

# Verbändepapier zum Dialogprozess Bioökonomie

Berlin, 23. August 2018

**Geschäftsstelle**

BIO Deutschland e. V.  
Am Weidendamm 1a  
10117 Berlin

**Ansprechpartner:**

Dr. Claudia Engbrecht  
Tel: +49 30 72625132  
E-Mail: [info@biodeutschland.org](mailto:info@biodeutschland.org)

## Inhalt

1.	Wissensbasierte Bioökonomie als Zukunftsfaktor .....	3
2.	Potenziale der industriellen Biotechnologie .....	5
2.1.	Anwendungsbeispiele .....	5
2.1.1.	Reinigungsenzyme .....	5
2.1.2.	Nachhaltige Biokraftstoffe .....	6
2.1.3.	Kosmetika .....	8
2.1.4.	Insulin.....	8
2.1.5.	Vitamin B2.....	9
2.1.6.	Süßen ohne Kalorienzufuhr .....	10
2.1.7.	Käseherstellung .....	10
2.1.8.	Landwirtschaft.....	10
2.2.	Pilotprojekte Bioökonomie.....	11
2.2.1.	Künstliche Photosynthese .....	11
2.2.2.	Biologische Erzaufbereitung .....	11
2.2.3.	Biosteel® - die biotechnische Herstellung von Textilfasern .....	12
2.3.	Forschungsprojekte und Zukunftsfelder in der Bioökonomie.....	12
2.3.1.	Fräsen mit künstlichen neuronalen Netzen .....	12
2.3.2.	Zellen als biologischer Rohstoff.....	13
2.3.3.	Mikroalgen als Biomasse-, Roh- und Wertstoffquelle.....	13
2.3.4.	Aquakulturen – Teil einer nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion .....	14
2.3.5.	Biologisch-technische Schnittstellen .....	15
2.3.6.	Anwendung in der Pflanzenzüchtung .....	15
2.3.7.	Bakterien im Dienste der Gesundheit.....	16
2.3.8.	Verbesserung der Rezepturen prozessierter Lebensmittel .....	17
2.3.9.	FuPol: Maßgeschneiderte Enzyme zur Funktionalisierung verschiedener Polymere .....	18
2.3.10.	CO <sub>2</sub> als Wertstoff .....	18
3.	Transformation zur wissensbasierten Bioökonomie als globales Phänomen.....	19
4.	Handlungsempfehlungen für die Entwicklung der Bioökonomie in Deutschland.....	20

## 1. Wissensbasierte Bioökonomie als Zukunftsfaktor

Bei der Bioökonomie handelt es sich um einen seit Langem bekannten Wirtschaftszweig. Die Nutzung biologischer Ressourcen wie Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen wird von den Menschen über Jahrtausende praktiziert. Dabei werden bereits seit rund 10.000 Jahren auch biobasierte Technologien eingesetzt, etwa um Nahrungsmittel wie Brot, Käse, Joghurt, Wein und Bier zu produzieren und zu veredeln.

Schon damals wurden Naturressourcen intensiv genutzt - ohne Folgen für die Natur wie etwa Erosion und Überweidung verhindern zu können. Mit der industriellen Revolution und ihren Energieträgern Kohle und Erdöl wurde der Mensch aber erstmals durch tiefgreifende Eingriffe zur erdgestaltenden und verändernden Kraft. Dadurch wurde einerseits ein enormer Fortschritt ermöglicht, der zu einem starken Anstieg des Wohlstandes und zu einem überproportionalen Bevölkerungswachstum geführt hat. Hiermit ging aber auf der anderen Seite auch ein deutlich höherer Bedarf an Nahrung, Gebrauchsgütern und Energie einher. Zudem führte die Nutzung fossiler Energieträger zu einer signifikanten Erhöhung von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre. Vor Beginn der industriellen Revolution lag die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre bei etwa 280 ppm, heute beträgt sie rund 385 ppm<sup>1</sup>. Dieser Anstieg wurde zum weitestgehendsten Teil durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe verursacht. Der vor allem durch den Kohlenstoffdioxidanstieg entstandene Treibhauseffekt hat in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts zu einer spürbaren Erwärmung der Erdatmosphäre geführt. Nach Angaben der US-Raumfahrtbehörde NASA war das erste Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts wärmer als jedes jemals zuvor dokumentierte.

Nach Einschätzungen aus der Wissenschaft liegt das Hauptrisiko bei der Erderwärmung in der damit verbundenen Umwälzung des weltweiten Wasserhaushalts und den damit verbundenen Folgen: Anstieg des Meeresspiegels, negative Einflüsse auf die Biodiversität, Ausbreitung von Infektionskrankheiten etc.<sup>2</sup>.

Als aussichtsreicher und letztlich unumgänglicher Weg bietet sich in dieser Situation der Übergang zu einer Wirtschaftsform an, die auf erneuerbare Energieträger und Rohstoffe setzt. So hat der mit der industriellen Revolution verbundene technologische Fortschritt dazu geführt, dass heute Möglichkeiten zur Verfügung stehen, die Auswege aus nicht-nachhaltigen Anwendungen eröffnen. Durch die Nutzung von Biomasse aus der Agrarwirtschaft, der Forstwirtschaft, der Fischereiwirtschaft und Aquakultur sowie aus der Abfallwirtschaft ist es möglich, Prozesse gleichzeitig umweltverträglich und wirtschaftlich zu gestalten. Werden nachwachsende Rohstoffe oder biogene Reststoffe anstelle fossiler Kohlenstoffquellen eingesetzt, hilft dies, den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern und das Klima zu schonen.

Den in diesem Zusammenhang entwickelten Konzepten der Bioökonomie, der Kreislaufwirtschaft oder der kaskadenförmigen Nutzung von Biomasse wohnt ein gewaltiges Potenzial für eine nachhaltiger gestaltete Umwelt sowie größere Unabhängigkeit von fossilen Ressourcen inne. Während sich Kreislaufwirtschaft und

---

<sup>1</sup> Vgl. den jährlichen Treibhausgas-Index der US-Wetter- und Klimabehörde NOAA den AGGI

<sup>2</sup> Mc Neill und Engelke 2013 in „Die Globalisierte Welt“: „Mensch und Umwelt im Zeitalter des Anthropozän“, S. 357-534; <https://doi.org/10.17104/9783406641169-357>

Kaskadennutzung darauf konzentrieren, den Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen innerhalb der Wirtschaft so lange wie möglich zu erhalten und die Umwelteffizienz der Prozesse zu verbessern, umfasst die Bioökonomie die nachhaltige Produktion erneuerbarer biologischer Ressourcen und die Umwandlung dieser Ressourcen und Abfallströme in Produkte mit einem Mehrwert, wie Lebensmittel, Futtermittel, biobasierte Produkte und Bioenergie.

Dabei ist die Bioökonomie deutlich mehr als nur ein weiterer Rohstoffsektor, sondern zeichnet sich durch besondere Eigenschaften aus. Bei der Bioökonomie geht es um die „Biologisierung“ der industriellen Wertschöpfung. Hierfür wird der Werkzeugkasten der Natur genutzt, um diese zu bewahren.

Die Fortschritte in den Biowissenschaften erschließen Handlungsspielräume in der Produktion und sichern die Versorgung der Menschheit mit Nahrungsmitteln, medizinischen Produkten und Rohstoffen. Die nachhaltigen Bioökonomien der Zukunft werden somit wissenschaftsbasiert sein.

Die Implementierung biotechnologischer Prozesse kann allerdings zu Interessenkonflikten führen. So können etwa zwischen den Akteuren traditioneller und innovativer Wertschöpfungsketten Interessenkonflikte entstehen, wenn eine neue, zusätzliche Nachfrage nach Biomasse nicht auf eine parallele Ausweitung des Biomasseangebots oder eine Etablierung neuer Kaskadennutzungen trifft. Interessenskonflikte sind auch möglich, wenn Produkte innovativer bio-basierter Wertschöpfungsketten die entsprechenden Produkte auf fossiler Basis bzw. aus traditionellen Biomasse-Wertschöpfungsketten ersetzen sollen. Interessenkonflikte können insbesondere dann erwartet werden, wenn innovative bio-basierte Produkte durch neue Akteure auf den Markt gebracht werden und nicht durch eine Weiterentwicklung etablierter Akteure. Je stärker die Pfadabhängigkeit von etablierten Biomasse-Wirtschaftssektoren ist, umso größer ist das potentielle Konfliktpotential. Neben den Interessenkonflikten auf wirtschaftlicher Ebene, spielt auch die Akzeptanz biobasierter Produkte bei den Kunden eine wesentliche Rolle für den erfolgreichen Übergang in eine wissenschaftsbasierte Bioökonomie. Besonders unter Endverbrauchern herrscht häufig Unwissenheit über die Eigenschaften biobasierter Produkte und ihre Bedeutung für einen nachhaltigen Konsum. Bei aufgeklärten Endverbrauchern zeigt sich zudem häufig eine Diskrepanz zwischen ihrem Wunsch nach dem Konsum biobasierter Produkte und der Bereitschaft hierfür einen höheren Preis zu bezahlen.

Um den Weg in eine nachhaltige Bioökonomie erfolgreich zu beschreiten, ist daher ein intensiver Diskurs in Politik und Gesellschaft mit Teilhabe der deutschen Industrie erforderlich. Aus diesem Grund unterstützen die Biotechnologie-Industrie-Organisation Deutschland (BIO Deutschland), die Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) und der Industrieverbund Weiße Biotechnologie (IWBio) die von der Bundesregierung geplante Dialogplattform zur Bioökonomie im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Im Rahmen dieses gesamtgesellschaftlichen Dialogs – Biodialog – sollte unter Beteiligung von Zivilgesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft über die Vor- und Nachteile der Anwendungen der Biotechnologie diskutiert werden.

## 2. Potenziale der industriellen Biotechnologie

Eine der wichtigsten Säulen der modernen, wissensbasierten Bioökonomie ist die industrielle Biotechnologie. Diese kann entscheidend zu vermehrter Nachhaltigkeit in ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Hinsicht beitragen. Verfahren und Prozesse aus der industriellen Biotechnologie bieten einen effizienten Schutz der Ressourcen in einer Kreislaufwirtschaft. Rest- und Abfallstoffe, wie auch CO<sub>2</sub> können mit Hilfe der Biotechnologie weiter genutzt und verwertet werden. Entwicklungen aus der Biotechnologie ermöglichen es, große Mengen Energie einzusparen und den Einsatz von Chemikalien und Rohstoffen zu ergänzen oder sogar ganz oder teilweise zu ersetzen. Innovationen der industriellen Biotechnologie sind somit integraler Bestandteil eines effektiven Umwelt- und Klimaschutzes.

Die industrielle Biotechnologie ist dabei durch einen Querschnittscharakter gekennzeichnet. Auf der einen Seite werden neue Sektoren etwa in den Bereichen Bioplastik und Abfallwirtschaft geschaffen. Auf der anderen Seite werden durch die technologischen Möglichkeiten der Bioökonomie bereits existierende Sektoren in der Agrarindustrie, in der Nahrungsmittelindustrie, im Maschinen- und Fahrzeugbau oder der Pharmaproduktion mit neuer Dynamik versehen. Durch die Biologisierung der Wirtschaft werden künftig sowohl neue Industrien entstehen, als auch bestehenden Industrien neue Impulse verliehen.

### 2.1. Anwendungsbeispiele

Im Folgenden sollen einige Beispiele vorgestellt werden, welche die Anwendungsmöglichkeiten aus der industriellen Biotechnologie veranschaulichen.

#### 2.1.1. Reinigungsenzyme

Mit Hilfe biotechnologisch hergestellter Enzyme reinigen moderne Wasch- und Spülmittel schon bei niedrigen Temperaturen. Durch den Einsatz von diesen Enzymen kann Energie eingespart werden, da diese leistungsstärker sind und bereits bei niedrigeren Temperaturen wirken.

Der Konsumgüterhersteller Henkel hat innovative und noch leistungsstärkere Enzyme für die optimale Wäschepflege und für flüssige Geschirrspülmittel entwickelt. Seit Februar 2014 ist ein neues „Pril“ im Handel, welches als lagerstabiles flüssiges Handgeschirrspülmittel eine beständige Amylase gegen (auch eingetrocknete) Stärkeverkrustungen enthält.

Durch die Nutzung von Enzymen in Waschmitteln, kann Energie eingespart werden, da das Mittel schon bei tiefen Temperaturen seine Wirkung zeigt. Würden alle Haushalte in Europa bei 30 Grad statt 40 Grad waschen, würden wir Strom sparen, der dem jährlichen Verbrauch von mehr als 2 Millionen Haushalten entspricht, und mehr als 6 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> einsparen.

Da die Enzyme einen Teil der chemisch hergestellten Tenside ersetzen, wird außerdem Material eingespart. In Europa werden durch den Enzyemeinsatz pro Jahr 2000 t Tenside weniger verbraucht.

### 2.1.2. Nachhaltige Biokraftstoffe

Die Biotechnologie ermöglicht die Herstellung von nachhaltigen und klimaschonenden Flüssigkraftstoffen mit einer hohen Energiedichte aus Biomasse. Hierzu gehören Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse (sog. konventionelle Biokraftstoffe) und Biokraftstoffe aus Abfall- und Reststoffen (sog. fortschrittliche Biokraftstoffe).

#### ➤ **Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse**

Bei den im Markt etablierten Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse werden entweder der Zucker- oder Stärkeanteil der Agrarrohstoffe (z. B. Getreide, Zuckerpflanzen) zu Ethanol oder Pflanzenöl (z. B. Rapsöl) zu Biodiesel verarbeitet. Der weltweit vorherrschende Biokraftstoff ist Ethanol aus stärke- und zuckerhaltigen Agrarrohstoffen, wie z. B. Weizen und Mais bzw. Zuckerrohr und Zuckerrüben. In der EU werden aktuell pro Jahr rund 5,3 Mio. m<sup>3</sup> Kraftstoffethanol verbraucht und produziert, das nahezu ausschließlich aus europäischen Rohstoffen gewonnen wird. Rund 75 % der Ethanolproduktion basiert auf der Verarbeitung von Getreide. Die Ethanolherstellung für den EU-Kraftstoffmarkt erfüllt höchste Nachhaltigkeitsanforderungen. Unabhängige, von der EU-Kommission zugelassene Zertifizierungssysteme überwachen und kontrollieren die komplette Wertschöpfungskette. Das in der EU hergestellte Ethanol erreicht eine durchschnittliche Treibhausgaseinsparung von über 70 % gegenüber fossilem Benzin.

#### ➤ **Zellulose-Ethanol**

Bei fortschrittlichen Biokraftstoffen wird entweder das lignozellulosehaltige Material (z.B. aus landwirtschaftlichen Reststoffen) oder die gesamte dedizierte Energiepflanze verwertet. Dazu zählen Bioethanol aus Zellulose wie z.B. aus Stroh oder *Biomass to Liquid* (BTL)-Biodiesel z.B. aus Holz. Biokraftstoffe können in Zukunft auch durch den Einsatz von Algen hergestellt werden, die mit ihrer gesamten Biomasse Photosynthese betreiben.

Zellulose-Ethanol ist ein fortschrittlicher, nachhaltiger und klimaschonender Biokraftstoff, der in Ottomotoren sofort einsetzbar ist und aus z. B. landwirtschaftlichen Reststoffen hergestellt wird. Mit der Entwicklung und erfolgreichen Markteinführung der sunliquid®-Technologie ebnet Clariant, ein weltweit führendes Spezialchemieunternehmen, den Weg für fortschrittliche Biokraftstoffe. Das Verfahren verwendet Agrarreststoffe wie z. B. Weizenstroh, die aus Zellulose und dem „Holzstoff“ Lignin bestehen. Zellulose ist aus Zuckermolekülen aufgebaut, die fest miteinander verknüpft sind. Bei Clariants Sunliquid®-Verfahren wird zunächst das Stroh zerkleinert und mit heißem Wasserdampf behandelt, dabei zerfällt es in seine Bestandteile Zellulose und Lignin. Selbstgezüchtete Mikroorganismen knacken die Zellulose, sodass die Zuckermoleküle freigesetzt werden. Diese Zucker werden dann zu Alkohol fermentiert, wie in etwa beim Bierbrauen. Die Prozessenergie für die Herstellung wird durch die Verbrennung des Lignins gewonnen. Die Vinasse, die als Nebenprodukt anfällt, ist ein ausgezeichnete Dünger. Dies alles trägt zu der hervorragenden Klimabilanz des Produkts bei.

Seit 2012 betreibt Clariant eine vorkommerzielle sunliquid®-Anlage in Straubing, Deutschland. Nach sorgfältiger Prozessdemonstration wurde im Herbst 2017 die sunliquid®-Technologie erfolgreich an Enviral, den größten slowakischen Hersteller für Bioethanol, lizenziert. Zudem beginnt Clariant dieses Jahr mit dem Bau

einer „First-of-its-kind“ Großanlage mit einer Produktionskapazität von jährlich 50.000 t im Südwesten von Rumänien an.

Die EU hat kürzlich eine Richtlinie verabschiedet, die die Förderung von erneuerbaren Energien bis 2030 vorsieht. Teil dieser Gesetzgebung ist ein für die jeweiligen Mitgliedsländer verbindliches Ziel für moderne Biokraftstoffe aus bestimmten Abfall- und Reststoffen, hierunter auch zellulosehaltige Reststoffe wie Stroh. Es ist zu erwarten, dass sich hieraus die Entstehung von neuen Bioraffinerien in Europa, und in Deutschland, ergeben. Der Bau dieser Anlagen stellt eine bedeutende Wachstumsmöglichkeit für die deutschen Anlagenbauer und Technologieanbieter dar. Durch die lokale Kraftstoffproduktion wird außerdem die Verwendung von landwirtschaftlichen Reststoffen in unmittelbarer Nähe gefördert.

Durch die Einsparung von über 85 % Prozent der Treibhausgasemissionen gegenüber fossilem Kraftstoff (Standardwerte aus der Erneuerbaren Energien-Richtlinie) tragen fortschrittliche Biokraftstoffe zur Erfüllung der umfangreichen Klima- und Energieziele der Regierungen bei. Darüber hinaus schaffen sie grüne Arbeitsplätze und Wirtschaftswachstum in überwiegend ländlichen Gebieten. Ein weiterer Vorteil der Biokraftstoffe liegt darin begründet, dass diese die bestehenden Infrastrukturen nutzen und sofort und ohne Umbauten im Fahrzeugbestand eingesetzt werden können. Im Unterschied etwa zu Elektro-Motoren können Biokraftstoffe ohne Zeitverlust und hohen Investitionsleistungen eingesetzt werden.

➤ **ETBE / MTBE als fortschrittliche Biokraftstoffe**

Die Beimischung von traditionellen Biokraftstoffen in Benzin wird durch Normen aufgrund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften begrenzt: Zum Beispiel begrenzt die Norm das Verhältnis von Ethanol in SP95 und SP98 auf 5 % und in SP95-E10 auf 10 %.

Diese Art der Begrenzung gibt es in den meisten Staaten weltweit und wird im Allgemeinen „Beimischungsgrenze“ genannt. Diese Beimischungsgrenze muss überwunden werden, damit Biokraftstoffe in Zukunft einen wichtigeren Platz einnehmen können. Das Biotechnologieunternehmen Global Bioenergies bietet nun mit dem vollständig erneuerbaren ETBE einen neuen Weg, dies zu erreichen.

Herkömmlicherweise wird teilweise erneuerbares ETBE (Ethyl-tert-butyl-ether) gewonnen, indem in einem einfachen und bewährten Verfahren ein erneuerbares Ethanol-Molekül mit einem fossilen Isobuten-Molekül kombiniert wird. Es dient als Benzinzusatzstoff – bis zu 23 % – und der Weltmarkt für dieses Produkt beläuft sich derzeit auf mehr als 3 Mio. t pro Jahr, das entspricht mehr als 2 Mrd. Euro. Die Neuheit besteht darin, mit dem gleichen Verfahren erneuerbares Ethanol und ebenfalls erneuerbares Isobuten, das mithilfe einer Technologie von Global Bioenergies gewonnen wurde, zu kombinieren. Bei diesem vollständig erneuerbaren ETBE lässt sich dem Benzin im Vergleich zu herkömmlichen Biokraftstoffen die 2,7-fache Menge erneuerbarer Energie beimischen, was auch die Reduzierung der Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre ermöglicht.



Die Kraftstoffe wie SP95 oder SP98 sind Cocktails aus mehreren Benzinarten mit verschiedenen Merkmalen. Wenn neue Biokraftstoffe mit benzinähnlichen Merkmalen angeboten werden, kann mehr erneuerbare Energie beigemischt- und trotzdem die geltenden Normen eingehalten werden.

### **2.1.3. Kosmetika**

Seide findet seit Jahrhunderten Einsatz in einer Vielzahl von verschiedenen Körper- und Haarpflegeprodukten. Der beliebte Rohstoff wird vorwiegend aus dem Kokon der Seidenraupe *Bombyx mori* gewonnen, und ist daher tierischen Ursprungs. Für die Herstellung der tierischen Seide werden für 1 kg etwa 5.000 Kokons und 180 kg Maulbeerbaumblätter benötigt, welche unter anderem mit Pestiziden und Hormonen behandelt werden – nachhaltige und ressourcenschonende Produktionsprozesse sind dadurch schwer umsetzbar.

Die Biotech-Firma AMSilk konnte erstmalig ein biotechnologisches Verfahren zur Herstellung von tierfreier Seide entwickeln, und bietet der Kosmetikbranche nicht nur eine vegane Alternative, sondern Inhaltsstoffe in Gel- oder Pulverform mit einzigartigen neuen Funktionen für High-Performance Beautyprodukte. Filmbildende, atmungsaktive Eigenschaften verleihen der funktionalen Seide eine physikalische Schutzwirkung, welche Haut und Haar vor Umweltverschmutzungen, Schadstoffen oder Bakterien schützt. Eingesetzt in Hautcremes bildet das dreidimensionale Seidennetzwerk einen atmungsaktiven Schutzschild aus, welches wie eine zweite Haut wirkt. Darüber hinaus können funktionale Seidenproteine bestimmte Substanzen, wie z. B. Parfümöle oder Wirkstoffe, fixieren und damit langanhaltende Effekte zur gleichmäßigen Freisetzung und Erhöhung der Wirksamkeit bewirken.

Bereits seit einigen Jahren wird die biotechnologische Seide der AMSilk als Inhaltsstoff in zahlreichen Kosmetikprodukten erfolgreich weltweit eingesetzt.

### **2.1.4. Insulin**

Seit den 80er Jahren wird Humaninsulin zur Behandlung des Diabetes mellitus biotechnologisch hergestellt. Das Ziel einer jeden Diabetestherapie ist das Erreichen einer stabilen und guten Blutzuckereinstellung. Welcher HbA1c-Wert dabei anzustreben ist, variiert individuell. Bei Typ-1-Diabetespatienten ist es in der Regel ein Wert unter 7,5 % für Typ-2-Diabetespatienten wird ein Wert zwischen 6,5 bis 7,5 % empfohlen. Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es verschiedene therapeutische Maßnahmen.

Wichtige Bausteine der Diabetestherapie sind das Mahlzeiteninsulin und das langwirksame Basalinsulin, das Sanofi anbietet. Bei stoffwechselgesunden Menschen steigt nach der Aufnahme von kohlenhydrathaltigen Nahrungsmitteln der Blutzuckerspiegel, die Inselzellen der Bauspeicheldrüse erhalten ein Signal, woraufhin sie verstärkt Insulin produzieren. Wenn die in der Nahrung enthaltenen Kohlenhydrate abgebaut sind, sinkt der Blutzuckerspiegel und damit auch die Insulinproduktion.

Mit der Entwicklung von modernen, schnellwirksamen Insulinanaloga ist es möglich, diese natürliche Insulinsekretion nach der Mahlzeit nachzuahmen. Mahlzeiteninsuline sorgen schnell und effektiv dafür, dass die Glukose aus dem Blut in die Zellen gelangt, wo sie zur Energiegewinnung benötigt wird.



Mahlzeiteninsuline können in verschiedenen Therapiesituationen angewandt werden. In Kombination mit blutzuckersenkenden Tabletten (orale Antidiabetika) und/oder zusammen mit einem langwirksamen Basalinsulin kann so eine passende Diabetestherapie zusammengestellt werden.

Die Bedeutung von Biopharmazeutika in Deutschland nimmt immer weiter zu. Im Jahr 2017 wurde in Deutschland mit Biopharmazeutika ein Umsatz von rund € 10,2 Mrd. erzielt (zu Herstellerabgabepreisen), was einer Steigerung von 10,3 % gegenüber dem Vorjahr entspricht; das Wachstum der Biopharmazeutika setzt sich also fort. Zum Vergleich: Die Umsätze des gesamten deutschen Pharmamarktes legten im gleichen Zeitraum um 5,1 % zu. Der Anteil der Biopharmazeutika am gesamten Pharmamarkt ist dadurch von 24,8 % auf 26,0 % gestiegen. Das zeigt, dass Biopharmazeutika immer wichtiger für die Versorgung von Patienten werden. Die umsatzstärksten Bereiche sind – wie in den Jahren zuvor – die Immunologie und die Onkologie mit zusammen über 50 % des Gesamtumsatzes. Rechnet man noch die Stoffwechselerkrankungen hinzu, sind damit bereits 74 % des biopharmazeutischen Gesamtumsatzes abgedeckt. Dabei machen Antikörper, Impfstoffe und Insuline 60 Prozent aller Biopharmazeutika aus.

#### **2.1.5. Vitamin B2**

Biotechnologie kommt auch dann zur Anwendung, wenn Moleküle so komplex sind, dass sie mithilfe der Chemie nicht oder nicht unter wirtschaftlichen Aspekten nachgebildet werden. Ein bekanntes Beispiel ist die Synthese von Vitamin B2. Alle großen Vitamin B2-Hersteller haben dazu biotechnische Verfahren entwickelt. Sie nutzen dafür verschiedene gentechnisch optimierte Produktionsstämme (vor allem: *Bacillus subtilis*, ein Bodenbakterium sowie Pilze und verschiedene Hefe-Stämme).

Einige dieser Mikroorganismen können von Natur aus Vitamin B2 bilden. Durch das Einführen geeigneter Erbgutabschnitte, welche die Bildung der an der natürlichen Vitaminsynthese beteiligten Enzyme regulieren, kann der zu Vitamin B2 führende Stoffwechselweg optimiert und die hergestellte Menge um ein Vielfaches gesteigert werden.

In einer Kooperation mit der Universität von Salamanca, Spanien, haben Forscher der BASF die biotechnologische Herstellung von Vitamin B2 bereits im vergangenen Jahrhundert deutlich optimiert. Dazu untersuchten sie einen Pilz mit dem wissenschaftlichen Namen *Ashbya gossypii*. Mit seiner Hilfe stellt der Unternehmensbereich Nutrition & Health in Gunsan, Korea Vitamin B2 her, inzwischen jährlich über tausend Tonnen.

Die biotechnischen Herstellungsverfahren haben gegenüber der chemischen Synthese deutliche Vorteile: Die Produktionskosten sind um 40 % niedriger, der Ressourcenverbrauch um 60 %, CO<sub>2</sub>-Emissionen um 30 % und die Abfallstoffe um 95 %. Nun konnten die Partner von Unternehmen und Hochschule die Produktivität des Mikroorganismus mit biotechnologischen Methoden um 20 % steigern. Für diese erfolgreiche Zusammenarbeit ist die BASF von der Universität von Salamanca ausgezeichnet worden.

### **2.1.6. Süßen ohne Kalorienzufuhr**

Bereits seit Jahren gibt es das Kundenbedürfnis, Zucker ohne Kalorien genießen zu können. Bisherige Ansätze, wie Hochintensivsüßstoffe oder Zuckeralkohole imitieren lediglich die Süße des Zuckers, können seine anderen Eigenschaften aber nicht erfüllen.

Allulose ist ein natürlicher Zucker, der enzymatisch aus Fruktose hergestellt werden kann. Er besitzt die technologischen Eigenschaften eines normalen Zuckers, hat aber nahezu keine Kalorien. In den USA, Japan und Korea ist er für Lebensmittelanwendungen bereits zugelassen.

Effiziente enzymatische Prozesse machen diesen Zucker für jedermann erschwinglich. Damit steht über den Weg der Biotechnologie erstmals ein echter Zucker ohne Kalorien zur Verfügung.

### **2.1.7. Käseherstellung**

Durch die stetig wachsende Käseproduktion erhöhte sich der Bedarf an Lab. Das Angebot von Labmägen junger saugender Kälber konnte dieser verstärkten Nachfrage nicht standhalten. Biotechnologisch hergestelltes Lab ist seit Anfang der 90er Jahre auf dem internationalen Markt. Zugelassen ist es in den meisten europäischen Ländern (Frankreich, England, Italien, Niederlande, Spanien, Schweiz u. a.) und in der USA. Seit 1997 ist auch in Deutschland die Verwendung von gentechnologisch hergestelltem Chymosin zur Käseherstellung erlaubt. Zurzeit gibt es zwei rekombinante Chymosinpräparate (Chy-Max®, Maxiren®). Allen ist gemein, dass Mikroorganismen (Hefen, Schimmelpilze, Bakterien) das Enzym Chymosin herstellen. Ihnen wurde die genetische Information für die Chymosinproduktion aus dem Kälbermagen übertragen. Der Vorteil des gentechnologisch hergestellten Labes beruht auf seinem geringen Preis und seinem höheren Reinheitsgrad.

### **2.1.8. Landwirtschaft**

Biologische Lösungen werden weltweit von Landwirten eingesetzt, um nachhaltig zu produzieren. So werden mikrobiologische Produkte zum Schutz gegen Pflanzenschädlinge und Pflanzenkrankheiten und zur Produktivitätssteigerung entwickelt. Diese können auch als "Biostimulanz" die Pflanzen mit Mikronährstoffen versorgen oder Wurzelwachstum anregen. Zudem werden neue Sorten gezüchtet, die Dürresistenter oder resistenter gegenüber Krankheiten sind.

In der Tierhaltung können moderne und nachhaltige Futtermittelformulierungen dazu beitragen, Grundwasser und Atmosphäre vor einem zu großen Stickstoffüberschuss zu schützen. Durch den konsequenten Einsatz von Aminosäuren in der Tierernährung ist es möglich, den Ausstoß reaktiven Stickstoffs deutlich zu senken.

Setzt man dem Futter essentielle Aminosäuren wie Methionin, Lysin oder Valin zu, lässt sich das Futter besser an den Nährstoffbedarf des Tieres anpassen. Hühner benötigen zum Beispiel mehr Methionin, für Schweine ist Lysin besonders wichtig. Der Effekt der Aminosäuren: Nährstoffe werden besser verwertet, die Tiere fressen insgesamt weniger.

Das ist nicht nur gut für die Wirtschaftlichkeit eines Betriebs, sondern auch für die Umwelt. Denn: Auf diese Weise wird auch weniger Stickstoff ausgestoßen. Weltweit reduziert der Einsatz der Aminosäuren des Spezialchemieherstellers Evonik den Eintrag reaktiven Stickstoffs in die Umwelt um 900.000 t jährlich. Zum Vergleich: Pro Jahr setzt die Landwirtschaft in Deutschland 2.700.000 t reaktiven Stickstoffs in Form von Dünger ein.

## **2.2. Pilotprojekte Bioökonomie**

Des Weiteren sollen einige erfolgreiche Pilotprojekte vorgestellt werden, die exemplarisch für die Potenziale der Bioökonomie in verschiedenen Wirtschaftsbereichen sind.

### **2.2.1. Künstliche Photosynthese**

Das Spezialchemieunternehmen Evonik und das auf dem Gebiet der Elektronik- und Elektrotechnik aktive Unternehmen Siemens wollen CO<sub>2</sub> mithilfe von Strom aus erneuerbaren Quellen und Bakterien in Spezialchemikalien umwandeln. Hierzu arbeiten die beiden Unternehmen im Forschungsprojekt Rheticus an Elektrolyse- und Fermentationsprozessen zusammen. Das Projekt wurde im Januar 2018 gestartet und hat eine Laufzeit von zwei Jahren. Bis zum Jahr 2021 soll eine erste Versuchsanlage am Evonik-Standort im nordrhein-westfälischen Marl in Betrieb gehen, die Chemikalien wie Butanol oder Hexanol erzeugt – beides Ausgangsstoffe beispielsweise für Spezialkunststoffe oder Nahrungsergänzungsmittel. Im nächsten Schritt könnte eine Anlage mit einer Produktionskapazität von bis zu 20.000 t pro Jahr entstehen.

Denkbar ist auch die Herstellung von anderen Spezialchemikalien oder Treibstoffen. Beteiligt sind rund 20 Wissenschaftler beider Unternehmen.

In die Forschungskooperation bringen Siemens und Evonik jeweils ihre Kernkompetenzen ein. Siemens liefert die Elektrolysetechnik, mit der im ersten Schritt Kohlendioxid und Wasser mit Strom in Wasserstoff und Kohlenmonoxid (CO) umgewandelt werden. Evonik steuert das Fermentationsverfahren bei, also die Verwandlung CO-haltiger Gase zu Wertstoffen durch Stoffwechselprozesse mithilfe spezieller Mikroorganismen. Im Rheticus-Projekt werden beide Schritte – Elektrolyse und Fermentation – aus dem Labormaßstab in einer technischen Versuchsanlage zusammengeführt.

### **2.2.2. Biologische Erzaufbereitung**

Das Bioökonomieunternehmen BRAIN und die im Geschäft mit Cyaniden tätige CyPlus gaben im Juni 2018 bekannt, im Rahmen einer mehrjährigen Kooperation auf dem Gebiet der biologischen Erzaufbereitung zur Gewinnung von Gold und Silber erste Produktangebote für die globale Bergbauindustrie in Marktnähe entwickelt zu haben. Auf Basis erfolgreicher Forschungsarbeiten im Labor bis in den 100 Liter-Maßstab haben die Partner im vergangenen Oktober auch das Scale-Up des Verfahrens in den Tonnenmaßstab realisiert und damit einen wesentlichen Meilenstein für die letzte Stufe zur Erlangung der Marktreife erreicht.

Das biobasierte Verfahren konnte auch bei Volumen im Tonnenmaßstab industrierelevante Ausbeuten der gewünschten Edelmetalle aus Erzen erzielen.

Aktuell wird das Verfahren in Richtung industrieller Anwendung vorangetrieben. Dieser Prozess ist so weit fortgeschritten, dass die Kooperationspartner davon ausgehen, erste Produktangebote bereits 2019 in den Markt einführen zu können.

Die Gewinnung der Edelmetalle aus den Erzen basiert auf dem Einsatz natürlich vorkommender und weiterentwickelter Mikroorganismen aus dem BRAIN BioArchiv, wo etwa 30 000 Mikroorganismen und 350 Millionen Gene von bisher unkultivierten Mikroorganismen lagern.

Im Zuge der laufenden Kooperation haben die Partner schon früh das Ziel erreicht, eine Vielzahl von Mikroorganismen zu identifizieren, die durch hoch-spezifische Adhäsionseffekte dem Edelmetall führenden Mineral eine neue physikalische Eigenschaft verleihen. Unter Ausnutzung dieses Effekts gelingt es, Gold oder Silber von taubem Erz zu trennen und in Aufarbeitungsprozessen integriert anzureichern.

### **2.2.3. Biosteel® - die biotechnische Herstellung von Textilfasern**

Die meisten Sporttextilien bestehen aus synthetischen Fasern, die die Umwelt belasten, da zu ihrer Herstellung nicht-erneuerbare Ressourcen zum einen als Rohstoff und zum anderen für die Erzeugung von Prozesswärme verbraucht werden. Darüber hinaus ist der Abrieb solcher Fasern z. B. aus der Waschmaschine einer der Gründe für die steigende Menge an Mikroplastik in unseren Weltmeeren.

Das Biotechnologie-Unternehmen AMSilk könnte diese Entwicklung radikal verändern. Es hat u. a. einen Weg gefunden, im industriellen Maßstab eine Art künstliche Spinnenseide zu produzieren.

Die naturbasierte und vollständig biologisch abbaubare Hochleistungsfaser namens „Biosteel“ hat Eigenschaften, die sie für viele Anwendungen interessant macht. Die Faser vereint mechanische Performance und gute Hautverträglichkeit mit nachhaltiger Herstellung und ist dabei potenziell das stärkste, bislang verfügbare Naturmaterial.

Ein Anwendungsbeispiel ist die Kooperation mit dem Sportartikelhersteller Adidas. So präsentierte Adidas auf der Biofabricate-Konferenz in New York im November 2016 den weltweit ersten Performance-Schuh aus Biosteel Fasern. Laut Pressemitteilung der Adidas ist dieser ca. 15 % leichter als vergleichbare Schuhe hergestellt aus Synthetikfasern. Daneben arbeitet AMSilk mit zahlreichen anderen Partnern an weiteren Anwendungsbeispielen der Biosteel Faser – nicht nur bei Sportartikeln, sondern auch bei anderen textilen Anwendungen, wie beispielsweise im Automobilbereich.

## **2.3. Forschungsprojekte und Zukunftsfelder in der Bioökonomie**

### **2.3.1. Fräsen mit künstlichen neuronalen Netzen**

In puncto Netzwerke können wir viel vom biologischen Vorbild lernen. Schließlich sind die Neuronen in unserem Nervensystem miteinander verbunden, um so einer bestimmten Funktion zu dienen.

Man spricht daher auch von neuronalen Netzen. In der Informatik, Informationstechnik und Robotik bilden Forscher solche Strukturen in künstlichen Neuronalen Netzen nach, mitunter in abgewandelter Form. Anwenden lassen sich solche neuronalen Netze in zahlreichen Bereichen.

Ein Beispiel aus dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT ist das Fräsen. Bei diesem Bearbeitungsvorgang bündelt sich oft die gesamte Prozessenergie auf einem kleinen Bereich der Werkzeugschneide, das Werkzeug verschleißt daher schnell. Im Forschungsprojekt OptiWear wurde ein künstliches Neuronales Netz entwickelt, das diejenigen Abschnitte der Werkzeugschneide genau analysiert, für die ein besonders hoher Werkzeugverschleiß zu erwarten ist. Das Netz lernt dadurch, den Werkzeugverschleiß beim Fräsen präzise vorherzusagen und die Werkzeugbahnen so anzupassen, dass sich der Verschleiß auf einen großen Bereich der Schneide verteilt.

### **2.3.2. Zellen als biologischer Rohstoff**

Zellen werden im Zentrum der biologischen Transformation stehen. Sie sind der wichtigste Baustein einer Vielzahl biotechnologischer Prozesse, molekularbiologischer Diagnostik und zelltherapeutischer Verfahren. Und sie sind ein nachwachsender Rohstoff.

Forscherinnen und Forscher der Fraunhofer EMB haben eine universelle Plattformtechnologie entwickelt, mit der insbesondere adhärent wachsende Zellen vermehrt werden können. Über 90 % aller Zelltypen sind adhärent wachsend, das heißt sie benötigen zwingend eine Oberfläche, um sich zu vermehren und ihre Funktion zu erfüllen. In dem Fraunhofer-Verfahren werden die Zellen zunächst in einem Hydrogel verkapselt. Haben die Zellen sich so weit vermehrt, dass die Kapsel komplett gefüllt ist, wird das Kapselmaterial aufgelöst und die darin gewachsenen Zellen bzw. die Zellsuspension erneut in Kapseln abgefüllt und dort vermehrt. Mittlerweile ist das Verfahren durch die Fraunhofer EMB patentiert.

Sobald Zellen preiswert und in großen Mengen, bei hohen Dichten erzeugt werden können, eröffnen sich ganz neue Geschäftsfelder und Märkte. Dazu zählen nicht nur die Nahrungsmittelindustrie, sondern auch die Kosmetikindustrie und die Medizin. So lassen sich mit zellbasierten Modellsystemen beispielsweise neue Stoffe charakterisieren und ihre Produktsicherheit gewährleisten. Mithilfe solcher komplexer Zellsysteme ist es unter anderem möglich, auf Patienten zugeschnittene Immun oder Gewebetherapien auf den Weg zu bringen. Diese Modellsysteme helfen dabei, die Zahl der Tierversuche zu reduzieren.

### **2.3.3. Mikroalgen als Biomasse-, Roh- und Wertstoffquelle**

Ihre genügsame Art ist bei Weitem nicht der einzige Vorteil, den Mikroalgen zu bieten haben. Denn man braucht nur wenig in sie »hineinzustecken«, damit sie gute Biomasse-Erträge abwerfen: Mikroalgen produzieren bis zu fünfmal mehr Biomasse als Landpflanzen pro Fläche und Zeit. Zudem brauchen sie keine Felder und Wiesen, um zu wachsen – marine Mikroalgen beispielsweise gedeihen, wie der Name schon sagt, im Meerwasser. Auch ist ihre Ernte nicht an spezifische Jahreszeiten gebunden, sie lassen sich kontinuierlich über das ganze Jahr hinweg kultivieren. Sie sind homogen – es ist also jede Zelle gleich und nicht in Blatt, Stängel und Wurzel differenziert – und frei von Lignozellulose.

Da ein Lignozellulosegehalt mit einem hohen Energieaufwand für den Biomasseaufschluss und die Verarbeitung einhergeht, heißt das: Sie sind leichter extrahierbar. Ein weiterer Vorteil: Für die Kultivierung der Algen können CO<sub>2</sub>-haltige Abgase genutzt werden. Dabei gibt es vielzählige Unterschiede zwischen verschiedenen

Mikroalgen. Die Anzahl an Algenspezies wird auf mehr als 100 000 geschätzt und bietet ein sehr großes Potenzial an unterschiedlichen Inhaltsstoffen wie Carotinoiden, Phytosterolen oder  $\beta$ -Glucanen, die noch dazu um den Faktor zehn höher konzentriert sind als in Landpflanzen. Wie sich die Algenbiomasse zusammensetzt, lässt sich über gezielte Kultivierungsbedingungen steuern. Allen Mikroalgen gemein ist jedoch: Sie enthalten sehr viele Proteine, mehr als 60 % der Trockenmasse. Je nach Kulturbedingungen können aber auch Lipide bis zu 60 % des Zelltrockengewichts ausmachen. Werden die Bedingungen so eingestellt, dass die Algen nur mäßig wachsen, produzieren viele von ihnen zudem Öl oder Kohlenhydrate als Speicherstoffe. Auch Wertstoffe wie Vitamine und langkettige, mehrfach ungesättigte Fettsäuren lassen sich aus den Algen extrahieren.

#### **2.3.4. Aquakulturen – Teil einer nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion**

Die Zucht von Fischen in Aquakulturen hat einen rasanten Aufschwung genommen. Prognosen deuten an, dass sich die Menge des weltweit produzierten Fisches zwischen 1980 (4,6 Millionen Tonnen) und 2020 (73,8 Millionen Tonnen) nahezu um den Faktor 20 vervielfachen wird. Sicher ist, bereits heute übersteigt Studien zufolge die Menge des Fisches aus Aquakulturen die weltweit gefangene Menge an Wildfang. Nachhaltiges Wachstum ist allerdings limitiert. Die Verfügbarkeit von Wasser in guter Qualität, die Gesunderhaltung der Fische sowie die Konkurrenz durch alternative Nutzungsformen an optimalen Standorten, ungenügende Investitionen in die Infrastruktur, die Verfügbarkeit von Setzlingen und Futter und andere Herausforderungen schränken das Potenzial ein. Durch die Entwicklung neuer Technologien in der Aquakultur können jedoch zukünftige Märkte bedient werden. Daran arbeitet die Fraunhofer-Einrichtung für Marine Biotechnologie und Zelltechnik EMB in Lübeck.

Aquakulturen werden heutzutage hauptsächlich in offenen Gewässern betrieben, zum Beispiel in offenen Netzkäfigen im Meer. Das limitiert die Standortwahl. Außerdem entweichen Abwässer und chemische Verschmutzungen – wie Ausscheidungen, Futter und Medikamente – unkontrolliert aus der Anlage und machen die Fische anfällig für Parasiten. Hier kommen landbasierte Anlagen ins Spiel, in denen geschlossene Wasserkreisläufe zur Zucht der Organismen genutzt werden und lediglich 5 bis 10 % des Prozesswassers pro Tag durch Frischwasser ersetzt werden müssen. Diese Anlagen erlauben zudem eine kontrollierte Aufzucht des Fisches ohne den Einfluss schädlicher Substanzen. Solange sie mit Wasser versorgt werden können, sind diese Aquakulturen standortunabhängig und können zum Beispiel auch in der Nähe von großen Städten betrieben werden. Darüber hinaus sind sie einfacher zu schützen als offene Anlagen oder Netzkäfige im Meer. Nach dem Vorbild in der Natur werden derzeit ökologische Alternativen für die Zucht von Fischen und anderen aquatischen Organismen entwickelt, die Kreisläufe und Nebenstoffströme nutzen und mit erhöhter Effizienz arbeiten – etwa indem Fische, Algen und Muscheln gemeinsam gehalten werden. Die Aufrechterhaltung eines solchen, sehr stark vereinfachten Ökosystems bringt zahlreiche Herausforderungen mit sich, die bisher noch unzureichend untersucht sind.

Dem Fraunhofer EMB steht die größte Forschungsanlage für landbasierte multifunktionale Aquakulturen in Deutschland zur Verfügung. Hier werden Fragen zu Stoffströmen, zur Kombination verschiedenster Organismen für die optimale Nutzung der verfügbaren Ressourcen, zu neuen Mess-, Steuer- und Regeltechniken,



zu Sonden und anderen Technologien gelöst. Ein weiteres wichtiges Forschungsfeld in der Aquakultur ist das Tierwohl. Bei aquatischen Organismen steht die Wissenschaft noch am Anfang, da bisher selbst die Messung des Stresspegels der Tiere durch geeignete Indikatoren problematisch ist. Die zuvor genannten Forschungsbeispiele bilden nur einen kleinen Teil der Themen ab, die zu einer optimierten, ökologisch und ökonomisch langfristig verträglichen Entwicklung der Aquakultur als wichtigen Teil einer zukünftigen weltweiten Ernährungssicherung beitragen werden. Zukünftig werden sich in der Aquakultur eigene Industriezweige entwickeln, die sich mit Fischzucht, Fischgesundheit, Anlagenentwicklung und -bau sowie Futtermittelentwicklung beschäftigen.

### 2.3.5. Biologisch-technische Schnittstellen

Elektronische Bauteile, die sich vollständig auflösen, sobald sie ihre Arbeit getan haben. Was klingt wie Science-Fiction, ist in den Laboren bereits Realität: Man spricht dabei von »biodegradierbarer Elektronik«. Diese verringert nicht nur den ökologischen Fußabdruck, sondern eröffnet auch neuartige Anwendungen – etwa im Bereich von Implantaten, aber auch in der Biotechnologie oder der Lebensmittelindustrie. Forscherinnen und Forscher der Fraunhofer-Institute FEP, ENAS, IBMT, ISC und der Projektgruppe Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie des Fraunhofer ISC entwickeln im Fraunhofer-internen Projekt »bioElektron« wesentliche Komponenten für solche zukünftig im Körper abbaubaren elektronischen Bauteile. Dazu gehören Leiterbahnen, Elektrodenkontakte für elektrische Signalableitung oder Stimulation, Dünnschichttransistoren und Schaltungen sowie Barrierschichten als Wasser- und Gasbarriere und elektrische Isolationsschichten – allesamt bioabbaubar, versteht sich.

### 2.3.6. Anwendung in der Pflanzenzüchtung

Der Einsatz moderner Technologien und Anwendungen, wie *genome-editing*-Methoden gewinnt aufgrund der damit verbundenen Zeit- und Kostenersparnis gegenüber konventionellen Verfahren in der Biotechnologie zunehmend an Bedeutung und eroberte innerhalb kurzer Zeit zahlreiche Anwendungsbereiche in der Biotechnologie und Pflanzenzüchtung.

Beispiele für die Anwendung von *genome-editing* finden sich u. a. bei der Züchtung von Reis, Mais und Gurken:

Rice Blast (Reisbräune) ist die wirtschaftlich bedeutendste Krankheit bei **Reis** und kommt weltweit in allen Anbaugebieten vor. Die Züchtung resistenter Reissorten ist schwierig und dauert lange. Mit CRISPR/Cas zeichnet sich eine Alternative zum Einsatz chemischer Fungizide ab. An der Chinesischen Akademie der Wissenschaften ist es gelungen, ein bestimmtes Gen „herunterzuregulieren“ und so die Immunabwehr der Pflanzen zu verbessern. Im Labor zeigten sich die editierten Reispflanzen deutlich widerstandsfähiger gegen Rice Blast. Wenn das Konzept tatsächlich funktioniert, könnten Blast-Resistenzen in etablierte Reissorten eingeführt werden - schnell, direkt und ohne langwierige Kreuzungsschritte.

Ein bestimmtes Protein (ARGOS8) senkt bei **Mais** die Empfindlichkeit der Zellen gegenüber dem Wachstumshormon Ethylen. Produziert die Pflanze mehr ARGOS8-Protein, reagiert sie bei Stress robuster und stellt nicht, wie sonst bei Wassermangel, das Wachstum ein. Mit der CRISPR/Cas-Methode gelang es, den



Schalter (Promotor) des ARGOS8-Gens so umzuschreiben, dass es unter Stressbedingungen aktiv bleibt und der so editierte Mais dann bessere Erträge liefert. Das Unternehmen DuPont-Pioneer plant eine Markteinführung in den nächsten Jahren - gut möglich, dass er in den USA nicht unter die Gentechnik-Regulierung fällt.

Viele Pflanzenkrankheiten werden durch Viren ausgelöst. Da die Züchtung widerstandsfähiger Sorten häufig schwierig ist, werden die Überträger – meist Insekten – meist mit viel Chemie bekämpft. Auch hier eröffnen sich mit CRISPR/Cas neue Möglichkeiten: Bestimmte Oberflächenproteine können zum Beispiel so verändert werden, dass die Viren nicht mehr in die Zellen eindringen und sie so für die eigene Vermehrung kapern können. Einem Team am Volcani Center in Israel ist es so gelungen, **Gurken** mit einer breiten Resistenz gegen verschiedene Viren zu entwickeln. Abgesehen von einigen frühen Projekten mit herkömmlicher Gentechnik sind es die ersten virusresistenten Gurken überhaupt.

Vor dem Hintergrund der Rechtsprechung wird sich zeigen, wie sich diese modernen Züchtungsmethoden in Europa durchsetzen werden.

### **2.3.7. Bakterien im Dienste der Gesundheit**

Die Allianz „Good Bacteria and Bioactives in Industry – GOBI“ war 2015 Gewinner der "Innovationsinitiative Industrielle Biotechnologie" des Bundesforschungsministeriums (BMBF). GOBI ist den positiv wirkenden Bakterien und ihren Produkten auf der Spur.

Denn: Bakterien machen nicht nur krank – sehr viele von ihnen fördern die Gesundheit von Mensch und Tier. Die strategische Allianz GOBI untersucht die positiv wirkenden Bakterien und ihre Produkte und entwickelt sie weiter. Die Forscherinnen und Forscher der Allianz bündeln aktuelle Erkenntnisse zu Mikroorganismen und den Wechselbeziehungen zwischen Genen, Stoffwechselprodukten und anderen Kleinstlebewesen, die den Menschen besiedeln. Die Dienste, die Mikroorganismen für ihre Wirte erbringen, sollen gezielt optimiert und zudem in der industriellen Anwendung verbreitert werden. Die drei Teilprojekte haben den Darm, die Atemwege oder die Nahrung im Visier: GOBI-Health Gastrointestinal (GI), GOBI Health Respiratory Tract (RT) und GOBI Feed.

Am Ende sollen marktfähige Produkte stehen – ein Pool an vielfältig einsetzbaren Mikroorganismen, der sowohl Verbrauchern als auch Industriekunden zugänglich sein wird. In einem Wirt könnten die Bakterien dann positiv auf das Immunsystem wirken und unheilvolle Entzündungsprozesse aufhalten (GOBI Health GI) oder etwa neue Therapien bei Atemwegserkrankungen ermöglichen (GOBI Health RT). Anhand eines entwickelten Hühner-Darmsimulationsmodells (GOBI Feed) soll erstmalig die Wirkung funktionaler Futtermittel-Zusätze bewertet werden. Im Fokus steht hier eine optimale Ausnutzung des Futters zur Stärkung der Tiergesundheit.

GOBI ist die sechste Gewinner-Allianz der "Innovationsinitiative industrielle Biotechnologie". Diese Maßnahme hat das BMBF initiiert, um Innovationsprozesse in der industriellen Biotechnologie in Gang zu brin-

gen oder zu beschleunigen. Übergeordnetes Ziel ist eine Biologisierung der Industrie und damit eine nachhaltige Wirtschaftsweise. Die Allianz GOBI ist für eine Dauer von sechs Jahren und mit einem Projektvolumen von bis zu neun Millionen Euro geplant.

### **2.3.8. Verbesserung der Rezepturen prozessierter Lebensmittel**

Die „Natural Life Excellence Network 2020 – NatLifE 2020“ ist die erste strategische Allianz (Start: Februar 2013), die im Rahmen der „Innovationsinitiative industrielle Biotechnologie“ des BMBF gefördert wird. Die Allianz befasst sich u. a. mit den Konsumententrends in den Märkten „Fast- und Convenience Food“ und einer Zunahme von Zivilisationskrankheiten wie Diabetes, Bluthochdruck und Übergewicht.

Im Rahmen der NatLifE 2020 selbst wurde in einer Studie von Dr. Meier und Kollegen<sup>3</sup> eine gesundheitsökonomische Analyse der Reduktion von Risikofaktoren für ernährungsbedingte Krankheiten (d. h. exzessiver Konsum von Inhaltsstoffen wie Fett, Salz und Zucker) durch den Einsatz von bspw. Geschmacksmodulatoren in prozessierten Lebensmitteln für Deutschland erstellt. Obwohl in dieser ersten Studie nur primäre Kosten im Gesundheitssystem und nur drei Risikofaktoren berücksichtigt wurden, kommt das Team auf signifikante Summen (ca. 16 Mrd. Euro) im Sinne eines Einsparpotenzials für das Gesundheitssystem und damit die deutsche Volkswirtschaft.

In einer systematischen Analyse für die Global Burden of Disease (GBD) Studie 2013 hat ein Konsortium von Wissenschaftlern Risikofaktoren zusammengetragen, analysiert und bewertet. Bei den ernährungsassoziierten Risikofaktoren stellen die Forscher für den Zeitraum 1990 bis 2013 teilweise dramatische Entwicklungen fest. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat in ihrem Gesundheitsbericht 2015 (World Health Statistics 2015) darauf hingewiesen, dass Fettleibigkeit eine der größten gesundheitlichen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts ist.

Die strategische Allianz NatLifE 2020 verfolgt daher das gemeinschaftliche Ziel, mithilfe der Biotechnologie eine neue Generation natürlicher Wirkstoffe für die Lebensmittelindustrie zu entwickeln.

Weiter wird daran gearbeitet, die Biotechnologie als Impulsgeber und Ideenmotor für wirtschaftliche und konkurrenzfähige industrielle Prozesse zu etablieren. Es war von Anfang an das erklärte Ziel aller Allianzpartner, bioaktive Substanzen, Wirkstoffformulierungen und ggf. Produkte für die Industrie zur Verfügung zu stellen. Diese Spezialitäten sollen einen deutlich erkennbaren Beitrag zur Verbesserung von Ernährung, Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen leisten. Die Ergebnisse mündeten in (bisher) zwei Produkten am Markt, mehr als 10 Patentanmeldungen, 18 wissenschaftlichen Publikationen, sowie zahlreichen Konferenzbeiträgen.

---

<sup>3</sup> T. Meier in PLoS One vom 9. September 2015 Healthcare Costs Associated with an Adequate Intake of Sugars, Salt and Saturated Fat in Germany: A Health Econometrical Analysis; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135990>

### **2.3.9. FuPol: Maßgeschneiderte Enzyme zur Funktionalisierung verschiedener Polymere**

FuPol steht für "Funktionalisierung von Polymeren". Ziel des Projektes ist es maßgeschneiderte Enzyme zu entwickeln, die zur Funktionalisierung verschiedener Polymere für Anwendungen in den Branchen Bauchemie sowie Waschmittel- und Textilindustrie geeignet sind. Hierzu werden sowohl natürliche als auch synthetische Polymere umweltschonend modifiziert, um sie für den nachhaltigen Industrieinsatz in Produkt- und Verfahrensinnovationen nutzbar zu machen. Die Technologieplattform wird in enger Kooperation von Industriepartnern und akademischen Partnern in vier Teilprojekten erfolgen. Die Schwaneberg-Gruppe im DWI-Leibniz Institut für Interaktive Materialien e. V. ist in allen vier Teilprojekten vertreten und arbeitet sowohl mit Enzymen wie Laccasen, Sulfotransferasen, Esterasen und Cutinasen, als auch mit Ankerpeptiden. Zu den Industriepartnern des Projektes zählen AB Enzymes GmbH, evoxx GmbH, Henkel AG & Co KGaA und Coats GmbH. In Phase 1 waren auch ausländische Partner wie EMPA und Sika Technology AG beteiligt. Neben dem DWI-Leibniz Institut für Interaktive Materialien e. V. sind auch die Universität Leipzig und die Universität Hamburg akademische Partner der FuPol-Allianz. Nachdem die 5-jährige Phase 1 erfolgreich beendet wurde, läuft zurzeit die 2-jährige Phase 2. FuPol wird zum Teil vom BMBF finanziert.

### **2.3.10. CO<sub>2</sub> als Wertstoff**

Um die Ziele des Pariser Klima-Abkommens zu erreichen, wird u. a. intensiv daran geforscht, Kohlenstoffdioxid mit Hilfe von Mikroorganismen in Biomasse oder direkt zu Wertstoffen umzuwandeln.

Gesucht werden Designer-Mikroorganismen, die CO<sub>2</sub> sozusagen als Futter verwenden und dabei wertvolle Grund- oder Zwischenprodukte der chemischen Prozesskette abgeben. Vor allem die Betreiber von Kraftwerken sind hier auf der Suche nach biotechnologischen Lösungen.

Die strategische Allianz ZeroCarbFP ging 2013 über die "Innovationsinitiative Industrielle Biotechnologie" in die Förderung. Diese wurde Anfang 2016 nach einer wissenschaftlichen Zwischenevaluierung bis zum Ende September 2019 verlängert.

Für diese Entwicklungsphase wurden neben den bereits in der Phase 1 aktiven Industrieunternehmen wie z. B. Bioeton Deutschland, BRAIN, Fuchs Schmierstoffe und Südzucker, als neue Industriepartner EMERY Oleochemicals sowie als assoziierter Industriepartner Cronimet Mining AG gewonnen. Gesamtziel und Selbstverständnis der ZeroCarbFP ist es, mit Hilfe der Biotechnologie die industrielle Forschung, Entwicklung und Produktion ‚funktionaler Biomasse‘ durch stoffliche Nutzung kohlenstoffreicher Abfallströme zu etablieren und damit ein zentrales Innovationsthema der Politik, Wirtschaft und Gesellschaft im Sinne der Erhaltung landwirtschaftlicher Anbauflächen für die Produktion von Nahrungsmitteln umzusetzen.

Der Fokus der zurückliegenden drei Jahre lag auf Forschungsarbeiten zur Identifizierung von Enzymen / Biokatalysatoren und Mikroorganismen für die Verwertung und Umwandlung von Abfallströmen zu Wertstoffen. Hierbei wurden auch bereits Verfahrenskonzepte im Labormaßstab evaluiert und erste Synergien im Sinne eines Bioraffineriekonzeptes offenkundig.

Die so identifizierten Bioverfahren sollen nun in den beiden folgenden Abschnitten der ZeroCarbFP, der Entwicklungs- und der Pilotphase, weiter entlang der Wertschöpfungskette entwickelt und zur Marktreife gebracht werden. In der ersten Phase der ZeroCarbFP konnten bisher 4 wissenschaftliche Publikationen, zahlreiche Vorträge auf Fachtagungen, 6 Pressemitteilungen sowie erste Patentanmeldungen (2 + 2 in Planung) erarbeitet werden, welche die Qualität des bisher Erreichten sowohl auf wissenschaftlicher als auch auf wirtschaftlicher Ebene manifestieren. Erste Herstellungsmuster konnten für Anwendungstests generiert und zur Verfügung gestellt werden und runden somit die erfolgreichen Arbeiten der Allianz ab. Die bisher erzielten Resultate der Phase 1 überzeugten die Gutachter ebenso, wie die geplanten Vorhaben in Phase 2. Im Mittelpunkt steht hier die Entwicklung der notwendigen Prozessparameter durch Transfer der initialen Prozesse aus Phase 1 in den Technikums-Maßstab.

### **3. Transformation zur wissensbasierten Bioökonomie als globales Phänomen**

Mittlerweile haben über 40 Länder Strategien entwickelt, die sich auf Bioökonomie-Themen beziehen oder den gesellschaftlichen Wandel zu einer Bioökonomie propagieren, darunter auch Deutschland.

Darin werden meist unterschiedliche Zielsetzungen wie nachhaltiges Wachstum, Schaffung von Arbeitsplätzen oder Bekämpfung des Klimawandels formuliert<sup>4</sup>. Die unterschiedlichen Ansätze sind abhängig von der jeweils vorhandenen Rohstoffbasis, den volkswirtschaftlichen Voraussetzungen und dem Entwicklungsstand. In Ländern mit struktureller Nahrungsmittelknappheit wie z. B. Tansania wird die Bioökonomie primär als Weg zur effektiveren Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln gesehen. Für Länder mit einem großen Biomasseangebot (z. B. Argentinien, Brasilien und Russland) steht die effiziente Rohstoffverwertung im Vordergrund, etwa durch die Etablierung neuer nachhaltiger Biomasse-Wertschöpfungsketten.

In Ländern wie Malaysia, Südafrika oder Indien, die kurz vor oder bereits auf der Schwelle zum Industrieland stehen und die sowohl über viele natürliche Ressourcen, als auch über ein erhebliches Hightech-Potenzial verfügen, wird die effektive technologische Nutzung biologischer Systeme als Mittel zum Sprung über die Schwelle gesehen.

In Ländern, in denen bereits vielfältige und große Industrien beheimatet sind, wird die Bioökonomie angesichts der Verknappung fossiler Rohstoffe als Mittel angesehen, neue erneuerbare Rohstoffquellen zu erschließen. Zu diesen Ländern gehören neben europäischen Industrienationen wie Deutschland auch Japan und die USA.

In den USA nehmen bioökonomische Aktivitäten schon lange auch politisch eine wichtige Rolle ein, um die Abhängigkeit des Landes von externen Lieferungen Dritter auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

Mit der 2012 veröffentlichten Bioökonomie-Strategie<sup>5</sup> soll die Erforschung und Kommerzialisierung biologischer Prozesse zu einem der Haupttreiber der US-Wirtschaft und Innovation ausgebaut werden.

---

<sup>4</sup> Virgin/Morris 2017; Creating sustainable bioeconomies. The bioscience revolution in Europe and Africa.

<sup>5</sup> Release of the US National Bioeconomy Blueprint on April 26 2012; <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2012/04/26/national-bioeconomy-blueprint-released>

Die US-amerikanische Bioökonomie-Strategie beschäftigt sich mit den Auswirkungen, die eine biobasierte Wirtschaft auf die US-Industrie heute und zukünftig haben wird und definiert strategische Handlungsfelder. Die USA setzen vor allem auf die Effekte von Forschung und Entwicklung auf die Wirtschaft. Die Triebkräfte dafür sind das Streben nach einer technologisch führenden Position, Wirtschaftswachstum sowie positive soziale und Umwelteffekte. Mit der Gentechnik, DNA-Sequenzierung und molekularbiologischen Hochdurchsatztechnologien setzen die USA in der Bioökonomie so stark wie keine andere Nation auf den Fortschritt in der Biotechnologie. Mit Hilfe von neuer Forschungsprogramme, regulatorischer Maßnahmen und verbesserter Ausbildungsangebote sollen Forschung und Entwicklung gestärkt und die Translation beschleunigt werden. Zu einem wichtigen Motor zählen auch sogenannte Public-Private-Partnerships, also strategische Allianzen von Wissenschaft und Wirtschaft. Zudem setzt die US-Regierung bereits seit langem auf steuerliche Anreize, um die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im privaten Sektor zu fördern. Ein wichtiges Instrument hierfür ist die steuerliche Absetzbarkeit der hierfür eingesetzten Kosten. So wurde ein erstes Tax Credit-Programm bereits 1981 eingeführt.

Lohnenswert ist auch der Blick nach China, wo der Bedarf an Energie im Zuge der raschen Industrialisierung und dem Anstieg der Lebensqualität stark angestiegen ist. Mit dem 13. Fünf-Jahres-Plan strebt die Regierung technologischen Fortschritt, besseren Umweltschutz und steigenden Wohlstand in der Bevölkerung an. Um dies zu erreichen, soll die Innovationsfreundlichkeit verbessert, der Unternehmergeist gefördert und institutionelle Hürden, die den Technologietransfer erschweren, abgebaut werden. Konkret werden Biokraftstoffe, biobasierte Materialien, mehr Kreislaufwirtschaft in den Städten sowie eine Stärkung der blauen Bioökonomie in China als wichtige Themen hervorgehoben.

Einen stärkeren Einfluss der Biotechnologie wünschen sich die chinesischen Planer in der Landwirtschaft, Biomedizin, Bioinformatik und Bioenergie. Biobasierte Produkte und Dienstleistungen sollen im großen Maßstab gefördert, Gen- und Zelldatenbanken aufgebaut und die Forschung in der Agrobiotechnologie intensiviert werden. China zielt darauf ab, Marktführer in der Entwicklung moderner biotechnologischer Prozesse zu werden und ist schon jetzt ein wichtiger Mitspieler in der bio-basierten Chemie. In den nächsten Jahren plant das Land, die Enzymproduktion weiter auszubauen. Dabei gibt es viele Kooperationsmöglichkeiten zwischen Deutschland und China in der industriellen Biotechnologie und Bioökonomie. So tauscht sich etwa das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM) in Halle mit SARI und dem chinesischen Chemie-Konzern Huayi zu einer alternativen Rohstoffversorgung außerhalb der fossilen Vorkommnisse aus.

#### **4. Handlungsempfehlungen für die Entwicklung der Bioökonomie in Deutschland**

Vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Veränderungen besteht auch für Deutschland die unbedingte Notwendigkeit, die Bioökonomie als weiteres Standbein der Industrie auszubauen und seine Wirtschaft durch Weiterentwicklungen von der Biologie zur Innovation zukunftsfähig zu machen.

Durch die Steigerung der Wertschöpfungspotenziale durch die Bioökonomie trägt die Bundesrepublik Deutschland wesentlich zu den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen (UN *Sustainable Development Goals*, SDGs) bei.

Zudem ist Deutschland mit der Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie von 2010 und der Nationalen Politikstrategie Bioökonomie von 2013 einer der industriestrategischen Vorreiter für das globale Thema Bioökonomie. Gleichwohl droht Deutschland auf diesem zentralen Zukunftsfeld im internationalen Vergleich den Anschluss zu verlieren. So beweisen Länder wie die USA bei der Umsetzung wissenschaftlicher Ergebnisse mehr Mut. In Deutschland müssen die Chancen einer biobasierten Wirtschaft dagegen konsequenter ergriffen werden.

Hierzu fordert BIO Deutschland folgende Maßnahmen:

- die **Einführung von Rahmenbedingungen, die nachhaltigen Produkten und Prozessen den Markteintritt und die Etablierung ermöglichen**. Dies könnte z. B. durch Gutschriften für Produzenten über einen vorbestimmten Zeitraum erfolgen. Die geforderten Rahmenbedingungen müssen verlässlich sein. Nur so kann Planungssicherheit gewährleistet werden. Dies ist besonders für kleine und mittlere Unternehmen essentiell.
- ein **klares Bekenntnis der Politik zur zentralen Bedeutung der Biotechnologie bei der Umsetzung der Bioökonomie-Strategien**

Die Politikstrategie und die Nationale Forschungsstrategie Bioökonomie sowie die neue Hightech-Strategie der Bundesregierung nehmen die Biotechnologie als Schlüsseltechnologie für den Transformationsprozess auf.

Dennoch lässt sich der Trend beobachten, dass Nachhaltigkeit mittlerweile ganz wesentlich mit dem Begriff Biomasse in Verbindung gebracht wird und immer seltener mit technologischen bzw. biotechnologischen Lösungen. CO<sub>2</sub>-Neutralität und Biologisierung der Wirtschaft kann aber nur mit Hilfe der Biotechnologie gelingen.

- zur **Förderung fortschrittlicher Biokraftstoffe** bedarf es einer schnellen Umsetzung der neugefassten Richtlinie für Erneuerbare Energien (RED II) in nationales Recht verbunden mit ambitionierten Zielsetzungen zur Erhöhung des Biokraftstoffverbrauchs<sup>6</sup>. Zusätzlich die **Anrechnung von fortschrittlichen Biokraftstoffen und strombasierten Kraftstoffen** auf die CO<sub>2</sub>-Flottenregulierung (PKW, N1 und LKW) als ergänzende Option.

Dadurch können die hohen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der Automobilwirtschaft zum Hochlauf der erneuerbaren Kraftstoffe genutzt werden wie in einem BDI-Positionspapier zum Thema<sup>7</sup> beschrieben.

---

<sup>6</sup> Nach Berechnungen aus dem BMWi von Juli 2018 entspricht eine Verdopplung des Biokraftstoffverbrauchs bis 2030 etwa einer zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Einsparung von 7 bis 8 Mio. Tonnen.

<sup>7</sup> <https://bdi.eu/publikation/news/rahmenbedingungen-fuer-die-e-fuels-technologien/>



- die **Unterstützung von Öffentlichkeitsarbeit und des Dialogs mit der Gesellschaft zur Stärkung gesellschaftlicher Akzeptanz**. Die Vorteile einer industriellen Bioökonomie gegenüber einer fossil-basierten Wirtschaft müssen ebenso klar benannt werden wie mögliche Risiken. Die Kommunikation muss transparent sein, damit der Verbraucher weiß, was er kauft und nicht in die Irre geführt wird.
- den **Ausbau etablierter und bewährter öffentlicher Programme sowie die Formulierung weiterer Zukunftsprogramme zur Förderung von jungen Unternehmen in der Gründungsphase sowie Unternehmen in späteren Wachstumsphasen**. Aufgrund des häufig hohen Kapitalbedarfs von kleinen und mittleren Unternehmen der industriellen Biotechnologie sind diese ganz besonders auf projektspezifische Förderprogramme und programmatische Förderung, beispielsweise durch Gründerfonds für Unternehmen, angewiesen. Unternehmen in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium hingegen brauchen häufig Unterstützung bei der Realisierung ihrer Programm-Ideen.

Dabei ist häufig ein Bau einer Pilot-Anlage ein Schritt, der für ein solches Unternehmen allein nicht zu bewältigen ist. Ein Partizipieren an dem finanziellen Risiko durch das BMWi bei der Durchschreitung des „Valley of Death“ wäre ein interessanter und zu begrüßender Lösungsvorschlag. Die öffentliche Förderung ist eine ganz wesentliche Säule in der Innovationsfinanzierung für nachhaltige Technologien, Prozesse und Produkte und sollte dringend ausgebaut werden.

- **Auf europäischer Ebene** ist eine Initiative für eine gemeinsame EU-Bioökonomiepolitik erforderlich, die die komparativen Stärken der EU-Mitglieder zum Tragen bringt und diese damit international wettbewerbsfähiger macht. Sie kann aufbauen auf einer reformierten gemeinsamen EU-Agrarpolitik, einer Weiterentwicklung der EU-Bioökonomiestrategie und dem nächsten EU-Rahmenprogramm für Forschung und Entwicklung. Die Bundesregierung sollte sich außerdem für die Weiterführung des europäischen *Bio-Based Industries Consortium* (BBI) bei einer gleichzeitigen Beibehaltung des bisherigen Budgets einsetzen. Diese europäischen Prozesse sind für die deutsche Bioökonomie von zentraler Bedeutung und deren Ausgestaltung muss aktiv begleitet werden.