

# 04 Berichte aus dem BioÖkonomieRat

---

**Empfehlungen zum Aufbau einer wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Bioökonomie –**

**Beitrag der Industriellen Biotechnologie zum wirtschaftlichen Wandel in Deutschland**

**Positionspapier der Arbeitsgruppe  
Biotechnologie des BioÖkonomieRats**

Herausgegeben von:

Wiltrud Treffenfeldt (Sprecherin), Rainer Fischer, Stefanie Heiden, Thomas Hirth,  
Karl-Heinz Maurer, Christian Patermann, Thomas Schäfer, Andreas Schmid,  
Carsten Sieden, Dirk Weuster-Botz, Holger Zinke

**Berichte aus dem BioÖkonomieRat**

**Empfehlungen zum Aufbau einer wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Bioökonomie –**

**Beitrag der Industriellen Biotechnologie zum wirtschaftlichen Wandel in Deutschland**

Positionspapier der Arbeitsgruppe  
Biotechnologie des BioÖkonomieRats

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet abrufbar über:  
<http://dnb.d-nb.de>

ISBN 978-3-942044-56-1 (Druckausgabe)  
ISBN 978-3-942044-57-8 (Online-Version)  
ISSN 2191-0820

Diese Publikation ist auch als Download verfügbar unter:  
<http://www.biooekonomierat.de>

Alle Rechte vorbehalten.

Die in diesem Positionspapier geäußerten Ansichten und Meinungen sind nicht durch den BioÖkonomieRat (BÖR) autorisiert. Für die Inhalte sind ausschließlich die aufgeführten Mitglieder der AG Biotechnologie verantwortlich.

© BioÖkonomieRat und Autoren, 2010

Geschäftsstelle  
Mauerstraße 79 E  
10117 Berlin

## **IMPRESSUM**

**Redaktion:** Arbeitsgruppe Biotechnologie:

Wiltrud Treffenfeldt (Sprecherin), Rainer Fischer, Stefanie Heiden, Thomas Hirth,  
Karl-Heinz Maurer, Christian Patermann, Thomas Schäfer, Andreas Schmid, Carsten Sieden,  
Dirk Weuster-Botz, Holger Zinke

**Konzept und Gestaltung:** psz Kommunikation, Patrick Imhof

**Satz:** Piccobello, Richard Weis

Die Arbeitsgruppe Biotechnologie dankt den externen Gutachterinnen und Gutachtern für ihre wertvollen Hinweise zu dem vorliegenden Papier.

Besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung als Mittelgeber sowie acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften für die administrative Begleitung.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Präambel: Biotechnologie als der Treiber einer wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Bioökonomie der Zukunft</b>	<b>2</b>
<b>2. Biotechnologie als Treiber für einen wirtschaftlichen Wandel</b>	<b>4</b>
2.1. Kommerzielle Nutzung der Biotechnologie – Industrielle Biotechnologie für nachhaltiges Wirtschaften in Deutschland	4
2.2. Bedeutung der Industriellen Biotechnologie in Deutschland – Vergleich zu internationalen Aktivitäten	7
<b>3. Industrielle Biotechnologie als wichtiger Baustein für den wirtschaftlichen Wandel</b>	<b>10</b>
3.1. Initiierung und Förderung volkswirtschaftlicher Forschung zur Stärkung der Industriellen Biotechnologie	13
3.2. Entwicklung und Nutzung von Plattformtechnologien über die Grenzen der bisherigen Anwendung hinaus: insbesondere Förderung der Bildung von neuen Allianzen, Kooperationen und Partnerschaften	14
3.3. Förderung interdisziplinärer Themen mit hohem Innovationspotenzial und visionärem Charakter: künstliche Photosynthese – der Weg zur Biobrennstoffzelle	16
3.4. Herstellung von Plattformchemikalien mittels biotechnologischer Verfahren und ihre Einbindung in Bioraffinerien	19
3.5. Bündelung und Koordinierung überregionaler Bioökonomie-Aktivitäten	23
3.6. Unterstützung des wirtschaftlichen Wandels durch bessere Kommunikation technologischer Entwicklungen und verbesserte Ausbildung im Bereich Industrielle Biotechnologie	24
<b>4. Zusammenfassung der Empfehlungen</b>	<b>27</b>
<b>Quellenangaben</b>	<b>28</b>

# 1. Präambel: Biotechnologie als der Treiber einer wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Bioökonomie der Zukunft

Die Biotechnologie<sup>1</sup> ist eine der innovationstreibenden Schlüsseltechnologien der Hightech-Strategie 2020 der Bundesregierung (BMBF, 2010b). Ihr wird besondere innovationspolitische Aufmerksamkeit geschenkt, da sie eine zukunftsweisende innovative Spitzentechnologie ist, deren Beherrschung für die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands essenziell ist. Von ihr geht hohe politische Signalwirkung beim Umbau der Volkswirtschaften entsprechend dem Leitbild des nachhaltigen Wirtschaftens aus. Als interdisziplinäre Querschnitts- und Spitzentechnologie ermöglicht sie vielfältige Anwendungen, insbesondere in den Bereichen Medizin und Gesundheit, Landwirtschaft und Ernährung, Umweltschutz und Energie sowie Chemie. Ihre Implementierung verändert zahlreiche Wirtschaftsbranchen: So ist eine moderne Pharmaindustrie ohne Biotechnologie heute nicht mehr vorstellbar. Die Transformation der Pharmaindustrie durch die Biotechnologie („Paradigmenwechsel“) hat dafür gesorgt, dass sich deren industrielle Struktur völlig verändert hat. Binnen nur 15 Jahren wurde die ehemalige „Apotheke der Welt“ Deutschland von ihrem Spitzenplatz verdrängt. Neben der Erforschung und Entwicklung biotechnologischer Basistechnologien ist deren erfolgreiche Integration in industrielle Anwendungsfelder und Branchen erforderlich, um Innovations- und Wachstumsprozesse zu fördern und maßgeblich zur Lösung drängender Zukunftsaufgaben beizutragen. Innovationspolitische Bemühungen (z. B. HighTech-Strategie, Forschungsunion, BioIndustrie 2021 etc.) zielen darauf ab, die Vorteilhaftigkeit und Nachhaltigkeit biotechnologischer Lösungen im Vergleich zu etablierten Technologien zu bestimmen und ihnen zur beschleunigten Umsetzung zu verhelfen.

Wie in der Agenda 21, dem Aktionsplan zur UN-Deklaration von Rio 1992 (UN, 1992), ausgeführt wird, stellt die Biotechnologie eine Schlüsseltechnologie zur Realisierung des Leitbilds der Nachhaltigen Entwicklung, d. h. zur Verbesserung ökologischer, ökonomischer und sozialer Bedingungen dar. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und seiner Folgen sowie der zunehmenden Verknappung fossiler Ressourcen kommt der nachhaltigen Umgestaltung der industriellen Produktion – gerade in einem rohstoffarmen, exportorientierten Land wie Deutschland – große Bedeutung zu. Hierzu kann die Biotechnologie wesentliche Beiträge leisten.

Die Industrielle Biotechnologie – oder auch „weiße Biotechnologie“ ist die industrielle und kommerzielle Anwendung von Enzymen und Mikroorganismen zur Herstellung von Biotreibstoffen und Bioprodukten, die in den Bereichen Chemie, Lebens- und Futtermittel, Papier und Textilwirtschaft oder auch verwandten Bereichen eine Anwendung finden (EuropaBio, 2003). Damit ist sie im Portfolio von Spitzentechnologien ein wesentlicher Bestandteil der Bioökonomie.

Industrielle biotechnologische Verfahren laufen in der Regel – anders als klassische chemische Prozesse – unter milden Bedingungen, in wässrigen Medien und mit hoher Selektivität und Spezifität ab. Deshalb trägt etwa die Biokatalyse<sup>2</sup> in industriellen Produktionsprozessen dazu bei, den Wirkungsgrad und die Ausbeute zu erhöhen, den Rohstoff- und Energieverbrauch zu senken, die Entstehung unerwünschter Neben-, Folge- und Koppelprodukte und

<sup>1</sup> Biotechnologie ist „die Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen, Teile von ihnen, ihre Produkte oder Modelle von ihnen zwecks Veränderung von lebender oder nichtlebender Materie zur Erweiterung des Wissensstandes, zur Herstellung von Gütern und zur Bereitstellung von Dienstleistungen“ ([www.oecd.org/document/42/0,3343,en\\_2649\\_37437\\_1933994\\_1\\_1\\_1\\_37437,00.html](http://www.oecd.org/document/42/0,3343,en_2649_37437_1933994_1_1_1_37437,00.html))

<sup>2</sup> Als Biokatalyse wird eine Umsetzung und Beschleunigung oder Lenkung chemischer Reaktionen (Katalyse) bezeichnet, in der Enzyme als biologische Katalysatoren dienen (Faber, 2000)

Emissionen zu minimieren und den Einsatz giftiger oder nicht abbaubarer Stoffe zu verringern. Dadurch sinken Umweltbelastungen in den Bereichen Boden, Luft und Wasser sowie Material- und Energiekosten. Zudem entfalten biotechnische Produktionsverfahren ihre besonderen Stärken dort, wo es um die Umwandlung von Naturstoffen bzw. den Einsatz nachwachsender Rohstoffe geht. Deshalb trägt die Industrielle Biotechnologie wesentlich dazu bei, Biomasse als regenerative industrielle Rohstoffbasis zu erschließen, ökonomisch sinnvoll nutzen zu können und so in der Folge fossile Rohstoffe zunehmend zu ersetzen.

Während fallweise beeindruckende Umweltentlastungen, Material-, Energie- und Kosteneinsparungen bei der Substitution umweltbelastender Prozesse und Prozessschritte durch biotechnische Verfahren erzielt werden, würden hiermit die Nachhaltigkeitspotenziale der Biotechnologie nur unzureichend ausgeschöpft, wenn nicht zugleich auch innovative Produkte und Prozesse mit neuartigen Eigenschaften erforscht und entwickelt würden. Marktsegmente und Produktgruppen, die in den kommenden 20 Jahren weiter erschlossen werden, sind Fein- und Spezialchemikalien, Wirkstoffe und funktionelle Inhaltsstoffe für medizinische, nutritive, kosmetische und agrochemische Anwendungen, Biopolymere (Biokunststoffe), aber auch Bioenergieträger und Basischemikalien. Meist handelt es sich dabei um Märkte mit dauerhaft stabilen Wachstumsraten, die zum Teil deutlich über den branchendurchschnittlichen Wachstumsraten liegen. Bereits heute beträgt der Anteil von Produkten und Verfahren am Umsatz, die die Biotechnologie nutzen, beispielsweise in der Chemieindustrie etwa 5 % (Bachmann et al., 2004). Ein Anstieg auf 10–20 % bis zum Jahr 2025 wird erwartet (McKinsey&Co, 2006).

## 2. Biotechnologie als Treiber für einen wirtschaftlichen Wandel

### 2.1. Kommerzielle Nutzung der Biotechnologie – Industrielle Biotechnologie für nachhaltiges Wirtschaften in Deutschland

Die Bundesregierung bringt 1997 die dringende Notwendigkeit eines tiefgreifenden Wandels von Wirtschaft und Gesellschaft im Sinne des Sustainable Development (Nachhaltige Entwicklung) wie folgt zum Ausdruck: „Menschliches Leben und Wirtschaften ist an einem Punkt angelangt, an dem es Gefahr läuft, sich seiner eigenen natürlichen Grundlagen zu berauben“ (BMU, 1997).

Die Forderung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise ist zunehmend in den gesellschaftlichen Blickpunkt gerückt. Dabei ist zentrales Ziel des Nachhaltigkeitsanliegens die Sicherstellung und Verbesserung ökologischer, ökonomischer und sozialer Leistungsfähigkeit, wie sie schon die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestags forderte (Bd.-Rg., 1998). Das BMBF widmet sich diesen Themen in vielfältiger Form: Neben verschiedenen aktuellen Ausschreibungen unterhält das Haus eine eigene Abteilung zur „Zukunftsvorsorge – Forschung für Grundlagen und Nachhaltigkeit“ (Abt. 7). Im jüngsten BMBF-Rahmenprogramm zur „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ benennt das BMBF neben vier weiteren Schlüsseltechnologien insbesondere auch die Biotechnologie als wichtiges Forschungsfeld für nachhaltige Entwicklung (BMBF, 2009). Auch die UN sieht in der Biotechnologie eine Schlüsseltechnologie zur Realisierung des Leitbilds der Nachhaltigen Entwicklung, d. h. zur Verbesserung von Ökologie, Ökonomie und sozialer Sicherheit (UN, 1992).

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und seiner Folgen sowie der zunehmenden Diskussionen um Dauer und Sinnhaftigkeit der Nutzung fossiler Ressourcen kommt einer nachhaltigen Umgestaltung der industriellen Produktion – gerade in einem an Rohstoffen armen, exportorientierten Land wie Deutschland – große Bedeutung zu. Die OECD traut der Industriellen Biotechnologie z. B. eine außerordentliche wirtschaftliche Bedeutung und ein großes CO<sub>2</sub> Einsparpotenzial zu.

Ökoeffizienzanalysen für Verfahren der Industriellen Biotechnologie haben in einigen Fällen, z. B. für die Herstellung von Biopolymeren, Antibiotika, Vitaminen u. a. gezeigt, dass diese Verfahren Vorteile sowohl in ökologischer als auch ökonomischer Hinsicht haben können. Biotechnologische Verfahren haben aber nicht per se eine bessere Ökoeffizienz. Es gilt daher, bei der Bewertung der Vorteilhaftigkeit biotechnologischer Verfahren, Transparenz und Einheitlichkeit der Nachhaltigkeits-Bewertungsmethoden zu gewährleisten.

Die biobasierten Produkte und Verfahren der Industriellen Biotechnologie werden als Treiber eines weltweiten wirtschaftlichen Wandels („Dritte Industrielle Revolution“) in Richtung des Leitbilds des nachhaltigen Wirtschaftens verstanden, weil sie

- durch die effiziente Nutzung nachwachsender Rohstoffe neue Möglichkeiten der Wertschöpfung in der Land- und Forstwirtschaft ermöglichen,
- die Abhängigkeit von endlichen fossilen Ressourcen, insbesondere Rohöl, verringern,
- durch neue Methoden der Energieumwandlung auf Basis nachwachsender Rohstoffe zur Deckung des steigenden Energiebedarfs beitragen,
- zur Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen und Schadstoffen beitragen (OECD, 2001).

Neben diesem Potenzial bietet die Industrielle Biotechnologie jedoch auch eine Basis für ganz neuartige Produkte und integrierte sowie nachhaltige Systemlösungen. Internationale Publikationen und Studien zeigen, dass zu erwarten ist, dass mit diesen Ansätzen neue Produkte generiert werden können, die zum Teil neue Märkte definieren und adressieren (EuropaBio, 2010). Diese Potenziale stellen eine erhebliche volkswirtschaftliche Entwicklungsmöglichkeit dar, sodass insbesondere die deutsche technologiebasierte und exportorientierte Wirtschaft profitieren kann.

Die Voraussetzung, dass die von der OECD erwartete Bedeutung der Industriellen Biotechnologie zur Einsparung von CO<sub>2</sub> realisiert wird, ist allerdings, dass kostengünstige pflanzliche Rohstoffe, die nicht mit der Nahrung konkurrieren, effizient aufgeschlossen und für biotechnologische Umsetzungen nutzbar gemacht werden können. Gelingt dies, wird eine umfassende biobasierte Wirtschaft (Bioökonomie) entstehen, wobei die größten wirtschaftlichen Beiträge von der Industriellen Biotechnologie (39 %) und von der Biotechnologie in der Agrarwirtschaft (36 %) erwartet werden können (OECD, 2009).

Dies spiegelt sich allerdings nicht in der aktuellen Forschungsförderung wider. Obwohl 75 % des biotechnologiebasierten wirtschaftlichen Wachstums durch die Landwirtschaft und Industrielle Biotechnologie zu erwarten sind, werden 80 % der öffentlichen biotechnologischen Forschungsausgaben in den Bereichen Pharma und Medizin investiert (OECD, 2009). Insgesamt spielt der Anteil der Förderung biotechnologischer Themen am Gesamtvolumen etwa des BMBF im Vergleich z. B. zur Wehrtechnik, Luft- und Raumfahrt oder Physik eine nachgeordnete Rolle.

Dies wird weder der aktuellen noch der künftigen Bedeutung der Biotechnologie gerecht. Mit der Biotechnologie in ihren unterschiedlichen Facetten werden bereits heute viele Lebensmittel, aber auch hochwertige Chemikalien, Enzyme, Arzneimittel, Vitamine, Wasch- und Reinigungsmittel sowie Agrochemikalien hergestellt, die aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken sind und eine hohe Marktbedeutung mit derzeit ca. 80 Mrd. € haben. Dazu kommen noch Produkte der roten Biotechnologie, deren Marktvolumen innerhalb der Pharmaindustrie bereits 100 Mrd. € übersteigt.

### Biotechnologische Methoden und Verfahren

In der Biotechnologie werden verschiedene biologische Produktionssysteme genutzt. Diese sind Pflanzen, Algen, Mikroorganismen und zellfreie Systeme wie Enzyme, die ihrerseits aus den vorher genannten biologischen Systemen gewonnen werden (siehe Abbildung 1).

Abhängig von den eingesetzten biologischen Systemen werden die Zielprodukte in der Landwirtschaft („Grüne Biotechnologie“) oder in geschlossenen

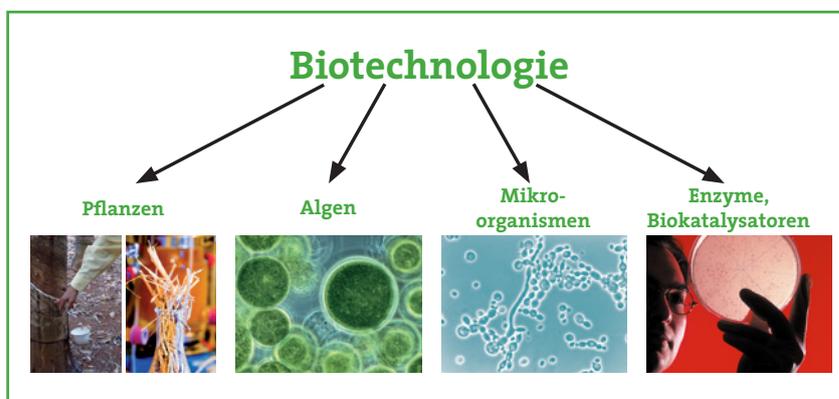


Abbildung 1: In der Industriellen Biotechnologie genutzte biologische Systeme zur Produktion von Biomasse, Bioprodukten und Energie; Quelle: Fraunhofer IGB

Bioreaktoren („Weiße Biotechnologie“) produziert. Ein gutes Verständnis über die biochemischen Stoffwechselwege, deren Regulation – insbesondere unter verschiedenen Kultivierungsbedingungen – ist eine wichtige Voraussetzung für deren erfolgreiche kommerzielle Nutzung. Künftig werden Nahrungs- und Futtermittelproduktion, energetische und industrielle Nutzung verstärkt um Agrarrohstoffe konkurrieren.

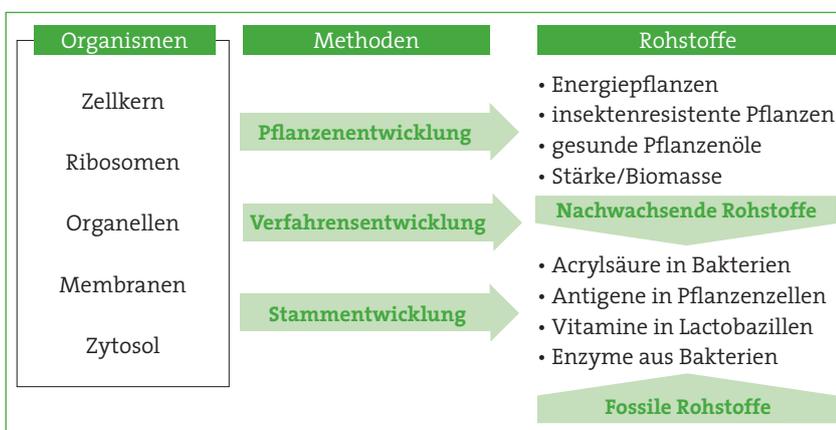


Abbildung 2: Die Industrielle Biotechnologie nutzt nachwachsende Rohstoffe aus dem Bereich der Landwirtschaft sowie petrochemisch basierte Substrate, um Bioprodukte mittels Enzymen oder Mikroorganismen herzustellen

Alle Bereiche der Biotechnologie nutzen im Grundsatz die gleichen molekularbiologischen, molekulargenetischen und biotechnologischen Verfahren und Methoden, um die biologischen Systeme (Pflanzen, Mikroorganismen, Algen) zu optimieren, sodass hohe Synergien bestehen.

Eine Herausforderung für die nächsten Jahre besteht darin, die Biomasseproduktion für energetische und industrielle Zwecke auszuweiten, ohne aber zugleich die Nahrungs- und Futtermittelproduktion zu gefährden, die Umwelt zu belasten, Naturräume zu

zerstören und zu einem Anstieg der Lebensmittelpreise beizutragen.

Es wird davon ausgegangen, dass in den kommenden Jahren immer mehr Massenprodukte, insbesondere Energieträger wie Bioethanol sowie Biokunststoffe mit biotechnischen Verfahrensschritten hergestellt werden, die dann – als Alternative zu rohöl-basierten Produkten – aus pflanzlicher Biomasse als Rohstoff produziert werden. Mit der Umstellung einer auf fossilen Rohstoffen basierenden Produkt- und Energiewirtschaft auf erneuerbare Ressourcen rücken neue Strategien zur Gewinnung biobasierter Produkte und Kraftstoffe in den Vordergrund. Mithilfe maßgeschneiderter Mikroorganismen oder technisch optimierter Biokatalysatoren kann die Gewinnung von Biokraftstoffen und industriellen Produkten etwa aus Agrarabfällen auch wirtschaftlich konkurrenzfähig werden. Ein großes Potenzial bei der Entwicklung hochproduktiver Mikroorganismen wird der Synthetischen Biologie zugesprochen.

Die Synthetische Biologie wendet Erkenntnisse aus der systembiologischen Forschung und ingenieurwissenschaftliche Prinzipien auf die Biologie an. Ziel ist es, die Komplexität biologischer Systeme zu vereinfachen und auf die grundlegendsten Systemkomponenten zu reduzieren.

Mit diesen modifizierten biologischen Systemen sollen zukünftig neuartige, komplexe Moleküle einfach, schnell und damit wirtschaftlich in maßgeschneiderten biotechnologischen Produktionsverfahren hergestellt werden können.

Zurzeit sind zwei Entwicklungsrichtungen erkennbar: Der erste Ansatz befasst sich mit der Konstruktion biomimetischer, d. h. die Natur nachahmender Systeme. Der zweite Ansatz zielt auf die systemweite Reprogrammierung von zellulären Prozessen, z. B. durch die Generierung von neuen Stoffwechselwegen für neue, nicht natürlicherweise in biologischen Systeme

men vorkommende Produkte. Diese Entwicklung verknüpft und nutzt die Erkenntnisse der Synthetischen Biologie, der Systembiologie und der Bioinformatik. Eine Stellungnahme zur Synthetischen Biologie wurde gemeinsam von der DFG, acatech und Leopoldina im Juli 2009 veröffentlicht (DFG et al., 2009).

Im Gegensatz zu den USA und einigen europäischen Staaten ist die deutsche Forschungslandschaft trotz einer starken nationalen Industrie relativ schwach auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie aufgestellt. Forschungsprojekte werden bisher z. B. an der Universität in Freiburg, am HZI in Braunschweig und an der Universität in Stuttgart bearbeitet. Die Förderungsansätze für die Synthetische Biologie sind bislang hauptsächlich von der EU ausgegangen. Im 7. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission wurden von 2007 bis 2008 innerhalb der „NEST (New and Emerging Science and Technology) Pathfinder Initiative“<sup>3</sup> 18 Projekte mit einem Volumen von 24,7 Mio. € gefördert. Darüber hinaus wurde von der Europäischen Kommission von 2004 bis 2008 das integrierte Projekt „Programmable Artificial Cell Evolution“ (PACE)<sup>4</sup> gefördert.

## 2.2 Bedeutung der Industriellen Biotechnologie in Deutschland – Vergleich zu internationalen Aktivitäten

In Deutschland liegt die Zahl der sog. dedizierten Biotechnologieunternehmen, d. h. Unternehmen, die sich hauptsächlich mit Biotechnologie befassen, laut Firmenumfrage von biotechnologie.de bei rund 531. Diese beschäftigen 14.950 Mitarbeiter. Darüber hinaus sind 16.650 Mitarbeiter in weiteren 114 Unternehmen beschäftigt, welche als einen Schwerpunkt ihrer Unternehmenstätigkeit das Feld Biotechnologie ausweisen (sog. „sonstige biotechnologisch aktive Unternehmen“ nach OECD<sup>5</sup>). Hierzu zählen vor allem Pharma- und Chemiekonzerne sowie Saatguthersteller. Von diesen insgesamt 600 Unternehmen mit etwa 30.000 Beschäftigten sind rund 15 % im Bereich der Industriellen Biotechnologie aktiv (9 % der dedizierten Unternehmen). Die Unternehmen sind überwiegend kleine Betriebe. 14 % der dedizierten Unternehmen beschäftigen jedoch mehr als 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, meist hoch qualifiziertes Personal mit Promotion, Studium, Fachhochschulabschluss oder Facharbeiterausbildung (BMBF, 2010a). Die Wettbewerbsfähigkeit und die Beschäftigungspotentiale der Biotechnologie in Deutschland sind in einer gleichnamigen Studie der „Hans Böckler Stiftung“ von 2007 zusammengefasst (Nusser et al., 2007).

In Deutschland sind günstige Voraussetzungen gegeben, die Potenziale der Industriellen Biotechnologie für eine nachhaltige Umgestaltung industrieller Produktionsprozesse und die Verbesserung ökologischer, ökonomischer und sozialer Leistungsfähigkeit zu erschließen: Deutschland verfügt nicht nur über eine international wettbewerbsfähige wissenschaftlich-technologische Wissensbasis in den entsprechenden universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Es weist auch traditionelle Stärken in der Chemie- und Pharmaindustrie sowie dem Anlagen- und Maschinenbau auf – und damit in Branchen, die selbst strategische Schwerpunkte in der Industriellen Biotechnologie gesetzt haben. Zudem stellen

<sup>3</sup> [cordis.europa.eu/fp7/home\\_de.html](http://cordis.europa.eu/fp7/home_de.html)

<sup>4</sup> [istpace.org/Web\\_Final\\_Report/the\\_pace\\_report/index.html](http://istpace.org/Web_Final_Report/the_pace_report/index.html)

<sup>5</sup> (OECD, 2005)

innovative Unternehmen aus Chemie, Anlagen- und Maschinenbau eine Nachfragestruktur dar, die die Generierung neuen Wissens in der Industriellen Biotechnologie in besonderer Weise fordert und honoriert. Nicht zuletzt gehen von diesen Branchen die entscheidenden Impulse für Innovationen in nachgelagerten, weniger forschungsintensiven Sektoren wie Land- und Forstwirtschaft, Lebensmittel-, Getränke-, Textil- und Papierindustrie aus. Dem Konzept der Leitmärkte folgend, weist Deutschland damit gute Voraussetzungen auf, Innovationen in der Industriellen Biotechnologie zur internationalen Durchsetzung zu verhelfen und die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in der nachhaltigen, industriellen Produktion von morgen zu sichern.

Welche Hebelwirkung durch eine gezielte Forschungsförderung der Industriellen Biotechnologie erzielt werden kann, lässt sich exemplarisch anhand der Beschäftigungseffekte als Teil der sozialen Dimension des Nachhaltigkeitsleitbilds zeigen: Im Jahr 2004 waren in Deutschland in universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie in der Industrie etwa 5.500 Personen in der Forschung und Entwicklung zur Industriellen Biotechnologie tätig. Die Nutzung des durch diese Personen verkörperten Wissens in industriellen Produktionsprozessen und bei der Herstellung von Produkten der Industriellen Biotechnologie in den Anwenderbranchen Chemie- und Pharmaindustrie, Landwirtschaft, Lebensmittel- und Getränkeherstellung, Textil- und Papierindustrie etc. betraf mehr als 80.000 Arbeitsplätze. Die Beschäftigungswirkungen erhöhen sich um etwa 160.000 weitere Arbeitsplätze, wenn man auch die indirekten Beschäftigungswirkungen berücksichtigt, d. h. Beschäftigungswirkungen in den Sektoren, die der Forschung, Entwicklung und Anwendung der Industriellen Biotechnologie vor- und nachgelagert sind.

Die Bundesregierung hat das große Potenzial der Industriellen Biotechnologie erkannt und wichtige Forschungsinitiativen zu deren Förderung veranlasst. Die Förderprogramme „Nachhaltige Biotechnologie“, „BioIndustrie 2021“, „GenoMik“ und „Bioenergie 2021“ des BMBF adressieren den Wandel hin zu einer biobasierten Wirtschaft. Noch früher wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt das Thema Industrielle Biotechnologie im Sinn des produkt- und produktionsintegrierten Umweltschutzes gefördert (seit 1997). Im aktuellen Förderschwerpunkt Verbund ChemBioTec kooperieren Großindustrie, KMU, Universitäten und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen: Durch die Brücke zwischen grundlagen- und anwendungsbezogener Forschung werden innovative Bioprodukte einer Vermarktung näher gebracht. Ein weiteres herausragendes Beispiel ist die aktuelle Bioindustrie-2021-Initiative des BMBF: Die wettbewerbsorientierte Entwicklung von fünf Clustern der Industriellen Biotechnologie hat akademische, industrielle und KMU Forschung vereint, die auf fachübergreifende Kommunikation bauen und in Einzelprojekten konkrete Produkte und Prozesse definiert haben. Damit wirken sie auch über die Förderperioden hinaus als Kristallisationskeime in der nationalen und internationalen FuE-Landschaft. Sie haben sich zum Ziel gesetzt, die gesamte Prozesskette von der Idee bis zum Endprodukt abzudecken und wollen damit die Überführung in kommerzielle Produkte fördern. Mit dem Industrieverbund Weiße Biotechnologie haben sich in gleicher Weise forschende und produzierende Technologieunternehmen sowie biotechnisch aktive Großunternehmen selbst organisiert, um Forschungssynergien zu nutzen.

Internationale Aktivitäten machen deutlich, dass die biobasierten Produkte als einer der wichtigsten Treiber des zukünftigen wirtschaftlichen Wachstums angesehen werden. In dem

jüngsten Bericht der US-amerikanischen Biotechnology Industry Organization wird darauf hingewiesen, dass in den USA bereits 240.000 neue Arbeitsplätze mit einem Bruttoinlandsprodukt von \$ 65 Mrd. geschaffen wurden. Es wird weiter erwartet, dass in den Bereichen Spezial- und Feinchemikalien bis zum Jahr 2025 die biobasierten Produkte einen Marktanteil von 45 - 50 % ausmachen (BIO, 2010).

Die Aufgabe, entsprechend der Strategie „Europe 2020 - A Strategy for smart, sustainable and inclusive growth“ den Aufbau einer Bioökonomie zu betreiben, ist für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft eine große und zentrale Herausforderung (EU, 2010a). Die Ausgangssituation ist durch breite Forschungsaktivitäten, eine starke Industrie und den Druck des Wandels sehr gut. Nachfolgend sollen Empfehlungen gegeben werden, welche Rolle die Industrielle Biotechnologie als Treiber spielen kann und wie eine Dynamisierung des Wandels erreicht werden kann.

Auch EuropaBio hat in dem EuropaBio Policy Guide: Building a Bio-based Economy for Europe in 2020 die wichtigsten Maßnahmen beschrieben, die erforderlich sind, damit Europa das Potenzial der biobasierten Produkte voll nutzen kann (EuropaBio, 2010).

Deutschland hat aufgrund der sehr guten Forschungs- und Industriestrukturen eine hervorragende Ausgangsposition. Die bisherigen Programme adressieren schon einige der wichtigen Punkte (siehe oben) und tragen damit zu einer signifikanten Förderung der Industriellen Biotechnologie bei. Für die Zukunft sind diese Aktivitäten allerdings nicht ausreichend und müssen noch deutlich ausgeweitet werden. Wichtig ist beispielsweise eine stärkere Verknüpfung mit den Bereichen Agrarforschung sowie Maschinen- und Anlagenbau.

Die wichtigsten Ansatzpunkte hierzu werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

## Empfehlung

### **Technologische und ökonomische Forschungsstrategie**

Um das gesamte wirtschaftliche Potenzial der Industriellen Biotechnologie in Zukunft auch für Deutschland stärker zu nutzen, ist eine umfassende und visionäre Forschungsstrategie erforderlich. Diese sollte zum Ziel haben, die biobasierte Wirtschaft mittels Industrieller Biotechnologie zum Schwerpunkt ressortübergreifender nationaler Anstrengungen zu erklären: einer Vision zum wirtschaftlichen Wandel durch Industrielle Biotechnologie und der Definition zur Spitzentechnologie. Dabei sind sowohl technologische wie auch ökonomische Forschungsanstrengungen nötig, um das Potenzial breit und nachhaltig im Sinne der Stärkung der Volkswirtschaft zu nutzen.

### 3. Industrielle Biotechnologie als wichtiger Baustein für den wirtschaftlichen Wandel

Die europäische Wirtschaft befindet sich zurzeit in einem Transformationsprozess hin zu einer intelligenten, nachhaltigen und integrativen Wirtschaft. Davon spricht der Präsident der Europäischen Kommission José Manuel Barroso im neuen Strategiepapier der Europäischen Union „EUROPA 2020 – Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum“, dem Nachfolgebild der „Lissabon-Strategie“. Diese sei nötig, um gestärkt aus der momentanen Krise hervorzugehen (EU, 2010a). Die drei Kernpunkte sind dabei:

- Intelligentes Wachstum – Entwicklung einer auf Wissen und Innovation gestützten Wirtschaft
- Nachhaltiges Wachstum – Förderung einer langfristig wettbewerbsfähigen, ökologischen (ressourcenschonenden und umweltentlastenden) und sozialen Wirtschaft
- Integratives Wachstum – Förderung einer Wirtschaft mit hoher Beschäftigung und ausgeprägtem sozialen und territorialen Zusammenhalt

In der ersten vorgeschlagenen Leitinitiative „Innovative Union“ (EU, 2010b) wird als eine der ersten Aufgaben der Aufbau einer Bioökonomie bis 2020 genannt – die Entwicklung von Kerntechnologien für die Ausgestaltung der industriellen Zukunft Europas. Die wirtschaftliche Nutzung des biotechnologischen Fortschritts wird als Treiber der Bioökonomie betrachtet (EU, 2010a).

Das von der EU entwickelte systemübergreifende Konzept einer „wissensbasierten Bioökonomie“ kann man als „Umsetzung des Wissens aus den Lebenswissenschaften in neue, nachhaltige, umweltverträgliche und konkurrenzfähige Produkte“ definieren. Im „Cologne-Paper“ schätzen Experten, dass im Jahre 2030 Biomaterialien und Bioenergie mit einem Volumen von weltweit rund 300 Milliarden Euro ein Drittel der gesamten industriellen Produktion ausmachen werden (EU, 2007b).

Die industriellen Strukturen in Deutschland sind vor rund 100 bis 150 Jahren entstanden und nach wie vor ganz wesentlich auf die Nutzung fossiler Ressourcen angewiesen. Allein die Chemie muss mehr als 80 % ihrer organischen Rohstoffe von außerhalb Deutschlands beziehen. Dazu kommt ein wachsender internationaler Wettbewerb, der sowohl nachwachsende als auch fossile Rohstoffe, aber auch hoch veredelte Produkte und High-Tech-Produkte betrifft. Deshalb ist der Standort Deutschland in besonderem Maße vom wirtschaftlichen Wandel betroffen.

#### Leitmarktinitiative

Die EU veröffentlichte im Jahr 2007 eine Leitmarktinitiative, die eine erste Gruppe von Märkten vorstellt, die das Potenzial haben, sich zu Leitmärkten zu entwickeln. In dieser Mitteilung wird dazu aufgerufen, diese Märkte im Rahmen von ehrgeizigen Aktionsplänen unverzüglich und auf koordinierte Weise zu fördern, sodass rasch merkliche Vorteile für die Wirtschaft und die Verbraucher in Europa erzielt werden können. Für die Anfangsphase der Initiative wurden u. a. biobasierte Produkte (neue biobasierte Produkte und Materialien aus dem Non-Food-Bereich wie Biokunststoffe, Bioschmierstoffe, Tenside, Enzyme und Arzneimittel) und erneuerbare Energie (aus regenerativen Quellen wie Wind- und Sonnenkraft, Biomasse, biologisch abbaubaren Abfall- oder Rohstoffen, Erdwärme sowie Wellen-, Gezeiten- und Wasserkraft) als hochinnovative Marktbereiche identifiziert, die der Kundennachfrage gerecht werden und über eine solide technologische und industrielle Basis in Europa verfügen (EU, 2007a).

Darüber hinaus sollten in einer solchen Initiative aber auch die existierenden Hindernisse identifiziert werden, die der Einführung biobasierter Produkte und Verfahren entgegenstehen. In diesem Zusammenhang wird auf den von der Arbeits- und Beratungsgruppe für die biobasierten Produkte veröffentlichten Bericht „Taking biobased from promise to market – means to promote the market introduction of innovative biobased products“ hingewiesen. Dieser Bericht bringt eine Vielzahl praktischer Fälle, Beispiele und Empfehlungen bei der Identifizierung solcher Hemmnisse, ihrer Überwindung sowie von Maßnahmen, etwa in der Normensetzung, bei gemeinsamen Standards und der öffentlichen Auftragsvergabe (EU, 2009).

Es ist zu erwarten, dass sich neben den bereits genannten westlichen Industrienationen, die sich zu einer Weiterentwicklung der wissensbasierten Biotechnologie bekannt haben, insbesondere auch aufstrebende Nationen wie die BRICS-Staaten diese neuen Technologien nutzbar machen. Entsprechende Forschungsaktivitäten mit hoher Qualität sind bereits im Aufbau. Dies wird den internationalen Wettbewerb in naher Zukunft noch verstärken. Noch hat Deutschland eine gute Wettbewerbsposition und die Chance, eine Führungsrolle zu übernehmen, um sich dadurch Innovationspotential, Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit, Arbeitsplätze, Lebensqualität und Einfluss zu sichern.

### **Überwindung von Innovationshürden und Erschließung neuer Innovationsfelder**

Das aktuelle Gutachten der deutschen Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) mahnt eine stärkere nationale Innovationsdynamik an, um im schärfer werdenden internationalen Wettbewerb zu bestehen (EFI, 2010).

Die Kommission konstatiert eine mangelnde Effizienz der Vermarktung von Ergebnissen aus der öffentlich finanzierten Forschung ebenso wie die mangelnde Eigenkapitalausstattung deutscher Unternehmen als Innovationshemmnis. Die deutsche Volkswirtschaft hat Schwächen, was die kontinuierliche Erneuerung bestehender, aber auch die Unterstützung neu aufkommender Branchen wie zum Beispiel der Industriellen Biotechnologie anbelangt.

## **Empfehlung**

### **Leitmarktinitiative**

In Deutschland sind bisher erfolgreiche Maßnahmen des Bundes und der Länder, aber auch privater Stiftungen zur Förderung der Industriellen Biotechnologie durchgeführt worden. Um einen nachhaltigen Wandel der Wirtschaft hin zu einer Bioökonomie zu unterstützen, ist parallel und komplementär die Initiierung einer nationalen Leitmarktinitiative zur Förderung von Forschung und Innovation nach dem Vorbild der EU elementar. Diese sollte jeweils die gesamte Wertschöpfungskette von der Idee bis hin zum Vertrieb des Produktes bzw. der Dienstleistung umfassen.

## **Empfehlung**

### **Forschungsförderung Anwenderindustrien**

Biotechnologisch ausgerichtete Förderprogramme haben in der Vergangenheit stark auf die Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen abgezielt. Sie waren aber zumeist einzelprojektbezogen und nicht langfristig angelegt. Förderprogramme sollten daher zukünftig stärker jeweils die gesamte Wertschöpfungskette unter Einbezug der Anwenderindustrien abdecken. Cluster und Innovationsallianzen, die kritische Masse und Langfristigkeit schaffen, sind geeignete Organisationsformen.

## Empfehlung

### Erarbeitung eines Maßnahmenkatalogs zur Beseitigung von Innovationshürden

Um einen Wandel hin zu einer stärkeren Nutzung biotechnologischer Verfahren zu beschleunigen, gilt es aus Sicht der AG Biotechnologie des BioÖkonomieRats einen wirtschaftswissenschaftlich begründeten Maßnahmenkatalog zu erarbeiten, der hilft, insbesondere die

- Innovationshürden in der Wirtschaft zu identifizieren und abzubauen und die
- Vermarktungseffizienz der Industriellen Biotechnologie zu erhöhen.

## Empfehlung

### Interdisziplinäre Zusammenarbeit – Unusual Alliances

Eine stärkere Ermunterung zur fach- und länderübergreifenden Zusammenarbeit im Bereich der Biowissenschaften – und eine Verknüpfung mit anderen Fachdisziplinen mit dem Zweck, neuartige Lösungen zu identifizieren, zu entwickeln und zu vermarkten – ist erforderlich.

Neue Modelle der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Wirtschaft sowie unterschiedlicher Industriesegmente (Unusual Alliances) sind für die Entwicklung und Nutzung von neuartigen Produkten oder Dienstleistungen im Bereich der Industriellen Biotechnologie der Schlüssel und müssen daher gefördert werden.

Neben den bereits bekannten Anwendungen der Industriellen Biotechnologie sollten insbesondere auch visionäre Themen mit hohem Innovationspotenzial unterstützt werden.

Eine Folge ist, dass viele technologische Entwicklungen national ins Leere laufen, da die bestehenden industriellen Strukturen die Innovationen nicht aufnehmen können oder von anderen Nationen aufgegriffen und erfolgreich vermarktet werden. Parallele politische Initiativen (z. B. Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Bioraffinerie-Konzepte, Technologietransferinstitutionen, KMU-Förderung) stehen zum Teil noch am Anfang und konnten daher nur in wenigen Bereichen industriell implementiert werden. Dies findet seine Ursachen unter anderem im fiskalischen System, dem Fehlen eines innovationsorientierten Kapitalmarkts und dem generellen Mangel an Unternehmergeist („entrepreneurial spirit“).

Im EFI-Gutachten wird zudem eine Identifizierung und Förderung von Innovationsfeldern vorgeschlagen, „die ein großes Zukunftspotenzial aufweisen und bei denen eine Förderung besonders große volkswirtschaftliche Hebelwirkungen entfaltet“. Genau diese Auseinandersetzung mit der Identifikation derartiger Innovationsfelder sollte Gegenstand einer interdisziplinär, zwischen Wirtschaftswissenschaften und Natur- und Ingenieurwissenschaften angelegten Forschungsinitiative sein (EFI, 2010).

Im Bereich der Grundlagenforschung ist die Finanzierung neuer (disruptiver und disziplinenübergreifender) Konzepte nur mit höherem bürokratischen und verwaltungstechnischen Aufwand und gegen Widerstand möglich. Es werden daher selten visionäre Themen angegangen, da die Lösungswege hier nicht eindeutig absehbar sind. Derartige Projektanträge werden selten befürwortet. Auf EU-Ebene werden die Möglichkeiten (ERA-Net, Nationale Kontaktstellen) von deutscher Seite bisher nicht optimal genutzt, weil zum einen der bürokratische Aufwand sehr hoch ist und zum anderen teilweise nicht bekannt ist, welche Fördermöglichkeiten vorhanden sind und auch die internationale Netzwerkbildung eher schwach ausgeprägt ist.

Die Bearbeitung von Innovationsfeldern, die ein Einbringen von Lösungen aus den verschiedensten Fachdisziplinen wie z. B. der Biologie, (Bio-)Verfahrenstechnik, Ingenieurwissenschaften und Chemie erfordert, ist insbesondere dann schwer zu realisieren.

ren, wenn ungewöhnliche Anwendungen im Vordergrund stehen oder diese Kooperationen über die Landesgrenzen hinaus benötigen. Dabei bietet gerade die wissensbasierte Bioökonomie ein hervorragendes Potenzial für neue Innovationsfelder und internationale Forschungskooperationen.

### 3.1 Initiierung und Förderung volkswirtschaftlicher Forschung zur Stärkung der Industriellen Biotechnologie

Der internationale Charakter der Industriellen Biotechnologie wird an nahezu jedem Einzelbeispiel deutlich. Gleichzeitig ist jedoch zu bemerken, dass eine Vielzahl von Projekten, insbesondere wenn diese industriegeführt sind, außerhalb Deutschlands stattfinden, obwohl die mikrobiologische, biotechnologische und verfahrenstechnische Forschung in Deutschland einen internationalen Spitzenplatz einnimmt. Um sicherzustellen, dass auch die industrielle Forschung eine führende Rolle in der Technologieentwicklung behält bzw. erarbeitet, wird ausdrücklich empfohlen, industriell geführte Forschungsvorhaben in diesem Zukunftsbereich zu fördern. Damit wird auch mittel- und langfristig der Aufbau von Arbeitsplätzen in der kommenden Bioökonomie sichergestellt.

Zurzeit fehlt in Deutschland ein „innovationsorientierter Kapitalmarkt“, der diese Projekte und entsprechende Unternehmen unterstützt. Im Gegensatz dazu ist es im Besonderen für US-amerikanische Firmen kein Problem, selbst im Jahr 2009 Beträge zwischen 15 und 50 Millionen US-Dollar durch Venture-Capital-Firmen bereitzustellen. Als Beispiele sind Unternehmen wie etwa Gevo, Genomatica und OPX und der Investor Firma Koshla Ventures zu nennen.

Während Forschungsthemen im Bereich der Technologien/wissenschaftlichen Grundlagen sowie Rohstoffquellen und -versorgung breit und international in der Forschungsförderung verankert sind, ist das Thema gesellschaftlicher und wirtschaftlicher/industrieller Wandel beim Eintritt in das Zeitalter des nachhaltigen Wirtschaftens nur vereinzelt Gegenstand interdisziplinärer (nämlich naturwissenschaftlicher, ingenieurwissenschaftlicher und ökonomischer) Forschungsansätze.

Die AG Biotechnologie des BioÖkonomieRats empfiehlt daher, die spezielle Situation der deutschen Branchen, Standorte und Infrastrukturen mit anderen europäischen/internationalen zu vergleichen und Handlungsempfehlungen für industrielle und politische Akteure abzuleiten.

Ziel sollte die Identifizierung von Szenarien für die deutsche Volkswirtschaft sein, die zeigen, wie sowohl technologiebasierte und produzierende KMU als auch innovative Großunternehmen und in der Folge Gesellschaft und Volkswirtschaft vom Wandel profitieren können. Dabei sollten sowohl Wertschöp-

## Empfehlung

### Volkswirtschaftlicher Forschungsansatz zur Dynamisierung des Wandels hin zu einer Bioökonomie

Die AG Biotechnologie des BioÖkonomieRats schlägt vor, einen interdisziplinären internationalen Forschungsansatz zu initiieren, der die Expertisen der relevanten wissenschaftlichen, industriellen und politischen Akteure zusammenbringt, um Hemmnisse bei der kommerziellen Nutzung der Biotechnologie zu identifizieren und Wege zur Überwindung dieser Hürden aufzuzeigen und damit eine zielgerichtete Dynamisierung der Implementierung zum Wohle der Volkswirtschaft zu erreichen.

fungs- und Ressourceneffizienz Aspekte betrachtet, aber auch finanzielle Auswirkungen untätigen Abwartens und Unterlassens auf die Volkswirtschaften bearbeitet werden. Häufig werden Technologien und deren Anwendung zu lange in ausführlichen Chancen- und Risikobetrachtungen geprüft oder gar durch Moratorien verzögert, was zu nachweisbarem volkswirtschaftlichen Schaden führen kann. Träger dieser Initiativen könnte die aufeinander abgestimmte Allianz bedeutender, auf diesem Gebiet ausgewiesener und tätiger Organisationen sein, wie der Bioökonomierat mit seiner Arbeitsgruppe Industrielle Biotechnologie, die DBU, die AiF, das BMBF, das BMELV und das BMWi.

### **3.2 Entwicklung und Nutzung von Plattformtechnologien über die Grenzen der bisherigen Anwendung hinaus: insbesondere Förderung der Bildung von neuen Allianzen, Kooperationen und Partnerschaften**

Um den Anforderungen der Vision der nachhaltigen Bioökonomie gerecht zu werden, ist es wichtig herauszustellen, dass zahlreiche Plattformtechnologien existieren, die bereits heute in der kommerziellen Nutzung der Biotechnologie Anwendung finden. Diese sind derzeit häufig auf einzelne Anwendungsgebiete beschränkt. Sie stellen jedoch eine sehr gute Basis für weitere technologische Entwicklungen in anderen Anwendungsbereichen dar. Insbesondere ist zu erwarten, dass ein großes Innovationspotenzial dadurch realisiert werden kann, dass diese Anwendungsbereiche übergreifend implementiert und weiterentwickelt werden. Als unabdingbar notwendige und wichtige Technologien, die für die zukünftige und breitere Nutzung weiterzuentwickeln sind, gelten:

- Moderne Verfahren der Entwicklung von Hochleistungsorganismen (System-Biotechnologie: Genomic, Proteomic, Metabolomic, metabolic pathway engineering Fluxomic) – d. h. der gezielten Änderung gesamter Stoffwechselwege – sind neue, aber auch bereits etablierte Techniken, die jedoch weiter verbessert werden müssen, um den industriellen Anforderungen entsprechen zu können, neue Produkte zu liefern.
- Neuartige und verbesserte „Cell factory-Systeme“ und Nutzung der Systembiologie zur Erzeugung von optimierten Produktionsorganismen für spezifische Produkte oder Energie
- Neuartige und verbesserte Enzymsysteme zur Aufbereitung und Umwandlung pflanzlicher Biomasse zu biologisch nutzbaren Verbindungen wie Kohlenhydraten und anderen Polymeren, Fetten und Proteinen
- Verständnis über die Kultivierung von Organismen vom Mikrolitermaßstab bis zur großtechnischen Fermentation (Scale up und Scale down)
- Neuartige und optimierte Verfahren zur Kopplung von biotechnologischen und chemischen Prozessen („in-process chemistry“)
- Großtechnische Aufreinigungen, um gewünschte Produkte in großen Mengen und großer Reinheit herzustellen (Beispiele: Enzyme, Vitamine, Aminosäuren) – aber auch alternative Verfahren, wie die Integration von Trennverfahren in den Reaktionsschritt, um Herstellkosten zu reduzieren (Prozessintegrierte Aufarbeitung)

- Marker Assisted Screening und Breeding, automatisierte Hochdurchsatz-Verfahren, um Entwicklungszeiten zu verkürzen – werden in der Pflanzenbiotechnologie und bei der Identifizierung von Krankheiten eingesetzt
- Grundlegende Techniken im Bereich der Algenbiotechnologie, wie Autochton-Screening, Stammentwicklung, Kultivierung, Scale up und Downstream-Processing
- Erschließung und Sicherung von mikrobieller und pflanzlicher Biodiversität durch neue molekularbiologische und molekulargenetische Verfahren (Metagenomtechnologie)
- Datenmanagement, Bioinformatik und Modellierung: Biologische Systeme zeichnen sich durch eine sehr komplexe und umfangreiche Datenstruktur aus.

Diese Plattformtechnologien sind in den einzelnen Anwendungsfeldern der Biotechnologie unterschiedlich weit entwickelt. Insbesondere ist zu erwarten, dass ein großes Innovationspotenzial dadurch realisiert werden kann, dass diese anwendungsbereichsübergreifend genutzt und weiterentwickelt werden (Siehe Abbildung 3).

Kein Unternehmen, keine Universität oder außeruniversitäre Forschungseinrichtung verfügt über sämtliche Kompetenzen, um die oben aufgeführten Technologieplattformen allein für sich zu entwickeln und zu verknüpfen. Aus diesem Grunde wird es in Zukunft von großer Bedeutung sein, die vorhandenen Kompetenzträger in neuartigen Allianzen zu vereinen.

Im Bereich der Plattformtechnologien besteht eine hohe Innovationsdynamik mit zum Teil sehr kurzen Innovationszyklen. Diese setzen Unternehmen, die auf diesem Gebiet operieren, unter großen Innovationsdruck, der dazu führt, dass in relativ kurzen Zeitabständen Plattformtechnologien neu entwickelt oder angepasst werden müssen und dies entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche Form(en) der Zusammenarbeit die zukünftige Entwicklung und Nutzung der Plattformtechnologien in Deutschland optimal fördert/fördern. Sind hier die bestehenden Kooperationen im Rahmen von Netzwerken nachhaltig oder werden sich zukünftig



Abbildung 3: Übersicht über einige Plattformtechnologien, die bei der Entwicklung von Bioprodukten in verschiedenen Anwendungsbereichen genutzt werden. Nur wenige Firmen nutzen das Synergiepotenzial, das sich daraus ergibt.

## Empfehlung

### Plattformtechnologien über Anwendungsgrenzen hinaus weiterentwickeln und nutzen

Die AG Biotechnologie des BioÖkonomieRats empfiehlt die Förderung neuer Allianzen, die die vorhandenen (und zukünftigen) Technologieplattformen auch für andere und neue Anwendungen zugänglich macht. Nur so können Forschungsergebnisse effizient genutzt und deren Produkte in neue Märkte überführt werden.

geographische Cluster für Plattformtechnologien entwickeln?

Der Vorteil einer Vernetzung der Plattformtechnologien ist die effizientere Nutzung von Ressourcen. Dies ist insbesondere für Forschungsbereiche sinnvoll, die auf die Nutzung teurer Infrastruktur angewiesen sind. Hierzu zählt insbesondere die Proteinforschung im Zusammenhang mit der Nutzung von Synchrotronen<sup>6</sup> und Massenspektrometern sowie die Bioinformatik (Großrechner). Hier ist eine Konzentration der Forschungsaktivitäten, aber auch der hohen erforderlichen Investitionen sinnvoll, um allen Forschungseinrichtungen und gegebenenfalls auch der begleitenden Industrie einen effizienten Zugang zum jeweils neuesten Stand der Technik bieten zu können.

### 3.3 Förderung interdisziplinärer Themen mit hohem Innovationspotenzial und visionärem Charakter: künstliche Photosynthese – der Weg zur Biobrennstoffzelle

Die alternative Energiegewinnung ist im Zusammenhang mit dem Klimawandel und den sich verknappenden fossilen Rohstoffen ein sehr engagiert diskutiertes Thema. Forschungsanstrebungen hin zu alternativen Energie- und Rohstoffquellen – auch als Beitrag zum Rohstoffwandel – stellen aber weitgehend Variationen vorhandener Technologien dar. Zudem ist nur ein sich regionalen Gegebenheiten anpassender Mix an Energieträgern ökologisch und ökonomisch sinnvoll.

Um das Ziel einer interdisziplinären Vernetzung von Unternehmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen zu unterstützen, wird ein visionäres und übergreifendes Forschungsthema benötigt, welches sich nicht zu nahe an vorhandenen Lösungsansätzen orientiert. Die Vision der künstlichen Photosynthese, in Form der Biobrennstoffzelle, hat das Ziel, grundsätzlich zur Lösung einer zentralen Herausforderung der Zukunft beizutragen, ohne dass dies bereits heute präzise abgeschätzt oder gar umsetzbar wäre. Dieses visionäre Forschungsthema integriert aber gut das in Deutschland vorhandene, aber momentan auf diesem Gebiet noch fragmentierte Know-how auf den Gebieten der Industriellen Biotechnologie, der Biochemie und Mikrobiologie, der Pflanzenforschung und der Verfahrens- und Energietechnik. Das Risiko für Forschung und Technologie ist hoch, das wirtschaftliche und gesellschaftliche Potenzial könnte zukünftig aber enorm hoch sein. Als visionäres Ziel eignet sich daher das Bild einer Biobrennstoffzelle, die sich selbst regeneriert, zur Wasserstoff produzierenden Maschine erweitert werden kann und auf biologischen Prinzipien beruht.

<sup>6</sup> Synchrotrone und Freie-Elektronen-Laser sind extrem helle Lichtquellen, die in den verschiedensten Bereichen Anwendung finden, etwa in der Physik, Materialwissenschaft, Chemie, Biologie, Bildgebung und Mikrostrukturherstellung.

Die Entwicklung erfordert eine Anwendung der Technologien auf andere ungewöhnliche Märkte und erfüllt damit gleichzeitig die Forderung nach neuen Allianzen. Kenntnisse der Elektrochemie, der Energieumwandlung, des Apparatebaus und der Materialwissenschaften müssen hier zusammengeführt werden.

Die Natur zeigt tagtäglich, wie effizient Sonnenenergie zum Aufbau von Biomasse genutzt und in speicherfähige chemische Energieträger umgewandelt werden kann. Sonnenlicht ist der primäre Energielieferant für alle Photosynthese betreibenden Pflanzen und Mikroorganismen.

In der Natur wird weniger als 1 % der einfallenden Lichtenergie der Sonne in Form von Biomasse gespeichert, allerdings mit einer schlechten Energieausbeute für die Bildung von Biomasse. Dagegen beträgt die Effizienz der Lichtenergieumwandlung für die direkte Übertragung auf Wasserstoff aus dem Photosystem II bis zu 68 % (Michel, 2008).

Die technische Realisierung dieses Ansatzes der künstlichen Photosynthese ist heute noch visionär, trägt ein technisch wie ökonomisch kaum quantifizierbares Risiko, aber andererseits auch kaum überschätzbares Potenzial in sich und kann aus diesen Gründen sehr gut geeignet sein, als Beispiel einer viele Fachdisziplinen umfassenden Zusammenarbeit zu dienen.

Es wird vorausgesagt, dass der globale Energiebedarf im Zeitraum 2004 bis 2030 von 14,9 Terawatt (TW) auf 23,4 TW steigen wird, was einer Zunahme von 57 % entspricht (USDE, 2010). Demgegenüber steht eine Energieleistung des auf die Erdoberfläche auftreffenden Sonnenlichts von ~120 000 TW (Lewis et al., 2006). Somit beherbergt die Solarenergie im Grundsatz ein nicht zu überschätzendes Potenzial, zur Lösung der globalen Energie- und Klimaproblematik des Planeten Erde beizutragen. Dafür muss es uns gelingen, effiziente und kostengünstige Systeme zu entwickeln, um diese Energie zu speichern und in verwertbare Energie umzuwandeln.

Die Forschung in den USA fokussiert schwerpunktmäßig auf die Entwicklung von künstlichen Lichtsammelkomplexen, um die Photonenausbeute in künstlichen Photosynthesystemen zu erhöhen (Kumar et al., 2009; Gunderson et al., 2009), während in Japan die Wasserstoffproduktion im Vordergrund steht (Fukuzumi, 2008; Yagi, 2009). Dazu werden die entsprechenden wasserspaltenden Enzyme sowohl an künstliche, vermehrt aber auch an natürliche Photosysteme gekoppelt (Ihara, 2006; Amao et al., 2009; Ishigure, 2009).

In Europa flossen im Rahmen der EU-Förderprogramme FP6 und 7 in den vergangenen 5 Jahren lediglich knapp 7 Mio. Euro in die Erforschung der künstlichen Photosynthese<sup>7</sup>. Stellvertretend genannt seien hier die laufenden Verbundvorhaben SOLAR-H (EU), BioH<sub>2</sub> (BMBF), der Sonderforschungsbereich 480 (DFG) und das Europäische

## Empfehlung

### **Künstliche Photosynthese als integrativ-visionäres Forschungsthema**

Die künstliche Photosynthese hat hohes Innovationspotenzial und eignet sich als visionsgetriebenes Thema mit Beispielcharakter. Es macht eine frühe und vor allem breite Förderung erforderlich, die alle Wissenschaftsfelder auf ein Ziel ausrichtet. Die AG Biotechnologie des BioÖkonomieRats empfiehlt nachdrücklich einen frühen und breiten Einstieg.

<sup>7</sup> Solar-H (2005) EU-Framework 6 NEST-2003-1 Project Reference: 516510; Solar H<sub>2</sub> (2008) EU Framework 7 ENERGY-2007-3.5-01 Project Reference: 212508

Graduiertenkolleg 795 (DFG). Die Forschung konzentriert sich zum einen auf das Design eines Plattformorganismus für die biologische Wasserstoffproduktion basierend auf dem Cyanobakterium, zum anderen bringt sie die Forschungsansätze aus den USA und Japan zusammen und erarbeitet die Möglichkeiten der Wasserstoffproduktion sowohl in künstlichen als auch in natürlichen Systemen. Es ist davon auszugehen, dass schon in der nächsten relevanten Ausschreibung des 7. Rahmenprogramms im entsprechenden KBBE-Programm dieser Bereich mit größerem Mitteleinsatz weiterverfolgt wird.

Die Vision der künstlichen Photosynthese integriert neue Wissenschaftsfelder. Das Verständnis des gesamten Systems der Photosynthese kann mit Hilfe der Systembiologie verbessert werden. Maßgeschneiderte Enzyme könnten in Zukunft durch die Anwendung der Synthetischen Biologie hergestellt werden und so zur Effizienz- und Biomassesteigerung beitragen.

Weltweit wird diese Vision insbesondere in den USA und Japan angegangen, in Europa und Deutschland gibt es erste Ansätze für vernetzte Arbeiten. Das Gebiet ist damit jung, aber bereits in Anfängen etabliert. Die Entwicklung in der Fachliteratur zeigt, dass sich das Gebiet rasant entwickelt.

Führend, gemessen an der Anzahl der Publikationen sowie anhand der Fördergelder, sind hier die USA, dicht gefolgt von Japan. In Europa belegt derzeit Schweden den Spitzenplatz auf diesem Gebiet. Deutschland rangiert auf Platz sechs.

### **Algen als Produktionssysteme**

Mit einigen Synergien zum vorgenannten integrativ-visionären Thema der „biologischen Brennstoffzelle“ ist die Entwicklung von Algen als Produktionssystem für Wertstoffe. Algen betreiben Photosynthese und binden Kohlendioxid für ihr zelluläres Wachstum. Ihr Einsatz ist daher unabhängig von Rohstoffen. Algen werden darüber hinaus traditionell als Nahrungsmittel genutzt.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und des zunehmenden Rohstoffbedarfs bzw. der Rohstoffverknappung könnte die Nutzung von Algen folgende Vorteile bringen:

- Sie nutzen Kohlenstoffdioxid als Kohlenstoffquelle.
- Sie brauchen kein Ackerland und stehen somit nicht in Konkurrenz zur Erzeugung von Lebensmitteln.
- Sie haben im Vergleich zu höheren Pflanzen höhere Wachstumsraten sowie Flächenerträge und enthalten kein Lignin<sup>8</sup>.
- Sie können als Produzenten von Nahrungsmitteln, Wert- und Wirkstoffen, Biokunststoffen und Energieträgern dienen und damit entsprechend der Wertschöpfungspyramide ökonomisch genutzt werden.
- Sie könnten stofflich und energetisch genutzt werden (Algen-Bioraffinerie).

Diesen potenziellen Vorteilen von Algen stehen heute technologische Limitationen entgegen, sodass Algensysteme noch nicht umfangreich technisch genutzt werden können. Eine Viel-

<sup>8</sup> Lignin sorgt zwar für die Festigkeit von pflanzlichem Gewebe, es kann aber bisher nur unter hohem Energieeinsatz abgebaut werden, sodass das Fehlen von Lignin in Algen bei diesem Einsatzzweck von Vorteil ist.

zahl von grundlegenden Techniken wie Molekulargenetik, Stammentwicklung, Kultivierung und Downstream-Processing sind bis heute noch nicht ausreichend entwickelt.

### 3.4 Herstellung von Plattformchemikalien mittels biotechnologischer Verfahren und ihre Einbindung in Bioraffinerien

Da in der Industriellen Biotechnologie typischerweise nachwachsende Rohstoffe eingesetzt werden, kann die Biotechnologie dazu beitragen, die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen und die Emission von Treibhausgasen zu minimieren – und dabei auch noch zukunftssträchtige Arbeitsplätze zu schaffen. Es ist weniger zu erwarten, dass kurz- und mittelfristig ein plötzlicher Rohstoffwandel von Öl und Gas zu erneuerbaren Rohstoffen in der Chemieindustrie vollzogen wird. Viel wahrscheinlicher ist es, dass im Laufe der Zeit nach und nach neue biotechnologische Produktionsverfahren entstehen, vor allem da, wo sie deutlich kostengünstiger und nachhaltiger sind als entsprechende chemische Verfahren.

Mit Hilfe Industrieller Biotechnologie lässt sich eine Vielzahl von chemischen Zwischenprodukten herstellen. Allerdings sind die Verfahren hinsichtlich ihrer Wettbewerbsfähigkeit in den überwiegenden Fällen noch nicht konkurrenzfähig.

Ein besonderes Potenzial entfaltet die Biotechnologie jedoch bei hochwertigen Produkten, die chemisch nur sehr aufwendig oder gar nicht herzustellen sind: Dabei handelt es sich um Enzyme und Spezialchemikalien (z. B. Pharmawirkstoffe und Pflanzenschutzmittel). Auf längere Sicht können insbesondere mit Hilfe biotechnologischer Methoden z. B. lignocellulosehaltige Rohstoffe oder Biomasse so verfügbar gemacht werden, dass sie wirtschaftlich für Plattformchemikalien nutzbar sind.

Die stärkste Förderung und Anwendung hat bisher die Herstellung von Bio-Ethanol als alternativer Energieträger erfahren, hier zieht aber insbesondere die Konkurrenz zur Lebensmittelherzeugung Kritik auf sich, die unter dem Aspekt des nachhaltigen Wirtschaftens nicht unbegründet ist. Es sollte daher der Herstellung von Spezial- und Plattformchemikalien und deren Integration in Bioraffinerien eine größere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Das Potenzial der Biomasse ist dabei heute bei Weitem noch nicht erschlossen. Bioraffinerien, welche die umfassende Verwertung von Biomasse oder organischen Abfällen und eine Integration in die Basis-Wertschöpfungsketten der chemischen Industrie zum Ziel haben, stehen dabei noch am Anfang der Entwicklung. Insbesondere die Rohstoff- und Energieeffizienz der Verfahren sowie die Kopplung mit der stofflichen Nutzung (Chemische Industrie, Bau- und Dämmstoff-, Textil-, Papier- und Holzverarbeitende Industrie) und die Kaskadennutzung bieten noch viele Möglichkeiten, die unter den Aspekten technischer und ökonomischer Machbarkeit weiter erforscht werden müssen. Die Entwicklung und Umsetzung von integrativen Gesamtkonzepten für die energetische und stoffliche Nutzung von Pflanzen (Bioraffinerie-Konzepte) sollte deshalb vorangebracht werden.

## Empfehlung

Die Nutzung von Algen als pflanzliches Produktionssystem sollte insbesondere im Vergleich zu anderen Verfahren untersucht werden. Eine Potenzialanalyse sollte zeigen, wie die bisherigen Hürden der Nutzung überwunden werden können. Eine Zusammenarbeit zwischen Biologie und Verfahrenstechnik, mit Schwerpunkt auf der Entwicklung von Aufbereitungsverfahren wird empfohlen.

Die Bioraffinerie in Leuna ist hier ein erster Schritt auf nationaler Ebene. Mittelfristig ist zu fordern, dass Bioraffinerien in industrieller Trägerschaft, vorzugsweise integriert in bestehende Verfahrens- und Produktportfolien aufgebaut werden. Gegebenenfalls lassen sich Betreiberkonzepte entwickeln, in denen mehrere Wirtschaftsunternehmen Bioraffinerien oder Teile davon betreiben. Ein Industrieverbund könnte Risiken vermindern und helfen, ein unternehmensübergreifendes Verbundsystem zu etablieren.

Eine weitere Herausforderung ist die Weiterentwicklung technischer Verfahren der Rohstoffverarbeitung bei der Zuführung der Rohstoffe in die Bioraffinerie (Verfahrenstechnik und Logistik). Um eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Wertschöpfungskette über Bioraffineriekonzepte in Deutschland zu realisieren, werden Prozesse mit deutlich höheren Raum-Zeit-Ausbeuten bei signifikant erhöhtem Nutzungsgrad der eingesetzten Rohstoffe benötigt.

Für die Überführung in die industrielle Umsetzung ist eine Demonstration im Technikum- und Pilotmaßstab erforderlich.

Nachwachsende Rohstoffe haben in der chemischen Industrie eine lange Tradition. Laut einer Analyse von VCI, FNR und meó consult werden bereits heute mehr als 2 Millionen Tonnen nachwachsende Rohstoffe in der chemischen Industrie Deutschlands stofflich verwertet (FNR, 2010). Um die großen Potenziale der erneuerbaren Rohstoffe zu nutzen, ist die enge Verknüpfung der biotechnologischen, chemischen und verfahrenstechnischen Forschung eine wesentliche Voraussetzung. Die essenziellen Bestandteile der zukünftigen Technologie- und Wertschöpfungskette können so optimal miteinander verknüpft und neue Arbeitsplätze geschaffen werden. Als besondere Herausforderung gilt die Ausnutzung von Biomasse für die stoffliche Nutzung und das Vermeiden von Konkurrenzsituationen mit Nahrungs- und Futtermitteln. Nachwachsende Rohstoffe müssen den Kriterien der Nachhaltigkeit genügen.

Produkte der Industriellen Biotechnologie sind neben den bekannten 4F's (Food, Feed, Fibres, Fuels) auch Fein-, Spezial- und Bulkchemikalien und Materialien wie z. B. Polymere, die sowohl im Preis als auch in spezifischen Anwendungseigenschaften mit Produkten der Petrochemie konkurrieren können müssen. Nachhaltigkeit, CO<sub>2</sub>-Minderung oder „grünes Image“ allein werden nicht zu einer erfolgreichen Verbreitung biotechnologischer Produkte führen.

Im Bereich Industrielle Biotechnologie sind neben den „klassischen Beispielen“ (Enzyme, Vitamine, Aminosäuren) speziell die Forschungsarbeiten zur Herstellung von folgenden chemischen Polymeren aus Glukose durch biotechnische Verfahren zu nennen, etwa Milchsäure zur Herstellung von Polymilchsäure (PLA) durch Nature Works und Procter & Gamble (Nodax), 1,3-Propandiol zur Herstellung von PTT als neues Fasermaterial durch DuPont und Genencor oder PHB durch Metabolix/ADM.

Es ist bemerkenswert, dass alle genannten kommerziellen Umsetzungen durch Unternehmensverbände gekennzeichnet sind und in den USA stattfinden, was unter anderem auf die nachhaltige und frühzeitige Finanzierung dieser Themen durch Kapitalmarkt- und öffentliche Förderung zurückzuführen ist.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die derzeit in der industriellen Umsetzung befindlichen Plattformchemikalien, die überwiegend zu Biokunststoffen führen.

Ausgewählte Projekte in der mittelfristigen Anwendung werden den Weg weisen, wie sich die Technologien weiter entwickeln werden und ob konkurrenzstarke Produkte am Markt positioniert werden. Diese Projekte haben zum Ziel, bereits existierende Zwischen- und Endprodukte der chemischen Industrie herzustellen, sodass eine stufenweise Integration der

Industriellen Biotechnologie in die Chemie unter möglichst optimaler Ausnutzung bestehender Infrastrukturen möglich sein kann.

Tabelle 1: Überblick über die derzeit in der industriellen Umsetzung befindlichen Plattformchemikalien

Ankündigung	Unternehmen	Kohlenstoffquelle	Baustein/Baukasten	Produkt	Realisierung
12/2009	Futero BEL	Zucker	Milchsäure	PLA 1,5 kt	2009
12/2009	CSM THA	Zucker	Milchsäure	PLA 75 kt	2011
03/2009	Braskem BRA	Zucker	Ethanol 200 kt	Ethylen HDPE	2011
12/2008	Perstorp SWE	Stärke/Zucker	3-Hydroxysäure	Methacrylsäure/ 1,3-PDO	2012
09/2008	Genomatica USA	Rohrzucker	1,4 Butanediol	Plattformchemikalie	2010
09/2008	Genencor/ Goodyear, USA	Maiskolben, Switch grass	Isopren	Gummi	2013
12/2007	Solvay Indba BRA	Zucker	Ethanol 60 kt	Ethylen PVC	2010
07/2007	Dow/ Crystalsev BRA	Zucker	Ethanol 350 kt	Ethylen HDPE	Warteposition

Zusätzlich zu den oben genannten Pionierarbeiten gibt es eine Vielzahl internationaler und nationaler Projekte im Bereich „erneuerbare Chemikalien“, wie beispielsweise die Herstellung von Polyethylen (Braskem), Polypropylen (Braskem und Novozymes), Acrylsäure (Cargill und Novozymes), 1,4-Butandiol (Genomatica), Isopren (Danisco und Goodyear), Bernsteinsäure (BASF, Roquette und DSM), n-Butanol (DuPont und BP, Total und Gevo), 1,2-Propandiol, 1,3-Propandiol oder Glykolsäure (Metabolix).

Durch eine langfristig angelegte Forschung werden mit hoher Wahrscheinlichkeit auch neue Intermediate und Produkte identifiziert werden, die durch eine Kombination von biotechnologischen und chemischen Verfahren – jedoch nicht aus Gas/Öl und Chemie alleine – hergestellt werden können. Dazu gehören auch alternative Moleküle als Energieträger (z.B. LS-9 von Amyris<sup>9</sup>). Diese werden sowohl als Benzin- und Diesel- als auch als Jetfuel-Ersatz diskutiert und untersucht.

Für die Zukunft sind insbesondere neue biotechnologische und verfahrenstechnische Ansätze gefragt, die darauf abzielen, bereits bekannte Plattformchemikalien, wie Propylen, Benzol oder Toluol, herzustellen. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, wie schwer es gerade im Bereich der Chemie ist, neue Plattformchemikalien wie Milchsäure oder 3-Hydroxypropionsäure einzuführen.

Um die Etablierung der Industriellen Biotechnologie weiter zu dynamisieren, ist eine langfristig angelegte Forschungsförderung erforderlich. In Industrieunternehmen kann

9 <http://www.lsg.com/>

nur eine langfristig und kontinuierlich angelegte Forschungsstrategie zu nachhaltigen Ergebnissen und neuen Produkten führen. Eine Fokussierung der öffentlichen Förderung auf kurzfristige Einzelprojekte mit wenigen Jahren Laufzeit wird den Herausforderungen der industriellen Biotechnologie daher nicht gerecht, weshalb eine langfristige Verankerung in der öffentlichen Forschungsstrategie und ein substanzielles finanzielles Commitment besonders wichtig sind. Offen und langfristig angelegte Organisationsformen, wie Zentren, Cluster oder Verbände, sollten ein Schwerpunkt bei der Ausgestaltung von Fördermaßnahmen sein.

### **Neue Materialien und Lösungen durch Anwendung biotechnologischen Wissens**

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Biotechnologie führen auch heute schon zu einer Vielzahl neuer Materialien und Anwendungsformen. Neben den bekannten Biokunststoffen sind insbesondere neue Materialien interessant, die sich an den Strukturprinzipien der Natur anlehnen und diese nutzen (Bionik). Hier besteht Forschungsbedarf in der Übertragung von Strukturprinzipien an Oberflächen (Self Assembly, hydrophobe Oberflächen) auf industrielle Anwendungen und die Sicherstellung der Langzeitstabilität. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang auch die Nanobiotechnologie, die die Brücke schlägt zwischen der anorganischen/organischen und der lebenden Natur und darauf abzielt, funktionale Bausteine im nanoskaligen Maßstab kontrolliert zu erzeugen sowie die biologischen Funktionseinheiten in grundlegender Hinsicht zu verstehen. Die Kenntnis biologischer Strukturen und damit verbundener Funktionen bietet vielfältige Anwendungen in den Bereichen Materialwissenschaften, Sensorik und Energiewandlung bzw. -speicherung. Dabei können biologische Strukturen sowohl als Matrizen (Biotemplate) als auch als Ideengeber (Biomimetik) für technische Lösungen fungieren.

Als ein Beispiel sei hier neuartiges Biomaterial von Meeresschwämmen genannt, die aus Siliziumdioxid-Molekülen reines Biosilikat erzeugen. Dieses wird zurzeit in der Zahnmedizin und Knochenprothetik als Beschichtungs- bzw. Füllmaterial diskutiert. Darüber hinaus wurde bei diesem Biosilikat festgestellt, dass es Licht wesentlich besser leitet als herkömmliche Lichtleiter und zudem eine mechanisch sehr flexible Struktur ausbildet<sup>10</sup>.

Wie auch in diesem Beispiel deutlich wird, ist eine hohe Durchlässigkeit und Vernetzung von Wissenschaft und ökonomischer Nutzung wichtig, um durch einen frühzeitigen Dialog und entsprechende Fördermaßnahmen den Innovationen insbesondere zur technischen Anwendung zu verhelfen.

Zukünftig bedarf es insbesondere folgender Ansätze zu einer intensiven Unterstützung durch die öffentliche Forschungsförderung:

- Die Kombination von biotechnischen mit chemischen Verfahren ist ein wesentliches Merkmal von bioökonomischen Großprodukten, die heute bereits am Markt sind. Chemie und Biotechnologie können nicht nur sequenziell, sondern auch integriert eingesetzt werden. Derartige kombinierte Ansätze müssen weiter ausgebaut und entwickelt werden. Die Grundlagen hierfür werden bereits an den Universitäten gelegt und sollen auch im Rahmen der akademischen Ausbildung stärker berücksichtigt werden.

<sup>10</sup> <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Foerderung/foerderbeispiele,did=84498.html>

- Besondere Chancen werden gesehen, wenn im Rahmen der Entwicklung von komplexen Verfahren die Möglichkeiten des in Deutschland traditionell starken Maschinen- und Anlagenbaus mit der Verfahrensentwicklung zusammengeführt werden. Eine starke Bioökonomie ist, gerade wenn es um großvolumige Prozesse und Produkte geht, auf effiziente und optimierte Anlagen angewiesen.
- Das Potenzial der Biomasse ist heute bei Weitem noch nicht vollständig erschlossen. Insbesondere die Rohstoff- und Energieeffizienz der Verfahren sowie die Kopplung mit der stofflichen Nutzung (Chemische Industrie, Bau- und Dämmstoff-, Textil-, Papier- und Holzverarbeitende Industrie) und die Kaskadennutzung bieten noch viele Möglichkeiten.
- Die Entwicklung und Umsetzung von integrativen Gesamtkonzepten für die energetische und stoffliche Nutzung von Pflanzen (Bioraffinerie-Konzepte) sollte deshalb weiter gefördert werden.
- Die Nutzung biotechnologischen Wissens zur Erzeugung von neuen (Bio)Materialien, für neuartige Anwendungen
- Darauf aufbauend besteht weiterhin ein großer Bedarf an Demonstrations- und Pilotanlagen, um verfahrenstechnische Möglichkeiten auszuloten und neue Anwendungsansätze zu erproben. Bei der Förderung derartiger Pilotanlagen ist darauf zu achten, dass das Potenzial der Anlagen ein breites Anwendungsspektrum abdeckt und die Förderung nicht in Konkurrenz zu Investitionen der privaten Wirtschaft, besonders bei kleinen und mittleren Unternehmen, steht. Außerdem ist es wichtig, die geförderten Anlagen in breiter Form in der Öffentlichkeitsarbeit durch geeignete Maßnahmen bekannt zu machen.

### 3.5 Bündelung und Koordinierung überregionaler Bioökonomie-Aktivitäten

Wesentliche Voraussetzung zur erfolgreichen Implementierung einer wissensbasierten Bioökonomie und der zugehörigen Forschung ist die Integration verschiedenster Forschungsdisziplinen und die Bündelung hochrangiger wissenschaftlicher Expertise in einem integrativen Gesamtansatz. Hierbei müssen (a) thematische interdisziplinäre Verbünde generiert werden, die möglichst viel der relevanten Kompetenz in Deutschland (und Europa) bündeln und über mehrere Regionen verteilt sein können. Darüber hinaus ist es essenziell, (b) regionale Verbünde der relevanten Akteure und Disziplinen aufzubauen, die durch enge Interaktion in räumlicher Nähe zusätzlich zu ihren thematischen Beiträgen zur Bioökonomie die Überbrückung der Grenzen zwischen den Disziplinen durch tagtägliche Interaktion vorantreiben und damit die Grundlage in Forschung, Lehre und Innovation für eine integrierende Bioökonomie schaffen.

- Als ein Beispiel für derzeitige Aktivitäten dieser Art kann hier das Bioeconomy Science Center (BioSC) genannt werden: Die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, die Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, die Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn und das Forschungszentrum Jülich haben bereits heute herausragende Forschungsaktivitäten in zahlreichen Themenfeldern der Bioökonomie und bilden daher eine exzellente Forschungslandschaft in einem starken bioökonomieorientierten Industrieumfeld

in Nordrhein-Westfalen. Die Universitäten und das Forschungszentrum Jülich haben auf Basis einer gemeinsamen Strategie und unter Einbezug bestehender wissenschaftlicher Netzwerke und Kooperationen (z. B. zu FhG, MPG, Industrie) ein integrales Konzept entwickelt und implementieren dies derzeit. Dabei werden alle relevanten Wissenschaftszweige zur Bereitstellung von Biomasse und biobasierten Produkten und Prozessen im Wertschöpfungsnetzwerk Bioökonomie in einem international sichtbaren und derzeit einmaligen Kompetenzzentrum zur Forschung für eine nachhaltige Bioökonomie – dem Bioeconomy Science Center – regional gebündelt.

- Weitere Beispiele derartiger Initiativen sind z. B. die Errichtung von interdisziplinären Kompetenzzentren für Industrielle Biotechnologie in München, Dortmund, Hamburg und Stuttgart.
- Unter Federführung der Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) und der InfraLeuna GmbH wurde das Konzept für das Chemisch-Biotechnologische Prozesszentrum in Leuna (CBP) entwickelt, das durch die Nutzung nachwachsender Rohstoffe und der Verfahren der Industriellen Biotechnologie sowie durch die enge Verzahnung mit der Industrie und einer Vielzahl anderer Partner einen substanziellen Beitrag zur Untersuchung der prognostizierten Vorteile nachwachsender Rohstoffe auf Basis der industriellen Biotechnologie leisten soll. Mit dem CBP wird die Schließung der Lücke zwischen Forschung und Wissenschaft einerseits und die Umsetzung der Industriellen Biotechnologie in produktionsrelevante, industrielle Dimensionen andererseits mit einer für alle interessierten Parteien zugänglichen Forschungs-, Entwicklungs- und Skalierungsplattform ermöglicht.

## Empfehlung

### Bündelung und Vernetzung von Aktivitäten zur Förderung der Bioökonomie

Die AG Biotechnologie des BioÖkonomieRats schlägt vor zu untersuchen, wie diese Zentren und Aktivitäten in Deutschland sich zunächst stärker vernetzen können, wobei die volks- und betriebswirtschaftlichen Aspekte, aber auch die Sozialwissenschaften stärker berücksichtigt werden sollen.

- Branchen- und disziplinenübergreifend hat sich der Industrieverbund Weiße Biotechnologie IW BIO aufgestellt, der Synergien im Forschungsbereich seiner Mitgliedsunternehmen zu nutzen sucht. Es werden Innovationsallianzen konzipiert, die Entwicklungen für Produktgruppen wie Biotenside oder bioaktive Wirkstoffe für die Kosmetik- und Nahrungsmittelindustrie fördern. Die Innovationsallianzen bündeln dabei unterschiedliche Unternehmen aus der Konsumgüter-, Spezialchemie- und Großchemiebranche mit spezialisierten Technologieunternehmen und stellen Prototypen zu den „unusual alliances“ dar. Eine Vielzahl von akademischen Zentren ist eingebunden.

### 3.6 Unterstützung des wirtschaftlichen Wandels durch bessere Kommunikation technologischer Entwicklungen und verbesserte Ausbildung im Bereich Industrielle Biotechnologie

Die Potenziale der Bioökonomie lassen sich nur ausschöpfen, wenn Politik und Gesellschaft die Entwicklung und Anwendung moderner Technologien akzeptieren und befürworten. Dafür ist ein besseres Verständnis biologischer Prozesse, Zusammenhänge und moderner Produktionsverfahren in Pflanzenzüchtung, Industrieller Biotechnologie und chemischer Verar-

beitung ebenso notwendig wie eine Unvoreingenommenheit gegenüber dem technischen Fortschritt von High-Tech-Ansätzen.

Bioökonomie ist eine globale Zukunftsaufgabe in international verknüpften Märkten. Die Ausbildung der Studenten an deutschen Hochschulen muss sich den Anforderungen stellen, die mit den sich daraus abgeleiteten Anforderungen an die Absolventen ergeben, um diese fit zu machen für eine effiziente akademische wie industrielle Forschung und Entwicklung und deren kommerzieller Nutzung. Dazu bedarf es einer akademischen Ausbildung, die finanziell gesichert und international vernetzt ist, Bezüge zur industriellen Praxis deutlich herausstellt, die Kreativität fördert und nicht an den wirtschaftlichen Anforderungen vorbeigeht.

Die speziellen Anforderungen der Industriellen Biotechnologie bestehen in der Vernetzung von technischer Mikrobiologie, Molekularbiologie, Bioinformatik, Bioverfahrenstechnik, Biochemie, Enzymologie, Sensorik, Naturstoffchemie, Toxikologie mit der Chemie und anderen Anwendungsbereichen. Das Ziel der Ausbildung muss sich daran ausrichten, Absolventen mit dieser vernetzten wissenschaftlichen Welt vertraut zu machen.

Die Ausbildung muss sich vermehrt an den Methoden und Verfahren moderner Biotechnologie orientieren (Datenverarbeitung – Bioinformatik, High throughput-Methoden, Standardisierung von Messtechniken und Verfahren etc.). Die Förderung von Kreativität und Neugier ist dabei genauso wichtig wie der Zugang zu neuesten Technologien. Hierzu gehören auch bi- und multinationale Forschungs- und Ausbildungsprogramme. Der Wissenstransfer soll durch internationalen Austausch ebenso gefördert werden wie das Training, in vernetzten und multinationalen Bezügen zu denken und zu arbeiten. Darüber hinaus gilt es, die Vernetzung mit der Industrie zu stärken.

Die momentanen Ausbildungssysteme sind nicht adäquat auf die Bioökonomie ausgerichtet. Studiengänge in Pflanzen- und Agrarwissenschaften bestehen weitgehend isoliert von biologischen/ biotechnologischen, chemischen und verfahrenstechnischen Studiengängen, statt intensiv miteinander vernetzt zu sein.

Mit Hilfe interdisziplinärer, fakultätsübergreifender Kompetenzzentren zur Verknüpfung der Agrar- und Pflanzenforschung mit der biotechnologischen, chemischen und verfahrenstechnischen Forschung kann die benötigte fachliche Expertise aus unterschiedlichen Disziplinen für gemeinsame FuE-Projekte entwickelt und gebündelt werden (NRC, 2009).

In Deutschland wird die Bedeutung des Bachelors als berufsqualifizierender Abschluss im Bereich Biotechnologie eng begrenzt bleiben, weil die Wirtschaft dieses Berufsfeld durch gut ausgebildete technische Assistenten (BTA, CTA, PTA), durch Chemie- und Biogielaboranten sowie Chemikanten weithin abgedeckt sieht. Erst der Master bietet im Bereich Biotechnologie eine relevante Zusatzqualifikation.

Als Konsequenz sollte die Vielfalt der heute an deutschen Universitäten angebotenen Bachelor-Studiengänge auf einige wenige grundlegende Bachelorstudiengänge, wie beispielsweise Engineering Sciences für Ingenieurstudiengänge oder Natural Sciences für naturwissenschaftliche Studiengänge, reduziert werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass ausreichende und gleichwertige Wahlmöglichkeiten zur individuellen Schwerpunktsetzung im letzten Studienjahr eröffnet werden, um der Verschulung von Studiengängen entgegenzuwirken. Ein großer Teil der Erfolge deutscher akademischer Ausbildung der Vergangenheit beruhte auf der Freiheit und der Möglichkeit, in scheinbar randständige Themenfelder zu wechseln („hineinzuschnuppern“). Aufbauend auf diese wenigen grundlegenden Bachelor-Studiengänge kann mit der großen Vielfalt von Masterstudiengängen die Ausbildung von Fachkräften an wissenschaftlichen Hochschulen sowohl mit klassischen Ausbildungspro-

filen – wie beispielsweise Biotechnologie, Biochemie oder Bioingenieurwesen – als auch mit neuen interdisziplinären Ausbildungsprofilen erfolgen, wie sie beispielsweise für einen Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie erforderlich sind. Entscheidend ist hierbei, dass individuell fehlende naturwissenschaftliche oder ingenieurwissenschaftliche Kernkompetenzen durch ausreichende Wahl- und Weiterbildungsmöglichkeiten ausgeglichen werden können.

Fachübergreifende Kompetenzen (wie beispielsweise Projektmanagement, wirtschaftliches Denken, rechtliche Grundbegriffe etc.) sind heute bereits in der akademischen Ausbildung auf verschiedenen Ebenen fest verankert. Besonders die an führenden wissenschaftlichen Hochschulen in Deutschland weit fortgeschrittene Einführung von Graduiertenschulen zur strukturierten überfachlichen und internationalen Ausbildung während der Promotion bietet die Möglichkeit, auch den spezifischen Anforderungen der Industriellen Biotechnologie nachzukommen.

In Bezug auf die Nachhaltigkeit müssen die Potenziale und Vorteile der Industriellen Biotechnologie in Wirtschaft und Gesellschaft anhand ihrer wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Kenndaten bewertet und vermittelt werden. Dies bedeutet, dass die Studenten auch schon während ihrer Ausbildung mit diesen Kategorien vertraut gemacht werden. Die Diskussion kontroverser Fragestellungen darf sich nicht nur auf den engen Fachbereich begrenzen, sondern muss auch das gesamtgesellschaftliche Umfeld einbeziehen.

Industrielle Biotechnologie ist projektbasiert. Projektmanagement und wirtschaftliches Denken entlang der Wertschöpfungsketten sind zu vermitteln, um konkret die ökonomisch sinnvollsten Projekte, Prozesse und Produkte identifizieren und effizient bearbeiten zu können.

Patente spielen eine entscheidende Rolle bei der Neugründung von Unternehmen, weil junge Unternehmen als Gegenwert für Investoren in der Regel kein gewinnbringendes Geschäft, sondern intellektuelles Eigentum aufzuweisen haben. Damit können fehlende oder unzureichend angemeldete Patente ein wesentliches Hemmnis für den Erfolg eines (neu gegründeten) Unternehmens darstellen. Die Bedeutung eines Patentportfolios und dessen optimales Management sollten deshalb allen Studenten vermittelt werden.

## Empfehlung

### **Bioökonomie in der Ausbildung verankern**

Im Hinblick auf eine verbesserte Ausbildung gibt die AG Biotechnologie des BioÖkonomieRats folgende Empfehlungen:

- Ausweitung und nachhaltige finanzielle Sicherung der akademischen Ausbildung
- Vernetzung zwischen Fakultäten, Universitäten, Fachhochschulen, anderen Forschungseinrichtungen und der industriellen Forschung
- Maßnahmen zur Erhöhung der Durchlässigkeit zwischen Akademia und Industrie
- Neustrukturierung der biotechnologischen Studiengänge – natur- bzw. ingenieurwissenschaftliche Kernkompetenzen im Bachelor-Studium und interdisziplinäre Vertiefungen im Masterstudium
- Verstärkung überfachlicher Kompetenzen insbesondere in der strukturierten und internationalen Ausbildung von Doktoranden in Graduiertenschulen

## 4. Zusammenfassung der Empfehlungen

Als wichtigste Maßnahmen, die es im Rahmen neu anzulegender Forschungsförderungsstrategien zu berücksichtigen gilt, gibt die AG Biotechnologie des BioÖkonomieRats folgende Empfehlungen:

- A) Implementierung eines interdisziplinären internationalen FuE-Ansatzes zur Identifikation und Beseitigung von Innovationshemmnissen im Bereich der industriellen Biotechnologie zum Wohle der gesamten Volkswirtschaft (siehe S. 9, 11 und 12)
- B) Förderung neuer Forschungs- und Unternehmensallianzen unter Nutzung vorhandener und zukünftiger Technologieplattformen mit dem Ziel der effizienteren Nutzung von FuE-Ergebnissen und deren schnelleren Überführung in unterschiedliche Märkte (siehe S. 12, 13 und 16)
- C) Aufnahme visionärer Forschungsthemen mit hohem Innovationspotenzial und deren ausreichend lange und umfangreiche Förderung (siehe S. 17 und 19)
- D) Bündelung und Vernetzung der industriellen Biotechnologie-Aktivitäten zur Förderung der Bioökonomie
  - in Form von Zentren, Clustern und Innovationsallianzen („unusual alliances“),
  - durch die Begleitung und Untersuchung des technologie- und rohstoffgetriebenen wirtschaftlichen Wandels durch betriebs- und volkswirtschaftliche Forschungsansätze,
  - durch die Förderung von Forschung und Spitzentechnologien mit Nachhaltigkeitseffekten (siehe S. 12, 13 und 22)
- E) Etablierung einer deutschen Leitmarktinitiative analog der „EU-Initiative for Biobased Products“ zur Förderung über die gesamte Wertschöpfungskette von der Idee bis hin zum Produkt (siehe S. 11)
- F) Begründung einer ressortübergreifend abgestimmten, langfristig angelegten deutschen Initiative für eine wettbewerbsfähige, wissensbasierte Bioökonomie durch Industrielle Biotechnologie als wesentlicher Impulsgeber (siehe S. 12 und 13)
- G) Verankerung von bioökonomischen Aspekten in der akademischen Ausbildung und Erhöhung der Durchlässigkeit zwischen Industrie und Akademia (siehe S. 24)

Die Arbeitsgruppe Biotechnologie des BioÖkonomieRats beabsichtigt ihre Arbeit fortzusetzen und konkrete Vorschläge zu Forschungsthemen, Förderstrukturen und Organisation zu machen und diese detailliert zu beschreiben. Dazu werden insbesondere die Ergebnisse der Analysen von Innovationshindernissen, Nachhaltigkeitsbetrachtungen, Wirtschaftlichkeit und Hebelwirkung herangezogen werden.

## Quellenangaben

**Amao, Y.; Maki, Y. und Fuchino, Y.** (2009): Photoinduced Hydrogen Production with Artificial Photosynthesis System Based on Carotenoid-Chlorophyll Conjugated Micelles. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(38), S. 16811-15.

**Bachmann, R.; Budde, F. und Riese, J.** (2004): Die dritte Welle - Die Biotechnologie erobert die Chemieindustrie. *Chemie Ingenieur Technik - CIT*, 76(8), S. 1155-58.

**Bd.-Rg.** (1998): Konzept Nachhaltigkeit – Vom Leitbild zur Umsetzung. In: Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages.

**BIO** (2010): BIOBASED CHEMICALS AND PRODUCTS: A New Driver of U.S. Economic Development and Green Jobs. Biotechnology Industry Organization.

**BMBF** (2009): Forschung für nachhaltige Entwicklungen - Rahmenprogramm des BMBF. In: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Referat 721 – Grundsatzfragen Kultur, Nachhaltigkeit, Umweltrecht.

**BMBF** (2010a): Biotechnologie-Firmenumfrage 2010. Bundesministerium für Bildung und Forschung.

**BMBF** (2010b): Ideen. Innovation. Wachstum - Hightech-Strategie 2020 für Deutschland. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Referat Innovationspolitische Querschnittsfragen, Rahmenbedingungen.

**BMU** (1997): Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland. Bericht der Bundesregierung anlässlich der UN-Sondergeneralversammlung über Umwelt und Entwicklung im Juni 1997 in New York. In: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

**DFG; acatech und Leopoldina** (2009): Synthetische Biologie. Deutsche Forschungsgemeinschaft, acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN e.V., Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften

**EFI** (2010): Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands. Expertenkommission Forschung und Innovation.

**EU** (2007a): Eine Leitmarktinitiative für Europa. Europäische Kommission.

**EU** (2007b): En Route to the Knowledge-Based Bio-Economy „Cologne Paper“. Europäische Union.

**EU** (2009): Taking Bio-Based from Promise to Market. Europäische Kommission.

**EU** (2010a): Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum. Europäische Kommission.

**EU** (2010b): Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum – Anhang 1 – Strategie. Europäische Kommission.

**EuropaBio** (2003): White Biotechnology: Gateway to a More Sustainable Future. The European Association for Bioindustries.

**EuropaBio** (2010): Building a Bio-based Economy for Europe in 2020. European Association for Bioindustries.

**Faber, K.** (2000): Biotransformations in Organic Chemistry. Springer-Verlag.

**FNR** (2010): Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie - Stoffliche Nutzung von Agrar- und Holzrohstoffen in Deutschland. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe.

**Fukuzumi, S.** (2008): Bioinspired Energy Conversion Systems for Hydrogen Production and Storage. *Eur J Inorg Chem*, 9, S. 1351-62.

**Gunderson, V.L.; Wilson, T.M. und Wasielewski, M.R.** (2009): Excitation Energy Transfer Pathways in Asymmetric Covalent Chlorophyll a Tetramers†. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(27), S. 11936-42.

**Ihara, M., Nishihara, H., Yoon, K.S., Lenz, O., Friedrich, B., Nakamoto, H., Kojima, K., Honma, D., Kamachi, T., and Okura, I** (2006): Light-driven hydrogen production by a hybrid complex of a [NiFe]-hydrogenase and the cyanobacterial photosystem I. *Photochemistry and Photobiology*, 82, S. 676-82.

**Ishigure, S., Okuda, A, Fujii, K, Maki, Y, Nango, M and Amao, Y** (2009): Photoinduced Hydrogen Production with a Platinum Nanoparticle and Light-Harvesting Chlorophyll a/b-Protein Complex of Photosystem II (LHCII) from Spinach System. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 82(1), S. 93-95.

**Kumar, C.V. und Duff, M.R.** (2009): DNA-Based Supramolecular Artificial Light Harvesting Complexes. *Journal of the American Chemical Society*, 131(44), S. 16024-26.

**Lewis, N.S. und Nocera, D.G.** (2006): Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(43), S. 15729-35.

**McKinsey&Co** (2006): Industrial Biotechnology -- Turning Potential into Profits. World Congress on Industrial Biotechnology and Bioprocessing - Linking Biotechnology, Chemistry and Agriculture to Create New Value Chains.

**Michel, H.** (2008): Die natürliche Photosynthese: ihre Effizienz und die Konsequenzen, in: *Die Zukunft der Energie*. P. Gruss und F. Schüth, C.H. Beck Verlag.

**NRC** (2009): A new biology for the 21st Century: Ensuring the United States leads the coming biology revolution. National Research Council.

**Nusser, M.; Soete, B. und Wydra, S.** (2007): Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie in Deutschland. Hans-Böckler-Stiftung.

**OECD** (2001): The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability - A Primer. Organisation for Economic Co-Operation and Development.

**OECD** (2005): A FRAMEWORK FOR BIOTECHNOLOGY STATISTICS. Organisation for Economic Co-operation and Development.

**OECD** (2009): The Bioeconomy to 2030. Organisation for Economic Co-operation and Development.

**UN** (1992): Agenda 21: Earth Summit - The United Nations Programme of Action from Rio. In. United Nations.

**USDE** (2010): International Energy Outlook. United States Department of Energy.

**Yagi, M., Syouji, A, Yamada, S, Komi, M, Yamazaki, H and Tajima, S** (2009): Molecular catalysts for water oxidation toward artificial photosynthesis. Photochem. Photobiol. Sci., 8(2), S. 139–47.

## Weiterführende Literatur zum Arbeitsgruppenpapier AG Biotechnologie des BÖR

Im Folgenden sind eine Reihe von komplementären Studien und Empfehlungspapieren genannt, die der Vertiefung dieser Stellungnahme dienen. Die Arbeitsgruppe Biotechnologie des Bioökonomierats sieht in der Vernetzung nationaler und internationaler Aktivitäten zur Implementierung einer Bioökonomie eine erfolgskritische Bedeutung. Die in Europa, USA, China und Japan bereits breit unterstützte Schwerpunktsetzung sollte bei der Formulierung nationaler Programme Berücksichtigung finden.

**AMYRIS** (2010). „Renewable Products for the World.“ 2010, from [www.amyrisbiotech.com](http://www.amyrisbiotech.com).

**BFN**. Auf dem Weg zu einer Nachhaltigen Entwicklung, Bundesamt für Naturschutz.

**BIO** (2010). Biobased Chemicals and Products A NEW DRIVER OF U.S. ECONOMIC.

**Biotechnology Industry Organization** (2010): Biobased Chemicals and Products – a new driver of U.S. economic development and green jobs; [rsingh@bio.org](mailto:rsingh@bio.org).

**BMBF** (2006). Die Hightech Strategie für Deutschland. Berlin, Bonn, Bundesministerium für Bildung und Forschung.

**BMBF** (2007): Weiße Biotechnologie, Chancen für neue Produkte und umweltschonende Prozesse, [www.bmbf.de](http://www.bmbf.de).

**Bundesregierung** (2009). Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit 2009 und Stellungnahme der Bundesregierung. Berlin, Bundesregierung.

**Collings, F., Crichtley, C.** (Editors) (2005): Artificial Photosynthesis: From Basic Biology to Industrial Application, Wiley-VCH, ISBN-13: 978-3-537-31090-6.

**Commission of the European communities, Brussels** (COM 2009) 512/3: Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions: “Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies”.

**DEVELOPMENT AND GREEN JOBS**. Washington DC, Biotechnology Industry Organization.

**Department for Business Enterprise and Regulatory Reform UK** (2009): Maximising UK Opportunities from Industrial Biotechnology in a Low Carbon Economy, BERR/Pub 8856/0.7k/05/09NP. URN 09/745.

**EFI** (2010). Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands, Expertenkommission Forschung und Innovation.

**EU** (2007). Eine Leitmarktinitiative für Europa. Brüssel, Europäische Kommission.

**EU** (2007). En Route to the Knowledge-Based Bio-Economy „Cologne Paper“. Köln, Europäische Union.

**EU** (2009). Taking Bio-Based from Promise to Market. Brüssel, Europäische Kommission.

**EU** (2010). Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum. Brüssel, Europäische Kommission.

**EuropaBio** (9/2009): Defining a long term policy for “Access To Raw Material” (ARM) to develop a competitive biobased industry in Europe.

**EuropaBio Policy Guide Building a Bio-based Economy for Europe in 2020.** Brüssel, European Association for Bioindustries.

**EuropaBio** (2003). White Biotechnology: Gateway to a More Sustainable Future. Brüssel, The European Association for Bioindustries.

**EuropaBio** (2010). „Biotechnology Basics.“ 2010, from [www.europabio.org/bi\\_index.htm#Defining%20Biotechnology](http://www.europabio.org/bi_index.htm#Defining%20Biotechnology).

**European Commission** (2005): Biotechnology 2020: from the transparent cell to the custom designed process; ISBN 92-79-00418-2.

**European Commission** (2009): Taking bio-based from promise to market: Measures to promote the market introduction of innovative bio-based products.

**FNR** (2010). Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie - Stoffliche Nutzung von Agrar- und Holzrohstoffen in Deutschland. Gülzow, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe.

**GDCH, Dechema, DGMK, VCI** (2010): Rohstoffbasis im Wandel.

**Heiden S., Zinke, H.** (2006): Weiße Biotechnologie – Industrie im Aufbruch; Biocom, ISBN 3-928383-21-3.

**McKinsey&Co** (2008). Deutschland 2020 Zukunftsperspektiven für die deutsche Wirtschaft. Frankfurt, McKinsey&Company.

**Konrad Adenauer Stiftung: [www.kas.de](http://www.kas.de)** (2009): Biotechnologie in Deutschland: Argumente für die Stärkung des innovativen Mittelstandes, ISBN 978-3-940955-78

**LS9, I.-T. R. P. C.** (2007). „Renewable Petroleum.“ 2010, from [www.ls9.com/](http://www.ls9.com/).

**Michel, H.** (2008). Die natürliche Photosynthese: ihre Effizienz und die Konsequenzen, in Die Zukunft der Energie. München, P. Gruss und F. Schüth, C.H. Beck Verlag.

**National Research Council: A new biology for the 21st Century: Ensuring the United States leads the coming biology revolution;** [www.nap.edu/catalog/12764.html](http://www.nap.edu/catalog/12764.html).

**OECD** (2001). The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability – A Primer, Organisation for Economic Co-Operation and Development.

**OECD** (2006). The Bioeconomy to 2030. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development.

**OECD** (2009): The Bioeconomy to 2030 – designing a policy agenda; [www.oecd.org](http://www.oecd.org).

**OECD** (2009): Agricultural and health biotechnologies: Building blocks of the bioeconomy; Sawaya, D (ed.) Volume 2009/3; [www.oecd.org](http://www.oecd.org).

**Richter-Maierhofer, E.** (2005). „Trendbericht Biotechnologie - Die Zukunft ist weiß: Chemikalien aus dem Bioreaktor.“ 2010, aus:[www.innovationsreport.de/html/berichte/messe-nachrichten/bericht-53356.html](http://www.innovationsreport.de/html/berichte/messe-nachrichten/bericht-53356.html).

**World Business Council for Sustainable Development:** Vision 2050; the new agenda for business; ISBN 978-3-940388-57-5

**WWF** (2010): Industrial Biotechnology – more than green fuel in a dirty economy?; [www.wwf.dk](http://www.wwf.dk).

## **Autoren: Arbeitsgruppe Biotechnologie des BioÖkonomieRats**

**Prof. Dr. Rainer Fischer**, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen und Fraunhofer IME, Aachen und Schmallenberg

**Prof. Dr. Stefanie Heiden**, AiF e. V., Köln

**Prof. Dr. Thomas Hirth**, Universität Stuttgart und Fraunhofer IGB, Stuttgart

**Prof. Dr. Karl-Heinz Maurer**, Henkel KGaA, Düsseldorf

**Dr. Christian Patermann**, Bonn

**Dr. Thomas Schäfer**, Novozymes AB, Kopenhagen, Dänemark

**Prof. Dr. Andreas Schmid**, TU Dortmund

**Dr. Carsten Sieden**, BASF SE, Ludwigshafen

**Prof. Dr. Wiltrud Treffenfeldt** (Sprecherin), Dow AgroSciences LLC, Indianapolis, USA

**Prof. Dr. Dirk Weuster-Botz**, TU München

**Dr. Holger Zinke**, BRAIN AG, Zwingenberg