

# Tools und Methoden zur Bewertung der Nachhaltigkeit von biotechnologischen Produkten und Verfahren

Chemie und Biotechnologie. Ansätze zum Vergleich Ökonomisch/Ökologischer Aspekte

- **Wie weiß ist die „Weiße Biotechnologie“?**
- **Sind „weiße Prozesse“ nachhaltiger als klassisch-chemische?**
- **Steigern „weiße Produkte“ die Wettbewerbsfähigkeit?**

Der Biotechnologie werden im Allgemeinen sehr gute Chancen für eine umweltverträgliche, nachhaltige Produktion von Stoffen zugeschrieben. Dieses resultiert aus dem häufigen Einsatz nachwachsender Rohstoffe, der Spezifität der enzymkatalysierten Reaktionen sowie der milden Reaktionsbedingungen. Biotechnologische Verfahren mit effizienten mikrobiellen Katalysatoren treten daher immer häufiger in Konkurrenz mit herkömmlichen Verfahren, die teilweise über viele Jahrzehnte optimiert wurden.

Für die Generierung von Wertstoffen, die üblicherweise in aufwendigen mehrstufigen Prozessschritten hergestellt werden, nutzt man immer häufiger die komplexen Stoffwechselleistungen von Zellen oder deren Bestandteile um oftmals in nur einem einzigen Verfahrensschritt stereoselektive bzw. hochspezifische Substanzen zu gewinnen. In der Regel schließt sich allerdings ein aufwendiger Aufarbeitungsprozess an. Insulin oder Aminosäuren sind hier nur einige der prominentesten Beispiele.

Die derzeit realisierten biotechnischen Verfahren und Produkte sind jedoch unter ökonomischen und ökologischen Aspekten nicht immer vorteilhaft.

Hoher Wettbewerbsdruck, Umweltauflagen, Ressourcenknappheit und Imageaspekte drängen Unternehmen immer mehr dazu, bereits bei der Entwicklung von Produkten und Verfahren auch ökonomische, ökologische und soziale Aspekte zu berücksichtigen.

Doch wie können diese Aspekte berechnet, verglichen und bewertet werden? Wie kann man diese verschiedenen Ansätze mit absoluten Bezugsgrößen belegen? Wie kann man bewer-

ten, ob sich aus „weißen Prozessen“ wirkliche Wettbewerbsvorteile ergeben?

Als vergleichendes Instrument bietet sich hier die Ökoeffizienzanalyse an. Mit Hilfe verschiedener Methoden und Tools lassen sich klare Aussagen bezüglich der ökologischen und ökonomischen Performance von Verfahrensvarianten berechnen und darauf aufbauend Entscheidungen treffen.

Das World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) definiert die Ökoeffizienz als die „zunehmende Produktion von nützlichen Gütern und Dienstleistungen bei laufend abnehmendem Verbrauch von natürlichen Ressourcen, also von Rohmaterialien und Energie“. Vor diesem Hintergrund als auch bei den von Paul Anastas und John C. Warner entwickelten zwölf Grundprinzipien von Green Chemistry (Oxford University Press, USA, April 28, 2000) [1] werden bei den meisten Ökoeffizienz-Konzepten die folgenden Ziele daher mit messbaren Indikatoren versehen und ins Management einbezogen:

- Minimierung der Materialintensität von Produkten und Dienstleistungen
- Minimierung der Energieintensität von Produkten und Dienstleistungen
- Minimierung von toxischen Einwirkungen
- Steigerung der Recyclingfähigkeit von Produkten
- Maximierung des Gebrauchs erneuerbarer Ressourcen
- Erhöhung der Haltbarkeit von Produkten

Die Ökoeffizienzanalyse ist somit ein Instrument für die vergleichende Beurteilung von Produkten, Verfahren oder Dienstleistungen im

Hinblick auf deren ökonomische und ökologische Effizienz.

Da die Entwicklungen von Produkten und Verfahren, ausgehend von der Idee über die Forschung und Entwicklung (F&E) bis zur Produkteinführung, ein komplexer und langer Weg ist, gilt es ständig entlang der Wertschöpfungskette ökonomische und Qualitätssichernde Entscheidungen zu treffen. Darüber hinaus müssen zunehmend ökologische und soziale Fragen im Sinne von Marktakzeptanz und Relevanz beantwortet werden. In diesem Zusammenhang bietet es sich an, das Instrument der Ökoeffizienzanalyse bereits in frühen Entwicklungsphasen zu nutzen und so jederzeit den Überblick über die Gesamtzusammenhänge zu bewahren.

Anstelle also nachbetrachtend auf dem Markt befindliche Produkte und Verfahren zu vergleichen und lediglich festzustellen, wie sich die quantitativen Umweltauswirkungen darstellen, ist es sinnvoller, bereits in der Produktentwicklung, Produktionsumstellung oder Etablierung ökoeffiziente Methoden einzusetzen. Um den Erfolg einer solchen Herangehensweise zu sichern, ist es besonders wichtig, das Fachwissen in frühen Projektphasen durch geeignete Maßnahmen signifikant zu erhöhen. In diesem Stadium werden oft erfolgsrelevante Entscheidungen getroffen werden, die später nur mit hohem Aufwand zu korrigieren sind. Im Unterschied zu gängigen ökologischen Bewertungstools, die in der Regel bestehende Prozesse oder angewandte Verfahren bewerten, stößt man bei einer Produkt- oder Prozessbewertung in der Entwicklungsphase an Grenzen. Jedoch sind in früheren Entwicklungsphasen chemischer und biotechnologischer Pro-

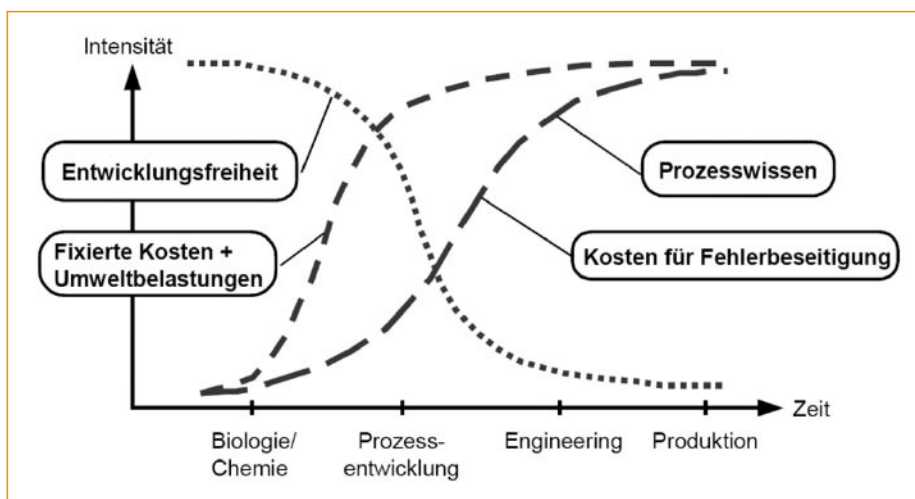


Abb. 1: Entwicklungsfreiheit, Prozesswissen, fixierte Umweltwirkungen und Kosten im Entwicklungsprozess (Heinzle und Hungerbühler, 1997) [2]

dukte und Verfahren die Entwicklungsmöglichkeiten maximal, das Wissen jedoch gering. Der größte Teil der später anfallenden Kosten und ebenso der größte Teil der später entstehenden Umweltwirkungen bzw. der Aufwand für die Beseitigung dieser Belastungen wird aber bereits in frühen Phasen fixiert. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, die Entwicklung von Prozessen und Produkten von Beginn an im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu evaluieren (Abb. 1).

In diesem Artikel sollen daher kurz einige Methoden und Tools vorgestellt werden, die eine Ökoeffizienzanalyse auch in frühen Entwicklungsphasen von Prozessen oder Produkten ermöglichen können. Der Begriff „Ökoeffizienz“ oder „Öko-Effizienz“ wird dabei auf unterschiedliche Weise benutzt. Ebenso sind unterschiedliche Definitionen von Ökoeffizienz bekannt. Somit ist es möglich, dass die Bestimmung der Ökoeffizienz von Produkten oder Verfahren auf verschiedenem Wege geschehen kann. Dazu können Kennzahlen gebildet werden, die z. B. quantitative Angaben zur Ressourcenschonung mit der ökonomischen Performance ins Verhältnis setzen, wie z. B.: x Tonnen eingesparter Rohstoffe pro Tonne Produkt bei gleich bleibender Wertschöpfung.

Neben der Ermittlung von Kennzahlen existieren aber auch zahlreiche Methoden, die sich mit dem ökoeffizienten Grundgedanken auseinandersetzen. So werden u. a. Ökobilanzen um ein Life Cycle Costing ergänzt, um einen ganzheitlichen ökoeffizienten Vergleich von Produkten oder Verfahren zu ermöglichen. Allgemein ist die Ökoeffizienzanalyse aber nicht mit einer Ökobilanz gleichzusetzen, da eine Ökoeffizienzanalyse über die Betrachtung von verschiedenen ökologischen Wirkungskategorien – wie z. B. Treibhauspotential – hinaus die Kosten für ein Produkt/Verfahren innerhalb eines bestimmten Untersuchungsrahmens mit einbezieht.

So existieren viele Methoden, die den Gedanken der Ökoeffizienz verfolgen.

### Tools und Methoden

Auf dieser Basis sollen im Folgenden drei software- und ein dienstleistungsorientierter Lösungsansatz zur Ökoeffizienzanalyse vorgestellt werden. [Tab. 1]

#### SuperPro Designer

SuperPro Designer wird von Intelligen, Inc. kommerziell vertrieben ([http://www.intelligen.com/superpro\\_overview.shtml](http://www.intelligen.com/superpro_overview.shtml)). Eine Demoversion ist zu Testzwecken verfügbar. Mit dem SuperPro Designer können verschiedene chemische und biotechnologische Verfahren und Prozesse modelliert bzw. simuliert werden. Die Software enthält Module für vielzählige Operationen der Chemie und Biotechnik, die übersichtlich als Prozesschart graphisch dargestellt werden können. Schwerpunkt des Tools sind die Berechnungen von Massen- und Energiebilanzen, Apparateauslegungen sowie der Investitions- und Projektkosten. Darüber hinaus ist eine umfangreiche Stoffdatenbank enthalten. Ökologische Aspekte (ausgenommen Massenindizes und Energieverbrauch) müssen separat betrachtet werden.

#### Eatos

Das von Dr. Marco Eissen (ursprünglich Universität Oldenburg und ETH Zürich) und Prof. Jürgen O. Metzger (Universität Oldenburg) entwickelte Tool Eatos (Environmental Assessment Tool for Organic Syntheses) wurde ursprünglich als Umweltbewertungswerkzeug für organische Synthesen entwickelt, kann aber auch für biochemische Prozesse eingesetzt werden. Eatos kann als freies Tool kostenlos heruntergeladen und eingesetzt werden (<http://www.chemie.uni-oldenburg>).

de/oc/metzger/eatos/deutsch.htm). Hiermit steht ein Hilfsmittel zur Verfügung, mit dem der Nutzer von Beginn an Aspekte wie Ressourcenverbrauch und Umweltverträglichkeit in die Synthesplanung einbeziehen kann.

### Sabento

Die Software Sabento wird kommerziell vom ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH (<http://www.sabento.com>) vertrieben und weiterentwickelt. Sabento ist ein assistentengeführtes Programm, mit dem biotechnische Produktionsprozesse modelliert und bewertet werden können. Basis von Sabento bildet das Programm Umberto, welches seit Anfang der 90er Jahre erfolgreich u.a. bei der Erstellung von produkt- und betriebsbezogenen Ökobilanzen und Stoffstromanalysen eingesetzt wird.

Die Software ist für die Bewertung von Produktionen mit Mikroorganismen, Zellkulturen und Enzymen konzipiert. Das zu Grunde liegende Modell umfasst alle Prozessschritte von der Vorbereitung des Mediums bis hin zur Aufarbeitung und Formulierung des Endprodukts. Mit Sabento wird eine detaillierte ökologische Prozessbetrachtung mit Einzelstoffbewertung erstellt. Die ökologische Bewertung verschiedener Szenarien erfolgt über so genannte Umweltbewertungszahlen, die relativ schnell eine Einschätzung der betrachteten Aspekte erlauben. Rohstoff-, Hilfsstoff-, Betriebs- und Energiekosten können u.a. mit Hilfe der automatisierten Berechnung

Tab.1: Übersicht der vorgestellten Tools und Methoden

Tool/Methode	Art
SuperPro Designer	Software
EATOS	Software
Sabento (Basis Umberto)	Software
„BASF-Methode“, SEEBalance	Beratung/Dienstleistung

von Stoff- und Energiebilanzen berücksichtigt werden.

### „BASF-Ökoeffizienzmethode“ & Seebalance

Im Unterschied zu den drei oben beschriebenen Software-basierten Tools bietet die BASF (<http://www.basf.com/group/corporate/de/content/sustainability/index>) die Erstellung einer Ökoeffizienzanalyse als Dienstleistungspaket an. Ziel der von der BASF Aktiengesellschaft entwickelten Ökoeffizienz-Analyse ist der Vergleich ähnlicher Produkte oder Verfahren zur Erfüllung des gleichen Kundennutzens. Dabei wird eine ganzheitliche und vergleichende Betrachtung der Lösungsalternativen durchgeführt. Die Art der Verfahren und Produkte ist nicht (auf die chem. Industrie) beschränkt. Die Gesamtkostenermittlung und die ökologischen Belastungen über den gesamten Lebensweg werden erfasst.

Seebalance bezeichnet die von der BASF entwickelte SocioEcoEfficiency Analysis. Im Rahmen dieser Analyse werden die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft – abgebildet. Damit ist es möglich, neben der Umweltbelastung und den Kosten auch die sozialen Aus-

wirkungen von Produkten und Herstellverfahren zu bewerten. Ziel ist es, alle drei Säulen der nachhaltigen Entwicklung in einem integrierten Instrument zur Produktbewertung zu vereinen, damit nachhaltige Entwicklung im Unternehmen mess- und steuerbar wird.

### Ausblick

Der o.a. Vergleich zeigt deutlich, dass die einzelnen Tools und Methoden verschiedene Ansätze repräsentieren und auf unterschiedlichen Wegen teilweise gemeinsame Ziele erreichen – die Optimierung von Produkten oder Verfahren.

Obwohl die Vorteile einer Ökoeffizienzanalyse auf der Hand liegen, sind die tatsächlichen Anwendungen solcher Methoden überschaubar. So werden die erwähnten Dienstleistungen und Softwaretools hauptsächlich von größeren Unternehmen aus der Industrie oder von Forschungsinstituten eingesetzt. Anwender aus dem Bereich „kleine und mittlere Unternehmen“ (KMU) finden sich kaum. Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Sicherlich beschreibt die Redewendung „business as usual“ ein großes Hindernis. Denn oft bleibt einfach zu wenig Zeit in KMU, sich für neue Methoden und Arbeitsabläufe zu öffnen. Deshalb ist es auch nicht verwunderlich, dass einige KMU sich erst mit dem Thema beschäftigen, wenn eine Notwendigkeit zur Material- und Energieeinsparung besteht – oftmals wurde beim Personal schon eingespart. Der größte Kostenblock im produzierenden Gewerbe ist mittlerweile mit durch den Materialeinkauf bedingt (ca. 40%). Die Deutsche Materialeffizienzagentur (DEMEA) schätzt hier ein Einsparpotential von jährlich 100 Mrd. Euro.

Eine wichtige Rolle zum Wissenstransfer übernimmt derzeit die Initiative ChemBioTec im Rahmen des Förderschwerpunktes „Biotechnologie“ der Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU). Das Ziel von ChemBioTec ist die Realisierung neuer nachhaltiger biotechnischer Produktionsprozesse in der chemischen und pharmazeutischen Industrie mit Leuchtturmwirkung auf biotechnologische und chemische Innovationen in Deutschland. Dabei nimmt die Ökoeffizienzbewertung eine zentrale Rolle ein, da in jedem Verbund-Projekt von ChemBioTec eine Ökoeffizienzanalyse erarbeitet wird. Die Erfahrungen aus mehreren Antragsrunden zeigen, dass durch die Durchführung von Ökoeffizienzanalysen die Grundlagen zur ökonomischen und ökologischen Optimierung von Prozessen oder Verfahren gut vermittelt werden und relevanten Einfluss auf die Prozessentwicklung nehmen. ChemBioTec etabliert somit nachhaltig Methoden und Tools zur Steigerung der Ökoeffizienz in Industrie und Wissenschaft, vor allem auch in kleinen und mittleren Unternehmen.

### Literatur

- [1] Green Chemistry By Paul T. Anastas and John C. Warner. Oxford University Press: Oxford. 2000. Paperback
- [2] Heinzle, E., Hungerbühler, K.: Integrated process development: The key to future production of chemicals. *Chimia* 1997, 5, 176–183.

### ► KONTAKT

**Tobias Brinkmann**  
ifu Hamburg GmbH  
Hamburg  
Tel.: 040/480009-48  
Fax: 040/480009-22  
t.brinkmann@ifu.com  
www.ifu.com

**Dr. Frank Eiden**  
ChemBioTec  
Dortmund  
Tel.: 0231/755-7391  
Fax: 0231/755-7382  
frank.eiden@chembiotec.de  
www.chembiotec.de