

# Nächste Generation biotechnologischer Verfahren

Streitschrift

für den Auftaktkongress





## Inhalt

### **Vision:**

**Produktionseinheit Zelle überwinden** ..... 4

### **Herausforderung:**

**Nachhaltige Lösungen für das 21. Jahrhundert** ..... 5

### **Ziel:**

**Der Biotechnologie neue Wege eröffnen** ..... 5

### **Der Weg:**

**Biologie und Ingenieurwissenschaften wachsen zusammen** .... 8

### **Der Strategieprozess:**

**Akteure müssen gemeinsam handeln** ..... 10

## Vision: Produktionseinheit Zelle überwinden

### Die Ingenieurleistung der Natur nutzen

#### Den lebenden Organismus als Reaktionssystem umgehen

Den lebenden Organismus als Reaktionssystem zu umgehen – das ist eine Vision für biotechnische Produktionsverfahren der Zukunft. Konstruktionsprinzipien und Problemlösungen der Natur sollen hierfür systematisch erforscht und in technische Anwendungen überführt werden. Ziel ist die Konvergenz von Biologie und Ingenieurwesen zu einer biomimetischen Produktionstechnik, mit der biologische Stoffwechselprozesse technisch nachgeahmt werden können. Als Grundlage dient die Entwicklung eines „Baukastensystems“, mit dem nach einem modularen Prinzip gewünschte Synthesen variabel mit einzeln zur Verfügung stehenden Systemkomponenten entwickelt, konfiguriert, modifiziert und durchgeführt werden können.

➕ „Heutige biotechnologische Verfahren haben den Nachteil, dass Organismen primär auf Wachstum und Vermehrung programmiert sind, nicht auf die Produktion einzelner Stoffe. Das macht Biotechnologie häufig so teuer. Wir brauchen einen wirklichen Durchbruch.“

➖ „Dank der Fortschritte der Systembiologie wird es immer besser gelingen, Produktionsorganismen für die industrielle Biotechnologie zu optimieren. Eine nächste Generation biotechnologischer Verfahren brauchen wir nicht.“

## Herausforderung: Nachhaltige Lösungen für das 21. Jahrhundert

Klimawandel, schwindende Rohstoffressourcen, demographischer Wandel, Energieversorgung und globaler Wettbewerb gehören weltweit zu den größten Herausforderungen im 21. Jahrhundert. Alternative Energie- und Rohstoffquellen müssen etabliert werden, um die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und endlichen Ressourcen zu verringern. Der demographische Wandel wird sich auf das Gesundheitssystem auswirken und den schon heute erkennbaren Trend der personalisierten Medizin forcieren. Dies wird zu individualisierten Arzneien und neuen Produktionsprozessen führen.

➕ „Für die Energieversorgung der Zukunft brauchen wir eine Photovoltaik basierend auf den Lichtsammelsystemen der Pflanzen, da diese effizienter sind als kristalline Halbleiter.“

➖ „Die Photosynthese technisch nachzuahmen, ist viel zu kompliziert. Wer das schafft, hat den Nobelpreis verdient.“

➕ „Personalisierte Arzneimittel, die passgenau in der Apotheke vor Ort durch Syntheseroboter hergestellt werden, minimieren Nebenwirkungen und maximieren die erwünschte therapeutische Wirkung.“

➖ „Diagnostische Ansätze aus der Kohortenmedizin (für Patientengruppen) sind ausreichend, Innovationen aus der regenerativen Medizin (Stammzellmedizin) sind zielführender.“

## Ziel: Der Biotechnologie neue Wege eröffnen

Die Verwendung von biologischen Systemen birgt prinzipiell einen wesentlichen Nachteil: Die jeweilige biotechnische Produktionsmethode muss sich stets nach den optimalen Wachstumsbedingungen des Organismus richten, da Zellen primär nicht auf die Stoffproduktion, sondern auf Wachstum und Vermehrung programmiert sind: Temperatur, Druck, pH-Wert, Zellmasse, Nährstoffkonzentration und Produktkonzentration müssen ständig erfasst und angepasst werden. Dies schränkt das potenzielle Anwendungsspektrum biotechnischer Verfahren stark ein. Neue Anwendungsbereiche für die Biotechnologie der Zukunft zu erschließen bedeutet, die Abhängigkeit heutiger Herstellungsmethoden von der Produktionseinheit Zelle zu überwinden, um eine industrielle Nutzung auch unter unnatürlichen Reaktionsbedingungen wie hohen Temperaturen, hohen Drücken oder apolaren Lösungsmitteln zu ermöglichen. Die nächste Generation biotechnologischer Produktionsverfahren könnte Anwendungen ermöglichen, die heute so nicht realisierbar sind. Denkbar sind zum Beispiel folgende Visionen:

## ZUKUNFTSVISION MEDIZIN

### Künstliche Bauchspeicheldrüse

Derzeit werden Millionen von Diabetes-Patienten mit Insulin behandelt, das mithilfe von gentechnisch veränderten Bakterien hergestellt wird. Trotz der Verbesserungen ist die Therapie mit Insulin aber auch heute noch mit Aufwand verbunden: Die Patienten müssen ständig ihren Blutzuckerspiegel überwachen und sich das Medikament rechtzeitig spritzen. In Zukunft könnten Diabetiker ein technisches Implantat erhalten, welches den Blutzucker automatisch überwacht, Insulin produziert und bedarfsgerecht ins Blut abgibt.

⊕ „Wesentliche Elemente einer künstlichen Bauchspeicheldrüse sind heute bereits technisch machbar. Man muss sie nun zu einem funktionierenden Ganzen zusammenfügen.“

⊖ „Die regenerative Medizin wird eine Organregeneration ermöglichen, durch die technische Implantate überflüssig werden.“

## ZUKUNFTSVISION ENERGIE

### CO<sub>2</sub>-Fixierung mit Sonnenlicht

Die Photosynthese wandelt CO<sub>2</sub> mithilfe der Sonnenenergie in speicherfähige chemische Verbindungen um, die zum Aufbau komplexer energiereicher organischer Verbindungen genutzt werden. Als Batterie der Zukunft sind künstliche Photosynthese-Chips denkbar, in denen Komponenten natürlicher Photosynthese-Systeme (z. B. Lichtsammelkomplexe) mit technischen Bauteilen zur Stromerzeugung und zur biologischen Fixierung und Weiterverwertung von CO<sub>2</sub> genutzt werden.

⊕ „Die biokatalytische Nutzung von CO<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub> als Basis für energiereiche Kohlenstoffverbindungen könnte ein Weg sein, um den künftigen Bedarf an Flüssigkraftstoffen (Auto, Schiff, Flugzeug) zu decken.“

⊖ „Zukünftig werden ganz andere Antriebs- und Kraftstoffkonzepte wie z. B. das Elektro-Auto eine Rolle spielen.“

## ZUKUNFTSVISION INDUSTRIE

### Reaktionsmodule für die Feinchemie

Der Einsatz von Enzymen als Katalysatoren in herkömmlichen chemischen Syntheserouten kann zu höheren Ausbeuten bei geringeren Energiekosten führen. Gebraucht werden dafür Biokatalysatoren, die auch in nicht-wässrigen Lösungsmitteln und unter nicht-physiologischen Reaktionsbedingungen effizient arbeiten. Hilfreich wären zudem Syntheseroboter, die auf eine Vielzahl standardisierter Mikroreaktionsmodule zurückgreifen, in denen Enzyme definierte Syntheseschritte durchführen.

⊕ „Für den breiteren Einsatz biotechnologischer Verfahren in der Chemie brauchen wir Enzymsysteme, die in nicht-wässrigen Lösungsmitteln funktionieren. Diese sind nur zellfrei vorstellbar.“

⊖ „Wir sollten die Produktionsprozesse in der Weise optimieren, dass die Stoffumsetzungen in wässrigen Lösungsmitteln stattfinden können. Damit sind zellfreie Systeme nicht erforderlich.“

## ZUKUNFTSVISION UMWELT

### Rohstoffe wie Phosphat recyceln

Viele für den Menschen bedeutende Rohstoffe (z. B. Phosphat) werden künftig immer knapper. Daher werden Techniken zur Etablierung von Stoffkreisläufen in Industriegesellschaften immer wichtiger. Um zum Beispiel den Phosphatkreislauf zu schließen, muss das im Abwasser enthaltene Phosphat zurückgewonnen werden. Da Phosphat ein biologisch relevantes Molekül ist, könnten hierfür biotechnologische Ansätze als Alternative zu bekannten chemischen Verfahren entwickelt werden.

⊕ „Die begrenzte Verfügbarkeit von natürlichem Phosphat macht eine Rückgewinnung von  $\text{PO}_4$  aus Abwässern notwendig. Diese wird am besten mittels immobilisierter Enzyme in speziellen Klärstufen gelingen.“

⊖ „Falls es zu einem Mangel an Phosphat kommt, gibt es effiziente chemische und physikalische Verfahren, die benötigten Mengen aus Klärschlamm zurückzugewinnen.“

## Der Weg: Biologie und Ingenieurwissenschaften wachsen zusammen

**„Wenn Du ein Schiff bauen willst, dann trommle nicht Männer zusammen um Holz zu beschaffen, Aufgaben zu vergeben und die Arbeit einzuteilen, sondern lehre die Männer die Sehnsucht nach dem weiten, endlosen Meer.“**

Antoine de Saint-Exupery

Wie wird die nächste Generation biotechnischer Verfahren aussehen? Niemand kennt den genauen Weg zum Ziel. Mögliche Startpunkte sind aber heute schon zu erkennen.

Technische Systeme bewegen sich im Zuge der Miniaturisierung bereits auf zellbiologisch relevante Größenmaßstäbe zu. Die Mikrosystemtechnik integriert Bio- und Nanotechnologie in Mikroumgebungen und macht sie anschlussfähig für die weitere Nutzung.

Als ein noch vergleichsweise junger Zweig innerhalb der Biotechnologie gilt die Synthetische Biologie. Sie zielt darauf ab, maßgeschneiderte Organismen zu entwickeln, die über genetische Schaltkreise gesteuert werden, um bekannte Verfahren aus der Ingenieurtechnik mit Hilfe standardisierter Genelemente nachzubilden. Forscher träumen davon, komplette Regelkreise in Minimalorganismen (sog. Chassis) einzubauen, um gewünschte Produkte zielgerichtet und mit großer Ausbeute zu produzieren.

➕ „Mit Minimalorganismen ließe sich die biotechnische Produktion gegenüber heutigen Zellsystemen spürbar verbessern.“

➖ „Synthetische Biologie ist bloß der nächste Modebegriff. Im Grunde ist sie nichts anderes als die logische Fortentwicklung der bisherigen Gentechnik.“

➕ „Das Metabolic Engineering von Mikroorganismen hat seine Grenzen. Um künftig noch komplexere Stoffumsetzungen und -synthese durchführen zu können, sind biometrische Verfahren mit künstlichen Enzymkaskaden notwendig.“

➖ „Das Etablieren von genetischen Schaltkreisen wird kaum funktionieren. Dafür sind Organismen einfach zu komplex.“

Ob und wie man die Abhängigkeit heutiger Herstellungsmethoden von der Produktionseinheit „Zelle“ überwinden kann, wird die Zukunft zeigen. Als Voraussetzung müssten insbesondere folgende technische Meilensteine erreicht werden:



Für eine nächste Generation biotechnologischer Verfahren, die sich am Baukasten-Prinzip orientiert, wird es darauf ankommen, zunächst grundlegende funktionale Bestandteile der Zelle nachahmen zu können. Dazu gehören die Herstellung funktionaler Moleküle, die Bereitstellung von Energie, die Bildung geeigneter Reaktionskompartimente sowie standardisierter Mikroreaktionsmodule, die Entwicklung biomimetischer Pumpensysteme und die Etablierung einer biomolekularen Systemsteuerung.

## Der Strategieprozess: Akteure müssen gemeinsam handeln

**„Wir befinden uns auf der Reise nach Indien, die uns nach Amerika führen soll.“**  
(ASE-Workshop, „Biotechnologie2020+“, 2008)

Nur in einem langfristig angelegten Strategieprozess unter Beteiligung der großen Forschungsorganisationen und Experten verschiedener Fachrichtungen aus Wissenschaft und Wirtschaft kann es gelingen, die für die Entwicklung der nächsten Generation biotechnologischer Produktionsverfahren notwendige disziplinübergreifende Zusammenarbeit zu stimulieren. Es geht um die Entwicklung von Visionen für biotechnologische Produktionsprozesse von morgen, um die Ableitung von FuE-Missionen zur Realisierung dieser Visionen, um die Initiierung und Koordinierung von Selbstorganisationsprozessen in der Forschungslandschaft und neue Fördermaßnahmen zur Schließung von Forschungslücken. Chancen für den Produktionsstandort Deutschland sollen erschlossen und genutzt werden; gesellschaftliche Aspekte frühzeitig reflektiert und angemessen berücksichtigt werden. Deutschland ist mit seinen starken Ingenieurwissenschaften und als bedeutender Standort der chemischen Industrie in einer günstigen Ausgangsposition. Der Strategieprozess „Nächste Generation biotechnologischer Verfahren“ lädt alle am FuE-Prozess Beteiligten ein, sich aktiv an der Diskussion um die Verwirklichung dieser zukünftigen Produktionstechniken zu beteiligen:

- Welche Trends und ungelösten Probleme könnten zu einem Bedarf an der nächsten Generation biotechnologischer Verfahren führen?
- Welche Forschungsfelder und technologischen Entwicklungen sind von Relevanz für derartige Verfahren und sollten gezielt verfolgt werden?
- Gibt es andere technologische Ansätze, die zu einer Konkurrenz für derartige Verfahren werden könnten oder es bereits sind?
- Welchen politischen und ethischen Herausforderungen müssen sich Wissenschaft und Wirtschaft bei der Entwicklung der nächsten Generation biotechnologischer Verfahren stellen? Welche Rahmenbedingungen müssen hierfür angepasst werden?

**Impressum:**

Realisiert durch  
BIOCOM Projektmanagement GmbH  
im Rahmen des Strategieprozesses  
„Nächste Generation biotechnologischer  
Verfahren“  
Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung  
Berlin, 2010

Sie haben Anmerkungen zur Streitschrift  
oder wollen Inhalte kommentieren?  
Bitte schreiben Sie an:  
[kommentar@biotechnologie2020plus.de](mailto:kommentar@biotechnologie2020plus.de)

[www.biotechnologie2020plus.de](http://www.biotechnologie2020plus.de)

