

# Sicherer durch Biotechnologie

## GEFÄHRLICHE CHEMISCHE PROZESSE KÖNNEN ERSETZT WERDEN

Die chemische Industrie ist in Verruf geraten als Sicherheitsrisiko für Mensch und Umwelt. Produktionsprozesse in der chemischen Industrie können oftmals ein Risiko für Mensch und Umwelt darstellen. Sicherer laufen etliche Herstellungsprozesse von Chemikalien, wenn chemische Methoden durch biotechnologische ersetzt werden. Das Institut für Technische Chemie zeigt, wie das möglich ist.

### 1 Einleitung

Die Herstellung chemischer Produkte folgt seit jeher dem technisch machbaren und effektivsten Verfahren einerseits und der wirtschaftlichsten Lösung andererseits. Selbstverständlich sind in der Abwägung hierbei auch Fragen der Sicherheit und nicht zuletzt des Umweltschutzes wie Ressourcenschonung und Emissionen einbezogen. Anlässe, etablierte Verfahren zu ändern, können in allen Bereichen liegen, sind aber besonders dann zu erkennen, wenn neue Technologien zum Einsatz kommen oder sich technisch-wirtschaftliche Randbedingungen geändert haben.

Die seit einigen Jahren zu erkennende Entwicklung biotechnischer Prozesse zur Herstellung von chemischen Produkten auch außerhalb der Lebensmittelherstellung ist zum Teil auch dem EDV-Einsatz in Prozessanalytik und Prozesssteuerung zu verdanken. Gleichzeitig scheint es, als blieben im Rahmen des vorherrschenden Wettbewerbs Innovationen klassisch-chemischer Verfahrensweisen eher auf Optimierungen beschränkt als auf die Entwicklung vollständig neuer Verfahren.

#### Abbildung 1

*Durch modernste Reaktortechnologie werden biotechnologische Verfahren effizienter und somit kostengünstiger.*

*Foto: Gesellschaft für biotechnologische Forschung*



Während der von der Bioverfahrenstechnik ausgehende Innovationsdruck durch eine Reihe von Autoren postuliert wurde, kann das Potenzial zur Substituierbarkeit dieser Verfahren gegenüber klassisch-chemischen Verfahren zur Zeit nur geschätzt werden [1–6].

Andererseits sind durch die Umsetzung der so genannten Seveso-II-Richtlinie in deutsches Recht der Anwendungsbereich des Störfallbegriffes und damit die Bindung an die Vorgaben der Störfallverordnung ausgeweitet worden.

Die Auswirkung von Anlageneinstufungen, die eine »ernste Gefahr« für die Allgemeinheit darstellen, ist damit ein ebenso aktuelles Thema.

Verschiedenste Untersuchungen und theoretische Überlegungen lassen erkennen, dass durch den Einsatz biotechnischer Verfahren das Gefahrenpotenzial einer ernsten Gefahr (Definition im Sinne des Störfallrechtes) gemindert werden kann, da derartige Verfahren gegenüber einer klassisch-chemischen Reaktionsführung im allgemeinen ein geringeres stoffliches und prozesstechnisches Umweltisiko aufweisen.

Es liegt deshalb nahe, die Frage des Substitutionspotenzials von chemischen Verfahrenstechniken durch biotechnische Verfahren mit den Fragen der Risikoversorge zu verknüpfen.

## 2 Substitutionspotenzial der Biotechnologie

Die unter verschiedenen gesellschaftlichen Aspekten, etwa der so genannten Nachhaltigkeit, diskutierte Biotechnologie liefert in teilweise rasanter Entwicklung immer neue Verfahren zur Herstellung von chemischen Produkten oder Produktspezifikationen.

Insbesondere durch

- den überwiegenden Einsatz nachwachsender Rohstoffe,
- die im Allgemeinen milden Reaktionsbedingungen biotechnischer Verfahren und
- den weitgehenden Ersatz human- und ökotoxischer Prozesskomponenten

kommt der Biotechnik ein hohes Substitutionspotenzial gegenüber klassisch-chemischen Verfahrensweisen zu.

Dies haben eine Reihe von Untersuchungen bestätigt.

Im Zusammenhang mit der Vorteilsdiskussion stellt sich auch die bislang nur untergeordnet bewertete Frage nach Vorteilen im Bereich der Risikoversorge gegenüber klassisch-chemischen Verfahren.

Solche Vorteile sind:

- geringere Aufwendungen im Bereich der Anlagensicherheit einschließlich Rohstoffbevorratung (z.B. Explosions- und Brandschutz),
- gezieltere Produktion durch erhöhte Spezifität/Selektivität (weniger gefährliche Nebenprodukte und Verunreinigungen, Fortfall sicherheitsrelevanter Aufarbeitungsschritte),
- Reduzierung des Freisetzungspotenzials durch kleinere, parallel betriebene Anlageneinheiten, eventuell dadurch auch Produktionsmöglichkeiten außerhalb hoch-integrierter Chemiestandorte,
- Alternativprodukte wie Biopolymere unter Fortfall sicherheitsaufwendiger Olefinchemie,

- Verminderung von Schadensfällen insbesondere mit Auswirkung auf die Umgebung (Störfälle) und
- Vermeidung ökologischer Rechenschaftspflicht, erzwungen durch Havarien neben Ausweitung der persönlichen Haftung.

In Bezug auf die Verbesserung der Sicherheit dieser Anlagen muss eine Verknüpfung mit den Kriterien des Störfallrechts über die im Prozess vorkommenden und in der Störfallverordnung gelisteten chemischen Stoffe erfolgen. Hierzu müssen die in den Pro-



## 3 Auswirkung biotechnischer Verfahren auf die Risikoversorge

Um die Einflussnahme einer Risikoversorge-Argumentation bei der Planung eines Substitutionsschritts berücksichtigen zu können, muss zunächst der Risiko-/Gefahrenbegriff des aktuellen Störfallrechts der Störfallverordnung 2000 zugrundegelegt werden.

Diese auf Basis der Seveso-II-Richtlinie der EG geschaffene Verordnung ändert den Umfang und Anwendungsbereich der bisherigen Störfallverordnung erheblich:

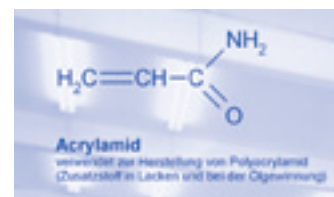
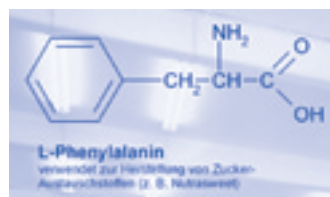
Betrachtet man die grundsätzlichen Substitutionspotenziale der Biotechnologie, so lassen sich zur Zeit rund 50 industrielle chemische Verfahren identifizieren, die durch biotechnische prinzipiell ersetzt werden könnten.

zessen vorkommenden Edukte sowie Zwischen-, Neben- und Endprodukte anhand der Gefahrensätze nach Gefahrstoffrecht (R-Sätze) identifiziert und zugeordnet werden.

Um die Bedeutung der biotechnischen Verfahrensalternative bewerten zu können, müssen schließlich noch Kategorien hinsichtlich der Jahresproduktionsmenge für das betreffende Produkt und des Standes der Verfahrensentwicklung der Bioverfahrenstechnik gebildet werden.

Abbildung 2  
*GMP-geprüfte biotechnologische Forschungs- und Produktionsbereiche stehen für eine Vielzahl von Grund- und Feinchemikalien in Deutschland zur Verfügung.*  
Foto: Gesellschaft für biotechnologische Forschung

Insgesamt bleiben nach dieser Vorgehensweise rund 30 Produkte, in deren klassisch-chemischen Produktionsverfahren Störfallstoffe vorkommen, die zu einem Störfallpotential eines Betriebsbereiches oder einer Anlage beitragen.



Exemplarisch sollen hier Verfahren zur Herstellung der folgenden Produkte kurz vorgestellt werden:

- **n-Butanol,**
- **Acrylamid,**
- **Propylenoxid,**
- **L-Phenylalanin.**

Zu diesen Produkten gehört sowohl ein Stoff, der bereits durch biotechnische Verfahren produziert, dessen Produktion zugunsten konventioneller Verfahrensweisen jedoch wieder eingestellt wurde (n-Butanol), als auch eine Verbindung, die bereits im industriellen Maßstab mit Hilfe biotechnischer Verfahren enzymatisch produziert wird (Acrylamid).

Ferner gehört zur Auswahl ein Produkt, dessen biotechnische Produktion über mikrobiologische Verfahren zur Zeit weltweit eingeführt wird (L-Phenylalanin) und ein Produkt, dessen technische Produktionsverfahren sich einerseits im Entwicklungsstand befinden, andererseits aber neue enzymatische Verfahren auch großtechnische Herstellungen in Aussicht stellen (Propylenoxid).

Für die einzelnen Stoffe lässt sich Folgendes feststellen:

### 1 n-Butanol

Bei Einsatz der anaeroben Fermentation aus Glucose nach dem kontinuierlich arbeitenden Wiener Verfahren gegenüber der konventionellen Oxosynthese aus Propen durch Hydroformulierung und Aldehydhydrierung ergibt sich ein eindeutiges Potenzial zur Absenkung der Störfallrelevanz durch Fortfall der im klassisch-chemischen Verfahren beteiligten Komponenten Propen, Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Das bereits seit längerem bekannte und ehemals eingesetzte ABE-Verfahren unterlag als biotechnisches Verfahren jedoch den Wirtschaftlichkeitskriterien und wurde eingestellt.

Das neue Wiener Verfahren lässt hier eine mögliche Umkehrung dieser Entwicklung erkennen. Vorteile ergeben sich insbesondere im Bereich der Minderung des unmittelbaren Anlagenrisikos, in dem die milden Bedingungen der Fermentation den hohen Drücken bis 100 bar und Temperaturen bis 196 Grad Celsius des konventionellen chemischen Verfahrens gegenüberstehen. Zugleich ergibt sich ein Vorteil für die Umwelt durch den reduzierten Verbrauch fossiler Rohstoffe.

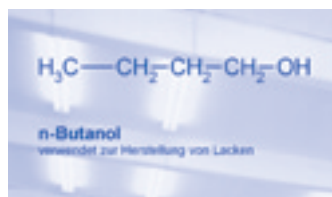
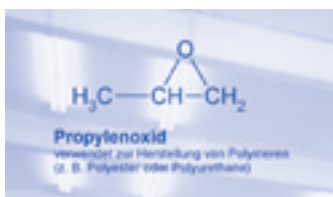
### 2 Acrylamid

Ein weiteres Beispiel großtechnisch hergestellter Produkte ist Acrylamid. Zwar gehen die biotechnische Verfahrensalternative mit Nitrilhydratase und das klassische Schwefelsäurehydratisierungsverfahren beidermaßen vom Acrylnitril als Ausgangsprodukt aus. Es entfällt beim biotechnischen Verfahren jedoch die Entstehung der sehr giftigen Blausäure.

Acrylamid wird deshalb bereits auch industriell durch Biotransformation hergestellt. Neben den Vorteilen der geringeren Öko- und Humantoxizität sowie der Schonung fossiler Rohstoffreserven ergibt sich wiederum ein Vorteil im Bereich des unmittelbaren Anlagenrisikos durch die Vermeidung hohen Drucks und hoher Temperatur.

Jedes Fallbeispiel wurde hinsichtlich der Produktbedeutung/Anwendung, der klassisch-chemischen Produktionsprozesse und der biotechnischen Alternative analysiert, sowie einer Risikobewertung anhand der Störfallstoffe und der mit diesen Stoffen bekannten Störfallereignisse unterzogen [9].

Anhand der vier ausgewählten und näher untersuchten Beispiele lässt sich zeigen, dass zwar kein generelles Potenzial zur Senkung des Anteils von Störfallanlagen erkennbar wird, dass aber aus Sicht der Anlagensicherheit sehr wohl ein risikoentlastendes Potenzial erkennbar ist.



### 3 Propylenoxid

Ersetzt man die Chlorhydrinsynthese durch ein biotechnisch zweistufiges Verfahren mit Monoxygenasen, so wird zwar Chlor als giftiges, aggressives und störfallrelevantes Edukt ersetzt, dafür kommt aber brennbares und giftiges Methangas zum Einsatz. Dennoch ergeben sich Vorteile in der Human- und Ökotoxizität.

Bislang begrenzen in der Regel Wirtschaftlichkeit und Durchsatz den Einsatz des biotechnischen Verfahrens, wobei sich die Erfahrungen allerdings auf die bisher eingesetzten Monoxygenasen beziehen. Die neuere Entwicklung lässt erkennen, dass das biotechnische Verfahren wettbewerbsfähig gegenüber den klassischen Verfahren werden könnte. Der Risikovorteil dürfte hierbei jedoch nicht so ausschlaggebend sein, insbesondere weil Chlor als Schlüsselprodukt in den meisten Chemiestandorten nicht wegzudenken ist.

### 4 L-Phenylalanin

Gegenüber der Umsetzung von Benzylchlorid mit Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Ammoniak oder Acetamid bietet die fermentative Herstellung aus Glucose eine erhebliche Senkung des stofflichen Gefahrenpotentials.

Da zur Zeit keine Produktion in Deutschland stattfindet, und gemessen an der Weltjahresproduktionsleistung eher kleinere Anlagen zu erwarten sind, fällt das unmittelbare Störfallsenkungspotenzial allerdings gering aus. International hat das biotechnische Verfahren bereits das klassisch-chemische Verfahren abgelöst. Wiederum ergeben sich Vorteile bei der unmittelbaren Anlagensicherheit allein aus der Absenkung von Druck- und Temperaturbedingungen.

### 4 Literatur

- A. Brellocks, A. Schmolke, H. Wolff, K. Kämpf (2001): Substitution chemischer Prozesse durch biotechnische Verfahren am Beispiel ausgewählter Grund- und Feinchemikalien. Studie der Prognos AG im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin. UBA-Text 16/2001
- Umweltbundesamt Österreich: Umweltbiotechnologie in Österreich. Monographien Band 85A, Wien (1997)
- J. Dürkop, W. Dubbert, I. Nöh (1998): Beitrag der Biotechnologie zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung. Studie des Umweltbundesamtes, Berlin. UBA-Text 1/99

Die genannten Beispiele zeigen, dass die Substitution durch biotechnische Verfahren im Rahmen der Risikoversorge durchaus berechtigt ist.

Biotechnische Produktionsverfahren werden in naher Zukunft sicherlich weiter an Bedeutung gewinnen, wobei neben dem Faktor der Risikoversorge ökonomische und ökologische Faktoren entsprechend starke Triebfedern darstellen.

Eine ausführliche Betrachtung der Risikoversorge in diesem Zusammenhang findet der Leser im dem UBA-Text 29/02 [7].

- B. Hüsing, S. Giebler, G. Jaekel (1998): Stand der Möglichkeiten von Prozessintegrierten biotechnischen Präventivtechniken zur Vermeidung oder zur Verminderung von Umweltbelastungen. Studie des Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung Karlsruhe im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin. UBA-Text 68/98
- A. Ast; D. Sell: Einsatz von gentechnisch veränderten Organismen zur Verringerung von Umweltbelastungen. Studie der Dechema e.V. im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin. UBA-Text 80/98
- Umweltbundesamt (Hrsg.): Stand der Möglichkeiten von prozessintegrierten biotechnischen Präventivtechniken zur Vermeidung oder Verringerung von Umweltbelastungen. Arbeitsgespräch vom 22./23.2.1999 im Umweltbundesamt, Berlin. UBA-Text 4/00.



**PD Dr. rer. nat. Bernd Hitzmann**  
Jahrgang 1957, ist Akademischer Rat am Institut für Technische Chemie.



**PD Dr. rer. nat. Roland Ulber**  
Jahrgang 1968, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter/Assistent am Institut für Technische Chemie.

- B. Hitzmann, S. Katzer, H.-B. Rhein, D. Schnitzmeier, R. Ulber: Ermittlung von Substitutionspotentialen von chemischen Verfahrenstechniken durch biogentechnische Verfahren zur Risikoversorge. UBA-Text 29/02 (2002)