



**Substitutionspotenziale
chemischer
Verfahrenstechniken durch
bio-/gentechnische
Verfahren zur Risikovorsorge**

**Statusseminar im Umweltbundesamt
15.11.2001**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von 7,50 Euro
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 1.1
Dr. Martin Mieschendorf (M)

Berlin, Juli 2002

Vorwort

Als eine der zentralen Aufgaben der wissenschaftlichen Behandlung von Sicherheit und Umweltschutz in der chemischen Industrie erweist sich die Erarbeitung von Konzepten zur integrierten Entwicklung neuer chemischer Produkte und Prozesse. Das Spezifische der integrierten Entwicklung ergibt sich durch den Umstand, dass bei der Entwicklung eines Produktes bzw. eines Produktionsprozesses signifikante Risiken und Umweltbelastungen des gesamten Lebenszyklus schon ab dem Entwicklungsbeginn in die Betrachtung einbezogen und durch gezieltes Design nicht nachsorgend, sondern ursächlich berücksichtigt werden ¹.

In der chemischen Industrie wird mit unterschiedlichen Stoffen unter oft anspruchsvollen chemischen und physikalischen Bedingungen gearbeitet. Die Stoffe sind häufig sehr reaktionsfähig und können giftig, korrosiv, brennbar oder explosionsgefährlich sein. Biotechnische Verfahren werden dagegen in wässrigem Milieu, bei niedrigen Temperaturen und Normaldruck gefahren. In industriellen Produktionsprozessen können sie den Wirkungsgrad bzw. die Ausbeuten erhöhen, den Rohstoff- und Energiebedarf reduzieren sowie die Entstehung nicht erwünschter Nebenprodukte und Emissionen minimieren.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass biotechnische Verfahren einen wichtigen Beitrag im Sinne eines produktionsintegrierten Umweltschutzes, zur Erhöhung von Arbeitsschutz und Anlagensicherheit und damit zur Risikominderung leisten können sollten.

Auf der 34. Sitzung der Störfallkommission (SFK) am 06./07. Juni 2000 wurde auf Anregung von Herrn MDgt. Dr. Sauer als Vertreters des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) der Beschluss herbeigeführt, gutachterlich zu ermitteln, ob Substitutionspotenziale bei chemischen Verfahrenstechniken bestehen und ob durch bio-/gentechnische Verfahren ggfs. Hochtemperatur- und/oder Hochdruckverfahren in vglw. „sanftere“ Bereiche von <20 bar und <120°C herunterskaliert werden

¹ K. Hungerbühler, J. Ranke und T. Mettier: Chemische Produkte und Prozesse, Grundkonzepte zum umweltorientierten Design. Springer Verlag Heidelberg, 1999

können. Durch den Vertreter des Umweltbundesamts (UBA) in der SFK hat sich das UBA bereit erklärt, ein entsprechendes Gutachten in Auftrag zu geben und Inhalt und Aussagen dieses Gutachtens mit Sachverständigen aus Industrie, Politik und Wissenschaft auf einem Statusseminar zu diskutieren. Dieses Seminar fand am 15. November 2001 im UBA in Berlin statt.

Der vorliegende Text dokumentiert die Diskussion auf dem Statusseminar.

Dr. Martin Mieschendahl
UBA, Berlin

MDgt. Dr. Gustav W. Sauer
MUNF, Kiel

Berlin, Kiel, im März 2002

Inhaltsverzeichnis

1	Programm.....	1
2	Biotechnologie und industrielle Produktion: Aktivitäten des Umweltbundesamtes.....	3
3	Biotechnologie und industrielle Produktion: Nationale und internationale Aktivitäten.....	7
4	Substitutionspotenziale chemischer Verfahrenstechniken durch bio-/gentechnische Verfahren zur Risikovorsorge: Das Gutachten.....	15
5	Dokumentation der Diskussion.....	31
	a: Meinungen/Stellungnahmen zum Gutachten.....	31
	b: Potenziale der Biotechnik zur Minderung eines Störfallrisikos.....	35
	c: Bedeutung der Biotechnik für den Arbeitsschutz.....	37
	d: Bedarf an Anreizen/Reglementierungen zur Durchsetzung risikomindernder, biotechnischer Alternativen.....	41
6	Fazit.....	47
7	Conclusions.....	51
8	Teilnehmerliste.....	54

1 Programm

Substitutionspotenziale chemischer Verfahrenstechniken durch bio-/gentechnische Verfahren zur Risikovorsorge

Statusseminar im Umweltbundesamt am 15.11.2001

Dienstgebäude Berlin-Grünwald, Bismarckplatz 1, Raum 1134

Gesprächsleitung: Dr. Martin Mieschendorf, Umweltbundesamt, Berlin

10.30 Uhr **Begrüßung**

Frau BDirin Jutta Penning, Umweltbundesamt, Berlin

10.40 Uhr **Biotechnologie und industrielle Produktion: Aktivitäten des Umweltbundesamtes**

Dr. Wolfgang Dubbert, Umweltbundesamt, Berlin

11.00 Uhr **Biotechnologie und industrielle Produktion: Nationale und internationale Aktivitäten**

Oliver Wolf, Institute for Protective Technological Studies (IPTS) of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission, Sevilla, Spanien

Kaffeepause

Gesprächsleitung: MDgt. Dr. Gustav W. Sauer, Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten, Kiel

11.45 Uhr **Substitutionspotenziale chemischer Verfahrenstechniken durch bio-/gentechnische Verfahren zur Risikovorsorge: Das Gutachten**

Dr. Hans-Bernhard Rhein, Umweltkanzlei Dr. Rhein, Sarstedt, unter Mitarbeit der Texys GmbH, Hannover

12.15 Uhr **Diskussion**

a: **Meinungen/Stellungnahmen zum Gutachten**

b: **Potenziale der Biotechnik zur Minderung eines Störfallrisikos**

Mittagspause

14.00 Uhr c: **Bedeutung der Biotechnik für den Arbeitsschutz**

d: **Bedarf an Anreizen/Reglementierungen zur Durchsetzung risikomindernder, biotechnischer Alternativen**

ca. 16.00 Uhr **Schlusswort**

2 Biotechnologie und industrielle Produktion: Aktivitäten des Umweltbundesamtes

Dr. Wolfgang Dubbert

Umweltbundesamt

Der Arbeitsschwerpunkt „Biotechnologie“ im Fachbereich III des Umweltbundesamtes (UBA) hat laut Geschäftsverteilungsplan zwei zentrale Aufgaben:

- Übergreifende Angelegenheiten biotechnologischer Verfahren und Produkte im Bereich des integrierten Umweltschutzes und
- Die Entwicklung von Methoden und Kriterien zur Bewertung biotechnologischer Verfahren und Produkte.

Daraus erwachsen folgende Tätigkeitsfelder:

- Das Sammeln von wesentlichen Basisdaten aus biotechnologischen Produktionsprozessen als Grundlage für die Bewertung biotechnischer Produktionsprozesse und die Ermittlung von Substitutionspotenzialen.
- Die Initiierung und Auswertung von Forschungsvorhaben und Gutachten. Die Förderung der erstmaligen Anwendung biotechnischer Verfahren. Dieses dient dazu, die Möglichkeit der Biotechnologie zur Substitution chemischer Verfahren oder Verfahrensschritte zu demonstrieren.
- Die Information der Öffentlichkeit und möglicher Anwender. Hierdurch soll der Mangel an Wissen als Hinderungsgrund für die Einführung umweltfreundlicher Verfahren behoben und die Erhöhung der Akzeptanz in der Öffentlichkeit durch geeignete Information unterstützt werden. Dazu dienen die regelmäßigen Veröffentlichungen der in Auftrag des UBA durchgeführten Studien. Neu hinzugekommen ist das Internet-Informationssystem „Cleaner Production Germany“.

Die im Rahmen des Umweltforschungsplanes (kurz UFOPLAN) durchgeführten und laufenden Forschungsvorhaben werden im Folgenden kurz vorgestellt:

- Das Vorhaben mit dem Titel „Substitution chemisch-technischer Prozesse durch biotechnische Verfahren am Beispiel ausgewählter Grund- und Feinchemikalien“ wurde im Dezember vergangenen Jahres abgeschlossen. Das Vorhaben wurde von der Prognos AG Basel bearbeitet und diente als Grundlage für das in diesem Statusseminar zu besprechende Gutachten. Mit diesem Vorhaben sollte beispielhaft untersucht werden, ob und inwieweit biotechnische Verfahren die traditionellen chemisch-technischen Verfahren, insbesondere zur Herstellung chlororganischer und sauerstoffhaltiger Grund- und Feinchemikalien ablösen können. Insgesamt wurden 54 in den Untersuchungsbereich fallende Stoffe ermittelt; 23 Stoffe wurden ausgewählt, bei denen das chemisch-technische Herstellungsverfahren Umweltbelastungen und die biotechnische Alternative im Vergleich dazu Umweltentlastungspotenziale mit sich bringen könnten. Eine vertiefende Darstellung verfahrenstechnischer, ökonomischer, ökologischer und rechtlicher Aspekte wurde anhand von vier Fallbeispielen vorgenommen: Diese betrafen die Herstellung von Aceton/Butanol, 1,3-Propandiol, Vitamin C und Adipinsäure. Insgesamt lassen die Ergebnisse der Studie erkennen, dass mittelfristig nicht mit einer verbreiteten Anwendung der Biotechnologie zur Herstellung von Grundchemikalien zu rechnen ist. Die Domäne biotechnischer Verfahren ist vielmehr im Bereich der Feinchemikalien zu suchen. Veröffentlicht wurden die Ergebnisse der Studie in der Reihe der „UBA-Texte“ im Band 16/01.
- Das Vorhaben mit dem Titel „Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Polymeren aus Reststoffen“ wird aktuell vom Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung in Karlsruhe bearbeitet. In der Studie soll der Frage nachgegangen werden, ob und inwieweit organische Abfälle aus unterschiedlichen Industriezweigen fossile Rohstoffe ersetzen können. Dabei sollen die ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile dargestellt werden. Abgeschlossen wird das Vorhaben voraussichtlich im Februar kommenden Jahres. In dem Vorhaben mit dem Titel „Implementationsstudie zur biotechnologischen Produktion von Biopolymeren“ soll die Produktion von

Biopolymeren anhand virtueller Prozesse und Prozessketten auf der Basis von Ergebnissen aus Laborstudien im Computer simuliert und damit die Machbarkeit demonstriert werden. Gegenstand des von der Arnold-Sommerfeld-Gesellschaft in Leipzig untersuchten biotechnischen Produktionsprozesses ist die Synthese des Polymers Polyhydroxybuttersäure aus Biogas als Kohlenstoffquelle-Quelle für methanotrophe Bakterien. Das Biogas entstammt der Fermentation von organischen Abfällen oder Klärschlamm. Speziell berücksichtigt werden sollen ökologische und auch ökonomische Gesichtspunkte. Auch dieses Vorhaben wird Anfang kommenden Jahres abgeschlossen.

- Seit Juni diesen Jahrs wird das Vorhaben mit dem Titel „Untersuchung zur Anpassung von Ökobilanzen an spezifische Erfordernisse biotechnischer Prozesse und Produkte“ mit einer einjährigen Laufzeit gefördert. Durchgeführt wird es von der Gesellschaft für Consulting und Analytik im Umweltbereich (C.A.U.) in Dreieich. Mit Hilfe der Methode der Ökobilanz kann die Umweltverträglichkeit von Produktionsprozessen und –verfahren ermittelt werden. Die Ökobilanz ist ein inzwischen international normiertes Verfahren (ISO-Normen 14040ff) zur Erfassung und Beurteilung umweltrelevanter Sachverhalte. Im Rahmen des Projektes soll geprüft werden, ob und wie Ökobilanzen für biotechnische Prozesse und Produkte auf der Ebene der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung anzupassen sind.

Im Folgenden werden zwei Fördermöglichkeiten vorstellen:

- Die klassische Forschungsförderung für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben läuft über den Umweltforschungsplan, kurz UFOPLAN. Dieser wird jährlich gemeinsam vom UBA und vom Bundesumweltministerium aufgestellt. Gefördert wird hierbei die sog. Ressortforschung, die darauf gerichtet ist, Entscheidungshilfen zur sachgerechten Erfüllung der Fachaufgaben eines Bundesressorts zu gewinnen. Für Vorhaben im Rahmen des UFOPLANs stehen jährlich ca. 40 Millionen DM für etwa 200 Neuvorhaben und laufende Vorhaben zur Verfügung. Die Vorhaben werden teils vom UBA initiiert, teils von außen angeregt. Für das Projektmanagement des Programms des Bundesumweltministeriums zur „Förderung von Investitionen zur Verminderung von Umweltbelastungen“ ist das UBA

zuständig. Die Finanzierung von Projekten erfolgt im Regelfall in Form einer Gewährung eines Zinszuschusses. In Ausnahmefällen können Investitionszuschüsse gewährt werden. Über Form und Umfang der Förderung im Einzelfall entscheidet das BMU. Für das Jahr 2001 standen Mittel in Höhe von ungefähr 38 Millionen DM zur Verfügung, für 2002 werden es ca. 30 Millionen DM sein. Das Investitionsprogramm hat die Förderung von Anlagen- und Verfahrenstechniken zum Ziel, die deutlich über den gesetzlichen bzw. behördlich vorgeschriebenen Rahmen hinausgehen und zur Verminderung von Umweltbelastungen führen. Es werden Demonstrationsprojekte im großtechnischen Maßstab gefördert, die erstmalig in Deutschland durchgeführt werden, innovativ sind und den Stand der Technik fortschreiben. Das Investitionsprogramm fördert Maßnahmen in folgenden Bereichen:

- modellhafte Umweltschutzanlagen. Dazu gehören Entsorgungs-, Versorgungs- und Behandlungsanlagen,
- umweltschonende Produktionsverfahren und
- Anlagen zur Herstellung umweltverträglicher Produkte und neuartiger Verfahrenskombinationen.

3 Biotechnologie und industrielle Produktion: Nationale und internationale Aktivitäten

Oliver Wolf

Europäische Kommission, JRC-IPTS, Sevilla

Der Vortrag beschränkt sich im wesentlichen auf die internationalen Aktivitäten im Bereich Biotechnologie und industrielle Produktion, da die deutschen Aktivitäten den Teilnehmern des Statusseminars am Umweltbundesamt bekannt vorausgesetzt werden können.

Aktivitäten auf der Ebene der Europäischen Kommission

Abhängig von der betrachteten Ebene im hierarchischen Aufbau der Forschung in der Europäischen Kommission fällt die Fokussierung auf industrielle Biotechnologie unterschiedlich deutlich und detailliert aus. Beim Blick auf den Europäischen Forschungsraum (EFR) findet sich kein spezifischer Hinweis auf dieses Thema (Abb. 1). Das liegt



Abbildung 1

jedoch an der definitorischen Charakteristik des EFR-Konzepts: Es werden Regeln und Kriterien für die einzelnen Forschungsrahmenprogramme definiert (derzeit für das sechste Rahmenprogramm FP6), in welchen wiederum spezifische Forschungsschwerpunkte thematisiert werden.

Das sechste Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Kommission geht selbst bis auf wenige Ausnahmen nicht auf Details einzelner Forschungsthemen ein, sondern gibt für acht "thematische Prioritäten" einen groben Rahmen vor, dessen Ausgestaltung durch die zuständigen Experten in der Generaldirektion Forschung vorgenommen wird. Hier hat das Thema der

industriellen Biotechnologie seinen Platz in der Priorität "Nanotechnologien, intelligente Werkstoffe, neue Produktionsverfahren". Der Unterpunkt "Nanobiotechnologie" enthält als eine präzise Vorgabe für künftige Forschung das Thema "Bioprocessing". Da das FP6 aber gerade erst anläuft, sind Forschungsaktivitäten und Forschungsschwerpunkte hier erst in der mittelfristigen Zukunft zu erwarten.

Von besonderem Interesse ist ein Konsultationspapier, in welchem die Generaldirektion Forschung mit interessierten Gruppen in Europa in Dialog tritt (Abb. 2). In diesem Papier¹, welches die Europäischen Forschungsleitlinien in den kommenden 10 Jahren mitgestalten soll, eruiert die Europäische Kommission, was die derzeit wichtigen Fragen in der Biotechnologie sind, und in welchen Bereichen externe Experten Zukunftspotenziale vermuten. Die Frage der industriellen Biotechnologie wird explizit diskutiert, und es steht zu erwarten, dass die Forschung in diesem Bereich stärker als in der Vergangenheit in den Vordergrund tritt.

Forschung am IPTS

Das Institute for Prospective Technological Studies (IPTS) ist als Teil der Gemeinsamen Forschungsstelle (Joint Research Centre (JRC)) eines von sieben Forschungsinstituten, die den einzelnen Generaldirektionen der Europäischen Kommission zuarbeiten (Abb. 3). Der Fokus des IPTS liegt dabei auf vorausschauender Technologiebewertung,



Abbildung 2

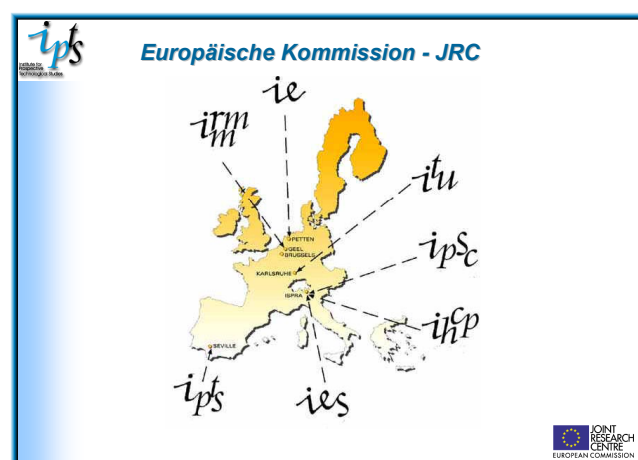


Abbildung 3

¹ Im Internet zugänglich unter der Adresse http://europa.eu.int/comm/biotechnology/introduction_de.html

und in diesem Rahmen wird seit fünf Jahren das Projekt “Modern Biotechnology and the Greening of Industry” durchgeführt (Abb. 4). Die Aktivität, die aus mehreren aufeinander aufbauenden Einzelstudien besteht, startete im Jahr 1997 mit einem allgemeinen Überblick über den Stand biokatalytischer Verfahren in Europa² (Abb. 5). Wichtige Ergebnisse waren einerseits, dass diese Prozesse hauptsächlich in den Sektoren Pharma, Chemie, Nahrungsmittel/Futtermittel, Textilien sowie Papierherstellung eingesetzt werden. Andererseits zeigte sich ein substantielles Ungleichgewicht zwischen dem wissenschaftlichen Output und der industriellen Anwendung zwischen Europa und den USA (Abb. 6). Während die wissenschaftlichen Ergebnisse, quantitativ gemessen in Publikationen, in Europa vergleichbar oder sogar ein wenig mehr als in Nordamerika sind, hinkt die Anzahl der Patentanmeldungen deutlich hinterher. Bezogen auf die Patentanmeldungen gilt das Gleiche für den Vergleich mit Japan. Demgegenüber haben sich die Weltmarktführer in der Enzymproduktion in Europa angesiedelt, was wiederum das hohe Niveau der Forschung auf diesem Gebiet widerspiegelt.

Die Folgestudie aus dem Jahr 2000 befasst sich mit den wichtigsten Einflussfaktoren, die die Einführung biokatalytischer Verfahren in die Industrie begünstigen oder behindern³. Im Ergebnis dieser Studie werden drei Hauptgruppen von Argumenten/Faktoren benannt, welche je nach Ausprägung einen positiven oder negativen Einfluss ausüben:

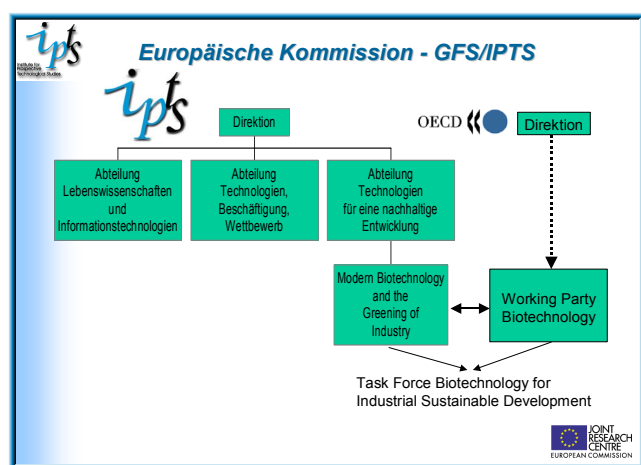


Abbildung 4

² Biocatalysis: State of the Art in Europe, EC/IPTS, Sevilla 1998. Zum freien Download unter <http://www.jrc.es/cfapp/reports/details.cfm?ID=17>

³ The Uptake of Process-integrated Biocatalysts in Companies, EC/IPTS, Sevilla 2000. Zum freien Download unter <http://www.jrc.es/cfapp/reports/details.cfm?ID=326>

- Informiertheit (Awareness)
- Wahrnehmung der Kosten-Nutzen Relation
- (Un)Fähigkeit, Rückschlüsse zu verarbeiten und eine tragfähige Lösung zu erarbeiten

Zwischen diesen Gruppen gibt es Überschneidungen, und es lässt sich eine Grundstruktur

einiger zentraler Elemente identifizieren. Dazu gehört der Grad der Qualifikation der Mitarbeiter, der Bekanntheitsgrad biokatalytischer Prozess im Unternehmen, der Grad der Innovationsneigung, der Handlungsdruck bezüglich der Umweltsituation des Unternehmens. Es existieren aber auch Faktoren, welche für diese Prozesse spezifisch sind: Vor allem ist es für Unternehmen schwer, das langfristige Kosten-Nutzen Verhältnis zu überblicken. Dieser Punkt wiegt besonders schwer, da derzeit keine standardisierten Bezugsrahmen existieren, innerhalb derer konventionelle und biokatalytische Prozesse verglichen werden können. Dazu kommt die Tatsache, dass abgeschriebene Altanlagen vorerst weiterbetrieben werden und einer Innovation generell im Wege stehen.

In der dritten Studie dieses Projektes, "The Impact of Technology/Environmental Policies on the Use of Biocatalysts in Production Processes", wurden staatliche Initiativen in vier Europäischen Ländern (England, Holland, Frankreich, Deutschland) daraufhin untersucht, inwieweit sie explizit die Einführung biokatalytischer Prozesse unterstützen, und wie effizient sie gemäß ihrer eigenen Zielsetzung sind. Es zeigt sich, dass derzeit kaum ein relevanter gesetzlicher Rahmen mit direktem Einfluss auf integrierte Biotechnologien existiert. Sehr wohl gibt es hingegen einen indirekten Einfluss durch die bestehende Umweltgesetzgebung sowie durch Biotechnologieförderprogramme. Hier sind z.B. die Deutschen Initiativen BioChance und BioFutur zu nennen, sowie in letzter Zeit das Förderprogramm "Nachhaltige

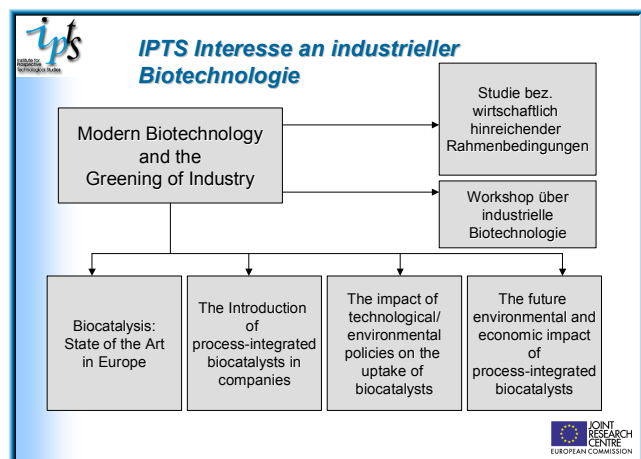


Abbildung 5

Bioproduktion" des BMBF und der Förderschwerpunkt "Einsatz biotechnologischer Verfahren und Produkte im Sinne eines produkt- bzw. produktionsintegrierten Umweltschutzes in ausgewählten Industriebranchen" an der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

Einzelne Initiativen mit

speziellem Fokus auf Biokatalyse wie LINK (England) oder IOP (Niederlande) zielen auf Fragen der Grundlagenforschung.

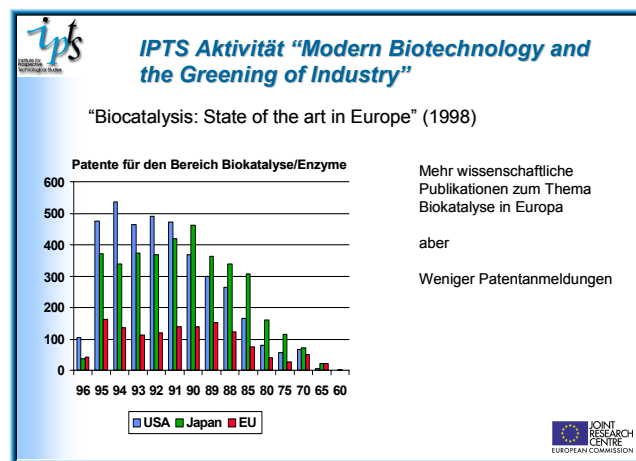


Abbildung 6

Gegenwärtig führt das IPTS eine Studie zur Abschätzung des zukünftigen Potenzials der industriellen Biotechnologie durch: "The assessment of future environmental and economic impacts of process-integrated biocatalysts". Das Ziel der Studie, deren Endbericht im Dezember 2001 erwartet wird, ist die Abschätzung des maximalen Umweltentlastungspotenzials für verschiedene industrielle Sektoren durch den Einsatz biotechnologischer Verfahren. Durch die Identifikation verschiedener Handlungsoptionen für Entscheidungsträger in Industrie und Politik sollen differenzierte Entwicklungspfade für die einzelnen Sektoren aufgezeigt werden.

Ein für das Jahr 2002 geplanter Workshop zur Evaluierung der bisherigen Forschungsergebnisse, sowie eine weitere Studie bezüglich der notwendigen einzelwirtschaftlichen Bedingungen für die Einführung biotechnologischer Prozesse in die Industrie werden weiteren Aufschluss über industrielle Biotechnologie in Europa bringen.

Forschung an der OECD

Eng verzahnt mit den Aktivitäten des IPTS ist die Behandlung des Themas industrieller Biotechnologie an der OECD. Die OECD betreibt eine Task Force "Biotechnology for Sustainable Industrial Development", die sich explizit mit Fragen der Einführung prozess-integrierter biotechnologischer Verfahren be-

fasst. Diese Task Force wird von Kanada geleitet, mit der Unterstützung der „Vice Chairs“ England, Deutschland, USA und Europäische Kommission/IPTS. Darüber hinaus sind rund 20 weitere Länder in der Task Force aktiv.

Nachdem die OECD das Thema Umweltbiotechnologie bereits in früheren Veröffentlichungen behandelt hat, ist in der neuesten Publikation „The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability“ erstmals die integrierte Biotechnologie der ausschließliche Gegenstand der Betrachtung⁴. Hauptfragestellungen sind dabei

- Wie weit sind biotechnologische Prozesse tatsächlich verbreitet?
- Welche Sektoren benutzen biotechnologische Prozesse?
- Sind diese Prozesse ökonomisch vorteilhaft?
- Wie ist die Umweltauswirkung?

In zweijähriger Tätigkeit gelang es, 21 Fallstudien aus acht Sektoren und acht Ländern zu erarbeiten und auszuwerten. Dabei wurden sowohl Informationen bezüglich der Umweltauswirkung als auch ökonomische Daten ausgewertet, soweit sie vorhanden waren. Eine unkomplette Datenlage war dabei kein Ausschlusskriterium, da eine annähernde Beantwortung obiger Fragen höher bewertet wurde als Vollständigkeit. Als ein Erfolg wurde von der Task Force bereits die Anzahl der gesammelten Fallstudien gewertet. Das in der Diskussion bis heute vorgebrachte Argument, dass substanzielle industrielle Produktion mit biotechnologischen Verfahren sich nicht durchsetzen kann, findet hier erstmals eine gut dokumentierte breite Widerlegung in der Praxis.

Die vergleichende Analyse der einzelnen Fallbeispiele zeigt eine Reihe von positiven Resultaten:

- In allen betrachteten Fällen wurde die negative Umweltauswirkung reduziert

⁴ Biotechnology for a Clean Environment: Prevention, Detection, Remediation, OECD, Paris 1994/ Biotechnology for Clean Industrial Products and Processes, OECD, Paris 1999/ The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability, OECD, Paris 2001.

- Die Entwicklungszeiten verkürzen sich bei Folgeentwicklungen von biotechnologischen Prozessen
- Für die Implementierung biotechnologischer Prozesse sind ökonomische Vorteile ausschlaggebend – tatsächlich konnten in den meisten Fällen die Kosten signifikant reduziert werden.

Dem stehen einige Resultate der Studie gegenüber, die weiteren Handlungsbedarf implizieren:

- Biotechnologische Produktionsprozesse werden nicht zielgerichtet hinsichtlich ihres Substitutionspotenzials untersucht – Prozesseinführungen sind meistens das Resultat isolierter Initiativen innerhalb der Unternehmen
- Die Wissensbasis bezüglich biotechnologischer Prozesse in Unternehmen ist nach wie vor ungenügend - Kommunikation und Ausbildung sind notwendig
- Es existiert keine standardisierte Bewertungsmethodologie (LCA), die den Vergleich konventioneller und biotechnologischer Produktionsprozesse ermöglicht – die Entwicklung neuer Methoden in diesem Bereich ist notwendig.

Angesichts dieser Ergebnisse hat die Working Party Biotechnology der OECD im November 2001 beschlossen, das Mandat der Task Force “Biotechnology for Sustainable Industrial Development” zu verlängern. Daher ist von dieser Aktivität, insbesondere im Zusammenspiel mit der Forschung in der Europäischen Kommission, eine Behandlung obiger Fragestellungen in der nahen Zukunft zu erwarten.

4 Substitutionspotenziale chemischer Verfahrenstechniken durch bio-/gentechnische Verfahren zur Risikovorsorge: Das Gutachten

Dr. Hans-Bernhard Rhein

Umweltkanzlei Dr. Rhein, Sarstedt

Im Folgenden sollen die Ergebnisse des vom Umweltbundesamt beauftragten Gutachtens vorgestellt werden.

Die Erarbeitung des Gutachten erfolgte in Zusammenarbeit mit der Firma Texys GmbH, die hier heute von Herrn Dr. rer. nat. Ulber vertreten wird. Die Fa. Texys ist aus Mitarbeitern des Instituts für Technische Chemie an der Universität Hannover hervorgegangen, in dessen Forschungsaufgaben zur Biotechnologie die am Gutachten Beteiligten nach wie vor eingebunden sind. Die Fa. Texys befasst sich schwerpunktmäßig mit Fragen der Biosensorik und Prozessregelung.

Aus der von mir 1998 gegründeten Umweltkanzlei Dr. Rhein darf ich Ihnen ferner Frau Dipl.-Ing. Katzer vorstellen, die maßgeblich am Gutachten mitgearbeitet hat und unter anderem die Interviews mit der Industrie führte. Bereits seit meiner früheren Tätigkeit bei der DEKRA Umwelt GmbH u.a. als Sachverständiger nach § 29a BImSchG bin ich z.B. mit Fragen der Sicherheitsanalysen von Störfallanlagen beschäftigt. Fragen der Anlagensicherheit sind immer noch aktuelles Thema unseres Arbeitsbereiches.

Eine Veranlassung zur Erstellung unseres Gutachtens war unter anderem die Studie der Prognos AG¹, in der untersucht wurde, welche Umweltvorteile die Biotechnologie gegenüber herkömmlichen, klassischen chemischen Produktionsverfahren auszeichnet (Abb. 1). Dabei standen Nachhaltigkeitsaspekte im Vordergrund. Die Studie spricht zwar Kriterien der Gefahrstoffrisiken/Störfallrisiken an, systematisiert diese aber nicht weiter. Angesichts der Frage „Gibt es zusätzliche Argumente für

¹ A. Brellochs, A. Schmolke, H. Wolff, K. Kämpf (Prognos AG, Basel): Substitution chemisch-technischer Prozesse durch biotechnische Verfahren am Beispiel ausgewählter Grund- und Feinchemikalien. Umweltbundesamt TEXTE 16/01.

Verfahrens-Substitutionen aus dem Bereich der Risikovorsorge?“ wurde dieses Projekt hier angeschlossen.



Abb. 1

Deutlich differenziertere und eindeutige Ergebnisse einer Substitutionspotenzialbetrachtung erhalten wir, wie wir sehen werden, im Bereich kleinräumiger Anlagenrisiken.

Betrachten wir zunächst **die risikoprägenden Elemente klassischer und biotechnischer Verfahren**.

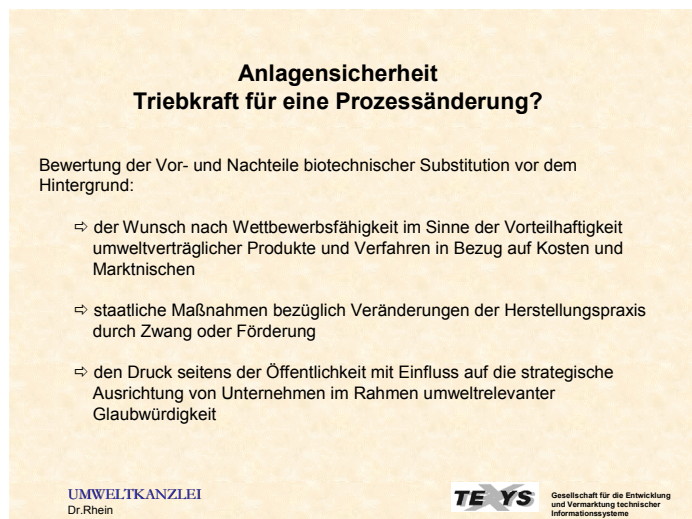
Wenn Risikovorsorge klassischer Chemieverfahren betrachtet wird, dann ist davon auszugehen, dass diese in der Regel dann ein Störfallpotenzial im Sinne der Störfallverordnung aufweisen, wenn es sich um größere Anlageneinheiten und/oder besonders gefährliche Stoffe handelt. So gesehen gibt es eine ganze Reihe von Störfallanlagen. Ihre Anzahl hängt natürlich von der Störfall-Definitionsschwelle ab, welche in der Störfallverordnung geregelt ist. Unabhängig von der reinen Menge eines Störfallstoffes haben wir es aber im klassischen Verfahren häufig mit hohen Drucken und Temperaturen zu tun, Freisetzungs-Parametern also, die es immer wieder unter Kontrolle zu halten gilt, auch wenn bewährte Techniken das daraus resultierende Gefahrenpotenzial beherrschbar erscheinen lassen. Für die Gefahrenschwellen der Störfallverordnung spielen die Betriebszustände hingegen keine Rolle.

Schließlich ist es eine Eigenart der Chemie, dass häufig gerade solche Verbindungen aufgrund ihrer Reaktivität gerne umgesetzt werden, die sicherheitstechnisch besonders anspruchsvoll sind, wie Phosgen, Chlor und ähnliche

Hierbei wurde der Risikobegriff vor allem auf die Störfallpotenziale im Sinne der Störfallverordnung fokussiert. Das war eine ganz entscheidende Vorgabe für das Gutachten, da hiermit zugleich der Betrachtungshorizont auf besonders hohe Risikofolgen einer „ernsten Gefahr“ für die Umgebung abgestellt wurde.

Edukte. Diese lassen sich sehr universell als Schlüsselkomponenten einsetzen, aber sie sind nicht unbedingt die, die man sich risikopräventiv wünschen möchte. Und schließlich haben wir bei der Risikovorsorge Nebenreaktionen und Nebenprodukte zu beachten und auch Aufarbeitungstechniken, die klassisch meist im Bereich der organischen Lösungsmittel angesiedelt sind und damit z.B. das Risiko-Problem des Exschutzes aufwerfen.

Auf der anderen Seite stehen die biotechnischen Verfahren, die eher durch kleinere, parallelbetriebene Anlageneinheiten gekennzeichnet sind, die im Allgemeinen mildere Reaktionsbedingungen aufweisen, beispielsweise im Bereich von Raumtemperaturen oder kurz darüber, und die aufgrund der eingesetzten



Mikroorganismen eine im Allgemeinen geringere Human- und Öko-Toxizität erfordern und aufweisen. Schließlich sind biotechnische Verfahren in der Regel durch eine hohe Spezifität und hohe Selektivität gekennzeichnet; die natürlichen Reaktionsvorgänge arbeiten eben im Allgemeinen als Evolutionsergebnis effektiver als

Abb. 2
künstliche Prozesse! So ist die Biotechnik ein häufig zitiertes Beispiel dafür, wie man durch Nachbildung natürlicher Prozesse Ressourcen schont und die Effektivität einer Reaktion erhöhen kann. Dies ist im klassisch-chemischen Bereich so oft gar nicht möglich, man vergleiche etwa die Herstellung von optisch aktiven Verbindungen.

Biotechnische Verfahren vollziehen sich aber, Vorteil und Nachteil zugleich, in wässrigen Systemen. So haben wir zwar keine organischen Lösemittel, aber in der Regel eine aufwändigere Aufarbeitung oder zumindest eine, auf die die chemische Industrie heute so gar nicht eingestellt ist. Natürlich gibt es auch die Bildung von Gefahrstoffen, zum Beispiel Wasserstoff, in biotechnischen Verfahren, wenn auch in ganz anderen, in der Regel nicht gefahrgeneigten Konzentrationen. Wenn also an Exschutz gedacht wird, muss man sagen, dass es nicht immer nur ein sicherheitstechnisches Plus auf Seiten der Biotechnologie gibt, zumindest ist eine

Gefahr nicht a priori zu verneinen. Aspekte der biologischen Sicherheit waren zudem nicht Gegenstand der Betrachtung.

Was sind **die vorrangigen Triebkräfte** für eine Verfahrenssubstitution (Abb. 2)? Sind dies Wettbewerbsfähigkeit, staatliche Maßnahmen oder Druck seitens der Öffentlichkeit, und welchen Stellenwert nimmt die Risikovorsorge bei diesen Triebkräften ein?

Wettbewerbsvorteile ergeben sich unter anderem durch eine gezieltere, effektivere

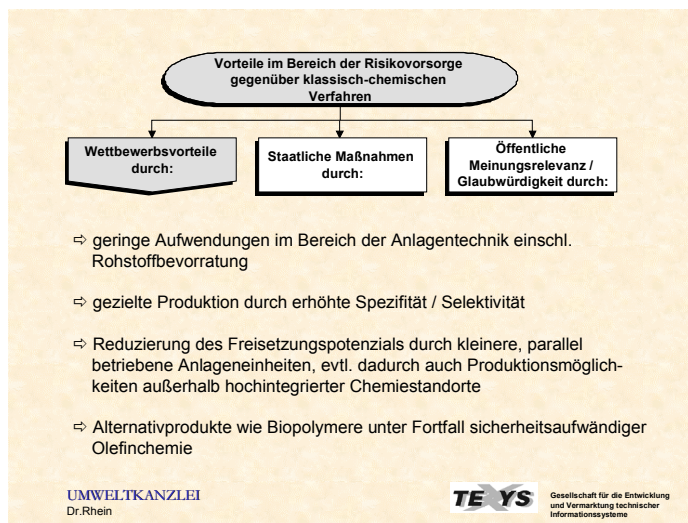


Abb. 3

Produktion, aber auch durch geringere Aufwendungen für die Prozess-Anlagen selbst sowie für die eingesetzte Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR), gerade auch für Maßnahmen zur Vorsorge und Reduzierung des Freisetzungspotenzials gefährlicher Stoffe (Abb. 3). Wettbewerbsvorteile ergeben sich schließlich nicht allein aufgrund

einer Substitution möglicher Verfahrensalternativen oder Teilschritte, sondern auch durch die Substitution von Endprodukten. Ein Beispiel ist der Einsatz von Biopolymeren als Ersatz für Olefinchemie-Produkte.

Bei **staatlichen Maßnahmen** als Triebkraft einer Verfahrensumstellung sind unter anderem Vereinfachungen von Genehmigungsverfahren, verringerte Anforderungen an Prüfung und Überwachung von Anlagen, eventuell Fördermöglichkeiten bei Anlagen mit geringem Risiko zu nennen (Abb. 4). Aber auch die Harmonisierung der unterschiedlichen gesetzlichen Anforderungen und Regelwerke.

Wenn Sie im Bereich Arbeitssicherheit tätig sind, so wissen Sie, dass wir uns zuweilen in einem Spannungsfeld zwischen der „raumgreifenden“ Anlagensicherheit (Nachbarschaftsschutz, Risikoausbreitung, Störfallverordnung) und dem unmittelbaren Arbeitnehmerschutz befinden. Typisch hierfür sind die bis heute

geführten Auseinandersetzungen um die in der TRGS 300² niedergelegten Regelungen zur Bewertung von Anlagensicherheiten aus Sicht des unmittelbaren Umgebungs-/Arbeitsplatzschutzes und ihre Konsequenzen für die „Störfallsicherheit“.

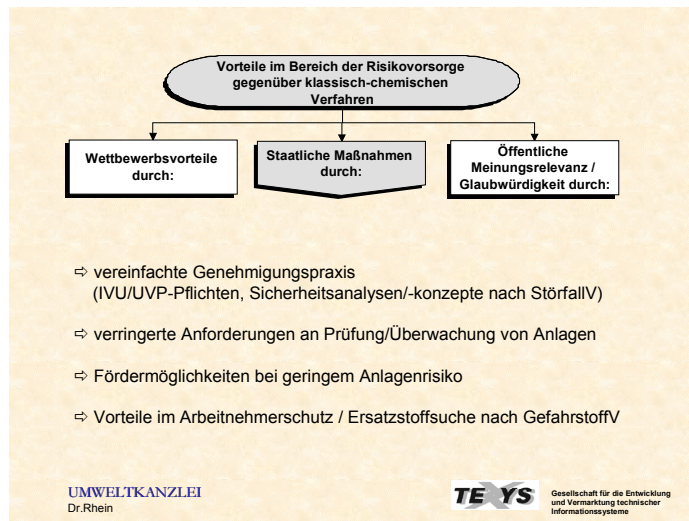


Abb. 4

in den Betrieben an ganz anderer Stelle geregelt, manchmal eher als „Öffentlichkeitsarbeit“ weniger als „Betriebsratsarbeit“ verstanden, was wiederum zu gegenseitigem Unverständnis bei sicherheitstechnischen Vorgaben führt. Diesen unverständlichen Konflikt kenne ich noch aus meiner Prüfungstätigkeit und es ist immer wieder ein Thema gewesen, Störfall- und Arbeitssicherheitsmaßnahmen aufeinander abzustimmen. Vielleicht ist auch dieses Gutachten ein Beitrag, hier eine Verbindung herzustellen, da es bei der Verfahrenssubstitution durch Biotechnik nicht



Abb. 5

Triebkraft einer Verfahrensumstellung zur Risikovorsorge resultiert nicht

nur um Ersatz oder Reduzierung von Störfallstoffen, sondern auch um veränderte Prozessbedingungen geht, deren sichere Betriebsweise ansonsten erst durch Sicherheitsbetrachtungen nachgewiesen werden muss. „Potenzial“ erhält hierdurch eine viel weitere Bedeutung.

Die **öffentliche Meinung** als

² TRGS: Technische Regeln für Gefahrstoffe „Sicherheitstechnik“

unwesentlich aus (insgesamt) verminderten Schadensfällen, verringerten Anforderungen an Überwachungsaufgaben und Erfolgen im Arbeitnehmerschutz (Abb. 5).

Soweit zu den betrachteten Rahmenbedingungen des Gutachtens.

Bei der Ermittlung eines Substitutionspotenzials zur Risikovorsorge wählten wir in unserem **Gutachten folgende Vorgehensweise:**

Wir gingen zunächst aus von einem Pool von substitutionsrelevanten Verfahren, die wir aus der Literatur und aus der Studie der Prognos AG entnommen haben (Abb. 6). Diese haben wir um verfahrenstechnische Entwicklungen ergänzt, die aufgrund aktueller Forschung und Entwicklung sich als substitutionsrelevant darstellen, beispielsweise bestimmten Verfahrensentwicklungen der Biokatalyse. Diese Prozesse haben wir näher betrachtet und 41 relevante **Produkte** identifiziert, für die klassisch-chemische und biotechnische Verfahren verfügbar sind. Dabei ließen wir eine Reihe von Lebensmittelproduktionsverfahren außer Betracht, die keine gefährlichen Stoffe als Risikoträger erkennen lassen, insbesondere weil in den dortigen Produktionsverfahren die Störfallstoffe, die wir identifiziert hatten, in der Regel nicht vorkommen. Für die 41 relevanten Produkte konnten wir ebenso viele biotechnische Verfahrensweisen zur Herstellung dieser Produkte identifizieren, denen aber 62 klassisch-chemische Verfahren gegenüberstanden, die industrielle Anwendung finden. Alle diese Verfahren sind in dem Anhang A und B des Gutachtens explizit aufgelistet.

Vorgehensweise zur Ermittlung von Substitutionspotenzialen

① Auswahl biotechnischer Produktionsverfahren mit grundsätzlicher Bedeutung und Ermittlung der entsprechenden klassisch-chemischen Prozesse identischer Produkte

41 relevante Produkte
(betrachtet: 41 Biotech-Produktionsverfahren und 62 klassisch-chemische Verfahren ⇒ Anhang A und B des Gutachtens)

② Ermittlung von Störfällen in den klassisch-chemischen Verfahrensvarianten über Identifizierung der R-Sätze nach GefahrstoffV und Bestimmung der Anzahl prozess-beteiligter Störfallstoffe

30 Produkte mit beteiligten Störfallstoffen im klassisch-chemischen Herstellungsprozess ⇒ Anhang D des Gutachtens

UMWELTKANZLEI
Dr. Rhein

TEYS
Gesellschaft für die Entwicklung
und Vermarktung technischer
Informationssysteme

Abb. 6

(Produktions-)Anlage als Einstiegskriterium einer Störfallrelevanz. Dies

Im nächsten Schritt war es nicht einfach zu ermitteln, welche klassisch-chemischen Verfahren überhaupt nach geltendem Recht ein Störfallpotenzial besitzen. Früher, d.h. bis zur Einführung der Störfallverordnung in der Fassung von 2000, galt beim Vorhandensein oder Entstehen bestimmter Stoffe die BImSch-Genehmigungs-Bedürftigkeit einer

Kriterienvorgabe ist heute leider so nicht mehr gegeben. Durch die Definition von so genannten „Betriebsbereichen“ sind über genehmigungsbedürftige Anlagen hinausgehende Bereiche in die Störfallbetrachtung einzubeziehen. Dabei fällt es zunehmend schwerer, eine Störfallanlage anhand überschaubarer Kriterien zu erkennen oder über einzelne gelistete Stoffe oder Produktionsprozesse als solche zu identifizieren. Es bedarf intimer Kenntnisse der Produktionsabläufe und -zusammenhänge.

Das zweite Problem beim Verfahrensvergleich bestand darin, dass sich eine „Störfallanlage“, also auch möglicherweise auch ein Betriebsbereich, in dem ein Verfahrensschritt mit anderen Verfahren verknüpft abläuft, ausschließlich über den Störfallstoff selbst identifiziert – ob als expliziter Stoff oder über Gefahrstoffgruppenmerkmale wie „leicht entzündlich“ oder „giftig“. Es ist dabei, wie bereits dargestellt, völlig unerheblich, in welchem Zustand sich dieser Stoff in der Anlage befindet. Wir unterscheiden in der Störfallverordnung bei der Identifizierung der Störfallanlage nicht zwischen einem Stoff, der sich bei 100°C oder bei 300°C befindet, und einem, der bei Raumtemperatur in einem Fass lagert. Die Unterscheidung der sicher unterschiedlichen Risikovorsorge erfolgt erst später, wenn darüber nachzudenken ist, welche Sicherheitsmaßnahmen im einzelnen zur Erreichung adäquater Gefahrenvermeidung erforderlich sind. Dann spielt es natürlich eine Rolle, in welchem Zustand sich der Stoff befindet. Aber das Einstiegskriterium „Störfallverordnung“ als Risikoschwellenwert ist eine rein auf das stoffliche Gefahrenpotenzial antizipierte Betrachtungsweise. Die Störfallstoffe werden zudem überwiegend über ihre Gefahrensätze (R-Sätze) nach der Kennzeichnung aufgrund der Gefahrstoffverordnung als „Gruppenmerkmal“ bestimmt.

Die Frage war also, wo kommen in den 62 relevanten Produktionsverfahren Gefahrstoffe oder Gefahrstoffgruppen mit den entsprechenden Gefahrensätzen vor. Wir haben dann **30 Produktionsverfahren identifiziert**, wo Störfallstoffe, die in der Störfallverordnung erfasst sind, im klassisch-chemischen Herstellungsprozess anfallen. Diese sind im Anhang B des Gutachtens dargestellt.

Vorgehensweise zur Ermittlung von Substitutionspotenzialen									
③ Ermittlung der nach StörfallIV geltenden Mengenschwelle für die ermittelten Stoffe/ Stoffgruppen als Maß ihrer Gefährlichkeit									
<u>Kategorieeinteilung:</u>	<table> <tr> <th>Mengenschwelle Störfallstoff</th><th>Störfallrelevanz</th></tr> <tr> <td>≥ 50 t</td><td>gering</td></tr> <tr> <td>5 – 50 t</td><td>mittel</td></tr> <tr> <td>≤ 5 t</td><td>hoch</td></tr> </table>	Mengenschwelle Störfallstoff	Störfallrelevanz	≥ 50 t	gering	5 – 50 t	mittel	≤ 5 t	hoch
Mengenschwelle Störfallstoff	Störfallrelevanz								
≥ 50 t	gering								
5 – 50 t	mittel								
≤ 5 t	hoch								
④ Identifizierung aller Störfallstoffe, die aufgrund der ZEMA-Störfallstatistik an meldepflichtigen Störfällen in sog. 4.1-Anlagen beteiligt waren									
<u>Kategorieeinteilung:</u>	<table> <tr> <th>Störfälle in 4.1-Anlagen (1995 – 1999)</th><th>Störfallereignisrelevanz</th></tr> <tr> <td>≤ 1</td><td>gering</td></tr> <tr> <td>2 – 5</td><td>mittel</td></tr> <tr> <td>> 5</td><td>hoch</td></tr> </table>	Störfälle in 4.1-Anlagen (1995 – 1999)	Störfallereignisrelevanz	≤ 1	gering	2 – 5	mittel	> 5	hoch
Störfälle in 4.1-Anlagen (1995 – 1999)	Störfallereignisrelevanz								
≤ 1	gering								
2 – 5	mittel								
> 5	hoch								
UMWELTKANZLEI Dr. Rhein	TEYS Gesellschaft für die Entwicklung und Vermarktung technischer Informationssysteme								

Abb. 7

Störfallrelevanz soll das sein, was allein über die Mengenschwelle des Störfallstoffes in der Störfallverordnung identifizierbar ist (Abb. 7). Wir haben Abstufungen in der Störfallverordnung in den dort genannten Mengenschwellen, die bei etwa 5, 5 bis 50, und über 50 Tonnen eines dort genannten Stoffes liegen. Dementsprechend haben wir diese drei Relevanz-Kategorien mit gering, mittel und hoch bezeichnet. Dabei stellt eine Störfallstoffschwelle von fünf Tonnen ein hohes Potenzial dar, weil dies die geringste Schwelle einer Störfallregelung ist. Es darf also nur „sehr wenig“ von diesem gefährlichen Stoff vorhanden sein. Hinter einem Stoff, den die Störfallverordnung in einer vergleichsweise höheren Mengenschwelle von 50 Tonnen zulässt, steckt ein entsprechend geringeres Gefahrenpotenzial. Die Identifizierung dieser Störfallstoffe als **ereignisrelevant** erfolgte aufgrund der ZEMA-Störfallstatistik³, die vom Umweltbundesamt geführt wird. Ereignisrelevante Störfallstoffe waren also an meldepflichtigen Störfällen in sogenannten 4.1-Anlagen⁴ beteiligt. Wir müssen dabei zwischen Störfällen unterscheiden, die meldepflichtige Ereignisse sind, und solchen, die nicht meldepflichtig sind. Letztere werden zurzeit in einer Statistik bei der DECHEMA⁵ als nicht meldepflichtige Störfallereignisse geführt. Leider ist diese Statistik soweit anonymisiert, dass sie für unsere Zwecke hier nicht auswertbar ist.

Jetzt musste eine weitere Auswahl getroffen werden, denn wir wollten uns in der Größenordnung drei, vier oder fünf Verfahren anschauen, die eine höhere Praxisrelevanz haben. Dabei sollten unterschiedliche **Relevanzkriterien** herangezogen werden. Dabei definierten wir zunächst eine „**Störfallrelevanz**“. Die

³ ZEMA: zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen. Jährlich gibt das Umweltbundesamt einen Jahresbericht heraus (Anmerkung der Redaktion).

⁴ Die Angabe 4.1 bezieht sich auf die Nr. im Anhang der 4. BImSchV, in der die chemischen Produktionsanlagen aufgeführt sind. Lageranlagen wurden aufgrund des Betrachtungsbereiches des Gutachtens über Verfahrensumstellungen aus der Analyse ausgeblendet

⁵ DECHEMA: Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt am Main

Die „Ereignisrelevanz“ soll widerspiegeln, wie oft ein bestimmter Stoff, den wir hier als Störfallstoff identifiziert haben, überhaupt in den meldepflichtigen Störfällen vorkommt. Ist das überhaupt ein Störfallstoff, mit dem es tatsächlich Störfälle gegeben hat? Und zwar in 4.1-Anlagen, also in genehmigungsbedürftigen chemischen Produktionsanlagen, wie sie nach Anhang 4.1 zur 4. BlmSchV⁶ definiert sind. Wenn ein Stoff mehr als fünf Mal in solchen Produktionsanlagen zu Störfällen geführt hat, dann bedeutet das nach unserer Typisierung eine sehr hohe Störfallereignisrelevanz (z.B. Chlor).

Als nächstes haben wir die **Jahresproduktionsmenge** als Auswahlkriterium betrachtet (Abb. 8). Hierdurch haben wir allerdings die Auswahl auf solche Störfallanlagen fokussiert, die in der Regel durch großtechnische Verfahren

Vorgehensweise zur Ermittlung von Substitutionspotenzialen

⑤ Jahresproduktionsmenge Deutschlands für das betreffende Produkt

Kategorieeinteilung:	Jahresproduktionsmenge	Produktionsrelevanz
	< 50.000 t/a	gering
	50.000 – 250.000 t/a	mittel
	250.000 – 500.000 t/a	hoch
	> 500.000 t/a	sehr hoch

⑥ Entwicklungsstadium des biotechnischen Verfahrens

Kategorieeinteilung:	
(1)	Labor bis Technikum
(2)	Historisch oder geplant / im Bau
(3)	Industrie

UMWELTKANZLEI
Dr. Rhein

TEYS Gesellschaft für die Entwicklung und Vermarktung technischer Informationssysteme

Abb. 8

charakterisiert sind. Schließlich haben wir noch das **Entwicklungsstadium des biotechnischen Verfahrens** als Kriterium erfasst, denn es sollten keine Verfahren betrachtet werden, die nur theoretisch durchführbar sind oder die vielleicht nicht mal im Labor zufriedenstellende Ergebnisse brachten. Von vornherein sollten

nur solche Verfahren als substituierbar in Betracht gezogen werden, die sich zumindest schon in einem Technikummaßstab präsentieren und damit auch in naher Zukunft eine technische Realisierungschance besitzen.

Bei Zugrundelegen dieser Kriterien reduzierten wir alle Prozesse auf solche, in denen Störfallstoffe vorkommen, die mindestens zweimal im Zeitraum zwischen 1995 und 1999 an einem Störfall in einer Produktionsanlage beteiligt waren und in denen Störfallstoffe mit mittlerer und hoher Störfallstoffrelevanz vorkommen (wir konnten vier Jahre Betrachtungszeitraum auswerten, zu denen von der ZEMA Daten zur Verfügung standen, die meldepflichtig waren und vergleichbar ausgewertet

⁶ 4. BlmSchV: Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen)

werden konnten). Auch wurden solche Verfahren in der Betrachtungsauswahl einer Risikovorsorgebedeutung bevorzugt, bei denen zwei oder drei dieser Störfallstoffe involviert sind. Ferner wurden nur solche biotechnischen Verfahrensalternativen betrachtet, die mindestens im Labor oder im Technikummaßstab erfolgreich erprobt waren. Letztlich sollte das gebildete Produkt oder das zugrundeliegende Verfahren

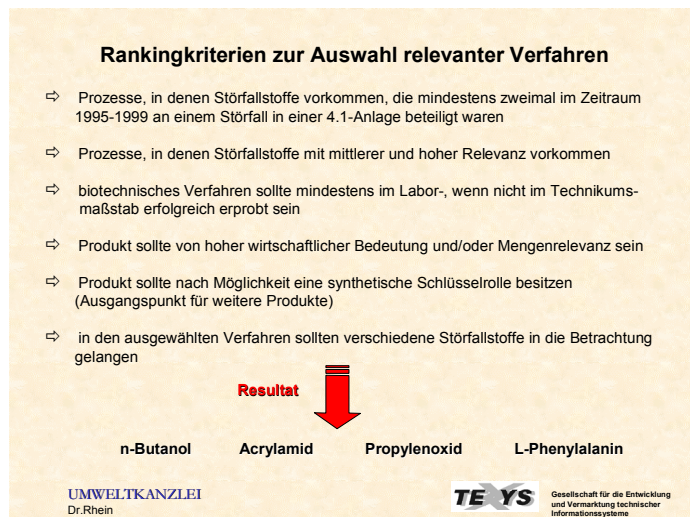


Abb. 9

Auswahl kristallisierten sich folgende Verfahren als **besonders substitutionsrelevant** heraus (Abb. 9) : die Herstellung von **n-Butanol**, **Acrylamid**, **Propylenoxid** und **L-Phenylalanin**. Gleichzeitig haben wir damit sehr unterschiedliche Verfahren erhalten: vom Verfahren zur Herstellung des n-Butanol, das schon mal existierte, dann aus wirtschaftlichen Gründen wieder abgeschafft worden ist und wieder klassisch produziert wurde, bis hin zu einem Verfahren wie

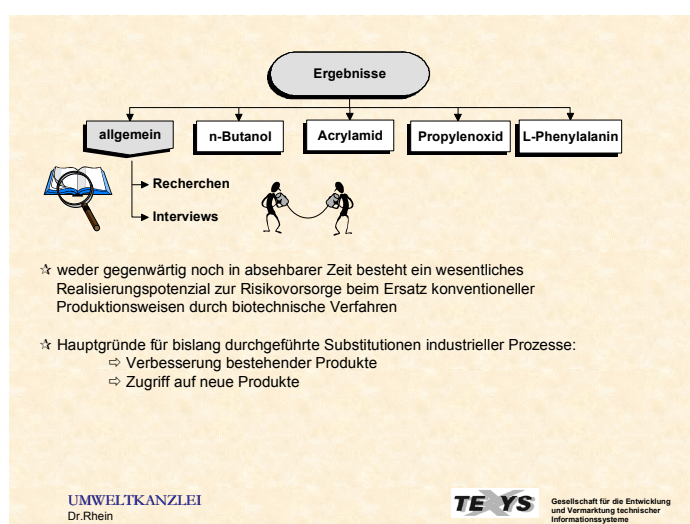


Abb. 10

von einer hohen wirtschaftlichen Bedeutung und Mengenrelevanz sein und auch die Möglichkeit für weitere anschließende Syntheseverfahren bieten, so dass von einer bestimmten Schlüsselrolle und Relevanz in Hinsicht auf ein Substitutionspotenzial gesprochen werden kann.

Über eine so durchgeführte Auswahl kristallisierten sich folgende Verfahren als **besonders substitutionsrelevant** heraus (Abb. 9) : die Herstellung von **n-Butanol**, **Acrylamid**, **Propylenoxid** und **L-Phenylalanin**. Gleichzeitig haben wir damit sehr unterschiedliche Verfahren erhalten: vom Verfahren zur Herstellung des n-Butanol, das schon mal existierte, dann aus wirtschaftlichen Gründen wieder abgeschafft worden ist und wieder klassisch produziert wurde, bis hin zu einem Verfahren wie der Herstellung des L-Phenylalanin, das zurzeit leider gar nicht in der Bundesrepublik produziert wird, aber zu einem Schlüsselprodukt führt, das gegenwärtig eine hohe Bedeutung hat.

Im nächsten Schritt des Gutachtens sind wir der Frage nachgegangen, was die **relevanten Akteure** der

ausgewählten Verfahren in Deutschland, die diese Produkte herstellen, von biotechnischen Verfahrensalternativen halten oder ob sie sogar derartige Verfahren bereits einsetzen. Unter anderem wurden Fragebögen verschickt und auf deren Basis Interviews geführt (Abb. 10) . Als Ergebnis kann zusammengefasst werden, dass die Antworten in hohem Maße durch die individuelle Erfahrung und Kenntnis mit biotechnischen Prozessen geprägt sind, im Gutachtenrahmen auch keine Repräsentativerhebung möglich war. Im Ergebnis zeigten verantwortliche Produktionsleiter (klassischer Verfahren) – erwartungsgemäß – eine eher ablehnende Haltung: „Also da sehen wir keinen wirtschaftlichen Vorteil. Wir produzieren das in den großen Mengen und das geht mit der Biotechnik gar nicht.“ Daneben spielen alle mögliche Ablehnungsgründe eine Rolle. Andere hingegen sehen auch zu großtechnischen Verfahren durchaus Alternativen, sagten, sie hätten bereits auf ein solches Verfahren umgestellt, und sahen zumindest perspektivisch einen Vorteil in dem biotechnologischen Verfahren.

Wir versuchten weiterhin zu eruieren, ob sicherheitstechnische Argumente einen (zusätzlichen) Anreiz darstellen können, Verfahren zu substituieren, welche Vor- und Nachteile insgesamt das Substitutionsverhalten maßgeblich beeinflussen. Welche Rolle spielen dabei insbesondere langfristige Aspekte? Gibt es überhaupt ein Argument-Ranking? Welche Argumente sind eigentlich entscheidend?

Das Ergebnis dieser Umfrage oder dieser Interviews ist sicherlich nicht repräsentativ. Es stellt aber ein sehr deutliches Schlaglicht dar. Wir haben zunächst festgestellt, dass weder gegenwärtig noch in absehbarer Zeit ein wesentliches Realisierungspotenzial zur Risikovorsorge in den ausgewählten Verfahren beim Ersatz konventioneller Produktionsverfahren besteht. Warum? Ein Grund ist das Auswahlkriterium der Störfallverordnung selbst. Die Störfallverordnung setzt die Gefahrenschwelle recht hoch an. Für das Substitutionspotenzial wird allein das Einstiegs-kriterium Störfall und nur der Störfallstoff betrachtet. Das Grenzkrisiko, das hier betrachtet wird, liegt bereits im oberen Risikobereich von Produktionsanlagen. Und dadurch ist das Substitutionspotenzial (hochgefährlicher Stoff oder hohe Menge) von vornherein sehr beschränkt, sind biotechnische Verfahren – von der Lebensmittelproduktion abgesehen – doch erst am Anfang einer hohen Produktionsrelevanz.

Die Hauptgründe für bislang schon durchgeführte Substitutionen, auch das kann als allgemeines Ergebnis festgehalten werden, waren die Verbesserung bestehender Produkte oder der Zugriff auf neue Produkte. Insgesamt war das Potenzial biotechnischer Verfahren zur Substitution konventioneller Produktionsweisen im Wesentlichen nur über ein sehr differenziertes Bild erschließbar. Es gibt kein Standardargument.

Ich möchte Ihnen im Rahmen dieses Vortrags noch einige **Einzelergebnisse** in Kurzform darstellen. Diese sind in dem Gutachten detailliert beschrieben. In dieser kurzen Darstellung zeigt sich sehr schön, wie unterschiedlich die ausgewählten Beispiele für eine Reihe von verschiedenen Verfahrensansätzen stehen.

Beim **n-Butanol** (Abb. 11) sieht es so aus, dass die anaerobe Fermentation aus Glukose insbesondere nach dem „Wiener Verfahren“⁷ Vorteile im Vergleich zum klassisch-chemischen Verfahren über die Oxosynthese von Propen bringt. Dieses „Wiener Verfahren“, das zurzeit offensichtlich technisch nicht (mehr) eingesetzt wird, hat den Vorteil, dass es als ein kontinuierliches Verfahren konzipiert ist, und damit verfahrenstechnisch sehr große Vorteile bringen könnte. Durch den kontinuierlichen

Ergebnisse	
allgemein	n-Butanol
Substitution	anaerobe Fermentation aus Glucose („Wiener Verfahren“) anstatt Oxosynthese aus Propen durch Hydroformulierung und Aldehydhydrierung
Senkung des Störfallpotenzials	Ja Propen, Wasserstoff, Kohlenmonoxid
Minderung des Anlagenrisikos	Ja Fermentation gegenüber p bis 100 bar und T bis 196°C
Realisierung im techn. Maßstab	ehemals ABE-Verfahren neue Vorteile durch Wiener Verfahren (kontinuierlich)
Haupthindernis	Wirtschaftlichkeit
Umweltvorteile	reduzierter Verbrauch fossiler Rohstoffe
Vorschläge / Empfehlungen	- Neubewertung der Wirtschaftlichkeit eines nunmehr kontinuierlichen Verfahrens - Störfallsenkungspotenzial

Abb. 11

der Wirtschaftlichkeit des kontinuierlichen Verfahrens wieder eine Verbesserung in Richtung biotechnischer Produktion von n-Butanol liegen. Sicherheitstechnisch wird eine Senkung des Störfallpotenzials erreicht: es handelt sich um großtechnische Anlagen, wobei Propen, Wasserstoff und Kohlenmonoxid gleich drei Störfallstoffe

Prozess kann eine Neubewertung bisheriger Ablehnungsgründe der Biotechnik stattfinden. Denn gerade bei der Herstellung von n-Butanol ist man aus Wirtschaftlichkeitsgründen in der Vergangenheit von der biotechnischen Produktion, die bereits industriell eingesetzt wurde, wieder auf die klassisch-chemische zurückgegangen. Jetzt könnte in

⁷ Das Verfahren wurde an der Technischen Universität Wien entwickelt. Literatur: Gapes et al.: Long-Term Continuous Cultivation of *Clostridium beijerinckii* in a Two-Stage Chemostat with On-Line Solvent Removal. Applied and Environmental Microbiology, Sept. 1996, p. 3210-3219.

sind, die im chemischen Verfahren beteiligt sind. Auch eine Minderung des räumlich begrenzten Anlagenrisikos wäre durch die Tatsache gegeben, dass die Fermentation gegenüber den in klassischen Verfahren vorherrschenden Drücken bis 100 bar und bis 200°C einen erheblichen Vorteil für das Handling bietet. Umweltvorteile wurden durch Prognos in einer Reduzierung des Verbrauchs fossiler Rohstoffe gesehen. Unsere Empfehlung ist, eine Neubewertung der Wirtschaftlichkeit eines nunmehr kontinuierlichen Verfahrens vorzunehmen, wobei ein Störfallsenkungspotenzial sozusagen mitgeliefert wird.

Acrylamid (Abb. 12) wird im biotechnischen wie im klassischen Verfahren aus Acrylnitril hergestellt. Auf der Produktschiene haben wir demnach keine Entlastung

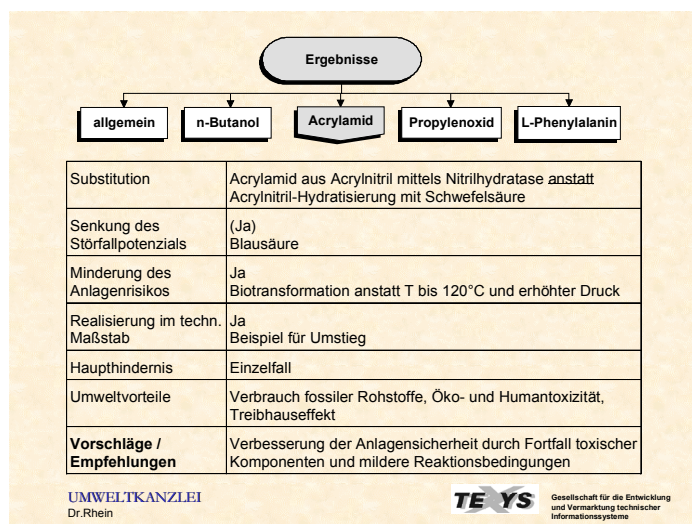


Abb. 12

gehen wir bei erheblicher Druck- und Temperaturabsenkung in einen wesentlich geringer geneigten Gefahrenbereich. Die Realisierung der biotechnischen Variante im technischen Maßstab ist vorhanden. Auch wird für die Herstellung von Acrylamid teilweise ein erfolgreicher wirtschaftlicher Umstieg auf das biotechnische Verfahren erwartet. Erstaunlich ist, dass die Meinung in der Industrie hinsichtlich der Bewertung auch der Wirtschaftlichkeit des Umstiegs solcher Verfahren sehr unterschiedlich ist. Einerseits wurde gesagt: „Das kommt für uns gar nicht in Frage! Das kann die Biotechnik gar nicht leisten! Diese Durchsätze, die wir brauchen, die müssen wir mit klassischen Verfahren erzeugen.“ Eine andere Firma ist bereits umgestiegen oder hat es wenigstens so erklärt. Haupthindernisse stehen offensichtlich in engem Zusammenhang mit Produktionsstandorten, verfügbaren Ressourcen und der Anlagenabschreibung. Auf Umweltvorteile soll hier nicht näher eingegangen werden.

des Störfallstoffs. Eine Senkung des Störfallpotenzials wird nur eingeschränkt gesehen, weil lediglich die Blausäure beim biotechnischen Verfahren wegfällt. Aber dies ist kein so evidenter Vorteil gegenüber dem klassischen Verfahren. Es gibt aber einen erheblichen Vorteil in der Verfahrenstechnik und in dem Handling der Anlagensicherheit. Im unmittelbarem Anlagenbereich

Sicherlich könnte die Anlagensicherheit durch den Vorteil nicht-toxischer Komponenten verbessert werden, insbesondere ließe sich aber ein sichereres Handling durch mildere Reaktionsbedingungen erreichen.

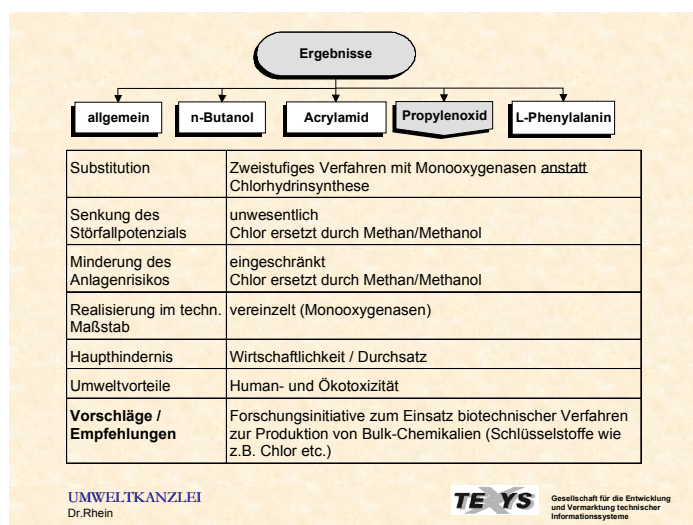


Abb. 13

Beim **Propylenoxid** (Abb. 13) ergibt sich ein ganz anderes Bild: ein zweistufiges Verfahren mit Monooxygenasen statt der klassischen Chlorhydrinsynthese. Das Störfallsenkungspotenzial ist unwesentlich. Das Chlor beim chemischen Verfahren wird beim biotechnischen Verfahren durch Methan oder Methanol ersetzt. Da kann man sich

streiten, was sicherheitstechnisch bedeutsamer ist. Die Antwort hängt wesentlich von der vorhandenen Anlagen- und Sicherheitstechnik am Produktionsstandort ab, d.h. auch von der Lagerhaltung, von der Zuführung (Logistik der Rohstoffe etc.), von der Anlagensteuerung und der Einkopplung in den Produktionsstandort ab. Vereinzelt ist das biotechnische Verfahren realisiert worden, aber von einem industriell einsetzbaren Maßstab kann man in dem Zusammenhang eigentlich noch nicht sprechen. Haupthindernis für die Einführung des biotechnischen Verfahrens ist offenbar dessen nicht vorhandene Wirtschaftlichkeit, insbesondere durch die Durchsatzlimitierung. Umweltvorteile ergeben sich nach Prognos in der Human- und Ökotoxizität, wobei das nur mit Einschränkungen für die Einschätzung von Methan oder Chlor gilt.

Aus unserer Sicht ist am Beispiel Propylenoxid die Notwendigkeit einer Forschungsinitiative zum Einsatz biotechnischer Verfahren zur Produktion von Bulkchemikalien erkennbar. Dabei sollte der Frage nachgegangen werden, ob es möglich ist, durch eine Kombination oder eine Vielzahl biotechnischer Verfahren Schlüsselprodukte wie Chlor oder Phosgen zu ersetzen oder auch ähnliche Vernetzungsstrukturen an Produktionsstandorten wie im klassischen Bereich zu erzielen. Es klang immer wieder in Diskussionen/Interviews durch, dass man für die Schlüsselprodukte der chemischen Industrie keine rechte Alternative hat. Deshalb spiele es auch kaum eine Rolle, ob ein Prozess an einem Standort, bei dem Chlor

verwendet wird, rausgenommen wird. Das ist auch eines der Hauptargumente, weshalb ein wesentliches Senkungspotenzial angezweifelt wird. Ein solches Argument muss aber heute vor dem Hintergrund einer Betriebsbereich-orientierten Störfallverordnung neu bedacht werden.

L-Phenylalanin (Abb. 14) wird in der Bundesrepublik zurzeit nicht produziert. Die fermentative Produktion geht von Glukose aus, die chemische Umsetzung erfolgt von Benzylchlorid aus. Dabei sind relevante Störfallstoffe wie Kohlenmonoxid, Wasserstoff, Ammoniak, oder auch Acetamid beteiligt. Ein Störfallsenkungspotenzial ergibt sich nur deshalb in Deutschland nicht, weil keine aktuelle Produktion hierzulande stattfindet. Eine Minderung des Anlagenrisikos, nämlich durch die Absenkung der entsprechend hohen Drucke oder auch der erhöhten Temperatur besteht ebenfalls. Die Realisierbarkeit ist gegeben. Eigentlich ist die Biotechnik sogar das Verfahren der Wahl. Ein Haupthindernis ist damit gar nicht vorhanden, im Gegenteil: Der Vorteil des biotechnischen Verfahrens ist aus wirtschaftlichen wie auch aus Herstellungsgründen evident. Mit einer denkbaren Verringerung des Störfallpotenzials und Verbesserung der Anlagensicherheit ist es ein Beispiel für die grundsätzliche Vorteilhaftigkeit der Biotechnik zur Erzeugung gezielter Produkte. Im internationalen Vergleich hatten wir zumindest im Rahmen unserer Recherche den Eindruck, dass im Rahmen der Vorteilhaftdiskussion außerhalb Deutschlands mit

größerem Weitblick argumentiert wird. Hilfreich könnte unseres Erachtens die Erarbeitung eines Bewertungskataloges sein, um die Vorteilsargumente besser zu verstehen und abwägen zu können.

Hier schließt sich auch die Überlegung einer gewissen Standardisierung sicherheitstechnischer Kriterien an, die zu einer verbesserten Verfahrensbe-

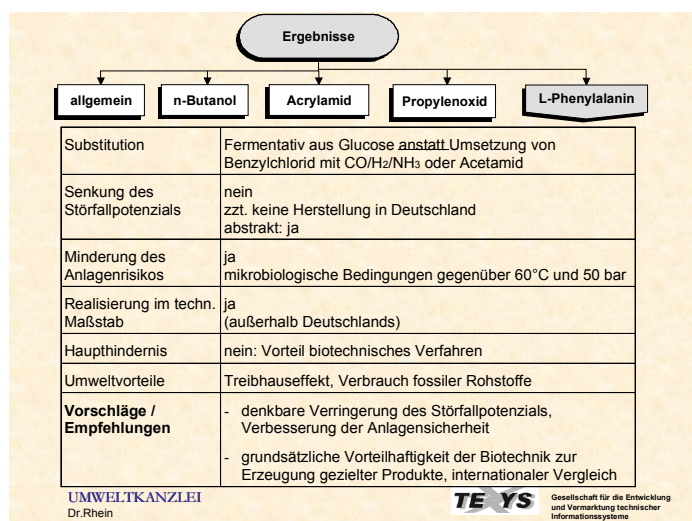


Abb. 14

wertung beitragen könnte. Dabei sollte die Betrachtung nicht auf Grenzkrisen oberhalb der Störfallschwelle beschränkt bleiben.

Wir sind sicher, dass die aufgezeigten Alternativen der Biotechnik im Bereich der unmittelbaren Anlagenumgebung und der Vorteilhaftigkeit von milderer Prozessbedingungen ein wesentlich evidenteres Substitutionspotenzial zur Risikoversicherung aufweisen als das vorliegende Gutachten erkennen lassen kann.

Untersuchungen im Rahmen einer Studie zur Bestimmung von Prozessparametern zur Anlagensicherheit von substituierten Verfahren halten wir für sinnvoll. Das sind nicht nur Druck und Temperatur, sondern eine ganze Reihe anderer Parameter im Vergleich biotechnischer und konventioneller chemischer Verfahren. Es ist erstaunlich, dass die Argumente der Anlagensicherheit und überhaupt sicherheitstechnische Aspekte der Prozessführung in der ganzen Vorteilsdiskussion, bislang fast keine Rolle gespielt haben. Deshalb sollten die Verfahren standortbezogen genauer analysiert, Vergleichmaßstäbe (bench-marking) gebildet, innerbetriebliche „Störfälle“ ausgewertet, und geprüft werden, welches Vermeidungspotenzial von Unfällen durch Verfahrensalternativen bestehen. Vielleicht werden die Berufsgenossenschaften zur Auswertung beitragen können. Es sollte zumindest eine vergleichende Betrachtung zu geminderten Druck-Temperatur-Verhältnissen durchgeführt werden, damit man sieht, welche Gefahrenminderung oder welche Unfallminderung eintritt. Schließlich sollte auch die Reduzierung beim Umgang mit Gefahrstoffen bedacht werden. Ich möchte mit der Anregung schließen, die Betrachtung nicht allzu sehr einzugrenzen, sondern vielleicht die Arbeitssicherheitsaspekte aber auch technisch innovative Entwicklungen zum Beispiel eines verstärkten Einsatzes von biokatalytischen Teilschritten einzubeziehen; diese werden im Gutachten bereits angedeutet.

Ich darf mich für Ihre Aufmerksamkeit recht herzlich bedanken.

5 Dokumentation der Diskussion

a: Meinungen/Stellungnahmen zum Gutachten

Mit Hilfe des Gutachtens sollte ermittelt werden, ob sich aus der Betrachtung des Störfallpotenzials bei chemischen Produktionsanlagen unmittelbar ein Handlungsbedarf zur Risikovorsorge ergibt. In der Studie wurden insgesamt 62 Verfahrensvarianten betrachtet, einschließlich Verfahrensalternativen. Dabei war nicht beabsichtigt, eine Entscheidungen zu treffen, ob bestimmte klassisch chemische Verfahrensalternativen einen Vorteil gegenüber der Biotechnik bieten oder nicht. Es ist durchaus denkbar, dass bestimmte chemische Verfahren (Beispiel Direktoxidation bei Propylenoxyd), wenn sie gelingen, die Diskussion auch der Störfallstoffe anders stellen als die Verfahren, die mit den klassischen Produkten laufen. In der Studie wurden die Verfahren nur dahingehend geprüft, welche Komponenten vorkommen. Es wurde bewertet, welche Vorteile sich bei der Biotechnik, und nicht, welche Nachteile sich bei einzelnen klassischen chemischen Verfahren ergeben.

Gefragt wurde im Laufe der Diskussion nach Produkten, zu denen keine Alternativen gefunden wurden oder für die Alternativen noch zu entwickeln sind. Das wäre als Input in die Forschung interessant. Nach Aussage des Autors gibt es Verfahren, bei denen die Biotechnik prädestiniert ist, da bestimmte Wirkstoffe oder Stoffe erst über die Biotechnik zugänglich sind, Stichwort Stereoselektivität oder pharmazeutische Produktentwicklung. Diese waren nicht Gegenstand der Betrachtung. Sehr großer Forschungsbedarf wurde für die klassische Produktion im Bereich von Grundchemikalien formuliert und von den Vertretern der Großindustrie immer wieder bestätigt.

Fraglich ist, inwieweit es gelingt, Schlüsselprodukte an Standorten zu ersetzen. Interessant war, dass an einem Standort zu bestimmten Stoffen, zum Beispiel Acrylamid, keine Alternative zum klassischen Verfahren gesehen wurde, mit der gleichen Überzeugung ein anderer Produzent aber kein Problem sieht und das Verfahren bereits umgestellt hat. Diese so gegensätzlichen Ergebnisse wurden auf einen offensichtlich unterschiedlichen Bewertungsmaßstab in der Industrie zurückgeführt.

Im Gutachten wurde auch der Aspekt eines beschleunigten Genehmigungsverfahrens betrachtet. Argumente wurden aufgelistet, die zeigen, dass es hier bei biotechnischen Anlagen Vorteile gibt. Genehmigungsverfahren sind heute hochintegrierte

Verfahren. Dabei werden Betriebsbereiche definiert, die nicht nur die genehmigungsbedürftige Anlage als Grenze haben. Was früher über Nachbarschaftsbetrachtung gelaufen ist, ist heute integraler Bestandteil jeder Sicherheitsbetrachtung und jedes Sicherheitsberichts. Damit ist das, was hinzukommt oder wegfällt, für einen solchen Großstandort marginal. Wenn man von der grünen Wiese ausgeht, und einen neuen Standort plant, ist die Diskussion durch den Verzicht auf bestimmte Störfallstoffe von vornherein eine ganz andere. Dadurch könnte die Anlage aus der Störfallverordnung fallen und das Verfahren würde sich ganz anders gestalten, einschließlich UVP.

Die Teilnehmer hielten das Gutachten für einen wichtigen Ansatz, die Möglichkeiten einer neuen Technologie wie der Biotechnologie auch unter dem Aspekt Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu erforschen. Sicherheit ist wichtig und ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor, aber die Wirtschaftlichkeit bleibt für die Industrie immer der wesentlichste Aspekt. Ein Verfahren, das nicht wirtschaftlich ist, wird sich nicht durchsetzen. Weitere wichtige Bereiche sind die verbreitete Rohstoffbasis und die Sicherheit der Rohstoffversorgung.

Die größten Chancen wurden da gesehen, wo man in neue Produkte einsteigen kann, weil diese durch neuen Verfahren hergestellt werden können. Alle Produkte, die bisher nur sehr schwer über vielstufige Synthesen herstellbar sind, lassen sich so mit mehreren Vorteilen herstellen. Die Erweiterung einer klassischen Synthese ist immer einfacher als das Parallelverfahren einer weiteren, nach anderen Verfahren durchgeführten Synthese.

Vereinzelt wurde kritisiert, dass gentechnische Verfahren oder Ansätze über das „Metabolic-Engineering“ in der Studie nicht behandelt wurden, obwohl sich hierdurch gegenüber konventionellen biotechnischen Verfahren eindeutig die Möglichkeit ergibt, Umwelteinflüsse teilweise bis um einen Faktor 100 zu reduzieren, wie das der VCI (Verband der Chemischen Industrie e.V.) bzw. die DECHEMA (Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V.) dokumentiert hat. Gentechnischen Verfahren wurden nicht berücksichtigt, weil für die Studie nur die zumindest labortechnisch eingesetzten Verfahren relevant waren. Bei Einbeziehung solcher Verfahren hätten diese durch weitere Sicherheitsas-

pekte beleuchtet werden müssen, was den Rahmen des Gutachtens gesprengt hätte.

Eine Frage wurde zur Methode gestellt, mit der die Unternehmen durch die Autoren der Studie befragt wurden. Hierzu wurde erläutert, dass zunächst kompetente Ansprechpartner gesucht wurden, die sowohl in der Produktion wie auch in der Forschung und Entwicklung tätig waren. Nach Kontaktaufnahme wurden Fragebögen an die Firmen geschickt mit der Bitte, sie auszufüllen. Nachdem diese Bögen den Ansprechpartnern zugegangen waren, haben die Autoren telefonisch Rücksprache genommen, um die Beantwortung der Fragen gemeinsam durchzugehen. Es hat keinen persönlichen Augenkontakt gegeben. Da erfahrungsgemäß bei Fragebogenaktionen unterschiedliche Ergebnisse erhalten werden, je nachdem wen man kontaktiert hat, wird zur Erzielung einer größeren Sicherheit der Validität der Studie empfohlen, die befragten Unternehmen zu einem späteren Zeitpunkt noch mal aufzusuchen und mit ihnen ins Gespräch zu kommen.

Im Gutachten wurde festgestellt, dass die Frage der Anlagensicherheit in der Vergangenheit bei der Bewertung von Produktionsprozessen keine Rolle gespielt hat. Hierzu wurde die Frage aufgeworfen, wie denn bei einem Produktionsprozess die Sicherheitsrelevanz im monetären Sinn im Vergleich zu allen anderen Kostenpositionen bewertet werden kann. Als interessant wurde erachtet, wie Umweltkostenvorteile quantifiziert werden können.

Monetäre Einflussgrößen werden insbesondere da gesehen, wo es um die eingesetzte Sicherheitstechnik geht. Mittlerweile gibt es hier erhebliche Aufwendungen. Verfahrensweisen mit sicherheitstechnischen Vorkehrungen und Melde-, Mess-, Steuer- und Regelungs-Einrichtungen sind bei Anlagen mit einem hohen Gefahrenpotenzial bedeutend anspruchsvoller als im Bereich der wässrigen Chemie, die Folgekosten deutlich höher.

Im Bereich der Investitionskosten wird sich nach Meinung der Diskussionsteilnehmer sicherlich ein messbarer Vorteil ergeben. Bei Anlagen ergaben sich Kostenvorteile in der Größenordnung von etwa 30 % durch den Umstieg von Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) mit vereinfachten Anforderungen gegenüber solchen mit hohen Anforderungen.

Indirekte Folgekosten wie Öffentlichkeitsarbeit oder Maßnahmen der innerbetrieblichen Bildung sind dagegen nur schwer quantifizierbar. Es ist keine Untersuchung bekannt, welche die im Hinblick auf Sicherheitstechnik erforderlichen Kosten quantifiziert hätte. Das kalkulieren die Firmen vermutlich intern.

Auch müssten diese Kosten auf die entsprechende Anlagenbetriebsdauer hochgerechnet werden. Da liegt die eigentliche Problematik. So hat man keinen Momentkostenvergleich, sondern müsste sehen, welche Folgewirkungen es hat. Bei geringerer Auslegung oder Benutzung eines anderen Materials ergeben sich unter Umständen erheblich höhere Standzeiten der Anlage und damit sicherlich ein wesentlich größerer Kostenvorteil. Diesen wird man aber nicht unmittelbar dem biotechnischen Verfahren oder dem Ersatz eines bestimmten Stoffes zurechnen, sondern nur einer Anlage mit geringeren Anforderungen.

Die Monetarisierung wird gleichwohl bei der Vergleichbarkeit der Prozesse als ein entscheidender Faktor gesehen. Das ist aber noch nicht weit genug fortgeschritten. Wenn man die klassischen Verfahren betrachtet und die Risikobetrachtung selbst nur noch ein Anhängsel und selbst nicht klar strukturiert ist, ist ein Vergleich zu schwierig herzustellen. Das führt dann zu der Antwort, die Risikominimierung sei nicht betrachtet worden. Das bedeutet nicht, dass sie nicht relevant oder nicht interessant ist. Je weiter der Bezugsrahmen gesetzt wird, in dem diese Prozesse verglichen werden, je detaillierter man das machen will, desto mehr werden die wichtigen Faktoren, und dazu kann die Risikominimierung gehören, auch stärker ins Gewicht fallen oder in den Vordergrund treten.

In Sevilla befindet sich das Büro für die „Best Available Technology“ (Best verfügbare Technik) (European Integrated Product Policy and Control Bureau, EIPPCB). Dieses gibt sektorale Beschreibungen bester verfügbarer Technologien für einzelne Industriebranchen heraus. Das sind Empfehlungen, die so genau wie möglich beschrieben werden. Das EIPPCB greift dabei nur auf verfügbare und ansatzweise etablierte Technologien zurück, nicht auf Technologien, die sich im Laborstadium befinden. Die Biotechnologie steht teilweise noch am Anfang. Die Beschreibung, der Detaillierungsgrad, die monetäre Beschreibung, die nötig wäre, um sie in die Empfehlung aufzunehmen, ist noch nicht weit genug fortgeschritten.

Nach Aussage von namhaften Firmen in der Bundesrepublik gibt es keine systematische Vorgehensweise, die Kriterien der Anlagensicherheit zu überprüfen. Das heißt, bereits im klassischen Verfahren ist diese Betrachtung eigentlich gar nicht der entscheidende Auslösepunkt. So ist es auch nicht verwunderlich, wenn das dann bei dem Vergleich Biotechnik mit klassischen Verfahren nicht anders ist.

Von den Teilnehmern wurde eine Veröffentlichung des Gutachtens zur Informationsverbreitung besonders in Firmen empfohlen. Angeregt wurde, dieses auch in elektronischer Form zu tun.

b: Potenziale der Biotechnik zur Minderung eines Störfallrisikos

Aus Sicht von Umwelt- und Arbeitsschutz besteht bei biotechnischen Verfahren die Chance, Standorte mit kleineren Einheiten zu haben. Diese sind nicht so risikorelevant wie klassische Chemiestandorte. Störfallrelevante Prozesse sind in der Regel großtechnische Prozesse, und die finden meist an Großstandorten statt. Dort ist die Substituierbarkeit wegen einer hohen Vernetzung auch nur gering. Das ist ein erheblicher Hinderungsgrund. Das sollte aber nicht grundsätzlich so sein. Eine Chance für Kleinstandorte wird gesehen.

Es wurde angesprochen, dass die Biotechnologie ein sehr großes Risikominderungspotenzial hat. Problematisch ist aber die Umsetzung dieses Potenzials in die Realität. Für eine erfolgreiche Umsetzung ist wichtig, sich darüber klar zu werden, welche Technologien und Alternativen es gibt, was verfügbar ist, und wie diese zu bewerten sind. Des Weiteren muss überlegt werden, wo Forschungsbedarf besteht. Das alles muss in die wissenschaftliche Gemeinschaft getragen und öffentlich gemacht werden.

Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass einige „Alternativen“ noch gar keine Verfahrensalternativen sind, sondern lediglich Laborprozesse oder Ideen darstellen. Es ist nötig, das heute Bekannte beispielhaft anzuwenden und voranzutreiben. Das kann 3, 4 oder 5 Jahre Forschung bedeuten bis dann eine echte Verfahrensalternative erreicht ist. Auch müssen die chemischen Alternativen betrachtet werden, die sich ebenfalls fortentwickeln. Da es nicht immer nur einen Weg zur Umsetzung von

Stoffen einschließlich der Nebenprodukte gibt, beispielsweise vom Propylen zum Propylenoxyd, müssen zahlreiche Ansätze nebeneinander geprüft werden.

Eine Analyse der Umweltvorteile von Produktionsverfahren stand nicht im Zentrum der Studie, aber es wurden Wirkungen genannt, die im Rahmen der Umweltpolitik erhebliche Bedeutung haben, zum Beispiel Klimabeeinflussung, Verbrauch bzw. Schonung von Ressourcen, Wasserhaushalt etc.. Hingewiesen wurde auf die Notwendigkeit von Leitfäden, die sich mit der Bewertung und Beurteilung von solchen Einflüssen beschäftigen und die der Industrie helfen können, Entscheidungen in die Richtung zu fällen, dass solche Umweltauswirkungen reduziert und minimiert werden. So sollten Instrumentarium geschaffen werden die geeignet sind, genau solche Umweltauswirkungen, die teilweise erheblich sein können, bei der Substitution von klassischen Verfahren positiv zu beeinflussen. Im Rahmen solcher Umweltmanagementsysteme ist es für Unternehmen interessant, auch Bewertungshilfen für zu ergreifende Maßnahmen zu haben.

Die Meinung wurde vertreten, dass solche Größen letztendlich nur über die Monetarisierbarkeit von standardisierten Bewertungsmaßstäbe in die Argumentation einfließen. Das heißt, Nachhaltigkeit muss als ein Vorteil für die Industrie quantifizierbar gemacht werden. Dazu bedarf es eindeutiger Bewertungskriterien. Denn der mögliche gesellschaftspolitischen Vorteil ist ein Aspekt, der nicht unbedingt ein unmittelbarer Anreiz für eine Firma darstellt.

Frühere Ansätze, biotechnologische Verfahren und Produkte zu implementieren, gingen meist von Schwachstellenanalysen innerbetrieblicher Art aus, wozu das Umweltkosten-Management ein guter Ansatzpunkt hätte sein können. Trotz bestehender Vorteile scheinen gewisse Unsicherheiten immer noch davon abzuhalten, die Biotechnik einzusetzen. Daher wurde empfohlen, in frühen Phasen der Entscheidung im Unternehmen in solche Analysen zu investieren, um frühzeitig, wenn Forschung und Entwicklung (FuE) und Produktmanagement zusammen kommen, über bestehende Risiken von FuE, aber auch über Kosten Gewissheit zu erhalten.

Der Stand der Biotechnologie wurde mit dem der Computerwissenschaften von 1975 verglichen. Bei der biotechnischen Stoffwandlung wurden insbesondere zwei Vorteile gesehen: die potenzielle Gefahrensituation ist geringer und Prozessschritte können eingespart werden. Wenn durch biotechnologische Verfahren mit wenigen Prozess-

schritten auch Massenprodukte hergestellt werden könnten, würde das nach Überzeugung der Teilnehmer unter dem Aspekt Nachhaltigkeit ganz entscheidende Chancen bedeuten. Diese Chancen bedürfen der Forschung, die aus Hochschulen oder möglicherweise auch aus Start-up-Unternehmen kommen kann. In dem Sektor Biotechnologie spielen seit etwa zwei Jahren Prozessentwicklungen eine sehr große Rolle.

Eine Änderung der Produktion betrifft alle Einheiten und Betriebe, die damit befasst sind. Diese entscheiden, ob ein Prozess jemals geändert wird. Das kann Jahre bis Jahrzehnte dauern.

c: Bedeutung der Biotechnik für den Arbeitsschutz

Im Folgenden wird skizziert, wie die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) im Bereich stofflicher Arbeitsschutz substituiert. Daraus lassen sich auch für die Frage der Substitution bei der Anlagensicherheit gewisse Konzepte und Ideen ableiten.

In der Konzeption sind der Startpunkt die Eigenschaften eines Stoffes („Intrinsic Property“). Wenn dieser z.B. krebserregend ist, muss substituiert werden. Danach wird situativ eine Gefährdungsbeurteilung gemacht, die über Menge und Eigenschaft des Stoffes hinaus geht und die tatsächlichen Expositionen berücksichtigt. Es werden die tatsächlichen Expositionen mit Expositionszielwerten verglichen, um zu sagen, ob in einem Bereich ein hohes, mittleres oder niedriges Risiko besteht. In diese Gefährdungsbeurteilung geht jeder gefährliche Stoff oder einer, der unter Umweltbedingungen gefährlich sein kann, ein.

Der nächste Schritt ist die relative Risikobetrachtung. Dabei können sinnvollerweise Arbeitsschutzbetrachtungen mit einbezogen werden. Bei den Beispielen, die im Gutachten gebracht worden sind, gehen Arbeitsschutz und Umweltschutz in die gleiche Richtung. Es wird von denselben gefährlichen humantoxikologischen Eigenschaften ausgegangen, die den Arbeitsschutzträgern Aufwand erzeugen. Das ist ein verstärkendes Argument für den Einsatz der Biotechnik. Es wäre unschön, wenn sich der Umweltschutz auf Kosten des Arbeitsschutzes verbessert. Die Frage ist, wie viel muss man wissen, um einen vernünftigen Vergleich anstellen und eine vernünftige relative Risikobetrachtung durchführen zu können? Wenn feststeht, dass das Risiko

sehr gering ist, gibt es eine Aussicht, aus der Störfallverordnung herauszukommen. Das kann sich kostenmäßig auswirken.

Der nächste Schritt ist die sozio-ökonomische Überlegung. Wichtig hierbei ist, dass die Industrie entscheidet, ob sie substituiert. Es ist sinnvoll, wenn man versucht auszuweisen, welche Kosten man erspart, wenn man die Verpflichtungen der Seveso-II-Richtlinie/Störfallverordnung nicht mehr erfüllen muss. Zusätzlich sind organisatorische Dinge und auch Arbeitsschutzkosten zu nennen. Um das transparent zu machen, wird in der Umsetzung der Europäischen Richtlinie 98/24/EG¹ ein sogenanntes Schutzstufenkonzept versucht, wo relativ einfach organisatorische und technische Maßnahmen zusammengefasst werden. Diese Maßnahmen wiederum kosten Geld und es gibt einen deutlich gestuften Unterschied: beim Umgang mit bestimmten Stoffen gibt es sehr viel weniger Aufwand. Das lässt sich auch monetarisieren. Dadurch wird versucht, die Nachfrageseite, also die Industrie, zu unterstützen, damit sie Geld spart, wenn sie bestimmte Stoffe einsetzt und andere nicht. Dabei ist klar, dass es Umstellungsinvestitionskosten gibt, die sich irgendwie rechnen müssen. Die laufenden Kosten müssen immer wieder verglichen werden.

Zu der Frage der Industrie: „Will ich überhaupt?“ gibt es eine Menge Vorurteile und viel Überzeugungsarbeit ist nötig. Bei Stoffen, die der Störfallverordnung unterliegen, ist im Umweltschutzbereich möglicherweise eine signifikante Menge Geld einzusparen. Diese zu betrachten lohnt sich. Für die Fortentwicklung der Störfallverordnung wurde empfohlen, die tatsächlichen Risiken einzubeziehen. Das sollte gemeinsam vom Arbeitsschutz und Umweltschutz gemacht werden.

Ein großes Problem wurde im Bereich der technischen Anlagensicherheit gesehen. Dort, wo es um die Handhabung hoher Drücke, hoher Temperaturen, hohen Mess-Steuer-Regel-Aufwand, Prozessanfälligkeit und Korrosionsbeständigkeit geht, zeigt die Diskussion zur Störfallverordnung gegenwärtig einen großen Dissens. Diese Zustände werden völlig ausgeblendet und die Wahrscheinlichkeiten oder Maßnahmen werden erst im Nachhinein im Rahmen einer Sicherheitsbetrachtung vorgenommen. Dieses in den präventiven Bereich zu bekommen, wird als problematisch empfunden. Gibt es eine Chance, diesen klassischen konventionellen Arbeitsschutz mit der Anlagensicherheitsprävention in Einklang zu bringen?

¹ Richtlinie 98/24/EG des Rates vom 7. April 1998 zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit

Die BAuA hat im Rahmen der Technischen Regeln für Gefahrstoffe „Sicherheitstechnik“ 300 (TRGS 300) gerade ein Projekt zur Übertragung der Methode zur Sicherheitsbetrachtung nach der TRGS 300 auf biotechnische Anlagen durchgeführt. Hierbei wurde die Anlagensicherheit von biotechnischen Anlagen betrachtet. Als Ergebnis kam unter anderem heraus, dass es bei biotechnischen, biologischen Arbeitsstoffen bzw. biotechnischen Anlagen ein stoffbezogenes Gefahrenpotenzial gibt und es weniger auf die Prozessbedingungen ankommt. Hauptsächlich gibt es Sicherheitsmaßnahmen gegen Verschleppung und gegen Stofffreisetzung, ganz selten gegen Explosion oder ähnliches, wenn entsprechende Gefahrstoffe in der Anlage vorkommen. Begrenzungen von Prozessparametern als Sicherheitsmaßnahmen sind eher ein Produktschutzproblem, weniger ein Arbeitsschutzproblem. Dadurch ist es weniger eine sicherheitsgerichtete Prozessleittechnik, sondern mehr eine Prozessleittechnik, die zum Produktschutz gedacht ist.

Bei der Einschätzung des Gefahrenpotenzials muss beachtet werden, dass sich ein biologischer Arbeitsstoff anders verhält als ein chemischer Stoff. Das Gefährdungspotenzial hängt beispielsweise stark vom eigenen Immunsystem ab. Es gibt auch bei biologischen Arbeitsstoffen eine Einstufung in Risikogruppen. Aber es wird kein direkter Vergleich zwischen einem Gefahrstoff und einem biologischen Arbeitsstoff gezogen. Eine äquivalente Untersuchung bei Gefahrstoffen wird für erforderlich gehalten, die auch die Schutzziele abbildet, um so zu einer transparenten Entscheidung zu kommen. Hierzu muss ein Vergleich gezogen werden, um zu einer Aussage zu kommen, ob das eine oder das andere substituiert werden soll.

Es wurde zu bedenken gegeben, dass selbst bei Vorhandensein gewünschter oder nicht gewünschter Bezugsgrößen, mit denen äquivalent zu gewichten ist, nicht davon ausgegangen werden könne, dass bestimmte technologische Innovationen schneller implementiert werden. So kann eine Ökobilanz unter Umständen zu anderen Ergebnissen kommen. Auch wisse man heute häufig noch nichts über die „Umweltschädlichkeit“ eines zu substituierenden chemischen Prozesses. Gleichwohl wird anerkannt, dass möglichst gut nachvollziehbare Evaluationen und Schwachstellenanalysen im Sinne einer Ökoeffizienz-Analyse notwendig sind, um über weitere Potenziale zu sprechen. Eine echte Ökobilanz unterscheidet sich ganz deutlich von einer Ökoeffizienz-Analyse. Man weiß nicht, wie es in 20 Jahren aussieht. Es ist aber klar,

dass eine Substitution, die irgendwelche Mängel einbringt, mit diesen Mängeln bewertet werden muss.

Bevor eine Ökobilanz oder ein anderes Bewertungsverfahren durchgeführt werden kann, sind zunächst Kriterien zu identifizieren. Solange die Größen nicht aufgestellt sind, die Einfluss auf die monetäre Entscheidung haben, und zwar nicht nur kurzfristig im Rahmen der Investition, sondern auch langfristig bei den Betriebskosten, solange nützen auch Bewertungsverfahren nichts.

In einigen Betrieben wurden für eine Reihe von Feinchemikalien Ökoeffizienz-Studien erstellt. Da gibt es Beispiele, die zeigen, dass die biotechnische Produktion z.B. von Vitaminen deutlich ökoeffizienter ist als das chemische Verfahren. Wenn das bereits gemacht worden wäre, als das Verfahren Anfang der 90er Jahre implementiert wurde, wäre das biotechnische Verfahren nicht unbedingt vorteilhafter gewesen, auch nicht im ökonomischen Sinn. Die Chemie war aber bereits in ihrem Entwicklungspotenzial vollkommen ausgereizt. Das fermentative Verfahren war dagegen ganz am Anfang seiner Entwicklung und es war offensichtlich, dass mit gleichem Medium und gleicher Anlage einfach durch bessere Organismen die Kapazität zu steigern war. Heute geht es immer noch voran, sodass das fermentative Verfahren heute bei weitem das ökoeffizientere und auch das wirtschaftlichere ist. Damals, als diese Umstellung vorgenommen wurde, waren es fünf Prozent des Weltbedarfs an Vitamin B₂, die fermentativ hergestellt wurden, heute sind es über 75 Prozent bei gleichzeitiger Zunahme der Kapazität von weltweit 4.000 Tonnen.

Es gibt aber auch andere Beispiele, wo die Biologie nach der gegenwärtigen Datelage aus Laborverfahren nicht ökoeffizienter ist, weil beispielsweise ein zu hoher Zuckerbedarf besteht. Dieser korreliert mit einem hohen Land- und hohen Wasserverbrauch. Das sind keine Störfallprozesse, aber diese Analysen zeigen dem Forscher, wo Entwicklungsarbeit dahingehend zu leisten ist, in welche Richtung diese Prozesse weiterentwickelt werden müssen, damit sie Alternativen darstellen. Das können die Analysen durchaus leisten. Das kann dann zu der Aussage führen, wenn die Endkonzentration erhöht, die Raum-Zeit-Ausbeute und Fermentationsdauer verkürzt und der Zucker effizienter genutzt wird, wird dieses Verfahren effizienter sein. Die Entscheidung fällt dann aus ökonomischen und auch aus ökoeffizienten Gründen für das Bioverfahren aus. Wenn bei manchen Prozessen heute diese Rechnung gemacht würde, sowohl wirtschaftlicher Art als auch die Ökoeffizienz-

Modellrechnung, würden sich zeigen, dass die Prozesse in vielen Punkten noch keine Alternative darstellen. Aber mit den verfügbaren Bewertungsmethoden können solche Prozesse heute optimiert werden.

Generell wird aus jetziger Kenntnis der Ersatz harter Chemie durch bio-/gentechnische Verfahren dem Arbeitsschutz keine solchen Probleme bringen, dass man das lassen sollte. Trotzdem kann es in Einzelbereichen so sein. Nach Aussage des Gutachtens ergibt sich durch die Substitution sogar ein erhebliches Potenzial für den Arbeitsschutz. So wurde festgestellt, dass bei allen Verfahren, die begutachtet wurden, der Arbeitsschutz immer einen entsprechenden Vorteil hatte. Deshalb ist es wichtig, wenn man die Vorteile biotechnischer Verfahren unter Sicherheitsaspekten bewerten will, gerade den Arbeitsschutzbereich und den Bereich der betrieblichen Anlagensicherheit noch genauer zu betrachten.

d: Bedarf an Anreizen/Reglementierungen zur Durchsetzung risikomindernder, biotechnischer Alternativen

In Bezug auf Forschungsbedarf wurde als notwendig angesehen, Forschungsarbeiten zu fördern, welche die Alternativen herausstellen. Wenn es Alternativen gibt, solche Prozesse umzusetzen, dann regelt sich das schon. Je mehr Daten da sind, um so eher haben Alternativen auch eine Chance, umgesetzt zu werden.

Zum einen gibt es schon heute eine ganze Menge Methoden und Technologien, mit denen Bioprozesse entwickelt werden können (z.B. ist zu erwarten, dass in fünf oder zehn Jahren alle Vitamine biotechnisch produziert werden). Es gilt jetzt, diese Enzyme, die Stoffwechselwege, die Mikroorganismen und die Verfahren so weit voranzutreiben und zu optimieren, dass es richtige Prozesse werden. Das ist Aufgabe der Industrie und kleiner Firmen. Dabei gibt es noch ein großes Defizit bei Ideen und guten Köpfen, die sich anschauen, was die Chemie heute schon kann und wie für solche Prozesse geeignete Enzyme gefunden werden können. Da muss die Industrie über mechanistisches Verständnis und rationales sowie evolutives Design nachdenken. Das ist vor allem eine Sache der Kommunikation zwischen Biologen oder Biochemikern und Chemikern und Verfahrensleuten. Diese Interdisziplinarität der Forschung muss weiter gefördert und vorangetrieben wird. Wenn diese Themen i-

identifiziert sind, müssen die entsprechenden Teams oder Forschungsstrukturen aufgebaut werden.

Die größte Herausforderung wird darin gesehen, Prozesse und Produkte zu identifizieren, für die sich dieser Aufwand lohnt. Für ein 2- oder 3 Millionen-€-Produkt lohnt es sich nicht, für zwei oder drei Jahre mit einem großen Team zu forschen. Aber beispielsweise die Produktion von Propylenoxyd mit einem entsprechend großen Umsatz wird für wert empfunden. Oder wenn die Acetylenchemie enzymatisch gemacht werden kann, hat das Chancen, denn es gibt hier viele Produkte, die nachher wieder in diese Verbundstrukturen passen.

In Europa und Deutschland wird den Bereichen Biokatalyse oder Biologie und Chemie eine sehr gute Forschung bescheinigt. Die ist so gut, dass sogar amerikanische Firmen nach Europa kommen, um nach Forschungspartnern zu schauen. Die Amerikaner haben inzwischen wieder sehr viele Start-ups auf diesem Gebiet und holen damit das nach, was sie im Bereich der universitären Forschung verschlafen haben, und gründen Firmen, die die Technologie vorantreiben. Insofern können neue Entwicklungen auch von Start-ups kommen.

Es muss verstärkt herausgearbeitet werden, wo Forschungsansatzpunkte sind, wo der eigentliche Bedarf ist, welche Technologien sollten es sein. Dann müssen die Forschungsstrukturen geschaffen werden, die diese Interdisziplinarität Chemie und Biochemie, Molekularbiologie und Metabolic-Engineering zusammenbringen.

Im Rahmen der neuen europäischen Chemikalienpolitik sollte darüber nachdacht werden, dass die Substitutionsfrage in Einzelfällen für Klein- und Mittelbetriebe schwierig ist. Hier wird empfohlen, dass der Staat bestimmte Verfahren oder Stoffe verbieten sollte, weil es sonst ein relativ aufwändiges Verfahren gibt. Man sollte über Anreizsysteme wie Kostenminderung, „Awareness-raising“, Erhöhung der Transparenz und ggf. in Extremfällen über Verbote und Beschränkungen nachdenken.

Anreize sind neben den ökonomischen solche, die den Aufwand der Anlagen mindern. Bei entsprechend hohem Einsatz von Vorsorge und Sicherheitsvorkehrungen ist der Prüf-, Wartungs- und Regelungsaufwand für die Sicherheitstechnik in der Regel sehr hoch. Da dieser Aufwand sehr stark mit Personalbedarf gekoppelt ist, ergibt sich durch eine Minderung des Aufwands auch ein erhebliches Kostensenkungspotenzial, insbesondere bei den kostenträchtigen Personalkosten.

Weiterhin vorteilhaft ist der ganze Formalbereich. Heute wird in den komplexen Anlagen schon Kataster für Kataster benötigt, weil die Unüberschaubarkeit dessen, was im Zusammenhang mit dem Betrieb riskanter oder Risiko-behafteter Anlagen dokumentiert werden muss, immens ist. Die Ersparnis des Dokumentationsaufwandes, des Nach- und Vorhaltens für Analysen und von Sicherheitsberichten kann ganz erheblich sein. Sie bindet auch erhebliches Personal und Kapazitäten in den Firmen.

Auch das Genehmigungsverfahren selbst ist zu nennen. Vieles könnte einfach im Vorhinein bei Zulassungen erledigt werden. Bei Behörden wurde stellenweise in den letzten Jahren eine Qualitätsabnahme auf der unteren Vollzugsebene konstatiert, teilweise durch das rigore Streichen von Fortbildungsmaßnahmen oder durch Nichtersatz und Überlastung (aber auch gegenteilige Erfahrungen wurden genannt). Das hat zur Folge, wenn die Behörde unsicher ist und nicht genau weiß, was sie fordern soll, so fordert sie lieber mehr. Es beeinträchtigt die Industrie sehr stark, dass sie mit unberechtigten und überzogenen Forderungen konfrontiert wird. Deshalb werden für Behörden einfachere Systeme vorgeschlagen, zu denen es schon standardisierbare Lösungen gibt, so dass vieles durch vorgeprüfte Verfahren gemacht werden könnte. So sollte das Baurecht, wasserrechtliche oder sicherheitstechnische Anforderungen, wie Hygiene, Gesundheitsanforderungen in die Bauproduktzulassungen integriert werden. Durch diese Antizipierung von Sicherheitskriterien, die hinterher der einzelnen Behörde vor Ort nicht mehr anheim fallen und sozusagen schon aus der Diskussion sind, lässt eine erhebliche Vereinfachung erwarten.

Als erster Schritt ist darzustellen, dass man durch die Biotechnik im Arbeitsschutz und bei der Anlagensicherheit tatsächlich belegbare Vorteile hat. Auch müssen sich die Vorteile ökonomisch rechnen. Dann kann ein Umdenkungsprozess initiiert werden. Aber wenn ein entsprechender Umdenkungsprozess initiiert ist und wenn die Basis für fachlich vernünftige Vergleichsmöglichkeiten vorhanden ist, dann steht auch Regeln oder Anstößen für Regeln nichts mehr im Wege. Bevor reglementiert wird, ist es besser, dass biotechnische Alternativen sich selbst durchsetzen, weil sie attraktiver sind. Man darf aber nicht bei der Forschung stehen bleiben, sondern es muss zumindest im Pilotmaßstab weitergehen. Vielleicht bestehen vereinzelt Möglichkeiten, die betriebliche Praxis durch Anreize weitertreiben zu können, beispielsweise mit Investitionsanreizen oder Steuererleichterungen und vielleicht zusätzlich auch durch Aussetzung von Preisen, die dann in Richtung Öffentlichkeitsarbeit publi-

kumswirksam verwendet werden können. Reglementierung sollte an dieser Stelle eher Deregulierung heißen, Anreize schaffen und Informationen über Fakten liefern. Ein deutlicher Schwerpunkt wird darin gesehen, sich auch argumentativ durchzusetzen. Es gibt bei den Akteuren verbreitet eine eingefahrene Meinung, die durch sehr viele Vorurteile oder auch eingeschränkte Überlegungen geprägt ist. Das hat sich bei den im Rahmen des Gutachtens durchgeführten Interviews deutlich gezeigt. Da hängt es im Moment sehr von den Individuen ab. Diese Individuen kann man stärken, indem man ihnen Instrumente und Bewertungsmaßstäbe gibt, die helfen, sich argumentativ gegenüber der klassischen Kostenargumentation durchzusetzen. Für bedeutend wird die Einbeziehung der Genehmigungsbehörden gehalten, da es wichtig ist, neue Beurteilungskriterien für die neuen biotechnischen Verfahren zu entwickeln, damit die Genehmigungsbehörden die Genehmigung schnell durchführen können.

Als Argument zieht letztendlich immer ein Prozess, der läuft. Es ist nicht so, dass zehn Prozesse stehen, die keiner haben will. Es gilt, diese Verfahren erst einmal soweit zu bringen, dass sie echte Alternativen darstellen. Das muss gefördert werden. Da gilt es die Strukturen an Instituten oder Start-Ups zu schaffen oder zu schauen, dass die entsprechenden Leute ausgebildet sind. Aber es fehlen noch viel zu viele Verfahren, die richtig funktionieren. Diese Verfahren müssen auf einen Reifestand gebracht werden, sodass sie in der Industrie auch übernommen werden können. Momentan gibt es in der Industrie sehr viele Ansätze in der Feinchemie und bei den Spezialitäten. Die Bulkchemikalien werden sicher nach und nach kommen. Es wurde vorgeschlagen, diese Bulk-Produkte unter Umweltverträglichkeits-Gesichtspunkten in einer Förderung anzugehen. Dann würden nach ein paar Jahren Demonstrationsbeispiele vorliegen.

Auf jeden Fall ist das Up-scaling eine Sache der Industrie. Es muss die Frage kommuniziert werden: Wo ist der Bedarf. Oft ist es so, dass ein rein biologisches oder mikrobiologisches Institut solche Arbeiten einfach nicht richtig erkennt. Auch ein chemisches Institut hat in der Regel nicht im Sinn, ein Bioverfahren zu entwickeln. Solche Querschnitts-Institute werden für notwendig erachtet, die es gegenwärtig noch relativ wenig gibt. Da werden noch Fördermittel oder auch Initiativen benötigt, damit sich die Leute aus den Chemie-Instituten, Biologie-Instituten oder einer Engineering-Gruppe zusammentun. Sowohl die Anregungen als auch der Transfer-Prozess da-

nach müssen aus der Industrie kommen. Man muss sich zusammenfinden, man muss Intimstes zusammen lösen. Das muss bis auf die Ausbildungsebene heruntergebrochen werden. Das fängt an bei den Lifescience-Studiengängen, die sich zurzeit in Deutschland etablieren. Ergänzend sollten sich solche Verbünde strukturieren, die auch die Aspekte Arbeitssicherheit, Ökonomie und Ökologie berücksichtigen. Das Verständnis muss dahin gehen, dass bei der Entwicklung eines neuen Verfahrens nicht nur die biotechnologische Sicht der Industrie oder Umsetzung angeschaut wird, sondern dass gleich bei der Entwicklung ein Ökonom und die Arbeitssicherheit beteiligt werden, damit gleich Daten vorliegen, die das neue Verfahren untermauern.

Für bedeutend werden Fallbeispiele auf dem Gebiet der Biotechnologie und des Metabolic-Engineering gehalten, die Erfolgsgeschichten vorexerzieren können. Diese ersten Erfolgsgeschichten sollten öffentlich unterstützt werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht in sehr vielen Firmen diese Offenheit für neue Prozesse existiert. Hier wäre es eine Breitenwirkung, eine „Infektion der Gehirne“, mit solchen Ideen durchaus das Wort zu reden. Und es gibt auch Aktivitäten auf dem Fördersektor durch BMBF etc., die lobenswert sind. Wenn eine Anlage abgeschrieben ist, in der billig produziert werden kann, ist ein Umstieg betriebswirtschaftlich nicht rentabel. Auf diesem Sektor ist es nur möglich, beispielgebend durch neue Prozesse zu wirken und dann schrittweise die alten Prozesse abzulösen.

Zur Lösung der Frage, wie man zu den Fallbeispielen kommen kann oder wie auch die Industrie aktiv werden kann, um diese Joint Ventures zwischen der Akademie und der Industrie voranzutreiben, wurde das „Inkubatorenprinzip“ vorgestellt. Dieses ist eine firmenmäßige Zusammenarbeit zwischen Universitäten und Industrie zu bestimmten Themen. Solche Inkubatoren befinden sich in Deutschland noch in der Gründung. Durch diese Systeme soll nicht nur eine virtuelle Plattform geschaffen werden, sondern eine physikalisch existierende Einheit, in der Universitätsforscher mit Industrieleuten zusammen kommen, die die Vorgaben haben, aber oft nicht die freien Ideen. Der Benefit für die Leute, die in solchen Inkubatoren arbeiten, kann sein, das neue Verfahren oder vielleicht auch das neue Produkt in eigenen Spin-off-Firmen aus den Inkubatoren wieder auszugründen und damit Profit machen zu können. Das wird zunächst ohne behördliche Unterstützung gemacht.

Für sinnvoll wird gehalten, in Analogie zur Störfallverordnung schon heute auch über Grenzwerte nachzudenken, die auch für bio-/gentechnische Dinge gelten. Jetzt ist im

Prinzip noch Zeit dazu. Bis die Behörde genehmigt, werden noch ein paar Jahre vergehen.

6 Fazit

Ausgangspunkt für die Vergabe des Gutachtens war die Frage, ob durch den Einsatz biotechnische Verfahren das Risiko bei Störfallanlagen (Seveso-II-Anlagen) reduziert werden kann. Den Bezugspunkt bildeten also biotechnische Verfahren. Es sollte nicht geprüft werden, ob z.B. durch die Optimierung eines chemischen Prozesses das gleiche Ziel erreicht werden könnte.

Auf dem Seminar wurde deutlich, dass es für bestimmte Produktgruppen (Feinchemikalien, Pharmawirkstoffe) keine Alternativen zur Biotechnik gibt und dass bei Produkten (Grundchemikalien), für die heute noch keine biotechnische Alternative zur Verfügung steht, großer Forschungsbedarf besteht.

Das Gutachten wurde als gute Grundlage angesehen, den Einsatz neuer Technologien wie der Biotechnik unter dem Aspekt Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu betrachten, wobei für die Industrie die Wirtschaftlichkeitsfrage stets in Vordergrund steht. Bei gegebener Sicherheit wird sich ein neues Verfahren nur durchsetzen, wenn es wirtschaftlicher ist als das Alternativverfahren. Biotechnische Verfahren wurden insbesondere in Bezug auf die Sicherheits- sowie Mess-, Steuer-, und Regelungstechnik als kostengünstiger angesehen. Allerdings wurde angemerkt, dass es bislang keine Methoden für eine Monetarisierung solcher Einflussgrößen gibt.

Mit Blick auf den Umwelt- und Arbeitsschutz bieten biotechnische Verfahren im Vergleich zu den Großstandorten der Chemie den Vorteil kleinerer Einheiten. Störfallrelevante Prozesse sind in der Regel großtechnische Prozesse und finden an Großstandorten statt. Dort ist es wegen des hohen Vernetzungsgrades der Produktion schwierig, Schlüsselprodukte zu ersetzen. Chancen für die Biotechnologie wurden eher im Aufbau neuer Produktionsverfahren gesehen. Da durch die Substitution bestehender Verfahren nur marginale Änderungen an einem Chemiestandort vorgenommen werden, hat dies vermutlich kaum Einfluss auf ein mögliches Störfallrisiko bzw. die Eingruppierung in die Störfallverordnung. Allerdings können durch den Verzicht auf die Verwendung störfallrelevanter Stoffe im Umweltschutzbereich möglicherweise signifikante Geldbeträge eingespart werden.

Eine große Bedeutung wurde der Biotechnologie im Vergleich zur Chemie mit Hinblick auf die Frage der technischen Anlagensicherheit beigemessen. Im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) durchgeführten Projektes wurde ermittelt, dass bei biotechnischen Anlagen in erster Linie ein stoffliches und kein prozesstechnisches Gefahrenpotential besteht. Sicherheitsmaßnahmen sind hier eher im Sinne eines Produktschutzes denn einer Prozesssicherheit zu sehen.

Die Biotechnik besitzt erhebliche Potenziale in Bezug auf die Anlagensicherheit, was sich gleichzeitig positiv auf den Arbeitsschutz auswirken dürfte. Es wurde generell davon ausgegangen, dass die Biotechnik dem Arbeitsschutz keine unüberwindbaren Probleme bringen wird, die den Einsatz biotechnischer Verfahren infrage stellen würden. Bei allen im Gutachten aufgeführten Verfahren zeigte die Biotechnik beim Arbeitsschutz deutliche Vorteile gegenüber der Chemie.

In der Diskussion wurde kritisch angemerkt, dass viele der im Gutachten identifizierten Prozesse für eine mögliche Substitution in Wahrheit noch keine echten Alternativen darstellen, weil die Prozesse entweder noch nicht ausgereift oder deren Marktpotenziale zu gering sind. Es herrscht noch ein Mangel an Verfahren, die wirklich einsetzbar sind. Es wurde ein Bedarf an der Identifizierung echter Alternativen gesehen. Hierzu wurde ein Ideenaustausch zwischen Chemikern, Biochemikern, Biologen, Molekularbiologen und Verfahrenstechnikern, die Förderung interdisziplinärer Forschungsansätze und von „Querschnitts-Instituten“ gefordert, die es heute noch zu wenig gibt. Des Weiteren wurde auf eine notwendige Kooperation zwischen Industrie und Universitäten hingewiesen. Aus solchen Joint Ventures, „Inkubatoren“ genannt, könnten sich Start-Ups mit neuen Produkten oder Verfahren gründen und neue Ideen in die Tat umsetzen.

Um die Anwendung der Biotechnik zu fördern wurde weiterhin empfohlen, durch Anreizsysteme wie Kostenminderung, Investitionsförderungen, Steuererleichterungen, Vereinfachungen im Genehmigungsverfahren und beim Dokumentationsaufwand sowie durch Öffentlichkeitsarbeit ein positives Klima zu schaffen. Reglementierungen sollten als letztes Mittel eingesetzt werden, frühestens dann, wenn eine Basis für fachlich korrekte Vergleiche geschaffen ist. Nicht zuletzt wurde auf die Notwendigkeit von Informationsangeboten hingewiesen, um bei den Akteuren ein Bewusstsein für die Möglichkeiten der Biotechnik zu schaffen. Dabei

dürfen ökonomische Aspekt nicht außer Acht gelassen werden. In einer abgeschrieben Anlage lässt sich kostengünstig produzieren, der Aufbau einer neuen Produktionsanlage bedeutet dagegen neue Investitionskosten. Daher ist es nur möglich, schrittweise die alten Prozesse abzulösen.

Als weitere Grundvoraussetzung für eine Entscheidung zur Substitution chemischer Produktionsprozesse durch biotechnische Verfahren wurde das Vorhandensein geeigneter Bewertungsverfahren genannt. Ohne sachgerechte Kriterien ist es unmöglich, eine sachgerechte Entscheidung zu treffen. Dies bezieht sich sowohl auf Kriterien für eine ökologische als auch für eine monetäre Bewertung. Hier spielen nicht nur die Investitionskosten sondern auch die langfristigen Betriebskosten eine wichtige Rolle. Ökoeffizienzanalysen bei Feinchemikalien haben gezeigt, dass der biotechnische Ansatz bei derzeitiger Datenlage nicht immer der ökoeffizientere Weg ist. Diese Bewertungsmodelle sind wertvolle Hilfen, um Prozesse zu optimieren und ökonomischer und umweltfreundlicher zu gestalten.

Als Ergebnis des Gutachtens ist festzuhalten, dass die Biotechnik zwar ein großes Potenzial zur Risikovorsorge hat, es aber auf absehbare Zeit an einer Realisierung mangelt. Die Vorteile biotechnischer Verfahren sind aufgrund der mildereren Prozessbedingungen insbesondere in Bezug auf die Anlagensicherheit gegeben. Ein geringerer technischer Aufwand und Vereinfachungen beim Genehmigungsverfahren und der Dokumentation sind weitere Argumente, die für die Biotechnik sprechen. Es sind noch enorme interdisziplinäre Forschungsanstrengungen nötig, um die Biotechnik in der chemischen Produktion voranzubringen. Auch müssen die Fragen zur ökologischen und ökonomischen Bewertung angegangen und beantwortet werden.

7 Conclusions

The starting point for the expert opinion was the question whether the use of biotechniques can reduce the risk in major accident relevant installations (Seveso II plants). Thus biotechnological processes were the point of reference. The report was not meant to examine whether the same goal could be achieved for example by the optimisation of a chemical process.

At the seminar it became obvious that there are no alternatives to biotechnology for certain product groups (fine chemicals, pharmaceuticals) and that vast research needs exist in the case of those products (basic chemicals) for which a biotechnological alternative is not yet available today.

The expert opinion was seen as a good basis for considering the use of new technologies such as biotechnology from the perspectives of safety and economy, whereby it should be noted that economic aspects always have priority for industry. With given safety a new process will only assert itself if it is more economically viable than the alternative process. Biotechnological processes were seen to be more cost effective in particular in terms of safety, measuring and control technology. However it was noted that there are so far no methods for an economic appraisal of such parameters.

With a view to environmental and workers protection biotechniques offer the advantage of smaller units compared to large chemical production sites. Major accident relevant processes are usually large-scale processes operated at larger production sites. At such plants it is difficult to replace key products due to the production's high degree of integration. Chances for biotechnology were seen to exist more in the development of new production processes. Since the substitution of existing processes involves only marginal changes to a chemical plant, this probably has hardly any influence on a possible major accident risk and/or classification into the Major Accidents Ordinance. However significant amounts of money might be saved in the environmental protection area by discontinuing the use of major accident relevant substances.

Great importance was attributed to biotechnology, as compared to chemistry, with respect to the question of technical plant safety. In a project carried out by the Federal Institute for Occupational Safety and Occupational Medicine (BAuA) it was found that in the case of biotechnological plants the danger potential results mainly from the

product, and not the technical process. Safety measures have to be seen here more as serving product protection than process safety purposes.

Biotechnology has substantial potential with regard to plant safety that might at the same time have a positive impact on occupational safety. It was generally assumed that biotechnology will not bring any insurmountable problems for occupational safety that would call the use of biotechnology into question. In all the cases specified in the expert opinion biotechnology showed itself to have clear advantages over chemistry in terms of occupational safety.

In the discussion it was critically noted that many of the processes mentioned in the expert opinion for a possible substitution were in truth still no genuine alternatives, because the processes are either not yet fully developed or have insufficient market potential. There is still a lack of procedures that are actually usable. A need was seen for the identification of genuine alternatives, through an exchange of ideas between chemists, biochemists, biologists, molecular biologists and process engineers and through the funding of interdisciplinary research and of "horizontal institutes", of which there are still too few today. Furthermore attention was called to the need for cooperation between industry and universities. Such joint ventures, called "incubators", could generate start-ups with new products or processes and result in new ideas being put into practice.

In order to promote the application of biotechnology it was in addition recommended to create a positive climate through incentive systems such as cost reduction, innovation funding, tax exemptions, simplifications in the licensing procedure and required documentation, and promotion. Regulations should be used as a last means, and no earlier than the time a basis for technically correct comparisons has been created. Last but not least it was noted that there is a need for information offers in order to create awareness among relevant actors of the possibilities of biotechnology. But economic aspect must not be ignored. A written off plant can produce at favourable costs whereas the set-up of a new production plant means new investment costs. Therefore old processes can be replaced only gradually.

The availability of appropriate assessment methods was mentioned as a further basic condition for a decision to substitute chemical production processes by biotechnological processes. Without adequate criteria for both an ecological and a monetary evaluation it is impossible to take an adequate decision. For monetary evaluation not only the capital costs but also the long-term operating cost play an important role.

Eco-efficiency analyses with fine chemicals showed that, based on the data currently available, the biotechnological approach is not always the more eco-efficient one. These evaluation models are valuable tools for optimising processes and for improving their economic and environmental performance.

Summing up the results of the expert opinion, biotechnology has high potential for risk prevention, but will lack in realisation for the foreseeable future. Biotechniques have advantages in particular in terms of plant safety, due to milder process parameters. Less investment in technical equipment, and simplifications in the licensing procedure and in documentation, are further arguments in favour of biotechnology. Enormous interdisciplinary research efforts have yet to be made in order to promote biotechnology in chemical production. In addition the questions concerning ecological and economic evaluation have to be tackled and answered.

8 Teilnehmerliste

Dr. Reiner Arndt
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin (BAuA)
Postfach 17 02 02
44061 Dortmund

Prof. Dr. Thomas Bley
TU Dresden
Inst. f. Lebensmittel- u Bioverfahrenstechnik
MommSENstraße 13
01062 Dresden

Prof. Dr. Herwig Brunner
Fraunhofer Inst. f. Grenzflächenforschung
und Bioverfahrenstechnik
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Johannes Drotleff
Umweltbundesamt
FG III 2.3
Seecktstraße 6-10
13581 Berlin

Dr. Wolfgang Dubbert
Umweltbundesamt
FG III 1.1 (M)
Seecktstraße 6-10
13581 Berlin

Dr. Klaus-D. Fascher
Bayerisches Staatsministerium für
Landesentwicklung und Umweltfragen
Rosenkavalierplatz 2
81925 München

Dr. Josef Geller
Geschäftsführer Verband der Chemischen
Industrie, LV Bayern
Innstraße 15
81679 München

Dr. Rüdiger Gregel
Landesumweltamt NRW
Fachbereich 83 - Anlagensicherheit
Wallneyerstraße 6
45133 Essen

Dr. Petra Greiner
Umweltbundesamt
FG IV 1.1
Seecktstraße 6-10
13581 Berlin

Dr. Benno Hain
Umweltbundesamt
FG II 1.1
Bismarckplatz 1
14193 Berlin

Dr. Bernhard Hauer
BASF AG
ZHF/D
67056 Ludwigshafen

Dr. Stefanie Heiden
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Referat Biotechnologie
An der Bornau 2
49090 Osnabrück

Angelika Horster
BUND e.V.
Uerdinger Str. 746
47800 Krefeld

Silke Katzer
Umweltkanzlei Dr. Rhein
Bahnhofstraße 17
31157 Sarstedt

Dipl.-Ing. Bettina Lafrenz
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin (BAuA)
Postfach 17 02 02
44061 Dortmund

Dr. Martin Mieschendahl
Umweltbundesamt
FG III 1.1 (M)
Seecktstraße 6-10
13581 Berlin

BDirin Jutta Penning
Umweltbundesamt
Fachbereichsleiterin III
Bismarckplatz 1
14193 Berlin

Dr. Wolfram Reichenbecher
Umweltbundesamt
FG IV 2.5
Seecktstr. 6-10
13581 Berlin

Dr. Hans-Bernhard Rhein
Umweltkanzlei Dr. Rhein
Bahnhofstr. 17
31157 Sarstedt

Dr. Steffi Richter
Umweltbundesamt
FG III 2.3
Seecktstraße 6-10
13581 Berlin

Dr. Ulrike Rockland
Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM) II.2901
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Mariola Rötzhelm
Celanese Chemicals Europe GmbH
Werk Ruhrchemie
EHSA/Umweltschutz
Otto-Roelen-Straße 3
46147 Oberhausen

Dr. Andrea Sättler
Henkel
VTB Enzym Technology
Henkelstraße 67
40191 Düsseldorf

MDgt. Dr. Gustav W. Sauer
Ministerium für Umwelt, Natur
und Forsten des Landes
Schleswig-Holstein
Mercatorstraße 3
24106 Kiel

Dr. J.D. Schladot
Projektträger Jülich PTJ-Bio
Forschungszentrum Jülich
52425 Jülich

Dr. Hans-Georg Sengewein
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit - Referat N II 4
Godesberger Allee 90
53175 Bonn

Dr. Johann Thoen
Dow Benelux N.V.
Global Research & Development
Herbert H. Domweg 5
P.O.Box 48
NL 4530 AA Terneuzen, Niederlande

Bettina Uhlmann
Umweltbundesamt
FG III 3.5
Schichauweg 58
12307 Berlin

Dr. Roland Ulber
TEXYS GmbH
c/o Institut für Technische Chemie
Callinstraße 3
30167 Hannover

Oliver Wolf
EUROPEAN COMMISSION
IPTS Institute for Prospective Technological
Studies
Edificio Expo-WTC
C/ Inca Garcilaso s/n
E-41092 Sevilla, Spanien