



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft



# Bioökonomie in Deutschland

Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Bundesministerium  
für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Bioökonomie  
Hannoversche Straße 28–30  
10115 Berlin  
[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)

Bundesministerium  
für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)  
Wilhelmstraße 54  
10117 Berlin  
[www.bmel.de](http://www.bmel.de)

### **Bestellungen**

Schriftlich an den Herausgeber  
Postfach 30 02 35  
53182 Bonn

Tel.: 01805 - 262 302  
Fax: 01805 - 262 303  
(Festnetzpreis 14 ct/Min., höchstens 42 ct/Min. aus  
Mobilfunknetzen)

E-Mail: [books@bmbf.bund.de](mailto:books@bmbf.bund.de)  
Internet: [www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)

### **Redaktion & Illustrationen**

BIOCOM AG  
Sandra Wirsching  
Dr. Philipp Graf  
Dr. Bernd Kaltwaßer  
Benjamin Stolzenberg (Illustrationen)  
Benjamin Röbig (Grafik & Layout)

### **Stand**

Mai 2014, 3. Auflage (unveränderter Nachdruck)

### **Gestaltung**

Oliver-Sven Reblin

### **Titelbilder**

© Smileus/Fotolia.com (Wald); Markus Breig (KIT)

### **Druckerei**

MKL Druck GmbH & Co. KG  
Diese Broschüre besteht zu 100% aus Altpapier und wurde mit  
Leinöl-Farben bedruckt.

**Bonn, Berlin 2014**

**Weitere Informationen finden Sie im Internet unter**

[www.biooekonomie.de](http://www.biooekonomie.de)  
[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)  
[www.bmel.de](http://www.bmel.de)

# Bioökonomie in Deutschland

**Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft**



# Inhalt

1. Bioökonomie – eine Einführung .....	2
2. Bioökonomie im Alltag .....	12
Einführung .....	12
Automobilbranche .....	14
Bau .....	18
Chemie .....	24
Energie .....	32
Land- und Forstwirtschaft .....	38
Maschinenbau .....	48
Ernährungsindustrie .....	54
Pharma .....	60
Konsumgüter .....	66
Textilien .....	70
3. Die Rohstoffquellen der Bioökonomie .....	76
4. Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie .....	82
5. Die biobasierte Produktion – ein Überblick .....	88
6. Ausblick – Bioökonomie im gesellschaftlichen Dialog .....	94
Glossar .....	98
Übersicht über Fördermaßnahmen .....	100

# Bioökonomie – eine Einführung

Mit Blick auf knappe fossile Rohstoffe, Klimawandel und wachsende Weltbevölkerung sind nachhaltige und ressourceneffiziente Strategien gefragt, um langfristig den Wohlstand moderner Gesellschaften zu garantieren. Die Bioökonomie bietet die Chance, Wirtschaftswachstum im Einklang mit Natur- und Umweltschutz zu erreichen. Der Technologie- und Forschungsstandort Deutschland hat sich an die Spitze dieser Bewegung gesetzt.

**W**er allein die statistischen Kennziffern der großen Industrienationen betrachtet, der könnte optimistisch in die Zukunft schauen: Nie haben so viele Menschen vom modernen, industriellen Fortschritt profitiert, nie gab es eine so große weltumspannende Mobilität, nie standen so viele ausgetüftelte Technologien zur Verfügung. Doch der über die vergangenen zweihundert Jahre erarbeitete industrielle Wohlstand basiert zu großen Teilen auf der Nutzung fossiler Rohstoffe. Kohle, Erdöl und Erdgas haben Deutschland und den anderen Industrieländern einen historisch beispiellosen Aufschwung ermöglicht. Ohne fossile Rohstoffe wäre die industrielle Revolution nicht so erfolgreich geworden.

Auch heute sind sie ein fester Bestandteil der industriellen Wirtschaftsweise. Sie waren die Grundlage für einen kontinuierlichen technologischen Fortschritt und haben dazu beigetragen, dass sich Deutschland zu einer der stärksten Wirtschaftsnationen der Welt entwickeln konnte. Heutzutage sind viele

Produkte des alltäglichen Bedarfs erdölbasiert, für die chemische Industrie und ihre Abnehmer stellt Erdöl die wichtigste Rohstoff- und Energiequelle dar.

### Weltwirtschaft im Wandel

Doch stößt die aktuelle Wirtschaftsweise zunehmend an ihre Grenzen. Die wirtschaftlichen Abhängigkeiten zwischen Ländern mit großen Rohstoffreserven und Ländern, die nicht über solche Vorkommen verfügen, haben in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen und immer wieder zu politischen Spannungen geführt. Die Nutzung fossiler Rohstoffe wie Erdöl, Kohle und Gas stellt zudem eine erhebliche Belastung für Klima und Umwelt dar. Unter Experten ist unstrittig, dass die derzeitige Wirtschaftsweise und unsere Konsummuster für einen großen Teil der Treibhausgas-Emissionen und damit für aktuelle, globale Klimaprobleme verantwortlich sind. Wenn innerhalb der nächsten Jahre erhebliche Anstrengungen unternommen und entscheidende Veränderungen vorgenommen werden, gebe es noch Chancen, die Erderwärmung in den Griff zu bekommen, so die aktuelle Einschätzung des Weltklimarates. Der Handlungsbedarf ist auch mitten in Europa spürbar. Denn längst sind nicht

mehr nur ferne Inseln oder Meere betroffen. Seit Beginn der Wetteraufzeichnung 1881 ist es in Deutschland im Mittel um 1,2 Grad wärmer geworden.

Aber nicht nur die klimatischen Bedingungen werden zu einer Herausforderung. Auch die Weltbevölkerung steigt stark an. Allein im Jahr 2013 ist die Gesamtzahl der Menschen auf der Welt so stark gewachsen wie Deutschland insgesamt Einwohner hat. Für das Jahr 2050 werden mehr als neun Milliarden Menschen auf der Erde erwartet. Eine noch ungelöste Frage wird sein: Wie lassen sich neun Milliarden Menschen ernähren, ohne weiteren Raubbau an der Natur zu betreiben?

Der mittlerweile auch in vielen Schwellenländern wachsende Wohlstand führt zudem zu einer steigenden, weltweiten Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen, etwa nach Energie, Infrastrukturen und Leistungen der Gesundheitsversorgung. Die Welt des 21. Jahrhunderts steht

vor einer zentralen Herausforderung: Wie kann eine Weltwirtschaft nachhaltig wachsen? Wie lassen sich Ökonomie und Ökologie verbinden?

Einen wesentlichen Beitrag zur Lösung dieser Fragen kann die Bioökonomie leisten. Sie verknüpft Ökonomie und Ökologie auf intelligente Art und Weise und ermöglicht damit biobasiertes und nachhaltiges Wirtschaftswachstum. Die Bioökonomie ist die wissensbasierte

**Die Welt des 21. Jahrhunderts steht vor einer zentralen Herausforderung: Wie kann eine Weltwirtschaft nachhaltig wachsen? Wie lassen sich Ökonomie und Ökologie verbinden?**





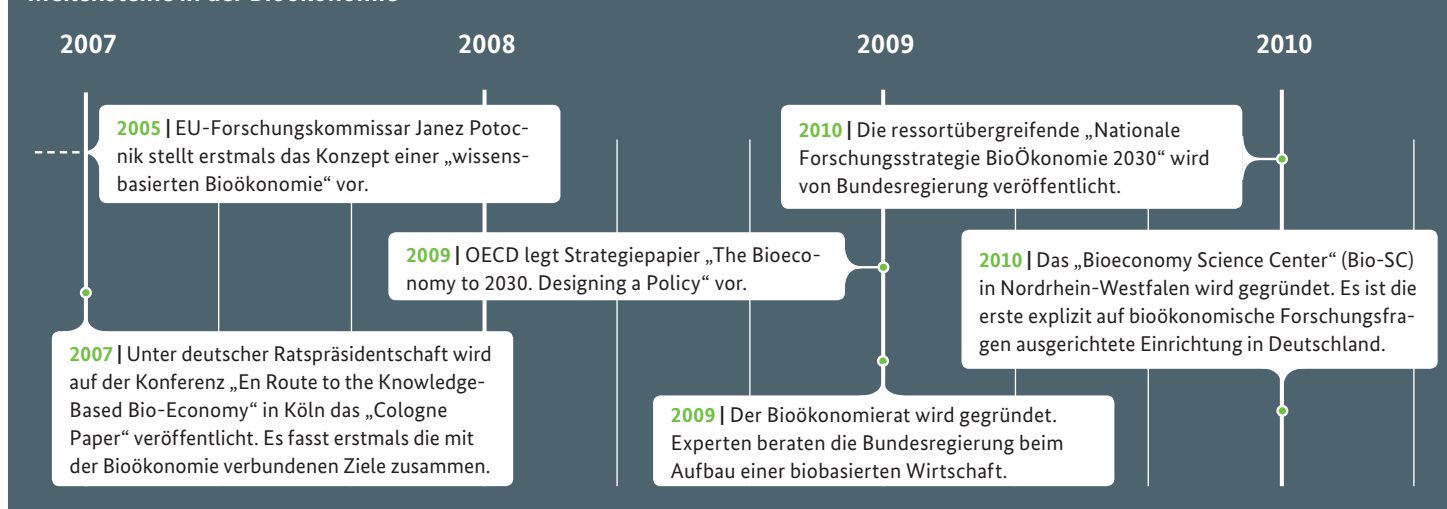
© viperagp/fotolia.com

Erzeugung und Nutzung nachwachsender Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen. Um nachhaltiges Wirtschaftswachstum zu erreichen, greift die Bioökonomie zwei wesentliche Prinzipien auf: Sie setzt auf nachhaltig erzeugte, nachwachsende Rohstoffe und auf biobasierte Innovationen. Bereits seit der industriellen Revolution haben Innovationen in den Natur- und Technikwissenschaften einen entscheidenden Beitrag für Wohlstand und Wachstum geleistet. Vor allem rohstoffarme Länder wie Deutschland sind darauf angewiesen, vorhandenes Wissen und Exzellenz für erneuerbare Rohstoffe, für neue Produkte und Dienstleistungen, für innovationsgetriebenes Wirtschaftswachstum zu nutzen.

### Gefragt: Nachhaltiges Wirtschaftswachstum

Nun gilt es, die Innovations- und Investitionskraft auch für den erforderlichen Wandel des Wirtschaftssystems in Richtung Nachhaltigkeit zu nutzen und Lösungen für die eingangs beschriebenen Herausforderungen zu finden. Die enormen Produktivitätsgewinne der vergangenen zwei Jahrhunderte sowie der Großteil der bisherigen Technologieentwicklung basierten auf der leichten Verfügbarkeit fossiler Rohstoffe. Ein ebenso großer Einfluss wird nun durch den Wissensfortschritt in den Lebenswissenschaften erwartet. Hier haben neue Erkenntnisse in den letzten Jahrzehnten das Verständnis biologischer Prozesse zum Teil vollständig revolutioniert und zur Entwicklung von Hightech-Werkzeugen geführt, die für

### Meilensteine in der Bioökonomie



eine nachhaltige Weiterentwicklung der Wirtschaft ein enormes Potential bergen (vgl. Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie). Ein technisch machbarer und zugleich ressourceneffizienter, biobasierter Strukturwandel innerhalb der Industrie ist damit nicht nur denkbar, sondern auch wirtschaftlich umsetzbar. Gerade mit Blick auf Alternativen zu fossilen Rohstoffen, aber auch hinsichtlich der Nutzung nachwachsender Ressourcen in der industriellen Prozesstechnik eröffnen sich heutzutage gänzlich neue Wege für eine biobasierte Produktion.

Die Bioökonomie liefert den gesamtgesellschaftlichen Rahmen, um ein biobasiertes und zugleich nachhaltiges Wachstum zu sichern. Denn für den nötigen gesamtgesellschaftlichen Strukturwandel in der Industrie werden Lösungen benötigt, die Wirtschaftswachstum mit globaler Verantwortung für Welternährung, Umwelt-, Klima- und Tierschutz verbinden und eine ganzheitliche Perspektive erlauben. Es ist daher nicht damit getan, die Rohstoffbasis von fossil auf nachwachsend umzustellen und Biomasse für industrielle Anwendungen zu nutzen. Es reicht auch nicht, das biologische Wissen durch einzelne Innovationen in die vorhandene Prozesstechnik zu integrieren. Um die Herausforderungen einer Weltwirtschaft im 21. Jahr-

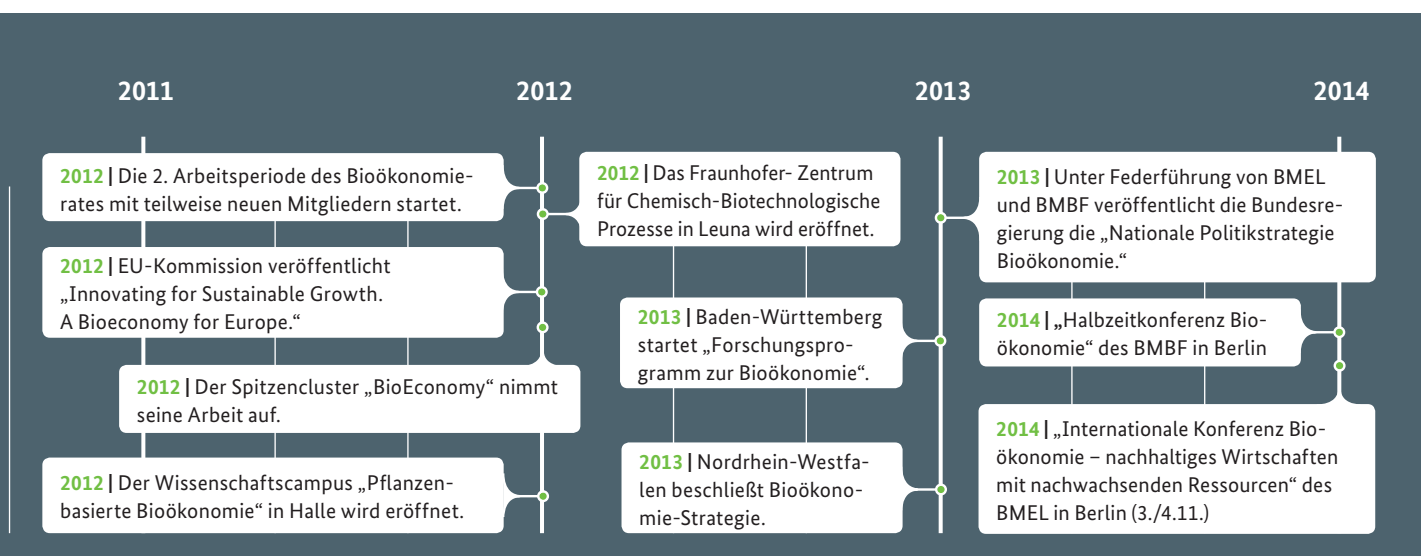
hundert zu meistern, muss ein gesamtgesellschaftlicher Strukturwandel gelingen, der ökonomisches Wachstum und ökologische Verträglichkeit miteinander verknüpft. Die Wirtschaft muss wachsenden Anforderungen an die Art, wie produziert wird, Rechnung tragen und Aspekte des Umwelt-, Klima-, Natur- und Tierschutzes ebenso berücksichtigen wie die Einhaltung sozialer Standards.

Ein solch umfassender Transformationsprozess ist im Rahmen der Bioökonomie möglich: Sie setzt sowohl auf nachwachsende Rohstoffe als auch auf biobasierte Prozesslösungen, die auf die ganze Bandbreite nachwachsender Ressourcen bis hin zu Mikroorganismen, Zellen sowie einzelnen biologischen Bestandteile zurückgreifen (vgl. Rohstoffquellen der Bioökonomie). Leitprinzip der Bioökonomie ist der Aufbau einer Kreislaufwirtschaft, die im

Sinne von Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit eine bestmögliche Verwertung sowie Mehrfachnutzung von Rohstoffen und Stoffströmen – auch sektorenübergreifend – ermöglicht (vgl. Die biobasierte Produktion).

Verstanden in diesem Sinne führt die Bioökonomie als ganzheitlicher Ansatz Wirtschaftswachstum und Nachhaltigkeit zusammen. Die Bioökonomie bietet die

„Bioökonomie ist die wissensbasierte Erzeugung und Nutzung nachwachsender Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen.“



## Erste Halbzeit: Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030

Die Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie wurde unter Federführung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gemeinsam mit sechs weiteren Ministerien im Jahr 2010 aufgelegt. Sie stellt bis 2016 insgesamt 2,4 Mrd. Euro für Forschung und Entwicklung (F&E) zur Verfügung. Inhaltlich hat die Strategie fünf zentrale Handlungsfelder formuliert:

- 1) Weltweite Ernährung sichern
- 2) Gesunde und sichere Lebensmittel produzieren
- 3) Agrarproduktion nachhaltig gestalten
- 4) Nachwachsende Rohstoffe industriell nutzen
- 5) Energieträger auf Basis von Biomasse ausbauen

Zugleich wurden wichtige Leitprinzipien aufgestellt – zum Beispiel: Die Ernährungssicherung genießt stets Vorrang vor anderen Nutzungen von Biomasse. Durch intelligente Verknüpfung von Wertschöpfungsketten sollen Konkurrenzen der verschiedenen Biomasse-Nutzungswege entschärft werden, z. B. durch Koppel- und Kaskadennutzung. Eine ressourcen-, natur- und klimaschonende, tiergerechte sowie ethisch akzeptable Produktion muss auch für die Bioökonomie der Bewertungsmaßstab sein.

Unter dem Dach der Forschungsstrategie wurden von den beteiligten Ministerien in den ersten drei Jahren der Laufzeit vielfältige Förderinstrumente eingesetzt und Maßnahmen angestoßen. Wesentliche Bemühungen des BMBF richteten sich insbesondere darauf, neue Forschungsimpulse für mehr Nachhaltigkeit im Agrarsektor zu setzen: So wurde z. B. der Schutz und Erhalt des Bodens als eine der wichtigsten Ressourcen für die Landwirtschaft in den Fokus einer Förderinitiative gerückt, des Weiteren bildet die Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der Industrie einen Förderschwerpunkt innerhalb der Forschungsstrategie. Auch neue, klimaverträgliche und klimaangepasste Forschungs- und Entwicklungsansätze für Produktivitätssteigerungen in der Pflanzenzucht sowie nachhaltige Strategien in der Lebensmittelproduktion werden verfolgt. Zudem ist der Aspekt der globalen Verantwortung stärker adressiert und gezielt in Forschungsk Kooperationen mit Entwick-

lungs- und Schwellenländern vorangetrieben worden. Zusammen mit den Aktivitäten des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) trägt hiesiges Know-how damit langfristig dazu bei, auch international eine nachhaltige Landwirtschaft aufzubauen. Ein weiterer wichtiger Baustein innerhalb der Nationalen Forschungsstrategie ist die Unterstützung von Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen der Wirtschaft, insbesondere von kleinen und mittleren Unternehmen (vgl. Kasten S. 10). Zugleich wurden neue Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette initiiert, die dazu beitragen, dass nachwachsende Rohstoffe sowie ressourceneffiziente Konzepte in industriellen Produktionsprozessen stärker berücksichtigt werden.

Hier ergänzen sich die Aktivitäten des BMBF mit Förderprogrammen des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), das die Weiterentwicklung neuer Ansätze zur industriellen Nutzung von Biomasse ebenfalls mit mehreren Förderinitiativen unterstützt. Die meisten Aktivitäten konzentrieren sich dabei auf die nachhaltige Weiterentwicklung von Landwirtschaft und Nutztierhaltung, aber auch von Forstwirtschaft und Fischerei. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette werden zudem Innovationen in den Bereichen Ernährung und Landwirtschaft vorangetrieben – sowohl mit Blick auf den ökologischen Landbau, den Erhalt biologischer Ressourcen, aber auch hinsichtlich Effizienzsteigerungen von Pflanzen- und Tierzüchtung sowie neuer Modelle zu Mehrfachnutzungen landwirtschaftlicher Biomasse. Ein weiterer Aspekt der Innovationsförderung unter dem Dach der Bioökonomie stellt der Ausbau von Bioenergie-Strategien dar. Die Förderung von Forschungsprojekten zur energetischen Biomassenutzung wird seit der letzten Bundestagswahl vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) wahrgenommen. Ergänzt werden diese Aktivitäten durch Fördermaßnahmen des BMEL, die eine Optimierung von Prozessen und Verfahren zur Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus Biomasse zum Ziel haben.

Mehr Infos: [www.biooekonomie.de](http://www.biooekonomie.de)

Chance, innovationsgetriebene, biobasierte Lösungsansätze für aktuelle und zukünftige Herausforderungen zu entwickeln. Aufgrund der breiten Verfügbarkeit biologischer Ressourcen ist die Umsetzung einer modernen Bioökonomie zudem nicht allein auf Industrienationen beschränkt. Sie bietet prinzipiell allen Staaten eine Teilhabe – über heutige Wohlstands- und Systemgrenzen hinweg. Die Bioökonomie ist ein Konzept, das sowohl Forschungs-, Industrie- und Energiepolitik als auch Agrar-, Forst- und Fischereipolitik, Klima- und Umweltpolitik sowie Entwicklungspolitik umfasst.

### Meilensteine für die Bioökonomie in Deutschland

Deutschland nimmt bei der Bioökonomie eine internationale Spitzenstellung ein. Als eines der ersten Länder hat Deutschland Ende 2010 eine auf sechs Jahre angelegte, ressortübergreifende „Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ veröffentlicht und damit hierzulande erstmals konkrete Weichen für einen biobasierten Wandel von Industrie und Gesellschaft gestellt. Die Strategie wurde unter Federführung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gemeinsam mit sechs weiteren Ministerien erarbeitet und stellt bis 2016 insgesamt 2,4 Mrd. Euro an Mitteln für Forschung und Entwicklung (F&E) zur Verfügung (siehe Kasten links). Mit Hilfe der in den ersten drei Jahren der Nationalen Forschungsstrategie ergriffenen Maßnahmen ist es gelungen, Konzepte zur Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit für die Industrie voranzutreiben und die mit der Bioökonomie verbundenen Chancen für den gesellschaftlichen sowie wirtschaftlichen Wandel zu nutzen.

Mit der im Sommer 2013 vom Bundeskabinett beschlossenen „Nationalen Politikstrategie Bioökonomie“ hat die Bundesregierung einen weiteren Meilenstein für eine biobasierte, nachhaltige Wirtschaft gelegt. Die unter Federführung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) erstellte, aber ressortübergreifend wirksame Strategie hat sich zum Ziel gesetzt, eine kohärente Politikgestaltung zu ermöglichen (siehe Kasten S. 8). Entsprechende Regierungsaktivitäten werden im Rahmen einer seit 2013 aufgebauten, interministeriellen Arbeitsgruppe Bioökonomie abgestimmt und vorangetrieben. Bei der konkreten Ausgestaltung der Nationalen Forschungsstrategie



sowie der Politikstrategie wurde die Bundesregierung durch den Bioökonomierat beraten. Das im Jahr 2009 eingesetzte Gremium befindet sich derzeit in seiner zweiten Arbeitsperiode und ist mit Experten aus diversen Fachdisziplinen in Wissenschaft und Wirtschaft besetzt, erarbeitet Empfehlungen zur Weiterentwicklung künftiger Forschungsschwerpunkte und setzt sich für den zivilgesellschaftlichen Dialog mit allen gesellschaftlichen Akteursgruppen ein (vgl. Bioökonomie im gesellschaftlichen Dialog).

### Bioökonomie auf Landesebene

Nicht zuletzt dank der breiten bundespolitischen Unterstützung ist die Bioökonomie inzwischen auch von einzelnen Bundesländern als Thema der Forschungsförderung aufgegriffen worden.

#### Nordrhein-Westfalen:

Im Juli 2013 hat Nordrhein-Westfalen eine eigene Bioökonomie-Strategie beschlossen. Das Land setzt hierbei auf eine ressortübergreifende Vernetzung und eine intensive Einbeziehung der Geistes- und Gesellschaftswissenschaften zur Entwicklung „guter Standards“ für die Bioökonomie. Damit flankiert es unter anderem den Aufbau des interdisziplinär aufgestellten „Bioeconomy Science Center“ (BioSC), an dem die Universitäten in Aachen, Bonn und Düsseldorf sowie das Forschungszentrum Jülich beteiligt sind. Weitere inhaltliche

## Politikstrategie Bioökonomie

Im Sommer 2013 hat das Bundeskabinett die nationale Politikstrategie Bioökonomie beschlossen. Darin beschreibt die Bundesregierung Ziele, strategische Ansätze und Maßnahmen, um die Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotentiale im Rahmen eines nachhaltigen Wirtschaftens zu nutzen und den Strukturwandel hin zu einer biobasierten Wirtschaft zu unterstützen. Die unter Federführung des BMEL erstellte, ressortübergreifend wirksame Strategie hat sich eine kohärente Politik zum Ziel gesetzt. Für alle Politikfelder wurden Handlungsempfehlungen erarbeitet, die für eine international wettbewerbsfähige, nachhaltige Bioökonomie relevant sind. Dabei wurden nicht nur Maßnahmen für die Forschungs- und Innovationspolitik formuliert, sondern explizit auch für die Industrie-, Energie- und Agrarpolitik, für die Klima- und Umweltpolitik sowie für die Entwicklungspolitik. Entsprechende Regierungsaktivitäten werden im Rahmen einer 2013 konstituierten, interministeriellen Arbeitsgruppe Bioökonomie abgestimmt und vorangetrieben. Die Politikstrategie Bioökonomie baut auf der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung auf. Sie ist eng verzahnt mit der 2010 beschlossenen „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“.

Schwerpunkte der nordrhein-westfälischen Landesregierung richten sich auf die Weiterentwicklung von Biopolymeren und funktionalisierten Oberflächen, von Bioraffinerien sowie von Biopharmazeutika, Diagnostika und Medizintechnik.

### Baden-Württemberg:

Im Juli 2013 wurde das „Forschungsprogramm Bioökonomie Baden-Württemberg“ gestartet. Es basiert auf Empfehlungen von Wissenschaftlern des Strategiekreises Bioökonomie, der 2012 vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK) des Landes Baden-Württemberg einberufen worden ist. Ziel des Programmes ist es, standortübergreifende und transdisziplinäre Kooperationen zu stärken, um das in der Region vorhandene Potential – etwa an den Hochschulstandorten Hohenheim, Karlsruhe und

Stuttgart – besser zu vernetzen. Über eine Laufzeit von fünf Jahren sollen Schwerpunktinvestitionen im Bereich Biogas, lignocellulosehaltiger Biomasse sowie Mikroalgen erfolgen.

### Norddeutschland

In den stark agrarbasierten Bundesländern in Norddeutschland gibt es zwar keine expliziten Bioökonomie-Strategien der Landesregierungen. Nichtsdestotrotz haben sich auf regionaler Ebene relevante Netzwerke gebildet. Im Weser-Emsland wurde ein Strategie-Rat Bioökonomie/Agrarsystemtechnik etabliert, das Deutsche Institut für Lebensmitteltechnik und die Hochschule Osnabrück haben ein Center of Applied Bioeconomy (CAB) gegründet. Die Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern hat eine Potentialanalyse Bioökonomie gestartet und die Landesregierung Schleswig-Holstein plant Schwerpunkte in der marinen Biotechnologie sowie beim Aufbau innovativer Aquakulturen.

### Mitteldeutschland

Am geschichtsträchtigen Chemiestandort Leuna hat die Fraunhofer-Gesellschaft ein Bioraffinerie-Forschungszentrum für „Chemisch-Biotechnologische Prozesse“ (CBP) etabliert, das im Oktober 2012 von Bundeskanzlerin Merkel eingeweiht wurde (vgl. Biobasierte Produktion). Bioraffinerien sollen künftig aus pflanzlicher Biomasse eine breite Palette chemischer Grundstoffe sowie Energie gewinnen – vergleichbar mit den heutigen Erdöl-Raffinerien. Die meisten Bioraffinerie-Konzepte befinden sich noch im Stadium von Forschung und Entwicklung. Das CBP fokussiert sich auf die Überführung der Forschung vom Labor- in den Pilotmaßstab (*Up-Scaling*). Dafür hält das CBP auf 2.000 m<sup>2</sup> mehrere Technikums- und Pilotanlagen bereit, die von Kooperationspartnern aus Wirtschaft und Wissenschaft genutzt werden können. Für den Aufbau des CBP haben das Land Sachsen-Anhalt sowie die drei Bundesministerien für Forschung, Landwirtschaft und Umwelt insgesamt rund 50 Millionen Euro bereitgestellt. Seit 2012 erhält die Region über die Förderung des Spitzenclusters BioEconomy vom BMBF weitere Mittel für den Ausbau des Bioökonomie-Standort Mitteldeutschland. Wichtige akademische Impulse für den Bioökonomie-Standort Mitteldeutschland liefert zudem der „Wissenschaftscampus Pflanzenbasierte Bioökonomie Halle“, an dem die vor Ort ansässigen Leibniz-Institute sowie die

## Überblick der Forschungslandschaft zur Bioökonomie in Deutschland



Die Forschungslandschaft zur Bioökonomie in Deutschland ist breit aufgestellt: An insgesamt 60 Universitäten und 37 Fachhochschulen gibt es entsprechende Aktivitäten. Hinzu kommen die 61 außeruniversitären Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, der Max-Planck-Gesellschaft, der Leibniz-Gemeinschaft und Helmholtz-

Gemeinschaft sowie die 17 Einrichtungen der Ressortforschung. Die Forschungsaktivitäten in der Bioökonomie sind nicht auf eine Fachdisziplin beschränkt. Sie umfassen u. a. die Agrarwissenschaften, die Lebenswissenschaften, den Maschinen- und Anlagenbau sowie zu Teilen die Sozialwissenschaften.

### KMU im Fokus der Förderung

Um Bioökonomie-Ansätze in möglichst vielen industriellen Sektoren zur Anwendung zu bringen, unterstützt die Bundesregierung gezielt Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen in der Wirtschaft. Ein besonderer Fokus liegt bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), da diese zu den innovativen Wachstumstreibern gehören. Mit Hilfe maßgeschneiderter Fördermaßnahmen auf nationaler und europäischer Ebene konnten unter dem Dach der Nationalen Forschungsstrategie erfolgversprechende Bioökonomie-Projekte auf den Weg gebracht werden, die erhebliche private Investitionen mobilisiert haben.

Außerdem wurde 2011 die „Innovationsinitiative industrielle Biotechnologie“ angestoßen, um strategische Allianzen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu bilden. Diese arbeiten nun mit öffentlicher Förderung daran, dass nachwachsende Rohstoffe sowie ressourceneffiziente Konzepte stärker im Kontext verschiedener industrieller Produktionsprozesse Berücksichtigung finden. Bislang wurden fünf solcher strategischen Allianzen für eine Förderung ausgewählt, von denen drei durch ein KMU koordiniert werden.

[www.biooekonomie.de/innovationsinitiative](http://www.biooekonomie.de/innovationsinitiative)

Universität Halle-Wittenberg interdisziplinär zusammenarbeiten. Mittlerweile hat die Bioökonomie auch Eingang in die Leitmarkt-Strategie des Landes Sachsen-Anhalt gefunden.

#### Bayern

Auch in Bayern werden Bioökonomie-Ansätze immer mehr in den Blick genommen, etwa unter dem Dach des ChemieClusters Bayern. In diesem Rahmen fördert die bayerische Landesregierung Produkt- und Prozessinnovationen für neue, in der Regel internationale Märkte. Hierzu stellt das Clustermanagement nicht nur branchenübergreifende Verbünde zusammen, sondern koordiniert ebenso die Einwerbung von Drittmitteln, übernimmt die Fortschrittskontrolle im Projekt

und leistet projektbegleitende Transferdienste. Einen zentralen Akteur der Bioökonomie stellt der Spezialchemiekonzern Clariant dar. Dieser hat in Straubing eine Demonstrationsanlage zur Verwertung von Stroh zu Biotreibstoff aufgebaut (vgl. Energie).

#### Hessen

Die hessische Landesregierung unterstützt mit Mitteln der hessischen Landesoffensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz (LOEWE) unter anderem ein Zentrum für Synthetische Mikrobiologie (SYNMIKRO), das gemeinsam von der Philipps-Universität und dem Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie in Marburg betrieben wird. Darüber hinaus gibt es von Seiten der Landesregierung Förderschwerpunkte in der Biotechnologie und Umwelttechnologie.

### Breit aufgestellte Forschungslandschaft

Länderübergreifend aktiv sind zudem die großen Forschungsorganisationen wie die Fraunhofer-Gesellschaft, die Helmholtz-Gemeinschaft, die Max-Planck-Gesellschaft und die Leibniz-Gemeinschaft. Welchen Stellenwert sie der Weiterentwicklung einer biobasierten Wirtschaft beimessen, zeigt sich auch an ihrer Beteiligung am „Strategieprozess Biotechnologie 2020+“. Gemeinsam mit dem BMBF wurde dieser im Jahr 2010 angestoßen, um Visionen für eine biobasierte Produktion der Zukunft zu entwickeln. Inzwischen haben die Forschungsorganisationen großangelegte Strukturprojekte gestartet, an denen jeweils Institute aus den Lebens- und Ingenieurwissenschaften beteiligt sind. Diese und andere Netzwerke zeigen, dass es in der Bioökonomie vor allem darauf ankommt, möglichst viele relevante Erfahrungen unter einem Dach zu versammeln. Insbesondere Natur- und Technikwissenschaften müssen zusammengeführt werden, aber auch die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften spielen zunehmend eine Rolle. Einen Überblick über die Forschungsaktivitäten in Deutschland gibt die Karte auf S. 9.

### Von Deutschland nach Europa in die Welt

Der Ausbau der Bioökonomie steht aber nicht nur auf der nationalen Agenda. Mit der 2012 beschlossenen Strategie „Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for

Europe“ und einem Aktionsplan unterstützt die Europäische Union die rohstoffeffiziente und wettbewerbsfähige, biobasierte Wirtschaft. Im Jahr 2013 wurde ein Public-Private-Partnership (PPP) namens „Biobased-Industries“ (BBI) auf den Weg gebracht, das von der EU-Kommission und zahlreichen Vertretern europäischer Firmen getragen wird. Insgesamt 3,7 Mrd. Euro – darunter knapp 1 Mrd. Euro von der Europäischen Kommission – sollen in den kommenden sieben Jahren für Forschungsprojekte und Demonstrationsanlagen zur Verfügung stehen. Beteiligt sind rund 140 Partner aus ganz Europa, darunter auch Konzerne, kleine und mittlere Unternehmen sowie Cluster und Verbände aus Deutschland. Ziel ist es, vor allem Wertschöpfungsketten abseits der traditionellen Wege zu knüpfen. Dazu zählen zum Beispiel neue Verwertungskonzepte für Holz, Getreide, organischen Abfall sowie die mehrfache Nutzung von Biomasse für Bioenergie und Feinchemikalien.

### Bioökonomie im Alltag

Dass es auch aus industrieller Sicht einen Handlungsbedarf gibt, zeigen die vielfältigen Bioökonomie-Ansätze, die bereits heute existieren und die auf zum Teil traditionelle Verfahren aufbauen können. Denn der Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der Industrie ist kein prinzipiell neuer Gedanke. Ob für Ernährung, für Kleidung oder für die Gesundheit – viele nachwachsende Rohstoffe haben Eingang in Produkte und wirtschaftliche Prozesse gefunden. Manche dieser Verfahren sind schon mehrere Jahrhunderte alt – etwa in der Bier- oder Käseherstellung. Andere haben sich erst im Zuge des molekularbiologischen Fortschritts in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt – wie die Produktion neuartiger Krebsmedikamente mit Bakterien oder Zellen in der Pharma-Industrie. Und wieder andere wurden erst in jüngster Zeit entwickelt – wie Verfahren zur Herstellung von Biokunststoffen. In jedem Fall ist biobasiertes Wirtschaften nicht auf einen industriellen Sektor begrenzt. Der Wert biologischer Ressourcen ist in vielen Bereichen der Industrie erkannt, die Biologisierung von Produkten, Verfahren und Prozessen jeglicher Art nimmt zu und ist inzwischen auch im Alltag jedes Einzelnen präsent (vgl. Bioökonomie im Alltag). Vor diesem Hintergrund ist die Bioökonomie ein Wirtschaftsfaktor und wird künftig an Bedeutung gewinnen.

### Bioökonomie weltweit



© marcel/fotolia.com

Weltweit ist die Bioökonomie auf dem Vormarsch. Eine Vielzahl von Staaten hat inzwischen Bioökonomie-Strategien verabschiedet. Dazu zählen die USA, Kanada und Russland sowie Großbritannien, Finnland und Schweden, aber auch Brasilien, Argentinien und Südafrika. Die Bioökonomie wird hier ähnlich wie in Deutschland als vielversprechendes Konzept zur Erneuerung der Wirtschaft und als wichtige Säule der Innovationspolitik betrachtet. Je nach technologischer Stärke oder Verfügbarkeit von biologischen Rohstoffen werden unterschiedliche Schwerpunkte in den Bereichen Innovation, Bioenergie o. ä. gesetzt. Um die in Europa vorhandenen Aktivitäten besser zu vernetzen, wird der Bioökonomie im Rahmen des achten EU-Forschungsrahmenprogramms „Horizont 2020“ eine Priorität eingeräumt.

[www.biooekonomie.de/weltweit](http://www.biooekonomie.de/weltweit)

Allerdings stehen viele Ideen noch am Anfang ihrer wirtschaftlichen Verwirklichung. Eine Reihe von Pilot- und Demonstrationsanlagen zeigt zwar, dass eine intelligente Koppel- und Kaskadennutzung von biologischen Ressourcen sowie von Rest- und Abfallstoffen machbar ist. Nun gilt es, diese Anlagen in die breite, industrielle Anwendung zu überführen und das Prinzip der Bio-raffinerie als Basis für die industrielle Produktion der Zukunft umzusetzen. Welche Herausforderungen hier im Detail bestehen, haben BMBF und BMEL im Jahr 2012 in der „Roadmap Bioraffinerien“ zusammengefasst – ein Überblick der wichtigsten Technologien und ihre Wege zur Realisierung bei der stofflichen und energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen.



# Bioökonomie im Alltag – vom Erdöl zur biobasierten Wirtschaft

Fossile Rohstoffe waren der Motor für die Industrialisierung und sind noch heute eine wichtige Ressource. Doch nicht zuletzt dank des technologischen Fortschritts wird vermehrt nach Alternativen gesucht. Über alle Wirtschaftssektoren hinweg gibt es Strategien für eine nachhaltige und biobasierte Wirtschaftsweise. Die Bioökonomie tritt damit Schritt für Schritt in den Alltag eines jeden von uns ein.

**W**ie lässt sich eine biobasierte und nachhaltige Wirtschaftsweise erreichen? Welche Herausforderungen gibt es, und wo existieren bereits vielversprechende Ansätze? In diesem Kapitel werden die wichtigsten Branchen für den Standort Deutschland kurz in ihrer Gesamtheit anhand von aktuell verfügbaren Unternehmenszahlen, Mitarbeitern und Umsatz beschrieben. Zugleich werden Bioökonomie-relevante

Entwicklungen erläutert und – sofern vorhanden – mit Daten und Fakten belegt. Anhand unterschiedlichster Beispiele biobasierter Produkte und Verfahren wird klar: Die Bioökonomie ist bereits in unserem Alltag angekommen.

- ⚙ Anzahl der Unternehmen
- 👤 Anzahl der Mitarbeiter
- € Gesamtumsatz in Mrd. Euro

### AUTOMOBILBRANCHE



⚙ 17   👤 756.000   € 362 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

Naturfaserverstärkte Karosserieteile, Biokunststoff-basierte Innenverkleidung und Autositze, Löwenzahn-basierter Reifen

### MASCHINENBAU



⚙ 6.227   👤 978.000   € 207 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

Bioreaktoren, Bioprozesstechnik, Landtechnik und Landmaschinen, Gewächshaustechnik, Bioschmierstoffe

### BAU



⚙ 317.300   👤 1.900.000   € 172 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

Holzbau, naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe, Dämmstoffe, Biodübel, biobasierter Betonzusatz

### ERNÄHRUNGSINDUSTRIE



⚙ 6.000   👤 555.000   € 170 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

Enzyme, Aromen und Aminosäuren, natürliche Lebensmittelzusätze, Probiotika, Lebensmittel aus Lupinenprotein

### CHEMIE



⚙ 2.121   👤 434.312   € 186 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

Biokunststoffe, biobasierte Plattformchemikalien

### PHARMA



⚙ 923   👤 135.773   € 41,4 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

Biopharmazeutika, Arzneipflanzen

### ENERGIE



⚙ 923   👤 220.157   € 466 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

Holzpelletheizungen, Biogas, Biodiesel, Bioethanol, Synthesekraftstoffe, Algenkerosin

### KONSUMGÜTER



⚙ k.A.   👤 k.A.   € 203 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

Biobasierte Tenside, bioaktive Inhaltsstoffe für Kosmetik, enzymbasierte Reinigungszusätze

### LAND-/FORSTWIRTSCHAFT



⚙ 285.000   👤 1.000.000   € 32 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

Präzisionslandwirtschaft, Pflanzen- und Tierzüchtung, Kurzumtriebsplantagen, Aquakultur

### TEXTILIEN/BEKLEIDUNG



⚙ 1.300   👤 111.313   € 11,33 Mrd. Euro

#### Beispiele aus der Bioökonomie:

natürliche Rohstoffe für synthetische Fasern, Hightech-Fasern aus Spinnenseide, pflanzliche Gerbstoffe

# Automobilbranche

## DATEN & FAKTEN

Unternehmen	17
Mitarbeiter	756.000
Umsatz	362 Mrd. Euro

**Beispiele aus der Bioökonomie:**  
Naturfaserverstärkte Karosserieteile,  
Innenverkleidung aus Biokunststoff

© VDA 2013 (nur Hersteller)



**Ohne Automobil wäre die heutige Mobilität kaum vorstellbar. Mit Blick auf den Klimawandel sind zunehmend nachhaltige Mobilitätskonzepte gefragt: Die Automobilwirtschaft ist einer der größten Verwerter von Biokunststoffen und ist auch sonst zunehmend offen für biobasierte Materialien.**

Das Automobil ist aus dem Leben eines durchschnittlichen Deutschen nicht mehr wegzudenken. Heute legt eine Person in Deutschland täglich durchschnittlich 11,7 Kilometer zurück. Für 55% aller Distanzen wird das Auto genutzt. 78% der Haushalte verfügen über mindestens ein Auto, und 80% der volljährigen Bevölkerung besitzen einen Führerschein. Dies schlägt sich auch in den statistischen Kennziffern der Automobilwirtschaft wider. Nach Angaben des Verbandes der Automobilindustrie (VDA) gehört der Sektor zu den wichtigsten Standbeinen der hiesigen Wirtschaft. Mit einem Umsatz von 362 Mrd. Euro steht er für 3,9% des deutschen Bruttoinlandsprodukts. Gut ein Drittel der Forschungs- und Entwicklungskapazitäten in Deutschland fließen direkt oder indirekt in die Autobranche. Sie ist die forschungsintensivste Branche Deutschlands – im Jahr 2013 wurden 18 Mrd. Euro in den Sektor investiert. Insgesamt 840.000 Menschen sind bei Herstellern und Zulieferern beschäftigt.

### Herausforderung Nachhaltigkeit

Die Kehrseite der Mobilität ist ebenfalls in Zahlen messbar: 20% des gesamten Treibhausgasausstoßes gehen auf das Auto zurück. Versiegelte Flächen durch den Straßenbau bedecken knapp über 2% der Fläche Deutschlands. Lärm, Feinstaubbelastung, zerschnittene Landschaften und Milliarden Euro an Ausgaben für den Erhalt und Ausbau der Infrastruktur stehen ebenfalls zu Buche. Mehr als die Hälfte des weltweiten Erdölverbrauchs geht zudem auf den Verkehrssektor zurück. Erdöl wird hier nicht nur in Form von Benzin, Diesel oder Schmierstoff gebraucht, sondern auch als Ausgangsstoff für viele Autoteile benutzt – angefangen vom Autolack über weite Teile des Interieurs, elektronische Bauteile bis hin zu Displays. Der Anteil von Plastik, Kunstfasern und Schaumstoffen aus Erdöl in unseren Autos ist seit den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts stetig gewachsen, als private

Personenkraftwagen die Straßen eroberten und zum Massengut wurden. Heute gehen etwa 10% der Kunststoffe, die jährlich in Deutschland produziert werden, in die Automobilindustrie. Dies liegt vor allem daran, dass diese Materialien leicht, gut formbar sind und eine gute Wärme- und Geräuschkämmung aufweisen. Aber auch Hybridteile, die aus Metall und Kunststoff zusammengesetzt sind, kommen zum Einsatz. Einige Kunststoffe sind sogar so robust, dass sie als Ersatz für Metall dienen.

### Nachwachsende Rohstoffbasis für Materialien

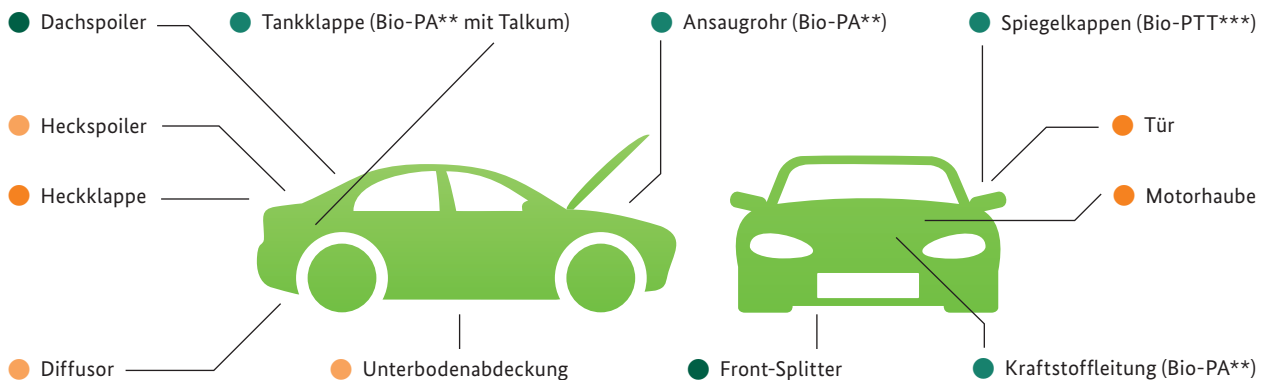
Das Thema Nachhaltigkeit gewinnt auch in der Automobilindustrie zunehmend an Bedeutung. Der Verbraucher fragt nach spritsparenden Modellen, der Gesetzgeber verlangt einen geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Diese Anforderungen haben vor allem dazu geführt, dass innovative Materialien in den Fokus der Hersteller gerückt sind. Im Rückenwind der zunehmenden Verwendung von Plastik im Automobil-Leichtbau können sich auch biobasierte

#### Autoteile aus heimischen Naturfasern



Biobasierte Autoteile aus Naturfasern wie Flachs stehen bei Automobilherstellern aufgrund ihres geringen Gewichts hoch im Kurs. Hierzu hat auch der vom BMEL seit 2009 geförderte Verbund FENAFa beigetragen. Das Kürzel steht für „Ganzheitliche Bereitstellungs-, Verarbeitungs- und Fertigungsstrategien von Naturfaserrohstoffen“. Das Projekt hat zum Ziel, Anlagen und Verfahren zur Weiterentwicklung von technischen, hierzulande heimischen Naturfasern zu optimieren. Die Aufgabenstellung erstreckt sich von der Verbesserung der Erntetechnologie bis hin zur Produktentwicklung, um neue Anwendungsbereiche zu erschließen. Beteiligt sind vor allem kleine und mittlere Unternehmen.

## Übersicht über Biowerkstoffbauteile im Bioconcept-Car



### Heute

- Biobasierter Duroplast\* mit Leinenfaser
- Biobasierter Duroplast\* mit Leinenfaser
- Biobasierter Duroplast\* mit Leinenfaser
- Biobasierter Thermoplast

### Früher

- Stahlblech
- Petrobasierter Duroplast mit Carbonfaser
- Petrobasierter Thermoplast
- Petrobasierter Thermoplast

\*Epoxidharz, mittels Vakuumsackverfahren

\*\* PA = Polyamid

\*\*\* PTT = Polytrimethylterephthalat

Quelle: IfBB

Kunststoffe und Biohybridmaterialien wie naturfaser-verstärkte Verbundmaterialien immer besser am Markt plazieren. So werden derzeit etwa 90.000 Tonnen Wood-Plastic-Composites im europäischen Automobilsektor abgesetzt. Von einer steigenden Nachfrage an biobasierten Materialien profitieren auch kleine Unternehmen

wie die Tecnaro GmbH. Gefördert vom BMBF hat die Firma ein Verfahren entwickelt, um Reststoffe aus der Zellstoffherstellung als Basis für thermoplastische Werkstoffe zu nutzen.

Streng genommen handelt es sich beim Einsatz von Biomaterialien um keinen ganz neuen Trend. Bereits Henry Ford verbaute schon im Jahr 1915 in seinem legendären T-Modell eine Starterbox aus dem Weizeneiweiß Gluten, verstärkt mit Asbestfasern. In den 1920er Jahren konstruierte er Autoprototypen mit Karosserieteilen aus Hanffasern und Sojamehl. Der Werkstoff war so stabil, dass Henry Ford zu Werbezwecken mit einer Axt auf einen Kofferraumdeckel einschlug – ohne ihn dadurch zerstören zu können. Höhepunkt der Entwicklung war schließlich ein Prototyp, dessen Karosserie vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen bestand. Seit 2008 kommen biobasierte Werkstoffe beim Ford Mustang zum Einsatz, wenn auch in weit geringerem Ausmaß. Gerade einmal fünf Gewichtsprozent des Mustangs entfallen auf den Biokunststoff. Er besteht aus einem Polyurethan-Schaum, dessen Grundstoffe zu 40% aus Soja stammen. Weitere Autohersteller wie Toyota und Hyundai setzen ebenfalls auf Biokunststoff. Daimler Benz hat eine Motorabdeckung



in der Serienproduktion der A-Klasse, die zu 70% aus pflanzlichen Rohstoffen besteht. Eine Herausforderung beim Einsatz von Biokunststoffen im Automobilbau liegt in ihrer Verarbeitungsfähigkeit. Entsprechend fließen viele Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in die Frage, wie bestehende Spritzgussverfahren für die Herstellung von biobasierten Autoteilen angepasst werden können. Dies passiert unter anderem an der Hochschule Hannover im Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe (IfBB), das mit allen großen Automobilherstellern und Firmen entlang der Wertschöpfungskette zusammenarbeitet, um biobasierte Materialien sowie deren industrielle Produktion den Weg zu bereiten.

Gefördert vom BMEL wird am IfBB auch das sogenannte Bioconcept-Car entwickelt: Es handelt sich um einen Rennwagen des Reutlinger Rennsportteams Four Motors GmbH, zu dem unter anderem Sänger Smudo von den Fantastischen Vier gehört. Im Rahmen des Projekts werden Bioverbundwerkstoffe mit einem Anteil nachwachsender Rohstoffe von 30 bis 70% sowie Biokunststoffteile als Karosserie- und Interieurbauteil entwickelt, hergestellt und montiert. Vor und nach dem Einsatz im Rennwagen untersucht das IfBB die Bio-Bauteile im Labor. Dazu werden sie zwischen den Rennen und am Ende der Saison ausgebaut und dann ausgiebig und zerstörungsfrei geprüft (siehe Abbildung links).

### Reifen aus Löwenzahn

Doch nicht nur Karosserie und Innenausstattung werden zunehmend biologisiert, auch bei der Gummiherstellung für Autoreifen wird nach Alternativen gesucht. Bisher wird hierfür der Kautschuk des subtropischen Gummibaumes importiert. Dabei bietet sich mit dem russischen Löwenzahn *Taraxacum kok-saghyz* eine Pflanze an, die sich auch hierzulande anbauen lässt. Die Kautschuk-Gewinnung aus der Pustebumenwurzel ist deutlich wetterunabhängiger möglich und eröffnet aufgrund ihrer agrarischen Anspruchslosigkeit ganz neue Potentiale – insbesondere für brachliegende Anbauflächen. Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projekts wurde an der Universität Münster daran geforscht, wie die Eigenschaften des Wildkrauts *Taraxacum kok-saghyz* den Anforderungen der Massenzucht angepasst werden können. Zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME in Aachen sowie dem Reifenhersteller Continental wird derzeit in Münster eine Pilotanlage gebaut, um Löwenzahn-Kautschuk im Industrie-Maßstab herzustellen. Bereits in wenigen Jahren wollen die Forscher die daraus produzierten Autoreifen auf die Straßen bringen. Schon jetzt zeigen die Erprobungen der Fraunhofer-Forscher: Die Qualität des neuen Gummis entspricht der des herkömmlichen Materials.

### Überblick über Naturfasern für Interieur-Bauteile in der Automobilindustrie



Quelle: Johnson Controls

# Bau

## DATEN & FAKTEN

Unternehmen	317.300
Mitarbeiter	1,9 Mio.
Umsatz	172 Mrd. Euro

**Beispiele aus der Bioökonomie:**  
Holzbau, naturfaserverstärkte  
Verbundwerkstoffe, Biodübel

© BSR/2012



**Ob als Baumaterial und Werkstoff, zur Dämmung oder beim Innenausbau: Nachwachsende Rohstoffe können mit guten Materialeigenschaften punkten, verbessern die Umweltbilanz und sind oftmals gesundheitsverträglicher. Vor diesem Hintergrund sind Naturbaustoffe nicht nur für Neubauten, sondern auch für die Sanierung zunehmend interessant. Aber auch für konventionelle Produkte der Baubranche – wie Beton oder Asphalt – gibt es inzwischen biobasierte Strategien für mehr Nachhaltigkeit. Ein konstruktiver Beitrag zur Bioökonomie.**

Seitdem Menschen Behausungen bauen, kommen nachwachsende Rohstoffe wie Holz oder Stroh als Werk- und Baustoffe zum Einsatz. Da es auch in der Baubranche immer mehr auf Nachhaltigkeit und Energieeffizienz ankommt, steigt die Akzeptanz biobasierter Materialien wieder. So wird Holz verstärkt im konstruktiven Hausbau eingesetzt. Noch in der Erprobung befinden sich biobasierte Bindemittel. Um die Wertschöpfung der heimischen Land- und Forstwirtschaft zu erhöhen, wird zudem versucht, die Palette an natürlichen Ausgangsstoffen für Baumaterialien zu verbreitern. Neue Wege gibt es auch im Hoch- und Tiefbau – etwa wenn es darum geht, erdölbasierte Verfahren der Bauchemie bei der Herstellung von Beton klimafreundlicher zu gestalten. Damit ist die Baubranche mit ihren rund 300.000 Betrieben und 1,9 Mio. Beschäftigten in Deutschland für den Aufbau der Bioökonomie von großer Bedeutung.

### Holzbau auf dem Vormarsch

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes haben Baumaterialien aus Holz im Jahr 2011 einen Produktionswert von rund 14 Mrd. Euro erreicht. Bei Holz, das gesägt und gehobelt wird, dem sogenannten Schnittholz, und bei den Holzwerkstoffen belief sich dieser Wert jeweils auf rund 4 Mrd. Euro. Beim Schnittholz machen Nadelhölzer aufgrund ihrer überlegenen Holzeigenschaften den Löwenanteil aus, 2011 waren es 21,6 Mio. Kubikmeter Nadel Schnittholz. Für die Produktion von Holzwerkstoffen werden Holzspäne miteinander verleimt und in Form von Platten gepresst. Spanplatten, das wichtigste Produkt der Holzwerkstoffindustrie, erreich-

ten 2011 einen Produktionswert von 1,5 Mrd. Euro, rund 5,7 Mio. Kubikmeter wurden hergestellt.

Damit ist Holz der wichtigste nachwachsende Bau- und Werkstoff. Dies liegt an seinen bauphysikalischen Eigenschaften: Es ist nicht nur flexibel, leicht und gut zu bearbeiten, sondern auch tragfähig, druckstabil und in verarbeiteter Form äußerst biegefest. Hinzu kommt der Nachhaltigkeitsaspekt: Holz speichert Kohlenstoff, die Herstellung von Holzprodukten für den Bau kommt mit weniger Energie als herkömmliche Bauprodukte aus und beim Rückbau hinterlassen sie keine Altlasten. Als Bindemittel oder Klebstoffe werden in der Holzindustrie aber noch hauptsächlich auf Erdölbasis gewonnene Chemikalien eingesetzt. Dabei gibt es bereits biobasierte Alternativen, deren Praxistauglichkeit derzeit erprobt wird: Bindemittel auf Weizenprotein- und Kartoffelstärke-, Lignin- oder Tanninbasis. Entsprechende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben stehen im Zentrum eines neuen Förderschwerpunktes, den das BMEL

### Bundeswettbewerb HolzbauPlus



© FNZ/Dörthe Hagenguth

Die Bundesregierung will den Einsatz von Holz im Bereich Bauen und Wohnen nachhaltig steigern. Vorzeigeprojekte in Sachen Holzbau wurden bei dem vom BMEL ausgerichteten Bundeswettbewerb „Holzbau-Plus – Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen“ im Jahr 2013 ausgezeichnet – beworben hatten sich 151 Projekte. Auch 2014 wurde der Wettbewerb wieder ausgelobt. Bewerben können sich private, gewerbliche oder öffentliche Bauherren mit ihren Neubau- und Sanierungsprojekten. Maßgebliche Gebäudeteile sollen aus Holz bestehen.

[www.holzbauplus-wettbewerb.info](http://www.holzbauplus-wettbewerb.info)



© Pollmeier Massivholz GmbH

Auch Laubbäume wie die Buche werden hierzulande in Sägewerken als Schnittholz weiterarbeitet.

im Jahr 2014 aufgelegt hat. Ein Blick auf die bei Neubauten eingesetzten Materialien zeigt: Nachhaltigkeit und Energieeffizienz sind Leitthemen der Baubranche. Der Einsatz von Naturmaterialien nimmt zu, schon 15% der Neubauten in Deutschland sind heutzutage Holzhäuser. Immer öfter wird Holz von Architekten auch als tragendes Gerüst verbaut. Mit dem vom BMEL ausgelobten Bundeswettbewerb HolzbauPlus werden besondere Glanzstücke dieser Bauweise ausgezeichnet (siehe Kasten). In Berlin sind zum Beispiel mehrere fünf- bis siebenstöckige Wohnhäuser ganz aus Holz errichtet worden.

Durch die Möglichkeiten moderner Holztechnologien ist das natürliche Material aus Sicht von Fachleuten zu noch viel Höherem berufen: etwa für den Bau von mehr als 100 Meter hohen Türmen von Windkraftträdern. Die auf Laubhölzer spezialisierte Sägefirma Pollmeier Massivbau aus Thüringen plant für solche Konstruktionen den Einsatz von Baubuche. Für diesen neuartigen Werkstoff wird Holz vom Buchenstamm geschält und dann lagenweise übereinandergeleimt. So entsteht ein Hightech-Material,

das sich für den konstruktiven Holzbau einsetzen lässt. Pollmeier ist Partner im Cluster „BioEconomy“ in Mitteldeutschland, der vom BMBF 2012 im Rahmen des Spitzencluster-Wettbewerbs ausgezeichnet wurde. Das Netzwerk konzentriert sich auf die maximale Wertschöpfung und möglichst vollständige Verwertung von Buchenholz.

### Holz statt Stahl

In modernen Holzwerkstoffen steckt nicht nur Potential, um extreme Höhen zu erreichen: Forscher an der TU Chemnitz erproben in einem vom BMEL geförderten Projekt, ob Holzwerkstoffe tragende Materialien wie Stahl oder Aluminiumstreben in der sogenannten vertikalen Fördertechnik ersetzen können. Fördertechnische Anlagen sind ein wesentlicher Teil industrieller Produktionsprozesse und spielen auch bei Lager- und Materialflusssystemen eine wichtige Rolle. Entsprechend der Beschaffenheit des Fördergutes kommen unterschiedliche Fördersysteme zum Einsatz. Vertikale Systeme sind

vor allem dann erforderlich, wenn es sich um komplexe Produktionssysteme handelt, um bestimmte Güter innerhalb verschiedener Ebenen hin- und herzubewegen.

Auf Holz als Rohstoffquelle setzen zunehmend auch Hersteller von Faserverbundwerkstoffen. In den vergangenen Jahren hat sich dieser Markt rasant entwickelt, mit teilweise zweistelligen Wachstumsraten. Der größte Einsatzbereich naturfaserverstärkter Faserverbundwerkstoffe ist die Automobilbranche (vgl. Automobil), aber auch mit Blick auf das konstruktive Bauen werden Ansätze erprobt (siehe Kasten).

Für mehr Nachhaltigkeit im mehrgeschossigen Hochbau sorgen zudem sogenannte Holz-Anhydrit-Verbundsysteme, die an der Bauhaus-Universität in Weimar entwickelt werden. Anhydrit ist ein in der Natur vorkommendes gipsähnliches Mineral – Calciumsulfat. Im Vergleich zu Beton kann es ohne großen Energieaufwand gewonnen und verarbeitet werden. Der Clou: Die Weimarer Ingenieure tragen einen Estrich aus Anhydrit direkt auf Holzelemente auf. Die entstehenden Kombi-Bauteile sind massiv und bestechen nicht nur durch hohe Tragfähigkeit, sondern schaffen auch ein angenehmes und gesundes Raumklima. In dem vom BMEL geförderten Projekt arbeiten die Forscher mit örtlichen KMU und der Maxit Baustoffwerke GmbH zusammen, die das Mineral in Thüringen abbaut. Damit ist auch für eine regionale Wertschöpfung gesorgt.

### Dämmstoffe und Beläge für den Innenausbau

In einer Ära des energieeffizienten Bauens und Sanierens gewinnen Naturdämmstoffe ebenfalls an Bedeutung – ihre Herstellung braucht weniger Energie und sie haben mit Blick auf die Gesundheit einen positiven Einfluss auf das Wohnklima. Im Sommer dämmen die Naturmaterialien gut gegen Hitze. Sie können zudem große Mengen an Feuchtigkeit aufnehmen und sind vielfach allergikerfreundlich. Schon heute liegt der Marktanteil von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen bei ca. 7%. Aufgrund der Fasereigenschaften werden für die Produktion von Holzfaserdämmstoffen bevorzugt Nadelhölzer eingesetzt. Forschungsbemühungen in der Forstwirtschaft zielen darauf ab, den Rohstoff Nadelholz effizienter einzusetzen (vgl. Land- und Forstwirtschaft). Auch Cellulose aus zerfasertem Altpapier dient als Ausgangsmaterial für Dämmstoffe. Hinzu kommen Hanf, Flachs, Wiesen-

### Biodübel aus Rizinusöl

In der Baubranche sind Kunststoffe vielfach nicht mehr wegzudenken. Schätzungen gehen davon aus, dass im Bereich der Baumaterialien 2011 die Menge an Kunststoff auf der Basis nachwachsender Rohstoffe bei ungefähr 38.400 Tonnen lag. Ein griffiges Beispiel ist der Plastikdübel, eine Erfindung mit der Artur Fischer die Möglichkeiten der Wandbefestigung revolutionierte. Inzwischen bietet das schwäbische Unternehmen mit Sitz in Waldachtal auch biobasierte Dübel im Baumarkt zum Kauf an. Der Biodübel besteht aus dem biobasierten Kunststoff Polyamid, dessen Bausteine zu mehr als 50 Prozent aus Rizinusöl gewonnen werden. Das fertige Kunststoffmaterial nennt sich „Polyamid PA 6.10“, ist zwar etwas teurer in der Herstellung, aber kommt bisher nach Herstellerangaben beim Kunden gut an. Die Basis für den Biodübel lieferte ein Vorgängermodell, das Fischer gemeinsam mit dem Chemiekonzern BASF in einem vom BMBF geförderten Verbundprojekt in der Initiative „Bio-industrie 2021“ entwickelt hatte. Mikroben wurden hierbei so umprogrammiert, dass sie im Bioreaktor den chemischen Baustein Diaminopentan herstellen können. Er lässt sich in weiteren Schritten zu dem Kunststoff Polyamid verarbeiten. In Tests erwiesen sich Biodübel aus diesem Material als ebenso belastungsfähig wie herkömmliche Nylosedübel.



gras und Stroh sowie Schafwolle. Durch Markteinführungsprogramme des BMEL, die inzwischen abgeschlossen sind, wurde der Einsatz der Naturfaserdämmstoffe in Deutschland gezielt vorangetrieben: Insgesamt 17.000 Haus- oder Wohnungseigentümern hatten zwischen 2002 und 2008 von einer Förderung profitiert.

Von der Bundesregierung gefördert wird auch das Wissen um den Einsatz von Naturfarben, deren Marktanteil derzeit bei nur 3% liegt. Dabei können sie viele Vorteile aufweisen: Eine mit Naturölen gepflegte Holzfläche kann weiterhin „atmen“. Eine Wand mit einer Kasein-Naturharz-Farbe gestrichen verbessert das Raumklima. Ein Naturharz-Latex-Kleber gibt keine giftigen Gase ab. Anders als konventionelle chemische Produkte wie Acryl- und Alkyd-Produkte, Reaktionslacke, Nitro- oder

Polyurethanlacke werden Naturfarben aus natürlichen mineralischen und nachwachsenden pflanzlichen Quellen hergestellt und kommen mit weit weniger Lösungsmitteln aus. Unter den mehr als 100 Naturfarben-Produkten zählen Wandfarben, Holzlasuren, Naturharzlacke, Öle und Wachse zu den wichtigsten.

Eine größere, auch kommerzielle Rolle spielen nachwachsende Rohstoffe bei Bodenbelägen. Sie liefern die Basis für Holzfußböden wie Parkett, Dielen oder Laminat, aber auch für Kork- und Sisalböden. Linoleum besteht hauptsächlich aus Leinöl, Kork- und Holzmehl, Kalksteinmehl und Pigmenten sowie einem Jutegeewebe als Trägerschicht. Aktuelle Anstrengungen in der Branche zielen darauf ab, die Nutzung heimischer Hölzer zu steigern. So hat die Timura Holzmanufaktur GmbH aus dem Holzcluster Rottleberode im Südharz – ein zentraler Rohstofflieferant des mitteldeutschen Spitzenclusters „BioEconomy“ – zum Beispiel ein thermisches Verfahren entwickelt, mit dem sich heimische Hölzer so veredeln lassen, dass sie Eigenschaften von Tropenholz aufweisen. Die mit speziellen Heizplatten behandelten Dielen sind haltbarer als herkömmliche Hölzer, geruchsarm und lassen sich in zahlreichen Farbnuancen erzeugen.

### Biobasierte Bauteile für tragende Wände



© Andreas Kromholz

Polymerschäume werden in der Regel für die Wärmedämmung eingesetzt. Doch wenn man sie wie bei einem Sandwich mit robusten Außenschichten kombiniert, eignen sie sich auch zum konstruktiven Bauen. In dem vom BMBF geförderten Verbundprojekt Ligno-Sandwich entwickeln sieben Partner aus Sachsen und Sachsen-Anhalt solche Bauteile aus Komponenten, die aus Buchenholz gewonnen werden. Die Decklagen des Sandwich-Konstrukts bestehen aus phenolischen Harzen, also Polymeren, die zu großen Teilen aus dem Naturstoff Lignin bestehen. Verstärkt wird das System mit Holzfasern – so entsteht ein strapazierfähiger Naturstoff-Verbundwerkstoff. Auch die Schäume sind biobasiert und bestehen aus Lignin.

### Vom Bioabfall zum Betonverflüssiger

Am wenigsten nachhaltig zeigt sich die Baubranche derzeit in der Bauchemie – etwa bei der Herstellung von Beton, der wichtigsten Grundlage für modernen Hoch- und Tiefbau. Sein bindender Grundstoff, der Zement, benötigt bei der Herstellung viele Ressourcen, unter anderem Wasser. Doch auch hier gibt es neue Ansätze. Mit Unterstützung des BMBF hat sich eine Allianz unter Federführung des Düsseldorfer Biotechnologie-Unternehmens Evocatal zum Ziel gesetzt, einen biobasierten Betonverflüssiger zu entwickeln, der noch mehr Wasserspart als bisherige Produkte.

Schon heute reduzieren Betonverflüssiger den Wasserverbrauch beim Verarbeiten von Beton etwa um 15%. Sie sorgen auch dafür, dass er lange fließfähig bleibt und nach dem Abbinden extrem belastbar ist. Bislang werden diese Hochleistungsverflüssiger allerdings noch aus Erdöl hergestellt. Für die Herstellung der biobasierten Variante setzt Evocatal auf neuartige Enzyme. Diese können



© Bauhaus-Universität Weimar  
**Äußerst belastbar und gut fürs Raumklima: Für die Holz-Anhydrit-Verbundsysteme der Bauingenieure an der Bauhaus-Universität Weimar wird das gipsähnliche Anhydrit direkt auf Holz aufgetragen.**

Abfallprodukte aus Zellstofffabriken in verwertbare Produkte umwandeln. So fallen in der Papierherstellung derzeit weltweit pro Jahr etwa 50 Mio. Tonnen des Holzstoffs Lignin an. Mit Hilfe von speziellen Enzymen lässt sich das Lignin zu einem interessanten Beton-Zusatzstoff verwandeln. Zusammen mit den Partnern des Konsortiums haben die Biotechnologen bereits Enzym-Kandidaten aufgespürt, die aus dem Naturstoff ein robustes und innovatives Industrieprodukt herstellen können.

Ein anderes Biopolymer, das sich als Beton-Zusatz eignet, ist pflanzliche Stärke. Hier lässt sich das Kohlenhydrat zum Beispiel beim Spritzbeton zugeben, der im Tunnelbau eingesetzt wird. Dem Gemisch aus Sand und Zement wird ein aus Mais gewonnener Stärkeether zugesetzt. Der Spritzbeton haftet damit besser an den Wänden und der Material- und Energieaufwand beim Auskleiden von Tunnelwänden kann gesenkt werden. Forscher der Unternehmensgruppe Südzucker haben dazu in einem BMEL-geförderten Projekt mit Stärkemolekülen experimentiert, die noch zusätzlich mit chemischen Anhängseln versehen sind. Im Prüfstand an der Ruhr-Universität

in Bochum sorgte der Maisstärke-Zusatz besonders für eine rasche Frühfestigkeit des Spritzbetons – eine bei Tunnelbauern sehr gefragte Eigenschaft.

### Asphalt aus Bratöl

Für den Straßenbau experimentieren Forscher zudem mit biobasiertem Asphalt. Das klebrige Bitumen als Bindemittel lässt sich aus Bioabfällen gewinnen, zum Beispiel Speiseöl, das beim Frittieren und Braten in der Gastronomie anfällt. Zusammen mit Flugasche, einem Abfallprodukt aus Kohlekraftwerken, lässt sich ein Asphalt herstellen, der in ersten Tests bereits interessante Eigenschaften gezeigt hat. Ob der Bioasphalt aber tatsächlich als robuster und langlebiger Straßenbelag bestehen kann, muss sich erst noch zeigen.

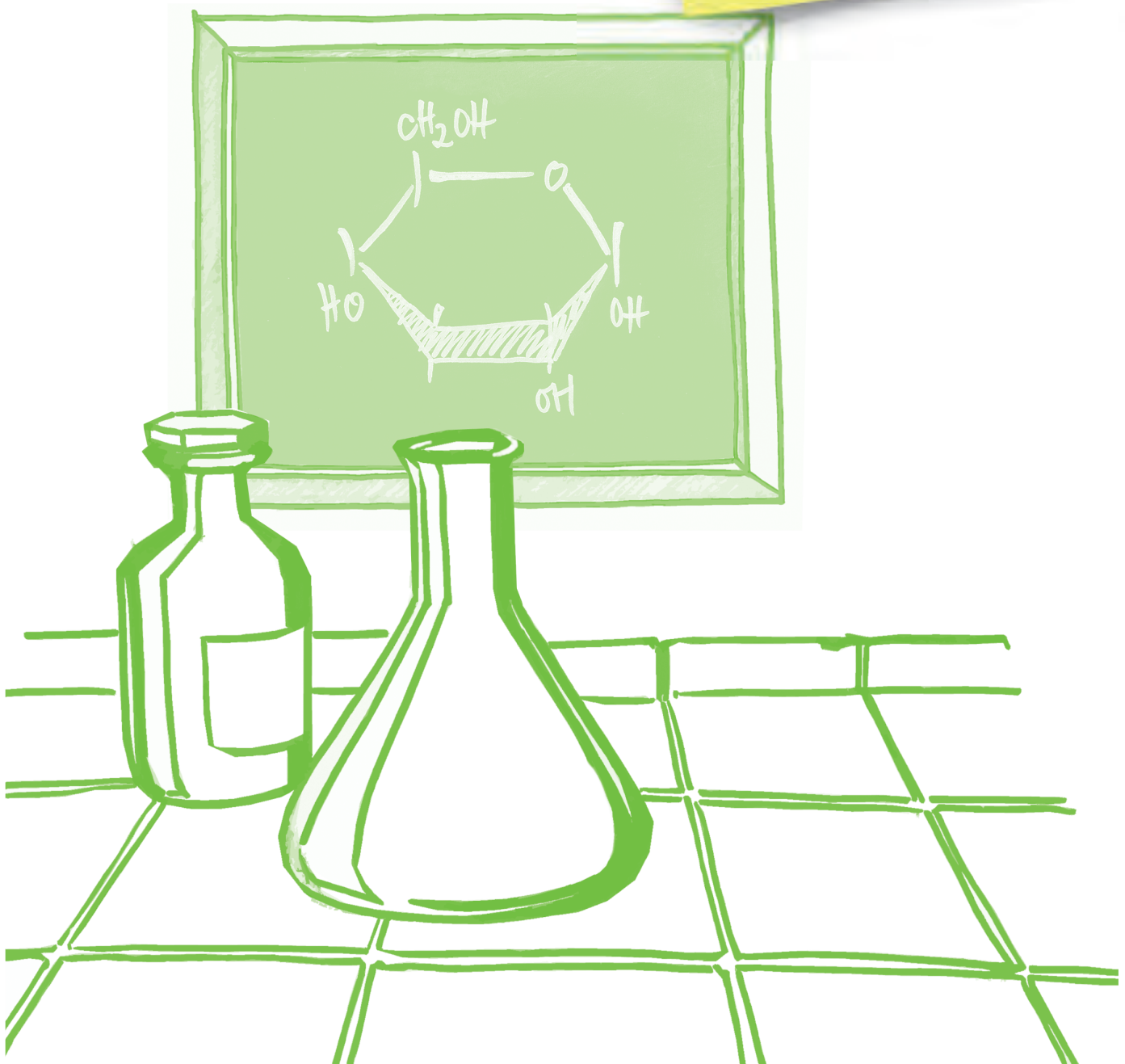
# Chemie

## DATEN & FAKTEN

Unternehmen	2.121
Mitarbeiter	434.312
Umsatz	186 Mrd. Euro

**Beispiele aus der Bioökonomie:**  
Biokunststoffe, biobasierte  
Plattformchemikalien, Bioschmierstoffe

© VCI/2012



**Noch setzt die chemische Industrie mehrheitlich auf den fossilen Rohstoff Erdöl. Eine bestehende, vollintegrierte Produktionsweise steht einem umfassenden Strukturwandel bislang entgegen. Dennoch wird das Thema Nachhaltigkeit immer wichtiger, wie mehrere Initiativen zur „Grünen Chemie“ zeigen. Biobasierte Ansätze werden von den Unternehmen vor allem dann genutzt, wenn sie Kosten sparen oder wenn es um verbesserte Produktqualitäten geht.**

Die Chemieindustrie mit ihren rund 2.100 Unternehmen gehört zu den wichtigsten Standbeinen der deutschen Wirtschaft. Mehr als 400.000 Menschen sind hier beschäftigt, international tätige Großkonzerne wie BASF oder Evonik haben ihren Hauptsitz in Deutschland. Diese erwirtschaften auch die Mehrheit des jährlichen Umsatzes, der im Jahr 2012 bei 186 Mrd. Euro lag. Die Produktpalette der chemischen Industrie ist riesig: mehr als 30.000 unterschiedliche Produkte werden vertrieben. Mit etwa 40% gehört der Automobilbau zu den größten Kunden.

Derzeit sind Erdöl und Erdgas die mit Abstand wichtigsten Rohstoffe der Chemieindustrie. 18,5 Mio. Tonnen fossiler Ressourcen wurden im Jahr 2011 von diesem Sektor stofflich genutzt (siehe Kasten). In großen Raffinerien und Crackern aufbereitet, dienen die unterschiedlichen Bestandteile von Öl und Gas als Ausgangsstoff für die Herstellung von Plastik, Klebstoffen, Lacken und vielem mehr. Oberstes Ziel der Unternehmen in der Chemiebranche ist Effizienz. An sogenannten Verbundstandorten dient das Abfallprodukt einer Reaktion häufig als Rohstoff, um einen anderen Prozess in Gang zu setzen. Obwohl die Branche mit 3,4 Mrd. Euro vergleichsweise viel Geld in Forschung und Entwicklung investiert, sehen Experten den hohen Integrationsgrad der Produktion als einen Grund dafür, warum sich ein tiefgreifender Wandel der Rohstoffbasis in der chemischen Industrie nur langsam vollziehen kann. Biobasierte Verfahren haben deshalb am ehesten eine Chance, wenn sie sich als „Drop-in“-Lösung in bestehende Anlagen integrieren lassen: Rohstoffe aus nachwachsenden Quellen, deren Eigenschaften identisch zu den konventionellen, erdölbasierten Plattformchemikalien sind. Auf Interesse stoßen aber auch biobasierte Plattformchemikalien

mit neuen Eigenschaften: Sie eröffnen neue Verwertungsmöglichkeiten, weil sie in ganz unterschiedlichen Produktionsstufen und Anwendungsgebieten eingesetzt werden können. Aber auch mit Blick auf die Umweltbilanz gibt es dank der Entwicklung neuer Werkzeuge in der Prozess- und Verfahrenstechnik (vgl. Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie). Vorteile biobasierter Ansätze: Mikroorganismen oder Biokatalysatoren wie Enzyme erledigen viele Reaktionsschritte mit hoher Ausbeute bei Zimmertemperatur und Normaldruck statt wie bei chemischen Verfahren häufig üblich unter hohem Druck und mit hohen Temperaturen. Rund 60 vorwiegend kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland haben sich auf dieses Betätigungsfeld spezialisiert und arbeiten an der Entwicklung von technischen Enzymen

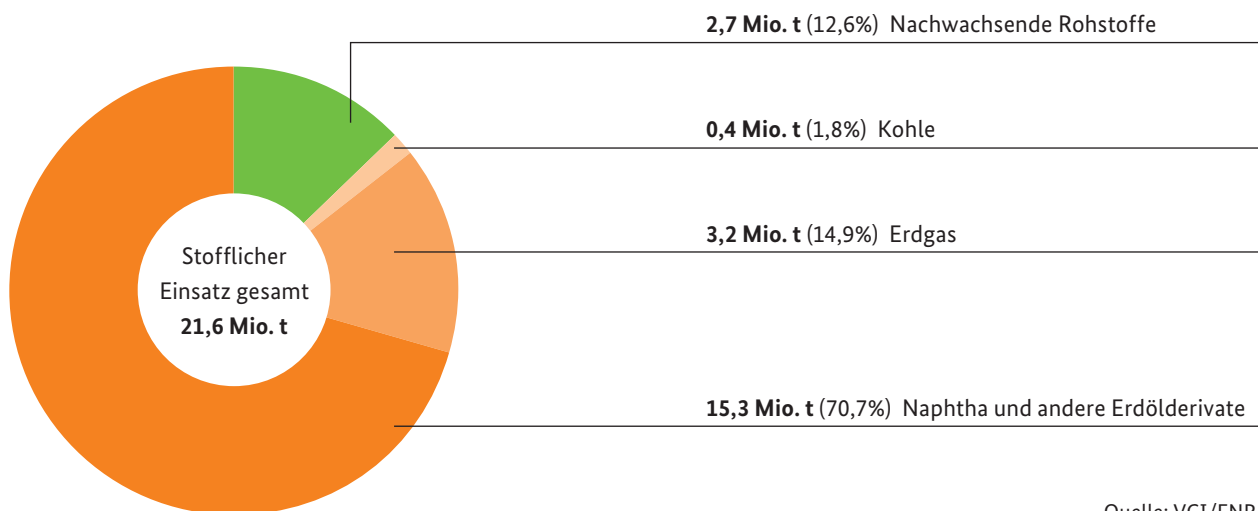
#### Rohstoffbasis und Produktpalette



© Evonik Industries

18,7 Mio. Tonnen fossile Rohstoffe hat die deutsche Chemieindustrie im Jahr 2011 eingesetzt. Erdöl und Erdgas sind damit nach wie vor die wichtigsten Ressourcen in diesem Sektor. Aus nachwachsenden Rohstoffquellen stammen jährlich 2,7 Mio. Tonnen. Mit einem Anteil von 27% am Umsatz zählen Fein- und Spezialchemikalien zu den wichtigsten Produkten. Es folgen Polymere (20%), pharmazeutische Grundstoffe (20%), Wasch- und Körperpflegemittel (8%) sowie anorganische Grundchemikalien (8%). Hauptkunde der deutschen Chemiebranche ist die Automobilindustrie.

## Rohstoffbasis der deutschen Chemieindustrie zur Herstellung von Kunststoffen (2011)



Quelle: VCI/FNR

oder biotechnologischen Produktionsprozessen auf der Basis von Mikroorganismen. Diese Firmen der industriellen Biotechnologie konnten in den vergangenen Jahren wachsende Umsätze verzeichnen, die Chemie-Branche zählt neben der Nahrungsmittel- und Pharmaindustrie zu den wichtigsten Kunden. Das Hightech-Werkzeug der Biotech-Firmen dient hier oftmals dazu, Produktionsschritte zu optimieren oder neue Verfahren zu etablieren.

Der Großteil an nachwachsenden Rohstoffen, die schon heute in der chemischen Industrie eingesetzt werden, sind pflanzliche Öle, die aus den Früchten von Palmen, Raps und Soja gewonnen werden oder tierische Fette. Die Öle und Fette werden zu biobasierten Tensiden weiterverarbeitet, die in der Reinigungs- und Waschmittellindustrie, aber auch bei Kosmetikprodukten Einsatz finden (vgl. Konsumgüter).

### Biokunststoffe im Fokus der Hersteller

Einen noch größeren Markt für biobasierte Produkte ergibt sich bei der Herstellung von Kunststoffen. Diese stellen das zweitgrößte Produktsegment der Chemieindustrie dar, werden derzeit mehrheitlich erdölbasiert hergestellt (siehe Diagramm oben) und lassen sich für vielfältigste Anwendungen einsetzen, vor allem in der Automobilindustrie (siehe Kasten S. 25). Der Anteil bio-

basierter Verfahren ist jedoch stetig gewachsen. Dabei ist Bioplastik keinesfalls eine neue Erfindung. Im Gegenteil: Der erste industriell produzierte Kunststoff überhaupt stammt aus dem Jahr 1869 und war ein Biomolekül: Celluloid. Erst Anfang des 20. Jahrhunderts wurden die ersten auf Erdölbasis gefertigten Kunststoffe erfunden. Ab 1956 sind schließlich großtechnische Herstellungsverfahren für die bis heute marktbeherrschenden Kunststoffe Polyethylen und Polypropylen eingeführt worden. Seitdem ist die Palette an Kunststoffen für unterschiedlichste Einsatzgebiete stetig gestiegen (siehe Abbildung). Seit Anfang der 80er Jahre des vergangenen Jahrhunderts sind schließlich Biokunststoffe wieder ins Blickfeld der Industrie gerückt. Wenn von Bioplastik die Rede ist, können zwei unterschiedliche Arten von Biokunststoffen gemeint sein: Einerseits gibt es biologisch abbaubare Kunststoffe – diese müssen aber nicht zwingend aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden, es gibt auch erdölbasierte, biologisch abbaubare Kunststoffe. Andererseits gibt es Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, die nicht unbedingt biologisch abbaubar sind (siehe Diagramm S. 28).

Vor allem Stärke und Cellulose sind heutzutage ein wichtiger Ausgangsstoff für die Produktion von Biokunststoffen. Dienten zunächst stärkehaltige Früchte wie Mais oder Kartoffeln als Rohstoffquelle, so konzentriert sich die Forschung inzwischen darauf, nachwachsende

Ressourcen zu erschließen, die nicht in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion stehen. Dadurch rücken Substanzen wie Chitin, Chitosan und Lignin in den Fokus, die als Abfallprodukte in anderen Wirtschaftsfeldern entstehen und bislang kaum genutzt werden können. Hierzu zählen auch Abfallprodukte aus der Lebensmittelwirtschaft wie Casein aus nicht verkehrsfähiger Milch, tierische Fette aus Schlachtabfällen oder Proteine aus der Rapsverarbeitung.

Auch der Spezialchemiekonzern Evonik setzt auf nachwachsende Rohstoffe für die Kunststoffproduktion. Das Unternehmen eröffnete 2013 eine neue Produktionsanlage in der Slowakei. Dort wird biobasierte gamma-Aminolaurinsäure (ALS) hergestellt, eine Alternative zum erdölbasierten Laurinlactam. Die beiden Chemikalien dienen als Ausgangsstoffe für die Produktion einer bestimmten Polyamidsorte, die PA12 genannt wird. Polyamide werden wegen ihrer hervorragenden Festigkeit und Zähigkeit oft als Konstruktionswerkstoffe

verwendet. Der Kunststoff kommt unter anderem im Automobilbereich, für Haushaltsgeräte oder bei Sportartikeln zum Einsatz. Die Pilotanlage in Slovenska Lupca soll genutzt werden, um die Prozessentwicklung für den großindustriellen Maßstab voranzutreiben. Als Rohstoff setzt Evonik derzeit noch auf Palmkernöl. In späteren Entwicklungsstufen sollen biologische Reststoffe eingesetzt werden.

Ein vom BMEL geförderter Forschungsverbund hat sich zum Ziel gesetzt, vor allem die heimische Ölpflanze Raps für die Herstellung von Kunststoffen zu nutzen. Koordiniert wird das 17 Projektpartner umfassende Konsortium „Systembiotechnologie nachwachsender Rohstoffgewinnung“ von der Phytowelt GreenTechnologies GmbH in Nettetal, beteiligt sind Akteure entlang der Wertschöpfungskette. So konzentrieren sich einige Projektpartner darauf, die Pflanzen, die das für die Produktion nötige Ausgangsmaterial liefern sollen, züchterisch zu verbessern. Andere kümmern sich um die mechani-



Am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP in Leuna wird Holz in seine chemischen Einzelteile zerlegt.

sche Abtrennung der Pflanzenöle, wieder andere sind dafür verantwortlich, die Umwandlung der Rohstoffe in kommerziell wertvolle Chemikalien voranzutreiben. Zu den Mitgliedern des Konsortiums zählen Forschungseinrichtungen, kleine und mittlere Unternehmen sowie Großkonzerne.

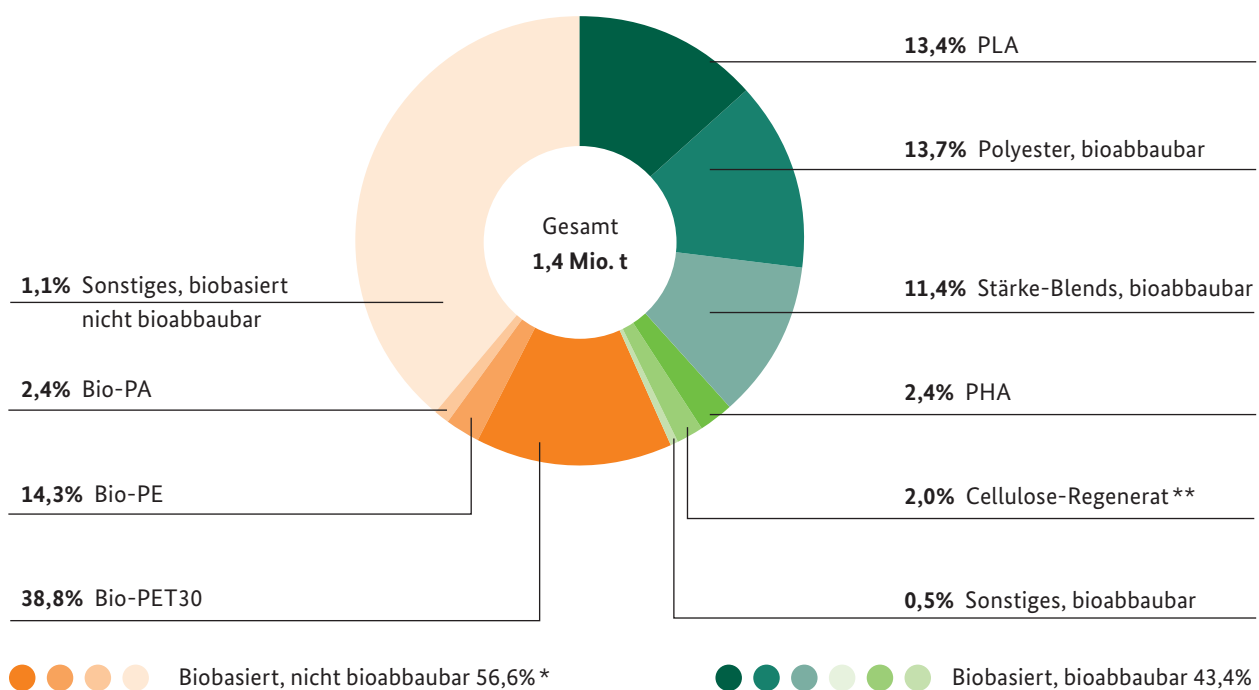
### Biobasierte Plattformchemikalien

Darüber hinaus rücken Mikroorganismen als Produzenten von Biokunststoffen ins Blickfeld, da sie als biologische Mini-Fabriken unterschiedliche natürliche Rohstoffe als Quellen nutzen können. Dies gilt zum Beispiel hinsichtlich der Herstellung von Bernsteinsäure. Die Chemikalie ist ein wichtiges Vorprodukt bei der Herstellung von Kunststoffen wie Polybutylensuccinat (PBS) oder Polyurethanen. Sie kann aber auch zur Herstellung von Vliesstoffen und Fasern, genutzt werden, die wiederum für Sportkleidung, Möbel und die Bauindustrie interessant sind. Vor diesem Hintergrund

forschen BASF und das niederländische Unternehmen Corbion Purac schon seit 2009 auf dem Feld der biobasierten Bernsteinsäure. Unter dem Namen Succinity GmbH wurde ein Joint Venture mit Sitz in Düsseldorf gegründet, das die Produktion und Vermarktung biobasierter Bernsteinsäure vorantreiben soll. Gemeinsam wurde ein eigener Mikroorganismus gezüchtet: *Basfia succiniciproducens*. Die Mikrobe ermöglicht die flexible Nutzung unterschiedlicher Rohstoffquellen. Dank eines geschlossenen, kreislaufbasierten Produktionssystems lassen sich zudem größere Abfallströme vermeiden. Seit 2014 produziert eine Anlage in Spanien jährlich 100.000 Tonnen biobasierte Bernsteinsäure, eine weitere ist bereits in Planung.

Noch nicht ganz so weit ist BASF bei biobasierter Acrylsäure. Dieses Produkt dient als Ausgangsstoff für die Produktion von besonders saugfähigen Kunststoffen wie Hygieneartikeln oder Babywindeln. Der Konzern hat 2013 ein Verfahren vorgestellt, mit dem es gelungen ist,

### Produktionskapazitäten für Bioplastik in % (2012)

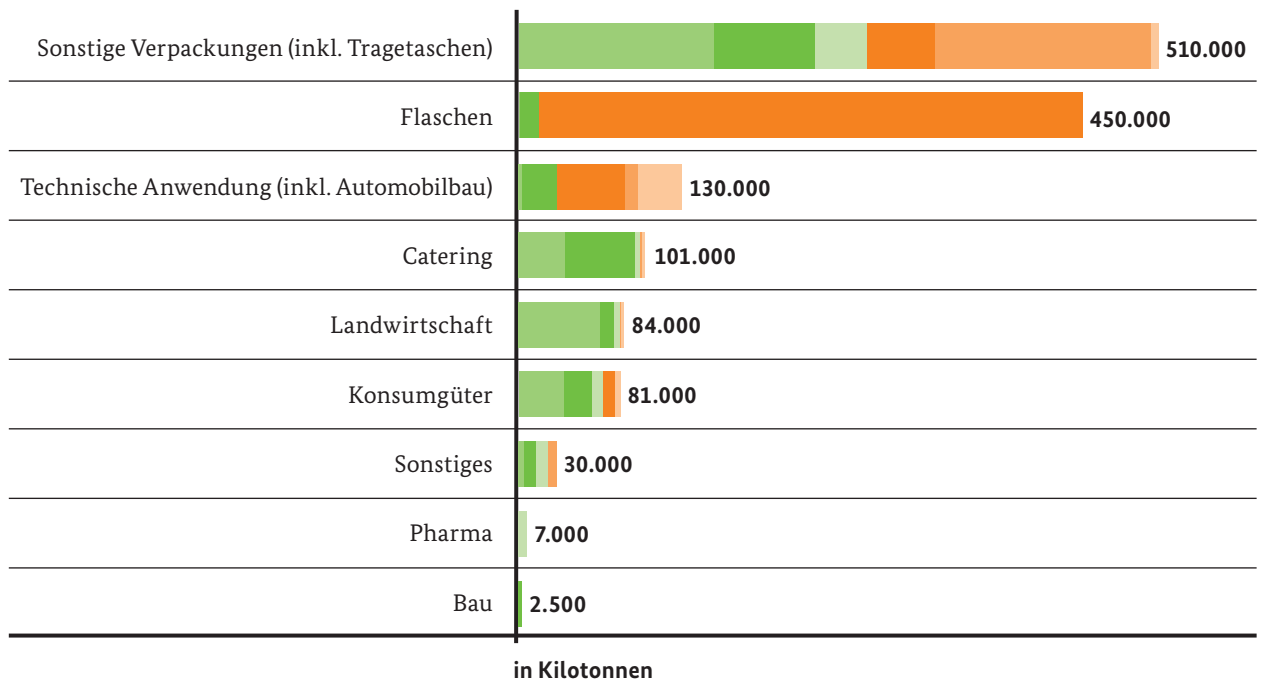


\* Beinhaltet Drop-In-Lösungen und technische Polymere

\*\* nur hydrierte Cellulose-Folien

Quelle: European Bioplastics, IfBB

## Weltweite Produktionskapazitäten für Bioplastik (2012)



## Kategorien

biobasiert, bioabbaubar

biobasiert, nicht bioabbaubar

PLA &amp; PLA-Blends

Bio-PET 30

Stärke Blends

Bio-PE

Sonstiges

Sonstiges

Quelle: European Bioplastics, IfBB

ein entscheidendes Zwischenprodukt für die Herstellung von biobasierter Acrylsäure – die 3-Hydroxypropionsäure (3-HP) – im Pilotmaßstab zu produzieren. Biobasierte Bernsteinsäure steht auch beim Stahl-Produzenten Thyssen-Krupp auf der Agenda. Über seinen Anlagenbau-Geschäftsbereich ThyssenKrupp Uhde GmbH wurde 2013 eine Produktionsanlage für Bioplastik am traditionsreichen Raffinerie-Standort in Leuna etabliert. Fünf Jahre und mehr als 20 Mio. Euro kosteten die Umbauarbeiten an der europaweit ersten Mehrzweck-Fermentationsanlage zur kontinuierlichen Produktion biobasierter Chemikalien.

Zum Produktportfolio gehört hier nicht nur Bernsteinsäure, sondern auch Milchsäure – diese Substanz bildet die Basis für den Kunststoff Polymilchsäure. Mehr als 1.000 Tonnen Bernsteinsäure und Milchsäure können in Leuna pro Jahr produziert werden und so die im Labor entwickelten Fermentations- und Aufbereitungsver-

fahren im industriellen Maßstab testen. Die Ergebnisse wiederum werden für Kunden weltweit genutzt. In den USA betreibt Thyssenkrupp Uhde zusammen mit dem US-Unternehmen Myriant eine Anlage, in der aktuell 13.400 Tonnen biobasierte Bernsteinsäure pro Jahr hergestellt werden. In Mitteldeutschland hat sich damit inzwischen ein auch international anerkanntes Bioraffinerie-Forschungszentrum etabliert. Leuna bildet den Kern des Anfang 2012 vom BMBF gekürten Spitzenclusters „BioEconomy“. Mehr als 60 Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft aus Sachsen-Anhalt und Sachsen haben darin ihre Kompetenzen gebündelt, um das Konzept der Bioraffinerie voranzutreiben (vgl. Biobasierte Produktion). Inzwischen ist auch das französische Unternehmen Global Bioenergies vor Ort, welches neue Methoden zur Herstellung von sogenannten leichten Olefinen erforscht. Hierbei handelt es sich um Plattformchemikalien – das heißt, sie sind Ausgangspunkt für die Produktion zahlreicher weiterer Produkte. Zu

## Nylon aus Holzabfällen



© Daniel Ernst/Fotolia.com

Nylon ist die älteste vollsynthetisch hergestellte Kunststofffaser der Welt. Sie entsteht durch eine Aneinanderreihung der beiden auf Erdölbasis gewonnenen Grundstoffe Adipinsäure und Hexamethylendiamin. Künftig könnte die Polyamidfaser jedoch zumindest teilweise auf biotechnologischem Wege hergestellt werden. Forscher der Universität des Saarlandes arbeiten daran, den Nylongrundstoff Adipinsäure mit Hilfe von Bakterien zu produzieren. Mikroben der Art *Pseudomonas putida* sollen künftig die für die Biosynthese von Adipinsäure benötigten Verbindungen aus Holzabfällen herausbrechen. Die biotechnologische Herstellung von Adipinsäure bietet eine echte Alternative zur bisher nötigen energieintensiven und klimagasproduzierenden petrochemischen Synthese des Grundstoffs. In ersten Versuchen konnte der Energiebedarf des Herstellungsprozesses gegenüber der petrochemischen Variante um rund 25% bis 50% gesenkt werden. Daher ist das Interesse der weltweit 20 bis 25 Großproduzenten groß. Dafür gilt es jedoch, den im Labormaßstab entwickelten Prozess auch industriekompatibel zu machen. Die dafür notwendigen Arbeiten unterstützt das BMBF im Rahmen des Programms „Validierung des Innovationspotentials wissenschaftlicher Forschungen“ (VIP) mit rund 1,4 Mio. Euro.

den Olefinen gehören beispielsweise Isobuten, Propylen oder Butadien. Biotechnologisch konnten sie bisher nicht hergestellt werden, weil entsprechende Stoffwechselwege in Bakterien nicht existieren. Mit den Methoden der synthetischen Biologie hat Global Bioenergies nun neue, künstliche Stoffwechselwege entwickelt und die

Erbinformation für die dafür benötigten synthetischen Enzyme in *E. coli*-Stämme eingeschleust. Das neue gasbildende Fermentationsverfahren erfordert keine Destillation und verfügt daher über eine bessere Umweltbilanz. Die Errichtung einer entsprechenden Pilotanlage in Leuna fördert das BMBF mit rund 5,7 Mio. Euro. Sie wird zwei 5000-Liter-Fermenter sowie ein komplettes Aufreinigungssystem umfassen und somit alle Aspekte einer industriellen Anlage abbilden. Die Produktionskapazität in Leuna von bis zu 100 Tonnen Isobuten pro Jahr ermöglicht es, interessierten Industrieunternehmen diesen Grundstoff zu eigenen Testzwecken anzubieten. Das Isobuten kann zum Beispiel für die Herstellung von Kunststoffen, Elastomeren und Treibstoffen verwendet werden. Noch wird Zucker als Bakterienfutter eingesetzt, künftig soll die Anlage aber auch mit Agrarreststoffen arbeiten. Ein umfassendes begleitendes Forschungsprogramm soll in den nächsten drei Jahren bei der Optimierung der Prozesse helfen.

## Biologische Schmierstoffe

Die Chemieindustrie liefert mit der Bereitstellung von Ölen und Fetten auch die Basis für die breite Produktpalette an Schmierstoffen. Der Inlandabsatz von Schmierstoffen liegt in Deutschland seit mehreren Jahren konstant bei etwas über 1 Mio. Tonnen. Kommerziell spielen biobasierte Ansätze hier bislang eine untergeordnete Rolle. Ihr Marktanteil liegt bei ca. 3% – vor allem aufgrund ihres höheren Preises, aber auch aufgrund der Unkenntnis ihrer Handhabung. Die aktuell größten Anwendungen finden Bioschmierstoffe als Hydrauliköle, Sägekettenöle und Schalöle (vgl. Maschinenbau). Nicht nur unter Nachhaltigkeitsaspekten bieten Bioschmierstoffe jedoch eine Reihe von Vorteilen: Sie sind oftmals biologisch abbaubar, in vielen Fällen ungiftig und weisen zumeist im Vergleich zu erdölbasierten Produkten höheres Schmiervermögen auf. Aktuelle Forschungsarbeiten zielen unter anderem darauf ab, die Rohstoffbasis von Bioschmierstoffen zu erweitern. So hat die Firma Danico zum Beispiel ein Verfahren entwickelt, das Sonnenblumenöl als Basis für Bio-Hochleistungsschmierstoffe nutzt.

Andere Unternehmen zielen darauf ab, die möglichen Anwendungsgebiete von Bioschmierstoffen auszubauen. Gefördert vom BMEL haben acht Partner unter Führung der Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH in Mannheim

<b>Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie (t)</b>		
	<b>2008</b>	<b>2011</b>
Pflanzliche Öle/Fette	1.100.000	1.000.000
Tierische Fette	350.000	210.000
Chemiestärke*	272.000	187.000
Stärkeequiv. Chemieethanol*		87.000
Chemiezucker*	136.000	60.000
Zuckerequiv. Chemieethanol*		44.000
Chemiezellstoff	300.000	401.000
Proteine	24.000	139.000
Sonstige	525.000	591.000
<b>Summe nachwachsende Rohstoffe</b>	<b>2.707.000</b>	<b>2.719.000</b>

\* in 2008 abweichende Datenbasis

Quelle: FNR (2014)

damit begonnen, biobasierte Schmierstoffe für den Einsatz in Offshore-Windenergieanlagen fit zu machen. Die Mannheimer sind zudem an der Allianz „Technofunktionelle Proteine“ unter Federführung der Animox GmbH betei. 9 Mio. Euro investieren die 14 Partner in die Allianz, die Hälfte des Betrags steuert das BMBF bei. Hier geht es nicht nur um neue Quellen für Bioschmierstoffe, sondern auch für Bindemittel, Lacke und Farben. Nicht mehr an Tiere verfütterbarer Rapspresskuchen, der in Ölmöhlen hierzulande jedes Jahr in einer Menge von rund 1,5 Tonnen anfällt, liefert den Rohstoff für die Allianz. Forscher von Animox und dem Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) in

Freising versuchen, daraus Proteine herauszulösen. Denn Proteine weisen vielfältig einsetzbare Eigenschaften auf, die aber lange aus dem Blick der chemischen Industrie geraten sind. Die Allianz hat sich zum Ziel gesetzt, die Proteine neben den bisher genutzten Kohlenhydraten, Fetten und Ölen als weiteren nachwachsenden Rohstoff der chemischen Industrie zu etablieren. Mit Hilfe von Enzymen und hydrothermalen Verfahren werden die Eiweißmoleküle so verändert, dass sie als Grund- oder Zusatzstoff für Hersteller von Bioschmierstoffen, Klebstoffen, Lacken und Farben genutzt werden. Zur Allianz zählen auch die Landshuter Lackfabrik und der Reinigungsmittelspezialist Vermop.

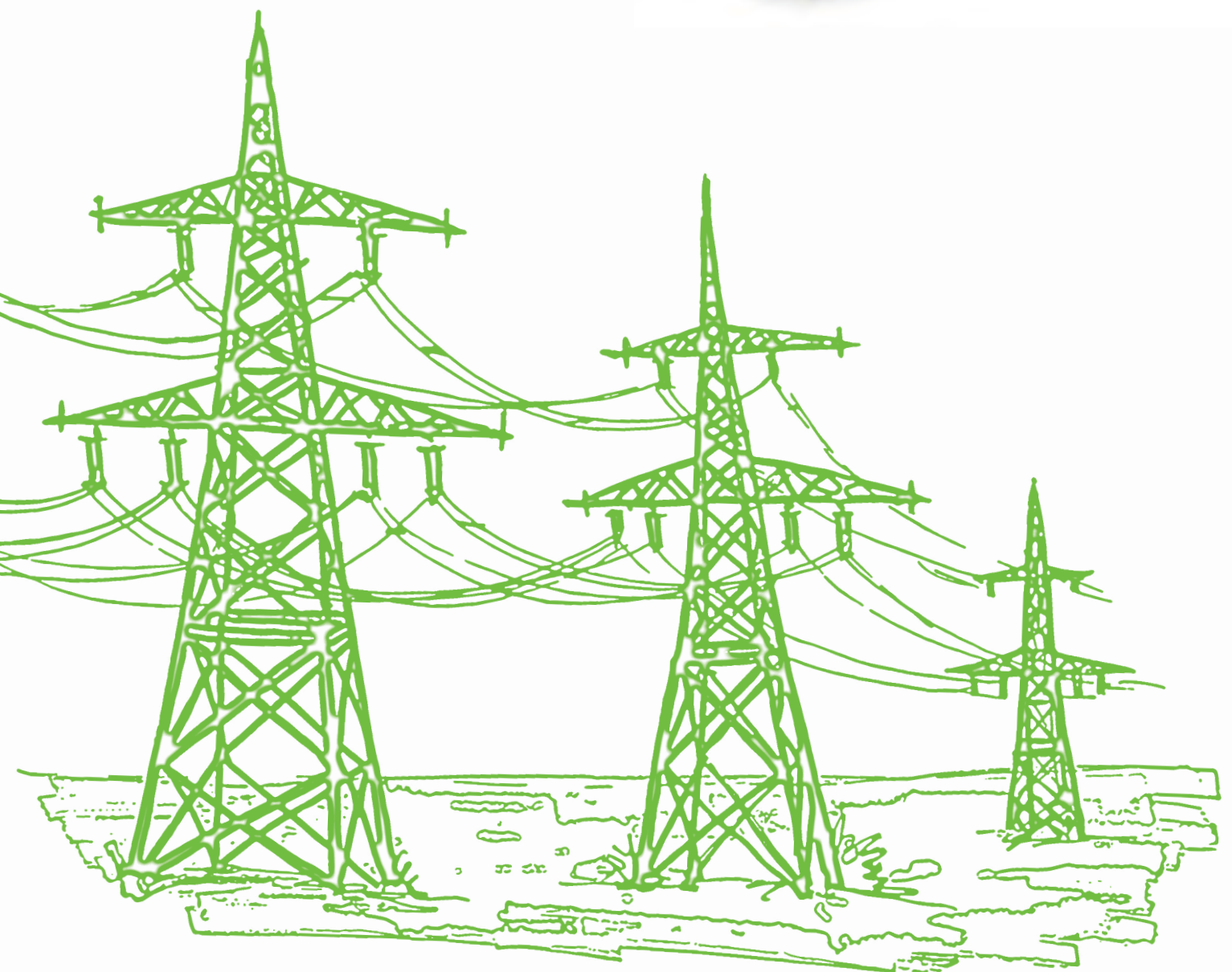
# Energie

## DATEN & FAKTEN

Unternehmen	923
Mitarbeiter	220.157
Umsatz	466 Mrd. Euro

**Beispiele aus der Bioökonomie:**  
Holzpellettheizungen, Biogas, Biodiesel,  
Bioethanol, synthetischer Biokraftstoff

© Destatis/2011



**Ob als Brennholz, Kraftstoff oder in Form von Biogas: Aus Biomasse lässt sich eine große Vielfalt an Energieträgern gewinnen. Bioenergie ist als regenerative Energie eine wichtige Säule im Energiemix der Zukunft. Um die Konkurrenz mit der Lebensmittelproduktion zu vermeiden, rückt die effiziente Nutzung von Pflanzenreststoffen in den Fokus. Das Potential von nachhaltig angebauten Energiepflanzen erschließen und innovative Prozesstechnologien vorantreiben – das sind wichtige Schritte im Bioenergie-Sektor.**

Unter den erneuerbaren Energieträgern gilt Biomasse – also Pflanzen sowie pflanzliche und tierische Reststoffe und Abfälle – als Alleskönner. Denn sie lässt sich zur Erzeugung von Wärme, Strom und Kraftstoffen einsetzen. Typisch für feste Bioenergieträger sind Holzbrennstoffe wie beispielsweise Holzhackschnitzel oder Holzpellets. Zu den flüssigen Bioenergieträgern zählen Biokraftstoffe wie Pflanzenöl, Biodiesel oder Bioethanol. Biogas und Biomethan machen die gasförmigen Energieträger aus. Neben der großen Vielfalt und Flexibilität gilt als weiteres Plus: Biomasse ist speicherbar und Bioenergieanlagen sind flexibel regelbar. So bergen sie das Potential, bei der Stromerzeugung die schwankende Verfügbarkeit anderer regenerativer Energiequellen wie Windkraft und Solarenergie auszugleichen.

12,3 % des Endenergieverbrauchs hierzulande wurden 2013 nach Zahlen der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) über erneuerbare Energien gedeckt. Unter den Erneuerbaren war die Bioenergie mit einem Anteil von 62 % die stärkste Fraktion. Gemessen am Endenergieverbrauch werden 7,7 % aus Bioenergie gedeckt. Bioenergie ist aktuell insbesondere dort im Einsatz, wo es um Wärmegewinnung geht. 36,7 % der Bioenergie, die in Deutschland genutzt wird, fallen als Wärme an. Für die Wärmeerzeugung ist Biomasse mit rund 88 % die mit Abstand bedeutendste regenerative Energiequelle. Im Strombereich ist Biomasse mit 8 % der Bruttostromerzeugung hinter der Windkraft die zweitwichtigste erneuerbare Energiequelle.

Mit der Energiewende will die Bundesregierung den Anteil der erneuerbaren Energien deutlich steigern. Dazu soll der Strom bis 2035 zu 55 bis 60 % und bis 2050 zu

80 % aus erneuerbaren Energiequellen kommen. Neben Wind, Wasser und Sonne formt auf diesem Weg auch die Bioenergie einen wichtigen Baustein im Energiemix. Energie aus nachwachsenden Rohstoffen hilft beim Klimaschutz: Verbrennt man Biomasse, dann wird genauso viel Kohlendioxid freigesetzt wie eine nachhaltig produzierte Pflanze während ihres Wachstums aufgenommen hat. Nachwachsende Biomasse absorbiert wiederum die freigesetzte Menge CO<sub>2</sub>, der Stoffkreislauf schließt sich. Ökonomisch gesehen trägt Bioenergie zur regionalen Wertschöpfung bei und schafft Arbeitsplätze in ländlichen Räumen. Das zeigt sich zum Beispiel in den immer zahlreicherer Bioenergiedörfern und -regionen, die bundesweit entstanden sind.

### Aufschwung für die Bioenergie

Insbesondere das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen regelt, hat der deutschen Bioenergie-Branche in den vergangenen 14 Jahren ein starkes Wachstum beschert. Im Zuge dieses Booms sind aber auch problematische Seiten deutlich geworden. So besteht grundsätzlich die Gefahr, dass die energetische Nutzung von Biomasse mit der Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln oder um Flächen, die aus naturschutzfachlicher Sicht interessant sind, konkurriert. Der enorm gestiegene und mancherorts zu einseitige Anbau von wenigen



Am Karlsruher Institut für Technologie werden in einer Pilotanlage pflanzliche Reststoffe zu Synthesekraftstoff umgewandelt.

Energiepflanzen-Arten kann sich bei einer weiteren Steigerung nachteilig auf Ökosysteme auswirken. Ein wichtiges Ziel ist, die Nutzungskonkurrenz zwischen „Tank und Teller/Trog“ zu entschärfen. Zum Beispiel durch eine neue Generation von Biotreibstoffen, die aus organischen Rest- und Abfallstoffen und nicht mehr aus den Pflanzenfrüchten gewonnen werden. In Europa und Deutschland werden die Nutzungspfade von Bioenergie derzeit neu bewertet und die Rahmenbedingungen angepasst. 2014 wird das EEG zum vierten Mal novelliert. Formuliertes Ziel der Bundesregierung ist es, sich bei der energetischen Nutzung von Biomasse künftig überwiegend auf Abfall- und Reststoffe zu konzentrieren. Gefragt sind auch weiterhin Konzepte und Technologien, die eine innovative Nutzung von nachhaltiger Bioenergie ermöglichen.

### Holz: Bedeutender Wärmelieferant

Der Rohstoff Holz hat eine große Bedeutung als Brennstoff. Rund 60 Mio. Tonnen Holz werden in Deutschland pro Jahr verfeuert, vorwiegend als Scheitholz in Öfen und Kesseln der privaten Haushalte. Mit finanzieller Unterstützung aus dem Marktanreizprogramm wächst die Zahl der automatisch beschickten, emissionsarmen Pellet- und Hackschnitzelheizungen. Dafür werden in Deutschland jährlich ca. 2,3 Mio. Tonnen Pellets und 6 Mio. Tonnen Holzhackschnitzel als regional verfügbare Biobrennstoffe nachhaltig erzeugt. Auf Basis von Biomasse werden etwa 90% der erneuerbaren Wärme

erzeugt; davon stammen über 70% aus Holz. Angesichts steigender Preise für fossile Energieträger bietet sich unerschlossenes Potential von Wald- und Restholz für die Wärmeerzeugung an. Holz dient traditionell vor allem als Wärmelieferant. Ein- und Mehrfamilienhäuser lassen sich heute sauber und effizient mit Holzpellet-Heizungen beheizen. Die moderne und vollautomatische Technologie der Pelletheizungen ermöglicht es, den Ausstoß von Luftschadstoffen wie Feinstaub und Kohlenmonoxid deutlich zu reduzieren. In größeren Holzheizkraftwerken, die oft überwiegend Altholz sowie Waldrestholz nutzen, werden durch Kraft-Wärme-Kopplung gleichzeitig Strom und Wärme für Siedlungen und Stadtteile erzeugt. Nachdem die Technologie der Holzvergaser-BHKW-Anlagen in den vergangenen Jahren die Markt- und Serienreife erreicht hat, kann nun auch in kleineren Anlagen aus Holzhackschnitzeln und Pellets Wärme und Strom erzeugt werden.

Neben Altholzmärkten und dem Wald als Energieholzlieferanten rücken auch sogenannte Kurzumtriebsplantagen ins Blickfeld: Auf Äckern werden schnellwachsende Gehölze wie Pappeln angebaut. Einmal angepflanzt, lässt sich alle vier Jahre Holz ernten, danach treiben die Pflanzen wieder neu aus. Ein solcher Agrarholzanbau gleicht einer Dauerkultur wie etwa beim Weinanbau und kann auch in punkto Klimaschutz und ökologischer Verträglichkeit gegenüber anderen Energiepflanzen punkten. Das BMEL fördert diesen Bereich mit vielfältigen Forschungs- und Entwicklungsprojekten.



© Beatrix Boldt

In Biogasanlagen vergären Mikroben Energiepflanzen und Gülle zu Biogas.

### Sprit aus Stroh: Bioraffinerie in Straubing produziert Cellulose-Ethanol



© Clariant

Im bayerischen Straubing hat das Chemieunternehmen Clariant Deutschlands größte Demonstrationsanlage zur biotechnologischen Gewinnung von Biokraftstoffen der zweiten Generation aufgebaut. In dem 28 Mio. Euro teuren Anlagenkomplex, gefördert vom BMBF und der bayerischen Landesregierung, entsteht seit 2012 aus dem Reststoff Weizenstroh und anderen Feldabfällen

der Treibstoff Ethanol. Bei dem sunliquid-Verfahren wird die in den Pflanzenfasern steckende langkettige Lignocellulose mit Hilfe von Mikroben in kleinere Zuckermoleküle zerlegt, Hefen vergären diese dann in einem weiteren Schritt zu dem Biosprit. Das Verfahren läuft nahezu klimaneutral ab. Jährlich lassen sich so in Straubing rund 4.500 Tonnen Stroh in 1.000 Tonnen Cellulose-Ethanol umwandeln.

Im Rahmen einer Kooperation mit dem Autohersteller Mercedes-Benz und dem Mineralölunternehmen Haltermann sind bereits erste Flottentests gestartet. Dabei soll sich ein Gemisch aus 20 % Bioethanol aus nachwachsenden Rohstoffen und 80 % Superbenzin für den alltäglichen Einsatz in Serienfahrzeugen beweisen.

### Biogas: Energie aus heimischer Gärung

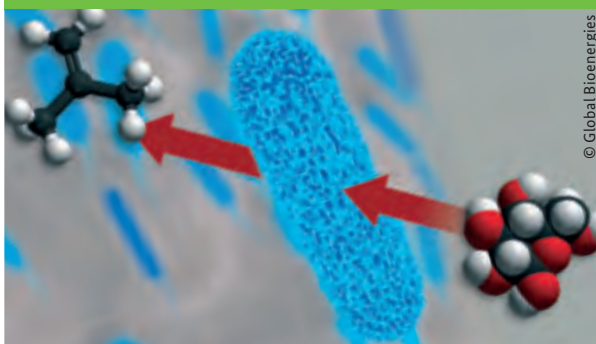
In Biogasanlagen werden Energiepflanzen, tierische Exkremente wie Gülle und andere Reststoffe in Biogas verwandelt. In luftdicht abgeschlossenen Behältern, den Fermentern, vergären Mikroorganismen die Biomasse hierbei zu einem Gasgemisch, das hauptsächlich aus Methan und Kohlendioxid besteht. Vor Ort wird das Biogas in sogenannten Blockheizkraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung verbrannt. Nach dem Vergären bleibt organisches Material übrig, das als Dünger auf den Acker ausgebracht werden kann. So schließen sich regionale Stoffkreisläufe. An einigen Anlagen wird Biogas auch zu Biomethan aufbereitet. Hierzu wird der Methangehalt und die Qualität des Biogases soweit gesteigert, dass es ins Erdgasnetz eingespeist werden kann.

Angetrieben durch Vergütungsanreize im Rahmen des EEG ist die Biogas-Branche in den vergangenen zehn Jahren rasant gewachsen. Immer mehr Landwirte wurden zusätzlich „Energiewirte“. 2013 gab es hierzulande nach Zahlen des Fachverbands Biogas rund 7.700 Anlagen, die 24 Mrd. Kilowattstunden Strom erzeugten. Mit Abstand die meisten Biogasanlagen stehen in Bayern und Niedersachsen. Der Branchenverband zählt 40.000 Beschäftigte, die im Anlagenbau, Betrieb und Wartung

sowie im Energiepflanzenbau tätig sind, der Umsatz belief sich 2013 auf rund 6,6 Mrd. Euro.

Deutschland gilt in der Biogastechnologie weltweit als führend. Die durch mittelständische Unternehmen geprägte Branche generierte 2012 rund 40 % ihres Umsatzes im Auslandsgeschäft. Bei der Verfahrens- und Prozesstechnik gibt es noch viel Potential für Verbesserungen, besonders wenn es um die Verzahnung der einzelnen Schritte geht. So sind die Hauptakteure bei der Vergärung im Fermenter – die Bakterien und mikrobiellen Lebensgemeinschaften – noch wenig charakterisiert. Das BMBF fördert mehrere Verbundprojekte in der Förderinitiative „Bioenergie – Prozessorientierte Forschung und Innovation (BioProFi)“, die dieser Frage auf den Grund gehen. Die Entwicklung von Sensoren zur Vermessung des Gärprozesses sowie Katalysatoren für die Reinigung von Biogas sind weitere Aspekte, an denen Biogasforscher in Deutschland tüfteln. Auch das BMEL hat bereits seit Jahren einen Schwerpunkt seiner Fördertätigkeit darauf gelegt, die Effizienz des Biogasprozesses zu steigern. Der Biogas-Boom hat allerdings auch das Bild der Landwirtschaft in einigen Regionen spürbar verändert. So wurde der Anbau von Mais als ertragreichste unter den Energiepflanzen massiv ausgeweitet. Das schränkte nicht nur die biologische Vielfalt auf den Äckern ein,

### Leuna: Isobuten aus der Zellfabrik



© Global Bioenergies

Das französische Unternehmen Global Bioenergies hat ein biotechnologisches Verfahren entwickelt, in dem Bakterien den gasförmigen Kohlenwasserstoff Isobuten herstellen. Bakterien als Produktionsorganismen wurden dazu mit neuartigen Stoffwechselwegen ausgestattet und zu zellulären Gasfabriken umfunktioniert. Gefüttert werden die Bakterien mit Zuckermolekülen aus nachwachsenden Rohstoffen. Global Bioenergies siedelt sich derzeit im Industriepark Leuna an, um das Verfahren industrietauglich zu machen: Das Bundesforschungsministerium unterstützt die Errichtung einer neuen Pilotanlage mit 5,7 Mio. Euro im Rahmen der Förderung des Spitzenclusters BioEconomy. Die Anlage ist für die Produktion von bis zu 100 Tonnen Isobuten pro Jahr ausgelegt. Der Autokonzern Audi wird den biobasierten „Drop in“-Treibstoff im Rahmen einer Kooperation in Fahrzeugen auf Alltagstauglichkeit testen.

sondern belastete mancherorts aufgrund einseitiger Bewirtschaftung auch Böden und Umwelt. Nachhaltige Anbaukonzepte für Energiepflanzen sind daher ein Kernziel der Forschungsförderung. Das BMEL fördert zahlreiche Projekte, um die Artenvielfalt auf dem Energiepflanzen-Acker zu erweitern und die Anbauverfahren zu optimieren. Infrage kommen Fruchtfolgen im jährlichen Wechsel oder Mischfruchtanbau. Für mehrere Regionen Deutschlands wurden besonders für bestimmte Standorte angepasste Energiepflanzen untersucht und ermittelt, wie die Sorghum-Hirse, die Sonnenblume, die Durchwachsene Silphie und weitere Wildpflanzen, die als Energiepflanzen genutzt werden können.

### Biotreibstoffe – Sprit aus Stroh

Biokraftstoffe machen mobil, denn sie können für den Antrieb von Verbrennungsmotoren in Autos, LKW, Schiffen oder Flugzeugen eingesetzt werden. Biokraftstoffe sind die zur Zeit wichtigste erneuerbare Alternative für energieeffiziente Verkehrsstrukturen der Zukunft. Im Jahr 2012 deckten Biokraftstoffe 5,7 % des deutschen Kraftstoffverbrauchs ab. Mit einem Jahresverbrauch von 2,2 Mio. Tonnen machte Biodiesel 2013 den Großteil des deutschen Biokraftstoffmarktes aus, während 1,2 Mio. Tonnen Bioethanol abgesetzt wurden. Biomethan kann uneingeschränkt als Kraftstoff in Erdgasautos eingesetzt werden.

Biodiesel wird in Deutschland in über 30 Produktionsstandorten insbesondere aus Rapsöl gewonnen. Bei der chemischen Umwandlung fällt das Produkt Glycerin als Nebenprodukt für die Industrie an. Ein biobasierter Ottokraftstoff, der Superbenzin zugemischt wird, lässt sich mit Bioethanol herstellen. Im Jahr 2013 hat der Branchenverband Bioethanol in den neun Anlagen hierzulande einen Produktionsanstieg von über 9 % gemeldet, 672.000 Tonnen Ethanol wurden zumeist aus Zuckerrüben oder Getreide gewonnen.

Auf dem Weg zu einer neuen Generation von Biokraftstoffen zielen die Hersteller künftig stärker als bisher auf die vollständige Nutzung von Biomasse ab. Idealerweise steht die eingesetzte Biomasse nicht mit der Nahrungsmittelproduktion in Konkurrenz. Es werden also möglichst keine Früchte genutzt, sondern vielmehr Stroh oder Holzhackschnitzel. In sogenannten Bioraffinerien können die nachwachsenden Rohstoffe, meist mithilfe biotechnischer Prozesse, in Wertstoffe verwandelt werden. In diesen Hightech-Multifunktionsanlagen wird die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse möglichst eng miteinander gekoppelt. Um die Weichen für die Bioraffinerie-Forschung und Entwicklung zu stellen, hat das BMEL gemeinsam mit dem BMBF das Potential unterschiedlicher Konzepte durch Fachleute prüfen lassen. Die „Roadmap Bioraffinerien“ wurde 2012 vorgelegt. Eine Bioraffinerie-Demonstrationsanlage für die Biokraftstoffherstellung ist bereits in Straubing entstanden (siehe Kasten). Eine biotechnologische Produktion eines gasförmigen Biotreibstoffs, Isobutan, strebt wiederum ein Unternehmen am Standort Leuna an (siehe Kasten).

### Thermochemische Route zum Treibstoff

Ein thermochemisches Nutzungskonzept wird bei sogenannten Biomass-to-Liquid (BtL)-Treibstoffen verfolgt: Hier werden die komplexen Moleküle der Biomasse bei hoher Temperatur in ein Synthesegas, einem Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, umgewandelt. Das Synthesegas wird dann zu flüssigen Kohlenwasserstoffen – dem Kraftstoff – umgewandelt. Die in der Biomasse ebenfalls enthaltenen Elemente wie Stickstoff oder Schwefel werden abgetrennt. Der synthetische Treibstoff ist frei von Fremdstoffen und hat deshalb bessere Verbrennungseigenschaften als herkömmlicher Diesel.

Ein weiterer Vorteil des Synthesekraftstoffs: potentiell kann die gesamte Pflanze genutzt werden. Eine kommerzielle Nutzung der Technik erfolgt heutzutage noch nicht. Es wird jedoch intensiv an BtL-Kraftstoffen geforscht. Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wird unter dem Namen „bioliq“ ein Verfahren zur Herstellung von Synthesekraftstoffen entwickelt. Gemeinsam mit einem Industriepartner wird Restbiomasse wie Stroh in einem vierstufigen Verfahren zu Biokraftstoff umgesetzt. Besonders charakteristisch ist hierbei die

erste Stufe, bei der die trockene Restbiomasse dezentral durch Schnellpyrolyse in eine rohölartige Substanz von hoher Energiedichte umgewandelt wird. Diese Substanz lässt sich wirtschaftlich über große Strecken transportieren und zentral weiterverarbeiten. In der Pilotanlage am KIT geht es nun darum, die vollständige Prozesskette im Zusammenspiel zu erproben und für die industrielle Großanwendung zu optimieren. Insgesamt wurden bisher rund 27 Mio. Euro vom BMEL investiert.

### Algen: Sprit aus grünen Ölquellen

Für die Biotreibstoff-Gewinnung rücken zunehmend Mikroalgen und Cyanobakterien in den Blickpunkt. Der Vorteil dieser Mikroorganismen: Sie betreiben Photosynthese und können somit direkt die Energie des Sonnenlichts für die Herstellung von energiereichen Zuckermolekülen aus Kohlendioxid nutzen. Je nach Art und Kultivierung speichern die Organismen unterschiedlich hohe Konzentrationen an Lipiden, Kohlenhydraten und Proteinen. Bis diese im Sinne des Bioraffineriekonzepts im industriellen Maßstab genutzt werden können, sind jedoch wichtige technische Fragen zu klären, etwa wie die Aufreinigung der produzierten Wertstoffe verbessert werden kann.

### Im Aufwind: Kraftstoffe aus Algenöl für die Luftfahrt

Eine globale Gesellschaft und funktionierende Weltwirtschaft ist ohne Mobilität nicht denkbar. Gerade für die Luftfahrt können Biokraftstoffe eine klimafreundliche Alternative zum erdölbasierten Kerosin bieten. Eine grüne Quelle für den Flugzeug-Sprit: einzellige Algen. Sie nutzen Sonnenlicht direkt als Energiequelle, vermehren sich schnell und lassen sich außerhalb landwirtschaftlicher Nutzflächen züchten. Einige Spezies enthalten hohe Anteile an fetten Ölen – diese sind für die Produktion von biobasiertem Sprit besonders interessant. Testflüge mit algenbasiertem Kerosin gab es schon, doch die Algenkultivierung und die Biotreibstoffherstellung müssen noch deutlich effizienter werden. Wissenschaftler am Forschungszentrum Jülich untersuchen in dem Verbundprojekt AUFWIND mit 12 Partnern, inwieweit sich Biomasse aus Mikroalgen als Basis für die Herstellung von Kerosin eignet. Zentrale Fragen sind dabei die wirtschaft-

liche und ökologische Umsetzbarkeit des Prozesses. Das BMEL fördert das Vorhaben mit 5,75 Mio. Euro. In Jülich ist dazu ein eigenes „Algen Science Center“ aufgebaut worden. Mit der Airbus-Gruppe ist auch Europas größter Flugzeugbauer beteiligt.



© Forschungszentrum Jülich

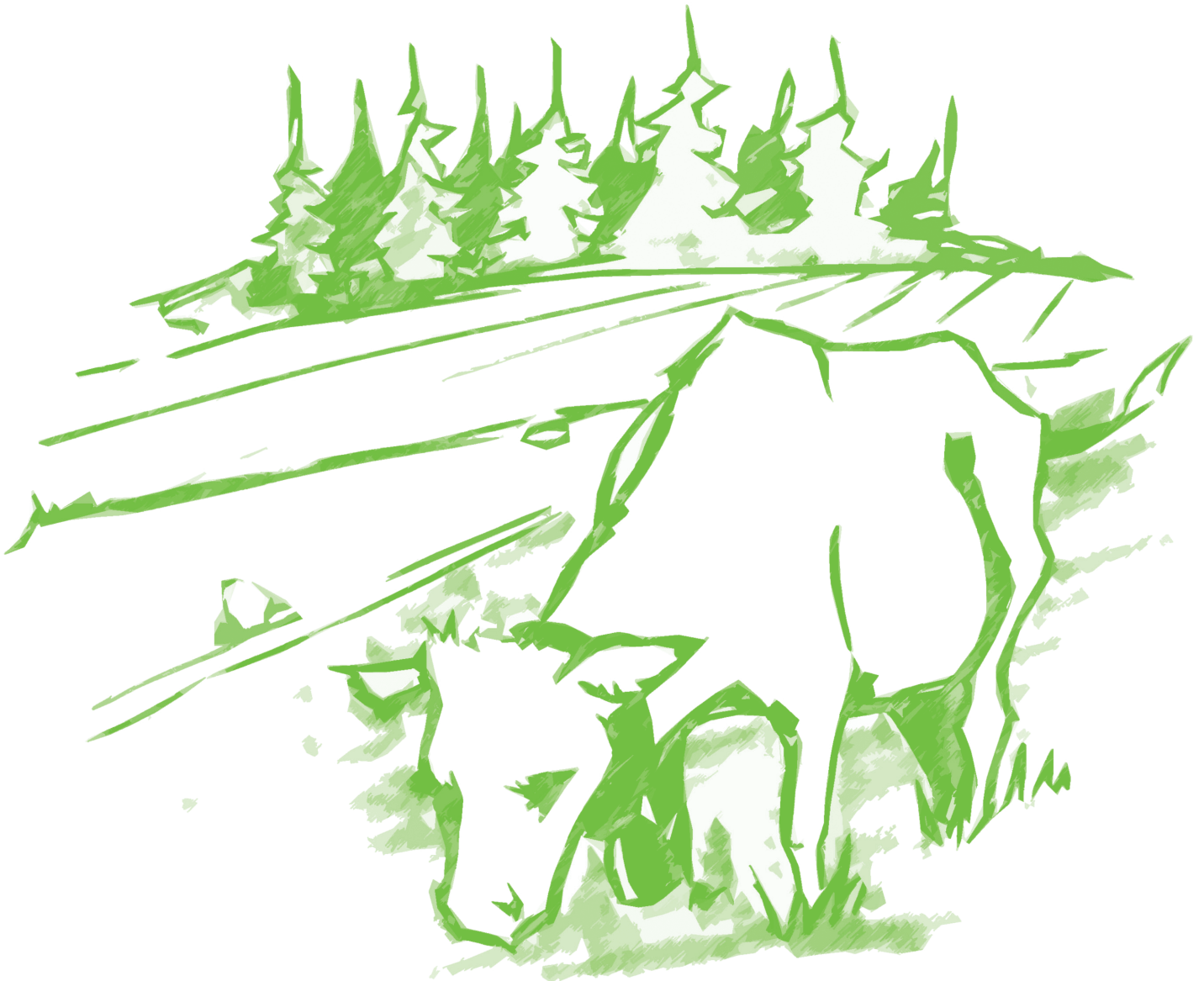
# Land-/Forstwirtschaft

## DATEN & FAKTEN

Unternehmen	285.000
Mitarbeiter	1.000.000
Umsatz	32 Mrd. Euro

**Produkte aus der Bioökonomie:**  
Biobasierte Rohstoffe, Aquakultur,  
Agrarholz, Pflanzen- und Tierzucht

© Destatis/2013



**Land- und Forstwirtschaft sind tragende Säulen der Bioökonomie. Die auf Wiesen, Äckern und in Wäldern erzeugte pflanzliche Biomasse bildet das Fundament für die biobasierte Wirtschaft. Nutztiere wiederum sind für die Versorgung mit Lebensmitteln eine wichtige Ressource. Mit Hilfe neuester Forschungsansätze und Technologien wird die weitere nachhaltige Entwicklung von Land- und Forstwirtschaft stetig vorangetrieben.**

Pflanzen und Tiere sind die wichtigste Grundlage einer biobasierten Wirtschaft. Land- und Forstwirtschaft stellen zudem einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor dar. Mehr als 300.000 Unternehmen sind hier in Deutschland aktiv. Die Bedeutung der Land- und Forstwirtschaft für die Wertschöpfung im ländlichen Raum ist groß. Land- und Forstwirte bewirtschaften und pflegen mehr als Dreiviertel der Fläche Deutschlands. Nach dem Zweiten Weltkrieg konnte ein Landwirt zehn Menschen ernähren. Heute macht er 147 Menschen satt. Viele Landwirte haben zusätzlich in den vergangenen Jahren ihr Arbeitsfeld erweitert. Sie erzeugen biobasierte Rohstoffe für die Industrie und Biomasse für erneuerbare Energien. Dazu gehören Industrie- und Energiepflanzen wie Raps oder Mais sowie Nebenprodukte wie Gülle oder Stroh. In Fermentern entstehen dann aus der landwirtschaftlichen Biomasse Ausgangsstoffe für biobasierte Kunststoffe oder andere nachhaltige Chemikalien (vgl. Chemie), in Biogasanlagen oder Blockheizkraftwerken werden daraus Wärme, Strom und Kraftstoffe (vgl. Energie). Rund die Hälfte der Landwirte sind zugleich Waldbesitzer. Der Rohstoff Holz wird vielfach weiterverwertet: zu Schnitt- und Sperrholz, zu Holzwerkstoffen und Holz-Kunststoff-Verbünden, zu Papier und Pappe oder zu Bioenergiepellets und -briketts.

### Präzisionslandwirtschaft auf dem Vormarsch

Diese Weiterentwicklung der Landwirtschaft im Sinne einer nachhaltigen und ressourceneffizienten Bewirtschaftung ist unter anderem dem immensen technologischen Fortschritt der vergangenen Jahrzehnte zu verdanken. Für den Ackerbau wird beispielsweise die Präzisionslandwirtschaft immer wichtiger. Bereits heute sind „intelligente“ Traktoren und Erntemaschinen Realität: Ausgestattet mit Sensortechnik, Bordcomputern

und Satellitennavigation können die Zugmaschinen, Traktoren und Arbeitsmaschinen bei der Fahrt über das Feld den Zustand des Pflanzenbestandes erfassen, mit dem programmierten Düngebedarf abgleichen, mit Geodaten kombinieren und damit punktgenau auf Boden und Nährstoffbedarf der Pflanzen abgestimmt düngen. Die Präzisionslandwirtschaft trägt mit dazu bei, Agrarflächen bedarfsgerecht, umweltschonend und energiesparend zu bewirtschaften und die Emission von Treibhausgasen sowie den Verbrauch von Kraftstoff, Pflanzenschutz- und Düngemitteln zu reduzieren. Agrartechnische Innovationen haben auch Tierhaltung und Tiergesundheit entscheidend verbessert, der moderne Stall ist inzwischen vielfach mit Hightech-Sensoren ausgestattet, um Trinkwasser- und Futtermittelgabe

### Allianz der Agrarforscher



© CAU/Sandra Sieraad

Die Deutsche Agrarforschungsallianz DAFA ist ein Gemeinschaftsprojekt der deutschen Agrarforschung. Das strategische Netzwerk bringt ausgewiesene Agrarwissenschaftler von öffentlichen Forschungseinrichtungen zusammen und verfolgt das Ziel, die Leistungsfähigkeit, die Transparenz und die internationale Sichtbarkeit der deutschen Agrarforschung zu verbessern. Die Identifizierung von Forschungsherausforderungen ist der Schwerpunkt der DAFA-Arbeit. Unter dem Dach der DAFA existieren eigene Fachforen zu den Themen Nutztiere, Leguminosen, Grünland, Aquakultur, Zukunft des Systems Ökolandbau. Das Bundesministerium für Landwirtschaft hat den Aufbau der DAFA seit 2010 mit einer Anschubfinanzierung unterstützt.

Mehr Informationen: [www.dafa.de](http://www.dafa.de)

bedarfsgerecht zu steuern sowie um das automatische Melken anzubieten. Solche technologischen Entwicklungen werden auch künftig dazu beitragen, den Ressourcenverbrauch in der Landwirtschaft zu reduzieren und die Bewirtschaftung im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft weiter voranzutreiben. Im Rahmen der Bioökonomie wird es nun darauf ankommen, das vielfältige Wissen für einzelne Bereiche der Landwirtschaft noch stärker als bisher untereinander zu vernetzen und auch vor- und nachgelagerte Bereiche noch stärker mit einzubeziehen.

### Ernte steigern, Ressourcen nachhaltig nutzen

Dies gilt insbesondere mit Blick auf die globale Nachfrageentwicklung. Sie stellt auch die hiesige Landwirtschaft vor vielfältige Herausforderungen: Aufgrund der wach-

senden Weltbevölkerung steigt der Bedarf an Biomasse stetig. Dem kann nicht einfach über einen verstärkten Anbau von Pflanzen begegnet werden, da die weltweit verfügbare Ackerfläche pro Kopf rückläufig ist. Gründe dafür sind ausgedehnte Siedlungsflächen, Erosion, Auswirkungen des Klimawandels und eine nicht-nachhaltige Nutzung. Deshalb kann nach Ansicht von Fachleuten insbesondere durch Verbesserung der angebauten Nutzpflanzen und durch innovative sowie umweltschonende Anbaumethoden der steigende Bedarf an Biomasse gedeckt werden. Hier können die Agrarforschung und die Pflanzenzüchtung entscheidende Impulse setzen. Deutschland ist bei der Pflanzenforschung im internationalen Vergleich gut aufgestellt. Neben rund 30 Universitäten betreiben in Deutschland 25 Institute der großen Forschungsorganisationen und Ressortforschungsins-

### Nutzpflanzen für den Anbau der Zukunft fit machen

Ob ertragreiches Getreide, robuste Zuckerrüben oder schneller wachsende Pappeln: Die Entwicklung von Nutzpflanzen, die zukünftigen Anforderungen gewachsen sind, verlangt nach innovativen Forschungsansätzen. Unter dem Dach von PLANT 2030 sind die vom BMBF geförderten Forschungsaktivitäten für angewandte Pflanzenforschung gebündelt. Derzeit gehören dazu die Förderinitiative „Pflanzenbiotechnologie für die Zukunft“ und Förderprojekte im Rahmen des transnationalen Programms „PLANT-KBBE“. Hierbei kooperieren öffentliche Forschungsinstitutionen und Unternehmen aus Pflanzenzüchtung und verwandten Bereichen der Bioökonomie. Die privaten Partner tragen dabei einen Teil der Kosten für ihre Teilprojekte selbst. Die privatwirtschaftlichen Unternehmen sind im Wirtschaftsverbund PflanzenInnovation (WPI) organisiert. Die Projekte

zur angewandten Pflanzenforschung stützen sich dabei insbesondere auf das Wissen, das die Genomforschung in den vergangenen Jahren zutage gefördert hat. Die hier gesammelten Erkenntnisse sind für die gesamte Landwirtschaft von Interesse. So haben deutsche Pflanzenforscher weltweit beachtete Beiträge geleistet, etwa bei der Entzifferung des Zuckerrübengenoms. Auch bei der Erstellung des bisher detailliertesten Genkatalogs der Gerste waren deutsche Forscher in einem internationalen Konsortium federführend beteiligt und haben die Weichen für die vollständige Sequenzierung des komplexen Genoms gestellt. Diese Erkenntnisse können nun in die weitere Entwicklung neuer Sorten sowie in eine Optimierung von Anbaumethoden einfließen.

Mehr Infos: [www.pflanzenforschung.de](http://www.pflanzenforschung.de)



titute des Bundes, wie das Julius Kühn-Institut und das Johann Heinrich von Thünen-Institut an verschiedenen Standorten pflanzenbezogene Agrarforschung. Letztere werden durch Mittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) getragen. Im Agrarbereich wird aber auch in den vielen mittelständischen landwirtschaftlichen Unternehmen sowie an Einrichtungen der Länder einschließlich der Institute der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL) geforscht.

Angetrieben wird die Forschung für die Pflanzennutzung im Sinne einer biobasierten Wirtschaft dabei von mehreren Zielen: Zum einen wird angestrebt, den Ertrag von Nutzpflanzen zu steigern, sei es durch robustere und besser an die jeweiligen Umweltbedingungen angepasste Gewächse. Moderne Pflanzenzüchtung soll aber auch dazu beitragen, die Sortenvielfalt auszubauen und das Spektrum an von Pflanzen produzierten Inhaltsstoffen zu erhöhen. Gefragt sind insbesondere neue Sorten, die widerstandsfähig gegenüber Stressfaktoren wie Trockenheit, Nährstoffmangel und Salzüberschuss sind. Gleichzeitig gilt es aber auch, die vorhandenen Umweltressourcen wie Böden, Wasser und Nährstoffe möglichst effizient und nachhaltig zu nutzen sowie die Biodiversität im Auge zu behalten.

Vor- und Nachteile pflanzenzüchterischer Neuerungen werden beispielsweise in Verbundprojekten der BMBF-Förderinitiative „Innovative Pflanzenzüchtung im Anbausystem (IPAS)“ untersucht. Hier geht es darum, Pflanzen im Gesamtsystem zu betrachten und aktuelle Entwicklungen in der Landwirtschaft auf ihre sozialen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen hin zu untersuchen.

### Genom von Gerste und der Zuckerrübe im Visier

Einen wichtigen Baustein innerhalb der Pflanzenzüchtung stellt die Pflanzengenomforschung dar: Wie haben sich Pflanzen über die Jahre an ihre Umweltbedingungen angepasst? Welche Eigenschaften sind in traditionellen Sorten genetisch verankert und womöglich im Laufe der modernen Züchtung verlorengegangen? Zwischen 1999 und 2014 hat das BMBF Forscher in Wissenschaft und Wirtschaft mit rund 160 Mio. Euro im Rahmen der För-

### Innovationsförderung des BMEL

**Pflanzenzüchtung:** In der Forschungsförderung des BMEL nimmt die Pflanzenzüchtung naturgemäß einen bedeutenden Platz ein. Im BMEL „Programm zur Innovationsförderung“ werden beispielsweise Vorhaben gefördert, die dazu beitragen, die Anpassungsfähigkeit von Kulturpflanzen und deren Qualität an sich ändernde Standort- und Klimabedingungen zu sichern. Dies ist ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Welternährung. Eine aktuelle Fördermaßnahme zielt auf die „Züchtung von leistungsfähigen Weizensorten“. Weizen ist weltweit mit einer Anbaufläche von über 215 Mio. Hektar eine der wichtigsten Kulturpflanzen. Der Einsatz und die Nutzung moderner Verfahren der Pflanzenzüchtung soll dazu beitragen, dass die Versorgung mit Weizen als Nahrungs- und Futtermittel sowie als Rohstoff auch unter den sich abzeichnenden Klimaveränderungen gesichert bleibt.

**Pflanzenschutz:** Der effiziente und umweltverträgliche Pflanzenschutz gehört zu den entscheidenden Elementen, um eine ausreichende Menge an pflanzlichen Produkten sowie eine damit verbundene hohe Qualität sicherzustellen. Im Innovationsprogramm des BMEL wird die Optimierung integrierter Pflanzenschutzverfahren von der Diagnostik des Befalls bis hin zur computer- und geoinformationsgestützten Entscheidungshilfe für den Pflanzenschutz Einsatz gefördert.

**Agrartechnik:** Ein weiteres wichtiges Element zur sicheren Versorgung mit Rohstoffen aus Kulturpflanzen ist die effiziente Agrartechnik. Auch hier wird eine ständige Optimierung durch das Innovationsprogramm des BMEL gefördert, wobei derzeit Aspekte der Informations- und Kommunikationstechnik zur Regelung, Steuerung, Überwachung und Automation der eingesetzten Maschinen im Vordergrund der Entwicklung stehen.

dermaßnahme „Genomanalyse im biologischen System Pflanze (GABI)“ gefördert, um Fragen wie diese zu klären. Fortgeführt werden die Aktivitäten in der Initiative PLANT 2030 (siehe Kasten).



© André Kunzelmann/UFZ

In modernen Gewächshäusern untersuchen Forscher am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Bad Lauchstädt, wie sich unterschiedliche Klimabedingungen auf Wachstum und Ertrag von Pflanzen auswirken.

Neben Studien an Modellpflanzen nehmen die Forscher in Zusammenarbeit mit Unternehmen dabei wichtige Nutzpflanzen unter die molekulare Lupe. Ein Beispiel: Die Gerste, die nach dem Weizen hierzulande als das zweitwichtigste Getreide gilt. Trotz seiner Größe und Komplexität konnte das Gerstenerbgut bis heute fast vollständig entziffert werden. Ein internationales Konsortium unter Führung von Wissenschaftlern aus Gatersleben hat dazu eine gründliche Inventur des Gerstengenoms vorgenommen und einen umfassenden Genkatalog erstellt. Diese molekulargenetische Karte ist eine äußerst wertvolle Ressource für Pflanzenforscher und Pflanzenzüchter weltweit: Sie schafft die nötige Voraussetzung, um das Gerstengenom vollständig sequenzieren zu können. Hieraus werden aufbauend neue Sorten entwickelt. Ähnlich erfolgreiche Sequenzierungs-Projekte gibt es auch für andere Nutzpflanzen, so etwa die Zuckerrübe. Auch hier sind deutsche Forscher an der Entzifferung und der Genomanalyse maßgeblich beteiligt.

Die Pflanzenwissenschaftler können dabei auf eine große Vielfalt an Werkzeugen zurückgreifen (vgl. Hightech-Werkzeuge). Sie helfen dabei, interessante Merkmale aufzuspüren und unter Einsatz biotechnologischer Verfahren den Züchtungsprozess insgesamt zu beschleunigen.

Hinzu kommen Forschungsansätze, die mit Hilfe modernster Techniken verschiedene Klimaszenarien im Gewächshaus simulieren können und darauf aufbauend Auswirkungen auf Wachstum und Ertrag errechnen können. Derartige Arbeiten werden unter anderem am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Bad Lauchstädt durchgeführt. Denn während die langfristigen und globalen Auswirkungen des Klimawandels intensiv erforscht werden, gibt es für die regional stark variierenden Extremwetterlagen infolge des Klimawandels bislang kaum belastbare Forschungsergebnisse.

Um hierüber fundierte Informationen zu erhalten, hat das BMEL zudem das Forschungsprojekt „Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen“ angestoßen. Es wird als Verbundprojekt von den Ressortforschungsinstituten des BMEL, dem Thünen-Institut und dem Julius Kühn-Institut, in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) sowie verschiedenen externen Forschungseinheiten bearbeitet. Erste Ergebnisse legen nahe, dass Hagel, Spätfröste, Trockenheit und Staunässe für die Betriebe mit Gemüse-, Obst-, Wein- und Hopfenanbau die größten Herausforderungen darstellen. Demgegenüber sind Sturmereignisse, extreme Trockenheit und Hitze für die Forstwirtschaft

von besonderer Bedeutung. Im Frühjahr 2015 wollen die Experten einen Abschlussbericht vorlegen. Des Weiteren wird der Blick auf sich wandelnde äußere Merkmale von Pflanzen zunehmend wichtiger. Um die Auswirkung bestimmter genetischer Veränderungen auf die Pflanze zu überprüfen und zu verstehen, muss ihre Wechselwirkung mit der Umwelt berücksichtigt werden. Dies erfolgt durch eine Phänotypisierung. Gemeint ist damit, Gewächse nach komplexen äußeren Merkmalen oder Eigenschaften abzusuchen und genau zu vermessen, ohne sie dabei zu verletzen oder zu zerstören. Um Kapazitäten hierzulande aufzubauen, unterstützt das BMBF seit Anfang 2013 das „Deutschen Pflanzen-Phänotypisierungs-Netzwerk“ (DPPN) in Jülich, wo eine Hochdurchsatz-Anlage zur Durchmusterung von Pflanzen etabliert wird. Erkenntnisse, die hier – in Kooperation mit Forschern am Helmholtz-Zentrum in München und am IPK in Gatersleben – gesammelt werden, können wiederum in die Pflanzenzüchtung einfließen.

### Ökologischer Landbau: Effektivere Gründung

Für Öko-Landwirte gehört nachhaltiges, biobasiertes Wirtschaften seit jeher zum Kern ihres Tuns. Um besonders ressourcenschonend und umweltverträglich zu wirtschaften und die Eingriffe in die Natur so gering wie möglich zu halten, legen Öko-Landwirte Wert auf möglichst geschlossene Betriebskreisläufe und bauen das Futter für die Tiere hauptsächlich im eigenen Betrieb an. Auf leicht lösliche Mineraldünger und chemischen Pflanzenschutz wird verzichtet. Um die Böden fruchtbar zu halten, düngen Bio-Bauern mit Mist oder Gülle oder sie bauen regelmäßig Früchte wie Ackerbohnen, Erbsen oder Klee an, die die Fruchtbarkeit des Bodens verbessern. 2012 gab es in Deutschland rund 23.000 Betriebe (7,7% aller Betriebe), die nach den Regeln des ökologischen Landbaus gearbeitet haben. Zusammen bewirtschafteten sie rund 6% der landwirtschaftlich genutzten Fläche – gut eine Million Hektar. Ähnlich wie

### Stickstoffsammler auf dem Acker: Fruchtbare Böden durch Leguminosen

Der ökologische Landbau strebt ein Wirtschaften im Einklang mit der Natur an, insbesondere durch Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel und Mineraldünger – schließlich sind Pflanzenschutzmittel im Ökolandbau nur in sehr eingeschränktem Maße zugelassen. Stattdessen setzen die Landwirte auf Stallmist, Gülle oder Gärreste aus Biogasanlagen als Nährstofflieferanten. Des Weiteren nutzen sie Leguminosen.

Leguminosen dienen im Ackerbau als Stickstoffsammler und Eiweißquelle in der Tierhaltung. Der Anbau von Erbse, Ackerbohne und Lupine ist unverzichtbar, gilt jedoch als anspruchsvoll und ist betriebswirtschaftlich anderen Kulturen häufig unterlegen. Bekannt ist auch, dass nach mehreren Jahren Anbau, der Acker Anzeichen von Bodenmüdigkeit aufzeigt. In einem interdisziplinären Verbundprojekt zur Bodenfruchtbarkeit, im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖLN) gefördert durch das BMEL, wurden zwischen 2008 und 2012 in 32 Betrieben Strategien erprobt, mit denen sich der Anbau der Leguminosen optimieren lässt. Von Maßnahmen zur zusätzlichen Bodendüngung mit Gehölzhäckseln oder Grüngutkompost über die Unkrauteindämmung –

die Projektergebnisse zeigen vielfältige neue Wege für die Praxis auf. Im Rahmen der vom BMEL 2012 aufgelegten Eiweißpflanzenstrategie sind bundesweit eine Reihe weiterer Forschungs- und Netzwerkvorhaben gestartet, die darauf abzielen, den Anbau und die Verwendung von Leguminosen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu verbessern.



ihren konventionell anbauenden Kollegen ist das Thema Ertrag auch im Ökolandbau eine wichtige Frage – nicht zuletzt auch mit Blick auf eine immer größere Nachfrage nach Bioprodukten in der Gesellschaft.

Entsprechend groß ist das Interesse an neuen Forschungserkenntnissen zur Landnutzung und Bodenfruchtbarkeit oder anderen Strategien, um Erträge nachhaltig zu steigern. Hierbei gilt das Potential von Leguminosen längst nicht als ausgeschöpft. Diese Pflanzen können dank Knöllchenbakterien an ihren Wurzeln Stickstoff aus der Luft fixieren. Sie stellen deshalb eine wichtige Düng Quelle für die Böden dar. Zudem sind sie reich an Eiweißen und damit ein wertvoller Eiweißlieferant. Im Rahmen der Bioökonomie fördert die Bundesregierung im Zuge der Eiweißpflanzenstrategie Projekte, die dem Anbau und der Züchtung von eiweißhaltigen Lupinen, Soja, Erbsen und Ackerbohnen hierzulande wieder zu einem Aufschwung verhelfen sollen (siehe Kasten S.43).

### Holzproduktion durch Züchtung gezielt ankurbeln

Der Wald ist eine der wichtigsten natürlichen Ressourcen, denn Holz ist für verschiedenste Industriesektoren ein wertvoller Rohstoff. Vor diesem Hintergrund hat die

Bundesregierung im Jahr 2011 die „Waldstrategie 2020“ veröffentlicht. Diese hat zum Ziel, eine ausgewogene und tragfähige Balance zwischen den steigenden und teilweise konkurrierenden Ansprüchen der Gesellschaft an den Wald und seiner nachhaltigen Leistungsfähigkeit zu finden. In der Strategie sind auch die strategischen Zielsetzungen für eine nachhaltige Holzproduktion aus deutschen Wäldern festgeschrieben. Hierbei spielt die Züchtung eine wichtige Rolle, denn gerade bei Bäumen gestaltet sich die Züchtung besonders aufwendig und langwierig. Um hier dennoch langfristig eine Kontinuität zu gewährleisten, haben die für Forstpflanzenzüchtung zuständigen Institutionen des Bundes und der Länder unter Federführung des Thünen-Instituts für Forstgenetik eine „Züchtungsstrategie“ erarbeitet, die für die nächsten 15 Jahre angelegt ist und für sechs Baumarten gilt. Diese Strategie ist die Grundlage für ein erstes Verbundprojekt (FitForClim), das über den Waldklimafonds des Bundeslandwirtschafts- sowie des Bundesumweltministeriums gefördert wird. Für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft arbeitet das Thünen-Institut für Forstgenetik hier gemeinsam mit den forstlichen Versuchsanstalten der Länder an der Bereitstellung von leistungsfähigem und hochwertigem Forstvermehrungsgut der Baumarten Douglasie,



© Marek Schildbach/UFZ

Pappel-Ernte in einer Kurzumtriebsplantage: Nach drei Jahren Dauerkultur werden die Baumstämme abgeschnitten und zerhackt.

Fichte, Kiefer, Bergahorn, Lärche und Eiche. Hierbei werden Verwendungszonen ausgewiesen, Ausleseebäume selektiert und Zuchtpopulationen aufgebaut. So können Pflanzentechnologien und Erkenntnisse der Forstgenetik dabei helfen, schneller neues Vermehrungsgut zu entwickeln. Dies gilt auch für den wirtschaftlich bedeutenden Markt mit Weihnachtsbäumen: Jedes Jahr werden in Deutschland fast 700 Mio. Euro dafür ausgegeben. Rund 29 Mio. Bäume werden verkauft. In den Baumschulen Oberdorla wird im Rahmen der BMBF-Förderinitiative „KMU-innovativ“ daran geforscht, robuste Douglasien und Tannen zu züchten und mit Verfahren der In-vitro-Vermehrung klonal zu vervielfältigen. Ein Ziel: Der Weihnachtsbaum, der gut in Plantagen gedeiht – mit Pflanzen gleichbleibender Qualität.

Im BMEL-Verbundprojekt FastWOOD, an dem acht Partner beteiligt sind, geht es darum, durch moderne Pflanzenzüchtung den Anbau von Pappeln, Weiden und Robinien auf sichere Beine zu stellen und die Voraussetzungen für einen großflächigen, sicheren und wirtschaftlichen Anbau in Kurzumtriebsplantagen zu verbessern. Neben der Züchtung geht es aber auch darum, ungenutzte Rohstoffpotentiale zu nutzen. So sind infolge der außergewöhnlichen Sturmereignisse der vergangenen Jahrzehnte in vielen Bundesländern Flächen entstanden, auf denen sich Vorwälder aus Pionierbaumarten wie Birke, Erle und Weide gebildet haben. Neue Ansätze zur Behandlung solcher Flächen werden zum Beispiel im BMEL-geförderten Projekt PioWood erprobt, das vom Waldbauinstitut der Universität Freiburg koordiniert wird.

### Nachhaltige Nutztierhaltung stärken

Neben Pflanzen sind Nutztiere eine unverzichtbare Ressource für die Versorgung der Menschen mit hochwertigen Lebensmitteln. Insbesondere mit Blick auf die Sicherung der Ernährungsgrundlage einer wachsenden Weltbevölkerung steigt der Bedarf an hochwertigen Lebensmitteln tierischer Herkunft. Expertenschätzungen zufolge bis 2050 um weltweit das Doppelte. Hinzu kommen Herausforderungen, die sich durch den Klimawandel, durch knapper werdende Ressourcen und wandelnde Verbraucheransprüche ergeben. Eine ressourcenschonende und artgerechte Tierhaltung hat daher im Rahmen der Bioökonomie einen hohen Stellenwert und



Forellen sind beliebte Aquakulturfische.

spielt in diversen Forschungsvorhaben an Universitäten, an außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie den Instituten der Ressortforschung eine wichtige Rolle. Um die Expertise überregional besser zu vernetzen, fördert das BMBF seit 2010 mehrere „Kompetenznetze in der Agrar- und Ernährungsforschung“, die dabei helfen können, gesellschaftliche Probleme mit agrarwissenschaftlichem Know-how zu lösen. Mit Milchforschung beschäftigt sich zum Beispiel ein von der Universität Kiel koordiniertes Netzwerk. Von der Fütterung über die Milchproduktion bis zur Gesundheit des Verbrauchers nehmen die Wissenschaftler die gesamte Wertschöpfungskette der Milch unter die Lupe. Dabei kooperieren die Forscher mit Unternehmen der Milch- und Futtermittelindustrie.

Agrarwissenschaftler in einem federführend in Rostock geleiteten Netzwerk wiederum konzentrieren sich auf die Erforschung von züchterisch interessanten Merkmalen bei Rind und Schwein – dazu setzen sie auf Genomanalysen und Bioinformatik. Denn innovative Ansätze, die zu robusteren und krankheitsresistenteren Nutztieren führen, sind zunehmend gefragt. In dem von der TU München koordinierten, BMBF-geförderten Cluster Synbreed haben Nutztiergenetiker erfolgreich das Erbgut des Fleckviehrinds nach Vererbungsmustern durchsucht, die die Gesundheit des Tieres positiv beeinflussen: zum Beispiel braunes Fell um die Augenpartie – solch eine

„Brille“ ist für Weidevieh ein wünschenswertes Merkmal. Denn es hilft, übermäßige Sonneneinstrahlung zu verringern und beugt Augenkrankheiten vor. Das BMEL fördert im Rahmen seiner Innovationsförderung ebenfalls zahlreiche Forschungsprojekte zur Nutztierhaltung. Mit Aspekten der Tiergesundheit und des Tierwohlergehens wiederum beschäftigen sich transnationale Projekte im europäischen ERA-Net „ANIHWA – Animal Health and Welfare“, die von BMBF und BMEL gemeinsam gefördert werden. Dabei geht es um eingeschleppte Krankheitserreger, die schnelle Identifizierung und Isolierung erkrankter Tiere sowie die Entwicklung neuer Diagnoseverfahren und Impfstoffe. Des Weiteren werden neue Wege im Umgang mit Antibiotika sowie Alternativen zum Antibiotikaeinsatz in der Nutztierhaltung erarbeitet. Ein wichtiges Thema in der Nutztierforschung

besteht zudem darin, Emissionen gezielt zu senken und eine Überdüngung zu vermeiden. Kühe, Schweine & Co scheiden klimarelevante Gase wie Methan aus, Harn und Kot enthalten Phosphor und Stickstoff. Im Rahmen der Bioökonomie werden inzwischen gezielt Konzepte verfolgt, diese sowohl zu reduzieren bzw. sie in einem intelligenten Kreislauf als Rohstoff für andere Produkte zu nutzen.

### Aquakultur auf Expansionskurs

Eine besondere Form der Nutztierhaltung ist die Aquakultur. Hierunter wird die kontrollierte Aufzucht, Haltung und Vermehrung aquatischer Organismen gefasst. Darunter fallen nicht nur Fische, sondern auch andere Süß- und Meereswasserbewohner wie Muscheln

## Winterharte Orchideen für den Garten – Blütenpracht mit innovativer Vermehrungstechnik

Orchideen sind die Königinnen unter den Zierpflanzen. Doch ihre Vermehrung per Samen ist ein verlustreiches Unterfangen und führt zu Pflanzen mit schwankender Qualität. Erst die klonale Massenvermehrung in der In-vitro-Gewebekultur hat tropische Orchideen als Zierpflanzen erschwinglich gemacht. Pflanzenforscher in Deutschland haben dieses Vermehrungsverfahren mit Hilfe von Labortechnik auf gezüchtete Gartenorchideen übertragen, wie zum Beispiel den Pünktchen-Frauschuh der Gattung

*Cypripedium* (Bild links). Das Team der Firma Nextplant, eine Ausgründung der Humboldt-Universität in Berlin, hat das Verfahren im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „KMU-innovativ: Biotechnologie“ entwickelt und sich nun auf die Produktion und Vermarktung der Freilandorchideen spezialisiert. Im Mai und Juni sind diese Pflanzen mit ihren weiß-purpurnen Blüten ein echter Blickfang. Da die Freilandorchideen winterhart sind, können sich Gartenfreunde viele Jahre an der wiederkehrenden Pracht erfreuen.



oder Algen. Weltweit zählt die Aquakultur zu den am stärksten wachsenden Sektoren der Lebensmittelerzeugung, mit jährlichen Wachstumsraten von 5% bis 8%. Was die Aquakultur für eine nachhaltige Produktion tierischen Eiweißes besonders interessant macht, ist ihre gute Ökobilanz. In Deutschland reicht die Aquakultur von naturnahen, extensiv bewirtschafteten Teichanlagen über Durchflussanlagen bis hin zu geschlossenen Warmwasserkreislaufanlagen. Die Aquakulturbetriebe sind hierzulande überwiegend in Familienhand. Im Jahr 2012 wurden nach Angaben des Statistischen Bundesamtes rund 20.000 Tonnen Speisefisch produziert. Damit hinkt Deutschland im internationalen Vergleich jedoch hinterher. Deutsche Aquakultur-Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft haben deshalb im Zuge einer EU-Verordnung einen „Nationalen Strategieplan Aquakultur“ (NASTAQ) ausgearbeitet. Darin werden Maßnahmen formuliert, um auch in Deutschland eine nachhaltige Produktionssteigerung in der Aquakultur zu erreichen.

An innovativen Ansätzen mangelt es nicht: An mehr als 30 deutschen Forschungseinrichtungen beschäftigen sich Wissenschaftler mit Fragen zur optimalen, nachhaltigen Aquakultur. Besonders vielversprechend sind hier Ansätze, die auf Kaskadennutzung setzen: Dank Wiederverwendung des gereinigten Wassers sowie durch die Nutzung von Abwärme von Biogasanlagen werden Aquakultur-Kreislaufanlagen zunehmend vom Wasser auf das Land verlegt und wirtschaftlich attraktiv. Die erste Meeresfisch-Zuchtfarm im Binnenland wurde durch die Stadtwerke im saarländischen Völklingen aufgebaut. Dort werden Wolfsbarsche, Doraden und Störe produziert, ab 2014 werden die ersten Fische in regionalen Supermärkten erhältlich sein. Auch in Mecklenburg-Vorpommern sowie in Schleswig-Holstein gibt es ähnliche Anlagen.

### Aquaponik und Urban Farming

Es werden aber auch ganz neuartige Ansätze verfolgt, um Pflanzenanbau und Nutztierhaltung in einem Kreislaufsystem zu kombinieren. Derartige Aquaponik-Systeme sind weitgehend geschlossene Anlagen, die Nährstoffe, Stoffwechselprodukte, Kohlendioxid und Wasser wiederverwerten. Unterstützt vom BMBF hat das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) zum Beispiel eine emissionsfreie Anlage entwickelt,

### Schmackhafte Pflanzenkost für den Butt



© GMA Büsum

Der Steinbutt wird in Aquakultur normalerweise mit Pellets aus Fischmehl gefüttert. Nun stehen pflanzliche Rohstoffe als alternative Proteinquelle zur Verfügung. Sie müssen ernährungsphysiologisch allerdings so optimiert werden, dass sie den Fischen auch schmecken. Forscher der Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH aus Büsum haben es zum Beispiel mit einer Zutat geschafft, beim Steinbutt den Appetit auf Rapsprotein-Pellets deutlich zu steigern. Dazu haben sie lipidsche Proteine aus Miesmuscheln gewonnen, die als Fangausschuss sonst nur im Abfall landen würden. Das Miesmuschel-Protein gibt der Pflanzenkost den Geschmack des Meeres zurück. Das BMEL unterstützt im Rahmen seiner Innovationsförderung Verbundprojekte, die sich mit alternativen Futtermitteln, neuen Spezies und nachhaltigen Produktionssystemen für die Aquakultur beschäftigen.

die Buntbarsche und Tomaten gemeinsam gedeihen lässt (vgl. Biobasierte Produktion). Andere innovative Konzepte setzen darauf, den Anbau von Pflanzen in den städtischen Lebensraum zu integrieren – etwa auf Dächern oder an Fassaden. Das sogenannte *urban farming* ist eine Zukunftsvision, um die Nachfrage nach regionalen Produkten mit zu bedienen sowie vor Ort anfallende Rest- und Abfallstoffe oder Abwärme gezielt zu nutzen. Am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) wird daran gearbeitet, Gewächshaustechnologien mit neuen Konzepten, innovativer Prozesstechnik und Materialforschung zu verbinden, um den spezifischen Anforderungen gebäudeintegrierter Landwirtschaft zu begegnen und technisch, ökonomisch und ökologisch vorteilhaft umzusetzen.

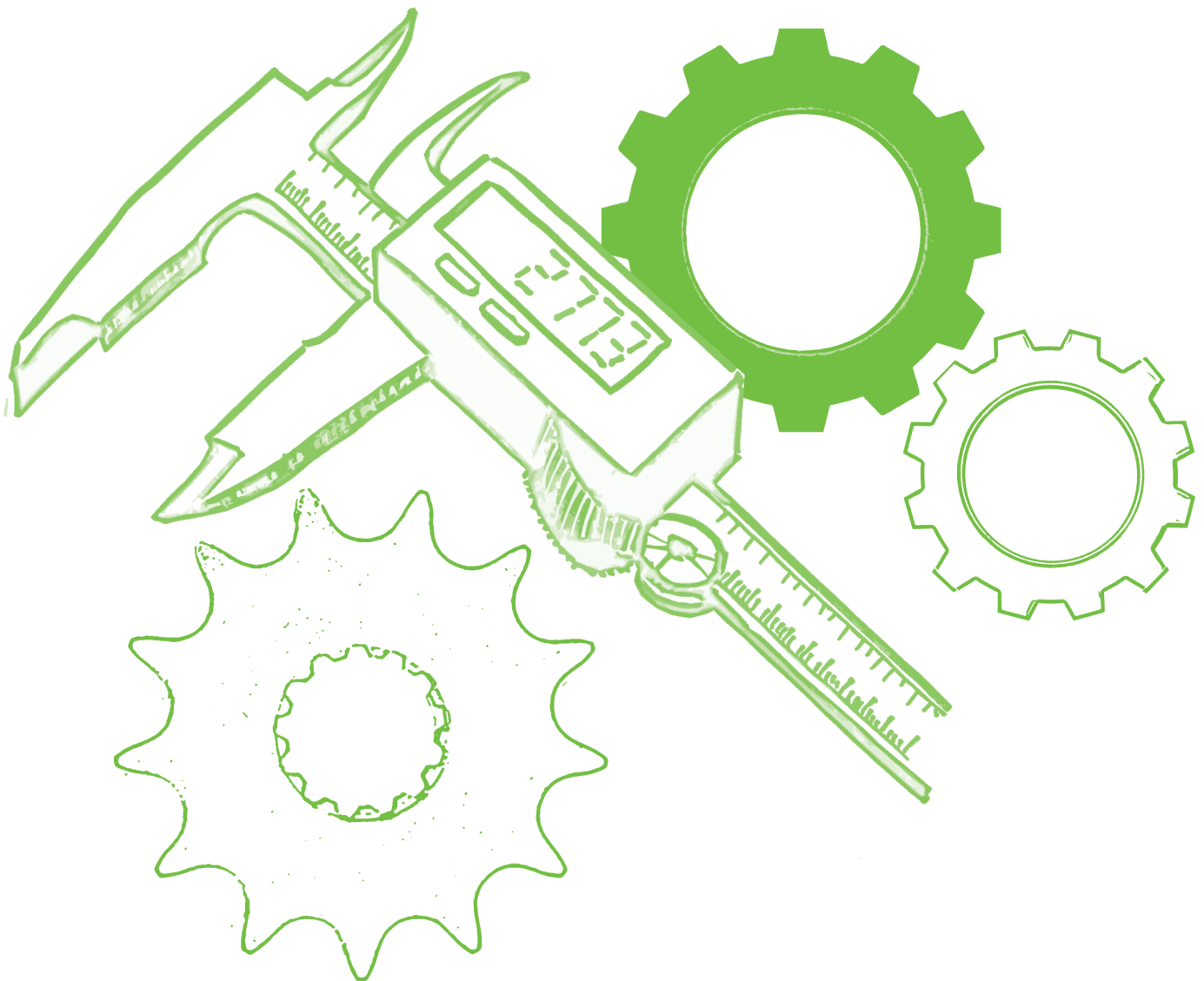
# Maschinenbau

## DATEN & FAKTEN

Unternehmen	6.227
Mitarbeiter	978.000
Umsatz	207 Mrd. Euro

**Produkte aus der Bioökonomie:**  
Bioprozesstechnik, Landtechnik,  
Mess- und Regelungstechnik

© VDMA/2012



**Deutschland gehört im Maschinenbau zu den führenden Nationen. Durch den Einsatz moderner Maschinen, Geräte und Verfahren lassen sich Produktionsprozesse – egal in welchem Industrie- oder Wirtschaftsbereich – nachhaltig und effizient gestalten. Für den weiteren Ausbau der Bioökonomie sind Innovationen aus dem Maschinenbau damit ein wichtiger Treiber.**

Der Maschinen- und Anlagenbau gehört zu den traditionellen Stärken des Wirtschaftsstandortes Deutschland: Die mehr als 20.000 Unternehmen sind ein Arbeitgeber für rund 1 Million Menschen. Anlagen, Maschinen, Verfahrens- und Prozesstechniken stellen in einer biobasierten Wirtschaft einen zentralen Faktor dar, um Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit umzusetzen. Dies gilt insbesondere mit Blick auf den Energiebedarf und den Wirkungsgrad, aber auch hinsichtlich der eingesetzten Schmierstoffe oder sonstigen Materialien. Eine besondere Herausforderung für Ingenieure besteht immer dann, wenn technische und biologische Anforderungen aufeinandertreffen. Dies gilt vor allem beim Aufbau von Bioraffinerien, in denen verschiedene biologische Rohstoffe in einem geschlossenen Stoffkreislauf verwertet werden (vgl. Die biobasierte Produktion). Je nach Spezifikation müssen Maschinen, Anlagen und Prozesse gezielt für den Umgang mit biologischen Materialien entwickelt werden – von der Erzeugung erneuerbarer Energie in Biogasanlagen bis hin zur Herstellung und Weiterverarbeitung von biobasierten Kunststoffen in der chemischen Industrie. Hierfür spielen die Bio- und Verfahrenstechnik sowie der hierauf spezialisierte Anlagenbau eine besondere Rolle.

Expertise im Maschinenbau ist aber auch gefragt, wenn für die Präzisionslandwirtschaft ein innovativer Landmaschinenbau sowie eine intelligente Mess- und Regelungstechnik gefragt ist (vgl. Land- und Forstwirtschaft). Hinzu kommen Neuentwicklungen im Bereich biobasierter Schmierstoffe sowie beim Einsatz von Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen bei innovativen Verbundwerkstoffen, die angesichts eines wachsenden Bedarfs nachhaltiger Industrie- und Produktionsprozesse ebenfalls zunehmend in den Markt drängen. Auch hier müssen Ingenieure Verfahren und Herstellungsprozesse anpassen sowie Fertigungsverfahren fit für die

Serienproduktion machen. Des Weiteren setzt auch die Lebensmittelverarbeitung auf neue Entwicklungen aus dem Maschinenbau. Dies gilt vor allem für Automatisierungsprozesse sowie robotergestützte Verfahren und Anlagen. Der Maschinenbau zählt damit innerhalb der Bioökonomie zu den Branchen, die über viele Quervernetzungen in unterschiedlichste Wirtschaftssektoren verfügen und mit Blick auf die eingesetzten technischen Geräte viele unterschiedliche Anforderungen zu bewältigen haben.

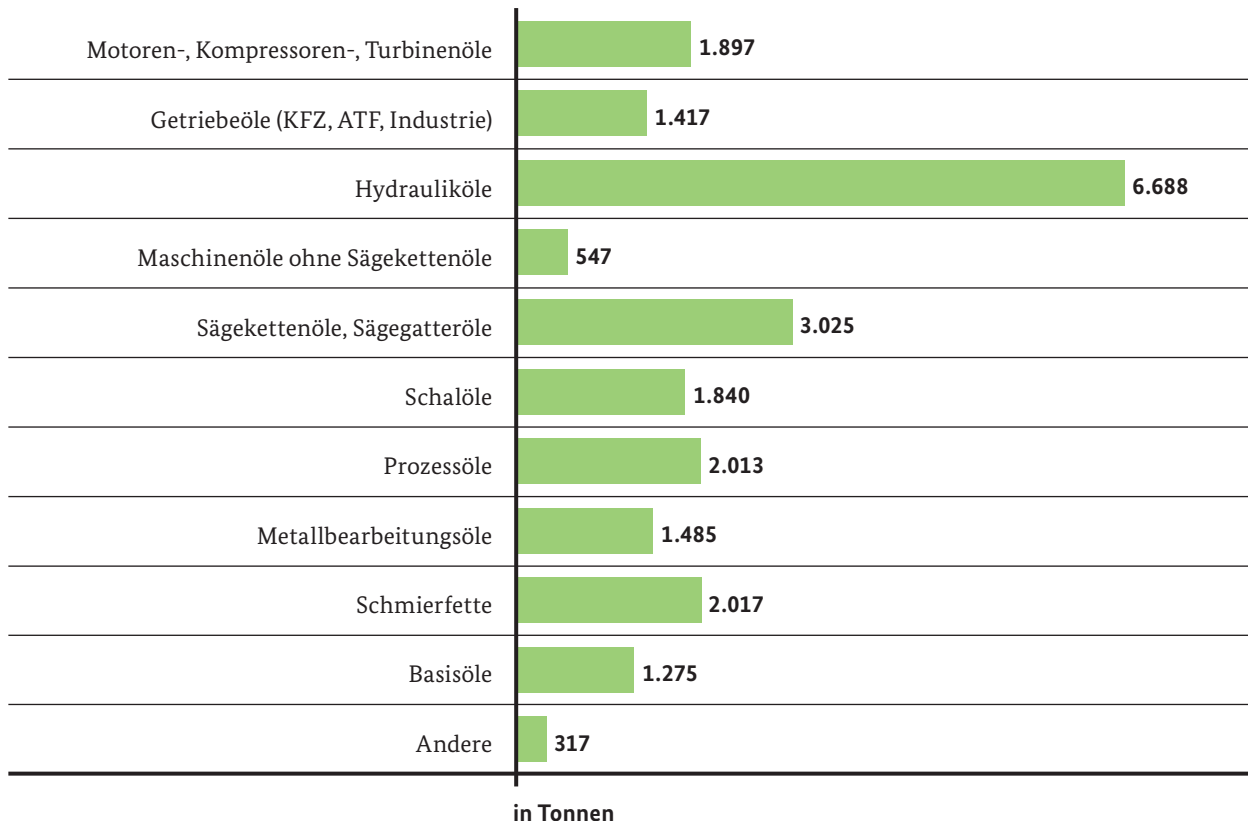
### Idealer Rahmen für die biologische Mini-Fabrik

Eine große Erfahrung mit der Verwendung von natürlichen Ressourcen gibt es beim Bau von Fermentern, wie sie in der industriellen Biotechnologie zum Einsatz kommen. In diesen Stahlkesseln – auch Bioreaktoren genannt – stellen biologische Produktionshelfer wie Mikroben und Zellen große Mengen von so unterschiedlichen Produkten wie biobasierten Chemikalien über Arzneimittel bis hin zu Nahrungsmittelzusätzen oder

#### Bioreaktoren – großes Zuhause für kleine Helfer

Bioreaktoren sind das Herzstück vieler biobasierter Produktionsverfahren. In den zumeist riesigen Stahlkesseln werden Mikroorganismen oder Zellkulturen gezüchtet und dazu gebracht, gezielt industriell weiterverwertbare Produkte herzustellen. Dazu gehören Arzneimittel ebenso wie Vorstufen für Bioplastik. Um den winzigen Hochleistungsproduzenten möglichst optimale Bedingungen zu bieten, lassen sich zahlreiche Prozessparameter steuern. Neben der Art und Konzentration der Nährstoffe spielen zum Beispiel die Temperatur, der Sauerstoffgehalt, der pH-Wert und viele andere Faktoren eine Rolle. Neben den Ansprüchen der Organismen müssen auch andere technische, organisatorische und ökonomische Faktoren berücksichtigt werden, die die Wahl der Betriebsparameter beeinflussen. So müssen Ingenieure beispielsweise darauf achten, dass in allen Teilen des Reaktorraumes gleiche Bedingungen herrschen und dass das Kulturmateriale nicht durch eine zu harsche Behandlung geschädigt wird. Nur wenn alle Anforderungen erfüllt werden, kann ein effizienter, ressourcenschonender Prozess entwickelt werden.

### Eingesetzte Pflanzenöle und Fette in 2011 (Gesamt: 22.500 t)



Quelle: BMEL/Meo Caron Solutions GmbH 2014

Kosmetikinhaltsstoffen her (siehe Kasten S. 40). Neue Erkenntnisse in der Bioverfahrenstechnik liefern hier die Basis, um besonders effiziente Anlagen zu konstruieren, die sich beispielweise durch einen geringen Energiebedarf oder einen hohen Wirkungsgrad auszeichnen. Hinzu kommen spezielle Anforderungen, die sich durch neue Produktionsstämme oder neue Produzenten wie Algen ergeben. Letztere können zum Beispiel nur dann die gewünschten Inhaltsstoffe liefern, wenn sie mit ausreichend Licht versorgt werden – mit Unterstützung des BMEL werden diese Photobioreaktoren derzeit für ihren Einsatz in der Industrie optimiert (vgl. Die biobasierte Produktion).

### Herausforderung Mess- und Regelungstechnik

Die größten Herausforderungen bei Fermentern liegen aktuell bei der kontinuierlichen Überwachung der biobasierten Produktionsprozesse sowie beim aufwändigen Aufreinigungsprozess am Ende der Prozesskette.

Nicht zuletzt mit Blick auf die Kosten ist die Anwenderindustrie daran interessiert, den Ressourcenverbrauch so gering wie möglich zu halten. Mit Fragen wie diesen beschäftigt sich zum Beispiel eine vom BMBF geförderte Allianz für wissensbasierte Prozessintelligenz, die von der Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG in Göttingen koordiniert wird, um eine neuartige Sensor- und Software-Plattform aufzubauen. (vgl. Pharma).

Auf ganz neuartige Konzepte der biotechnologischen Produktionsweise, die über die heute üblichen fermentativen oder biokatalytischen Verfahren weit hinausgehen, fokussiert wiederum der Strategieprozess Biotechnologie 2020+ den das BMBF gemeinsam mit den außeruniversitären Forschungsorganisationen und Hochschulen im Jahr 2010 ins Leben gerufen hat. Inzwischen wurden auf Basis einer Roadmap, die wesentliche Entwicklungs- und Forschungsmeilensteine benennt, zahlreiche Forschungsprojekte gestartet, die vom BMBF mit insgesamt 60 Mio. Euro gefördert werden. Neben

den fünf Großprojekten der Forschungsorganisationen arbeiten Hochschulforscher aus ganz Deutschland in 35 Verbünden an ganz unterschiedlichen Ideen für eine biobasierte Produktion der Zukunft. Sie reichen von der Biobrennstoffzelle über lichtgesteuerte Biokatalysatoren bis hin zur künstlichen Photosynthese oder zu mikro-systemtechnischen Ansätzen, die Metallnanopartikel für die Herstellung innovativer Werkstoffe nutzen wollen. Das Leitprinzip aller Projekte ist dabei eine enge Zusammenarbeit von Biologen und Ingenieuren.

### Biogas-Anlagenbau international gefragt

Expertise von Bio- und Ingenieurwissenschaften ist auch im Bioenergiesektor gefragt, gerade wenn es um Effizienzsteigerungen beim Biogas-Anlagenbau geht. Ein Schlüssel zum rentablen Betrieb besteht hier vor allem darin, möglichst viel Energie aus möglichst wenig Biomasse herauszuholen (vgl. Energie). Vor allem in der Verfahrens- und Prozesstechnik gibt es nach Ansicht von Experten noch viel Potential für Verbesserungen, besonders wenn es um die Verzahnung der einzelnen Schritte geht. Darüber hinaus ist auch hier die Weiterentwicklung von Mess- und Steuertechnik von hoher Bedeutung, um den Gärprozess zu optimieren. Eine technisch große Herausforderung ist zudem mit Blick auf die eingesetzten Motoren in den angekoppelten Blockheizkraftwerken zu leisten, wenn diese nicht nur im Dauer-, sondern auch im Intervallbetrieb laufen sollen. Denn gerade für die Motoren ist ein Wechsel von Stillstand auf Volllast technisch anspruchsvoll. Angesichts einer stagnierenden Nachfrage nach neuen Anlagen haben sich viele Biogasanlagenbauer zudem auf den internationalen Markt fokussiert. Insbesondere in Italien ist die Nachfrage aufgrund staatlicher Vergünstigungen zuletzt stark gestiegen. Aber auch in Frankreich, Dänemark und mehreren osteuropäischen Ländern sind deutsche Biogasanlagenbau-Firmen als Exporteur gefragt.

### Fertigung von biobasierten Werkstoffen

Mit Blick auf die wachsende Nachfrage bei biobasierten Kunststoffen hat sich die Fertigungstechnik den neuen Anforderungen angepasst und zu Weiterentwicklungen bei Formpress- sowie Spritzgussverfahren geführt. Dies gilt etwa für naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe wie Wood-Plastic-Composites. Im Jahr 2012 wurden

europaweit 350.000 Tonnen dieser Hybridbauteile hergestellt. Nicht zuletzt vor diesem Hintergrund stellt Deutschland in Europa den wichtigsten Markt für solche Produkte dar und kann eine wachsende Zahl an Herstellern vorweisen, die in diesem Markt aktiv sind. Hinzu kommen zahlreiche Forschungseinrichtungen, die sich mit Neuentwicklungen bei Kunststoffen und Holztechnologien beschäftigen.

Eine große Herausforderung bei der Produktion von biobasierten und nicht-biobasierten Komponenten besteht immer dann, wenn diese Teile mehrdimensional geformt werden müssen. Denn Holz und Naturfasern haben gegenüber klassischen mineralischen Füll- oder Verstärkungstoffen eine geringere Dichte. Dies muss insbesondere bei größeren Bauteilen und im Leichtbau berücksichtigt werden. Themen wie diese werden etwa am Süddeutschen Kunststoff-Zentrum bearbeitet – es ist eines von vier Kompetenzzentren, die vom BMEL im Rahmen des Biopolymernetzwerkes gefördert werden, um verbesserte Verfahren zur Aufbereitung von biobasierten Kunststoffen zu entwickeln.

### Biogasanlagen



Im Jahr 2013 produzierten rund 7.700 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 3.300 Megawatt rund 24 Mrd. Kilowattstunden Strom. Das entspricht etwa 4% des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland beziehungsweise rund 12% der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien. Derzeit gibt es ca. 8.000 Anlagen. Der deutsche Anlagenbau ist mit Blick auf die Biogastechnik international führend.

## Bioschmierstoffe



© FNR/Hardy Müller

Mit rund 3% haben Bioschmierstoffe derzeit zwar nur einen geringen Marktanteil, doch Experten rechnen für die Zukunft mit einer positiven Marktentwicklung. Die zumeist aus biologisch abbaubaren Ölen und Fetten hergestellten Schmierstoffe punkten vor allem mit Blick auf nachhaltige Produktionsprozesse. Die zögerliche Marktdurchdringung liegt zumeist am gegenüber mineralölbasierten Produkten höheren Preis. Die aktuell größten Anwendungen finden Bioschmierstoffe als Hydrauliköle, Sägekettenöle und Schalöle. Als Rohstoff wurden im Jahr 2011 rund 22.500 Tonnen Pflanzenöle eingesetzt, vor allem Rapsöl, Fette und Palmkernöl (vgl. Chemie).

Gemeinsam mit Forschern der Universität Paderborn wird untersucht, ob das sogenannte Sandwich-Spritzgussverfahren genutzt werden kann, um Wood-Plastic-Composites als Kernkomponente in diesem Verfahren einzusetzen und den biobasierten Verbundwerkstoffen dadurch ein größeres Anwendungsspektrum zu eröffnen. Mit der Sandwich-Technik lassen sich Formteile herstellen, die aus einer Kern- und einer Hautkomponente bestehen. Eine geeignete Spritzgussmaschine braucht für beide Komponenten jeweils ein separates Spritzgussaggregat, die wiederum in eine gemeinsame Düse münden müssen. Wenn sich ein solches Vorgehen in der Praxis technisch einwandfrei einsetzen lässt, dann würden Wood-Plastic-Composites zudem weniger Geräusche absondern. Dies wiederum würde die Hybridbauteile attraktiver für neue Anwendungen machen – zum Beispiel im Bereich des Möbelbaus. Einen größeren Markt versprechen sich die Forscher auch dadurch, dass eine Kunststoffhaut die Wasseraufnahme verhindert und sich dadurch beim biologischen Teil keine Verformungen und

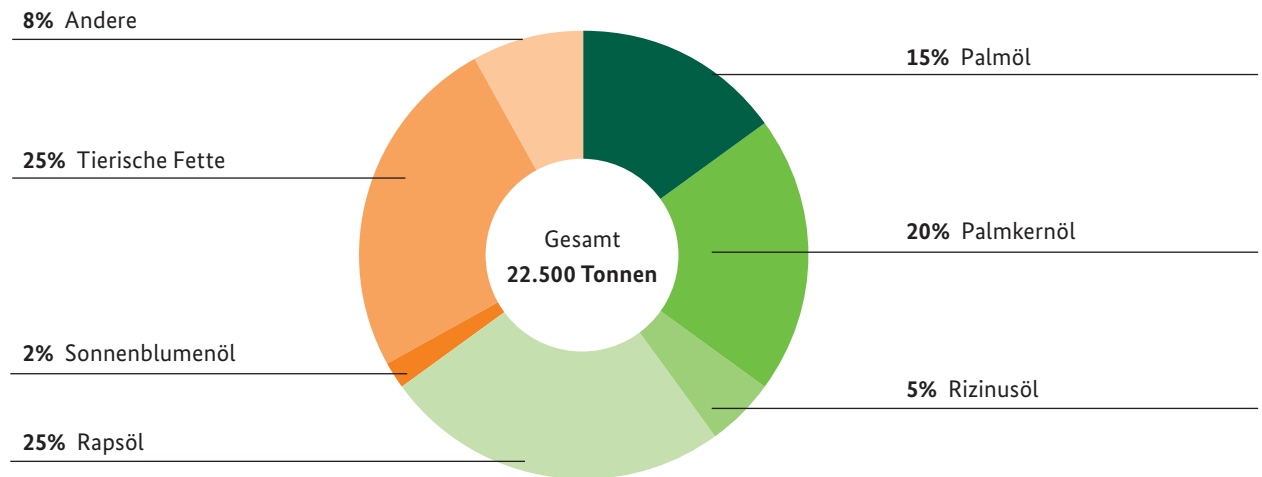
Ausdehnungen ergeben können. Weiterentwicklungen in diesem Feld gibt es auch bei Pressformverfahren sowie bei Dosiersystemen für Maschinen, die in der Kunststoffindustrie zur Aufbereitung und Formgebung eingesetzt werden. Bereits seit 2009 beschäftigt sich der vom BMEL geförderte Netzwerkverbund FENAFa mit verschiedenen technischen Herausforderungen, die mit der Nutzung von pflanzlichen Naturfasern bei der Herstellung von Formteilen einhergehen, wie sie zum Beispiel in der Automobilindustrie (vgl. Autobranche) oder der Konsumgüterindustrie einhergehen (vgl. Konsumgüter).

## Ressourceneffiziente Landwirtschaft

Aus der Perspektive der Bioökonomie ist der Maschinenbau aber nicht nur hinsichtlich des Anlagenbaus und der Verfahrenstechnik von Interesse. So profitiert auch die Landwirtschaft vom Ideenreichtum deutscher Ingenieure. In den vergangenen Jahren hat der Präzisionspflanzenanbau stark an Bedeutung gewonnen (vgl. Land-/Forstwirtschaft sowie Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie). Damit sie ihre Vorteile ausspielen kann, sind eine Vielzahl einzelner Komponenten vonnöten, die optimal ineinandergreifen müssen. Der Maschinenbau liefert hierfür Innovationen aus der Mess- und Regelungstechnik sowie bei Automatisierungsverfahren, die sowohl Abläufe auf dem Acker als auch im Stall optimieren helfen und damit zur Nachhaltigkeit beitragen (vgl. Landwirtschaft).

Ein neuer Entwicklungstrend im Landmaschinenbau geht zudem in Richtung Feldroboter, die künftig vor allem bei schweren und eintönigen Arbeiten eingesetzt werden könnten, wo eine präzise Arbeit über einen langen Zeitraum nötig ist – etwa beim Düngen oder Sähen. Vielversprechende Ansätze gibt es aber auch im Obst- und Gemüsebau, wo Roboter bewässern und ernten könnten. Selbst empfindliche Früchte wie Erdbeeren können inzwischen von Roboterhand gepflückt werden. Zudem sind Sensoren in der Lage, reife von unreifen Früchten unterscheiden – ein entscheidender Vorteil gegenüber menschlichen Erntehelfern, da derzeit gerade bei der Erdbeerernte viele Früchte verloren gehen, weil der richtige Erntezeitpunkt verpasst wird. Experten rechnen jedoch damit, dass noch einige Zeit vergehen wird, bis derartige Helfer auf deutschen Äckern großflächig aktiv sind. Noch scheuen viele Höfe die hohen An-

### Gesamtmenge der für Bioschmierstoffe eingesetzten Öle und Fette (2011)



Quelle: BMEL/Meo Carbon Solutions (2014)

schaffungskosten. Größer ist schon jetzt die Nachfrage nach automatisierten Prozessen in der Viehzucht – etwa in Form von Melkrobotern oder bei der Fütterung der Tiere. Denn sie helfen vor allem bei großen Anlagen, die eingesetzten Ressourcen effizienter zu kontrollieren und leisten damit einen Beitrag für mehr Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft (vgl. Landwirtschaft).

### Das Gewächshaus der Zukunft

Doch nicht nur auf dem freien Feld oder im Stall, auch im Gewächshaus arbeiten Maschinenbauer an einer nachhaltigen Agrarproduktion – etwa beim Bau von Gewächshäusern. Am Forschungszentrum Jülich wurden beispielsweise Gläser mit diffuser Lichttransmission entwickelt. Das bedeutet, dass das Glas jeden einfallenden Lichtstrahl in eine andere Richtung lenkt. Das hat den Vorteil, dass alle Blätter einer Pflanze gleichmäßiger Licht bekommen, als es bei normalen Gläsern der Fall wäre. Gerade bei rankenden oder hochwachsenden Pflanzen wie Tomaten oder Gurken liegen die Blätter der unteren Stockwerke teilweise im Schatten der darüber wachsenden. Bei diffusem Lichteinfall lassen sich in solchen Fällen bei gleichem Energieeintrag Ertragssteigerungen von bis zu 6% erzielen. Durch die Verwendung von eisenarmem Solarglas mit beidseitiger Antireflexbeschichtung erreichen moderne Treibhäuser eine besonders hohe Lichtdurchlässigkeit. Fast das gesamte von den Pflanzen für die Photosynthese

nutzbare Licht erreicht auch tatsächlich die Blätter, so dass die Lichtbedingungen im Gewächshaus denen im Freiland sehr ähnlich sind. Das härtet jene Pflanzen, die später ins Freiland umgesetzt werden, bereits unter Glas ab und vermeidet Verluste durch UV-bedingte Verbrennungen. Eine erhöhte Lichtdurchlässigkeit erhöht jedoch nicht nur den Ertrag – bei einigen Pflanzen sorgt gerade die erhöhte UV-Transparenz für die verstärkte Bildung von Geschmacksstoffen.

### Roboterassistierte Lebensmittelverarbeitung

Auf Expertise von Ingenieuren ist auch die Lebensmittelverarbeitung angewiesen, um ihre Herstellungsverfahren ressourceneffizient und nachhaltig zu gestalten. Nachgefragt werden zum Beispiel intelligente Automatisierungsprozesse. Hier bietet die Robotik einen Ansatz. Am Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik wird zum Beispiel intensiv daran geforscht, flexibel einsetzbare, hygienische Greiftechniken zu entwickeln. Ebenfalls von großer Bedeutung ist die Prozessanalytik in diesem Feld. Sie erfasst und bestimmt die Qualität der hergestellten Produkte sowie der zugelieferten Waren und stellt die Systematik zur Prozessverfolgung und -regulation, Datenanalyse und Simulation von Prozessvorgängen bereit – von der Bestimmung der Inhaltsstoffe, dem Erfassen physikalischer und funktioneller Eigenschaften, über das Tracking und Tracing von Lebensmitteln, bis zur Produktbewertung des Verbrauchers.

Unternehmen	6.000
Mitarbeiter	555.000
Umsatz	170 Mrd. Euro

**Beispiele aus der Bioökonomie:**  
Vitamine, Aromen und Aminosäuren,  
Lupineneis, funktionelle Lebensmittel



**Die Ernährungsindustrie nimmt in der Bioökonomie eine herausragende Stellung ein. Hier werden Agrarrohstoffe aus der Landwirtschaft zu Lebensmitteln und Futtermitteln verarbeitet. Ressourcenschonende Technologien helfen dabei, gesunde, hochwertige und sichere Produkte zu erzeugen. Aber auch für die Lagerung, Konservierung und den Transport von Nahrungsmitteln stellt die biobasierte Wirtschaft innovative Verfahren zur Verfügung.**

Mit rund 6.000 Unternehmen und 555.000 Beschäftigten gehört die Ernährungsindustrie zu den größten Industriezweigen in Deutschland. Der Gesamtumsatz lag nach Angaben der Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungswirtschaft (BDE) im Jahr 2012 bei fast 170 Mrd. Euro, ein europäischer Spitzenwert. Die Branche ist besonders stark durch kleine und mittelständische Unternehmen geprägt, 95% der Branchenunternehmen haben weniger als 250 Beschäftigte. Darunter finden sich viele traditionsreiche Familienunternehmen und international erfolgreiche Hersteller deutscher Spezialitäten, die eng mit ihrem Standort verbunden sind.

Wichtige Teilbranchen der Ernährungsindustrie sind die Fleisch- und Fleischwarenindustrie, die Milchwirtschaft, die Süß- und Backwarenindustrie, die Herstellung von nicht-alkoholischen und alkoholischen Getränken oder auch die Verarbeitung von Obst- und Gemüse. Dies spiegelt sich auch in der großen Vielfalt an Produkten wider – mehr als 170.000 Lebensmittelprodukte sind aktuell auf dem Markt.

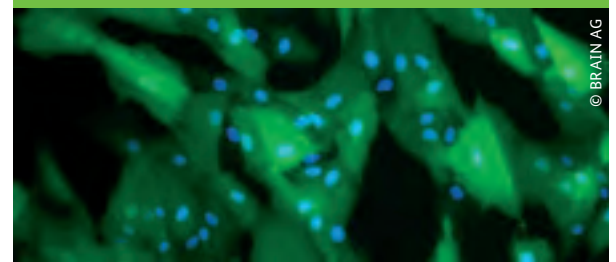
Für die Bioökonomie ist der Ernährungssektor ein wichtiges Standbein – rund 80% der Agrarproduktion in Deutschland werden von der Ernährungsindustrie zu hochwertigen Lebensmitteln verarbeitet (vgl. Land- und Forstwirtschaft). Neuartige Verfahren zur Herstellung wertvoller Inhaltsstoffe leisten zudem einen wichtigen Beitrag, um Lebensmittel gesünder und sicherer zu machen. Ressourcenschonende Verfahren liefern neue, nachhaltigere Verpackungsformen und -materialien. Zunehmend wichtiger werden zudem Strategien, die Abfallprodukte aus der Ernährungs- und Futtermittelindustrie weiterverwerten. Die Ernährungsindustrie ist damit im Konzept der Kreislaufwirtschaft nicht nur

Verwerter von Agrarrohstoffen, sondern kann künftig selbst vermehrt zum Rohstofflieferanten werden – etwa für die Chemieindustrie (vgl. Chemie).

### Enzyme und Mikroben als vielseitige Veredler

Der Griff in die Werkzeugkiste der Natur ist für die Lebensmittelzubereitung kein neues Phänomen, schließlich wird unter Zuhilfenahme der Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* seit Jahrtausenden Bier gebraut und Wein hergestellt. Aber auch bei Käse handelt es sich um ein traditionell biobasiertes Produkt. Damit Milch tatsächlich zu Käse wird, muss der Eiweißanteil der Milch gerinnen, wofür das Labenzym zuständig ist. Dieses wurde früher aus Kälbermägen gewonnen. Dank moderner biotechnologischer Verfahren übernehmen heute maßgeschneiderte Mikroorganismen in großen

### Allianz für natürliche Lebensmittelzusätze



Gesündere Lebensmittel auf natürlicher Basis entwickeln – das ist ein Ziel des Konsortiums „Natural Life Excellence Network 2020 - NatLifE 2020“. Die vom Biotechnologie-Unternehmen Brain AG in Zwingenberg koordinierte Allianz aus 22 Partnern sucht nach bioaktiven Inhaltsstoffen für Lebensmittel mit Zusatznutzen. Dazu kommen Technologien auf der Basis von Geschmackssinneszellen zum Einsatz. Die Biotechnologen von Brain haben die Zellen so umfunktioniert, dass sie sich im Labor als Testsystem eignen, um etwa Geschmacks- und Sättigungsmodulatoren zu identifizieren. Das Konsortium arbeitet entlang der gesamten Wertschöpfungskette zusammen, zu den Industriepartnern zählen Analyticon Discovery, Merck KGaA und AB Enzymes und hat ein F&E-Volumen von 30 Mio. Euro zur Verfügung. Die Hälfte davon steuert das BMBF im Rahmen der „Innovationsinitiative Industrielle Biotechnologie“ bei.

Stahlbehältern die industrielle Produktion dieser nützlichen Moleküle, die aus der Käseherstellung nicht mehr wegzudenken sind.

Biotechnologen sind auch dafür verantwortlich, dass viele Lebensmittel heutzutage Enzyme als natürliche Biokatalysatoren enthalten. Seit den 60er Jahren haben sich mikrobielle Verfahren in Fermentern als Standard bei der Herstellung von Enzymen etabliert (vgl. Die biobasierte Produktion). Rund 50 unterschiedliche Industrieenzyme sind derzeit in der Ernährungsindustrie im Einsatz. Rund 30 Biotechnologie-Firmen in Deutschland – alles kleine und mittlere Unternehmen (KMU) – sind darauf spezialisiert, entsprechende Herstellungsverfahren zu entwickeln und aufzubauen. Einige von ihnen wurden bei der Technologieentwicklung mit Fördermitteln des BMBF und des Bundeswirtschaftsministeriums unterstützt.

Für Hersteller von Ernährungsprodukten sind Enzyme ressourcenschonende Multitalente, da sie auch unter milden Bedingungen ihre Arbeit verrichten. In der Backindustrie sorgen spezielle Enzyme für eine schöne und stabile Brotkruste. Andere Enzyme in Backmi-

schungen helfen dabei, dem Teig Volumen und Farbe zu verleihen. Das inzwischen weit verbreitete Aufbacken von vorproduzierten Teig-Rohlingen wäre ohne solche Enzyme gar nicht möglich. Andere Rohstoffe lassen sich durch Enzyme ernährungsphysiologisch aufwerten und effizienter nutzen.

So helfen Pektinasen dabei, die pflanzliche Zellwand beim Auspressen von Obst abzubauen und damit die Saftausbeute zu erhöhen. Zudem bauen sie Trübstoffe in Fruchtsäften ab. Andere biologische Prozesse wie die Milchsäuregärung helfen beim Vorverdauen von Futter und Lebensmitteln, wie beispielsweise bei der Herstellung von Sauerkraut oder die Silage im Tierfutter. Auch die Lactase ist ein wichtiges Enzym in der Ernährungswirtschaft: Sie sorgt für die Spaltung des Milchzuckers Lactose. Das Enzym wird in Form von Tabletten und Kapseln angeboten, damit Menschen mit Lactoseintoleranz Milchprodukte zu sich nehmen können.

### Aromen und Aminosäuren

Enzymatische und fermentative Verfahren sind vielfach auch die Basis, um natürliche Aromastoffe herzustellen.

## Wertvolle Milchzucker für Babynahrung

Muttermilch ist von Natur aus die ideale Nahrung für Säuglinge. Sie enthält neben Nährstoffen auch einen reichhaltigen Mix an natürlichen Gesundmachern. Dazu zählen humane Milchzucker. Diese komplex aufgebauten Mehrfachzucker unterstützen bei Neugeborenen die Entwicklung einer gesunden Darmflora und schützen die Neugeborenen vor Infektionen mit Krankheitserregern. Mediziner vermuten, dass die Zuckermoleküle in den Magendarmtrakt gelangte Viren oder Bakterien „abfangen“, bevor sie Zellen der Säuglinge attackieren können. Vor diesem Hintergrund empfiehlt die Weltgesundheitsorganisation das Stillen von Babys bis zum sechsten Monat. Wo dies nicht möglich ist, gibt es Säuglingsnahrung als Alternative. Hersteller von solchen Produkten sind stets daran interessiert, sie noch besser zu machen. So haben Forscher von der Jennewein Biotechnologie GmbH aus Rheinbreitbach ein Verfahren entwickelt, mit dem sich menschliche Zuckermoleküle biotechnisch herstellen lassen.

Zu Mini-Fabriken umgewandelte Mikroben produzieren hierbei Fucosyllactose – ein Zuckermolekül, das in natürlicher Muttermilch vorkommt. Das BMBF unterstützt das Familienunternehmen in der Fördermaßnahme „KMU-innovativ: Biotechnologie“.



© Jennewein Biotechnologie GmbH



Enzyme sind aus der Backindustrie nicht mehr wegzudenken. Sie sorgen für eine schöne Kruste und helfen beim Aufbacken.

So werden zahlreiche Geschmacksstoffe mit Hilfe von Mikroorganismen produziert. Erdbeeraroma wird beispielsweise mittels Pilzen gewonnen, die auf Sägespänen wachsen. Aus Hefen wird Pfirsicharoma extrahiert. Der erste Lebensmittelzusatzstoff, der in großem Maßstab biotechnologisch hergestellt wurde, ist Zitronensäure. Während diese Substanz früher aus Zitrusfrüchten gewonnen wurde, stammt mittlerweile die gesamte Weltproduktion in Höhe von einer Milliarde Tonnen aus einem Verfahren, für das der Schimmelpilz *Aspergillus niger* genutzt wird. Zitronensäure steckt nicht nur in Limonaden, sondern überall dort, wo ein saurer Geschmack gebraucht wird. Eine weitere wichtige Gruppe an Nahrungsergänzungsmitteln wird ebenfalls biotechnologisch produziert: Aminosäuren. Es gibt rund 20 Aminosäuren, sie bilden die Grundbausteine, aus denen Eiweiße bestehen. Manche Aminosäuren sorgen für einen süßen Geschmack, manche duften nach Orangen, andere nach Zitronen. Die Salze der Glutaminsäure (Glutamat) wiederum werden als Geschmacksverstärker eingesetzt, und zwar nicht nur in der asiatischen Küche. Glutaminsäure wird mit Hilfe des Bakteriums *Corynebacterium glutamicum* im Industriemaßstab produziert. Essentielle Aminosäuren wie Lysin, Threonin und Methionin haben zudem eine große Bedeutung als Futtermittelzusatz. Weltweit werden inzwischen pro Jahr mehr als eine Milliarde Tonnen Lysin für die Futtermittelindustrie produziert. Mit chemischen Verfahren ließen sich diese großen Mengen nur mit einem sehr großen Aufwand bewältigen. In der Praxis kommen deshalb auch hier eigens umprogrammierte Bakterien als Zellfabriken zum Einsatz. Zu den großen

Herstellern von Aminosäuren für Futtermittel gehört Evonik. Der Spezialchemiekonzern mit Hauptsitz in Essen stellt die vier essentiellen Aminosäuren Methionin, Threonin, Tryptophan sowie Lysin her und baut seine Kapazitäten weltweit deutlich aus. Für die biotechnologisch gewonnene Aminosäure L-Lysin strebt Evonik eine Jahrsproduktion von mehr als 500.000 Tonnen an.

### Kalorienneutrale Süße

Einen noch größeren Markt stellen enzymatisch produzierte Kohlenhydrate wie Glucose oder Fructose dar, die als Zuckerersatzstoffe genutzt werden. Glucose lässt sich aus pflanzlicher Stärke durch enzymatische Spaltung gewinnen. Ein Trend geht zudem hin zu Süßungsmitteln, die weniger kalorienreich sind und damit weniger Zivilisationskrankheiten wie Fettleibigkeit auslösen. Gefragt sind Substanzen, die zwar süß schmecken, aber keinen Zucker enthalten. Eine solche Alternative ist ein Extrakt der Tropenpflanze *Stevia rebaudia*, mit dem bereits heute Nahrungsmittel und Getränke kalorienneutral gesüßt werden können. Die sogenannten Stevia-Glycoside besitzen fast die 200fache Süßkraft von herkömmlichem Zucker. Derzeit wird versucht, die Herstellung der Stevia-Süßstoffe durch biotechnologische Verfahren zu ermöglichen. Mit Hilfe von Hefezellen können die einzelnen Komponenten des Stevia-Süßstoffes in hoher Reinheit getrennt voneinander kontrolliert hergestellt werden. Der Nahrungsmittelindustrie bietet sich damit die Chance, den Stevia-Geschmack je nach Anwendung zu variieren und neue Einsatzgebiete für den Süßstoff zu finden.

## Mehr Nachhaltigkeit in der Lebensmittelkette



Wie lassen sich Lebensmittel nachhaltiger produzieren und konsumieren? Innovative Ansätze suchen Forscher im Rahmen des Netzwerks ERA-Net SUSFOOD (Sustainable Food Production and Consumption). Hierbei werden europäische Forschungsaktivitäten unter Einbindung aller relevanten Akteure entlang der Wertschöpfungskette – vom Hoftor bis zum Verbraucher – gefördert und Verbundprojekte angestoßen. Sowohl das BMEL als auch das BMBF unterstützen deutsche Projektpartner innerhalb des europäischen Netzwerks. So standen in der ersten Runde 2013 Projekte im Fokus, die auf eine ressourceneffiziente und umweltschonende Lebensmittelverarbeitung abzielen, zu Produkten mit einem Mehrwert führen und weniger Abfälle verursachen. Es sind bereits neun translationale Forschungsverbünde gestartet, in sieben davon sind auch deutsche Forschungseinrichtungen oder Unternehmen beteiligt.

[www.susfood-era.net](http://www.susfood-era.net)

## Essen mit funktionellen Inhaltsstoffen

Ein weiterer Trend in der Nahrungsmittelbranche, bei dem biobasierte Verfahren nützlich sein können, sind funktionelle Lebensmittel: Dabei handelt es sich um Produkte, die durch besondere bioaktive Inhaltsstoffe einen positiven, vor allem vorbeugenden Einfluss auf die Gesundheit haben. Als funktionelle Zutaten gelten zum Beispiel präbiotische Substanzen, zu denen spezielle Ballaststoffe gehören, die sich positiv auf die Darmflora auswirken. Probiotische Milchprodukte wiederum enthalten speziell gezüchtete und lebende Bakterienstämme, die über die Nahrung eingenommen das Gleichgewicht der Darmflora verbessern helfen. Damit Lebensmittel-

hersteller aber mit gesundheitsbezogenen Aussagen auf ihren Produkten werben können, müssen sie gemäß der Health Claims-Verordnung der EU den wissenschaftlichen Nachweis für die Wirksamkeit erbringen, ein aufwendiges und kompliziertes Prozedere.

Auch bestimmte sekundäre Pflanzenstoffe wie Polyphenole oder Glucosinolate gelten als Kandidaten für gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe. So können sie unter anderem das Risiko für Krebserkrankungen vermindern, den Blutdruck regulieren, den Blutcholesterinspiegel senken oder das Immunsystem stärken. Darüber hinaus können sie antibakteriell, antiviral und entzündungshemmend wirken. Vom BMBF unterstützte Forschungsprojekte in Deutschland erproben derzeit, wie sich die Gewinnung von Polyphenolen aus Zitrusfrüchten wirtschaftlich gestalten lässt oder wie sich der Glucosinolat-Gehalt in Brokkoli steigern lässt. Bereits im Handel erhältlich ist eine ungewöhnliche Kombination aus Meeresfrüchten und Fleisch: Eine Supermarktkette hat Wurstsorten im Programm, die mit Omega-3-Fettsäuren aus Fischöl angereichert sind. Lebensmittelforscher vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) haben die Produkte marktreif entwickelt.

## Pflanzen als hochwertige Proteinquellen

Um die heimische Landwirtschaft nachhaltiger zu gestalten und gleichzeitig den Verbrauch von tierischen Eiweißen zu senken, rücken alternative Proteinquellen ins Blickfeld der Ernährungswirtschaft. Zu den markantesten Eiweißpflanzen hierzulande zählt die Lupine, ihr Samen hat einen Eiweißgehalt von 35%. Der hohe Anteil an Bitterstoffen verhinderte bisher jedoch einen Einsatz in der Lebensmittelindustrie. Mit der Blauen Süßlupine *Lupinus angustifolius* fanden Forscher vor Jahrzehnten jedoch eine Sorte, die wenig Alkaloide enthält und gegen viele Krankheiten resistent ist. Zudem ist die Hülsenfrucht ziemlich anspruchslos und gedeiht besonders in Norddeutschland sehr gut. Als Stickstoffsammler ist die Lupine ein Bodenverbesserer und muss nicht gedüngt werden. Um die Marktchancen von innovativen Lupinenprotein-Produkten auszuloten, hat das BMBF den regionalen Wachstumskern „PlantsProFood – Lebensmittel aus Blauen Süßlupinen“ in Mecklenburg-Vorpommern unterstützt. Partner dieser Innovations-Initiative waren zehn Unternehmen und vier Forschungsein-

richtungen im Raum Rostock. Darunter auch Forscher vom Fraunhofer-IVV und der Ausgründung ProLupin GmbH in Neubrandenburg, die inzwischen verschiedene Lupinen-basierte Lebensmittel entwickelt hat. Das erste kommerzielle Produkt ist ein Speiseeis, das in Supermärkten erhältlich ist. Neben Lupinen-Proteinen enthält es Rapsöl, weitere pflanzliche Inhaltsstoffe sowie mehrfach ungesättigte Fettsäuren. Es ist sowohl für Vegetarier als auch für Allergiker interessant. Die Lupinenproteine wurden zudem in einer pflanzlichen Leberwurst verarbeitet, in der sie das Fett ersetzen: Von 30% Fettgehalt bei einer normalen Leberwurst bleiben in der Lupinenwurst nur noch 5%. Vom BMEL wird ein Verbundprojekt unterstützt, in dem erprobt wird, wie sich aus anderen heimischen Leguminosen, wie zum Beispiel Erbse und Ackerbohne, innovative Lebensmittel herstellen lassen.

### Technologien für sichere Lebensmittel

Weitere Technologien können dabei helfen, die Lebensmittelkette nachhaltiger und ressourcenschonender zu gestalten, und die Nahrungsmittel damit sicherer zu machen. Hierzu zählen Verfahren, die Lebensmittel lange haltbar machen. Ebenso können neueste Sensorsysteme dazu beitragen, die Produktsicherheit für den Verbraucher zu erhöhen. Im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung unterstützt das BMEL eine Reihe von Forschungsprojekten, in denen etwa optische Methoden zur Überprüfung der Frische und der Qualität von Fleisch entwickelt werden. Andere Forscher wieder-

um testen innovative Verpackungen, die antimikrobiell wirken und in Kühlregalen im Supermarkt eingesetzt werden sollen.

### Lebensmittelreste besser ausnutzen

In der Nahrungsmittelindustrie schlummert auch in Reststoffen noch viel Potential für die Bioökonomie. Zum Beispiel Citrus-Albedo, die innere weiße Gewebeschicht in Zitrusfrüchten. Sie findet als Abfallstoff in der Industrie bislang meist keine weitere Verwendung. Forscher von der Hochschule Ostwestfalen-Lippe wollen daraus ein natürliches Trübungsmittel herstellen. Solche Stoffe werden Limonaden zugesetzt, damit sie nicht ihre Trübung verlieren. Mit mehreren Industriepartnern entwickeln die Biotechnologen ein enzymatisches Verfahren, um aus der Albedo-Schicht die geeigneten Bestandteile extrahieren zu können. Jährlich fallen auch in der Backindustrie viele Tonnen an Abfällen an. Forschern vom Leibniz-Institut für Agrartechnik in Potsdam liefern diese Reste wertvolle organische Ressourcen. In einem EU-Projekt wollen sie alte Brötchen dazu nutzen, um daraus Molekülbausteine für Biokunststoffe zu gewinnen, aus denen sich Tüten fertigen lassen. Die Nutzung von Abfällen in der Ernährungsindustrie ist damit in der Kreislaufwirtschaft der Bioökonomie ein Beispiel, wie sich verschiedene Branchen ressourceneffizient vernetzen lassen und damit zu einer höheren Wertschöpfung am Standort Deutschland beitragen können.



Lupinensamen sind eine reichhaltige Eiweißquelle. Aus dem Lupinenprotein lässt sich ein veganes und cremiges Eis herstellen.

# Pharma

## DATEN & FAKTEN

Unternehmen	923
Mitarbeiter	135.773
Umsatz	41,4 Mrd. Euro

**Beispiele aus der Bioökonomie:**  
Biopharmazeutika, Arzneipflanzen

© Stat. Bundesamt/2012



**Schon seit Jahrtausenden helfen Heilkräuter, Krankheiten zu lindern. Aber auch darüber hinaus bietet die Natur eine große Auswahl an Wirkstoffen, die die Basis für moderne Medikamente bilden. Zunehmend kommen biotechnologische Verfahren bei der Produktion von Medikamenten zum Einsatz. Diese Biopharmazeutika sind bei der Behandlung von Volkskrankheiten wie Krebs und Diabetes nicht mehr wegzudenken.**

Gerade mit Blick auf der Herstellung von Arzneimitteln greifen Pharmafirmen zunehmend auf biologisches Wissen zurück. Zwar bilden chemisch hergestellte Wirkstoffe nach wie vor den größten Marktanteil im deutschen Arzneimittelmärkte, aber die sogenannten Biopharmazeutika rücken zunehmend auf. Mit 6,5 Mrd. Euro liegt ihr Anteil derzeit bei 21% – Tendenz steigend. Diese Medikamente sind Biomoleküle, die so groß sind, dass sie chemisch nicht oder nur sehr aufwendig herzustellen wären: Antikörper gegen Krebs oder Autoimmunkrankheiten wie Multiple Sklerose, Hormone wie Insulin zur Behandlung von Diabetes oder Enzyme gegen Stoffwechselkrankheiten. Für ihre Herstellung bedient man sich der Methoden der modernen Biotechnologie, die in den 80er Jahren entwickelt wurden: Lebende Mikroorganismen oder Zellen lassen sich zu Mini-Fabriken für Medikamente umprogrammieren (vgl. Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie).

### Biotech-Arzneien auf dem Vormarsch

Die Entwicklung der Biopharmazeutika begann Ende der 70er Jahre. US-Forschern der Firma Genentech gelang es 1978 zum ersten Mal, die Erbinformation für das Hormon Insulin aus menschlichen Zellen zu isolieren und mittels Gentransfer in die Bakterienzellen zu übertragen. Zuvor konnten Patienten nur auf Insulin von Schweinen oder Rindern zurückgreifen. Das war in der industriellen Herstellung nicht nur aufwendig und teuer, sondern auch nicht für jeden Patienten gut verträglich. Schließlich wehrt sich der menschliche Körper gegen tierische Hormone genauso wie gegen Krankheitserreger. 1979 entwickelten Frankfurter Forscher am Pharma-Standort Hoechst ebenfalls ein biotechnologisches Verfahren, um menschliches Insulin mit Hilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen herzustellen. Im Jahr 1987 erhielt der

Pharmakonzern Eli Lilly in Deutschland eine Zulassung für das nach dem Genentech-Prinzip entwickelte Humaninsulin. Es wurde damals in Straßburg produziert und nach Deutschland importiert. 1984 bemühte sich auch Hoechst um die Genehmigung seiner Versuchsanlage in Frankfurt, doch der hessische Umweltminister Joschka Fischer verweigerte seinerzeit die Betriebserlaubnis. Erst 1994 erhielt der Pharmakonzern die Genehmigung, 1996 wurde das entsprechende Humaninsulin zugelassen, 1998 konnte die biotechnologische Produktion offiziell in Betrieb genommen werden. Heute wäre eine ausreichende Versorgung der betroffenen Menschen ohne gentechnisch hergestelltes Insulin unmöglich.

Nach anfänglichen Bedenken werden heute gentechnisch hergestellte Medikamente für Menschen und Tiere allgemein akzeptiert. Inzwischen werden mehr als 200 in Deutschland verfügbare Arzneimittel auf diesem Wege produziert. 2013 wurden 14 weitere zugelassen, so viele wie noch nie. Neben dem Standort Frankfurt, der inzwischen zum französischen Unternehmen Sanofi gehört, hat sich auch der Schweizer Pharmakonzern Roche mit seinem Standort in Penzberg mit umfassenden



**Biopharmazeutika werden in Stahlkesseln in einer sterilen Umgebung hergestellt.**

## Wissensbasierte Prozessintelligenz



Damit industrielle Produktionsprozesse im Bioreaktor optimal gesteuert werden können, kommt modernste Verfahrens- und Prozesstechnik zum Einsatz. Doch derzeit werden Chargen in der Regel erst nach der Produktion qualitätsgeprüft – was oft aufwendig und oft mit kostspieligen Verlusten verbunden ist. Biotechnologen wünschen sich, schon während der Produktion die Qualität der Bioproduktion zu sichern und beeinflussen zu können. Unter Federführung der Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG in Göttingen haben sich 20 Partner zusammengetan, um eine Sensor- und Software-Plattform aufzubauen, die neuartige Messprinzipien mit modernen Methoden der Datenauswertung kombiniert. Durch die kontinuierliche Beobachtung der Produktion versprechen sich die Partner eine höhere Prozesssicherheit und gleichbleibende Produktqualität. Die strategische Allianz „Wissensbasierte Prozessintelligenz“ wird sich dabei auf zwei Modellprozesse aus der Lebensmittelbiotechnologie und der Biopharmaproduktion konzentrieren. Das aufgebaute Know-how werden dann Anwender aus der Industrie, zu denen zum Beispiel die Bitburger Braugruppe, Chr. Hansen oder der Auftragshersteller Rentschler gehören, auf ihre hauseigenen Prozesse übertragen. Das BMBF unterstützt die 2014 gestartete Allianz für sechs Jahre im Rahmen der „Innovationsinitiative industrielle Biotechnologie“ mit rund 9 Mio. Euro.

den Produktionskapazitäten für Biotech-Medikamente etabliert. Hinzukommen mit Bayer in Leverkusen, Merck in Darmstadt sowie Boehringer Ingelheim in Biberach deutsche Unternehmen mit signifikanten Produktionsanlagen. Des Weiteren hat sich eine Reihe von kleineren und mittleren Biotechnologie-Unternehmen darauf spezialisiert, als Dienstleister die biobasierte Produktion zu übernehmen oder bei der Entwicklung und marktgerechten Umsetzung entsprechender Verfahren zu helfen.

Im Vergleich zu anderen Ländern in Europa ist Deutschland hier an der Spitze. Im Jahr 2008 wurden deutschlandweit die Produktionsvolumen für Biopharmazeutika mit 675.000 Litern taxiert. Zu diesem Zeitpunkt war Deutschland weltweit Produktionsstandort Nummer zwei nach den USA. Seitdem gab es mehrfach Erweiterungen: Sanofi hat seine Produktionsstätte in Frankfurt kontinuierlich ausgebaut, neu hinzugekommen ist eine Zellkulturanlage für die Herstellung von Antikörpern für die klinische Entwicklung für 30 Mio. Euro. 2013 hat Roche in Penzberg 280 Mio. Euro für den weiteren Ausbau seiner Pharma-Anlagen angekündigt. Der Konzern Bayer hat im März 2014 für seinen Standort Wuppertal Investitionen in Höhe von 500 Mio. Euro angekündigt, um künftig mehr proteinbasierte Medikamente für Bluter anbieten zu können.

## Antikörper im Fokus des Interesses

Vor allem eine bestimmte Klasse biotechnologisch hergestellter Arzneien ist in den vergangenen Jahren verstärkt in den Fokus des Interesses gerückt: die Antikörper. Im menschlichen Körper produzieren einige weiße Blutkörperchen diese Moleküle. Sie gelten als die Spür- und Lenkwaffen des menschlichen Immunsystems, weil jeder von ihnen sich nur an ein ganz bestimmtes anderes Molekül heftet – das Oberflächenprotein eines Virus beispielsweise oder das Gift eines Bakteriums. Durch die Bindung machen die Antikörper ihr Zielmolekül unschädlich und bereiten dessen Abbau vor. Seit Mitte der siebziger Jahre wurden Verfahren entwickelt, mit denen sich menschliche Antikörper auch mit Hilfe von Zellkulturen herstellen lassen. Heutzutage sind die Immunmoleküle nicht nur ein unverzichtbares Werkzeug für die Medizin, sondern auch eine zunehmend wichtige Medikamentenklasse. Bei vielen Krankheiten wie Krebs oder Autoimmunkrankheiten helfen sie, die Krankheitsursache zu at-

## Effiziente Aufreinigung im Fokus



© Wacker Biotech GmbH

Bei der Herstellung von Biopharmazeutika unterscheiden Experten zwischen dem Up-Stream und dem Down-Stream. Beim Up-Stream kommt es darauf an, ein biologisches Produktionssystem wie Mikroorganismen oder Säugetierzellen so maßzuschneidern, dass am Ende die gewünschten Eiweiße hergestellt werden. Dieser Prozess muss zudem so gestaltet sein, dass er im industriellen Maßstab in Fermentern mit einem Fassungsvermögen von 500 bis mehreren tausend Litern erfolgen kann. Im Down-Stream-Prozess wiederum müssen die Wirkstoffe so aufgereinigt werden, dass sie für einen therapeutischen Einsatz in Frage kommen: Schließlich entsteht durch die Mikroorganismen oder Säugetierzellen zunächst eine Art Brühe, in der neben den gewünschten Substanzen auch eine Vielzahl anderer Beiprodukte zu finden sind. Mittels mechanischer und thermischer Techniken wie Zentrifugation und Kristallation muss hierbei eine möglichst schnelle und saubere Aufreinigung erfolgen.

tackieren und nicht nur Symptome zu lindern. Vor allem die Bekämpfung von Krebs oder Autoimmunkrankheiten hat sich mit Antikörpern signifikant verbessert. Inzwischen gibt es mehr als zehn verschiedene zugelassene Antikörper-basierte Medikamente. Viele weitere sind in fortgeschrittenen Stadien der Entwicklung und viele neuartige Formen von Antikörper-Molekülen werden auch hierzulande erforscht, um ihre Wirkung noch zu verbessern. Aber auch andere Medikamentenklassen etwa Antibiotika und Impfstoffe werden heutzutage in der Regel auf biotechnologischem Wege hergestellt. Weltweit produzieren Pharma-Unternehmen jährlich etwa 4,7 Mrd. Impfstoffportionen (EVM). In Deutschland produzieren sie Impfstoffe gegen Grippe und Vogelgrippe, Frühsommer-Hirnhautentzündung (FSME), Diphtherie, Keuchhusten und Tollwut, zudem Adjuvantien für die Impfstoffproduktion weltweit. Die Produktionskapazitäten werden von den Unternehmen stetig ausgebaut: So hat der britische Konzern GlaxoSmithKline 100 Mio. Euro in die Grippeimpfstoffproduktion in Dresden investiert. In Marburg hat Novartis eine innovative Anlage zur Produktion von Grippeimpfstoffen sowie von Impfstoffen gegen FSME und Tollwut aufgebaut.

## Intelligente Prozessführung

Damit all diese Medikamente effizient und in den erforderlichen Mengen produziert werden können, ist eine intelligente Prozessführung unerlässlich. Mit seiner bioverfahrenstechnischen Expertise ist Deutschland hier weltweit federführend. Mit Unterstützung des BMBF wird zudem daran gearbeitet, aktuelle Herausforderungen in diesem Feld auch künftig zu meistern. Dazu gehört unter anderem eine optimierte Prozessführung auf der Basis intelligenter Sensortechnik (siehe Kasten S. 62). Aber auch die stete Verbesserung der Aufreinigung ist bei biotechnologisch hergestellten Medikamenten eine zentrale Frage, weshalb das BMBF hier gezielt die Weiterentwicklung unterstützt hat. Im Fokus aktueller Forschungsanstrengungen stehen auch geeignete Produktionsorganismen. Während dies in den Anfängen der Biotechnologie zunächst Bakterien waren – wie beim Insulin – sind inzwischen überwiegend Säugetierzellen im Einsatz, wie CHO-Zellen, die ursprünglich aus dem Hamster stammen, oder menschliche Zelllinien. Gegenüber Bakterien sind diese Zellen in der Lage, bestimmte, für die Wirkung von Medikamenten wichtige Moleküle herzustellen.

**Umsatzentwicklung der Arzneimittelsegmente  
nach Zusatzklassen 2010–2012 (in Mio. Euro)  
im Apothekenmarkt**

	2010	2011	2012
Arzneimittel human	19.144,1	19.345,2	19.443,3
Biopharmazeutika	3.915,8	4.184,4	4.656,3
Übrige *	851,3	925,1	922,1
Phytopharmaka	777,0	758,5	748,7
Diagnostika	646,3	667,1	675,3
Homöopathika	252,8	253,3	256,3
Anthroposophika	49,3	52,8	53,8
<b>Gesamt</b>	<b>25.636,6</b>	<b>26.186,5</b>	<b>26.755,7</b>

\* Körper- und Zahnpflegemittel, Injektionszubehör, Desinfektionsmittel, Randsortiment, Drogen, Medizinprodukte, Chemikalien, Tierarzneimittel, Nahrungsergänzungsmittel, Diätetika  
Quelle: BPI, basierend auf Daten von Insight Health 2013

**Unkonventionelle Pharmaproduzenten**

Inzwischen werden aber auch unkonventionelle Quellen als biologische Arzneihersteller genutzt. So sind zum Beispiel Pflanzen als Produzenten innovativer Wirkstoffe ins Blickfeld gerückt. Im Jahr 2012 hat die US-Zulassungsbehörde FDA ein in Karottenzellen produziertes Enzym zur Behandlung der Gaucher-Krankheit zugelassen. Auch in Deutschland wird an solchen *plant made pharmaceuticals* gearbeitet. Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie in Aachen ist es beispielsweise gelungen, einen HIV-Impfstoff in Tabakpflanzen zu züchten. Beim Pharmakonzern Bayer laufen ebenfalls Versuche mit Tabakpflanzen. Basierend auf einem Verfahren,

das beim Hallenser Biotech-Unternehmen Icon Genetics entwickelt wurde, sollen die Pflanzen einen neuen Krebsimpfstoff gegen Lymphdrüsenkrebs herstellen – in speziellen Anlagen, unter kontrollierten Bedingungen. Keinesfalls sind solche Pflanzen für den normalen Acker geeignet. In intensiven Forschungsarbeiten wurden entsprechende Produktions- und Aufreinigungsverfahren etabliert, nun muss sich der neue Wirkstoff in klinischen Studien beweisen. Ausgehend von Forschungsarbeiten, die von Pflanzenforschern an der Universität Freiburg erfolgt sind, arbeitet die Biotech-Firma Greenvation wiederum an einem Produktionsverfahren für Medikamente auf der Basis des kleinen Blasenmützenmooses. 2014 soll ein erster Wirkstoff in die klinische Testung gehen.

Es gibt zudem Pflanzen, deren Inhaltsstoffe als medizinische Wirkstoffe von Interesse sind. So wird die Substanz Paclitaxel, die in der Pazifischen Eibe (*Taxus brevifolia*) vorkommt, als Krebsmedikament eingesetzt. Aufgrund der geringen Verbreitung der Pflanze und des niedrigen Wirkstoffgehalts, könnte der weltweite Bedarf an Paclitaxel auf herkömmlichem Wege allein nicht gedeckt werden. Das Mittel wurde daher seit langem zusätzlich teilsynthetisch aus bestimmten pflanzlichen Wirkstoffvorstufen hergestellt. Im Jahr 2002 wurde vom britischen Pharmakonzern Bristol-Myers Squibb ein Verfahren entwickelt, bei dem isolierte Eibenzellen auf Nährmedien in Fermentern kultiviert wurden, um den Wirkstoff zu gewinnen. Die biotechnologische Herstellung erfolgt im schleswig-holsteinischen Ahrensburg bei der Phyton Biotech GmbH, die eine der weltweit größten pflanzenzellbasierten Fermenterkapazitäten aufweisen kann.

### Tradition der Arzneipflanzen pflegen

Neben den modernen biotechnischen Verfahren, die die Möglichkeiten der Medizin in den vergangenen Jahren signifikant verbessert haben, spielen aber auch heute noch traditionelle Arzneipflanzen eine wichtige Rolle. Der Anbau von heilenden Kräutern hat in Deutschland eine lange Geschichte. Insgesamt 440 Arzneipflanzen sind in Deutschland heimisch. Etwa 75 von ihnen werden hierzulande auf einer Fläche von rund 12.000 Hektar erwerbsmäßig angebaut. Vor allem in Thüringen, Bayern, Hessen und Niedersachsen – gemeinsam decken diese Länder mehr als 70% des heimischen Arzneipflanzenanbaus ab. Den größten Anteil an der Gesamtanbaumenge hat die Kamille (mehr als 1.000 Hektar), gefolgt von Pflanzen wie Lein, Mariendistel, Pfefferminze und Sanddorn (jeweils 500 bis 1.000 Hektar). Der heimische Anbau stellt jedoch nur eine Nische dar: 90% der verarbeiteten Arzneipflanzen werden importiert. Die Arzneien aus der Natur erfreuen sich in Deutschland großer Beliebtheit. Griffen Anfang der 70er Jahre nur 52% der Bevölkerung zu diesen Mitteln, waren es im Jahr 2002 bereits 73%. Vor allem bei der Behandlung von leichten Erkrankungen wie Erkältungen hat sich ihr Einsatz bewährt.

Vor allem Pflanzen, die nur in geringen Mengen eingesetzt werden oder die sich hierzulande nicht anbauen lassen, werden auch heute noch im Rahmen von Wildsam-

### Heimischen Anbau von Arzneipflanzen fördern



Damit die deutsche Landwirtschaft stärker vom Markt der Arzneipflanzen profitieren kann, hat das BMEL das Demonstrationsprojekt KAMEL gefördert. Hier wurde am Beispiel von Kamille, Baldrian und Melisse versucht, die Rentabilität und Produktqualität bei diesen Arten durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu verbessern und damit deren Anbau in Deutschland zu intensivieren. Im Fokus standen züchterische Optimierungen sowie verbesserte Trocknungs-, Anbau-, Ernte- und Nacherntetechniken.

lungen an ihren natürlichen Standorten geerntet. Im Vergleich zum kommerziellen Landbau schwanken die Qualität und die quantitative Zusammensetzung ihrer Inhaltsstoffe jedoch. Daher wird versucht, auch neue, bisher nicht angebaute Pflanzen in Kultur zu nehmen. Leicht ist das jedoch nicht. So dauert es bei Kräutern mindestens fünf Jahre, bei Gehölzen teils noch länger, die Pflanzen für den Erwerbsanbau fit zu machen. Daher unterstützt das BMEL entsprechende Forschungsarbeiten (siehe Kasten). Im europaweiten Vergleich sind die in Deutschland angesiedelten Firmen bei der Herstellung von pflanzlichen Arzneimitteln Marktführer. Gleichwohl ist der Apothekenumsatz mit Phytopharmaka hierzulande rückläufig. Mit einem Umsatz von knapp 750 Mio. Euro (Stand 2012) ist es aber immer noch das dritt wichtigste Teilsegment im deutschen Pharmamarkt. Neben dem Einsatz in der Medizin gewinnen Arzneipflanzen für Kosmetika und Nahrungsergänzungsmittel an Bedeutung.

# Konsumgüter

## DATEN & FAKTEN

Unternehmen	k.A.
Mitarbeiter	k.A.
Umsatz	203 Mrd. Euro

**Beispiele aus der Bioökonomie:**  
Biobasierte Tenside, bioaktive  
Inhaltsstoffe für Kosmetik

© IBH Realit Consultants/2012 (FMCG)



**Ob Kosmetik, Zahnpasta, Waschmittel oder Haushaltsgeräte – bei der Herstellung von Produkten des alltäglichen Bedarfs kommen schon heute vielfältige biobasierte Verfahren zum Einsatz. Sie leisten einen wichtigen Beitrag für mehr Nachhaltigkeit in der Industrie und ermöglichen innovative Produkte mit neuen Eigenschaften für Verbraucher.**

In der Konsumgüterindustrie wird deutlich, dass die Bioökonomie längst ihren Weg in den Alltag gefunden hat. Egal ob langlebige Anschaffungen wie Haushaltsgeräte oder schnell verbrauchte Produkte wie Waschmittel, Zahnpasta oder Pflegecreme – inzwischen wird in vielen Bereichen auf natürliche Rohstoffe zurückgegriffen oder es werden biobasierte Verfahren im industriellen Herstellungsprozess genutzt. Jedes Jahr gibt ein deutscher Haushalt etwa 26.000 Euro für den privaten Konsum aus. Neben Bekleidung und Lebensmittel zählen Körper- und Pflegemittel zu den umsatzstärksten Bereichen. In Deutschland wurde im Jahr 2012 mit diesen Produkten rund 13 Mrd. Euro erwirtschaftet. Hinzukommen Produkte im Bereich Wasch- und Reinigungsmittel, für die rund 4 Mrd. Euro ausgegeben wurde. Gemessen an der Bevölkerungszahl Deutschlands entspricht dies einem Pro-Kopf-Verbrauch von 53 Euro.

### Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen

In diesen beiden Teilsegmenten der Konsumgüterindustrie ist der Einsatz biobasierter Verfahren schon heute vergleichsweise hoch. Etwa 40 % der hierfür jährlich hergestellten 600.000 Tonnen Inhaltsstoffe werden vollständig oder teilweise biobasiert hergestellt. Dazu gehören Tenside, alkoholische Lösungsmittel oder Citrate. Letztere werden schon heute vollständig biobasiert mit Hilfe von Melasse produziert – einem Abfallprodukt, das bei der Zuckerherstellung aus Zuckerrohr anfällt. Im Jahr 2011 lag der Anteil von biobasierten oder gemischten Tensiden bei 72 %. Als nachwachsende Rohstoffe werden hier vor allem Pflanzenöle und tierische Fette genutzt. (siehe S. 68). Darüber hinaus wird unter anderem beim Chemiekonzern BASF – gefördert durch das BMBF – daran gearbeitet, neuartige Biotenside zu entwickeln, die mit Hilfe von Mikroben hergestellt werden. Die jährlich rund 30.000 Tonnen alkoholischen Lösungsmittel, die

für Kosmetika eingesetzt werden, sind ebenfalls zu 100 % biobasiert, bei Wasch- und Reinigungsmitteln liegt ihr Anteil bei 50 %. Als Rohstoffbasis für die Herstellung der Alkohole dienen Zucker- und Stärkepflanzen, wobei Zuckerrüben mit 50 % die größte Ressource darstellen. Gefördert durch das BMEL hat die BASF zum Beispiel ein Verfahren entwickelt, wie sich der aus Stärke gewonnene Zuckeralkohol Isosorbid in Wasch- und Reinigungsmitteln nutzen lässt.

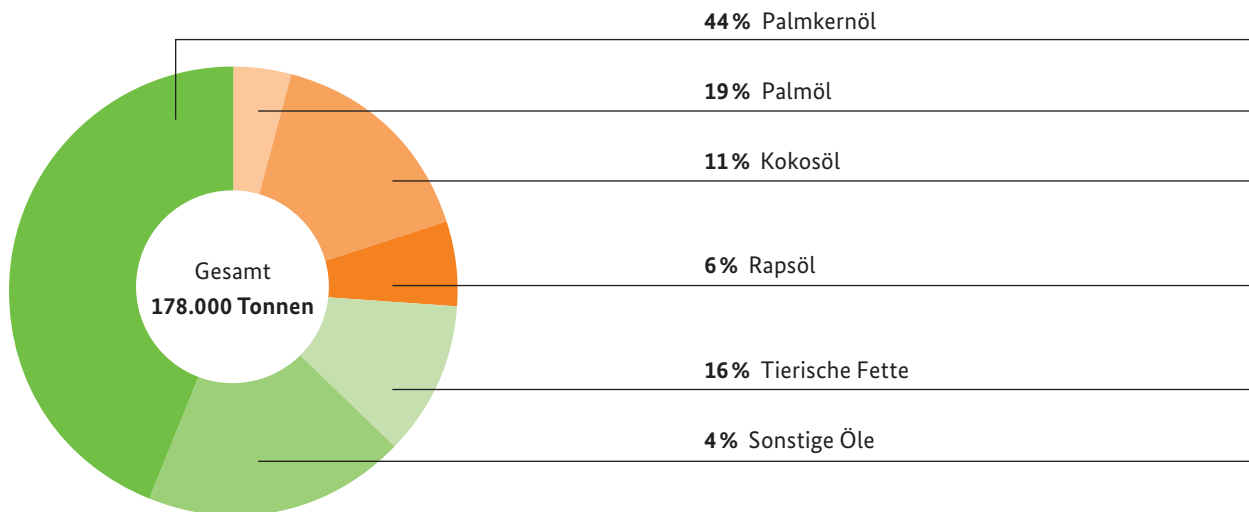
### Bioaktive Moleküle in der Creme

Bei Körperpflegeprodukten greifen die Hersteller bereits seit längerer Zeit auf spezielle bioaktive Inhaltsstoffe zurück – und bedienen damit eine wachsende Nachfrage nach natürlicher Kosmetik. Laut aktuellen Verbraucheranalysen legen 31 % der Deutschen großen Wert darauf, dass Körperpflegeprodukte keine chemischen Zusätze enthalten und auf natürlicher Basis hergestellt werden. Schon seit mehr als 30 Jahren sind rückfettende Naturstoffe wie Ceramide, Vitamine wie Folsäure oder spezielle Enzyme wie Q10 in Kosmetik- und Pflegeprodukten enthalten. Damit sie für die industrielle Nutzung verfügbar sind, musste jedoch zunächst ihre Herstellung mit Hilfe biologischer Mini-Fabriken wie Zellen oder Bakterien entwickelt werden, die die gewünschten Stoffe in großen Stahlbehältern produzieren (vgl. Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie). Diese auch Fermentation genannten Prozesse sind heute vielfach als Standard in der Kosme-



**Ob Plastiktüte, Kinderspielzeug, Kugelschreiber oder Cateringgeschirr – Biokunststoffe sind heute bereits in einer Vielzahl von Produkten zu finden.**

### Einsatz von Pflanzenölen und tierischen Fette in der Herstellung von Tensiden in Deutschland (2011)



Quelle: BMEL/Meo Carbon Solutions (2014)

tikbranche etabliert. Zum Beispiel wurde Q10 noch in den 70er Jahren aus Rinderherzen extrahiert. Mehr als 1.000 US-Dollar kostete ein Gramm des Enzyms. Durch die fermentative Herstellung in Hefen fiel der Preis auf nur noch einen Bruchteil. Heute findet Q10 auch in preiswerten Kosmetika Anwendung. Auf ganz neue Technologien zur Entwicklung bioaktiver Substanzen in der Kosmetik setzt die vom BMBF geförderte Allianz NatLife 2020 unter Federführung des Biotech-Unternehmens Brain AG, das am Kosmetikunternehmen Monteil beteiligt ist. Im Fokus der Kosmetikindustrie stehen zudem neue Ansätze, die den Prozess der Hautalterung aufhalten.

Inzwischen gibt es auch erste Zahncremes, die probiotische Mikroorganismen enthalten. Die Berliner Biotech-Firma Organobalance hat ein Verfahren entwickelt, mit dem sich natürliche Milchsäurebakterien nutzen lassen. Integriert in die Zahnpasta lagern sie sich im Mund an Karieserreger an und verklumpen mit ihnen. Diese Aggregate können beim Zähneputzen leicht aus dem Mund entfernt werden. Damit helfen die probiotischen Mikroorganismen, die Karieserreger besser zu entfernen als konventionelle Produkte. Die natürlichen Mikroorganismen vom Typ *Lactobacillus casei* werden nach den Standards der Lebensmittelindustrie hergestellt und erfüllen damit hohe Ansprüche an Sicherheit und Verträglichkeit. Nach der Produktion werden sie stabilisiert, getrocknet und einer vorbereiteten Zahnpastamasse beigefügt.

### Natürliche Reinigungshelfer

Im Reinigungssektor sind biobasierte Verfahren ebenfalls Routine, wenn es darum geht, neben Tensiden noch weitere reinigungsaktive Substanzen auf natürlicher Basis herzustellen. Auch hier sind Enzyme – also Biokatalysatoren, die mit Hilfe von Mikroben hergestellt werden – inzwischen das Mittel der Wahl. Auf dieses Segment der Konsumgüterindustrie entfällt der größte Marktanteil (40%) industrieller Enzyme. Durch ihren bereits langjährigen Einsatz in Waschmitteln haben die natürlichen Helfer einen entscheidenden Beitrag dazu geleistet, dass der lange Zeit extrem energie- und wasserintensive Waschvorgang inzwischen deutlich umweltschonender abläuft. Anders als chemische Moleküle sind Enzyme vielfach bei milden Temperaturen aktiv. Ihnen ist es damit auch zu verdanken, dass die durchschnittliche Wascht Temperatur auf aktuell 46°C gesunken ist. Im Jahr 1972 lag diese noch bei 63°C. 90°C-Wäschen machen heute nur noch 7% aller Waschvorgänge aus, vor mehr als 40 Jahren waren es noch etwa 40%. Zugleich hat sich die Effizienz der Reinigungsmittel durch die Biokatalysatoren erhöht: Waren früher noch 220 Gramm für eine 5 Kilogramm-Wäsche notwendig, reichen heute 75 Gramm. Nach Angaben des Industrieverbandes Körperpflege und Waschmittel e.V. wurden im Jahr 2010 knapp 6.000 Tonnen Enzyme als Inhaltsstoffe für Wasch- und Reinigungsmittel hergestellt, 1994 waren es 3.600 Tonnen. So enthalten 80% aller

Waschmittel heutzutage sogenannte Proteasen. Hierbei handelt es sich um Enzyme, die Eiweißmoleküle abbauen können. Diese Eigenschaft eignet sich bestens zum Entfernen von Flecken, die aus Blut, Kakao oder Ei bestehen. Gefördert vom BMBF wurde hier vor einigen Jahren eine Protease gefunden, die besonders kälteaktiv ist und hartnäckige Schokoladenreste auch bei 20°C entfernt.

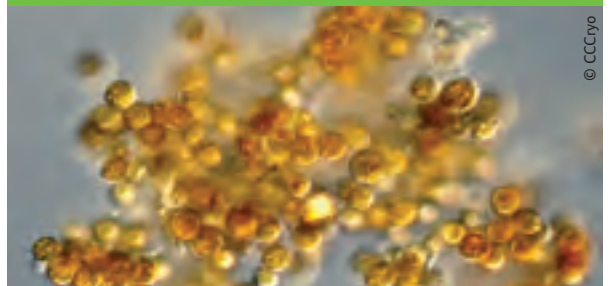
### Biokunststoffe im Alltag

Rund 14 Mio. Tonnen Verpackungen werden in Deutschland jedes Jahr produziert, etwa 40% davon – rund 5,5 Mio. Tonnen – sind Kunststoffe. Dieses Material ist deshalb so beliebt, weil es die verpackte Ware sauber und frisch hält, vergleichsweise wenig wiegt und sich problemlos in fast jede benötigte Form bringen lässt. Doch Kunststoffe bestehen überwiegend aus einem Grundstoff, der zur Neige gehen wird: Erdöl. Immer interessanter werden daher biobasierte Alternativen – auch für Hersteller von Elektro-Großgeräten, Kleingeräten und Hauswärmetechnik. Nach Angaben des Zentralverbandes Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) haben die rund 12.700 Unternehmen in diesem Bereich im Jahr 2012 knapp 8 Mrd. Euro Umsatz erwirtschaftet. Da Formgebung, Materialien und Energieeffizienz als Kaufkriterien auch bei Kleingeräten an Bedeutung gewinnen, setzen die Firmen inzwischen auch auf Bioplastik, das in zunehmender Vielfalt von der chemischen Industrie als Material angeboten wird (vgl. Chemie). Eine der größten Herausforderungen ist dabei eine gute Handhabung des Materials in der Produktion, denn mit Blick auf ihre Wärmeformbeständigkeit oder ihr Brandverhalten weisen sie mitunter andere Eigenschaften auf, die bei technischen Anlagen berücksichtigt werden müssen. So hat die Efbe Haushaltgeräte GmbH, gefördert vom BMEL, ein neues Spritzgussverfahren für naturfaserverstärkte Biopolymere für Gehäuseteile von Haartrocknern entwickelt, die es inzwischen zu kaufen gibt. Noch allerdings können diese nur zu einem höheren Preis angeboten werden. Biobasierte Gehäuse für Toaster, Wasserkocher und Kaffeemaschinen werden ebenfalls bereits getestet.

Einen großen Absatzmarkt haben Biokunststoffe indes bereits im Getränkemarkt gefunden, vor allem US-Hersteller setzen auf sogenannte *Plant Bottles*. Bisher wurden für die Herstellung von Plastikflaschen jedes Jahr rund 20 Mio. Barrel Öl verbraucht. Zumeist bestehen

die Flaschen aus dem Kunststoff Polyethylenterephthalat (PET). Dieses Material wiederum setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: Terephthalsäure (70%) und Monoethylenglycol (30%). Schon heute lässt sich Monoethylenglycol aus biobasiertem Alkohol herstellen, der aus natürlichen Ressourcen wie Zuckerrohr gewonnen wird. Damit können gegenüber der erdölbasierten Produktion rund 20% des Kohlendioxids eingespart werden. Ziel ist es, auch Terephthalsäure, die Hauptkomponente von PET, aus biologischen Rohstoffen herzustellen. Das soll bis 2020 erreicht sein. In den chemischen Eigenschaften unterscheiden sich konventionelles und biobasiertes PET nicht. Lediglich die Rohstoffquellen sind unterschiedlich. Das biobasierte PET ist also eine typische „Drop in“-Lösung, bei der die Produktion ohne weitere Anpassungen von petrochemischen auf natürliche Quellen umgestellt werden kann (vgl. Chemie).

### Algen für die Kosmetikindustrie



In Algen stecken zahlreiche natürliche Inhaltsstoffe, die für die Kosmetikbranche interessant sind. Pflanzenforscher haben zum Beispiel an extreme Lebensräume angepasste Süßwasseralgen, die kälteliebenden Schneevalgen, für sich entdeckt. Sie können als Produzenten einer breiten Palette von Farbstoff-Pigmenten, Vitaminen und Antioxidantien eingesetzt werden, die in der Kosmetik- oder Lebensmittelindustrie genutzt werden können. Forscher der Fraunhofer-Gesellschaft haben ein Arten-Archiv aufgebaut, die „Culture Collection of Cryophilic Algae – CCCryo“ mit 370 Isolaten und 125 Arten. Die Sammlung ist eine frei zugängliche Bioressource. Seit einigen Jahren besteht eine industrielle Kooperation, in deren Rahmen Schneevalgenstämme für die Verwendung in Kosmetika in eigens dafür am Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik entwickelten Photobioreaktoren produziert werden.

# Textilien

## DATEN & FAKTEN

Unternehmen	1.300
Mitarbeiter	111.313
Umsatz	11,33 Mrd. Euro

**Beispiele aus der Bioökonomie:**  
Hightech-Fasern aus Spinnenseide,  
pflanzliche Gerbstoffe

© Stat. Bundesamt/2013



**Für die Textilindustrie ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe alltägliche Routine. Ob Pflanzenfasern wie Leinen oder Baumwolle, ob tierische Produkte wie Wolle, Seide oder Leder – in vielen Bereichen kommen traditionell Naturprodukte zum Einsatz. Mit Blick auf Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz werden inzwischen aber auch unkonventionelle Ideen umgesetzt. So entstehen aus Reststoffen der Lebensmittelindustrie neue Hightech-Fasern mit bisher ungekannten Eigenschaften.**

Bei der Herstellung von Bekleidung kommen seit Jahrtausenden Naturprodukte zum Einsatz. Schon die alten Ägypter und Römer nutzten Flachs, um aus seinen Fasern Leinengewebe zu produzieren. Leder – gegerbte Tierhäute – war sogar schon in der Steinzeit ein beliebtes Material, um daraus Schuhe oder Gürtel zu fertigen. Erst in den vergangenen Jahrzehnten haben sich preiswerte erdölbasierte Kunstfasern durchgesetzt. Gerade in der jüngsten Vergangenheit konnte jedoch eine Rückkehr zu traditionellen Naturfasern beobachtet werden.

Weltweit wurden im Jahr 2012 rund 83 Mio. Tonnen Textilfasern produziert. Ein Drittel davon entfällt auf Baumwolle. Sie ist mit Abstand die am häufigsten eingesetzte Naturfaser für Heim- und Bekleidungstextilien. Sie wird aus den Samenhaaren der Pflanzen der Gattung Baumwolle (*Gossypium*) gewonnen und entweder maschinell oder von Hand geerntet. Doch nicht nur die weite Verbreitung macht die Baumwolle zu einem Symbol für biobasiertes Wirtschaften. Vielmehr lässt sich fast die gesamte Pflanze nachhaltig verwenden: Die Samenfasern werden zu Textilien, aus den Samen wird Baumwollöl gepresst – ein Grundstoff für die kosmetische Industrie. Der nach dem Auspressen verbleibende Ölkuchen wiederum landet häufig als eiweißreiches Viehfutter in der Landwirtschaft. Und die Pflanze selbst wird nach dem Verblühen häufig untergepflügt und dient so als Gründünger für das Feld.

Im Gegensatz zur Baumwolle werden bei weiteren Textilpflanzen wie Flachs, Hanf oder Jute auch die Pflanzentängel weiterverarbeitet. Die weltweite Produktion dieser Bastfasern fällt jedoch mit jeweils rund zwei Mio. Tonnen pro Jahr sehr viel geringer aus. Nachdem die

Bastfasern vereinzelt wurden, ähnelt ihre Weiterverarbeitung aber jener der Baumwolle: Aus den einzelnen Fasern wird Garn gesponnen, das sich wiederum zu Geweben weiterverarbeiten lässt. Ihre Einsatzbereiche unterscheiden sich jedoch: So werden die Bastfasern vorwiegend als sogenannte technische Textilien in industriellen Anwendungen eingesetzt, weniger für die Herstellung von Kleidung.

Der enorme Stoffbedarf weltweit lässt sich inzwischen immer weniger durch Baumwolle decken. 1990 waren weltweit 19 Mio. Tonnen verfügbar, was einem Anteil von 49% entsprach. Im Jahr 2000 gab es zwar 20 Mio. Tonnen Baumwolle, doch das entsprach lediglich einem Anteil von rund 40%, weil der weltweite Markt aller Fasern gewachsen war. Derzeit hat Baumwolle noch einen Anteil von 31%.

### Kunstfasern dominieren Markt



1.300 nahezu ausschließlich mittelständische Betriebe der deutschen Textil- und Bekleidungsindustrie beschäftigen rund 110.000 Menschen. Die Exportquote liegt in der Textilindustrie bei etwa 40%, damit ist der Sektor die zweitgrößte Konsumgüterbranche in Deutschland. Im Jahr 2013 wurden insgesamt 11,33 Mrd. Euro mit Textilien verdient. Das geht aus Daten des Statistischen Bundesamtes hervor. Vor allem in der Bekleidungsindustrie sind Chemie- und Kunstfasern immer noch der wichtigste Rohstoff. Rund 121.000 Tonnen wurden davon im Jahr 2012 verarbeitet, hinzu kommen 21.000 Tonnen Baumwolle und 17.000 Tonnen Wolle.

### Mit Enzymtricks synthetische Fasern besser verarbeiten

Baumwollfasern bilden nach mehrfachem Waschen winzige Knötchen aus und die Textilien vergrauen. Enzyme wie Cellulasen im Waschmittel wirken dem entgegen. Das Biotechnologie-Unternehmen evocatall GmbH aus Düsseldorf will dieses Potential auch für synthetische PET-Fasern erschließen. Unter dem Dach der Allianz „Funktionalisierung von Polymeren (FuPol)“ werden Enzyme gesucht, die die Knötchenbildung bei PET-Fasern verhindern helfen. Insgesamt neun Partner zählt die Allianz, vier aus der akademischen Forschung und fünf aus der Industrie. So entwickelt der Hersteller von Textilgarnen Coats Funktionstextilien, wie sie zum Beispiel zur Abdichtung von Nähten im Outdoor-Bereich benötigt werden. Die Allianz will in den nächsten fünf Jahren rund 8 Mio. Euro in mehrere Forschungsprojekte investieren. Die Hälfte der Mittel stammt vom BMBF aus der „Innovationsinitiative industrielle Biotechnologie“.



© hiproductions/Fotolia.com

### Synthetische Fasern mit grünem Anstrich

Ein Großteil der in der Industrie genutzten Materialien besteht jedoch aus Kunst- und Chemiefasern, die aus synthetischen Polymeren wie Polyester, Teflon, Lycra, Trevira, Nylon und anderen bestehen. Inzwischen gibt es aber auch Beispiele für natürliche Polymere, die als Rohstoff für Fasern eingesetzt, aber über chemische Prozesse hergestellt werden. Dazu zählt auch die Viskose, deren Rohstoff Cellulose ist. Im Gegensatz zu Baumwollfasern zeichnen sich Viskosefasern durch eine größere Variation in ihrer Fasergeometrie (Länge, Kräuselung, Feinheit, Querschnittsform) aus und können dadurch breiter angewendet werden. Der Energie- und Wasserverbrauch bei Herstellung und Verarbeitung von Viskose ist zwar geringer als bei Baumwolle, allerdings entstehen im Laufe des Verarbeitungsprozesses teilweise ungesunde und umweltschädliche Gifte wie Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) und Schwefelkohlenstoff ( $CS_2$ ). Andere Chemiefasern aus Cellulose haben dieses Problem nicht: So wurde für die Produktion von Tencel- und Lyocellfasern ein Direkt-Löse-Verfahren entwickelt, das auf ein ungiftiges Lösungsmittel setzt und im Rahmen eines geschlossenen Stoffkreislaufes funktioniert. Zudem

wird die Cellulose für Lyocellfaser aus Eukalyptus- oder Buchenholz gewonnen. Da diese Pflanzen schneller wachsen und einen hohen Ertrag pro Fläche aufweisen, ist ihre Umweltbilanz besser als bei Baumwolle. Neuere Forschungsarbeiten zeigen zudem, dass sich auch Flachs, Hanf und Bambus sowie Bananenpflanzen und Soja für den Cellulosebrei eignen.

### Züchtung neuer Faserpflanzen

Inzwischen rücken auch zuletzt kaum noch beachtete Pflanzen wieder in den Fokus des Interesses – zum Beispiel die Fasernessel. Neben Hanf und Faserlein gehörte die Brennnessel bis zum Zweiten Weltkrieg zu den wichtigsten einheimischen Faserpflanzen, danach geriet sie in Vergessenheit. Dank neuer Verarbeitungsmethoden kann man heute aus ihren Fasern Stoffe in der Feinheit von Baumwolle mit sehr guten textilen Eigenschaften oder Vliese für technische Zwecke weben. Die bislang übliche Vermehrung über Stecklinge ist allerdings für den großflächigen Anbau wenig geeignet und auch beim Fasergehalt der vorhandenen Sorten sind Steigerungen noch möglich. Das Institut für Pflanzenkultur (IFP) im Wendland und das Faserinstitut Bremen e. V. haben nun

mit Unterstützung des BMEL neue Fasernessellinien gezüchtet, die sich durch feine und trotzdem feste Fasern sowie einen hohen Fasergehalt auszeichnen.

### Pflanzliche Gerbstoffe mindern Umweltbelastung

In der Textilindustrie kommen jedoch nicht nur pflanzliche Rohstoffe zum Einsatz – mit Wolle, Seide oder Leder haben auch tierische Produkte ihren festen Platz im Rohstoffsortiment. Während es sich bei Wolle und Seide ebenfalls um Fasern handelt, werden bei der Lederherstellung die Häute von Tieren gegerbt und somit haltbar gemacht. Von allen weltweit verarbeiteten Häuten stammen über 95% von Rindern, Kälbern, Schafen, Ziegen und Schweinen, sie sind ein Nebenprodukt der Lebensmittelindustrie. Wurden früher vor allem Holz- und Rindengerbstoffe verwendet, kamen in den vergangenen Jahre vor allem auf Chromsalzen oder anderen Mineralien basierende Gerbverfahren zum Einsatz. Diese sind zwar kostengünstiger und weniger aufwendig, stehen aber wegen ihrer Umwelteigenschaften in der Kritik.

Deshalb sind in den vergangenen Jahren wieder vermehrt pflanzliche Gerbverfahren entwickelt worden. Die Wet-Green GmbH hat beispielsweise einen Extrakt aus Olivenblättern als Gerbstoff entwickelt. Der Wirkstoff dient den Bäumen eigentlich als Schutz vor Fraßfeinden. Bei der Olivenernte und beim Rückschnitt der Bäume fallen rund 10% des Erntegewichts an Blättern an. Wurden sie bisher von den Olivenbauern häufig vor Ort verbrannt, werden sie nun für die Herstellung eines pflanzlichen Gerbmittels genutzt, das am Ende die Umweltbilanz von so unterschiedlichen Produkten wie Autos, Schuhen, Sofas und Uhrenarmbändern verbessert. Das wirtschaftliche Potential des Olivenblatt-Abfalls ist groß: Theoretisch können bis zu 40% der Weltlederproduktion auf diese Weise bearbeitet werden.

### Vom Abfallprodukt zum Rohstoff

Auf Nachhaltigkeit setzt auch der Sportartikelhersteller Puma. So wurde das Remake des Klassikers „Suede“ komplett als „Öko-Schuh“ entwickelt. Das Obermaterial ist aus synthetischem Wildleder und wurde von der japanischen Firma Toray entwickelt. Es besteht aus 100% recycelten Polyesterfasern, die in einem chemischen Recyclingprozess aus Abfallprodukten von Fertigungs-

prozessen in synthetisches Material verwandelt werden. Im Gummi-Anteil der Laufsohle sind Reishülsen verbaut, die in der Lebensmittelproduktion als Abfall anfallen und den Anteil erdölbasierten Gummis im Schuh reduzieren. Die Fertigung des Remakes spart, verglichen mit herkömmlichen Produktionen, 80% der CO<sub>2</sub>-Emissionen ein. Der Recycling-Schuh, 140 Gramm leichter als sein Vorgänger von 1968, schont über Produktion und Vertrieb die Umwelt: Laut Hersteller ergibt sich eine Einsparung von 15 Tonnen Kohlendioxid-Emissionen pro zehntausend verschickter Schuhpaare.

Auf die Verwertung von Abfällen aus der Lebensmittelindustrie hat sich die Qmilk Deutschland GmbH in Hannover spezialisiert. Sie entwickelt ein Biopolymer bestehend aus dem Milcheiweiß Kasein, das aus nicht mehr verkehrsfähiger Rohmilch hergestellt wird. Jährlich fallen davon 1,9 Mio. Tonnen an. Schon in den



Aus Abfällen der Milchwirtschaft stellt Anke Domaske von der Qmilk Deutschland GmbH Textilfasern her.



© H. Zell

**Im Mittelalter wurden Bekleidungsstücke mit Färberkrapp rot gefärbt. Heute erleben natürliche Färbeverfahren eine Renaissance.**

30er Jahren gab es Ansätze, diesen Abfall für die Textilherstellung zu nutzen, allerdings kam damals noch viel Chemie zum Einsatz. Dies ist heute nicht mehr der Fall. Derzeit findet die Produktion der Faser in Zusammenarbeit mit dem Faserinstitut Bremen e.V. ohne chemische Zusätze statt. Das Produkt wird nicht nur für Bekleidung und Heimtextilien verwendet, sondern kommt auch als technische Faser beispielsweise für den Einsatz in der Medizintechnik und im Automobilbau in Frage.

### Enzyme verbessern Umweltbilanz

Für die Textilindustrie sind jedoch nicht nur nachwachsende Rohstoffe von Relevanz. Um die Umweltbilanz der zumeist stark chemiebasierten Verfahren und Prozesse zu verbessern, kommen inzwischen verstärkt biotechnologische Ansätze zum Zuge. Ein Beispiel ist das Bleichen von Textilien. Weit verbreitet ist hier immer noch das Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ). Dieses Oxidationsmittel muss nach dem jeweiligen Bleichprozess wieder vollständig aus dem Textilmaterial entfernt werden. Im konventionellen Verfahren geschieht das, indem das Textilmaterial mindestens zweimal mit 80°C bis 95°C heißem Wasser gespült wird. Dieser Prozess dauert etwa zwei Stunden und verbraucht viel Wasser und Energie. Da eine vollständige Entfernung des Bleichmittels hiermit

nicht gelingt, müssen noch verschiedene Chemikalien zur Nachbehandlung eingesetzt werden. Die biotechnologische Variante bedient sich der natürlichen Kraft von Biokatalysatoren, zum Beispiel des Enzyms Katalase. Dieses Enzym besitzt die Fähigkeit, Wasserstoffperoxid innerhalb von wenigen Minuten in nur einem Spülschritt mit warmen Wasser (30°C bis 40°C) zu entfernen. So reduzieren sich die Kosten für Kühlwasser, Prozesswasser und Dampf, gleichzeitig wird die Umwelt durch den geringeren Energieaufwand geschont.

Biotechnologische Prozesse auf der Basis von Enzymen finden auch in der Jeans-Herstellung Verwendung. Traditionell werden Bimssteine genutzt, um den sogenannten „Stonewashed“-Effekt zu erzielen, eine fleckige Farbstruktur. Das kostet Wasser, Energie und Produktqualität, denn das Gewebe wird durch den Bimsstein stark beansprucht. Pro Hose fallen 600 Gramm Steinabrieb an, der die Maschinen schädigt und auch noch entsorgt werden muss. Doch es geht auch anders – ohne Bimssteine, dafür mit speziellen Enzymen. Der mit Cellulasen erreichte Stonewashed-Effekt ist der gleiche, doch die umweltrelevanten Kosten sinken um 54%, Schadstoffe im Abwasser (-97%) und in der Luft (-86%) fallen fast gar keine mehr an. Ein anderes Beispiel zeigt die Umweltentlastungs- und Kostensenkungspotentiale bei der

Gewebefärbung. Durch Einsatz des Enzyms Katalase in der Färbeprebehandlung von Baumwolle war es möglich, pro Tonne Textil den Ausstoß des klimaschädigenden Kohlendioxids um bis zu 120 Kilogramm zu verringern sowie bis zu 19.000 Liter Wasser und bis zu 500 Kilowattstunden einzusparen. Enzyme spielen auch bei der Reinigung von Textilien eine wichtige Rolle. Schon bei alten Hausmitteln wie der Gallseife wird die reinigende Wirkung durch Enzyme vermittelt. Die heutzutage für Waschmittel genutzten Enzymcocktails werden meist mikrobiell hergestellt (vgl. Konsumgüter). Sie dienen nicht nur dazu, Schmutz aus dem Gewebe zu entfernen, sondern erfüllen auch vielfältige weitere Aufgaben. So entfernen Cellulasen beispielsweise kleine abstehende Einzelfasern und sorgen so dafür, dass sich auf den Textilien weniger Fussel bilden.

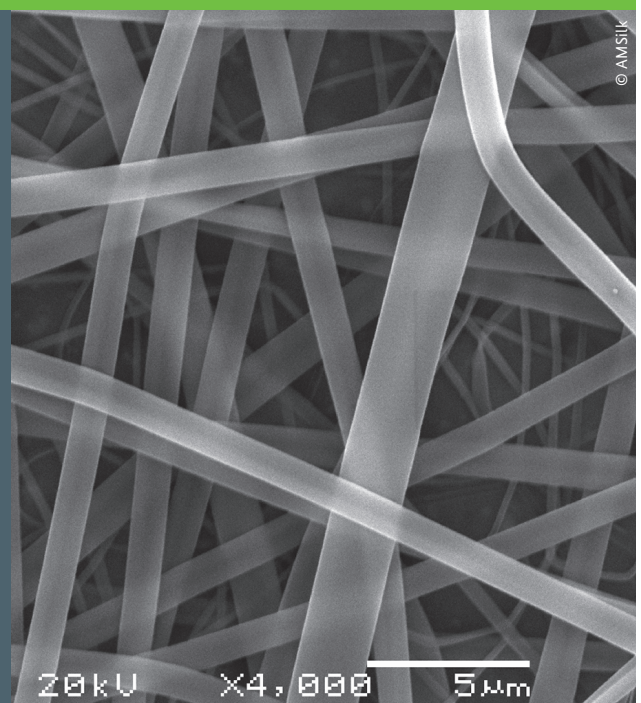
### Natürliche Farbe für Exklusiv-Textilien

Um die Textilfärbung nachhaltiger zu gestalten, wird an eine alte Tradition im Textilgewerbe zurückgegriffen. Schon vor 4.000 Jahren färbten die Menschen in Europa mit pflanzlichen Farbstoffen Gewebe aus Na-

turfasern. Seit dem Mittelalter wurden Färbepflanzen angebaut: Färberwaid für Blau, Färberkrapp für Rot und Färberessede für Gelb. Mit der Entwicklung synthetischer Farbstoffe auf Basis von Kohle und Erdöl im 19. Jahrhundert verloren diese jedoch an Bedeutung. Erst in den 90er Jahren rückten sie wieder ins Blickfeld. Auf Initiative des Landes Brandenburg wurden die einheimischen Pflanzen Krapp und Reseder wieder angebaut, allerdings nur im kleinen Vertragsanbau-Maßstab. Die größte Herausforderung besteht darin, standardisierte Extrakte gewinnen. Die Spremberger Tuche GmbH hat hier – gefördert vom BMEL – inzwischen ein funktionierendes Verfahren gefunden. Die Extrakte lassen sich nun in modernen Färbemaschinen und Dosieranlagen verarbeiten. Aus zwei Extrakten werden 120 Farbtöne hergestellt. Aufgrund des hohen Preises wird hier aber kein Massenmarkt bedient – die Kunden kommen vor allem aus dem exklusiven Textilbereich.

### Hightech-Faser aus Spinnenseide

Spinnenseide ist ein wahres Wunder der Natur – zehnmal dünner als menschliches Haar, doch zwanzigmal stärker als Stahl und gleichzeitig elastischer als Gummi. Für eine ganze Reihe von Anwendungen – zum Beispiel als Hightech-Textilien – wäre dieser Naturstoff daher ideal. Bislang stellte sich die Produktion von Spinnenseide aber als Problem dar, denn die Tiere lassen sich nicht in großen Mengen züchten und „melken“. Die AMSilk GmbH in Martinsried setzt auf Biotechnologie. Nach vielen Jahren Tüftlei zusammen mit Materialforschern aus Bayreuth und mit finanzieller Unterstützung des BMBF hat das Spin-off der Technischen Universität München Bakterien so maßgeschneidert, dass sie die Spinnenseideproteine herstellen können. Zudem wurde ein Verfahren entwickelt, um diese Moleküle zu Fasern zu verarbeiten. Im März 2013 wurden die ersten Biotech-Fasern gesponnen, die sich für den Einsatz in Hightech-Textilien für Sport oder Medizin eignen. Nun gilt es, die Anlage vom Labor in den Technikumsmaßstab zu überführen.



# Die Rohstoffquellen der Bioökonomie

Pflanzen, Tiere sowie Mikroorganismen sind die vielfältigen Rohstoffquellen für die biobasierte Wirtschaft. Hierbei geht es nicht nur um Biomasse, die in der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft oder der mikrobiellen Produktion neu entsteht. Zunehmend rücken auch organische Rest- und Abfallstoffe in den Fokus als wertvolle Ressourcen für die stoffliche und energetische Nutzung.

**D**as Besondere an der Bioökonomie ist ihre nachwachsende Rohstoffbasis: Biologische Ressourcen – damit sind Lebewesen wie Pflanzen, Tiere sowie Mikroorganismen gemeint – wachsen und gedeihen und produzieren durch ihren Stoffwechsel eine große Vielfalt organischer Substanzen. Der geeignete Oberbegriff, unter dem sich solche nachwachsenden Ressourcen pflanzlicher oder tierischer Herkunft fassen lassen, ist Biomasse. In der Bioökonomie wird Biomasse vielfältig genutzt, vorrangig als Nahrungs- und Futtermittel, aber zunehmend auch als Stoff- und Energielieferant für die Industrie. Nachhaltig erzeugte nachwachsende Rohstoffe tragen zur Schonung der fossilen Ressourcen bei und mindern den Ausstoß klimaschädlicher Gase. Zugleich schaffen sie Arbeitsplätze und Wertschöpfung im ländlichen Raum.

### Biomasse von Äckern und Wiesen

Pflanzen sind die bedeutendsten Biomasse-Produzenten der Erde: Sie betreiben Photosynthese und wandeln Kohlenstoffdioxid aus der Luft und Sonnenlicht in Sauerstoff und organische Verbindungen um. Biomasse enthält ein komplexes Stoffgemisch aus Kohlenhydraten, Fetten, Ölen und Proteinen. Grüne Pflanzen sorgen für die Hauptmenge der primären Biomasseproduktion der Landfläche der Erde. Pflanzen stehen am Beginn der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette und sind damit für die Bioökonomie von elementarer Bedeutung. Die pflanzliche Erzeugung in Deutschland ist breit aufgestellt und vielfältig: Sie reicht von Acker- und Pflanzenbau über Waldbau, Garten- und Obstbau bis hin zum Anbau von Sonderkulturen wie Wein oder Hopfen. Landwirte bewirtschaften und pflegen knapp die Hälfte der Fläche Deutschlands. Kulturpflanzen werden hauptsächlich zur Verwendung als Nahrungsmittel bzw. Futtermittel angebaut. Für den menschlichen Verzehr produziert die Landwirtschaft – neben den tierischen Produkten – vor allem Brotgetreide, Kartoffeln, Zuckerrüben, Obst und Gemüse.

Heute ist Getreide das wichtigste pflanzliche Erzeugnis der deutschen Landwirtschaft. Auf gut einem Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland wächst Getreide, die Mehrheit davon landet in den Futtertrögen von Nutztieren. Weizen ist das mit Abstand am häufigsten angebaute Getreide in Deutschland. Auf

Rang zwei folgt Gerste, die insbesondere als Viehfutter, aber auch als Braugerste zum Bierbrauen verwendet wird. Traditionell hat im Brotland Deutschland auch der Roggen eine große Bedeutung. Zuckerrüben sind wiederum die wichtigsten Industrielieferanten für den „Haushaltszucker“ Saccharose und für Stärke. Weitere bedeutende Stärkepflanzen sind Kartoffeln, Weizen und Mais. Aus Raps gewonnene Pflanzenöle und -fette werden hierzulande besonders häufig eingesetzt, mehrheitlich in der Nahrungsmittelindustrie. Nutzpflanzen wie Soja, Weizen oder Raps sind zudem wichtige Proteinlieferanten. Neuerdings rücken auch Lupinen, Ackerbohne und Erbsen verstärkt in den Fokus. Entsprechende Forschungsbemühungen zielen darauf ab, die Leistungsfähigkeit dieser heimischen Proteinlieferanten zu verbessern, um Abhängigkeiten von internationalen Importen zu senken. Innerhalb der Bioökonomie werden nun insbesondere Ansätze verfolgt, Anbau und Nutzung von Pflanzen ressourceneffizient und nachhaltig zu gestalten – im Sinne eines bestmöglichen Nebeneinanders von konventioneller Landwirtschaft und Ökolandbau sowie unter Berücksichtigung neuer Möglichkeiten

### Deutsche Agrarflächen im Überblick



46,8% der Gesamtfläche Deutschlands werden für die Landwirtschaft genutzt, davon sind 6% dem Ökolandbau zuzurechnen. Zwei Drittel aller landwirtschaftlich genutzten Flächen werden für die Herstellung von Futtermittel verwendet, 27,5% geht in die Nahrungsmittelproduktion. 12,6% der Fläche wird für den Anbau von Energiepflanzen genutzt, 2,4% der Fläche kommt Industripflanzen zugute. 1,2% ist für Brachen und stillgelegte Flächen reserviert.



**Schneeealgen sind kälteangepasste Mikroalgen und rücken zunehmend als Produzenten für Kosmetik- oder Lebensmittelinhaltsstoffe ins Rampenlicht.**

für Pflanzen als nachwachsende Rohstoffe außerhalb der Nahrungs-, Futter- und Lebensmittelindustrie. So spielen Getreide, Raps, Zuckerrüben und andere Kulturen auch für die Erzeugung erneuerbarer Energien (vgl. Energie) und als Rohstoffe für die Chemieindustrie (vgl. Chemie) eine wichtige Rolle.

Während Pflanzen als Biomasseproduzent auf dem Land im Mittelpunkt stehen, übernehmen Algen und andere Primärproduzenten diese Aufgabe im aquatischen Bereich. Ob im Meer oder im Süßwasser: Algen produzieren große Mengen Zuckermoleküle oder Öl und können so-

mit zur Gewinnung von interessanten Inhaltsstoffen für die Industrie genutzt werden. In Europa werden Algen in der Lebensmittelindustrie als Emulgator, Verdickungsmittel oder Nahrungsergänzungsmittel eingesetzt. Algen können in offenen oder geschlossenen Systemen auf degradierten und nicht fruchtbaren Flächen angebaut werden. Damit steht die Produktion nicht in direkter Nutzungskonkurrenz zur Herstellung von Lebens- und Futtermitteln. Im Vergleich zu Nutzpflanzen haben Algen eine um den Faktor zehn höhere Biomasseproduktion, allerdings setzt ihr Anbau im Rahmen von Photobioreaktoren auf eine hohe Verfügbarkeit von Sonnenlicht. Um diese Ressource auch für Deutschland besser zu erschließen, wird hierzulande u. a. daran geforscht, genügsame Mikroalgen (z. B. Schneeealgen) als Produzenten für Farbstoffe oder eisstrukturierende Proteine zu entwickeln, die in der Kosmetik- oder Lebensmittelindustrie genutzt werden könnten (vgl. Konsumgüter).

### Holz – nachhaltiger Rohstoff für die Bioökonomie

Eine wichtige nachwachsende Rohstoffressource in Deutschland ist der Wald. Rund 3,4 Mrd. Kubikmeter sind hierzulande vorhanden – ein europäischer Spitzenwert. Er ist wertvolles Ökosystem, Kohlenstoffspeicher, Erholungsraum und bedeutender Rohstofflieferant zugleich. Holz ist als pflanzliches Gewebe aus Zellen mit Zellwänden aufgebaut. Sie bestehen aus einem Gerüst aus den langkettigen Zuckermolekülen Cellulose und Hemicellulose. Während der Verholzung wird in die

### Nachwachsende Rohstoffe im Fokus

Mit dem Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ verfolgt das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) das Ziel, den Einsatz land- und forstwirtschaftlicher Rohstoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs in der Industrie voranzutreiben. Dies umfasst sowohl stoffliche als auch energetische Verfahren und beinhaltet mehrere Schwerpunkte (z. B. Biokunststoffe, Biokraftstoffe und Energiepflanzen). Die Vorhaben werden durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) betreut. Allein aktuell werden rund 650 Forschungs- und Entwicklungsprojekte umgesetzt, jährlich fließen rund 60 Mio. Euro in die Vorhaben.



Zellwände zusätzlich Lignin eingelagert, das wie ein Bindemittel wirkt. Das entstandene chemische Gerüst wird auch als Lignocellulose bezeichnet. Der Stellenwert, die Nachfrage und die Nutzung von Holz als nachwachsender Roh-, Bau- und Werkstoff sowie Energieträger, nimmt aufgrund der positiven Materialeigenschaften und günstigen Ökobilanz weiter zu. Der inländische Verbrauch von Holzrohstoffen hat in den vergangenen zwei Jahrzehnten kontinuierlich zugenommen. Neben dem Waldholz der Forstwirtschaft stellen die sonstigen Holzrohstoffe wie Sägespäne, Rinde und Waldrestholz ebenfalls wichtige Rohstoffe für die holzbasierte Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland dar. Im Jahr 2011 hat die Bundesregierung die „Waldstrategie 2020“ verabschiedet, um den Natur- und Wirtschaftsraum Wald langfristig zu sichern und eine tragfähige Balance zwischen den steigenden Ansprüchen an den Wald und seiner nachhaltigen Leistungsfähigkeit aufzuzeigen.

Im Fokus des Interesses steht die Suche nach Kaskadennutzungen, die einen ressourceneffizienten Einsatz des umweltfreundlichen, nachwachsenden Rohstoffs Holz ermöglichen. Auch im Züchtungsbereich gibt es zahlreiche Forschungsanstrengungen (vgl. Land- und Forstwirtschaft). Dies gilt auch mit Blick auf schnell wachsende Bäume, die insbesondere im Bau zunehmend als Rohstoff in den Fokus rücken (vgl. Bau). Des Weiteren wird mit Hilfe neuester Technologien versucht, die Möglichkeiten für Holz als Ausgangsstoff für die stoffliche Nutzung in der Industrie weiter zu verbessern.

### Biomasse aus Stall und Weide

Ein wichtige Basis für die Bioökonomie sind die landwirtschaftlichen Nutztiere. Die deutsche Landwirtschaft hält bei tierischen Erzeugnissen eine Spitzenposition: Nirgendwo in Europa wird mehr Milch und mehr Schweinefleisch erzeugt. Deutschland ist nach Frankreich der zweitgrößte Erzeuger von Rind- und Kalbfleisch sowie von Geflügelfleisch. Insgesamt gibt es 170 Mio. Nutztiere, die wiederum 80 Mio. Tonnen Futter pro Jahr verbrauchen. Als Verwerter von pflanzlicher Biomasse nehmen Nutztiere hierzulande eine wichtige Rolle ein. Viehwirtschaft und Landwirtschaft sind daher eng miteinander verknüpft. So liefert der Futterbau – unterteilt in den zwei Formen Ackerfutterbau und Grünlandnutzung – einen Großteil des für die Ernährung der Nutztie-

### Der Wald als Rohstofflieferant



11 Millionen Hektar Wald gibt es derzeit in Deutschland. Das entspricht 31% der Landesfläche, mit stetig zunehmenden Holzvorräten. Die Waldfläche, hat in den letzten vier Jahrzehnten um 1 Million Hektar zugenommen. Insgesamt 135 Millionen Kubikmeter Holzrohstoffe werden pro Jahr verwendet – als Bau- und Werkstoff sowie als Energieträger.

re notwendigen Grundfutters wie Gras- und Maissilage. Hinzukommen Nebenprodukte, die in Zuckerfabriken, Getreidemühlen oder Molkereien der Ernährungswirtschaft anfallen, und ebenfalls zu Futtermittel weiterverarbeitet werden. Die Sicherung mit eiweißhaltigen Futtermitteln wird größtenteils mit ergänzenden Importen gewährleistet, da innerhalb von Europa nicht genügend eiweißhaltige Pflanzen produziert werden. Wiesen und Weiden stellen ebenfalls einen wichtigen Faktor im System dar: Sie versorgen Rinder mit Futter und sind damit eine wichtige Säule der Milchwirtschaft. Mit ihrer hohen Biodiversität leisten sie aber auch einen Beitrag zum Umweltschutz. Im Rahmen der Bioökonomie geht es vor allem darum, Tierzucht, Tierhaltung, Nahrungs- und Lebensmittelproduktion sowie Nachhaltigkeit und Umweltschutz miteinander in Einklang zu bringen (vgl. Land- und Forstwirtschaft).

Mit dem bloßen Auge kaum zu erkennen, ist eine weitere zentrale biologische Ressource: Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen und Pilze. Diese kommen im gesamten Ökosystem in vielfältigster Form vor und werden beispielsweise bereits seit Jahrtausenden als winzige Helfer bei der Herstellung von Lebensmitteln wie Bier

### Forschung für den Ökologischen Landbau

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) zielt darauf ab, die Rahmenbedingungen für die ökologische Land- und Lebensmittelwirtschaft und andere Formen nachhaltiger Landbewirtschaftung in Deutschland zu verbessern und die Voraussetzungen für ein gleichgewichtiges Wachstum von Angebot und Nachfrage zu erzielen. Das Programm wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der Geschäftsstelle BÖLN in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Bonn koordiniert. Inzwischen wurden über 750 Forschungs- und Entwicklungsprojekte umgesetzt, jährlich fließen rund 9 Mio. Euro in die Vorhaben.

oder Käse eingesetzt. Mikroorganismen sorgen aber auch in Klärwerken oder in Biogasanlagen für den Abbau von organischen Stoffen. In der chemischen und pharmazeutischen Industrie sind Mikroben inzwischen bedeutende „Arbeitstiere“ (siehe Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie sowie Chemie, Pharma). Dazu zählen etwa das Bakterium *Escherichia coli*, das in der Aminosäureproduktion eingesetzte *Corynebacterium glutamicum* oder der Pilz *Aspergillus niger*, ein wichtiger Zitronensäurelieferant. Vielversprechende Perspektiven eröffnen Mikroorganismen auch im Zusammenhang mit der Gewinnung und Verarbeitung konventioneller Rohstoffvorkommen wie Erze oder mineralische Ressourcen. So werden Bakterien in der Metallgewinnung schon seit langem genutzt, um Metalle Stück für Stück aus der Erde oder aus Halden herauszulösen. Nun gibt es auch erste Ansätze, die Rückgewinnung von Seltenen Erden aus einer Lösung ebenfalls auf der Basis von Mikroorganismen durchzuführen und auf diese Weise Vorkommen in Deutschland effizienter zu nutzen.

### Herausforderung Kreislaufwirtschaft

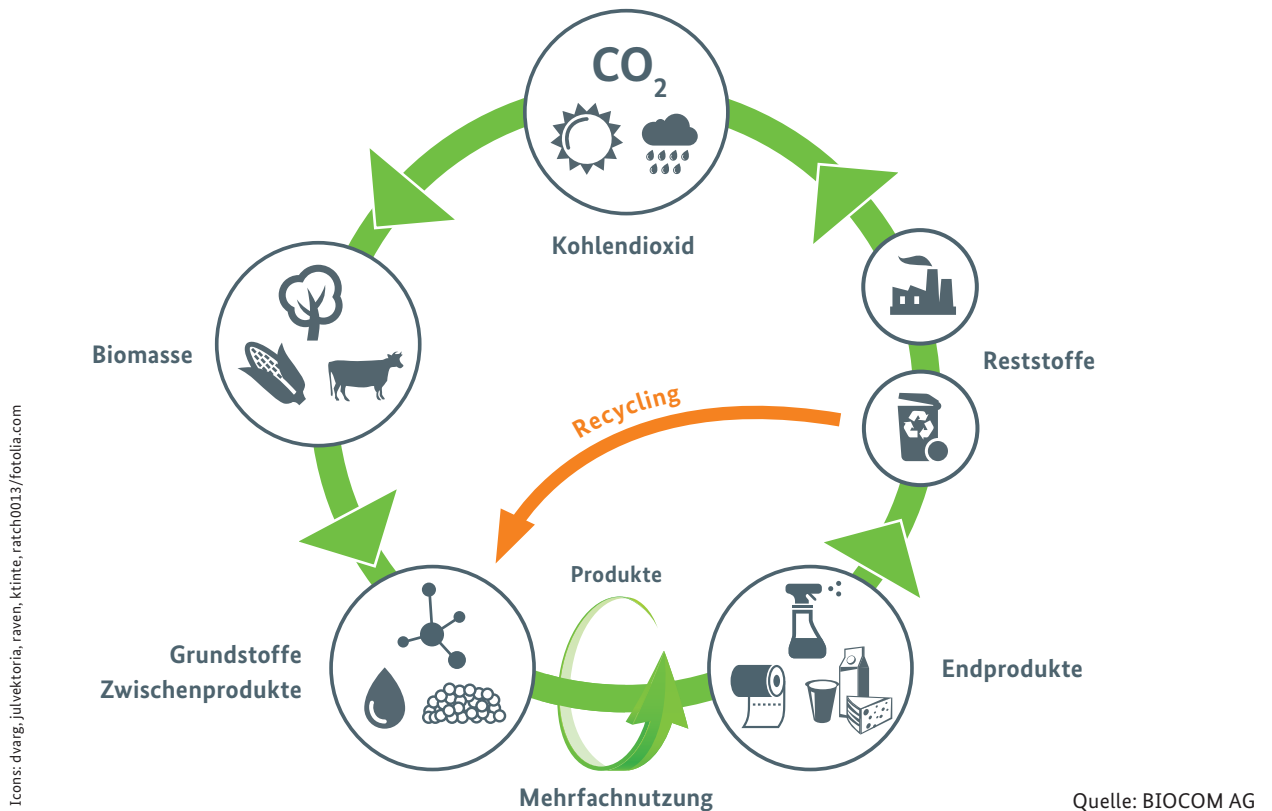
Die Bioökonomie zeichnet sich auch gerade dadurch aus, dass nicht nur die in Land- und Forstwirtschaft erzeugten, geernteten und primär verarbeiteten Biomasseanteile genutzt werden. Immer stärker rückt der Fokus auch auf

das bisher weitgehend ungenutzte Potential aus Ernterückständen und Reststoffen wie Stroh, Waldrestholz oder Gülle. Hinzukommen Reststoffe, die in der industriellen Produktion und Weiterverarbeitung anfallen: Hierzu zählen klassische Abfallstoffe wie Rapspresskuchen, Algenrestbiomasse, Gärreste, Molke oder Fruchtschalen. Aber auch Abfallprodukte wie Kohlenstoffdioxid gehören dazu, auch wenn ihre Auf- und Weiterverarbeitung erst in jüngster Zeit von Seiten der Forschung erschlossen wird.

Das Konzept der Bioökonomie zielt insbesondere darauf ab, geschlossene Stoffkreisläufe zu etablieren und vorhandene Ressourcen möglichst effizient im Sinne einer Kaskadennutzung einzusetzen. Zentrales Ziel dabei ist eine Mehrfachnutzung von Biomasse: Zunächst erfolgt eine stoffliche Nutzung des in biobasierten Produkten gebundenen Kohlenstoffdioxids, am Ende der stofflichen Nutzungsphase wird es bei der energetischen Nutzung wieder freigesetzt. Bei Holz wird dieses Prinzip bereits verfolgt: Aus Cellulose wird Papier, benutztes Papier wird zu Dämmmaterial weiterverarbeitet und wenn es hier ausgedient hat, wird es als Material zur Energiegewinnung verheizt. Ähnliche Kaskadennutzungen sind bei der Verwertung von Stroh denkbar. Im Jahre 2010 fielen hiervon in Deutschland schätzungsweise etwa 35 Mio. Tonnen (Frischmasse) an. Für die energetische und stoffliche Nutzung stehen zwischen 20% und 40% des anfallenden Strohs zur Verfügung, werden aber noch nicht in dem Umfang abgerufen. Bei tierischen Reststoffen hingegen sind bestehende Stoffkreisläufe bereits eng miteinander verzahnt, allerdings ergibt sich hier noch weiteres Potential mit Blick auf höherwertige Anwendungen oder eine mehrfache stofflichen Nutzung. Die



## Nutzungskreislauf des Kohlenstoffs



„Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ der Bundesregierung setzt darauf, den Kohlenstoff-Kreislauf der Natur in einer künftigen biobasierten Industrie abzubilden. Das bedeutet: Es geht nicht einfach darum, fossile Ressourcen durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen. Vielmehr gilt es, das in Biomasse steckende Potential wesentlich effektiver auszuschöpfen und die resultierenden Stoffströme ressourceneffizient und nachhaltig für unterschiedliche Industriezweige zu erschließen. Hier gibt es in den verschiedensten Branchen bereits vielversprechende Ansätze (vgl. Bioökonomie im Alltag). Auf Verfahrensebene sind Konzepte der Bioraffinerie in der Erprobung (vgl. Die biobasierte Produktion).

Gleichzeitig müssen die biologischen Ressourcen in ihrer Gesamtheit in den Blick genommen werden. Denn eine ideale Kreislaufwirtschaft stellt alle Beteiligten vor große Herausforderungen: So erfordert die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse im Detail andere Anforderungen an die Quantität und Qualität von Rohstoffen als ihre Verwendung im Nahrungs- und Futtermittelbe-

reich. Darüber hinaus ergeben sich sowohl im Vergleich der stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse als auch bei den dort vorhandenen, verschiedenen Nutzungspfaden selbst jeweils andere relevante Parameter, die es zu berücksichtigen gilt. Ein wichtiger Aspekt ist die Flächenverfügbarkeit. Denn Biomasse ist zwar prinzipiell erneuerbar, aber aufgrund begrenzter Anbauflächen auch limitiert. Gefragt ist daher ein intelligenter Umgang mit Biomasse. Die Bioökonomie liefert den Rahmen, um auf der Basis von Hightech-Werkzeugen und biobasierten Produktionsverfahren (vgl. Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie und Die Biobasierte Produktion) die Aspekte Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit in der Wirtschaft abzubilden. Nur so kann es gelingen, die Konkurrenz verschiedener Nutzungspfade von nachwachsenden Ressourcen, ein Nebeneinander von Ökolandbau und konventioneller Land- und Forstwirtschaft zu gewährleisten. Gleichzeitig bietet die Bioökonomie die Chance, die mit Biomasse erzeugte Wertschöpfung am Standort Deutschland zu steigern und auch für ländliche Räume eine nachhaltige Weiterentwicklung zu ermöglichen.

# Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie

Die Entwicklung der Bioökonomie hängt ganz wesentlich vom Einsatz moderner Technologien ab. Großes Potential ergibt sich insbesondere durch die intelligente Kombination von Bio- und Ingenieurwissenschaften. Innovationen aus Molekularbiologie und Biochemie, Anlagen-, Maschinen- und Gerätebau sowie Verfahrens- und Informationstechnik liefern die Basis für die Hightech-Werkzeuge der biobasierten Wirtschaft.

**M**oderne Technologien sind wichtige Motoren der Bioökonomie. Gerade in den Lebenswissenschaften hat es in den vergangenen Jahren bahnbrechende Fortschritte gegeben, die dem Konzept des biobasierten Wirtschaftens einen kräftigen Schub verliehen haben. Erkenntnisse zur biologischen Vielfalt, zu den molekularen Grundlagen und den Stoffwechselleistungen von Organismen, aber auch Innovationen in Anlagentechnik, Maschinenbau und Sensorsystemen haben zu Verfahren und Anwendungen geführt, die sich in vielfältiger Weise industriell nutzen lassen (vgl. Bioökonomie im Alltag).

Der Wissensfortschritt der letzten Jahrzehnte hat die Methoden der Züchtung von Nutzpflanzen ebenso verändert wie die industrielle Produktion im Bioreaktor oder die in Land- und Forstwirtschaft eingesetzte Maschinenteknik. Nachwachsende Rohstoffe effizient zu nutzen und biobasierte Produkte herzustellen, gelingt durch Hightech-Entwicklungen aus dem Anlagen- und Gerätebau sowie den Einsatz neuester Sensor-, Energie- und Verfahrenstechnik immer besser. Auf diese Weise können auf Äckern und Wäldern Erträge gesteigert und gleichzeitig Ressourcen geschont werden. Darüber hinaus bieten die Kombination von Innovationen aus den unterschiedlichsten Disziplinen das Potential, kreislaufbasierte Konzepte wie die Bioraffinerie so weiterzuentwickeln, dass eine effiziente Mehrfachnutzung und Wiederverwertung von Biomasse zu wirtschaftlich günstigen Kosten betrieben werden kann.

### Moderne Züchtung: Schneller und effizienter

Mit Ackerbau und Viehzucht sind die Menschen bereits seit mehreren Jahrtausenden dabei, Pflanzen und Tiere nach ihren Bedürfnissen zu züchten. Auf dem Weg von der Wildform zur ertragreichen Kulturpflanze oder zum leistungsstarken Nutztier haben Bauern über Jahrhunderte gezielt Gewächse und Tiere ausgewählt, um sie in ihren Merkmalen zu verbessern. Diese Züchtung durch Auslese wurde erst Anfang des 20. Jahrhunderts durch die systematische Pflanzen- und Tierzüchtung abgelöst. Sie kombiniert neueste Erkenntnisse aus der angewandten Genetik und Molekularbiologie mit moderner Land- und Stalltechnik sowie nachhaltigem Boden- und Ressourcenmanagement. Bei der klassischen Züchtung können genetische Variationen auf unter-

schiedlichste Weise erzeugt werden – die gängigste Form ist die Kreuzung von Sorten oder Rassen, um interessante Eigenschaften miteinander zu kombinieren. In weiteren Schritten lassen sich dann die gewünschten Merkmalsausprägungen auswählen. Durch die enormen Fortschritte der Molekulargenetik – vor allem bei der Erbgutanalyse – ist diese klassische Form der Pflanzen- und Tierzüchtung in den vergangenen Jahrzehnten weiterentwickelt worden. Die Verfahren zur Entzifferung von Erbgut ermöglichen es, selbst komplexe und riesige Genome – wie sie gerade für viele Nutzpflanzen typisch sind – schnell und kostengünstig zu sequenzieren. Auf der Basis solcher Datensätze können Züchter Ausleseprozesse deutlich effizienter als bisher steuern

### Inventur der genetischen Vielfalt



Ob Huhn oder Rind, Weizen oder Mais, Alge oder Bakterium – die Artenvielfalt auf der Erde lässt sich durch einen Blick ins Erbgut erforschen und industriell nutzen. Die Molekulargenetik hat in den vergangenen Jahren rasante Fortschritte gemacht. Neue Techniken erlauben es, viel genauer und schneller als bisher das Erbgut zu analysieren und so eine genetische Inventur von Kulturpflanzen und Nutztieren voranzutreiben. Ist die genetische Vielfalt erst einmal katalogisiert, so lässt sich damit auch die Züchtung von Pflanzen und Tieren mit verbesserten Eigenschaften beschleunigen. Genbanken sind dabei wichtige Ressourcen, um die Agrobiodiversität zu erhalten. Neue Methoden in Pflanzen- und Tierzucht sowie der Aufbau von Genbanken werden von BMBF und BMEL im Rahmen der Nationalen Forschungsstrategie unterstützt.

[www.biooekonomie.de](http://www.biooekonomie.de)  
[www.genres.de](http://www.genres.de)



**Gewächse in Reih und Glied: Am IPK Gatersleben werden Maispflanzen bei ihrem Wachstum genauestens durchmustert.**

und vorantreiben. Zugleich steht Biologen und Tierzüchtern eine Fülle von Analyse-Werkzeugen zur Verfügung, mit denen sich dynamische Prozesse in Zellen, Stoffwechselprodukte und sogar die Funktion einzelner Gene genau untersuchen lassen. Auf diese Weise können Molekularbiologen interessante Merkmalsausprägungen bei Pflanzen und Tieren mit bestimmten Abschnitten in ihrem Genom in Verbindung bringen und dingfest machen. Zudem hilft die Kenntnis des genauen Aufbaus des Genoms Züchtern dabei, das Erbgut mit Hilfe sogenannter Marker, also molekularen Orientierungsposten, abzustecken. Solche Marker werden in der Regel gemeinsam mit einem wirtschaftlich bedeutenden Merkmal vererbt.

Diese markanten Abschnitte sind deshalb für die sogenannte Präzisionszüchtung, auch *Smart Breeding* genannt, von überragender Bedeutung. Hierbei werden Nachkommen gekreuzter Pflanzen oder Tiere in molekularbiologischen Tests überprüft: Sind bestimmte Marker nachweisbar, deutet das darauf hin, dass die untersuchten Nachkommen eine Genvariante tatsächlich geerbt haben. Durch den gezielten Erbgut-Check kann bereits bei jungen Organismen festgestellt werden, welche für die Weiterzucht geeignet sind. Für Landwirtschaft und Viehzucht hat sich dieser Fortschritt gelohnt: Züchtungsaufwand und -kosten konnten hierdurch in den vergangenen Jahren bereits erheblich verkürzt werden.

Manche Züchtungsziele lassen sich indes nicht mittels Kreuzung erreichen, da gewünschte Eigenschaften nicht

innerhalb einer Art oder einer Rasse vorhanden sind. Hier bieten molekularbiologische Methoden alternative Verfahren: So kann gezielt Erbsubstanz in das Erbgut von Pflanzen und Tieren eingeschleust werden. Für einen Gentransfer infrage kommen entweder art eigene Gene, Gene von verwandten Arten oder aber artfremde Gene. Auf diese Weise ist es beispielsweise möglich, besonders interessante Eigenschaften aus ursprünglichen Wildpflanzen in moderne Hochleistungssorten zu übertragen. Auch die Entwicklung von Pflanzen, die bei extremen Witterungsbedingungen wie Dürre oder Kälte ertragreich sind, ist mit Hilfe solcher Verfahren möglich, da entsprechende Eigenschaften vielfach bei Mikroorganismen vorkommen. Gegen den kommerziellen Anbau von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen gibt es in der Europäischen Union starke Vorbehalte, nur in wenigen EU-Mitgliedsstaaten werden solche Gewächse angepflanzt. Der Anbau von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen nimmt weltweit stetig zu, vor allem auch in Ländern, die in großem Umfang gentechnisch veränderte Agrarrohstoffe in die EU exportieren, wie USA, Brasilien, Kanada und Argentinien. 2013 wurden auf rund 175 Mio. Hektar gentechnisch veränderte Nutzpflanzen angebaut – von 18 Millionen Landwirten. In Ländern außerhalb der EU gibt es bereits Anbauzulassungen für gentechnisch veränderte Nutzpflanzen wie Baumwolle, Soja, Mais, Raps, Zuckerrüben, Kartoffeln, Reis, Kürbis, Melonen, Papaya, Tomaten, Paprika, Radichio, Pflaumen, Luzerne, Flachs, Blumen und Pappeln. Wie laufende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten deutlich machen, wird diese Palette in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Weltweit sind mittlerweile rund 80% der Sojaernte und rund 70% der Baumwollenernte gentechnisch verändert.

### Agrobiodiversität bewahren

Dass für eine effiziente und zugleich nachhaltige Züchtung von Pflanzen und Tieren eine genetische Vielfalt und Biodiversität von großer Bedeutung ist, wurde in der Vergangenheit nicht immer berücksichtigt: Zu Beginn der Nutzung einer Pflanzenart oder einer Tierrasse durch den Menschen wurden oftmals nur wenige Spezies domestiziert und zur Weiterzucht ausgewählt. So bilden nach Angaben der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) nur elf Nutztierarten die Grundlage der Tierproduktion in Deutschland. Zudem sind von

den 74 einheimischen Rassen, die dem Tierzuchtrecht unterliegen, 52 Rassen (von fünf Arten) gefährdet. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass weltweit mittlerweile 75% der genetischen Vielfalt bei Kulturpflanzen verlorengegangen sind. Eine solche Verengung des Genpools führt dazu, dass ursprüngliche, heimische Sorten oder Rassen aussterben. Vor diesem Hintergrund haben Züchter und Wissenschaftler damit begonnen, Genbanken anzulegen, die sich der Sicherung der genetischen Vielfalt verschrieben haben. In der Genbank Gatersleben lagern zum Beispiel rund 145.000 Samenproben von Nutzpflanzen aus aller Welt – davon sind allein 20.000 Gersten. Daneben gibt es inzwischen – gefördert durch das BMEL und koordiniert durch das BLE – auch Genbanken für Wildpflanzen sowie für Zierpflanzen. Durch die Unterstützung des BMEL wurde zudem die „Deutsche Genbank landwirtschaftlicher Nutztiere“ etabliert, um den Erhalt und den Bestand heimischer Nutztierassen zu fördern.

### Phänotypisierung: Durchmustern im Akkord

Der Blick ins Erbgut verrät allerdings nur etwas über die genetische Ausstattung einer Pflanze oder eines Tieres. In der modernen Züchtung rückt aber auch der Phänotyp immer stärker in den Fokus. Dieser offenbart, wie sich die genetische „Innenausstattung“ tatsächlich in konkreten Eigenschaften ausprägt. Dies ist für Pflanzenzüchter – beispielsweise mit Blick auf die Wechselwirkung einer Pflanze mit ihrer Umwelt – von besonderer Bedeutung. Um Analysen mit einer Vielzahl von

### Visionen für Hightech-Werkzeuge der Zukunft

Neben den schon heute eingesetzten Methoden und Verfahren arbeiten Forscher an ganz neuen Ideen, wie sich Biologie und Technik für die biobasierte Produktion von morgen noch stärker verbinden lassen. Im Rahmen der 2010 gestarteten BMBF-Initiative „Nächste Generation biotechnologischer Verfahren“ gibt es zum Beispiel Überlegungen, biologische Vorgänge zur Stoff- und Energieumwandlung nachzuahmen. Ob mikrobielle Brennstoffzelle, künstliche Photosynthese oder universeller Produktionsorganismus – Ideen für die industrielle Produktion der Zukunft gibt es genug. Die ersten 35 Projekte zu Basistechnologien werden inzwischen mit 42 Mio. Euro gefördert. Hinzu kommen Großprojekte in den Forschungsorganisationen, die ebenfalls anteilig vom BMBF unterstützt werden.

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

Pflanzen durchführen zu können, werden sogenannte Phänotypisierungs-Plattformen etabliert. In solchen Anlagen werden Pflanzen vollautomatisiert in großer Stückzahl nach bestimmten Merkmalen durchmustert. Zum Einsatz kommen möglichst nicht-invasive Verfahren, die die Gewächse schonend durchleuchten – etwa bildgebende Verfahren wie die Positronen-Emissions-Tomographie oder die Kernspinresonanzspektroskopie,

### Intelligenter Feldroboter inspiziert den Acker

Der BoniRob ist ein äußerst vielseitiger und zugleich akribischer Agrarroboter. Entwickelt wird die bereits mehrfach preisgekrönte Maschine an der Hochschule Osnabrück im Verbund mit dem Autozulieferer Bosch und dem Landmaschinenhersteller Amazone durch ein vom BMEL gefördertes Projekt. Mit seinen vier einzeln lenkbaren Rädern findet BoniRob sich selbstständig auf dem Acker zurecht. Ausgestattet mit Laserscannern, Lichtgittern, Spektrometern und anderen Sensoren vermisst er jede einzelne Maispflanze. So ermittelt er, wie gut die Gewächse mit Nährstoffen und Wasser versorgt sind.



© Hochschule Osnabrück

wie sie aus der medizinischen Diagnostik bekannt sind (vgl. Landwirtschaft). Diese vollautomatische Vermessung von Pflanzen und ihrer einzelnen Bestandteile (etwa Wurzel, Stängel, Blätter, Fruchtkörper) ist der Schlüssel, mit dem neues Wissen für die Züchtung und die landwirtschaftliche Praxis, aber auch für die ökologische Forschung geschaffen werden kann. Aufbauend auf diesen Datenmengen können mit Hilfe rechnergestützter Verfahren und intelligenter Algorithmen künftige Züchtungsergebnisse im Computer modelliert und damit teilweise vorhergesagt werden. Genomforschung, Phänotypisierung und Züchtung enger zu verknüpfen, um einen Beitrag zum Agrarsystem der Zukunft zu leisten – das wird im Rahmen des Ausbaus der Bioökonomie in Deutschland künftig ein wichtiger Baustein sein und durch Fördermaßnahmen zur nachhaltigen Agrarproduktion von BMBF und BMEL unterstützt.

### Elektro-Bakterien: Stoffproduktion mit Strom



© Falk Harnisch/UFZ

Bakterien, die organische Moleküle aus Abwässern abbauen und dabei elektrischen Strom gewinnen, wurden erst vor wenigen Jahren entdeckt. Forscher haben mit ihrer Hilfe sogenannte Bio-Brennstoffzellen entwickelt. Es gibt auch den umgekehrten Fall: Beliefert man elektroaktive Bakterien gezielt mit Strom, wird ihr Stoffwechsel angekurbelt und sie beginnen, hochwertige organische Verbindungen herzustellen. Die Elektro-Biotechnologie ist ein Zukunftsfeld, mit dem sich immer mehr Wissenschaftler auch in Deutschland beschäftigen. Das BMBF unterstützt in der Förderinitiative „Nächste Generation biotechnologischer Verfahren – Biotechnologie 2020+“ mehrere Forschungsprojekte, die Elektrosynthesen durch Mikroben erforschen.

### Smarte Technik auf dem Acker

Für Landwirte und Viehhalter sind Hightech-Werkzeuge nicht nur bei Züchtungsfragen von Belang. Innovationen im Anlage-, Geräte- und Maschinenbau halten immer mehr Einzug auf dem Acker und im Stall. So verknüpft die sogenannte Präzisionslandwirtschaft neueste, automatisierte Landtechnik mit Sensoren und Systemen zur Informationsverarbeitung, so dass die Produktion optimal an Schwankungen im Agrarökosystem ausgerichtet, bedarfsgerecht und nachhaltig erfolgen kann. So lassen sich Bewirtschaftungsmaßnahmen innerhalb eines Ackers oder einer Tierherde mit intelligenten Landmaschinen so gestalten, dass sie individuell auf die Standortbedingungen oder einzelne Tiere angepasst sind. Dies ermöglicht einen effizienteren Einsatz von Dünger oder Futter und verringert gleichzeitig die Umweltbelastung.

Viele Traktoren stecken dazu schon heute voller Hightech: Mit Sensortechnik, Computern und Satellitennavigation an Bord fahren sie über das Feld, erfassen den Zustand des Pflanzenbestandes, kombinieren die Messung mit Geodaten, leiten punktgenau den Nährstoffbedarf der Pflanzen ab und reagieren mit abgestimmten Düngemittelgaben. Automatisierte Ernteroboter erledigen in unwegsamem Gelände die Feldarbeit (siehe Kasten S. 85). Entsprechende Weiterentwicklungen werden beispielsweise durch die Innovationsförderung des BMEL stetig vorangetrieben. Charakteristisch für die moderne Landwirtschaft von heute ist, dass die eingesetzten Agrargeräte nicht nur intelligenter werden, sondern auch enger zusammenarbeiten. So können moderne Sämaschinen das Korn auf den Zentimeter genau in der Erde ablegen – exakt dort, wo ein anderes Gerät zuvor den Dünger platziert hat. Automatische Lenksysteme lassen Traktoren und Mähdrescher die Reihen auf wenige Zentimeter genau abfahren. Aber auch bei der Tierhaltung sind Hightech-Werkzeuge integriert. Mit Hilfe moderner Sensortechnik im Stall lässt sich der Gesundheitszustand der Tiere präzise erfassen. Das ermöglicht, Krankheiten schneller als bisher zu diagnostizieren und zu behandeln.

### Zusammenspiel von Biologie und Technik

Neben Pflanzen und Tieren sind Mikroorganismen und Zellen sowie aus ihnen gewonnene Biomoleküle wichtige Bausteine einer biobasierten Wirtschaft. Ob Chemie,

Pharma oder Lebensmittelindustrie – schon heute werden sie in vielfältigster Weise als biologische Mini-Fabriken eingesetzt, um Chemikalien, Medikamente oder Treibstoffe herzustellen (vgl. Bioökonomie im Alltag). Die industrielle und kommerzielle Anwendung von Mikroorganismen, Zellen oder Enzymen für verschiedenste Branchen wird industrielle oder auch „Weiße“ Biotechnologie genannt. Hierbei können sich Natur- und Ingenieurwissenschaften auf besondere Weise ergänzen. Zum Beispiel geht es darum, die Vielfalt an Mikroorganismen und deren Fähigkeiten für die industrielle Produktion zu nutzen.

Riesige Sammlungen von mikrobiellen Proben aus unterschiedlichsten Lebensräumen sowie sogenannte Metagenom-Bibliotheken sind ein Weg, diese Vielfalt zu archivieren und zu erschließen. So wurden etwa Bakterien aufgespürt, die Metalle wie Seltene Erden aus Erzen herauslösen können oder die Strom aus Abwasser gewinnen können (siehe Kasten S. 86). Immer feinere Analyse- und Labortechniken erlauben zudem, die tüchtigen Winzlinge „live“ bei der Arbeit zu verfolgen und zu kontrollieren. Andere Forschungsansätze wie die Systembiologie werfen einen ganzheitlichen Blick auf die komplexen Stoffwechselprozesse von Zellen. Diese Erkenntnisse können dazu genutzt werden, Zellen und biologische Systeme nach Ingenieursprinzipien mit komplexen neuen Eigenschaften und Funktionen auszustatten. Der Einsatz von lebenden Organismen oder Zellen als Mini-Fabriken für die biobasierte Produktion erfordert zudem viel Know-how in der Verfahrens- und Prozesstechnik, an der in vielfältiger Weise geforscht wird (vgl. Die biobasierte Produktion; Maschinenbau; Pharma).

In vielen Produktionssystemen der biobasierten Wirtschaft – von der Biogasanlage, über die Aquakultur bis zur Bioraffinerie – kommen zudem Kreislaufsysteme zum Tragen, die die stoffliche und energetische Nutzung kombinieren oder neuartige Recyclingtechnologien einsetzen (vgl. Die biobasierte Produktion). Hinzu kommen neueste Trends der Bioverfahrenstechnik, in denen die herkömmlichen große Edelstahlreaktoren abgelöst werden, um die aufwendigen sterilen Produktionsbedingungen zu vereinfachen. Bei all diesen Fragen sind sowohl Ingenieurskunst und Know-how im Anlagenbau als auch molekularbiologisches Wis-



sen gefragt. Eine Vielzahl von BMBF-Fördermaßnahmen verfolgt das Ziel, Forschungs- und Entwicklungsprojekte in diesem Bereich zu unterstützen. Dies gilt insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen sowie für Firmen aus Branchen, die bisher noch keine großen Erfahrungen mit biobasierten Verfahren haben.

### Innovative Materialien intelligent kombinieren

Wichtige Impulse kommen zudem aus den Materialwissenschaften und der Fertigungstechnik. So haben zum Beispiel Materialforscher den traditionellen Rohstoff Holz in einen Hightech-Werkstoff gewandelt, der auch zeitgemäßen Anforderungen an den Hochbau gerecht wird (vgl. Bau). Durch raffinierte Herstellungsverfahren sind innovative Holzwerkstoffe entstanden, die ähnliche bauphysikalische Leistungen wie Stahlbeton erbringen können.

Der Holzbau verdeutlicht auch einen weiteren Aspekt, der für den Einsatz biobasierter Materialien der Zukunft typisch ist: Sie können gut mit konventionellen, erdölbasierten Materialbausteinen kombiniert werden. Durch die Herstellung von Mischprodukten und Verbundmaterialien lassen sich Energie und Kohlendioxid sparen. Das trifft auch für den Wachstumsmarkt der biobasierten Kunststoffe zu (vgl. Chemie). Hier entstehen mit Hilfe der Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie aus nachwachsenden Rohstoffen Bausteine und Zwischenprodukte, die sich mit anderen Ausgangsstoffen aus der petrochemischen Industrie intelligent verknüpfen lassen. Auf dem Weg zu einer Bioökonomie wird es darauf ankommen, biobasierte Verfahren Schritt für Schritt in bestehende Infrastrukturen einzugliedern.

# Die biobasierte Produktion – ein Überblick

Ressourceneffiziente und nachhaltige Produktionsprozesse sind das Herzstück der Bioökonomie. Kleinstlebewesen wie Mikroorganismen gehören ebenso dazu wie hochkomplexe technische Anlagen, in denen eine Mehrfachnutzung von nachwachsenden Rohstoffen erfolgt. Im Idealfall ist die biobasierte Produktion ein in sich geschlossener Kreislauf.

**P**roduktions- und Prozesstechnik sind in jedem Wirtschaftssektor maßgeblich: Durch die Be- und Verarbeitung von Rohstoffen entstehen Güter unterschiedlichster Art. In einer biobasierten Wirtschaft kommt einer nachhaltigen und ressourceneffizienten Produktionstechnik eine große Bedeutung zu. Sie ist ein wesentlicher Baustein, um den Ausstoß von klimaschädlichem Kohlendioxid zu reduzieren und die Umweltverträglichkeit industrieller Prozesse zu steigern. Eines der wichtigsten Ziele, das mit der Bioökonomie erreicht werden soll, besteht darin, den Verbrauch fossiler Rohstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas in der Industrie zu senken. Die Vielfalt biobasierter Produktionssysteme ist groß. Äcker, Weiden und Wälder gehören ebenso dazu wie biologische Mini-Fabriken in Form von Bakterien, Pilzen oder Zellen. Hinzu kommt die ganze Bandbreite an Anlagen, in denen Biologie und Ingenieurskunst Hand in Hand gehen: Sie reicht von der Aquakultur über die Biogasanlage bis hin zur Bioraffinerie. Ein weiteres Ziel der Bioökonomie ist es, in sich geschlossene Kreislaufsysteme zu errichten, in denen natürliche Roh- und Abfallstoffe nicht nur be- und verarbeitet, sondern im Idealfall auch mehrfach genutzt und weiterverarbeitet werden.

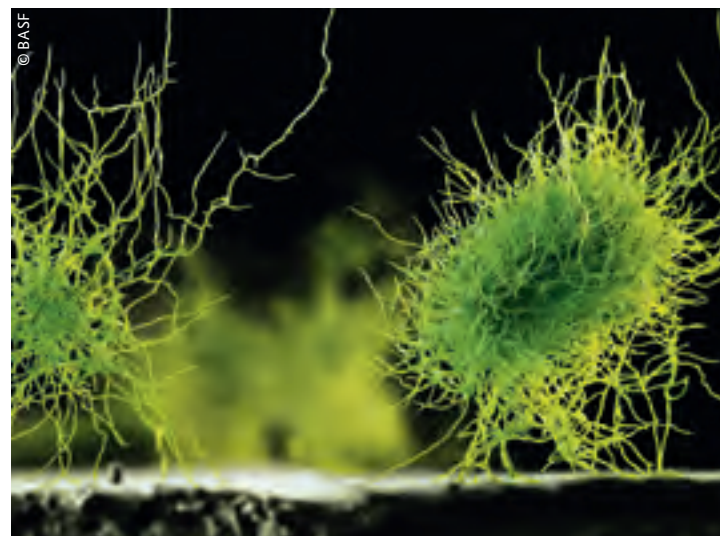
### Nachhaltiges Bodenmanagement

Ganz am Anfang der Wertschöpfungsketten in der Bioökonomie steht die Erzeugung der nötigen Biomasse. Egal ob es um die Produktion von Lebensmitteln, Tierfutter oder industriell genutzte Rohstoffe geht: Der nachhaltige Anbau der dafür notwendigen Pflanzen kann nur auf fruchtbaren Böden gelingen. In Deutschland werden rund 50% der gesamten Fläche landwirtschaftlich genutzt. Hinzu kommen weitere 30% an Waldfläche. Mit 27,8 Mio. Hektar Fläche ist der Boden damit der wichtigste Produktionsfaktor für Land- und Forstwirtschaft (vgl. Kapitel Land- und Forstwirtschaft). Böden sind allerdings auch sensible Ökosysteme, die ihrerseits sogenannte Ökosystemdienstleistungen vollbringen. Dazu zählt beispielsweise das Speichern von Wasser oder Kohlenstoff, was direkte Auswirkungen auf klimatische Veränderungen hat. Welche genau das sein können, wird derzeit in der ersten deutschlandweiten „Bodenzustandserhebung Landwirtschaft“ analysiert. Finanziert durch das BMEL wird hier erstmalig eine deutschlandweite, konsistente und repräsentative Inven-

tur der Kohlenstoffvorräte in den obersten 100 Zentimetern landwirtschaftlich genutzter Böden durchgeführt. Im Jahr 2014 wollen die Forscher des verantwortlichen Thünen-Instituts erste Ergebnisse vorlegen. Dann wird auch für Deutschland klarer erkennbar sein, welche Rolle agrarisch genutzte Böden für den Klimaschutz spielen.

Wer in Land- oder Forstwirtschaft mit Böden arbeitet, braucht zudem eine große Portion Geduld: Sie bilden sich in langandauernden Prozessen und lassen sich daher nicht kurzfristig erneuern oder ersetzen. Vor diesem Hintergrund ist es kaum verwunderlich, dass sich die Wissenschaft immer mehr der Frage zuwendet, wie die Leistungsfähigkeit agrarisch genutzter Böden dauerhaft erhalten und verbessert werden kann. Solche Vorhaben unterstützt das BMBF gezielt mit dem Förderschwerpunkt „Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie – BonaRes“. Entsprechende Aktivitäten laufen zudem innerhalb des vom BMEL finanzierten „Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft“.

Des Weiteren gehen Forscher der Frage nach, wie sich die Nährstoffeffizienz von Pflanzen über die Wurzel verbessern lässt. Etwa 95% aller Landpflanzen nehmen einen Großteil der benötigten anorganischen Nährstoffe über Pilze auf, mit denen sie eine sogenannte Mykorrhiza



Der Schimmelpilz *Aspergillus niger* ist von Natur aus in der Lage, verschiedene technische Enzyme herzustellen. Diese Eigenschaft wird in der Industrie gezielt genutzt.

(altgriechisch „Pilzwurzel“) ausbilden. Ein besseres Verständnis dieser Symbiose ist ein nicht zu unterschätzender Faktor für nachhaltige Agrarsysteme. Momentan werden weltweit etwa 70% des potentiell verfügbaren Trinkwassers für die Landwirtschaft verbraucht, und die Kosten für Stickstoff- und Phosphat-Dünger werden in naher Zukunft stark steigen. Vor diesem Hintergrund wird die Anwendung effizienter Pilz-Pflanzen-Einheiten eine wachsende Rolle spielen. Denn wenn diese gut funktionieren, lässt sich die Resistenz von Pflanzen gegenüber Schädlingen, Trockenstress und Salzstress beträchtlich erhöhen sowie die Anreicherung von Schwermetallen in Pflanzen vermindern. In einem BMBF-geförderten Projekt wollen Forscher der Ludwig-Maximilians-Universität München im Rahmen einer Ausgründung entsprechende Wurzelbeschichtungsverfahren für die Landwirtschaft auf den Markt bringen. Ein vorausschauendes intelligentes Flächenmanagement steht wiederum im Fokus der vom BMEL initiierten „Plattform zum Schutz der natürlichen Ressource

Boden“, an der Vertreter von Bund, Ländern und Kommunen sowie Verbänden, Wissenschaft und Investoren beteiligt sind.

### Mikroben als Mini-Fabrik

Ein für die Bioökonomie ebenfalls wichtiges Produktionssystem stellen Mikroorganismen wie Bakterien oder Pilze dar. Diese mikroskopisch kleinen Lebewesen gedeihen in einer erstaunlichen Vielfalt sehr unterschiedlicher Habitate. Sie kommen im Boden vor, aber auch an Orten, die extremer Hitze, Kälte, Strahlung, Druck oder Dunkelheit ausgesetzt sind. In einer biobasierten Wirtschaft stellen Mikroben die kleinsten biobasierten Produktionseinheiten dar. Der Mensch hat sich schon immer der Fähigkeiten von Mikroorganismen bedient. In zahlreichen Kulturen wurden Methoden der Vergärung zuckerhaltiger Nahrungsmittel zu Alkohol mithilfe von Hefen, Milchsäuregärung unter Verwendung von *Lactobacillus*-Stämmen oder die Essigherstellung mit Hilfe spezieller *Acetobacter*-Spezies lange vor der Entdeckung von Mikroorganismen oder dem Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse genutzt. Die Industrie macht sich diese natürlichen Fähigkeiten heute gezielt zunutze: So bewerkstelligen Mikroorganismen komplexe Stoffumwandlungen mit hoher Ausbeute bei Raumtemperatur und Normaldruck, wofür chemische Verfahren hohe Temperaturen und Drücke brauchen (vgl. Die Hightech-Werkzeuge der Bioökonomie). In großen Fermentern stellen diese Hochleistungsmikroben vom chemischen Grundbaustein, über Waschmittelenzyme oder Biokunststoffe bis hin zum pharmazeutischen Wirkstoff eine große Vielfalt von industriellen Gütern her (vgl. Bioökonomie im Alltag).

### Recycling – zweites Leben für Biomasse

Auch bei der Herstellung von Wärme, Strom und Kraftstoffen gibt es inzwischen eine Reihe von biobasierten Verfahren (vgl. Kapitel Energie). Diese setzen vielfach auf die Verwertung von Rest- und Abfallstoffen. Hierzu zählen Biomasseheizkraftwerke, in denen Scheitholz verfeuert wird, das für stoffliche Verwendungsalternativen nicht geeignet ist oder zu wettbewerbsfähigen Preisen nicht erschlossen werden könnte. Tierische Reststoffe wie Gülle und Mist wiederum werden in Biogasanlagen weiterverarbeitet. Bei der Entwicklung neuester

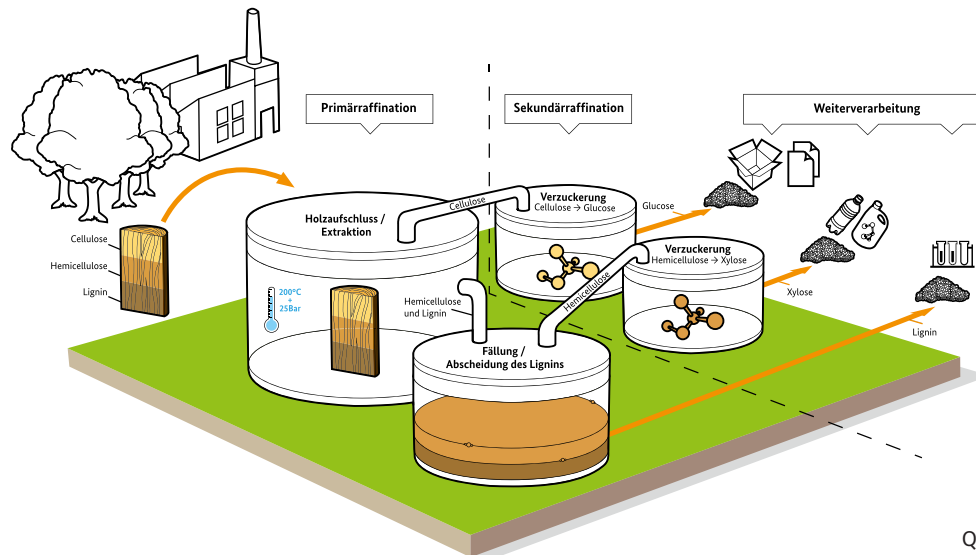
### Kohlenstoff-Reste als Rohstoff



© darrknightsky/Fotolia.com

In Klärschlämmen und industriellen Abwässern steckt jede Menge Kohlenstoff, der stofflich bislang nicht genutzt wird. Insgesamt 21 Partner aus Industrie und Wissenschaft haben sich zusammengetan, um im Rahmen der vom BMBF geförderten strategischen Allianz „ZeroCarb FP (Zero Carbon Footprint)“ Verfahren zur Nutzung von Rauchgas oder Abwässern als Rohstoff voranzutreiben. Es geht zum Beispiel um Mikroorganismen, die – gefüttert mit kohlenstoffreichen Abfällen – wertvolle Bausteine für die Industrieproduktion herstellen. Hinsichtlich der Produkte wollen sich die Industriepartner auf Biokunststoffe, Flugzeugenteilungsmittel, Erzlaugungstechnologien und Zusätze für Hightech-Öle und Fette konzentrieren.

### Funktionsweise der Lignocellulose-Bioraffinerie am CBP in Leuna



Quelle: BMEL/FNR

Biogas-Verfahren sind deutsche Ingenieure führend. Künftig sollen hier auch Stoffgemische – beispielsweise Speisereste – eingesetzt werden. Experten der Bioverfahrenstechnik arbeiten hier stetig an Weiterentwicklungen – um Produktionsschritte noch mehr zu verkürzen oder die jeweiligen Produktionsausbeuten zu erhöhen. Aufgrund der langjährigen Tradition des Maschinenbaus kann Deutschland hier auf große Expertisen zurückgreifen (vgl. Maschinenbau).

Im Rahmen der Bioökonomie wird zudem versucht, neue Ideen zur Abfallverwertung zu finden, die Stoffkreisläufe über verschiedene Branchen hinweg miteinander verknüpfen. So arbeitet eine vom BMBF geförderte strategische Allianz unter Federführung der Firma Animox GmbH daran, hochwertige technische Eiweißbausteine aus Rapsschrot zu gewinnen, mit denen sich hinterher zum Beispiel Lacke und Farben gewinnen lassen.

Die Integration von biobasierten Produktionsverfahren in eine komplexe Infrastruktur, die sich über die vergangenen Jahrzehnte in einer erdölbasierten Industrie etabliert haben, ist jedoch kein Selbstläufer. Leicht zu integrieren sind sogenannte *Drop-in-Lösungen*, bei denen die biobasierte Variante als Ersatz für fossile Produkte eingesetzt wird. In der Chemiebranche werden hierzu chemische Vorprodukte gezählt, die biobasiert hergestellt und anschließend in den weiteren, traditi-

onellen Produktionsablauf integriert werden, weil sie chemisch und in ihren Eigenschaften den Produkten aus Erdöl entsprechen. Dies gilt beispielsweise für biobasierte Bernsteinstäre (vgl. Kapitel Chemie).

### Bioraffinerie – Produktionskonzept der Zukunft

Deutlich größere Herausforderungen bestehen bei technischen Anlagen, die auf mehreren Produktionsschritten beruhen und somit komplett neu etabliert werden müssen. Große Erwartungen knüpfen Ingenieure dabei an das Konzept der Bioraffinerie. In Analogie zu heutigen Erdölraffinerien wird hier der Rohstoff Biomasse so effizient wie möglich in seine chemischen Einzelteile zerlegt und verwertet. Eine Bioraffinerie ist eine Anlage mit einem integrativen und multifunktionellen Nutzungskonzept: Nachwachsende Rohstoffe werden hier mit Hilfe verschiedenster Technologien in ein breites Spektrum aus Zwischenprodukten und Produkten umgewandelt – unter möglichst vollständiger Nutzung aller Biomasse-Bausteine. Im Idealfall werden stoffliche und energetische Nutzungswege gekoppelt.

Um Biomasse nachhaltig zu nutzen und nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zu treten, konzentriert sich die Forschung insbesondere auf Bioraffinerie-Konzepte der zweiten Generation. Hier dienen Reststoffe wie Stroh, Gras oder Holzabfälle als Ausgangsbasis. Im

### Das Bioraffinerie-Forschungszentrum am Chemiestandort Leuna

Eingebettet in den Chemieindustriepark in Leuna wird am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse (CBP) an neuen Bioraffinerie-Konzepten getüftelt. Insgesamt wurden 53 Mio. Euro in das Forschungszentrum vom Bund, Land Sachsen-Anhalt und der Fraunhofer-Gesellschaft in das Vorzeigeprojekt investiert. Im Oktober 2012 wurde es eröffnet. Im CBP stehen Partnern aus Forschung und Industrie auf 2000 Quadratmetern fünf verschiedene Prozessanlagen bereit, deren Module separat betrieben oder je nach Bedarf kombiniert werden können. Im Fokus steht der Rohstoff Holz – und dabei insbesondere die stoffliche und energetische Verwertung von Lignocellulose. In einem frühen Schritt der Verfahrenskette werden Holzhackschnitzel in einer Art Schnellkochtopf in die Bestandteile Cellulose, Hemicellulose und Lignin aufgetrennt (vgl. Grafik S.91). Das Lignin kann als Bindemittel oder als Werkstoff eingesetzt werden. Die Cellulose und die Hemicellulose werden mit Hilfe von Enzymen in die Zuckermoleküle Glucose und Xylose zerstückelt. Damit lassen sich Mikroben füttern, die verschiedene Chemikalien herstellen können. Das CBP ist Herzstück des 2012 gekürten und vom BMBF mit 40 Millionen Euro ausgestatteten Spitzenclusters „BioEconomy“. 60 Partner aus der Region bündeln hier ihre Kräfte, um eine optimale Verwertungs-



kette rund um das heimische Buchenholz aufzubauen – durch eine gezielte Verzahnung von Chemie-, Papier-, Zellstoff-, Automobil-, Bau- und Textilindustrie. Kürzlich hat sich das französisch-stämmige Unternehmen Global Bioenergies im Industriepark angesiedelt. In einer Pilotanlage am CBP sollen mit Zucker gefütterte Bakterien jährlich bis zu 100 Tonnen des gasförmigen Kohlenwasserstoffs Isobuten produzieren. Weitere Partner des Spitzenclusters „BioEconomy“ sind Linde, Total und Vattenfall sowie viele Mittelständler wie Homatherm. Auch das Deutsche BiomasseForschungsZentrum (DBFZ) ist als Forschungseinrichtung in dem Netzwerk integriert.

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

Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse (CBP) in Leuna arbeiten deutsche Forscher an Bioraffinerie-Konzepten auf der Basis von Holz als Rohstoff – finanziert durch Mittel des BMBF, des BMEL, des BMUB und dem Land Sachsen-Anhalt (siehe Kasten oben).

Neben Leuna ist im bayerischen Straubing ein weiteres Bioraffinerie-Zentrum entstanden. Dort hat der Spezialchemiekonzern Clariant 2012 die hierzulande bisher größte Demonstrationsanlage zur biotechnologischen Gewinnung von Biokraftstoff der zweiten Generation in Betrieb genommen. In dem 28 Mio. Euro teuren Gebäudekomplex entsteht aus lignocellulosehaltigem Weizenstroh und anderen Feldabfällen der Treibstoff Ethanol. Das BMBF und die bayerische Landesregierung unterstützen das Pionierprojekt mit jeweils 5 Mio. Euro

(vgl. Kapitel Energie). Ein anderer Bioraffinerie-Ansatz zur Verwertung von Restbiomasse wie Stroh wird am Karlsruher Institut für Technologie gemeinsam mit fünf Industriepartnern verfolgt. Hier entsteht in einem vierstufigen Prozess aus Biomasse ein Synthesegas, das in einen Treibstoff umgewandelt werden kann – ein sogenannter Biomass-to-Liquid-Kraftstoff (vgl. Kapitel Energie). Diese Beispiele zeigen: In Deutschland wird an vielen Standorten an Bioraffinerie-Konzepten gearbeitet. Die Pilot- und Demonstrationsanlagen müssen nun zeigen, dass sie nicht nur nachhaltig und effizient sind, sondern auch im großindustriellen Maßstab funktionieren und wirtschaftlich zu betreiben sind. Welche Herausforderungen mit dem Aufbau von Bioraffinerien verbunden sind, wird ausführlich in der „Roadmap Bioraffinerien“ zusammengefasst. Das Strategiepapier

wurde von Experten im Auftrag von BMEL und BMBF verfasst und dient der Bundesregierung nun als Basis, um die Weiterentwicklung einer biobasierten Wirtschaft in Deutschland voranzutreiben.

### Aquakulturen heute und morgen

Neue Wege gibt es inzwischen auch bei der Entwicklung der Aquakultur. Hierzulande spielt die Aufzucht von Fisch in offenen Teichen oder Fließgewässieranlagen die Hauptrolle. Seit den 80er Jahren wird an integrierten Systemen gearbeitet, die Fischzucht und Pflanzenanbau kombinieren. Dass Reispflanzen einen höheren Ertrag liefern, wenn um sie herum Fische leben, wussten schon die Azteken zu nutzen. Inzwischen hat sich mit „Aquaponik“ ein ganz neuer Anlagentrend herausgebildet. Hierbei werden die Systeme „Aquakultur“ und „Hydroponik“ (Pflanzen ohne Aufzucht von Erde) zusammengeführt. Aquaponik-Systeme stellen einen natürlichen Stoffkreislauf in Form einer Pflanzen-, Bakterien- und Fischkultur nach.

Aus ökonomischer und ökologischer Perspektive arbeitet eine solche Kreislauflösung wirtschaftlicher als die Systeme, die nur einen kleineren Ausschnitt des biologischen Kreislaufs nutzen. Schließlich werden mit den Exkrementen der Fische auch gleich die Gemüsepflanzen ernährt und es gehen dabei keine Nährstoffe verloren. Darüber hinaus entstehen auch nützliche Stoffe, wie etwa Klärschlamm für Biogasanlagen. Gefördert durch das BMBF arbeitet das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin an so einem geschlossenen System. Weil die im Projekt genutzten Arten – Tomaten und Tilapia-Buntbarsche – so gut zueinander passen, hat man sie in einem Begriff zusammengefasst und das Projekt „Tomatenfisch“ genannt.

Inzwischen wird eine erste kommerzielle Anlage durch die ECF Farmsystem GmbH in Berlin gebaut, an der Müritztal soll ebenfalls eine Demonstrationsanlage entstehen. In den USA laufen bereits größere Aquaponik-Systeme, sie kombinieren beispielsweise Buntbarsch und Kopfsalat und werten so ehemalige Industriebrachen wieder auf. Experten verbinden mit der Aquaponik die Hoffnung, den Süßwasserverbrauch in der Landwirtschaft zu senken. So ist Aquaponik insbesondere für Regionen interessant, die für konventionelle Landwirtschaft zu trocken sind. Zudem kann Aquaponik dank moderner

Technik wie LED-Pflanzenlicht oder Plasmalampen unabhängig vom Tageslicht stattfinden. Auch Aspekte des *Vertical Gardening* ließen sich integrieren. Erfolgreiche Anwendungen in der Aquaponik könnten zudem Entwicklungen bei der gebäudeintegrierten Landwirtschaft im städtischen Raum – auch *Urban Farming* genannt – beeinflussen. Im Sinne einer „lokalen Ernährungskultur“ geht es bei dieser Zukunftsvision darum, lokale Synergien bei der Nutzung von Ressourcen zu erschließen und zu vernetzen. Nun gilt es, Technologien aus der traditionellen Landwirtschaft – etwa aus Gewächshäusern – hierfür nutzbar zu machen (vgl. Landwirtschaft).

### Algen industriell nutzen



© FZ Jülich

Neben Mikroorganismen stehen auch Algen als Quelle für eine energetische oder stoffliche Nutzung auf der Agenda der Industrie. Hierfür entwickeln Anlagenbauer maßgeschneiderte, lichtdurchlässige Reaktoren – sogenannte Photobioreaktoren. Eine Herausforderung besteht darin, die Sonneneinstrahlung so effizient wie möglich zu nutzen und eine genügend hohe Ausbeute des gewünschten Endproduktes zu erreichen. Mit Hilfe von Algen werden heute bereits Inhaltsstoffe für die Lebensmittel- und Futtermittelindustrie sowie für Kosmetika hergestellt. In der Entwicklung befinden sich auch Photobioreaktorsysteme, die nach dem Kreislaufprinzip verschiedene Stoffströme aufnehmen und in Form von Algenbiomasse weiterverwerten. Das BMEL fördert am Forschungszentrum Jülich eine Algenanlage, die Biokerosin für die Flugzeugindustrie produzieren soll. Gefördert vom BMBF arbeiten Biotech-Firmen wie die Subitec GmbH oder die IGV Getreideverarbeitung GmbH Technologien zur Verwertung von Algenbiomasse.

# Ausblick – Bioökonomie im gesellschaftlichen Dialog

Der Aufbau einer Bioökonomie ist ein gesamtgesellschaftlicher Prozess, der nicht allein im Expertenkreis von Wissenschaft und Wirtschaft umgesetzt werden kann. Eine biobasierte, nachhaltige Wirtschaft hat nur dann die Chance Realität zu werden, wenn wünschenswerte Ziele und mögliche Zielkonflikte mit allen Akteuren in der Gesellschaft diskutiert werden.



**O**b als Bioplastik in der Motorhaube eines Autos, als Parkett auf dem Fußboden oder verarbeitet im Turnschuh: Viele nachwachsende Rohstoffe haben Eingang in Produkte des Alltags gefunden, viele biobasierte Prozesse sind Bestandteile diverser industrieller Sektoren geworden und sind Ausdruck eines beginnenden Strukturwandels der Wirtschaft in Richtung Bioökonomie. Der Wert nachwachsender Ressourcen ist also vielfach erkannt, der Einsatz biobasierter Produkte, Verfahren und Prozesse jeglicher Art nimmt zu. Das zeigen die in dieser Broschüre vorgestellten Beispiele.

Unter Experten herrscht jedoch Einigkeit, dass es nicht damit getan ist, die Rohstoffbasis von fossil auf nachwachsend umzustellen und Biomasse für industrielle Anwendungen zu nutzen. Es reicht auch nicht, das biologische Wissen durch einzelne Innovationen in die vorhandene Prozesstechnik zu integrieren. Um die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu meistern, muss ein gesamtgesellschaftlicher Strukturwandel gelingen, der ökonomisches Wachstum und ökologische Verträglichkeit miteinander verknüpft und soziale Belange berücksichtigt. Die Wirtschaft muss wachsenden Anforderungen an die Art wie produziert wird, Rechnung tragen. Diese sind in Umwelt-, Klima-, Natur- und Tierschutz sowie der Einhaltung sozialer Standards begründet. Damit verbunden sind weitere Herausforderungen. Denn die Verfügbarkeit nachwachsender Ressourcen und die klimatischen Bedingungen sind geografisch sehr unterschiedlich. Daraus ergeben sich neue Produktionszentren, neue Warenströme und somit möglicherweise neue Konkurrenz- und Konfliktsituationen, die im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit berücksichtigt werden müssen. Der Transformationsprozess in Wirtschaft und Gesellschaft kann daher nur ganzheitlich erfolgen.

### **Ziel: Bioökonomie in die breite Anwendung**

Die ersten drei Jahre der Nationalen Forschungsstrategie haben gezeigt: Die Verwirklichung einer biobasierten und nachhaltigen Wirtschaft hängt ganz wesentlich davon ab, dass es gelingt, alle Beteiligten einzubeziehen: die Forschenden, die Produzenten nachwachsender Rohstoffe, die industriellen Anwender und die Gesellschaft. Der Transformationsprozess muss auf Nachhaltigkeit

ausgerichtet und beschleunigt werden. Neue nachhaltige und biobasierte Produkte und Herstellungsverfahren müssen vermehrt entwickelt und auf den Markt gebracht werden. Verfahren, die erfolgreich in Pilot- und Demonstrationsanlagen erprobt wurden, müssen in die breite, industrielle Anwendung überführt werden.

Der Aufbau einer biobasierten und nachhaltigen Wirtschaft wird von vielen Faktoren beeinflusst. Wissenschaftlich-technische Innovationen spielen als Treiber ebenso eine Rolle wie Wechselbeziehungen zwischen Wirtschaft, Umwelt, Technik und Gesellschaft. Zudem sind mit der Bioökonomie Zielsetzungen verbunden, die auch in Konkurrenz zueinander stehen können. Deshalb sind systemische Forschungsansätze von zentraler Bedeutung für die weitere Entwicklung des Bioökonomie-Standortes Deutschland.

#### **News und Hintergründe im Web**

## **bioökonomie.de** Die Informationsplattform

Was ist Bioökonomie? Welche neuen Forschungstrends gibt es? Wo wird in Deutschland an bioökonomischen Fragestellungen geforscht? Welche Projekte unterstützt die Bundesregierung? Welche aktuellen Förderinitiativen gibt es? Antworten auf diese Fragen liefert die Informationsplattform *bioökonomie.de* des BMBF. In allgemeinverständlicher Form werden aktuelle Nachrichten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, Beispiele geförderter Projekte sowie Themendossiers präsentiert. Porträts liefern Einblicke in die Arbeitswelt von Forscherinnen und Forschern der Bioökonomie. Es gibt zudem einen Überblick über Bioökonomie-Aktivitäten in anderen Ländern und aktuelle Fördermaßnahmen. Zahlreiche Videos helfen auch Schülern und Lehrern dabei, die Welt der Bioökonomie zu erkunden. Im Bestellservice können kostenlos Informationsmaterialien angefordert werden.

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



Nachhaltige Landwirtschaft in der Stadt – das wird mit dem Konzept des Urban Farming verbunden. Hier ein Beispiel aus Berlin-Kreuzberg.

Klar ist auch: Nur wenn breite Bevölkerungsgruppen bereit sind, Veränderungen im Wirtschafts- und Verhaltensgefüge mitzutragen, wird die Bioökonomie in Deutschland weiter vorankommen. Es gilt, das Konzept Bioökonomie noch stärker als bislang in die öffentliche Wahrnehmung zu rücken und eine faktenbasierte Auseinandersetzung zwischen Forschung, Industrie, Gesellschaft und Politik zu ermöglichen, damit sich um Wirtschaft und Gesellschaft nachhaltig weiterentwickeln.

Trotz der großen politischen Unterstützung, mit der einer biobasierten Wirtschaft in Deutschland der Weg bereitet wird, sind die Bioökonomie als solche sowie ihre Methoden und Teilbereiche noch weiten Teilen der Bevölkerung unbekannt. Die Vision einer biobasierten Wirtschaft ist vielfach erklärungsbedürftig. Gesellschaftlicher Dialog und ein Verständnis für die Herausforderungen und Chancen der Bioökonomie spielen eine entscheidende Rolle für die Nachfrage nach neuen Produkten und Dienstleistungen und den damit verbundenen Innovationen und technologischen Entwicklungen. Nur wenn Bürger aktiv in die Gestaltung des gesellschaftlichen Wandels einbezogen werden, hat die biobasierte Wirtschaft eine Chance.

### Dialog mit der breiten Öffentlichkeit

Der Bioökonomierat als unabhängiges Beratungsgremium der Bundesregierung zum Thema Bioökonomie hat begonnen, einen ergebnisoffenen Dialog mit der breiten Bevölkerung aufzunehmen (siehe Kasten rechts). Erste Veranstaltungen haben gezeigt, dass in der Bevölkerung ein großes Interesse darin besteht, sich den Herausforderungen eines nachhaltigen Strukturwandels zu stellen. Diskutiert werden vor allem Fragen des Alltags: Welchen Einfluss hat das sich wandelnde Mobilitätsverhalten? Wie können neue Infrastruktur- und Architekturkonzepte aussehen? Aber auch ein kritischer Umgang mit dem eigenen Konsumverhalten wird thematisiert. Dies macht deutlich, dass die Bioökonomie Teil eines gesamtgesellschaftlichen Transformationsprozesses ist – der so ganz unterschiedliche Trends und Initiativen erfasst, die von *Green Economy*, über *Sharing Economy* bis hin zu *Citizen Science* oder *Urban Farming* reichen. Mit Blick auf einen biobasierten und nachhaltigen Strukturwandel der Wirtschaft und der Gesellschaft können die vielfältigen Ansätze der Bioökonomie hierfür wichtige Impulse setzen.

Die Akteure der Bioökonomie in Deutschland werden künftig vor der Herausforderung stehen, industriell relevante Innovationen kontextübergreifend zu betrachten. Es geht dabei nicht mehr nur allein um naturwissenschaftliches Know-how und das technisch Machbare, sondern auch die Integration weiterer Perspektiven – aus den Sozial-, aus den Politik- und aus den Wirtschaftswissenschaften. Denn auch die Bedürfnisse und Wünsche von Konsumenten und Verbrauchern sind bei der Entwicklung neuer Produkte, Dienstleistungen und Verfahren künftig vermehrt zu berücksichtigen.

### Zweite Halbzeit Nationale Forschungsstrategie

Mit der „Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030“ und der „Politikstrategie Bioökonomie“ wird die Bundesregierung vor allem im Rahmen der Innovationsförderung entsprechende Impulse setzen. Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, die Beteiligung aller gesellschaftlichen Akteure beim Aufbau der Bioökonomie in Deutschland voranzutreiben: Die Bundesländer, die Forschungsorganisationen, die Universitäten und Hochschulen, die Nichtregierungsorganisationen – nur wenn gemeinsam gehandelt wird, kann die Bioökonomie als gesamtgesellschaftlicher Prozess gelingen.

Zugleich müssen nationale Entwicklungen auch im internationalen Rahmen betrachtet werden. Die Bioökonomie ist weltweit auf dem Vormarsch. Im achten Rahmenprogramm für Forschung und Innovation der Europäischen Kommission (Horizont 2020) wird die Bioökonomie eine wichtige Rolle spielen. Auch hier sind alle Beteiligten aufgerufen, sich aktiv einzubringen und den Aufbau einer Bioökonomie mitzugestalten.

### Bioökonomierat



Als unabhängiges Beratungsgremium für die Bundesregierung wurde der Bioökonomierat erstmals 2009 mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem damaligen Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) eingerichtet. Die 17 Mitglieder in der seit 2012 tätigen zweiten Arbeitsperiode des Bioökonomierates decken mit ihrem Sachverstand das Thema Bioökonomie inhaltlich in der ganzen Breite ab, suchen nach Wegen für nachhaltige Lösungen und stellen ihre Erkenntnisse in einen globalen Kontext. Der Rat führt einen offenen Dialog mit der Gesellschaft. Zudem gibt er Empfehlungen ab, wie Aus- und Weiterbildung sowie Forschung und Entwicklung optimal gefördert werden können. Die Tätigkeit des Rates orientiert sich sowohl an langfristigen Zielen als auch an aktuellen politischen Anforderungen.

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

# Glossar

## Aminosäuren

organische Verbindungen, die die molekularen Bausteine der Proteine sind. Von den proteinogenen Aminosäuren sind bisher 23 bekannt.

## Aquakultur

kontrollierte Aufzucht, Haltung und Vermehrung aquatischer Organismen, dazu gehören neben Fischen auch Muscheln, Krebse und Algen.

## Aquaponik

Aquaponik bezeichnet ein Verfahren, das Techniken der Aquakultur und der Kultivierung von Nutzpflanzen in Hydrokultur in einem geschlossenen Wasser- und Nährstoffkreislauf verbindet.

## biobasiert

auf der Basis biologischer Ressourcen

## Bioenergie

erneuerbare Energiequelle, die Energieträger werden aus Biomasse gewonnen. Bioenergie kann Strom, Wärme und Kraftstoffe zur Verfügung stellen.

## Biomasse

in Lebewesen gebundene oder durch sie erzeugte, organische Stoffgemische.

## Biokatalysator

Biokatalysatoren sind Biomoleküle, die biochemische Reaktionen in Organismen beschleunigen oder verlangsamen, indem sie die Aktivierungsenergie der Reaktionen herab- oder (seltener) heraufsetzen. Sie gehen selbst unverändert aus den Reaktionen hervor und können somit viele Reaktionszyklen hintereinander katalysieren.

## Bioökonomie

wissensbasierte Erzeugung und Nutzung nachwachsender Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen. Das Konzept Bioökonomie umfasst alle Wirtschaftssektoren und zugehörige Dienstleistungsbereiche, die nachwachsende Ressourcen wie Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen und deren Produkte erzeugen, be- und verarbeiten, nutzen und damit handeln. Synonym: biobasierte Wirtschaft

## Bioraffinerie

integratives Gesamtkonzept für die Verarbeitung von nachwachsenden Rohstoffen zu Chemikalien, Biowerkstoffen und anderen stofflichen Produkten sowie Brenn- und Kraftstoffen unter möglichst vollständiger Ausnutzung der Biomasse (vergleichbar einer Ölraffinerie, die jedoch aus Erdöl eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffe herstellt).

## Bioreaktor

Ein Bioreaktor ist ein Behälter, in dem speziell herangezüchtete Mikroorganismen oder Zellen unter möglichst optimalen Bedingungen in einem Nährmedium kultiviert werden, um entweder die Zellen selbst, Teile von ihnen oder eines ihrer Stoffwechselprodukte zu gewinnen. Bioreaktoren werden auch als Fermenter bezeichnet.

## Biotechnologie

Die Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen sowie deren Bestandteile, Produkte und Modelle zwecks Veränderung von lebender oder nicht lebender Materie zur Herstellung von Gütern, Stoffen und Produkten, einschließlich der Wissenserweiterung und Bereitstellung von Dienstleistungen.

## Bulkchemikalien

Bulkchemikalien oder Bulkprodukte sind Grundchemikalien, die in Mengen von mehr als 10.000 Tonnen pro Jahr hergestellt werden.

## Cellulose

langkettige Kohlenhydratfaser, Bestandteil von pflanzlichen Zellwänden, Rohstoff zur Herstellung von Papier, Kunststoffen und Fasern

## EEG

Erneuerbare-Energien-Gesetz, regelt seit dem Jahr 2000 in Deutschland die Einspeisung und die Abnahme und Vergütung von Strom aus erneuerbaren Energien in das Netz.

## Energiepflanzen

Pflanzen, die für die Bioenergiegewinnung angebaut und genutzt werden, neben Mais, Raps, Getreide und Zuckerrübe auch Pappeln, die Durchwachsene Silphie oder Wildpflanzen

**Enzym**

Ein Enzym ist ein Eiweißmolekül, das eine chemische Reaktion katalysieren kann. Der überwiegende Teil biochemischer Reaktionen in lebenden Systemen wird von Enzymen umgesetzt und gesteuert.

**Feinchemikalien**

sind Substanzen mit einem hohen Reinheitsgrad, wie sie etwa bei Wirkstoffen in der pharmazeutischen Industrie benötigt werden.

**Fermenter**

Fermenter ist eine andere Bezeichnung für Bioreaktor.

**Funktionelle Lebensmittel**

Lebensmittel mit funktionellen Zutaten, die eine gesundheitsfördernde Wirkung haben

**Gärung**

Als Gärung bezeichnet man energieliefernde, organisches Material zersetzende Stoffwechsel-Prozesse, die ohne Einfluss von freiem Sauerstoff (anaerob) stattfinden.

**Kaskadennutzung**

ein- oder mehrfache stoffliche Nutzung eines Rohstoffs in Produkten (z. B. durch Papier-Recycling) sowie abschließende energetische Nutzung

**Koppelproduktion**

gleichzeitige Herstellung mehrerer Produkte in einem einzigen Produktionsprozess

**Kurzumtriebsplantage**

Acker, auf dem schnellwachsende Hölzer wie Pappeln und Weiden angebaut werden. Diese Dauerkulturen sind nach wenigen Jahren erntereif.

**Lignin**

netzartig strukturierter Bestandteil pflanzlicher Zellwände, bewirkt Verholzung der Zelle

**Lignocellulose**

hochmolekularer nachwachsender Rohstoff aus Cellulose, Hemicellulosen und Lignin, Bestandteil der Zellwände verholzter Pflanzen

**Nachwachsende Rohstoffe**

land- und forstwirtschaftliche Produkte, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel, sondern als Rohstoff für industrielle Produkte oder zum Erzeugen von Energie eingesetzt werden

**Nachhaltigkeit**

Konzeption einer dauerhaft zukunftsfähigen Entwicklung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimension menschlicher Existenz. Eine nachhaltige Entwicklung befriedigt die Bedürfnisse der Gegenwart, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre Bedürfnisse nicht befriedigen können.

**PET**

Polyethylenterephthalat, thermoplastischer Kunststoff

**Phänotypisierung**

Vermessung von Schlüsselfunktionen und Strukturen von Organismen und biologischen Systemen und den zugrunde liegenden physiologischen, molekularen und genetischen Ursachen

**PLA**

Polylactid, ein Biokunststoff aus polymerisierter Milchsäure

**Präzisionslandwirtschaft**

Landwirtschaft auf der Basis modernster Technik, verbindet Sensoren, Systeme der Informationsverarbeitung und Automationstechniken mit dem Ziel, die Produktion von Lebensmitteln an örtliche Unterschiede des Agrarökosystems anzupassen und zu optimieren.

**Präzisionszüchtung (Smart Breeding)**

Züchtungsverfahren, das sich auf molekulare Marker stützt, um so schneller auf eine bestimmte Eigenschaft von Pflanzen und Tieren bzw. deren Nachkommen zu selektieren

**Spezialchemikalien**

Spezialchemikalien weisen einen hohen Funktionalisierungsgrad auf. Weltweit werden davon Tonnagen von weniger als 10.000 Tonnen pro Jahr hergestellt.

# Fördermaßnahmen

Überblick über Fördermaßnahmen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), die für die Bioökonomie relevant sind.

## BMBF

### National

BonaRes  
 PLANT 2030 / PLANT-KBBE  
 Innovative Pflanzenzüchtung im Anbausystem (IPAS)  
 Kompetenznetze Agrarforschung  
 Deutsche Netzwerk zur Phänotypisierung von Pflanzen  
 Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse (CBP) Leuna  
 Spitzencluster BioEconomy  
 Innovationsinitiative Industrielle Biotechnologie  
 Initiative Biotechnologie 2020+  
 KMU-innovativ: Biotechnologie  
 Gründungsinitiative GO-Bio

### International

Bioökonomie International  
 Globale Ernährungssicherung - GlobE  
 ERA-Net ANHIWA  
 ERA-Net FACCE-JPI  
 ERA-Net SUSFOOD  
 ERA-Net Industrielle Biotechnologie  
 ERASynBio  
 ERA-Net EuroTransBio

### Ansprechpartner

Projektträger Jülich (PtJ)  
 Bereich BIO  
 Forschungszentrum Jülich GmbH  
 52425 Jülich

Tel.: +49 2461/ 61-5543  
 Fax: +49 2461/ 61-9080  
 ptj-bio@fz-juelich.de  
 www.fz-juelich.de/ptj

## BMEL

### National

Programm zur Innovationsförderung im Bereich Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucher  
  
 Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“  
  
 Bundesprogramm „Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft“ (BÖLN)

### International

ERA-Net ANHIWA  
 ERA-Net FACCE-JPI  
 ERA-Net SUSFOOD  
 ERA-Net ICT AGRI  
 ERA-Net Bioenergy  
 ERA-Net WoodWisdom+

### Ansprechpartner

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)  
 OT Gülzow, Hofplatz 1  
 18276 Gülzow-Prüzen  
 Tel.: +49 3843/6930-0  
 Fax: +49 3843/6930-102  
 info@fnr.de  
 www.fnr.de

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)  
 Deichmanns Aue 29  
 53179 Bonn  
 Tel.: +49 (0)2 28 68 45-0  
 Fax: +49 (0)2 28 68 45-34 44  
 info@ble.de  
 www.ble.de

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sowie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

