechnische Verfahren im Umweltschutz fast ausschließlich typische "end-of-pipe-Verfahren": aus der Abwasserbehandlung sind sie nicht mehr wegzudenken, werden doch in Deutschland mehr als 92% des Abwassers in öffentlichen Kläranlagen biologisch gereinigt. Biofilter und Biowäscher zur Abluftreinigung können mit physikalisch-chemischen Verfahren konkurrieren, organische Abfälle werden großtechnisch vergärt, kompostiert oder zu Biogas umgesetzt, und auch bei der Sanierung kontaminierter Standorte haben biotechnische Verfahren längst Praxisreife erlangt. Dass nachsorgende Umweltschutzverfahren dominieren, ist jedoch nicht typisch für die Biotechnologie, sondern für unseren Umweltschutz insgesamt: etwa 80% der Umweltschutzinvestitionen fließen in den nachsorgenden Umweltschutz.

Wenn man es aber ernst mit einer nachhaltigen umweltgerechten Entwicklung meint, kann der alleinige Ausbau nachsorgender Umweltschutztechniken nicht der richtige Weg sein – man darf nicht erst ansetzen, wenn Wasser, Boden und Luft bereits verschmutzt und Abfälle angefallen sind, sondern muss Produktionsprozesse von vornherein so gestalten, dass Belastungen und Abfälle gar nicht erst entstehen – dies ist der Grundgedanke des produktionsintegrierten Umweltschutzes.

Für Biotechnologen hat dieses Konzept besonderen Charme: weil biotechnische Verfahren auf den Stoffwechselleistungen von Mikroorganismen oder von Enzymen beruhen, laufen sie unter "sanften Bedingungen", d.h., in wässrigen Medien, unter Normaldruck und bei niedrigen Temperaturen ab, und wenn überhaupt Abfälle anfallen, dann sind sie meist gut biologisch abbaubar. Da ist es doch naheliegend, "harte Chemie" durch "sanfte" biotechnische Verfahren zum Wohle der Umwelt zu ersetzen – um Energie zu sparen und um die Verwendung und Emission toxischer Stoffe zu verringern. Auch die Substitution erschöpflicher fossiler Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe ist möglich. Biotechnische Verfahren sind von einer so "positiven Aura der naturnahen Herstellungsverfahren umgeben, dass selbst ausgewiesene Kritiker der Gentechnik den Einsatz von Enzymen als wichtige Komponente einer "sanften Chemie" für eine möglicherweise annehmbare gentechnische Entwicklung halten" (Sauter 1996).

Seit Mitte der 90er Jahre loten auch Bundes- und Landes-Umweltministerien und das Umweltbundesamt die Potentiale der Biotechnologie im produktionsintegrierten Umweltschutz aus (BMU 1997, Umweltministerkonferenz 1998), nachdem sie zuvor die Bio- und Gentechnik nahezu ausschließlich unter dem Risikoaspekt betrachtet hatten. Das Umweltbundesamt hat mehrere Studien in Auftrag gegeben und veröffentlicht (Hüsing et al. 1998, Ast und Sell 1998, Dürkop et al. 1999). Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt hat einen Förderschwerpunkt "Einsatz biotechnologischer Verfahren und Produkte im Sinne eines produkt- bzw. produktionsintegrierten Umweltschutzes in ausgewählten Industriebranchen" eingerichtet, und nicht zuletzt hat auch die Chemische Industrie mit einem Bericht Stellung

genommen (VCI 1996). Auf internationaler Ebene hat die OECD einen entsprechenden Bericht veröffentlicht (OECD 1998), und auf EU-Ebene hat das Institute of Prospective Technological Studies (IPTS) in Sevilla das Projekt "Biotechnology and the Greening of Industry" initiiert, in dessen Rahmen verschiedene Studien zum Thema erarbeitet werden (IPTS 1996, Enzing et al. 1998, Hüsing et al. 1999).

Aber: wo werden solche umweltschonenden Verfahren bereits in der Praxis eingesetzt, was bringen sie tatsächlich an Umweltentlastung, und was ist zu tun, um das Potential voll auszuschöpfen? In einer umfassenden Untersuchung, die im Auftrag des Umweltbundesamtes zu Stand und Perspektiven biotechnischer Verfahren im produktionsintegrierten Umweltschutz durchgeführt wurde, kommt das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) zu dem Ergebnis, dass besonders die chemische und pharmazeutische Industrie, die Lebensmittel-, Textil-, Papier- und Zellstoff- sowie die Lederindustrie von biotechnischen Verfahren profitieren könnten (Hüsing et al. 1998):

- In der *chemischen und pharmazeutischen Industrie* werden biotechnische Verfahren derzeit und künftig vor allem bei der Synthese von hochpreisigen Spezial- und Feinchemikalien sowie in der asymmetrischen Synthese von chiralen Substanzen eingesetzt, da biotechnische Verfahren hierbei aufgrund ihrer Eigenschaften Spezifität und Selektivität komparative Vorteile gegenüber chemischen Synthesen aufweisen. Die Etablierung biotechnischer Prozesse zur Herstellung von petrochemischen Grundchemikalien ist hingegen unwahrscheinlich, da die Eigenschaften von Biokatalysatoren den dortigen Anforderungen grundsätzlich widersprechen. Andererseits scheint die Bereitschaft der chemischen Industrie durchaus gewachsen zu sein, das Potential biotechnischer Ansätze für die Synthese von anderen Massenchemikalien zumindest auszuloten. Ob diese biotechnischen Ansätze dann aber in den großtechnischen Maßstab übernommen werden, ist eine Einzelfallentscheidung, die von zahlreichen Faktoren beeinflusst wird.
- In der *Lebensmittel- und Getränkeherstellung* sind biotechnische Ansätze zwar traditionell weit verbreitet. Durchaus vorhandene Umweltentlastungseffekte sind i. d. R. aber nicht die treibende Motivation zur Etablierung der betreffenden Verfahren gewesen. Vielmehr sind die erzielten Umweltentlastungen meist nur "erwünschte Begleiteffekte" von wirtschaftlicheren Verfahren oder neuartigen Produkten. Aufgrund der geringen Gewinnspannen und der geringen Forschungsintensität der Lebensmittelindustrie werden biotechnische Verfahren künftig vor allem dort zu Umweltentlastungen beitragen, wo Aspekte der Umweltschonung mit der Qualitäts- und Effizienzverbesserung vereint werden können. Dies dürfte insbesondere bei der Optimierung bereits etablierter Verfahren und bei der Umwandlung bisher nicht genutzter, umweltbelastender Neben- und Abfallprodukte in Wertstoffe gegeben sein.
- In der *Papier- und Zellstoffindustrie* gibt es mit den Verfahren Biopulping, Biobleaching, enzymatische Entfernung von Störstoffen (Pitch) der Papiererzeugung und enzymatische Altpapierstoffaufbereitung und -modifizierung mehrere praxisreife bzw. praxisnahe biotechnische Verfahren, die zur Verringerung von Umweltbelastungen beitragen können. Sie müssten in der Industrie allerdings weitere Verbreitung finden, um ihr Umweltentlastungspotential voll nutzen zu können.
- Biotechnische Verfahren werden in der *Textilherstellung* erst seit wenigen Jahren eingesetzt, doch wächst ihre Bedeutung. Etabliert sind enzymatische Verfahren zum Entschlichten, zum Bleichen, zum Entfernen von Bleichmittelresten sowie verschiedene Ausrüstungsverfahren (Biostoning von Jeans, Biopolishing). Weitere Potentiale liegen in der Entwicklung von biotechnischen Verfahren zur Gewinnung von Wertstoffen aus Schlichteabwässern, zur enzymatischen Entfernung von Faserbegleitstoffen, zur enzymatischen Fixierung von Farbstoffen an der Faser und zur Filzfreiausrüstung von Wolle.
- In der *Lederindustrie* liegen Potentiale für den Einsatz biotechnischer Verfahren in der enzymatischen Enthaarung, der Umwand-

lung von Abfällen aus der Lederherstellung in Wertstoffe, der biotechnischen Produktion pflanzlicher Gerbstoffe sowie im Lederrecycling (Chromrückgewinnung, Kollagenhydrolyse und -modifikation).

Trotz dieser umfangreichen Liste von etablierten bzw. praxisnahen biotechnischen Verfahren im produktionsintegrierten Umweltschutz ist man von einer breiten Nutzung des Potentials biotechnischer Verfahren zur Umweltentlastung noch weit entfernt. Neben wissenschaftlich-technischem Forschungsbedarf und der Notwendigkeit, weitere Verfahren zu optimieren bzw. neu zu entwickeln, gibt es noch weitere Hemmnisse. So ist umfassendes Know-how in den Bereichen Bio- und Enzymtechnik, im produktionsintegrierten Umweltschutz sowie bezüglich Marktstrukturen, Markterfordernissen und Kundenbedürfnissen erforderlich, um biotechnische Verfahren im produktionsintegrierten Umweltschutz einzusetzen. Dieses umfassende Know-how liegt am ehesten in Unternehmen der Chemischen Industrie vor, ist in den anderen Branchen aber nur in Ausnahmefällen innerhalb eines Unternehmens bzw. einer Forschungseinrichtung zu finden.

Weil Biotechnologie sehr forschungsintensiv ist, ist es für die Lebensmittel-, die Papier-, Zellstoff-, Leder- und Textilindustrie als Branchen mit nur geringen Forschungsintensitäten grundsätzlich schwierig, biotechnisches Know-how aufzubauen. Außerdem sind diese Branchen überwiegend mittelständisch geprägt, und in mittelständischen Betrieben ist das Stoffstrom- und Umweltmanagement in der Regel nicht so weit gediehen, dass produktionsintegrierte Verfahren allgemein, nicht nur biotechnische Verfahren, problemlos eingeführt werden könnten.

Für den Einsatz biotechnischer Präventivtechniken im produktionsintegrierten Umweltschutz summieren sich die genannten Probleme. Das erforderliche Know-how kann in der Regel nur über Kooperationen und die Einbindung in entsprechende Netzwerke erschlossen werden. Eine überwiegend mittelständische Struktur, geringe Forschungsintensitäten, eine schwierige wirtschaftliche Lage und eine konservativ-traditionelle Ausrichtung sind strukturelle und wirtschaftliche Rahmenbedingungen, die dies erschweren.

Darüber hinaus konkurrieren biotechnische Präventivtechniken mit anderen technischen Problemlösungen. Selbst wenn sich biotechnische Verfahren als mindestens ebenso gut wie ein etablierter Prozess erweisen, führt dies nicht unbedingt zu ihrer Umsetzung in die Praxis – so zum Beispiel, weil der biotechnische Prozess eine andere Produktionsanlagenkonzeption als der bestehende Prozess erfordert, die Anlage aber bereits existiert, oder dass der konventionelle Prozess in ein Netzwerk anderer Prozesse eingebunden ist (z. B. durch Nutzung von Abfallprodukten anderer Prozesse), in das sich der biotechnische Prozess nicht ohne weiteres einfügen lässt, oder einfach, weil Vorbehalte gegenüber der nicht vertrauten Technik bestehen.

Betrieben, die gegenüber der Biotechnik aufgeschlossen sind, fehlen konkrete, praxisnahe Hilfen und Instrumente für die Entscheidung, ob sich der Einsatz des biotechnischen Verfahrens für ihr Unternehmen "rechnet".

Für Enzymhersteller stellen einige Anwendungen (z. B. deutsche Lederindustrie, einzelne Synthesen in der chemischen Industrie) ein so kleines Segment dar, dass die zu erwartenden Enzymsätze in einem ungünstigen Verhältnis zum erforderlichen FuE-Aufwand zur Entwicklung neuer Enzympräparate und Verfahren stehen.

Um den Einsatz umweltschonender biotechnischer Verfahren in der Industrie zu forcieren, schlägt das ISI folgende Maßnahmen vor:

- Da das erforderliche Know-how zur Entwicklung und Implementierung biotechnischer Präventivtechniken in der Regel nicht in einzelnen Unternehmen oder Forschungseinrichtungen vorhanden ist, kommt der Stärkung bereits bestehender Verbände der verschiedenen Know-how-Träger, der Einbindung neuer Partner und der erstmaligen Initiierung entsprechender Verbände und Netzwerke sehr große Bedeutung zu.
- Für die Textilveredlungs-, Leder- und Lebensmittelindustrie sind – trotz und gerade wegen der schwierigen wirtschaftlichen Situation – Innovationen besonders interessant, die neuartige Produkte oder deutlich erhöhte Produktqualitäten ermöglichen. Daher erscheinen Projekte, die Aspekte der Umweltschonung mit der Qualitätsverbesserung vereinen, besonders aussichtsreich.

- Industrievertreter betonen, wie wichtig für die Betriebe Informationen sind, anhand derer sie für ihr Unternehmen bewerten können, ob sich die Substitution des konventionellen Verfahrens durch ein biotechnisches bei ganzheitlicher Betrachtung ökonomisch und ökologisch "rechnet" oder nicht. Somit besteht Bedarf nach Forschungsvorhaben, in denen derartige, auf die Verhältnisse der Betriebe zugeschnittene praxisnahe konkrete Hilfen und Bewertungsinstrumente (z. B. Ökoeffizienz-Analysen, Ökobilanzen) für biotechnische Präventivtechniken entwickelt bzw. erstellt und auf Praxistauglichkeit überprüft werden. Sie sollten durch Maßnahmen ergänzt werden, die das betriebsinterne Stoffstrom- und Umweltmanagement in mittelständischen Betrieben verbessern.
- Um herrschende Vorbehalte gegenüber biotechnischen Verfahren abzubauen, sollte aktiv mit durchaus vorhandenen Positivbeispielen um "Nachahmer" geworben werden (z. B. durch "Musterbetriebe", road shows, Kurse, Broschüren, praktische Demonstrationen).
- Bisher fehlt eine belastbare Datengrundlage, die es ermöglicht, für einzelne Industriezweige das Potential und die Gesamtrelevanz biotechnischer Ansätze im produktionsintegrierten Umweltschutz abschätzen und bewerten zu können. Um künftige förderpolitische Prioritäten setzen zu können, sollten entsprechende branchenspezifische Forschungsvorhaben sowie Unternehmensbefragungen zum Grad der Anwendung biotechnischer Präventivmaßnahmen initiiert werden.

#### Literatur

- Ast, A., Sell, D.* (1998): Einsatz von gentechnisch veränderten Organismen zur Verringerung von Umweltbelastungen. Forschungsbericht UBA-FB 98-111 zum Vorhaben 108 02 903. UBA-Texte 80/98. Berlin: Umweltbundesamt 1998
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU* (1997): Beitrag der Biotechnologie zu einer nachhaltigen, umweltgerechten Entwicklung. Tagungsband des Fachgesprächs vom 17.12.1996 in Bonn. Bonn: BMU 1997
- Dürkop, J., Dubbert, W., Nöh, I.* (1999): Beitrag der Biotechnologie zu einer dauerhaft umweltgerechten

Entwicklung. UBA-Texte 1/99. Berlin: Umweltbundesamt 1999

*Enzing, C., Van Dalen, W., de Hoop, B., Thomas, S., Burke, J., Schmitt, A., Heiden, L., Viikari, L.* (1998): Biocatalysis: state of the art in Europe – economic and environmental benefits of a process integrated technology. Seville: IPTS 1998

**Hüsing, B., Gießler, S., Jaeckel, G.** (1998): **Stand der Möglichkeiten von prozeßintegrierten biotechnischen Präventivtechniken zur Vermeidung oder zur Verminderung von Umweltbelastungen.** Forschungsbericht UBA-FB 98-094 zum Vorhaben 10802902alt/29694902neu. UBA-Texte 68/98. Berlin: Umweltbundesamt 1998

*Hüsing, B., Jaeckel, G., Wörner, S.* (1999): The Introduction of Process Integrated Biocatalysts in Companies – Effect of Dynamics in Internal and External Networks. Report for the Institute for Prospective Technological Studies. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung 1999

*Institute for Prospective Technological Studies, IPTS* (1996): Annual Report 1995. Seville: IPTS 1996

*Umweltministerkonferenz* (1998): Chancen und Risiken der Gentechnik im Umweltschutz. Tagungsband zur öffentlichen Anhörung der Umweltministerkonferenz am 6.-7. November 1997 in Erfurt. Erfurt: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (TMLNU) 1998

*Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD* (1998): Biotechnology for clean industrial products and processes. Towards industrial sustainability. Paris: OECD 1998

*Sauter, A.* (1996): Monitoring "Stand und Perspektiven der Katalysatoren- und Enzymtechnik", Sachstandsbericht. Arbeitsbericht Nr. 46, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Bonn

*VCI* (1996): Zwischenbericht des Expertenkreises Bio- und Gentechnik. Verein der Bayrischen Chemischen Industrie e. V., Verband der Chemischen Industrie e. V., Landesverband Bayern, München, Juli 1996

#### Kontakt

Dr. Bärbel Hüsing  
 Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI)  
 Abteilung Innovationen in der Biotechnologie  
 Breslauer Straße 48, D-76139 Karlsruhe  
 Tel.: + 49 (0) 721-6809-210  
 Fax: + 49 (0) 721-6809-176  
 E-mail: sb@isi.fhg.de  
 Internet: <http://www.fhg.de>