

# **Bioökonomie für die Industrienation**

## **Ausgangslage für biobasierte Innovationen in Deutschland verbessern**

Dezember 2016

Autoren: Zinke, H.\*, El-Chichakli, B.\*, Dieckhoff, P.\*, Wydra, S.\*\*\*, Hüsing, B.\*\*

### **Präambel**

Das vorliegende Hintergrundpapier ist im Zuge der Recherchearbeiten des Bioökonomierates entstanden. Zweck dieses Papiers ist die Beschreibung des aktuellen Wissensstandes und die Identifikation von Wissenslücken. Der Rat sieht dies als eine Grundvoraussetzung, um politische Empfehlungen formulieren zu können. Dieses Dokument erhebt nicht den Anspruch, eine abgeschlossene wissenschaftliche Veröffentlichung im klassischen Sinne zu sein. Vielmehr ist es eine Beschreibung der theoretischen Basis, auf der die Arbeitsschritte und Empfehlungen des Rates aufbauen. Unter Berücksichtigung der dynamischen weltweiten Entwicklung der Bioökonomie, werden die hier zusammengefassten Analysemethoden, Erkenntnisse, Datenquellen und Forschungsagenden ständig aktualisiert und erweitert. Hintergrundpapiere stehen in der Verantwortung der genannten Autoren.

### **Zusammenfassung**

Das Papier diskutiert die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandortes Deutschland für die Entwicklung der Bioökonomie. Nach einer kurzen Beschreibung der Methodik, folgt eine Darstellung der globalen Trends und Marktentwicklungen der Bioökonomie in der Industrie. Der Fokus liegt bewusst auf der innovativen Nutzung von biologischen Ressourcen (inkl. biologischen Erkenntnissen) und Verfahren in Bereichen, die bisher stark auf fossilen und endlichen Ressourcen basieren. Anschließend werden die Bedeutung und die Entwicklungsmöglichkeiten der Bioökonomie in wichtigen Sektoren der deutschen Industrie sowie die Potenziale und Hemmnisse der Bioökonomie zusammengefasst. Die detaillierten Ergebnisse sind in Annex I beschrieben. Die Studie schließt mit einer Situationsanalyse der Politikinstrumente im Bereich der Bioökonomie in Deutschland.

\* Kontakt über die Geschäftsstelle des Bioökonomierates (BÖR)

\*\* Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)

## Inhaltsverzeichnis

1. Ziel und Gegenstand dieser Recherche .....	3
2. Methodik.....	4
2.1. Umfang und Abgrenzung der Recherche .....	4
2.2. Analyse der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit von Wirtschaftsstandorten mit Hilfe des Innovationssystem-Ansatzes.....	5
3. Globale Trends und Marktentwicklungen.....	8
3.1. Marktentwicklungen der Bioökonomie in der Industrie.....	8
3.2. Die Bioökonomie im Spannungsfeld großer gesellschaftlicher Trends .....	9
4. Zusammenfassung: Wertschöpfungspotenziale und Innovationshemmnisse der Bioökonomie in Deutschland .....	11
4.1. Industrielle Verarbeitung von Biomasse und Einsatz biobasierter Verfahren.....	11
4.2. Sektoren, die biobasierte Produkten und Lösungen anwenden .....	12
4.3. Technologie-Dienstleister bzw. Querschnittstechnologien .....	13
5. Situationsanalyse der Politikinstrumente zur Unterstützung der Innovationsfähigkeit im Bereich der Bioökonomie.....	14
5.1. Instrumente der Innovationspolitik in Deutschland .....	15
5.2. Lücken in der Innovationspolitik in Deutschland .....	16
 Annex I: Bedeutung der Bioökonomie in Deutschland.....	 19
Annex II: Literatur- und Datenbasis zur Bioökonomie in der deutschen Industrie .....	52
Referenzen.....	54

*“... I think the biggest innovations of the twenty-first century will be the intersection of biology and technology. A new era is beginning, just like the digital one ...”*

Steve Jobs, Co-founder, Apple

## 1. Ziel und Gegenstand dieser Recherche

Die Wertschöpfung heutiger Industrienationen beruht zu einem großen Teil auf Erfindungen des 18. und 19. Jahrhunderts. Auf dem Weg in ein nachhaltigeres, treibhausgas-neutrales Wirtschaftssystem sind weitreichende Innovationen notwendig (z. B. Freeman 1995, Geels 2006, Frantzeskaki und De Haan 2009, WBGU 2011). Die Biowissenschaften und die Biotechnologie gelten als Basis für die benötigte große „**Systeminnovation**“, die eine Welle von Erfindungen auslösen kann (The Economist 2015). Systeminnovationen bringen in verschiedenen Sektoren radikale Veränderungen in Form von neuen Produkten, Verfahren, Technologien und Organisationsformen mit sich (McKelvey 1991, Freeman 1995, OECD und Eurostat 2005). Sie sind mit einem Wandel der Gesellschaft, ihrer Institutionen und Politik verbunden (Berkhout 2002; Geels 2006; Kemp und Rotmans 2005; Sartorius 2006).

Die Bioökonomie (BÖ) beschreibt diese Systeminnovation als „die wissensbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen“ (Bioökonomierat 2012). Politisch wird die Bioökonomie als „**Nachhaltigkeitsinnovation**“ gesehen und gefördert. Sie soll neue, nachhaltig erzeugte Produkte und Dienstleistungen unter Einsatz von biologischen Ressourcen und Wissen hervorbringen und damit Wirtschaftswachstum mit ökologischer Verträglichkeit vereinen. (EU Presidency 2007; OECD 2009; Europäische Kommission 2012)

Der Standort Deutschland ist weltweit dafür bekannt, effiziente, energiesparende und umweltverträgliche – eben „grüne“ – Technologien zu entwickeln. Eine nachhaltige Bioökonomie bietet die Chance, diese Kompetenz auszubauen und sich mit technologisch ausgereiften Produkten und Verfahren Alleinstellungsmerkmale in einem Wachstumsmarkt zu sichern. Die Bundesregierung zählt die Biotechnologie in der Hightech-Strategie (BMBF 2014) auch zu den Schlüsseltechnologien für die Zukunftsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Mit der Verabschiedung einer „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ (BMBF 2010) und der „Politikstrategie Bioökonomie“ (BMEL 2013) unterstreicht die Bundesregierung den Stellenwert der Bioökonomie in der deutschen Innovationspolitik.

In dieser Studie soll die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandortes Deutschland für die Entwicklung der Bioökonomie diskutiert werden. Nach einer kurzen Beschreibung der Methodik, folgt eine Darstellung der globalen Trends und Marktentwicklungen der Bioökonomie in der Industrie. Der Fokus liegt bewusst auf **der innovativen Nutzung von biologischen Ressourcen** (inkl. biologischen Erkenntnissen) und Verfahren **in Bereichen, die bisher stark auf fossilen und endlichen Ressourcen basieren**. Anschließend werden die Bedeutung und die Entwicklungsmöglichkeiten der Bioökonomie in wichtigen Sektoren der deutschen Industrie sowie die Potenziale und Hemmnisse der Bioökonomie zusammengefasst. Die detaillierten Ergebnisse sind im Annex verfügbar. Die Studie schließt mit einer Situationsanalyse der Politikinstrumente im Bereich Bioökonomie in Deutschland.

## 2. Methodik

Um die Voraussetzungen und Einflussfaktoren für die Entwicklung einer wissensbasierten Bioökonomie zu beleuchten, wurden eine Literaturrecherche sowie einzelne Expertengespräche durchgeführt. Die Studie basiert somit auf aktuell verfügbaren Informationen und versteht sich als Grundlage und Impulsgeber für notwendige empirische Untersuchungen zur Innovationsfähigkeit in Wirtschaftssektoren, Wertschöpfungsketten oder Technologiebereichen. Die Recherche konzentriert sich auf die innovative Nutzung biologischer Ressourcen in der Industrie. Sie behandelt deshalb nicht die oft als traditionelle Bereiche der Bioökonomie bezeichneten Sektoren der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft sowie der Lebensmittelwirtschaft.

### 2.1. Umfang und Abgrenzung der Recherche

Die Bioökonomie umfasst sämtliche Sektoren einer Volkswirtschaft. Wirtschaftssektoren unterscheiden sich im Allgemeinen hinsichtlich der verwendeten Technologien und der Nachfrage- und Marktbedingungen. Daraus ergeben sich Unterschiede in der Wissensbasis und in den Ausgangsbedingungen für bioökonomische Innovationen (Breschi und Malerba 1997, Malerba 2005).

Diese Recherche konzentriert sich auf den bisher am wenigsten untersuchten Bereich der Bioökonomie: die industrielle oder stoffliche Nutzung biologischer Ressourcen und Erkenntnisse in Wirtschaftsbereichen, die bisher stark auf fossilen und nicht-nachwachsenden Ressourcen beruhen (siehe Abbildung 1). In diesen Wirtschaftsbereichen bedeutet der Übergang zur Bioökonomie eine tiefgreifende Veränderung in der Verwendung der Rohstoffe, der Produktionsverfahren, der Lieferanten- und Kundenbeziehungen sowie der Technologien. Solche umfassenden Veränderungen werden als **Systeminnovation** bezeichnet. Wirtschaftsbereiche, die fast ausschließlich der Bioökonomie zugeordnet werden, insbesondere die Erzeugung von Biomasse als Rohstoff (Land-, Forst-, Fischerei- und Abfallwirtschaft) und deren Verarbeitung (z. B. Lebensmittelwirtschaft, Holzwirtschaft) stehen nicht im Fokus dieser Analyse.<sup>1</sup>

Wegen ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung (Umsätze, Arbeitsplätze) und aufgrund der Relevanz für die industrielle Entwicklung in Deutschland wird die Ausgangslage für bioökonomische Innovationen in folgenden Sektoren des produzierenden Gewerbes untersucht: Pharmaindustrie, Chemieindustrie, Automobilindustrie, Baugewerbe und ausgewählter Bereiche der Energiewirtschaft. Zusätzlich werden Wirtschaftsbereiche, die übergreifende Querschnittstechnologien für die Bioökonomie entwickeln, berücksichtigt. Zu diesen Technologie-Zulieferern zählen die Biotechnologie, der Anlagenbau inkl. Prozesstechnik sowie die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT).

Bioökonomische Innovationen im engeren Sinn umfassen Produkte (z. B. Enzyme, biobasierte Chemikalien und Werkstoffe) sowie Technologien und Produktionsverfahren (z. B. Katalyse).

---

<sup>1</sup> Eine ausführliche Diskussion der Abgrenzung und der Sektorzuordnung der Bioökonomie findet sich in Efken et al (2012) und in Europäische Kommission (2014).

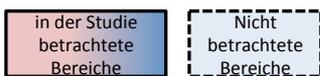
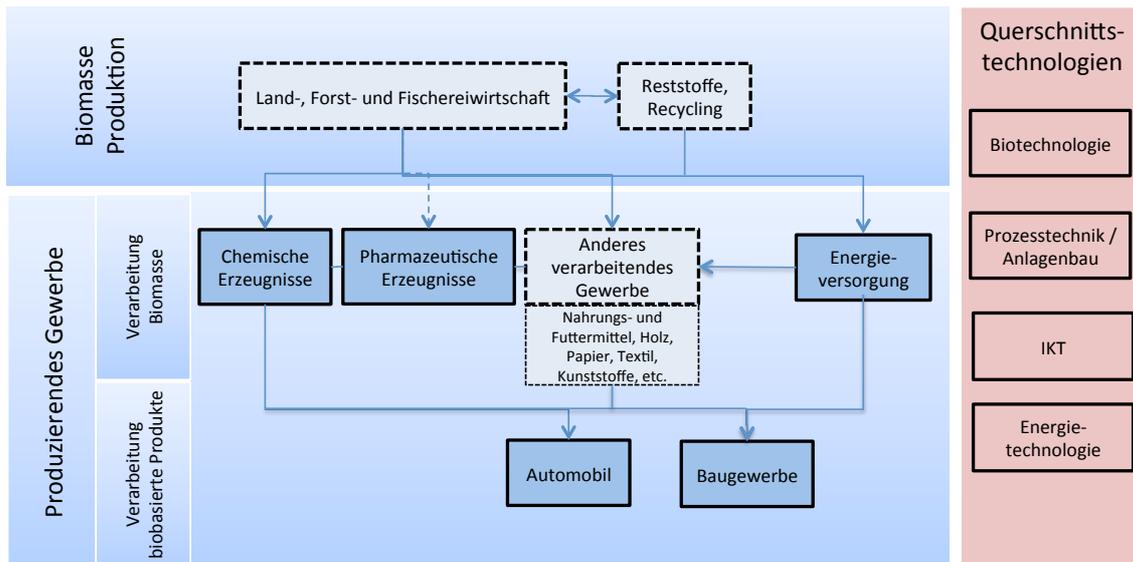


Abbildung 1: Bioökonomie in Deutschland – Auswahl der betrachteten Industrie- und Dienstleistungssektoren

## 2.2. Analyse der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit von Wirtschaftsstandorten mit Hilfe des Innovationssystem-Ansatzes

Für Industrieländer, deren Zukunftschancen vor allem in wissensbasierten Wirtschaftsbereichen liegen, gilt die Innovationsfähigkeit als zentrales Element der Wettbewerbsfähigkeit (z. B. Europäische Kommission 1993, Porter und van der Linde 1995, Europäischer Rat 2000, OECD und Eurostat 2005, OECD 2007, Schwab und Sala-i-Martin 2016, Europäische Kommission 2014a). Dabei spielen nicht mehr die Preise und Kosten für Produktionsfaktoren eines Standortes die zentrale Rolle, sondern es geht um die Fähigkeit, immer wieder Innovationen oder Neuerungen zu entwickeln und erfolgreich am Markt zu etablieren. Erfolgreiche Innovationen zielen häufig auf wichtige, aber noch unbefriedigte Bedürfnisse und schaffen damit neue Märkte. Auch die Entwicklung von neuen Technologien und Prozessinnovationen kann wichtige Wettbewerbsvorteile schaffen.

Selbst in einer globalisierten Welt haben nationale Standortfaktoren einen großen Einfluss auf die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft (Freeman 1992, Lundvall 1992, Nelson 1993, OECD und Eurostat 2005, Porter 1990). Um Innovationen hervorzubringen, bedarf es in jedem Falle Kompetenz im Sinne von Ideen, Wissen und Fähigkeiten. Die **Innovationsfähigkeit** einer Volkswirtschaft beschreibt, wie gut die Kompetenzen einer Bevölkerung in Innovationen übersetzt werden können. So kann beispielsweise ein hoher Grad an Vernetzung von Universitäten und Unternehmen in einem Land neuen Ideen zum schnellen Durchbruch verhelfen. Eine hochentwickelte Industrie, wie die Pharma- oder Automobilindustrie, begünstigt nicht nur die Kompetenzentwicklung der Arbeitnehmer, sondern häufig auch

die Entstehung von regionalen F&E-Clustern und spezifischen Technologie-Dienstleistungen (Porter 1990).

Hinsichtlich der Fähigkeit, weitreichende **Systeminnovationen** (wie die Bioökonomie) aufzugreifen und weiterzuentwickeln, spielt insbesondere das in einem Land vorherrschende sozio-technische Regime eine bestimmende Rolle (Freeman 1992, Geels 2002, 2006). Folgende **sozio-technische Faktoren** haben sich zum Beispiel für die Verbreitung von Systeminnovationen im Bereich der Nachhaltigkeit als bedeutend herausgestellt (z. B. Del Rio Gonzalez 2005, Horbach 2008, Wagner 2009, Fichter und Clausen 2013):

- Wissenschaft
- industrielle Technologie und Infrastruktur
- Nachfrage und Anreizsysteme
- Verbrauchergewohnheiten, Routinen
- Kultur
- Politik und Gesetze

Um die Innovationsfähigkeit konkreter für ein Land auf gesamtwirtschaftlicher, sektoraler oder technologischer Ebene zu analysieren, eignet sich der so genannte **Innovationssystem-Ansatz**, der eine Vielzahl dieser sozio-technischen Einflussfaktoren berücksichtigt (Freeman 1992, Lundvall 1988, Nelson 1993, Edquist 2005). Der Innovationssystem-Ansatz geht davon aus, dass Innovationen und (technologischer) Fortschritt das Ergebnis des Austausches zwischen verschiedenen Akteuren sind, die neues Wissen produzieren, weitergeben und anwenden. Mit Blick auf die Entwicklung der **Bioökonomie (BÖ)** müsste das deutsche Innovationssystem nicht nur die entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeit leisten, sondern auch die Ausbildungen anpassen, Qualitätsanforderungen für Produkte bestimmen und Marktanreize setzen, Wissensaustausch und interaktives Lernen ermöglichen, Gründungen unterstützen, notwendige Investitionen finanzieren, etc. (siehe Edquist 2005, S. 190–191 zitiert in Koschatzky 2012)

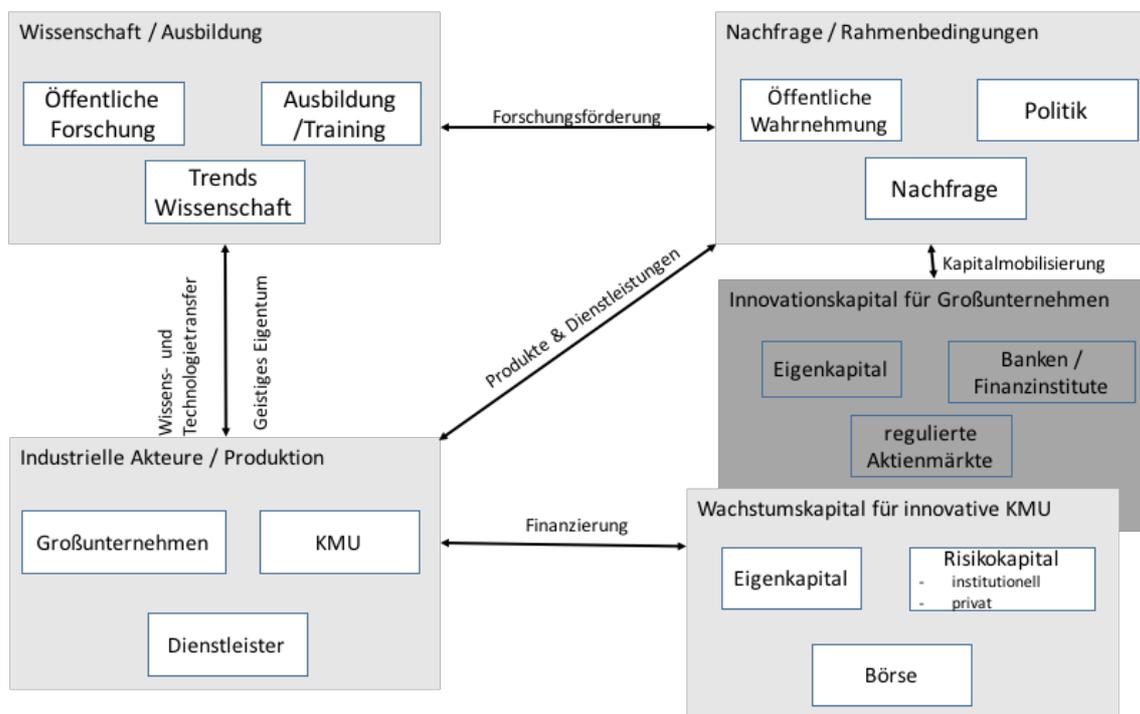
Die gängigen Analysemodelle orientieren sich häufig an den Organisationsstrukturen der untersuchten Länder. Ein Modell, welches auch vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Deutschland verwendet wird, stellt die **industriellen und wissenschaftlichen Teilsysteme** in den Vordergrund, analysiert aber ebenso, wie diese Teilsysteme mit den **Nachfragebedingungen, dem Kapitalmarkt sowie den politischen Rahmenbedingungen** zusammenhängen und sich gegenseitig beeinflussen. Der Innovationssystem-Ansatz geht in diesem Zusammenhang davon aus, dass sich die Innovationsfähigkeit durch eine **stärkere Vernetzung** innerhalb und zwischen den Teilsystemen erhöht (Koschatzky 2012).

Das bei Fraunhofer ISI etablierte Modell der Innovationssystemanalyse (ISA) betrachtet folgende Teilsysteme sowie deren Aufgaben und Beziehungen zueinander (siehe Abbildung 2):

- **Wissenschaft/Ausbildung/Qualifikation:** Dieses Teilsystem umfasst das BÖ-Bildungs- und (Berufs-) Ausbildungsangebot, die berufliche Weiterbildung, die Verfügbarkeit und Qualifikation der Beschäftigten, die Orientierung und Qualität der öffentlich finanzierten Forschung, den Grad der Interdisziplinarität der Forschung, die Infrastruktur, den Wissenstransfer innerhalb von Forschungs- und Bildungsinstitutionen, den Wissenstransfer zwischen diesen Institutionen und den industriellen oder gesellschaftlichen Akteuren.
- **Produktion/industrielle Akteure:** Das Teilsystem umfasst die Unternehmensstruktur, den Grad der Anwendung bioökonomischer Technologien und Methoden, die Infrastruktur, die Fähigkeit und Kapazität von Unternehmen zur Kooperation, die Existenz und Effektivität industriespezifischer und regionaler Netzwerke, den Internationalisierungsgrad sowie die Transparenz und Verfügbarkeit von Marktinformationen. Unter Berücksichtigung der Beziehungen zu Zulieferern und

Dienstleistern werden wichtige Elemente der Bioökonomie-Wertschöpfungskette mitberücksichtigt.

- **Nachfrage/Rahmenbedingungen:** Diese Komponente beschreibt die Marktbedingungen, insbesondere die Qualität der Nachfrage, die Anreizsysteme, die Diffusionsraten neuer Produkte und Dienstleistungen und die sozialen Bedingungen und Werte. Auch politische Institutionen werden in diesem Bereich analysiert, beispielsweise die öffentliche Beschaffung, die politische Prioritätensetzung und Koordination sowie Regulierungen.
- **Kapitalmärkte/Finanzsystem:** Das Teilsystem bezieht sich auf die Aufgabenteilung bei der Finanzierung von Innovationen und auf die Verfügbarkeit von Innovationskapital. Berücksichtigt werden die Anreizsysteme des Kapitalmarktes, Kapitalgeber sowie öffentliche Förderungen.



**Abbildung 2: Akteure und Beziehungen im Innovationssystem** (eigene Darstellung)

Die Innovationssystemanalyse (ISA) eignet sich vor allem als **Leitfaden** für eine strukturierte Betrachtung der Innovationsfähigkeit von Ländern, Sektoren oder Technologien. Obwohl der Innovationssystem-Ansatz in zahlreichen Untersuchungen verwendet wird, sind die Einflussfaktoren und die Teilsysteme nicht umfassend standardisiert. Es bleibt dem Forscher überlassen, welche Akteure und Elemente beispielsweise zum Teilsystem der Nachfrage gezählt werden. Auch die Beurteilung der unterschiedlichen Ausprägungen und Formen der Beziehungen ist nicht einheitlich geregelt. So ist beispielsweise unklar, welcher Grad der Vernetzung mit der Existenz eines Netzwerks oder eines Clusters gegeben ist. (siehe z. B. Bokelmann et al. 2012). Für die vorliegende Recherche sind diese Nachteile jedoch nur begrenzt relevant. Obwohl wünschenswert, lassen sich derzeit die Einflussfaktoren der wissensbasierten Bioökonomie aufgrund der unzureichenden Abgrenzung biobasierter Aktivitäten in den industriellen Sektoren ohnehin nicht messen und international vergleichen. Hierfür sind zusätzliche empirische Erhebungen notwendig (z. B. Europäische Kommission 2014b, BMBF 2015 Sachstandsberichte zum Monitoring der Bioökonomie (Adler et al. 2015, Delzeit et al. 2015; O'Brien et al. 2015).

### 3. Globale Trends und Marktentwicklungen

Der Klimawandel und die großen gesellschaftlichen Herausforderungen sowie der technologische Fortschritt in den Biowissenschaften und höhere Verbraucheranforderungen sind die stärksten Treiber der wissensbasierten Bioökonomie.

#### 3.1. Marktentwicklungen der Bioökonomie in der Industrie

In der Industrie bieten bioökonomische Neuerungen die Chance, ressourceneffizienter zu produzieren und Produkte mit besseren technischen und ökologischen Eigenschaften zu vermarkten. Gerade in den reicheren Ländern hat sich „Nachhaltigkeit“ als Trend in Endverbraucher-Märkten etabliert. Gesundheitliche, ökologische und soziale Aspekte werden bei der Produktwahl als Kaufkriterien berücksichtigt, und allgemein ist die Bereitschaft gestiegen, höhere Preise für nachhaltigere Produkte zu bezahlen.

Zur Einstellung und zur Zahlungsbereitschaft bei biobasierten Konsumprodukten gibt es jedoch nur wenige Erhebungen (z. B. Europäische Kommission 2006, Biopol 2009, Yue et al. 2010, Genencor 2011, Sijtsema et al. 2016). Prinzipiell scheinen biobasierte Produkte ähnlich wie andere Produkte mit Nachhaltigkeitsaspekten eher als ökologisch und gesundheitlich vorteilhaft angesehen. Sie gelten als nicht einfach zu verstehen und werden mit einem gewissen Premiumpreis verbunden. Die Kundenvorteile biobasierter Produkte lassen sich jedoch nicht in jedem Fall objektiv belegen. Dafür fehlen die akzeptierten Bewertungsverfahren der Nachhaltigkeit, die beispielsweise in Zertifikaten oder Produktlabels ausgewiesen werden können. Dies kann negative Auswirkungen auf die Zahlungsbereitschaft entlang der gesamten Lieferkette haben (z. B. Carus et al. 2014).

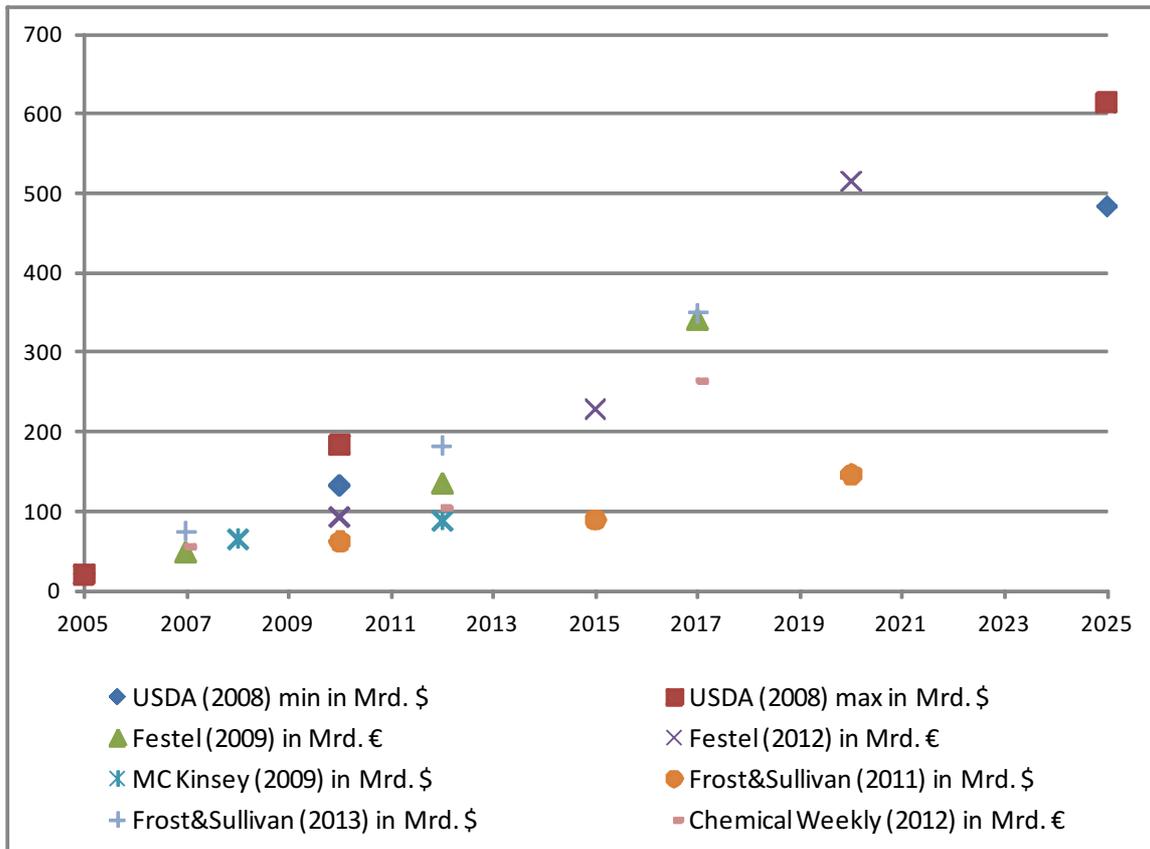
Die Marktentwicklung der Bioökonomie in der Industrie lässt sich derzeit nicht einfach ermitteln, da weder in den Industrieunternehmen noch auf den Märkten biobasierte Produkte gesondert erhoben werden (Europäische Kommission 2014b, Adler et al. 2015, Delzeit et al. 2015; O'Brien et al. 2015). Die weltweiten Entwicklungen im Bereich der biobasierten Industrie lassen sich aktuell vornehmlich in der chemisch-pharmazeutischen Industrie näher beschreiben (siehe detaillierte Sektoranalysen im Annex).

Da es sich bei der Bioökonomie um emergente Technologien und neue Anwendungen handelt, werden die Marktentwicklungen großteils über Experteneinschätzungen ermittelt. Entweder wird vom Gesamtmarkt und den politischen Rahmenbedingungen für gewisse Produkte (z. B. Kunststoffe, Kraftstoffe) abgeleitet, welcher Anteil zukünftig biobasiert sein wird, oder es werden die F&E-Pipelines und Kommerzialisierungsprojekte der wichtigen Industrieakteure betrachtet und geschätzt, welche zukünftigen Produktionskapazitäten für neue Produkte zur Verfügung stehen.

In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass diese Einschätzungen meist zu optimistisch hinsichtlich der technologischen und wirtschaftlichen Entwicklung waren. Als wichtiges Beispiel kann der Markt für biotechnologisch hergestellte Chemikalien genannt werden (siehe Abbildung 3). Einen sehr hohen Bekanntheitsgrad hat die optimistische Marktprognose des US-amerikanischen Landwirtschaftsministeriums USDA (2008) erlangt, die auf Abschätzungen der Marktanteile durch McKinsey basiert. McKinsey (2009) hat jedoch diese Zahlen selbst in späteren Abschätzungen erheblich nach unten korrigiert. Diese und weitere Abschätzungen gehen zwar weiterhin von einem deutlichen Marktwachstum für die nächsten Jahre aus, schätzen aber die Verbreitung als nicht mehr so schnell und umfangreich ein, wie noch vor ca. 8 bis 10 Jahren.

Solche Diskrepanzen zwischen Erwartungen und Entwicklungen sind typisch für „emerging industries“. Sie zeigen aber auch auf, dass die **Entwicklung bisher weit unter dem vermuteten Potenzial verläuft**. Ein

kritischer Blick auf die Ursachen dieser „underperformance“ ist besonders wichtig. Unter diesem Vorbehalt werden bei der Betrachtung der sektoralen Innovationssysteme die Markterwartungen und Trends in Schlüsselmärkten der industriellen Bioökonomie diskutiert.



**Abbildung 3: Marktabschätzungen für biotechnologisch hergestellte Chemikalien**

Anmerkungen: USDA (2008) gibt Bandbreiten für 2010 und 2025 an, die als Minimum und Maximum abgebildet werden; Frost & Sullivan (2013) bezieht sich auf biomassebasierte Chemikalien.

### 3.2. Die Bioökonomie im Spannungsfeld großer gesellschaftlicher Trends

Im Zuge der Förderung erneuerbarer Energien zur Eindämmung des Klimawandels und insbesondere dem steilen Anstieg der Ölpreise nach 2008 hat das Interesse an der Bioökonomie rasch zugenommen. Die Substitution fossiler Ressourcen durch nachwachsende Rohstoffe im Rahmen der Bioökonomie schien sowohl im Rahmen der stofflichen als auch der energetischen Nutzung ohne Alternative zu sein. Entsprechend entstanden in Europa und Nordamerika (ab 2005) und auch in Deutschland (ab 2010) zahlreiche politische Initiativen zur Förderung der Bioökonomie (Bioökonomierat 2014, Bioökonomierat 2015).

Seit den frühen 2010er Jahren gilt durch den Einsatz unkonventioneller Fördermethoden für Erdgas und Rohöl (hauptsächlich in den USA), der Vorrat an fossilen Rohstoffen mittelfristig als gesichert. Der Fortschritt bei den erneuerbaren Energien und die weltweit hohen Fördermengen haben zu einem starken Absinken des Gas- und Ölpreises geführt. Welche Auswirkungen dies auf die Entwicklung der Bioökonomie haben wird, ist noch unklar. Während die Kostenwettbewerbsfähigkeit mit der fossil-basierten Produktion kaum herzustellen ist, verlangt der fortschreitende Anstieg der Konzentrationen klimaschädlicher Gase mehr als je zuvor nach alternativen Energien und Herstellungsverfahren. Das Klimaabkommen von Paris

(Europäische Kommission 2015) bedeutet, dass die westlichen Industrienationen bis 2050 praktisch treibhausgas-neutral werden müssen. Eine Biologisierung der Industrie bietet wichtige Lösungen für den Klima- und Ressourcenschutz (Philp et al. 2015)

Neben der Reduktion der Treibhausgase, liegt eine der größten gesellschaftlichen Herausforderungen der Zukunft in der gesunden Versorgung einer wachsenden Weltbevölkerung. Insbesondere der steigende Fleischkonsum der wachsenden Mittelschichten treibt die Nachfrage nach Futtermitteln und Agrarflächen in die Höhe. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die global verfügbaren Anbauflächen nicht mehr signifikant gesteigert werden können, ohne negative Klimafolgen hervorzurufen (z. B. CO<sub>2</sub>-Freisetzung, Waldrodungen, Bodenerosion, Wasserknappheit) (vgl. DBFZ 2011).

Generell gilt, dass ein wachsender Einsatz nachwachsender Rohstoffe für Bioenergie und industrielle Produktion mit Zielkonflikten verbunden sein kann (IPCC 2011). Vor diesem Hintergrund muss bei der Entwicklung der Bioökonomie in der Industrie sichergestellt werden, dass diese Zielkonflikte erkannt und sinnvoll gelöst werden.

#### **4. Zusammenfassung: Wertschöpfungspotenziale und Innovationshemmnisse der Bioökonomie in Deutschland**

Dieses Kapitel bietet eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den sektoralen Innovationssystemanalysen (siehe Annex 1). Dabei werden drei Wertschöpfungsebenen betrachtet:

- industrielle Verarbeitung von biologischen Rohstoffen und Einsatz biobasierter Verfahren,
- industrieller Einsatz biobasierter Produkte,
- Technologie-Dienstleistungen.

Im Hinblick auf die Einschätzung der Wertschöpfungspotenziale und Innovationshemmnisse der wissensbasierten Bioökonomie in Deutschland erfolgt dieser Vergleich anhand folgender Aspekte:

- wirtschaftliches Potenzial der Bioökonomie aus heutiger Sicht
- allgemeine Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit des Sektors
- Wettbewerbsfähigkeit deutscher Akteure in den jeweiligen Bioökonomiefeldern
- Marktcharakteristika und Chancen für biobasierte Anwendungen
- identifizierte Innovationshemmnisse

##### **4.1. Industrielle Verarbeitung von Biomasse und Einsatz biobasierter Verfahren**

In den Wirtschaftsbereichen, die sowohl Biomasse verarbeiten als auch innovative biobasierte Verfahren einsetzen, wird das Marktpotenzial der wissensbasierten Bioökonomie durchwegs als groß eingeschätzt. Biobasierte Anwendungen haben bereits heute in der pharmazeutischen Industrie und teils auch in der Energiewirtschaft eine hohe Bedeutung. In der Chemieindustrie sind biobasierte Produkte eher im Bereich der Spezialchemikalien (Enzyme) und bei Konsumgütern, wie beispielsweise Reinigungsmitteln und Körperpflegeprodukten, etabliert. Das zukünftige Wachstum wird von Marktforschungsberichten im Bereich der Chemie als hoch und in der Pharmaindustrie, ausgehend von einem hohen Niveau, als mittel eingeschätzt. In der Energiewirtschaft wird eher davon ausgegangen, dass in Deutschland andere erneuerbare Energien, wie Sonne, Wind und Geothermie, zukünftig stärker wachsen werden als die Bioenergie.

**Tabelle 1: Verarbeitung von Biomasse: Potenziale und Innovationshemmnisse**

		Chemie	Energie	Pharma
Potenziale der BÖ	Potenzieller Markt	groß	eher groß	mittel – groß (eher kleinerer Sektor)
	Aktuelle Bedeutung BÖ	eher gering	eher hoch	sehr hoch (bzgl. Biologicals)
	Wachstumsprognosen für BÖ	perspektivisch hoch	Zuwachspotenziale unter gegebenen Bedingungen begrenzt	mittel, da Biologisierung bereits weit vorangeschritten
Sektorale Innovations-/ Wettbewerbsfähigkeit D		grundsätzlich hoch, insbesondere bei Fein- und Spezialchemikalien	eher hoch	hoch, aber D als F&E-Standort durch Kostendruck und Nachfragedynamik in Schwellenländern unter Druck
BÖ-Innovations-/ Wettbewerbsfähigkeit D		mittel: gute Position bei Patentanmeldungen, einige industrielle Akteure und Forschungsverbünde technologisch führend, Verknüpfung zur Agrar- und Forstwirtschaft ausbaufähig; hohe Rohstoffkosten als Standortnachteil	mittel: große Produktionskapazitäten vorhanden, aber hohe Rohstoffkosten als Nachteil, eher begrenzte technologische Wettbewerbsfähigkeit bei Biokraftstoffen der 2. und 3. Generation	eher hoch, aber hinter USA
Marktchancen und Charakteristika		<p>Bulkchemikalien: Kostendruck</p> <p>Fein-/Spezialchemie: Nachweis der Vorteilhaftigkeit, teilweise Green-Premium wenn Informationen zu Nachhaltigkeit</p> <p>Kritisch: Verlässlichkeit der Lieferung</p>	<p>Nachfrage stark von politischen Maßnahmen abhängig (außer bei Holz)</p> <p>Biokraftstoff für Verbraucher (E10): „Ladenhüter“</p>	<p>Nachfrage stark von politischen Maßnahmen abhängig,</p> <p>Nachweis der Vorteilhaftigkeit zu erbringen</p>
Hemmnisse		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapital/Finanzierung</li> <li>• Kostenwettbewerb mit Petrochemie</li> <li>• Verknüpfung mit Agrar und Forst</li> <li>• existierende Infrastruktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fehlende Wirtschaftlichkeit</li> <li>• Rohstoffbasis,</li> <li>• Amortisationszeiten für Infrastruktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zunehmende F&amp;E-Kosten</li> <li>• Finanzierung</li> <li>• Regulierungen</li> </ul>

#### 4.2. Sektoren, die biobasierte Produkten und Lösungen anwenden

Die wirtschaftlich großen Sektoren der Automobilindustrie und der Bauwirtschaft stellen ein beträchtliches Marktpotenzial für biobasierte Produkte und Lösungen dar. Aktuell gibt es zwar einige Anwendungen innovativer biobasierter Materialien, insbesondere Verbundwerkstoffe, Schmierstoffe und Textilien, jedoch ist insgesamt der Marktanteil biobasierter Produkte sehr gering und eine breitere Diffusion nicht absehbar.

**Tabelle 2: Verarbeitung von biobasierten Produkten: Potenziale und Innovationshemmnisse**

		<b>Automobil</b>	<b>Bau (ohne generelle Holzverwendung)</b>
Potenziale der BÖ	Potenzieller Markt	groß, da höherer Anteil biobasierter Produkte bei den großen Mengen des Kunststoff-/Schmiermitteleinsatzes große Effekte hätte	mittel, da höherer Anteil biobasierter Produkte bei den Produktgruppen Kunststoffe und Spezialchemikalien eher große Effekte hätte
	Aktuelle Bedeutung BÖ	eher gering	gering, erst wenige innovative Produkte verfügbar
	Wachstumsprognose BÖ	breite Diffusion nicht absehbar.	breite Diffusion nicht absehbar
Sektorale Innovations-/Wettbewerbsfähigkeit D		Wettbewerbs- und Technologieführerschaft der Automobilindustrie im Premiumsegment grundsätzlich hoch	eher hoch
BÖ-Innovations-/Wettbewerbsfähigkeit D		mittel: Es gibt Expertise und Hersteller bei biobasierten Materialien, bei Kunststoffen bisher kaum Produktionskapazitäten wg. Rohstoffkosten. Automobilindustrie hat (wie in anderen Ländern) keine spezifische Expertise bei biobasierten Produkten/Prozessen.	unklar: Einzelne nationale Akteure durchaus aktiv
Marktchancen und Charakteristika		Nachhaltige Mobilität ist für Image der Automobilindustrie in Industrieländern grundsätzlich wichtig, biobasierte Materialien leisten dazu einen (kleinen) Beitrag.  Endkunde: kein Premium, biobasierte Materialien nicht für Kaufentscheidungen relevant	Endkunde: Premium in Nischenmärkten (ökologisches Bauen) möglich, in der Breite eher Dominanz von Kostenv Wettbewerbsfähigkeit.  Nachfrage auch abhängig davon, wie stark Bauherren (z. B. öffentliche Hand) oder Handelsketten Druck machen, z. B. bei Bauhilfsmitteln.
Hemmnisse		<ul style="list-style-type: none"> <li>• „biobasiert“ kein Kaufkriterium für Endnachfrager</li> <li>• schwieriger Kostenwettbewerb, z. B. im Leichtbau</li> <li>• BÖ kein strategisches Thema für Autobauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostendruck,</li> <li>• viele einzelne Akteure,</li> <li>• geringe Kenntnis und Sensibilisierung der Akteure bzgl. BÖ</li> </ul>

### 4.3. Technologie-Dienstleister bzw. Querschnittstechnologien

Deutschland hat generell eine hohe technologische Wettbewerbsfähigkeit in den Wirtschaftsbereichen der Biotechnologie und des BÖ-relevanten Anlagenbaus. Im Bereich IKT ist Deutschland eher im Mittelfeld

anzusiedeln. Die USA sind Weltführer, aber auch asiatische Länder, allen voran China, sind im Bio-IT Bereich sehr stark. In allen drei Bereichen wird von einem relevanten bis hohen Wachstumspotenzial der Bioökonomie ausgegangen. Inwiefern sich Deutschland als Standort für diese Technologien entwickeln wird, hängt neben dem Zugang zu Wachstumskapital auch von den rechtlichen Rahmenbedingungen und dem Gesellschaftsumfeld ab. Hier fordert die Wirtschaft seit längerem mehr Willen zu unternehmerischem Risiko und Offenheit gegenüber neuen Technologien.

**Tabelle 3: Technologiedienstleister: Potenziale und Innovationshemmnisse**

		<b>Anlagenbau Prozesstechnik</b>	<b>Biotechnologie</b>	<b>IKT</b>
Potenziale der BÖ	potenzieller Markt	mittel, v. a. im Inland bei Großanlagen eher begrenzt	groß	eher groß
	aktuelle Be- deutung BÖ	eher gering	groß, Bioökonomie (inkl. Me- dizin) ist Kerngeschäft	schwer zu beurteilen
	Wachstums- prognose BÖ	durchaus relevantes Wachstumssegment für den Sektor	starkes Marktwachstum er- wartet, jedoch hohe Unsi- cherheiten u. a. wegen schwankender Rohölpreise	sehr starkes Marktwach- stum im Bereich Bioinfor- matik erwartet, aber hohe Unsicherheiten bzgl. Be- deutung von Big-Data
Sektorale Innovations-/ Wettbewerbsfähigkeit D		eher hoch	eher hoch, USA führend	mittel, USA führend
BÖ Innovations-/ Wettbewerbsfähigkeit D		hoch: einige große deutsche Un- ternehmen erfolgreich, aber Konkurrenz aus USA und Asien	Hoch: Fokus derzeit allerdings eher auf Biopharmazie	Mittel: Debatten, ob F&E-Infra- struktur und Vernetzung zwischen Akteuren ausrei- chend ist
Marktchancen und Charakteristika		Nachfrager sind vor allem Produzenten biobasierter Produkte aus dem Ausland,  Entwicklung der BÖ in den internationalen Anwender- branchen ist für Nachfrage entscheidend.	Integration der Roten Bio- technologie in F&E der int. Pharmaindustrie,  Industrielle Biotechnologie eher Umsatzbeteiligung, be- dient verschiedene Industrie- kunden.	Nachfrager sind vor allem Produzenten biobasierter Produkte, Nachfrage ab- hängig von neuen Anwen- dungsmöglichkeiten und Effizienzgewinnen in der IKT.
Hemmnisse		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Markt- und Technologie- Entwicklung unsicher</li> <li>• Übernahme Projektrisiken des Kunden (Bürgschaft)</li> <li>• begrenzter Markt für Groß- anlagen in D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unsichere Marktentwicklung, niedrige Rohölpreise</li> <li>• Nachhaltigkeitsbewertung Voraussetzung für kommerzi- ellen Erfolg</li> <li>• Fehlendes Finanzmarkt-Öko- system für Biotechnologie in Deutschland</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechtliche Herausforderun- gen der Digitalisierung (z. B. Datenschutz)</li> <li>• Regulierungen</li> <li>• Fragmentierter EU-Markt</li> <li>• Unklare Geschäftsmodelle, z. B. zu Big-Data</li> <li>• F&amp;E-Infrastruktur</li> </ul>

### 5. Situationsanalyse der Politikinstrumente zur Unterstützung der Innovationsfähigkeit im Bereich der Bioökonomie

Hinsichtlich des skizzierten Status quo der Innovationssysteme für die BÖ stellt sich die Frage, ob die Rahmenbedingungen in Deutschland geeignet sind, die Innovationspotenziale in der Industrie angemessen zu nutzen. Diese Frage geht über eine bloße „Förderung“ von einzelnen Technologien, Prozessen oder

von Rohstoffeinsatz hinaus. Sie adressiert im Grundsatz das Problem, wie organisch gewachsene, erfolgreiche Industrien von disruptiven Entwicklungen und neue Potenzialen profitieren können. Tatsächlich basieren die Industrien in allen entwickelten Ländern auf Produkten und Produktionssystemen, die im 19. und frühen 20. Jahrhundert etabliert worden sind. Fossile Rohstoffe und die Nichtberücksichtigung von Externalitäten sind zentrale Grundlagen für den wirtschaftlichen Erfolg des derzeitigen Industriesystems.

### 5.1. Instrumente der Innovationspolitik in Deutschland

Im Allgemeinen umfassen innovationspolitische Maßnahmen eine Vielzahl an Politikfeldern in den Bereichen der Wirtschaft, Umwelt, Wissenschaft und Technologie (siehe Abbildung 4)



Abbildung 4: Innovationspolitik umfasst alle Maßnahmen des Staates, die sich auf die Art, die Steuerung und die Beeinflussung von Innovationsprozessen in Wirtschaft und Gesellschaft richten (Koschatzky 2015)

Auf Basis der Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 (BMBF 2010) und der Politikstrategie (BMEL 2013) sowie von sektorübergreifenden Instrumenten findet sich in Deutschland ein breiter innovationspolitischer Mix zur Förderung der F&E-Aktivitäten und Kooperationen in der Bioökonomie. Einzelne Programme unterstützen Unternehmensgründungen und die Kommerzialisierung von biobasierten Innovationen. Nachfrageseitige Instrumente konzentrieren sich bisher auf den Bereich der Bioenergie.

In Deutschland gibt es, auch aufgrund der Aufgabenteilung in der EU, kaum nachfrageseitige Förderungen für die Bioökonomie. **Nachfrageseitige Instrumente** für biobasierte Produkte, z. B. öffentliche Beschaffung, verbindliche Quoten und Marktanreizprogramme, werden in der Literatur und Politikanalyse seit einiger Zeit diskutiert (z. B. OECD 2014). Solche Maßnahmen haben aber in der Regel eine sehr hohe Eingriffstiefe und können meist nicht zeitnah und einfach an Marktveränderungen angepasst werden. Zudem wäre eine Priorisierung von Zielmärkten für solche Maßnahmen erforderlich. Daher werden in der Wirtschafts- und Politikforschung in der Regel sehr hohe Anforderungen an die Auswahl, Rechtfertigung und konkrete Ausgestaltung politischer Eingriffe gestellt, die im Rahmen der vorliegenden Recherche nicht ausreichend analysiert werden können.

**Angebotsseitig** gibt es im Bereich der **Forschungs- und Kooperationsförderung** in Deutschland ein recht ausdifferenziertes innovationspolitisches Instrumentarium. Dies kann als weitgehend gut passfähig zu den Bedürfnissen der Akteure beurteilt werden (Wydra 2011). Die staatliche Förderung von Gründungen und KMU, z. B. durch die Programme GO-Bio und EXIST, sind zwar wichtige Elemente einer Innovationspolitik, sie haben aber nur begrenzten Einfluss auf die Dynamik der Entwicklung. Hierfür sind privatwirtschaftliche Investitionen notwendig. Die Politik kann jedoch die Rahmenbedingungen für Innovationskapital in der Bioökonomie wesentlich beeinflussen.

## 5.2. Lücken in der Innovationspolitik in Deutschland

Die vorangestellte Analyse der Hemmnisse der Entwicklung der Bioökonomie in der Industrie verweist auf Schwächen im Innovationssystem, z. T. auch auf das Fehlen von spezifischen Akteuren. Dies erfordert eine Anpassung und Ergänzung der bestehenden Politikinstrumente.

Derzeit ist festzustellen, dass im Wesentlichen Forschungspolitik Priorität genießt. Gerade die Kommerzialisierungsphase ist auch in der Bioökonomie das viel diskutierte „Valley-of-Death“. Für die Entwicklung von marktfähigen Lösungen für die Serienproduktion gibt es keine Fördermittel (weder Forschungsförderung noch Markteinführungsförderung). Zudem steht notwendiges Innovationskapital nicht ausreichend zur Verfügung.

In Deutschland führt das Zusammenspiel der Akteure bisher nicht zur Ausbildung eines funktionierenden Finanzierungssystems für biobasierte Innovationen (siehe Abbildung 5). Das Finanzierungssystem ist jedoch ein wesentlicher Pfeiler des Innovationssystems und bedeutend für die Überführung von Erfindungen in marktfähige Anwendungen. Der Bioökonomierat (2013), aber auch die Expertenkommission für Forschung und Innovation (EFI 2016) sowie der Innovationsdialog (acatech 2016) haben mehrfach auf Defizite in der Innovationsfinanzierung hingewiesen. Insbesondere für die Markteintrittsphase von KMU gibt es einen Mangel an privatwirtschaftlichen Investoren.

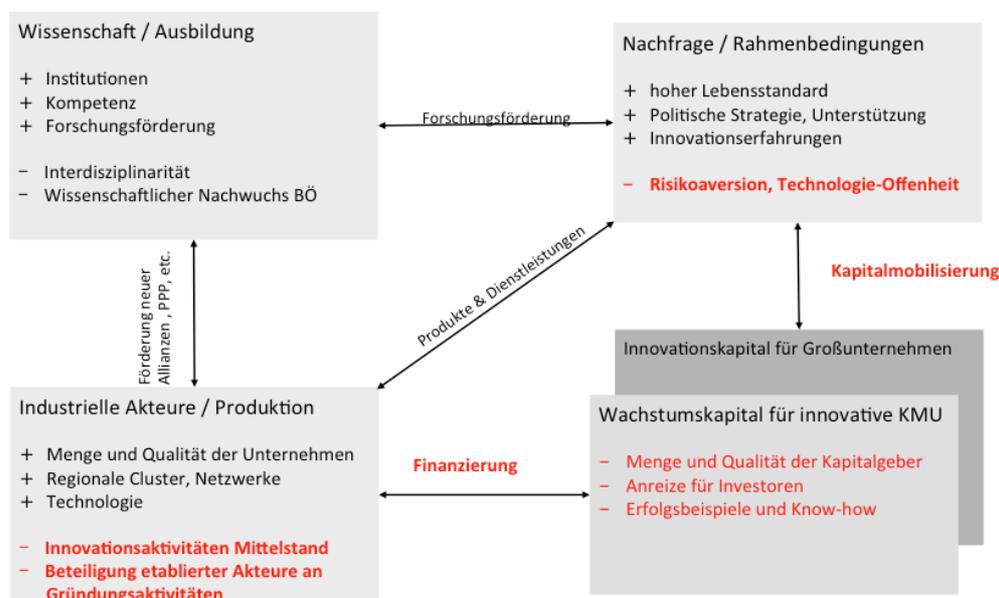
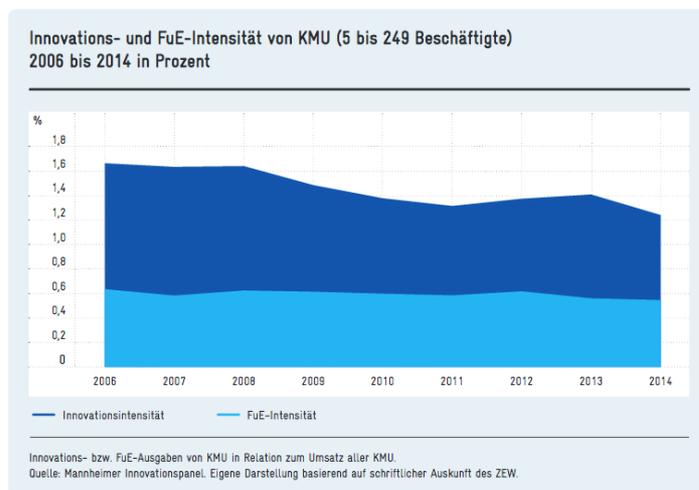


Abbildung 5: Stärken und Schwächen der Innovationssysteme für die Bioökonomie in der Industrie

In einem der reichsten Länder der Welt sind die Innovationsausgaben des Mittelstandes seit Jahren stagnierend bis rückläufig (siehe Abbildung 6). Es gibt keinen nennenswerten Risikokapitalmarkt, der in innovative KMU der BÖ investiert (siehe Abbildung 7). Die Kapitalbeschaffung über Banken und die Aktienmärkte ist für diese Unternehmen praktisch nicht möglich. Unternehmenswachstum wird häufig über Eigenkapitalreserven oder die Begebung von Anleihen finanziert. Diese Möglichkeit ist bei kleinen, innovativen Unternehmen meist nicht gegeben. Insgesamt ist der deutsche Kapitalmarkt eher auf etablierte Großunternehmen fokussiert.

Technologieunternehmen sind, auch unter Beteiligung von privaten und institutionellen Anlegern aus Deutschland, deshalb vorwiegend für ausländische Kapitalmärkte interessant. Dies führt dazu, dass Technologieunternehmen zusehends ihre Assets abgeben oder den Weg an eine ausländische Börse suchen (Euronext, NASDAQ). Der industrielle Kern der Volkswirtschaft kann sich nicht über den heimischen Kapitalmarkt erneuern.



**Abbildung 6: Innovations- und F&E-Intensität von KMU in Deutschland (EFI-Gutachten 2016)**



**Abbildung 7: Entwicklung der Wagniskapital-Investitionen in Deutschland (EFI-Gutachten 2016)**

Ein erfahrenes und vernetztes Top-Management gilt als Voraussetzung für das Vertrauen der Investoren in kleine, innovative Unternehmen. Hier weist die **Durchlässigkeit der Systeme** bezüglich persönlicher Engagements große Unterschiede zu wichtigen ausländischen Standorten auf: Der Wechsel von **etablierten Managern und Unternehmern** in Start-ups oder kleinere Firmen ist in Deutschland eher die Ausnahme. In anderen Ländern, z. B. im angelsächsisch geprägten Wirtschaftsraum, sind solche beruflichen Wechsel und Karrieren eher üblich und sehr angesehen.

In Ländern wie den USA, Kanada und Israel haben sich über Jahrzehnte funktionsfähige Kapitalmärkte (private equity markets) für innovative Unternehmen entwickelt. Der Erfolg dieser Wirtschaftsräume, gerade in den Bereichen Pharmabiotechnologie, aber auch Software/IT und Internet, ist ganz wesentlich auf diese Akteursgruppen zurückzuführen. Interessanterweise haben in diesen Wirtschaftsräumen direkte staatliche Interventionen, Subventionen oder auch Forschungsfördermittel zu Gunsten neuer Unternehmer eher geringe Bedeutung. Vielmehr werden steuerliche Anreize auf Anlegerseite oder die Anpassung von Kapitalmarktregulierungen an die Bedürfnisse von kleinen und mittleren Unternehmen (etwa JOBS-Act USA 2014) als Instrumente gesehen, die eine enorme Dynamik herbeiführen können.

Die Untersuchung dieser funktionierenden Innovationssysteme und die Anpassung an die spezifischen deutschen und europäischen Gegebenheiten sind von essenzieller Bedeutung für die Nutzung der Potenziale der Bioökonomie.

## Annex I

1. Bedeutung der Bioökonomie in Deutschland (Sektorale Innovationssysteme) .....	20
1.1. Pharmazeutische Industrie .....	21
1.1.1 Bedeutung der Bioökonomie .....	21
1.1.2 Industrielle Akteure .....	21
1.1.3 Wissenschaft und Ausbildung.....	21
1.1.4 Nachfrage und Rahmenbedingungen für die Bioökonomie .....	22
1.1.5 Finanzierung .....	23
1.2. Chemieindustrie .....	24
1.2.1 Bedeutung der Bioökonomie .....	24
1.2.2 Industrielle Akteure .....	25
1.2.3 Wissenschaft und Ausbildung.....	27
1.2.4 Nachfrage und Marktbedingungen für die Bioökonomie .....	28
1.2.5 Rahmenbedingungen .....	29
1.2.6 Finanzierung .....	29
1.3. Energiewirtschaft.....	30
1.3.1 Bedeutung der Bioökonomie .....	30
1.3.2 Industrielle Akteure .....	31
1.3.3 Wissenschaft und Ausbildung.....	32
1.3.4 Nachfrage und Marktbedingungen für die Bioökonomie .....	33
1.4. Biotechnologie .....	34
1.4.1 Bedeutung der Bioökonomie .....	34
1.4.2 Industrielle Akteure .....	35
1.4.3 Markt und Nachfragebedingungen .....	35
1.4.4 Wissenschaft und Ausbildung.....	36
1.4.5 Rahmenbedingungen .....	37
1.4.6 Finanzierung .....	38
1.5. Anlagenbau .....	39
1.5.1 Bedeutung der Bioökonomie .....	39
1.5.2 Industrielle Akteure .....	39
1.5.3 Wissenschaft und Ausbildung.....	39
1.5.4 Nachfrage und Rahmenbedingungen für die Bioökonomie .....	40
1.5.5 Finanzierung .....	40
1.6. Automobilindustrie .....	41
1.6.1 Bedeutung der Bioökonomie .....	41
1.6.2 Industrielle Akteure .....	41
1.6.3 Wissenschaft und Ausbildung.....	42
1.6.4 Nachfrage und Marktbedingungen für die Bioökonomie .....	43
1.6.5 Rahmenbedingungen .....	44
1.6.6 Finanzierung .....	45
1.7. Baugewerbe .....	46
1.7.1 Bedeutung der Bioökonomie .....	46
1.7.2 Industrielle Akteure .....	46
1.7.3 Wissenschaft und Ausbildung.....	47
1.7.4 Nachfrage und Rahmenbedingungen für die Bioökonomie .....	48
1.8. Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT).....	50
1.8.1 Bedeutung der Bioökonomie .....	50
1.8.2 Industrielle Akteure .....	50
1.8.3 Wissenschaft und Ausbildung.....	51
1.8.4 Nachfrage und Rahmenbedingungen .....	51

## 1. Bedeutung der Bioökonomie in Deutschland (Sektorale Innovationssysteme)

Im Folgenden werden die Innovationssysteme im produzierenden Gewerbe und bei Technologie-Dienstleistern in Hinblick auf die Bedeutung der Bioökonomie betrachtet. Neben einer Darstellung der aktuellen Bedeutung und zukünftigen Potenziale der Bioökonomie in Deutschland, wird die Innovationsfähigkeit der ausgewählten Sektoren in Hinblick auf die Bioökonomie anhand verfügbarer Informationen betrachtet.

Aufgrund der unterschiedlichen Datenlage und Bedeutung von Faktoren, ist es nicht möglich, die Beschreibung der sektoralen Innovationssysteme zu standardisieren. Die Analysen unterscheiden sich notgedrungen sowohl im Umfang als auch im Detailgrad der Inhalte. In diesem Zusammenhang betonen die Autoren, dass jeweils nur ausgewählte Einflussfaktoren zu Wissenschaft und Qualifikation, industriellen Akteuren, Markt- und Rahmenbedingungen sowie Finanzierung präsentiert werden können. In den Sektoren mit noch geringer bioökonomischer Aktivität werden eher allgemeine Bedingungen im Innovationssystem diskutiert, die einen Einfluss auf die Entwicklung der wissensbasierten Bioökonomie haben dürften.

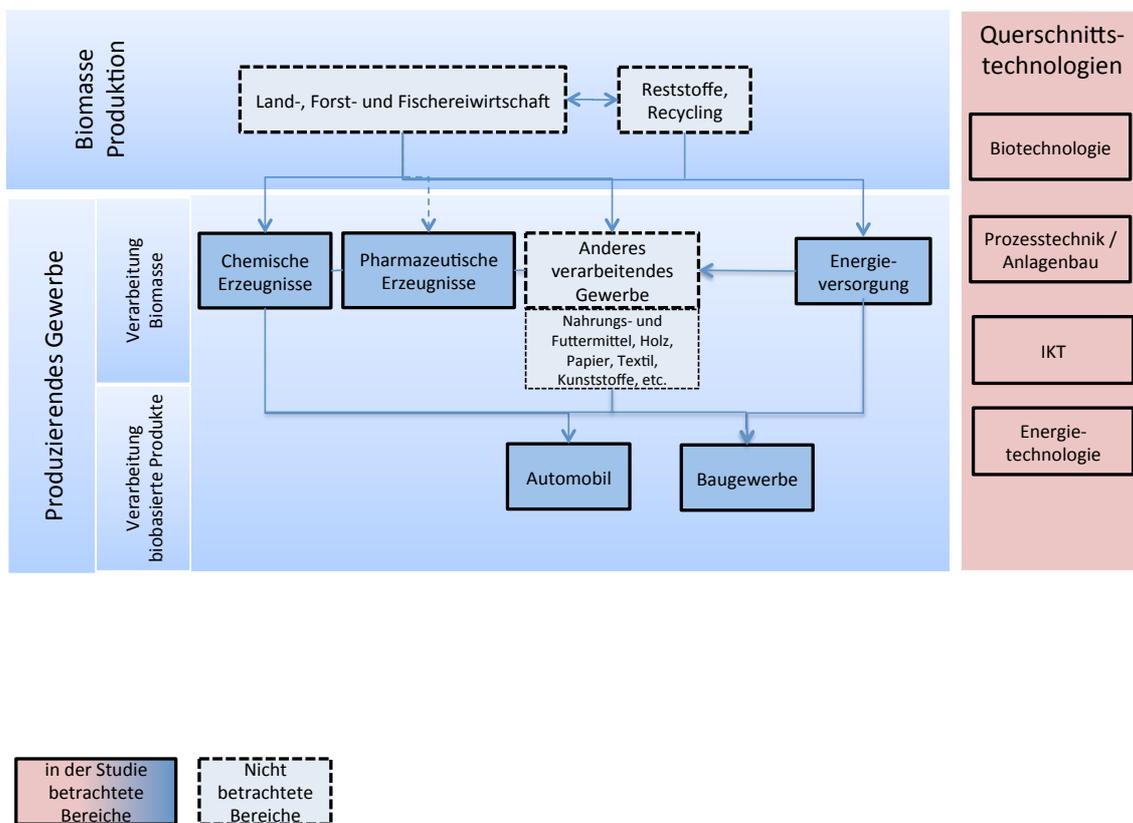


Abbildung 8: Bioökonomie im produzierenden Gewerbe

## 1.1. Pharmazeutische Industrie

### 1.1.1 Bedeutung der Bioökonomie

Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen, hierzu zählen vor allem Wirkstoffe aus Heilpflanzen, spielt in der Pharmaindustrie nur eine untergeordnete Rolle. Phytopharmazeutika verzeichnen im Vergleich zum Gesamtmarkt einen geringen und in den vergangenen Jahren sogar rückläufigen Umsatz (FNR 2014a). Der Einsatz von **innovativen, biotechnologischen Methoden ist jedoch von zentraler Bedeutung in dieser Industrie.**

Die Biotechnologie stellt Wissensbestände (z. B. Genominformationen) für die Entdeckung und Entwicklung neuer Wirkstoffe, Targets und Therapieprinzipien bereit und ermöglicht die gentechnische Produktion von therapeutisch eingesetzten Biomolekülen (z. B. Hormonen, Antikörpern, Proteinen), den Biopharmazeutika. Unter den zehn umsatzstärksten Medikamenten finden sich sieben Biopharmazeutika (Evaluate Pharma 2015). Zu den wichtigsten Anwendungsgebieten gehören moderne Zivilisationskrankheiten (v. a. Diabetes, Krebs, Auto-Immunerkrankungen) sowie die Infektiologie. Biopharmazeutika machen weltweit rund 20% des Umsatzes mit Medikamenten aus und haben einen geschätzten Marktwert von circa 20 Mrd. Euro (BMBF 2015). Marktberichte gehen davon aus, dass bis 2018 fast die Hälfte des Umsatzes der 100 meistverkauften Pharmazeutika biobasiert sein wird (z. B. EvaluatePharma 2015).

In Deutschland sind derzeit mehr als 130 Wirkstoffe zugelassen, die gentechnisch hergestellt werden (Stand 2015; Quelle [www.vfa.de/gentech](http://www.vfa.de/gentech)). Biopharmazeutika erzielen mit rund 6,5 Mrd. Euro mittlerweile ein Fünftel des Umsatzes des gesamten Apothekenmarktes (Jahr 2013). Inwiefern der Anteil der Biopharmazeutika an allen Pharmazeutika auch in Zukunft steigen wird, ist noch offen: Biopharmazeutika verzeichneten in der Wirkstoff-Pipeline, d. h. bei den sich aktuell in klinischen Prüfungen der Phasen I bis III befindenden Wirkstoffen, in den vergangenen Jahren einen leichten Anstieg (BCG und VFA 2015). Die Anzahl der Wirkstoffe, die von Biotechnologieunternehmen entwickelt werden, war jedoch leicht rückläufig (EY 2014, [biotechnologie.de](http://biotechnologie.de) 2014).

### 1.1.2 Industrielle Akteure

Die deutsche Pharmaindustrie ist die größte in Europa und beschäftigt rund 120.000 Personen (Statistisches Bundesamt 2014). Das biopharmazeutische Innovationssystem hat sich in Deutschland in den vergangenen Jahrzehnten erfolgreich etabliert und ist mit starken, international wettbewerbsfähigen Akteuren in einem wachsenden Markt als voll funktionsfähig zu bewerten. Deutschland besitzt mit einigen Großunternehmen und einer signifikanten und stabilen Anzahl von KMUs über eine entwickelte Unternehmenslandschaft.

Deutschland nimmt bei der Produktion von Biopharmazeutika die führende Stellung in Europa ein. So beträgt die Produktionskapazität („Fermenterkapazität“) in Deutschland rund 680.000 Liter, nur die USA liegen mit 1,2 Mio. Litern weiter vorne (Stand Januar 2013; DIB 2014). Als Gründe für die Dominanz dieser beiden Länder gelten die hohen technologischen, regulativen und qualitativen Anforderungen sowie die enge Verknüpfung von F&E und Produktion von Biopharmazeutika. Hier sind Deutschland und die USA im Vorteil. Nachteile bei den Lohnkosten sind in diesem Bereich weniger relevant (Reynolds 2011).

### 1.1.3 Wissenschaft und Ausbildung

Hochqualifizierte Arbeitskräfte gelten als Stärke des deutschen Standorts (NIW 2013). Aufgrund des vergleichsweise niedrigen Durchschnittsalters der Beschäftigten und den hohen Löhnen im Vergleich zu anderen Branchen ist die biopharmazeutische Industrie im Wettbewerb um hochqualifiziertes Personal gut aufgestellt (NIW 2013). Ein weiterer Vorteil des Standortes Deutschland ist die Forschungsinfrastruktur, die sehr gut ausgebaut ist. Dazu gehört die erfolgreiche Zusammenarbeit der Unternehmen mit Universitäten und Forschungseinrichtungen, aber auch in den Netzwerken zwischen großen Pharmaunternehmen und kleinen Biotechnologieunternehmen. (NIW 2013; BCG und VFA 2014). Unterstützt werden diese Aktivitäten durch eine ausdifferenzierte Förderlandschaft, die mit ihren Programmen die verschiedenen Akteure und deren Vernetzung adressiert. Spezifische Programme sind u. a. die Pharma-Initiative im Rahmen der Hightech-Strategie (BMBF 2014) sowie die Programme Go-BIO und KMU-Innovativ für Biotech-KMUs.

Allerdings verändern sich gegenwärtig die Forschungs- und Marktbedingungen für die Akteure erheblich. Die F&E-Produktivität (F&E-Ausgaben je neu zugelassenem Molekül) nimmt seit Jahrzehnten kontinuierlich ab. Marktpotenziale ergeben sich eher in kleineren Nischenmärkten als bisher.<sup>2</sup> Schwellenländer gewinnen nicht nur als Absatzmärkte, sondern verstärkt auch als F&E-Standorte an Bedeutung. Regulierungen, die einen Kosten-Nutzen-Mechanismus zur Steuerung der Arzneimittelausgaben der Krankenkassen einführen, haben erhebliche finanzielle Auswirkungen auf die Pharmaindustrie.

Die Pharmaunternehmen stehen deshalb unter erheblichem Druck, ihr F&E-Modell neu zu konzipieren und die F&E-Pipeline zu diversifizieren. Eine Lösung bieten neue Arten von Kooperationen (Stichwort: Open Innovation), auch in solchen F&E-Phasen, die bisher als Domäne der Großindustrie galten und intern durchgeführt wurden, z. B. der Findung eines Wirkstoffkandidaten. In diesem Zusammenhang werden vermehrt dedizierte Biotechnologieunternehmen und Universitäten in den gesamten F&E-Prozess eingebunden. Ebenso werden Unterverträge an „Contract Research Organizations“ vergeben bzw. Entwicklungsaktivitäten in Schwellenländer verlagert. Das „Off-shoring“ hat in der Pharmabranche inzwischen ein signifikantes Ausmaß erreicht: 54% der F&E-Ausgaben deutscher Pharmaunternehmen werden im Ausland getätigt (EFI 2014). Diese verstärkte Zusammenarbeit mit externen Akteuren geht teilweise mit einer deutlichen Reduktion der internen oder gar gesamten F&E-Ausgaben der Unternehmen einher. Bisher scheint jedoch der Fokus auf F&E-Einsparungen in anderen Ländern tendenziell stärker ausgeprägt als in Deutschland (Ramirez 2014). Aktuell findet ein zunehmender Aufbau von globalen Netzwerken (F&E-Hubs) statt, um sowohl nah an Zentren wissenschaftlicher Exzellenz als auch an dynamischen Märkten zu sein. Deutschland hat von dieser Entwicklung eher profitiert und blieb von damit zusammenhängenden Standortschließungen weitgehend verschont.

#### **1.1.4 Nachfrage und Rahmenbedingungen für die Bioökonomie**

Der deutsche Pharmamarkt ist der größte in Europa. Dies dürfte auch für Biopharmazeutika gelten, es liegen aber keine vergleichbaren Daten vor. Der demographische Wandel lässt eine wachsende Nachfrage nach Biopharmazeutika erwarten, da diese häufig für Alterskrankheiten und chronische Erkrankungen eingesetzt werden (BCG und VFA 2013). Die Wachstumsraten auf dem GKV-Arzneimittelmarkt – der mit fast drei Viertel der Ausgaben der bedeutendste Teilmarkt für Arzneimittel ist – sind aktuell rückläufig. Generell sind in der (bio)pharmazeutischen Industrie eine Vielzahl von politischen Maßnahmen und Regulierungen von Bedeutung. Starken Einfluss auf die Marktbedingungen haben beispielsweise die Regelung der klinischen Studien, der Eigentumsrechte, der Zulassung, der Erstattung bis hin zur Überwachung

---

<sup>2</sup> Es ist aber zu berücksichtigen, dass der häufig postulierte Rückgang der Bedeutung von Blockbustern (Medikamente mit einem Umsatz von über 1 Mrd. USDollar pro Jahr) zumindest bis zum Jahr 2010 empirisch nicht zu beobachten war (Jacquet et al. 2011)

der auf dem Markt befindlichen Produkte. Bei der Übernahme der Arzneimittelkosten durch die Krankenkassen steht auch gut vier Jahre nach der Einführung und einiger Anpassung des Arzneimittelmarktneuordnungsgesetz AMNOG in der Diskussion.<sup>3</sup>

#### **1.1.5 Finanzierung**

Für KMUs stellt die fehlende Möglichkeit der ausreichenden Finanzierung ein wesentliches Innovationshemmnis dar. Als zentrale Probleme für die geringe Verfügbarkeit von Risikokapital in Deutschland gelten mangelnde Anreize für Venture-Capital-Unternehmen sowohl aufgrund regulatorischer Rahmenbedingungen (u. a. fehlende Möglichkeit des Übertrags von Verlustvorträgen bei Veräußerung) als auch wegen fehlender Exit-Möglichkeiten: So gab es beispielsweise in Deutschland seit 2006 nur einen einzigen Börsengang eines Biotech-Unternehmens, in den USA dagegen mehr als 40 pro Jahr (EY 2014). Die Expertenkommission für Forschung und Innovation (EFI 2015) sieht aber immerhin positive Entwicklungstendenzen bei der politischen Weichenstellung für die Wagniskapitalfinanzierung. Dazu gehört die geplante Überarbeitung der restriktiven steuerrechtlichen Regelung zur Behandlung von Verlustvorträgen (§ 8 Körperschaftsteuergesetz KStG) sowie das im Jahr 2013 eingeführte Förderprogramm „INVEST – Zuschuss für Wagniskapital“. Hier wurde beschlossen, dass der Zuschuss von den Investoren nicht versteuert werden muss. Ob diese (z. T. geplanten) Schritte deutlich höhere Investitionsanreize für Kapitalgeber bieten werden, lässt sich noch nicht abschätzen.

---

<sup>3</sup> Das AMNOG bestimmt, dass Pharmaunternehmen bei der Einführung neuer Produkte die Preise nicht mehr selbst festlegen können. Auf der Grundlage einer Zusatznutzenprüfung der neuen Wirkstoffe werden diese entweder in einer Festbetragsgruppe zugeordnet (falls der Zusatznutzen nicht als therapeutische Verbesserung nachgewiesen werden kann) oder es werden zentrale Preisverhandlungen zwischen pharmazeutischen Herstellern und dem GKV-Spitzenverband durchgeführt.

## 1.2. Chemieindustrie<sup>4</sup>

### 1.2.1 Bedeutung der Bioökonomie

Wichtigste Rohstoffbasis für die Chemieproduktion sind Erdölprodukte (NAPHTHA) und Erdgas. Die deutsche chemische Industrie nutzte 2011 rund 19 Mio. Tonnen fossile Rohstoffe zur stofflichen Verarbeitung (VCI 2014) und etwa 2,7 Mio. Tonnen nachwachsende Rohstoffe. Der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe liegt damit bei etwa 13% und soll zukünftig wachsen (VCI 2014; NIW 2013; VCI und Prognos AG 2013). In der europäischen und amerikanischen Chemieindustrie sind rund 5% der Produkte und Verfahren biobasiert. Bis 2025 wird eine Verdopplung bis Vervierfachung des biobasierten Anteils erwartet (siehe Abbildung 3). Neben technischen Verbesserungen spielen die Einsparung von Syntheseschritten, Energie oder Treibhausgasen eine wesentliche Rolle für den Einsatz biobasierter Verfahren. Diese Vorteile sind jedoch nicht automatisch gegeben und müssen in Lebenszyklusanalysen überprüft werden.

Biobasierte Rohstoffe werden überwiegend in die Ausgangsstoffe Zucker und Fettsäuren gespalten und dann biotechnologisch zu Plattformchemikalien wie Glycerin, Sorbitol, Bernsteinsäure oder zu Feinchemikalien wie Enzymen, Aminosäuren, Vitaminen verarbeitet. Biobasierte Polymere (Biokunststoffe), wie beispielsweise Polylactid PLA, stellen ein weiteres Einsatzfeld der Bioökonomie dar. Interessante Impulse kommen auch aus der Bionik. So basieren schmutzabweisende Farben beispielsweise auf biomimetischen Oberflächenstrukturen.

Als Bereiche mit hoher Dynamik und Relevanz für die Bioökonomie gelten (Aichinger et al. 2016):

- biobasierte Plattformchemikalien
- biokunststoffe
- biobasierte Fein- und Spezialchemikalien

Die weltweiten Marktabschätzungen liegen für die Bereiche Fein-, Spezial- und Basischemikalien in jeweils ähnlicher Größenordnung, es werden (weiterhin) hohe Wachstumsraten zumeist im Bereich von 15 bis 25% p.a. prognostiziert. Obwohl sich die optimistischen Prognosen der Vorjahre bisher nicht erfüllt haben, zeigen sich erhebliche Fortschritte bei Innovationsaktivitäten in allen Bereichen und es ist ein zunehmender Aufbau von Produktionskapazitäten zu beobachten.

Deutsche F&E-Akteure sind in allen diesen Bereichen aktiv, wobei die Chemieunternehmen am ehesten in der (biobasierten) Spezialitätenchemie Wettbewerbsvorteile sehen und sich zukünftig stärker auf diesen Bereich konzentrieren werden (VCI und Prognos AG 2013). Bei biobasierten Plattformchemikalien, wie beispielsweise Lysin, Bernsteinsäure oder Akrylsäure, und Bioplastik (z. B. PHB) gibt es in jüngerer Vergangenheit stärkere Innovationsaktivitäten der heimischen Chemieindustrie, jedoch bisher keine kommerzielle Produktion an deutschen Standorten (E4tech, RE-CORD & WUR 2015).

---

<sup>4</sup> Der Bioökonomierat hat zum Wirtschaftsbereich Chemie ein BÖR-MEMO erstellt, das die Erkenntnisse in gebündelter Form enthält.



Skaleneffekte keine wesentliche Bedeutung. In diesem Bereich können die USA und Europa mit innovativen biobasierten Produkt- und Marktentwicklungen punkten, die jedoch ebenfalls häufig in China und Indien produziert werden könnten (E4tech, RE-CORD & WUR 2015).

**Tabelle 4: Produkte der Weißen Biotechnologie** (Weltjahresproduktion in Tonnen, Quelle: BMBF (2015), Daten nach E4tech, RE-CORD & WUR (2015); Becker & Wittmann (2012); Dechema (2014))

	Produkt	Weltjahresproduktion Menge	Biobasierter Anteil an der Gesamtproduktion (in Prozent)	Anwendung
Alkohole & Ketone	Ethanol	71 Mt	93	chemische Industrie, Lebensmittel, Kraftstoff
	Propandiol	128 kt	100	chemische Industrie
	Butanol	590 kt	20	chemische Industrie
	Isobutanol	105 kt	21	chemische Industrie
	Butandiol	3 kt	0,1	chemische Industrie
	Aceton	174 kt	3,2	chemische Industrie
	Furfural	300 – 700 kt	100	chemische Industrie
Organische Säuren	Essigsäure	1,4 Mt	10	Lebensmittel
	Zitronensäure	1,6 Mt	nahezu 100	Lebensmittel
	Milchsäure	472 kt	nahezu 100	Lebensmittel, chemische Industrie, Pharma
	Itaconsäure	41 kt	nahezu 100	chemische Industrie
	Bernsteinsäure	38 kt	49	chemische Industrie, Lebensmittel
	Polymere*	Polyhydroxyalkanoate (PHA)	17 kt	nahezu 100
Polymilchsäure (PLA)		120 kt	nahezu 100	Kunststoffe; Verpackung
Polyethylen (PE)		200 kt	0,2	Kunststoffe; Verpackung
Aminosäuren		Glutamat	2,5 Mt	keine Angaben
	Lysin	1,5 Mt	keine Angaben	Lebens- und Futtermittel
	Threonin	230 kt	keine Angaben	Lebens- und Futtermittel
	Methionin	600 kt	gering	Futtermittel
	Phenylalanin	80 kt	keine Angaben	Medizin
	Tryptophan	50 kt	keine Angaben	Lebens- und Futtermittel
	Arginin	10 kt	keine Angaben	Medizin, Kosmetik
	Valin	5 kt	keine Angaben	Medizin
Vitamine	Riboflavin (B2)	10 kt	nahezu 100	Lebens- und Futtermittel
	Cobalamin (B12)	35 kt	nahezu 100	Lebens- und Futtermittel, chemische Industrie, Pharma
	Ascorbinsäure (C)	100 kt	nahezu 100	Lebens- und Futtermittel, chemische Industrie, Pharma
Antibiotika	Penicilline	45 kt	keine Angaben	Medizin
	Cephalosporine	30 kt	keine Angaben	Medizin
	Tetracycline	5 kt	keine Angaben	Medizin
Enzyme				

	Amylasen	1,2 kt	nahezu 100	chemische Industrie, Lebensmittel
	Proteasen	2 kt	nahezu 100	chemische Industrie
	Phytasen	50 t	nahezu 100	Futtermittel
	Lipasen	20 t	nahezu 100	chemische Industrie
Kohlenhydrate	Fructose-Glucose-Zuckersirup)**	9,2 Mt	keine Angaben	Lebensmittel
	Xylitol	160 kt	nahezu 100	Medizin
	Sorbitol	164 kt	nahezu 100	Medizin
Andere	Algenöl	122 kt	nahezu 100	chemische Industrie
	Farnesene	12 kt	nahezu 100	chemische Industrie

\*aus biobasierten Monomeren; \*\*enzymatisch hergestellt

Relativ niedrige Öl- und Gaspreise, die erprobten Technologien und die existierende Infrastruktur bieten wenig Anreiz für einen Systemwandel in den großen Chemieunternehmen. Die meisten Anlagen (Produktionsverbund) sind hochoptimiert und produzieren im großen Maßstab. Sie sind häufig seit einigen Jahren abgeschrieben und daher hochprofitabel; die Prozessketten sind etabliert. Ein Rohstoffwandel wäre mit großen Investitionen in neue Infrastruktur- und Produktionsanlagen verbunden. Im Bereich der Basischemikalien wird der Gewinn vor allem durch Skaleneffekte bestimmt. Für zahlreiche Chemikalien gibt es lediglich eine „World-Scale-Anlage“. Um biotechnologische Prozesse auf große Skalen zu bringen, sind weitere Entwicklungen notwendig. Diese Entwicklungen erfordern Spezialwissen in der Optimierung von Produktionsorganismen, der Fermentations- und Aufbereitungsverfahren sowie der Anwendungstechnik. Die Entwicklungszeiten sind gewöhnlich lang und die damit verbundenen Kosten und Aufwendungen hoch. Im Segment der KMU sind Aktivitäten in der biobasierten Chemie eher durch die hohe Kapitalintensität der industriellen Biotechnologie und durch ein wenig aktives Gründungsgeschehen limitiert. Aufgrund guter Beschäftigungsmöglichkeiten in der Chemieindustrie und einer wenig produktorientierten F&E in Universitäten gibt es nur geringe Anreize für Unternehmensgründungen bei Chemikern.

Eine weitere Barriere im industriellen Innovationssystem stellen fehlende Wertschöpfungsketten und Netzwerke dar. Landwirte, Agrarbetriebe sowie der Agrarhandel begreifen sich beispielsweise bislang nicht als Rohstoff-Lieferanten oder Vorleistungsbetriebe der Chemieindustrie. Hier fehlen Ansätze für den Aufbau von Wertschöpfungsketten, Logistiknetzen und Allianzen, die auch kleine und mittlere Unternehmen einbeziehen.

### 1.2.3 Wissenschaft und Ausbildung

Im intensiven Kostenwettbewerb sind Innovationen für rohstoffarme Chemie-Standorte wie Deutschland von hoher Bedeutung (Oxford Economics 2014). Mit Innovationsausgaben in Höhe von rund 6,3 Mrd. Euro (2011) liegt die Chemie unter den Top 5 Industriesektoren in Deutschland. International gilt sie als eine der forschungsintensivsten innerhalb der hochentwickelten Chemienationen. In Anbetracht der globalen Herausforderungen im Bereich Klimaschutz und Ressourceneffizienz wird von einer steigenden Nachfrage nach ökologisch vorteilhaften chemischen Produkten ausgegangen. Auch zahlreiche (grüne) Zukunftstechnologien basieren auf den Innovationen und Vorleistungen der Chemieindustrie (z. B. SusChem Strategic Innovation and Research Agenda 2015).

In der industriellen Biotechnologie, die für die biobasierte Chemie von zentraler Bedeutung ist, verfügt Deutschland über eine im europäischen Vergleich wettbewerbsfähige Wissensbasis, die sich jedoch nicht durch eine hohe Dynamik auszeichnet (KET Observatory, biotechnologie.de). Die USA sind hier deutlicher

Technologieführer. Im Allgemeinen gelten Wissenschaft und Ausbildung als Stärke des deutschen Chemie-Standortes, es existieren jedoch keine expliziten Analysen über qualifiziertes Personal im internationalen Vergleich und potenzielle Engpässe hinsichtlich der biobasierten Chemie. Als verbesserungswürdig gilt die Vernetzung von universitärer Ausbildung und Forschung mit industriellen Erfahrungen und Anforderungen (EY und Fraunhofer ISI 2015).

#### 1.2.4 Nachfrage und Marktbedingungen für die Bioökonomie

Biobasierte Chemieprodukte werden zu einem großen Teil an Anwenderunternehmen verkauft. Die Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für biobasierte Produkte ist dennoch von hoher Relevanz, um die auf früheren Verarbeitungsstufen anfallenden Mehrkosten abzudecken. In erfolgreichen Fällen der Markteinführung biobasierter Produkte konnten die Hersteller scheinbar häufig ein „Green Premium“ auf Zwischenproduktebene erzielen. Bei den Endprodukten wurden große Unterschiede zwischen den Produktkategorien berichtet (Carus et al. 2014). Ein wesentlicher Nachteil für die biobasierte Chemie ist, dass der bioökonomische Anteil an einer Produktion nicht auf den ersten Blick erkennbar ist und eine Vermarktung deshalb auch an Kommunikationshürden scheitern kann. Der ökologische Vorteil biobasierter Verfahren und Produkte muss zudem meist separat erforscht und bewiesen werden. Inzwischen haben einige Konsumgüterkonzerne Aktivitäten in der biobasierten Wirtschaft gestartet, mit dem Ziel, Produkte aus biobasierter Produktion, wie Kunststoffflaschen (z. B. Coca-Cola) oder biobasierte Hightech-Textilien (z. B. Puma) sichtbar zu machen und sich so im Wettbewerb zu differenzieren.

**Tabelle 5: Übersicht: Unterschiede in den Wettbewerbsbedingungen bei Drop-ins und Non Drop-ins**

	Non Drop-ins	Drop-ins
Performance	unterschiedliche Funktionalität zu Konkurrenzprodukt	gleiche Performance zu konventionellen, öl-basierten Produkten
Ökonomie	hohe Anpassungs- und Investitionskosten für Bau und Ausrüstung Lerneffekte und Anpassungskosten bei Anwender nötig Wettbewerbssituation zu fossilen Produkten ergibt sich aus Unterschieden in der Funktionalität und Kosten	keine Anpassungskosten auf Kundenseite sehr hoher Preiswettbewerb zu öl-basierten Produkten; Rohstoffkosten und Skaleneffekte von besonderer Bedeutung
Nachhaltigkeit	Recycling als häufiger Vorteil von non Drop-ins, aber spezifische Anlagen nötig Nachhaltigkeitsbewertung je Produkt	keine Auswirkung auf Recycling; Nachhaltigkeitsbewertung je Produkt nötig
Herausforderungen bei Technologien und Prozessen	erheblicher Entwicklungsbedarf bei Produkten (Verbesserung der Materialeigenschaften) und Prozessen (Kostenreduktion)	neues technologisches Wissen nötig, Produkte und Prozesswissen in Unternehmen ausgereift hohe logistische Herausforderungen, da meist große Anlagen mit hohem Biomassebedarf

Für den Markt der industriellen Anwender kann zwischen zwei Entwicklungslinien für die Bioökonomie unterschieden werden, den „Drop-ins“ und „non Drop-ins“ (siehe Tabelle 5). Bei „Drop-in“-Materialien unterscheiden sich die biobasierten Produkte in den Eigenschaften nicht von ihren petrochemischen Gegenständen, werden aber zumindest teilweise aus Biomasse gewonnen. Bei Anwenderunternehmen sind aufgrund der identischen Eigenschaften keine Anpassungen bei der Weiterverarbeitung vorzunehmen. Demgegenüber stehen „non Drop-ins“. Diese Produkte unterscheiden sich in ihrer Funktionalität von petrochemischen Alternativprodukten, falls diese existieren. „Non Drop-ins“ sind somit Produktinnovationen,

die einen technischen und/oder ökologischen Vorteil bieten. Es ist zu beachten, dass die technologischen Herausforderungen zwischen diesen „Innovationspfaden“ differieren. Während bei Drop-ins die Unternehmen auf z. T. bereits etabliertes Wissen bei Prozessen und Produkten zurückgreifen können, besteht bei „Non Drop Ins“ meist ein erheblicher Entwicklungsbedarf. Für die kommenden Jahre werden z. B. für Bioplastik höhere Wachstumsraten für Drop-Ins prognostiziert, v. a. aufgrund der höheren Kompatibilität zur existierenden Infrastruktur. Allerdings bestehen geringe Zweifel, dass beide Pfade eine hohe Relevanz für die Bioökonomie in der Chemieindustrie haben werden. Es gibt bislang keine Hinweise, dass andere Länder einen klaren Schwerpunkt bzgl. der Förderung einer dieser beiden Pfade setzen (EY und Fraunhofer ISI 2015).

#### **1.2.5 Rahmenbedingungen**

Förderprogramme zur Forschung und Entwicklung in der biobasierten Chemie wurden in früheren Studien als weitgehend positiv beurteilt (u. a. Wydra et al. 2010). Allerdings existieren in Deutschland keine relevanten markt- bzw. nachfrageseitigen Politikmaßnahmen für biobasierte Chemikalien. Dies steht im Gegensatz zu anderen Ländern, wie beispielsweise Italien, das ein Verbot für nicht biobasierte Plastiktüten erließ, oder den USA, wo eine Präferenz für biobasierte Materialien im öffentlichen Einkauf gilt.

Zudem sind außer bei Biokraftstoffen noch keine verbindlichen Standards zur Bewertung der Nachhaltigkeit von biobasierten Produkten eingeführt worden. Zahlreiche Studien attestieren biobasierten Plattformchemikalien, Biokunststoffen und Feinchemikalien eine positive Umweltwirkung im Vergleich zur konventionellen Produktion, jedoch spielen die Zusammensetzung der einzelnen Produktionsfaktoren eine wichtige Rolle (z. B. die verwendete Energiequelle).

#### **1.2.6 Finanzierung**

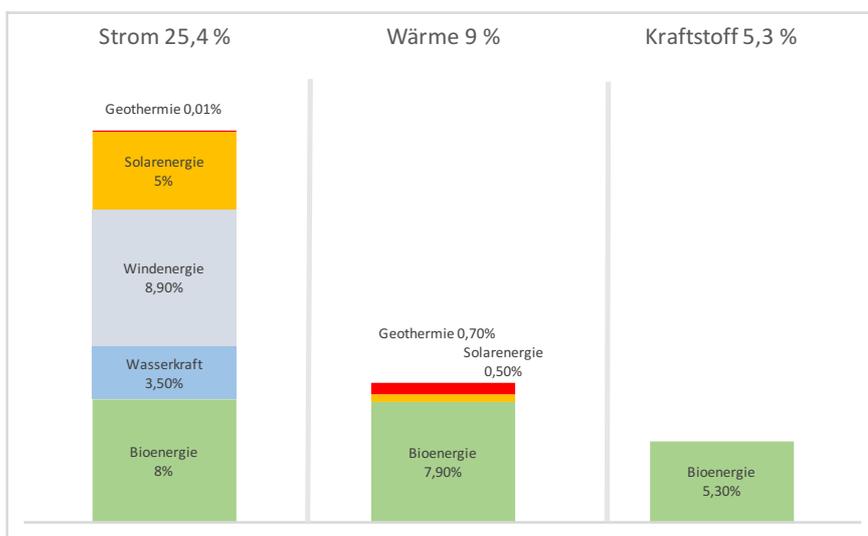
Kleine und mittlere Unternehmen, die sich mit biobasierten Innovationen beschäftigen, können Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen über staatliche Förderprogramme finanzieren. Bei der Weiterentwicklung und Kommerzialisierung ist die Finanzierung jedoch deutlich schwieriger. Aufgrund ihrer geringen Eigenkapitalausstattung sind sie besonders abhängig von Investoren. Für Risikokapitalgeber ist der Investitionsanreiz in mehrfacher Hinsicht eher gering. Zum einen gibt es nur wenige Erfolgsmodelle, die zeigen, dass es sich lohnt, die erheblichen technologischen und wirtschaftlichen Risiken einzugehen. Zum anderen ist der Markt für Unternehmensverkäufe anders als in der Pharmabranche unterentwickelt. Diese Exit-Möglichkeit, nämlich hohe Gewinne über Unternehmensverkäufe zu erzielen, ist üblicherweise ein Schlüsselreiz für Risikokapitalgeber.

Die Finanzierung des Systemwandels in großen Unternehmen scheint stärker durch kurzfristige Gewinnüberlegungen und unpassende Geschäftsmodelle limitiert. Beispielsweise werden Investitionen in Prozesstechnik und neue Anlagen vom Kapitalmarkt nicht honoriert, da sie kurzfristig nicht zu steigenden Gewinnen führen. Im Wettbewerb um interne Finanzierungsquellen sind biobasierte Innovationen mit vergleichsweise hohen technologischen Risiken und unklaren Marktpotenzialen im Nachteil.

### 1.3. Energiewirtschaft

#### 1.3.1 Bedeutung der Bioökonomie

Die energetische Verwendung von Biomasse ist der mit Abstand wichtigste industrielle Nutzungspfad von nachwachsenden Rohstoffen. Die Bioenergie spielt bisher eine wichtige Rolle innerhalb der Erneuerbaren Energien. Bei Kraftstoffen und bei der Wärmeerzeugung ist Biomasse sogar die bedeutendste erneuerbare Energiequelle in Deutschland (Abbildung 10). Allerdings ist nach den Änderungen in der Förderung der Bioenergie der weitere Ausbau fast zum Erliegen gekommen (Abbildung 11). Lediglich die Strombereitstellung aus nachwachsenden Rohstoffen hat auch in den vergangenen Jahren noch zulegen können. Zukunftspotenziale bestehen in allen Bereichen bei der Nutzung von Reststoffen, die nicht in Nutzungskonkurrenz zu Lebens- und Futtermitteln stehen.

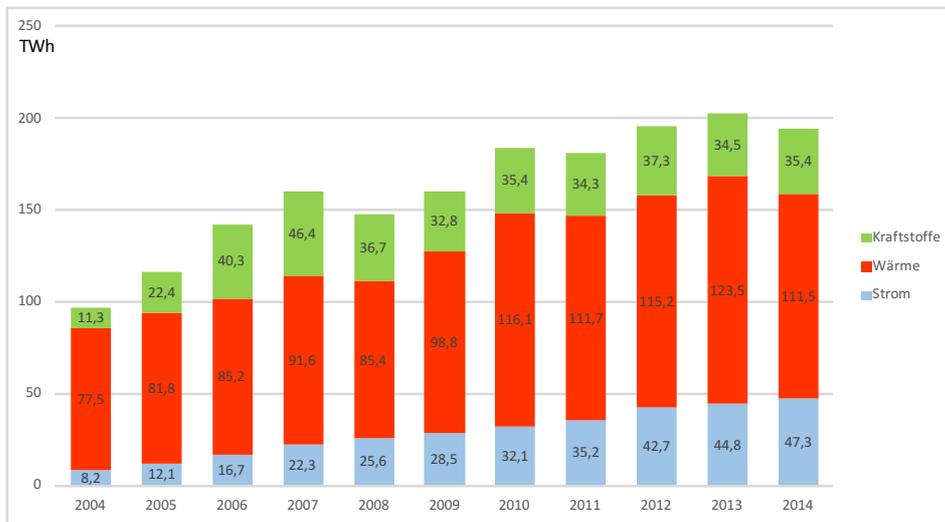


**Abbildung 10: Anteil der Erneuerbaren Energien an der Energieversorgung (Quelle: BMWi 2015)**

Die Bioenergie setzt sich aber nicht nur aus verschiedenen Anwendungsbereichen, sondern auch verschiedene Rohstoffnutzungen zusammen (Holz, Futterpflanzen, perspektivisch Stroh/Gräser, Abfälle). Die Akteure sind unterschiedlich und haben nur wenige Berührungspunkte. Daher lässt sich kaum von einem einheitlichen Innovationssystem in der Bioenergie sprechen. Wo keine Allgemeinaussagen möglich sind, wird die Betrachtung daher auf die Bereiche der Biokraftstoffe neuerer Generation als Beispiel eines Feldes mit hoher Innovationsdynamik sowie auf Biogas und die energetische Holznutzung als Beispiele für mögliche Kaskadennutzungen in Deutschland eingegrenzt.

Die „klassische“ Bioenergie in Form von Brennholz und Biogas hält den höchsten Anteil an den erneuerbaren Energien im Bereich der Wärme- und Stromgewinnung. In der Energiewirtschaft wird global von einem starken Wachstum der Verwendung „moderner Bioenergie“ ausgegangen (REN21 2013). Dazu zählen Holz-Pellets, deren Einsatz besonders in Südamerika und Südasiens stark ansteigen soll. Biogas wird zukünftig verstärkt aus land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen, Gülle und Abfällen gewonnen und erfährt eine steigende Bedeutung für Haushalte in Entwicklungsländern, beispielsweise in Südasiens, China und Kenia. Dies hängt auch mit der Abkehr von traditionellen Holzöfen zusammen, die durch moderne (Solar-, Gas- oder Pelletöfen) ersetzt werden sollen. Biomasseheizkraftwerke, Fernwärmesysteme, Kühlsysteme für öffentliche Gebäude und industrielle Prozesswärme werden als biobasierte Wärmetechnik stärkere Verbreitung finden. In Ländern mit großem Vorkommen an nachwachsenden Rohstoffen wie

Brasilien, China, Nordamerika und einigen afrikanischen Ländern wird die Produktion von Bioenergie (Strom, Kraftstoffe) eher steigen.



**Abbildung 11: Verbrauch von Energie aus Biomasse (Quelle: BMWI 2015)**

In den Industrieländern wird Bioenergie zusehends über Kuppelproduktion und Kaskadennutzungen für nachwachsende Rohstoffe erzeugt werden, wobei zuerst hochwertige Bioprodukte hergestellt werden, vor einer Verwertung der Nebenprodukte und Restmaterialien für Futter, Basischemikalien und die Energieerzeugung.

Der globale Biokraftstoffmarkt (meist Bioethanol) wird hauptsächlich von den USA und Brasilien bestimmt. Beide Länder haben Biokraftstoffziele und fördern seit vielen Jahren die Produktion aus Gründen der Unabhängigkeit von Rohöl-Importen, Förderung der ländlichen Entwicklung und Erreichung von Klimazielen. Bis 2014 waren die Marktprognosen, besonders für Kraftstoffe der 2. Generation, sehr optimistisch (z. B. IEA 2013). Es wurden verstärkt Kraftstoffe der neueren Generation, insbesondere Biokerosin, von Forschungsgruppen unter industrieller Beteiligung entwickelt und politisch gefördert. Durch den starken und unerwarteten Rückgang der Erdgas- und Rohölpreise sind die Biokraftstoffproduzenten unter Kostendruck geraten. In der EU wurden im Zuge der Diskussion um indirekte Landnutzungsänderungen die Beimischungsmengen für Biokraftstoffe der 1. Generation auf 7% gedeckelt. In den USA werden die Quotenziele unter dem amerikanischen Renewable Fuel Standard diskutiert und wahrscheinlich zurückgestuft.

### 1.3.2 Industrielle Akteure

Durch den starken Ausbau der Bioenergie in den vergangenen Jahren hat sich ein signifikanter Wirtschaftszweig mit zahlreichen Akteuren entwickelt. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Beschäftigungseffekte, die im Rahmen einer aktuellen Studie zu den erneuerbaren Energien erhoben wurden (O'Sullivan et al. 2014).

Die Struktur der industriellen Akteure ist in den verschiedenen Anwendungsbereichen der energetischen Nutzung von Biomasse recht unterschiedlich. Bei Biogas zeigt sich eine kleinteilige Akteursstruktur. Die Produzenten sind häufig Landwirte oder Genossenschaften; dazu kommen kleinere Unternehmen, die in den Bereichen Planung, Bau, Wartung oder Service tätig sind. Im Markt für Holz als Festbrennstoffe sind

die Betreiber von Holzkraft- und Holzheizwerken oder private Haushalte als Anwender die entscheidenden Akteure. Bei Biokraftstoffen der 1. Generation sind bisher vor allem große Stärkehersteller (z. B. Südzucker, Nordzucker, ADM) und mittelständische Unternehmen (z. B. Ölmühlen) als Produzenten in Deutschland aktiv.

**Tabelle 6: Beschäftigte in den Bereichen Bioenergie und Biokraftstoffe im Jahr 2013 (Bruttobeschäftigung)**  
(Quelle: O'Sullivan et al. 2014)

	Beschäftigung durch Investitionen (einschließl. Import)	Beschäftigung durch Wartung und Betrieb	Beschäftigung durch Brenn-/Kraftstoff-bereitstellung	Beschäftigung gesamt 2013
Biogas	17.200	11.800	20.200	49.200
Biomasse Kleinanlagen	10.100	3.900	14.600	28.600
Biomasse Heiz- und Kraftwerke	6.000	8.600	8.400	23.000
Biokraftstoffe	–	–	25.600	25.600
Summe Bioenergie und Biokraftstoffe	33.300	24.300	68.800	126.400
<b>Gesamt erneuerbare Energien</b>	<b>230.800</b>	<b>63.500</b>	<b>68.800</b>	<b>363.100</b>
<b>Anteil Bioenergie und Biokraftstoffe</b>	<b>14%</b>	<b>38%</b>	<b>100%</b>	<b>35%</b>

Bei Biokraftstoffen der 2. Generation (Biomethan, Biomass-to-Liquid-Kraftstoffe, Cellulose-Ethanol, Bio-kerosin) wurde die Entwicklung stark von amerikanischen KMUs vorangetrieben. Bei der nun beginnenden Kommerzialisierung dominieren eher Großunternehmen, da sie bei der Produktion Skalenvorteile ausnutzen können, während einige kleinere Akteure die lange Entwicklungsphase bis zur Marktreife finanziell nicht alleine durchstehen konnten. Bis dato sind erste Lignozellulose-basierte Bioethanolanlagen in den USA und in Italien im kommerziellen Betrieb. In Deutschland finden zwar viel beachtete Demonstrationsprojekte statt (z. B. KIT Pilot-/Demonstrationsanlage zu Biomass-to-Liquid, Clariant Demonstrationsanlage zu Bioethanol aus Zellulose), es ist aber fraglich, wie attraktiv der Standort für große Produktionsanlagen ist. Bei Biokraftstoffen ist vor allem die räumlich nahe Verfügbarkeit der Rohstoffe ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor.

In der Vergangenheit wurden unterstützt durch verschiedene Förderprogramme bereits erhebliche Investitionen in den Anlagenneubau getätigt, so dass Deutschland mit 23 % der Produktionskapazitäten für Biogas und Biodiesel in Europa führend ist (FNR 2014a). Bei den Produktionskapazitäten für Bioethanol liegt Deutschland an zweiter Stelle hinter Frankreich (15%), bei Holzpellets sowie Hack- und Stückholz ebenfalls jeweils hinter Schweden an zweiter Position (FNR 2014a).

### 1.3.3 Wissenschaft und Ausbildung

Die technologische Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Akteure lässt sich nicht eindeutig beurteilen. Bei Patentanmeldungen in den Bereichen Biogas, Biodiesel, Bioethanol und Biokraftstoffe der neueren Generationen weist Deutschland einen signifikanten Weltanteil bei Biogas und Bioethanol mit über 15% im Zeitraum 2008 bis 2010 auf, aber in allen Feldern ist der Spezialisierungsgrad geringer als im Durchschnitt anderer Länder (Frietsch et al. 2013).

Bei der Qualifikation der Arbeitskräfte gibt es nach dem Ende des raschen Ausbaus der Biokraftstoff- und Bioenergiekapazitäten wenige Hinweise auf einen Fachkräftemangel. Generell heben Studien zum Qualifikationsbedarf im Bereich der Erneuerbaren Energien oder der Green Economy den Bedarf an Zusatzqualifikationen und einer höheren Interdisziplinarität der Ausbildung hervor; neue formale Qualifikationen werden hingegen nicht als notwendig angesehen.<sup>5</sup>

Die F&E-Förderung ist stabil. So nimmt der Bereich der energetischen Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen bei der Förderung durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) einen Anteil von rund 40% bei einem aktuellen Förderbudget von rund 60 Mio. Euro/Jahr ein (FNR 2014a). Darunter sind einige Projekte zu Biokraftstoffen der neueren Generationen, z. B. hat die FNR in jüngerer Vergangenheit Förderschwerpunkte zu „Biokraftstoff aus Lignozellulose“ und zur „Biotechnologischen Produktion flüssiger Kohlenwasserstoffe zur Nutzung als Biokraftstoff“ ausgerufen..

#### **1.3.4 Nachfrage und Marktbedingungen für die Bioökonomie**

Biokraftstoffe bzw. Bioenergie sind mit Ausnahme einiger Nutzungspfade für Holz mit Energieträgern auf fossiler Rohstoffbasis in der Regel nicht kostenwettbewerbsfähig und weisen kaum spezifische Nutzungseigenschaften auf (FNR 2014a). Deshalb hängt die Nachfrage in erheblichem Maße von der nationalen und europäischen politischen Förderung ab. Hier hat es in den vergangenen Jahren verschiedene Anpassungen und Neuregelungen gegeben. So wurden im EEG 2014 (Gesetz für den Ausbau Erneuerbarer Energien) und für den Biokraftstoffbereich durch die Neuregelungen der Zielvorgaben auf EU-Ebene, der Einführung der Treibhausgasquote anstelle der Biokraftstoffquote im Jahr 2015 und der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung erhebliche Veränderungen vorgenommen. Insgesamt wurden die Anreizmechanismen v. a. für den Neubau von Anlagen zur Nutzung von Rohstoffen, die auch für die Lebensmittelproduktion genutzt werden, reduziert. Diese Weichenstellung geht einher mit der begrenzten gesellschaftlichen Akzeptanz für die energetische Verwendung von Biomasse, insbesondere aufgrund von Flächen- bzw. Nutzungskonkurrenzen mit der Produktion für Lebensmittel und der Befürchtung der „Vermaisung“ von landwirtschaftlichen Flächen.

Während der Zielmarkt für die deutschen Bioenergie-Produzenten zunächst auf den Heimatmarkt konzentriert war, rücken insbesondere bei Biodiesel und Biogas aufgrund der mittlerweile schwächeren Inlandsmarktentwicklung andere europäische Länder in den Fokus. Die Biogas- und Biodiesel-Branchen generierten beispielsweise 2012 rund 40% ihres Umsatzes im Auslandsgeschäft. Die Zielmärkte liegen in Europa (FNR 2014a). Für Bioethanol gibt es keine direkt vergleichbaren Zahlen. Da der inländische Verbrauch fast doppelt so hoch ist wie die Inlandsproduktion, ist Deutschland auf jeden Fall ein Nettoimporteur. Der Biokraftstoff wird v. a. aus Brasilien und den USA bezogen. Hierbei gelten die geringere Rohstoffverfügbarkeit und die höheren Produktionskosten in Deutschland als entscheidender Wettbewerbsnachteil.

---

<sup>5</sup> <http://www.iab.de/de/veranstaltungen/konferenzen-und-workshops-2014/greening-economy/workshopbericht.aspx>

## 1.4. Biotechnologie

### 1.4.1 Bedeutung der Bioökonomie

„Die Biotechnologie wendet Naturwissenschaft und Technologie auf lebende Organismen sowie deren Teile, Produkte oder Modelle an. Daraus entstehen neues Wissen, neue Güter oder Dienstleistungen. Die Genom- (Erbgut) und Proteomforschung (Proteine) sind ein wichtiger Teil der Biotechnologie. Erst der Bauplan von Organismen liefert den Biotechnologen das nötige Wissen und Handwerkszeug für Innovationen in der Medizin und weiten Bereichen der Industrie.“ (BMBF 2008). Die Biotechnologie wird üblicherweise in die drei Bereiche „rot“ (Pharmabiotechnologie), „grün“ (Agrarbiotechnologie) und „weiß“ (industrielle Biotechnologie) eingeteilt. Daneben wurde auch noch eine Einteilung „grau“ für die Umweltbiotechnologie geschaffen, die inzwischen allerdings meist der industriellen Biotechnologie zugerechnet wird. Begrifflich inkonsistent, ist in verschiedenen Kontexten von der „blauen“ Biotechnologie die Rede. Anders als die übrigen Bereiche wird sie nicht nach einer Branchenzugehörigkeit, sondern nach dem Herkunftsort ihrer Rohstoffe oder Forschungsobjekte, dem Meer, benannt.

Die rote Biotechnologie kommt sowohl bei der Entwicklung neuer therapeutischer Ansätze, in der Ernährungsforschung als auch bei der Herstellung von Medikamenten verstärkt zum Einsatz. „Biotechnologisch hergestellte Medikamente und Impfstoffe werden in speziell dafür entwickelten Bioreaktoren produziert. Dort erzeugen Mikroorganismen oder tierische Zellen den gewünschten Wirkstoff. Dies gilt vor allem für proteinbasierte Medikamente wie Antikörper oder Hormone. Solche aktiven Biomoleküle lassen sich in ihrer dreidimensionalen Form nur von lebenden Organismen oder Zellen produzieren. Ein chemischer Nachbau funktioniert nicht. Dass Mikroorganismen und Zellen inzwischen gentechnisch so verändert werden können, dass sie das gewünschte Biomolekül passgenau herstellen, ist ein Verdienst der Gentechnik“. (biotechnologie.de, Basiswissen) In Europa und Deutschland wird die rote Biotechnologie nur zum Teil der Bioökonomie zugerechnet. Während die Veterinärmedizin, die biotechnologische Produktion und pflanzliche Arzneimittel per Definition Teil der Bioökonomie sind, zählt die medizinische Forschung in Deutschland zur Gesundheitswirtschaft. Dies führt zu Abgrenzungsschwierigkeiten. Daher wird in der folgenden Analyse die gesamte Branche der roten Biotechnologie betrachtet.

Die grüne Biotechnologie und die Fortschritte in der Pflanzen-Genomforschung ermöglichen die Präzisionszüchtung von Pflanzen, die für eine effizientere und nachhaltigere Land- und Forstwirtschaft wichtige Innovationen liefern können. Die Züchtung von widerstandsfähigen, standortangepassten und ertragsstarken Sorten gilt als wichtiger Beitrag zur Ernährungssicherung und zur Reduktion von Energie-, Dünger-, Pestizid- und Wasserverbrauch.

Die weiße Biotechnologie ist ein zentrales Element der wissensbasierten Bioökonomie. Nachwachsende Rohstoffe, vor allem Stärke, Zucker, Cellulose, Öle und Fette lassen sich mit Hilfe von Biokatalyse zu Enzymen, Aminosäuren, Vitaminen, Feinchemikalien, Schmier- oder Kunststoffen verarbeiten. „Mikroorganismen bewerkstelligen komplexe Stoffumwandlungen mit hoher Ausbeute bei Zimmertemperatur und Normaldruck, wofür chemische Verfahren hohe Temperaturen und hohen Druck brauchen. An die industrielle Biotechnologie sind deshalb immer auch ökologische Erwartungen geknüpft“ (biotechnologie.de, Basiswissen). Von biobasierten Produktionsprozessen wird erwartet, dass sie nachhaltiger und weniger energieintensiv sind als petrochemische Prozesse. Enzymatische Synthesen sind zudem zielgerichteter, können reinere Stoffe erzeugen und erlauben die Entwicklung von neuen Produkten mit besseren Eigenschaften.

### 1.4.2 Industrielle Akteure

Die Biotechnologie lässt sich als typische Startup-Branche mit einem hohen Anteil an kleinen und jungen Unternehmen beschreiben (siehe Tabelle 7). In Deutschland existieren nur rund 30 Unternehmen mit mehr als 100 Beschäftigten. Fast jede zweite Biotech-Firma ist dagegen ein Kleinunternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitern. Das Durchschnittsalter aller Firmen beträgt 11 Jahre.<sup>6</sup>

Rund die Hälfte der in Deutschland ansässigen dedizierten Biotechnologie-Unternehmen konzentriert sich auf medizinische Anwendungen. Hinsichtlich der Anzahl der Unternehmen in der roten Biotechnologie ist Deutschland mit der Schweiz, Frankreich, Spanien und Großbritannien in Europa führend. Ein Drittel der deutschen Biotech-Firmen versteht sich als Dienstleister, zum Beispiel als Auftragsproduzent für andere Biotech-Unternehmen. Nur wenige Firmen in Deutschland sind auf die industrielle (10%) oder die grüne Biotechnologie (4%) spezialisiert. Auf das Zukunftsfeld „Bioinformatik“ haben sich bisher rund 5% der Firmen konzentriert.

Neben den dedizierten Biotech-Firmen sind auch Unternehmen in der Branche aktiv, deren Geschäft nur zu einem Teil auf biotechnologischen Methoden beruht. Dazu zählen vor allem Konzerne aus der Pharma-, Chemie- und Lebensmittelwirtschaft. Insgesamt lassen sich in Deutschland rund 37.000 Arbeitsplätze der Biotechnologie zuordnen.

Die Biotech-Branche konnte ihren Umsatz in den vergangenen Jahren, und dies trotz der Wirtschaftskrise, kontinuierlich steigern. Im Jahr 2014 wurden erstmals mehr als 3 Mrd. Euro Umsatz erzielt (siehe Tabelle 7). Die wirtschaftliche Bedeutung der Biotechnologie geht jedoch weit darüber hinaus. Insbesondere in der Medizin gehören biopharmazeutische Therapien zu den Umsatzbringern. Im Jahr 2013 entstammten fünf der zehn meistverkauften Therapeutika der Biotechnologie<sup>7</sup>.

**Tabelle 7: Anzahl dedizierter Biotech-Unternehmen in Deutschland, Umsatz und F&E-Aufwendungen**  
(Quelle: biotechnologie.de 2007-2015)

Jahr	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Anzahl Unternehmen	496	501	531	538	552	565	570	579
Umsatz in Mrd. €	2,01	2,19	2,18	2,37	2,62	2,90	2,86	3,03
F&E-Aufwand in Mrd. €	1,05	1,06	1,05	1,02	0,98	0,93	0,90	0,95

### 1.4.3 Markt und Nachfragebedingungen

Die Biotechnologie-Branche ist ein Technologiezulieferer für verschiedene Abnehmerbranchen. Die Integration der roten Biotechnologie in die Pharmaindustrie hat zu einem kompletten Umbruch der traditionellen, vor allem von Konzerninnovationen geprägten Wertschöpfungsketten geführt. Biotechnologie-KMU haben sich heute als Innovatoren etabliert. Sie übernehmen vor allem die frühe Medikamentenentwicklung bis hin zu einem ersten Konzeptbeweis im Menschen. Gewöhnlich erfolgt zu diesem Zeitpunkt eine Auslizenzierung oder ein Unternehmensverkauf an einen Pharmakonzern, der die teure und komplexe Weiterentwicklung sowie die Zulassung und Vermarktung übernimmt. Als Ausgleich erhalten die Biotech-KMU zumeist eine Abschlagszahlung bei Vertragsunterzeichnung sowie gestaffelte Prämien für

<sup>6</sup> Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014) Die Deutsche Biotechnologie-Branche 2015

<sup>7</sup> IMS Health (2014) Top Selling Drugs of 2013

erreichte Entwicklungsschritte zuzüglich zu Umsatzanteilen, sollte das Medikament tatsächlich den Markt erreichen.

Die in der Pharmaindustrie inzwischen etablierte Arbeitsteilung findet sich in der grünen und der weißen Biotechnologie seltener. Ein Großteil der weißen Biotech-Firmen ist auf Kunden im Nahrungs- und Futtermittelsektor spezialisiert. Zudem spielen Kunden aus der Chemieindustrie (inkl. Kosmetikbranche) eine wichtige Rolle. Zwar ist die Entwicklung biotechnologischer Prozesse mit ähnlichen Zeitlinien wie in der Pharmaindustrie (bis zu 10 Jahre) verbunden (E4tech, RE-CORD & WUR 2015). Die aufzuwendenden Kosten und das Ausfallrisiko sind in der Forschungs- und Entwicklungsphase jedoch geringer. Allerdings fallen am Ende des Prozesses hohe Kosten für das Upscaling bzw. die Errichtung neuer Produktionsanlagen an, welche den finanziellen Rahmen kleiner und mittlerer Unternehmen sprengen. Nur selten wird die Entwicklung eines Prozesses oder der Einsatz eines neuen Biokatalysators mit ähnlichen hohen Margen wie in der Pharmaindustrie belohnt.

Kleine und mittlere Unternehmen in der industriellen Biotechnologie setzen zumeist auf ein Umsatzgeschäft. In dessen erster Ausbaustufe werden sie für ihre Entwicklungsarbeit mit Anteilen am Umsatz der von ihnen entwickelten Produkte beteiligt. Dies können sowohl Massen- als auch Feinchemikalien sein. Die erzielbaren Margen und Umsatzanteile sind jedoch gering, so dass Firmen mit einem solchen Geschäftsmodell für Wagniskapitalgeber weniger interessant sind. Ihr Wachstum erzielen sie vor allem organisch oder unter Umständen mit Hilfe von Bankkrediten. In den vergangenen Jahren haben sich allerdings auch Unternehmen mit einem tiefer integrierten Geschäftsmodell entwickelt, das nicht selten neben der Entwicklungsarbeit auch die Produktion einschließt. Dies gilt vor allem für hochwertige Feinchemikalien (Enzyme) oder Lebensmittelzusatzstoffe. Derartig aufgestellte Unternehmen waren in der Vergangenheit auch für Wagniskapitalinvestoren interessant.

#### **1.4.4 Wissenschaft und Ausbildung**

Mit einem Anteil der F&E-Ausgaben am Umsatz von rund 30% gehört die Biotechnologiebranche zu den besonders forschungsintensiven Wirtschaftsbereichen. Dies gilt umso mehr für die zahlreichen kleinen Unternehmen, die nur geringe oder gar keine Umsätze erwirtschaften und ihr Geschäft mit Hilfe von Wagniskapitalinvestoren sichern. Es ist jedoch anzumerken, dass die gesamten Forschungsaufwendungen der Branche nicht proportional zum Umsatz gestiegen sind, sondern seit Jahren stagnieren.

Neben den Biotech-Firmen beschäftigen sich in Deutschland rund 210 Forschungseinrichtungen<sup>8</sup> mit biotechnologischen Fragestellungen. Mit mehr als 30.000 Wissenschaftlern sind in Universitäten, Fachhochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen (insbesondere zahlreiche Einrichtungen der Fraunhofer- und Max-Planck-Gesellschaften sowie der Leibniz- und Helmholtz-Gemeinschaften) und in der staatlichen Ressortforschung beschäftigt. Damit sind in der öffentlichen Forschung nahezu ebenso viele Biotech-Mitarbeiter beschäftigt wie im Privatsektor. Das Gesamtbudget der biotechnologischen Forschung betrug im Jahr 2012 rund 3,7 Mrd. Euro, darunter 1,5 Mrd. Euro an Drittmitteln (biotechnologie.de 2014).

Die industrielle Biotechnologie umfasst diverse Wissenschaftsgebiete. Auf dem Gebiet der mikrobiellen Genomforschung haben sich an den Standorten Bielefeld, Göttingen, Greifswald, Marburg und Braunschweig Zentren etabliert. Bioverfahrenstechnik-Schwerpunkte gibt es in Aachen, Berlin, Hamburg München, Stuttgart, Kaiserslautern und Saarbrücken. In Weihenstephan, Gießen und Hohenheim wird zur Lebensmittelbiotechnologie geforscht (BMBF 2015).

---

<sup>8</sup> Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014) Die Deutsche Biotechnologie-Branche 2014

In Folge des BioRegio-Wettbewerbs des BMBF<sup>9</sup> im Jahr 1996 haben sich in Deutschland geographische Aktivitätsschwerpunkte der Biotechnologie, sogenannte BioRegionen, gebildet, die noch heute Vernetzungs- und Ansiedlungsaktivitäten unterstützen, und mittlerweile in regionaler Initiative oder privat getragen werden. Führend ist hier der Cluster in Martinsried bei München, wo 104 dedizierte Biotechnologie-Unternehmen angesiedelt sind gefolgt von Berlin-Brandenburg (94), Nordrhein-Westfalen (87) und Baden-Württemberg (86)<sup>10</sup>. Die nicht-dedizierten Unternehmen sind vor allem an den großen chemisch-pharmazeutischen Industriestandorten entlang der Rhein-Main-Schiene oder am ehemaligen Höchst-Standort in Frankfurt am Main sowie dem Raum München zu finden. Weitere thematische Cluster werden und wurden vor allem von Fördermaßnahmen definiert. Darunter fallen etwa die Aktivitäten in der industriellen Biotechnologie (BioIndustrie 2021) oder der Förderung von Spitzenclustern in Heidelberg, München, Mainz oder Leuna. Auf europäischer Ebene wird die Etablierung thematisch fokussierter Forschungsverbünde (ERA-NET) gefördert und durch nationale Förderorganisationen unterstützt.

#### **1.4.5 Rahmenbedingungen**

Für Biotechnologie-Unternehmen in Deutschland sind übergreifende Regelungen in den Bereichen Kapital/Wagniskapital, Patentierung, Urheberrechte und Datenschutz relevant. In diesen Bereichen sind seit längerem internationale Abkommen und Regelungen von hoher Bedeutung, wie beispielsweise die Harmonisierung des Patentschutzes oder das Nagoya-Protokoll, welches den Zugang und den Vorteilsausgleich bezüglich der Nutzung genetischer Biodiversität regeln soll.

Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung im Januar 2014 wurden verbesserte Rahmenbedingungen für Kapitalinvestoren versprochen. Dies entspricht auch einer Forderung der verschiedenen Branchenverbände der Biotechnologie<sup>11</sup>. Die diskutierten Maßnahmen umfassen steuerliche Vorteile für Investitionen in junge, innovative Unternehmen, das Einbüßen von Verlustvorträgen beim Verkauf von (Beteiligungs-) Unternehmen sowie vorzuhaltende Sicherheiten für Investitionen.

Darüber hinaus ist die rote Biotechnologie vor allem von Fragen der Medikamentenzulassung und ihrer Erstattung betroffen. Entscheidend sind hier nicht nur deutsche oder europäische Gesetze, sondern auch Regelungen in anderen Zielmärkten wie den USA. Daneben spielen die internationalen Verordnungen für die Durchführung von klinischen Studien oder die Herstellungsvoraussetzungen für Medikamente eine entscheidende Rolle.

Die weiße Biotechnologie sieht sich mit komplexen Regulierungen konfrontiert wie sie etwa im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), der Biotreibstoffverordnung, der Verordnung zur Bewertung und Zulassung chemischer Stoffe (REACH) oder den Lebensmittelverordnungen bestehen. Im Wettbewerb mit petrochemischen Anwendungen ist die Branche auch von politischen Entwicklungen abhängig, welche die Höhe des Preises für fossile Rohstoffe wie Gas, Kohle oder Öl betreffen. In diesem Sinne wird regelmäßig eine Belebung des Handels mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten gefordert.

Besonders betroffen von politischen Rahmenbedingungen ist die grüne Biotechnologie, die sich aufgrund unvorteilhafter Regelungen im Bereich der Gentechnik fast komplett aus Deutschland zurückgezogen hat. Dazu haben nationale Anbauverordnungen, -register und -verbote genauso beigetragen wie unklare Zulassungsverfahren auf europäischer Ebene. Die Agrarbiotechnologie hat – trotz einzelner Widerstände

---

9 Bundesministerium für Bildung und Forschung (2003) Starke Impulse für die nationale Technologieentwicklung

10 Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014) Die Deutsche Biotechnologie-Branche 2014

11 Leitthema war lange die steuerliche Forschungsförderung, wie sie in zahlreichen G7-Staaten verwirklicht ist, und auch in Deutschland von Konzernen bis hin zu KMU gefordert wird. Diese Forderung wurde in der aktuellen 18. Legislaturperiode allerdings nicht mehr im Koalitionsvertrag berücksichtigt (CDU Deutschland (2013) Koalitionsvertrag: Deutschlands Zukunft gestalten)

etwa aus dem Bundesforschungsministerium – in Deutschland sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene stark an Rückhalt verloren.

#### **1.4.6 Finanzierung**

In den vergangenen zehn Jahren schwankten die Summen, die über Wagniskapital, Börsengänge oder Folgefinanzierungen von Biotechnologie-Unternehmen eingeworben werden konnten zwischen einem Maximum von 656 Mio. Euro (2010) und einem Minimum von 142 Mio. Euro (2011). Traditionell sind Unternehmen der medizinischen Biotechnologie besonders auf Wagniskapital angewiesen, um die erheblichen Forschungsaktivitäten zu finanzieren, die den Investoren im Rahmen einer Auslizenzierung oder eines Unternehmensverkaufs einen guten Return on Investment bescheren.

2014 flossen über den Verkauf von Unternehmensanteilen rund 400 Mio. Euro Eigenkapital in die Branche. Der Löwenanteil ging an Unternehmen in der medizinischen Biotechnologie. An Kapital über die Börse zu gelangen, war in den vergangenen zehn Jahren nur den bereits gelisteten Unternehmen möglich. Börsengänge im Prime Standard hat es seit dem Jahr 2006 nicht mehr gegeben.<sup>12</sup> Für deutsche Unternehmen werden daher zunehmend Börsengänge in anderen Ländern interessant. Ziele sind unter anderem die Nasdaq (USA) oder die verschiedenen Euronext-Handelsplätze.

In einer vergleichenden Analyse von zehn europäischen Ländern (EY 2014) konnte die rote Biotech-Branche in Deutschland jedoch am wenigsten Risikokapital pro Unternehmen einwerben. Es ist zu beobachten, dass in den vergangenen Jahren weniger Unternehmen mit zunehmend größeren Summen bedacht wurden, so dass sich die Zahl der Unternehmen mit einer stabilen Eigenkapitalversorgung verringerte. Dies hat vermehrt dazu geführt, dass Forschungsprojekte depriorisiert oder sogar ganze Forschungsabteilungen zugunsten eines stabilen Umsatzgeschäftes aufgegeben werden mussten. Es zeigt sich eine Verlagerung der Unternehmenstätigkeiten von der Therapeutikaentwicklung auf die Entwicklung von Technologieplattformen. Damit dürfte der vergleichsweise schlechte Zugang zu Wagniskapital, die Innovationsfähigkeit in der roten Biotechnologie negativ beeinflussen.

Ein weiterer wichtiger Faktor der Unternehmensfinanzierung in Deutschland ist die Projektförderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. In den vergangenen Jahren lagen die Zuwendungen stabil zwischen 40 und 50 Mio. Euro pro Jahr.

---

<sup>12</sup> BIOCUM AG (2015) Comparative Analysis of European Biotech Stock Markets

## **1.5. Anlagenbau**

### **1.5.1 Bedeutung der Bioökonomie**

Bislang wurde dem Anlagenbau in der Bioökonomie – möglicherweise bedingt durch den noch vergleichsweise niedrigen Kommerzialisierungsgrad innovativer biobasierter Produkte – eher geringe Aufmerksamkeit geschenkt. Dabei handelt es sich um eine bedeutende Akteursgruppe im Innovationssystem der Bioökonomie. Die Innovationssystemanalyse fokussiert sich im Folgenden auf den Anlagenbau im Chemiebereich, da es hier sowohl durch den vermehrten Aufbau von Pilot-, Demonstrations- und kommerziellen Anlagen für biobasierte Produkte eine hohe Dynamik gibt, als auch die Akteurslandschaft abgrenzbar ist. Aufgrund der zu erwartenden zunehmenden Kommerzialisierung biobasierter Produkte, insbesondere im Bereich der stofflichen Biomassenutzung, stellen entsprechende Produktionsanlagen ein relevantes Wachstumssegment für den Anlagenbau dar. Zum Marktanteil der Anlagen, die biobasierte Rohstoffe verarbeiten, gibt es keine Schätzungen. Aufgrund von Unternehmensverlautbarungen zu strategischen Investitionen in diesem Bereich lässt sich die Größenordnung des Jahresumsatzes für Großanlagen zur Verarbeitung von biobasierten Rohstoffen auf einen niedrigen zweistelligen Millionenbereich schätzen.

### **1.5.2 Industrielle Akteure**

Der gesamte Großanlagenbau erreichte im Jahr 2013 einen Umsatz von rund 22 Mrd. Euro und zählte etwa 58.000 Beschäftigte. Zum Chemieanlagenbau gibt es keine Strukturdaten in der wünschenswerten Differenziertheit. Es ist lediglich bekannt, dass rund 7,5% der Auftragseingänge im Großanlagenbau auf die Chemieindustrie entfallen (2013).

In der Regel sind es etablierte Unternehmen aus dem klassischen Chemieanlagenbau, welche die Bioökonomie als ein Marktsegment bearbeiten. Eine Konzentration auf ausgewählte Fachbereiche ist in dieser Branche üblich. In der Bioökonomie sind sowohl deutsche Großunternehmen (z. B. Linde, Thyssen-Krupp, Uhde, Lurgi) als auch kleine Dienstleister aktiv. Die Unternehmen unterscheiden sich hinsichtlich des Leistungsspektrums. Die kleinen Unternehmen sind vor allem in der Anlagenkonzeption tätig. Die Großunternehmen bieten neben dem eigentlichen Bau von Großanlagen auch Technologie- und Prozessentwicklung.

Der globale Wettbewerb gestaltet sich im Bioökonomiebereich sehr ähnlich wie in der Chemieindustrie insgesamt. Deutsche Akteure sind im internationalen Markt gut positioniert, aber sie stehen in einem intensiven Wettbewerb mit Akteuren aus allen Weltregionen (Nordamerika, Südamerika, Asien, Europa). Während spezifisches Know-how und neue Technologien die Stärken Deutschlands sind, gestaltet sich die preisliche Wettbewerbsfähigkeit vor allem zu asiatischen Konkurrenten als sehr schwierig.

### **1.5.3 Wissenschaft und Ausbildung**

Die Innovationen des Anlagenbaus tragen erheblich zur Steigerung der Produktivität und zur Markteinführung neuer Produkte in den Abnehmerindustrien bei. Auch in der Bioökonomie sind leistungsfähige Anlagen, Maschinen, Verfahrens- und Prozesstechniken zentral um eine nachhaltige und wirtschaftlich effiziente Produktion zu realisieren. Die Kernkompetenz des Anlagenbaus liegt v. a. in der Übertragung des Wissens zu Chemie-Produktionsanlagen-/prozessen auf die spezifischen Anforderungen der Bioökonomie. Insbesondere Kenntnisse hinsichtlich der Aufbereitung von Biomasse zu fermentierbaren Substraten, der Fermentation bzw. enzymatischen Umsetzung, der Produktaufarbeitung sowie der Integration

verschiedener Prozesse und Prozessschritte, beispielsweise in Bioraffinerien, sind notwendig, um biobasierte Anlagen und Prozesse zu entwickeln. Eine Stärke Deutschlands liegt auch in dieser Branche im qualifizierten Personal. Zukünftig wird jedoch aufgrund des allgemein prognostizierten Ingenieurmangels ein Engpass befürchtet. Nach Expertenaussagen betrifft dieser mögliche Mangel die Verfahrenstechnik allgemein und nicht im Besonderen spezifische Qualifikationen, wie z. B. die Bioverfahrenstechnik.

F&E-Förderungen sind für den Anlagenbau von hoher Relevanz, wenn potenzielle Kunden beim Aufbau von Pilot- oder Demonstrationsanlagen unterstützt werden sollen.<sup>13</sup> Die Anlagenbauer können auf diesem Weg nicht nur den Aufbau von wertvollem Know-how finanzieren, sondern über die Förderung auch Kunden an den Standort Deutschland binden.

#### **1.5.4 Nachfrage und Rahmenbedingungen für die Bioökonomie**

Der Markt für biobasierte Anlagen ist erst im Entstehen begriffen. In der Regel ist der Bau von „First-of-its-kind“-Anlagen nötig, um potenzielle Kunden von der Machbarkeit zu überzeugen. Dies bedeutet, dass die Anlagenbauer in finanzielle Vorleistung gehen, und dies bei der zusätzlichen Unsicherheit, dass spezifische Kompetenzen intern ebenfalls erst aufgebaut werden müssen. Weitere Risiken ergeben sich bei der Rohstoffversorgung. So müssen für eine positive Entscheidung über die Finanzierung und den Bau einer Anlage die Konditionen zur Rohstoffversorgung beim Kunden über den Abschreibungszeitraum (ca. 7 bis 10 Jahre) sichergestellt sein. Problematisch sind bei nachwachsenden Rohstoffen in diesem Zusammenhang die hohen Preisschwankungen. Viele Unternehmen, die potenziell nachwachsende Rohstoffe für (einige) ihrer Produkte einzusetzen planen, gehen mit dem Wechsel der Rohstoffbasis eine langfristig bindende Entscheidung mit vielen Unabwägbarkeiten ein (u. a. technologische Zuverlässigkeit der neuen Verfahren, Zahlungsbereitschaft und Akzeptanz auf der Marktseite, Kostenwettbewerbsfähigkeit etc.). Die hohe Preisvolatilität für Biomasse erschwert die Planbarkeit zusätzlich.

Auf der Nachfrageseite sind der Binnenmarkt bzw. nah gelegene europäische Länder die wichtigsten Zielmärkte der deutschen Anlagenbauer. Zwar sind die Unternehmen global aktiv, aber ihr Wissen über rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen konzentriert sich vor allem auf Deutschland bzw. Europa. Der fehlende Aufbau kommerzieller Großanlagen für biobasierte chemische Produkte in Deutschland ist daher ein nicht zu unterschätzendes Innovationshemmnis für die deutschen Anlagenbauer. Auch bei den politischen Regulierungen sehen die Akteure v. a. solche Maßnahmen als relevant an, welche die Nachfrage nach biobasierten Produkten beeinflussen und nicht direkt den Anlagenbau selbst betreffen.

#### **1.5.5 Finanzierung**

Anlagenbauer gehen in der Bioökonomie ein höheres wirtschaftliches und technisches Risiko ein als im konventionellen Chemie- bzw. Biotechnologieanlagenbau. Damit zusammenhängend berichten Anlagenbauer bei den Finanzierungsbedingungen von besonderen Anforderungen in der Bioökonomie. Aufgrund der wahrgenommenen Risiken benötigen insbesondere KMU-Kunden für die Finanzierung oft eine Bürgschaft des Anlagenbauers. Dies ist im klassischen Chemieanlagen-geschäft nicht der Fall.

---

<sup>13</sup> Bei eigenen Pilotanlagen der Anlagenbauer zur Demonstration der Machbarkeit greifen die Fördermechanismen in der Regel nicht, da die häufig erwartete Absichtserklärung zum Aufbau kommerzieller Produktionsanlagen im Inland vom Anlagenbauer in diesem Fall ja nicht erfolgen kann. Diese Pilotaktivitäten fallen demnach durch das gängige Förderraster.

## 1.6. Automobilindustrie

### 1.6.1 Bedeutung der Bioökonomie

Die Automobilindustrie muss mit sehr dynamischen Veränderungen der Kundenerwartungen, Technologien und gesellschaftlichen Anforderungen umgehen. Verschiedene Megatrends, wie Globalisierung, Urbanisierung, Individualisierung, Nachhaltigkeit, Konnektivität und demographischer Wandel wirken sich stark auf das Mobilitätsverhalten und die Produkterwartungen der Menschen aus. Die Innovationsschwerpunkte der Automobilindustrie liegen in diesem Zusammenhang vor allem in den Bereichen der Effizienzsteigerung von Kfz, der Entwicklung alternativer Antriebe, der Ausstattung mit informationstechnischen Assistenz- und Kommunikationssystemen (Bormann et al., 2014) sowie in der Entwicklung von neuen Mobilitätslösungen (Hermann und Kuntzky 2013). In diesen Feldern etablieren sich auch zunehmend neue biobasierte Anwendungen und Anbieter in den Lieferketten der Automobilindustrie (siehe Tabelle 8).

**Tabelle 8: Mengen und Märkte biobasierter Produktgruppen in der deutschen Automobilindustrie 2011** (Quelle: Eigene Zusammenstellung von Informationen aus FNR 2014a)

Biobasierte Produktgruppe	Mengen 2011	Marktgröße in DE 2011 (€)	Anmerkung
Biobasierte Kunststoffe	12.000 t	84 Mio. €	79.000 t in allen Sektoren in DE
Naturfaserverstärkte Kunststoffe	40.000 t	70 Mio. €	67.000 t in allen Sektoren in DE
Bioschmierstoffe	k.A.	k.A.	40.000 t in allen Sektoren in DE
Biobasierte Lacke	k.A.	k.A.	140.000 t konventionelle Lacke im Automobilbau (Autoserienlacke 115.000 t; Autoreparaturlacke 25.000 t)
Naturkautschuk für Reifen	270.000 t	k.A.	
Biokraftstoffe, davon	3,7 Mio. t	k.A.	energetischer Anteil der Biokraftstoffe am Gesamtkraftstoffverbrauch 5,9%
Biodiesel	2,4 Mio. t		
Pflanzenöl	20.000 t		
Bioethanol	1,24 Mio. t		

Der amerikanische Ford-Konzern engagiert sich beispielsweise seit langem im Bereich nachwachsender Rohstoffe. Heute bestehen über 300 Bauteile in Ford-Fahrzeugen aus biobasierten und naturfaserverstärkten Kunststoffen, darunter Sitzschäume aus Sojaöl und Türverkleidungen mit Kenaf- und Flachsfaserverstärkung (FNR Pressemeldung 2015).

### 1.6.2 Industrielle Akteure

In Deutschland sind mit BMW, Daimler und Volkswagen drei der zehn weltweit umsatzstärksten Automobilhersteller beheimatet. Die deutschen Automobilbauer haben insbesondere die Technologie- und Marktführerschaft bei den Premiumfahrzeugen<sup>14</sup>. Die entsprechenden Marktanteile liegen zwischen 80 und 100%. Über zwei Drittel der Fahrzeuge des Premiumsegments werden in Deutschland gefertigt; dies sichert rd. 60% der Beschäftigung in der heimischen Automobilindustrie.

Die Automobilindustrie basiert auf global optimierten Lieferketten und komplexen Zuliefernetzwerken, die auch in die Entwicklung neuer Autos eingebunden sind. Kompetente regionale Cluster gelten als beson-

<sup>14</sup> Premiumfahrzeuge kombinieren die neueste Technologie mit hochwertigen Ausstattungen.

dere Stärke des Standortes Deutschland. In geographischer Nähe zu Produktionsstandorten sind Forschung und Entwicklung sowie Zulieferer angesiedelt und mit den Herstellern eng vernetzt. In Hinblick auf Systeminnovationen bedeutet diese feste Struktur jedoch auch Nachteile. Bei den Automobilherstellern gibt es (noch) keine strategische Bündelung von biobasierten Aktivitäten. Das Know-how und die Entscheidungen über den Einsatz biobasierter Produkte sind damit über viele Organisationseinheiten verteilt (Hill et al. 2012). Für Quereinsteiger und neue Anbieter ist der Zugang zu den etablierten und arbeitsteiligen Lieferketten sehr schwierig (Frahm 2013). Ein weiterer kritischer Punkt ist, dass die deutschen Zulieferer aufgrund der Anbindung an die deutsche Produktion auf die europäischen Premium-Märkte konzentriert sind und damit eventuell zu wenig im Wettbewerb mit globalen Innovationen bezüglich Effizienz und Umweltfreundlichkeit stehen (Bormann et al. 2014).

### **1.6.3 Wissenschaft und Ausbildung**

Mit Gesamtausgaben für Forschung und Entwicklung in Höhe von rund 24 Mrd. Euro (6,7% des Umsatzes) investiert die deutsche Automobilindustrie mehr als doppelt so viel in Innovationen wie die Chemie- und Pharmaindustrie zusammen. Hohe Ausbildungsstandards sowie etablierte Forschungs- und Entwicklungscluster, die neben universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen auch die Zulieferer umfassen, gelten als wichtige Wettbewerbsfaktoren der deutschen Automobilindustrie. Bislang und auch künftig wird ein hoher Anteil der globalen F&E-Wertschöpfung in Europa erzielt (36%). Allerdings wird derzeit auch die Entwicklung an Produktionsstandorte, insbesondere in China, verlagert. Der Umfang dieser Verlagerungen ist noch gering, umfasst jedoch durchaus anspruchsvolle Aufgaben (Bormann et al. 2014).

Biobasierte Entwicklungen werden verfolgt, wenn sie zu den Innovationsschwerpunkten der Industrie passen (siehe Tabelle 9). Biobasierte Materialien werden derzeit hauptsächlich aufgrund ihrer vorteilhaften technischen Eigenschaften (geringes Gewicht, gute Formbarkeit, passive Sicherheit etc.) für Entwicklungen im Bereich der Effizienzsteigerung von Kfz eingesetzt. Ein weiterer Anwendungsbereich findet sich in der umweltfreundlicheren Produktion, wie beispielsweise der Verwendung von biobasierten Schmierstoffen und Lacken. Bei der Innenausstattung von Premium-Automobilen mit „grünem Image“ werden umweltfreundliche Materialien verwendet, wie etwa biologisch (und nicht mit Chrom III) gebleichtes Leder, oder biobasierte Kunststoffe (Focus 2013). Auch die Entwicklung nachhaltiger biologischer Kraftstoffe wird von der deutschen Automobilindustrie als wichtig erachtet (VDA 2013, 2014; Shell Deutschland und Prognos AG 2014). Diese Kraftstoffe fügen sich problemlos in die existierende Infrastruktur (Tankstellen) und Fahrzeugtechnik (Verbrennungsmotoren) ein, ihre ökologische und soziale Vorteilhaftigkeit ist jedoch in Europa nicht unumstritten.

Die Bionik verwendet biologisches Wissen für die Entwicklung von technischen Lösungen. Sie wird derzeit sowohl bei der Entwicklung von Fahrerassistenz- und Kommunikationssystemen (bionische Algorithmen) als auch bei der Effizienzsteigerung von Kfz in der Automobilindustrie berücksichtigt (Design, Funktion) (Bayern Innovativ 2014). Mikrobielle Brennstoffzellen werden als eine Option für alternative Antriebe diskutiert. Angesichts des aktuellen Stands von Wissenschaft und Technik ist es jedoch eher unwahrscheinlich, dass diese in näherer Zukunft konkurrenzfähig im Vergleich zu den anderen, weiterentwickelten Brennstoffzellen-Optionen werden.

**Tabelle 9: Zuordnung von biobasierten Produktgruppen zu Innovationsschwerpunkten der Automobilindustrie**

biobasierte Produktgruppe	Innovationsschwerpunkt					
	Reduktion fossiler Rohstoffe wg. Klimaschutz und Rohstoffpreisen	Effizienzsteigerung Kfz	Alternative Antriebe	Assistenz- und Kommunikationssysteme	Effizienz der Produktion	Mobilitätsdienstleistungen
biobasierte Kunst- und Werkstoffe	+	+				
Bioschmierstoffe	+	+				
biobasierte Lacke	+				+	
Kautschuk	+	+				
biobasierte Prozesschemikalien	+				+	
Biokraftstoffe	+	+	(+)			
mikrobielle Brennstoffzellen; chem. Energieträger für Brennstoffzellen			(+)			

Für die Automobilindustrie am Standort Deutschland gilt allgemein, dass die erforderlichen Fach- und Führungskräfte für die Automobilindustrie durch das etablierte Schul-, Studien- und Ausbildungssystem bereitgestellt werden. Allerdings gibt es in der deutschen Automobilindustrie einen Wandel in der Qualifikationsstruktur, der durch die Auslandsverlagerung der Produktion und die Fokussierung auf Innovationen und Premiumfahrzeuge am Standort Deutschland bedingt ist. Zudem ist die deutsche Automobilindustrie ebenfalls vom demografischen Wandel in ihrer Belegschaft betroffen, so dass die Herausforderung darin besteht, das Qualifikationsniveau zu halten, ältere Arbeitnehmer/innen kontinuierlich zu qualifizieren und länger in den Betrieben zu halten (Bormann et al. 2014).

#### 1.6.4 Nachfrage und Marktbedingungen für die Bioökonomie

Auf den europäischen Märkten stagniert die Nachfrage nach Kraftfahrzeugen bzw. ist sogar rückläufig. Gründe hierfür liegen in der Wirtschaftskrise, einer gewissen Sättigung des Marktes, einem veränderten Mobilitätsverhalten sowie einem geringer werdenden Stellenwert des Automobils als Statussymbol (Prognos und Shell Deutschland, 2014). Im Hinblick auf die rasante Einkommensentwicklung in den Schwellenländern wird global von einem stabilen Wachstum im Premiumsegment, dem Kernstück des deutschen Innovationssystems, ausgegangen (Bormann et al. 2014; Abschnitt 1).

In der öffentlichen Diskussion wird neben dem Kraftstoffverbrauch eines KFZ, auch dem Umwelt- und Gesundheitsschutz eine steigende Bedeutung beigemessen. Gerade im für Deutschland so wichtigen Premiumsegment scheinen jedoch ökologische Überlegungen sehr nachrangig. Laut Käufer- und Kundenbefragungen (Frost & Sullivan 2011, Latieule 2014) rangiert die Umweltfreundlichkeit des Autos bei den Kaufkriterien auf den hinteren Plätzen (siehe Tabelle 10). Seit Jahren steigt der weltweite Absatz von schweren SUV und Geländewagen, die mindestens 25% mehr Energie als vergleichbare Limousinen verbrauchen. In Deutschland liegt der Marktanteil von SUV inzwischen bei rund 15% und der Absatz soll sich bis 2020 nochmals verdoppeln (Priemer und Schulte 2014). Die Unterschiede im Materialverbrauch und in den Lebenszykluskosten sind nicht bekannt und werden öffentlich kaum diskutiert (Focus 2013).

**Tabelle 10: Rangfolge der Kriterien für die Kaufentscheidung eines Kraftfahrzeugs aus Kundensicht 2010**  
(Quelle: Frost & Sullivan 2011)

Rangplatz	Kaufkriterium
1	Kaufpreis
2	Zuverlässigkeit im Langzeitgebrauch
3	Sicherheit
4	Betriebskosten
5	Komfort und Bequemlichkeit
6	Ästhetik
7	Fahreigenschaften
8	Umweltfreundlichkeit
9	Sonderausstattung

In Tabelle 11 ist aufgeführt, welche Vor- und Nachteile Autokäufer mit biobasierten Materialien verbinden. Es zeigt sich, dass biobasierte Produktgruppen ein positives Umweltimage haben, jedoch tendenziell als weniger leistungsfähig eingeschätzt werden. Letztendlich reicht dies nicht aus, um die Kaufentscheidung wesentlich zu beeinflussen. Ein deutlicher Nachfrage-Effekt oder „Market-pull“ für biobasierte Produkte ist daher in der Automobilindustrie unwahrscheinlich (Frost & Sullivan 2011).

**Tabelle 11: Vor- und Nachteile biobasierter Produktgruppen in der Wahrnehmung von Autokäufern, 2010**  
(Quelle: Frost & Sullivan 2011, Chart 4.10)

biobasierte Produktgruppe	Kundenwahrnehmung	
	Vorteil	Nachteil
Naturfasern	werden als umweltfreundlicher als Glasfasern oder Carbonfasern wahrgenommen	werden in Bezug auf die wichtigeren Kriterien Sicherheit, Zuverlässigkeit und Ästhetik schlechter bewertet als Glas- oder Carbonfasern
Bioplastik	weitgehend zutreffendes Verständnis, was Bioplastik ist wird in allen Dimensionen positiver als fossiles Plastik bewertet	die Eigenschaften Wiederverwertbarkeit und Bioabbaubarkeit werden gegenüber „biobasiert“ bevorzugt
Bioschmierstoffe	werden als umweltfreundlicher als (konventionelle) Mineral- oder synthetische Schmierstoffe eingeschätzt	Fahreigenschaften werden leicht negativ eingeschätzt; insgesamt überwiegt aber positive Einschätzung der Umweltfreundlichkeit

### 1.6.5 Rahmenbedingungen

Regulatorische Anforderungen können einerseits die Anwendung biobasierter Lösungen positiv beeinflussen, beispielsweise in den Bereichen Energieeffizienz, Material-Umweltverträglichkeit und Wiederverwertbarkeit. Andererseits verlangen die hohen Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen eine etablierte Testinfrastruktur. Der Einsatz neuer biobasierter Materialien erfordert einen erheblichen Zusatzaufwand bei der Neuentwicklung von gesetzes- und kundenkonformen Standards und Testprozeduren. Ein Beispiel sind Crash-Simulationen (FNR-Pressemitteilung 2015).

Aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen konzentrieren sich die Umweltinnovationen der Automobilindustrie derzeit stark auf die Reduktion des Schadstoff-Ausstoßes.<sup>15</sup> Obwohl für diese Verbesserungen

<sup>15</sup> In Deutschland müssen der Energieverbrauch und der Schadstoffausstoß für den Kfz-Betrieb veröffentlicht werden (PKW-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (PKW-EnVKV, „CO<sub>2</sub>-Label“) und es gibt Grenzwerte für den Partikelaußstoß. Die KFZ-Steuer orientiert sich ebenfalls an ökologischen Kriterien, insbesondere der Abgasreinigungstechnik und des Kraftstoffverbrauchs. Europäische Umweltauflagen und -gesetze verpflichten die Industrie, den Schadstoffausstoß zu reduzieren und effizientere Kfz zu entwickeln (z. B. Euro-6-Abgasnorm ab 2015) sowie Altfahrzeuge

hohe F&E-Aufwendungen getätigt werden<sup>16</sup>, spielt die Entwicklung wirklich umweltfreundlicher Autos eine untergeordnete Rolle. 2015 waren beispielsweise weniger als 7 % aller Neuvorstellungen auf dem Genfer Autosalon dem energieeffizienten Segment mit einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß unter 95 Gramm pro 100 Kilometer zuzuordnen<sup>17</sup>. Bisher gibt es keine rechtlichen Regelungen, die den Umweltfußabdruck eines Neuwagens berücksichtigen. Deshalb ergeben sich weder für die Kunden noch für die Industrie ökonomische Vorteile durch die Wahl biobasierter Alternativen.

Hinsichtlich der Rahmenbedingungen nehmen Biokraftstoffe als politisch geschaffene Märkte eine besondere Rolle ein. Auf EU- und auf nationaler Ebene werden zahlreiche Rahmenbedingungen und Fördermaßnahmen für Biokraftstoffe entschieden. Bei den biobasierten Kunst- und Werkstoffen, die im Automobilbau zum Einsatz kommen (können), zeichnet sich ab, dass sich die Abgrenzung zwischen naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffen, biobasierten Kunststoffen und petrochemischen Kunststoffen/faserverstärkten Verbundwerkstoffen zunehmend verwischen und „Misch-Werkstoffe“ verwendet werden. Angesichts dieser Entwicklung kommt den Standardisierungsarbeiten im Technischen Komitee CEN/TC411 in der Arbeitsgruppe 3, die sich mit der Bestimmung des biobasierten Gehalts von Produkten befasst, auch für die Automobilindustrie große Bedeutung zu.

### **1.6.6 Finanzierung**

Die Innovationsaktivitäten der großen Automobilhersteller sind vor allem auf unternehmensinterne Finanzierung angewiesen. Die Zulieferindustrie wird stark von mittelständischen Unternehmen geprägt. Hier ist anzunehmen, dass die allgemein für KMU geltenden Schwierigkeiten der Innovationsfinanzierung zutreffen. In der Literatur wird der Automobilsektor im Kontext der Verwendung biobasierter Kunst- und Werkstoffe als kapitalintensiv und risikoreich beschrieben, mit der Konsequenz, dass die Anwendung neuartiger Kunst- und Werkstoffe nur in kleinem Maßstab und in nicht-kritischen Anwendungen erfolge, bis Kostenwettbewerbsfähigkeit und technische Performanz erwiesen sei (Hill et al. 2012, S. 19).

---

umweltfreundlich zu entsorgen (Richtlinie 2000/53/EG). Ab 2020 wird für alle Neuwagen in der EU ein durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 95 Gramm vorgeschrieben.

16 Die Reduktion des durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes der Flotte um 1 Gramm erfordert beispielsweise Entwicklungskosten von rund 100 Mio. Euro (FAZ-Interview, Winterkorn)

17 siehe Liste der Weltpremierer des Genfer Autosalons unter <http://www.gims.swiss/en/premieres/world-premieres/>

## 1.7. Baugewerbe

### 1.7.1 Bedeutung der Bioökonomie

Die Bauindustrie ist einer der größten Verbraucher von Ressourcen und trägt einen hohen Anteil zu den Treibhausgasemissionen bei. Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in biobasierten Produkten sowie die Verwendung von energie- und ressourceneffizienten Verfahren könnten somit einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit des Baugewerbes leisten. Biobasierte Produkte finden sich hauptsächlich in den Marktsegmenten Baumaterialien, Bauchemikalien, Dämmstoffe sowie Farben und Anstrichmittel (Frost & Sullivan 2012; FNR 2014a): Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die Produktionsvolumina bzw. Produktionswerte in diesen Gruppen.

**Tabelle 12: Übersicht über Märkte für bioökonomierelevante Produktgruppen in der Wertschöpfungskette Bau**  
(Quelle: eigene Darstellung aus FNR 2014b)

Produktgruppe	Produzierte Menge 2011	Produzierter Wert 2011 (Mrd. €)	Bemerkungen
Baumaterialien, biobasiert		14,549	
Holz, Holzwerkstoffe		14,409	
biobasierte Kunststoffe	38.400 t	0,140	entspricht 2,5% des Baumaterials aus Kunststoff (2011: 5,6 Mrd. €)
Bauchemikalien	> 90.000 t		darin auch: Betonverflüssiger aus Stärke bzw. Pflanzenölen
baurelevante Klebstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe	19.250 bis 30.900 t	0,035 bis 0,056	
baurelevante Farben und Lacke, biobasiert	94.700 t		Schätzung; Annahme, dass 10% der baurelevanten Farben und Lacke biobasiert sind
Dämmstoffe aus NaWaRo	2 Mio. m <sup>3</sup>		Entspricht 7,2% des Produktionsvolumens aller Dämmstoffe (2011: 28,4 Mio. m <sup>3</sup> )

Neben klassischen biobasierten Baumaterialien wie Holz und Stroh werden auch innovative Materialien eingesetzt, beispielsweise:

- Betonverflüssiger auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Pflanzenöle bzw. Stärke)
- thermoplastische Werkstoffe auf Holzbasis („flüssiges Holz“)
- Universaldübel aus Bioplastik
- verschiedene Spezialchemikalien für den Baubereich mit biobasierten Anteilen

Zu den neuen bioökonomischen Entwicklungen, die in Deutschland aber noch keine Marktrelevanz haben, zählen biobasierte Bindemittel für die Herstellung von Holzwerkstoffen, „Selbstheilender Beton“ als mikroorganismen-vermittelte Calciumcarbonatbildung, die Mikrorisse verschließen kann, „vertikale Gärten“ und „urban farming“ sowie Fassaden aus Algen-Fotobioreaktoren zur Energieerzeugung und Licht- bzw. Temperaturregulation.

### 1.7.2 Industrielle Akteure

Im Baugewerbe (= Hochbau, Tiefbau, Ausbaugewerbe, Bauträger) waren im Jahr 2014 1,93 Mio. Erwerbstätige beschäftigt. Im Jahr 2015 beliefen sich das Bauvolumen auf insgesamt 335,5 Mrd. Euro, die Bauinvestitionen auf rund 298 Mrd. Euro und die Bruttowertschöpfung des Baugewerbes auf 128 Mrd. Euro<sup>18</sup> (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2016).

Um die gesamtgesellschaftliche Bedeutung und das spezifische Innovationsgeschehen entlang der Wertschöpfungskette angemessen zu erfassen, ist aber eine – im Folgenden verwendete – breitere Abgrenzung sinnvoll, die auch Vorleister und Zulieferer, bauwirtschaftsbezogene Dienstleistungen, und den Handel von Baustoffen und Baumaschinen mit einschließt.<sup>19</sup>

Die Bauwirtschaft wird allgemein als „Low-Tech“-Branche mit geringer Innovationskraft wahrgenommen. Bauwerke werden heutzutage fast wie vor fünfzig Jahren errichtet. Organisatorische sowie technische Innovationen und die Industrialisierung des Herstellungsprozesses werden weniger vorangetrieben als in anderen Branchen. Innovationen im Bauhauptgewerbe finden dennoch statt sind jedoch, gemessen an den gängigen Innovationsindikatoren „weniger sichtbar“ (Nordhause-Janz et al. 2011). Innovationen bestehen häufig darin, unterschiedliche Technologien bezogen auf die jeweils komplexen und wissensintensiven Anforderungen des jeweiligen Bauprojekts spezifisch zu integrieren. Das Bauhauptgewerbe fungiert dabei primär als Technikintegrator mit starkem Anwendungs-/Problembefugnis. Die Charakterisierung des Innovationssystems Bauwirtschaft in Bezug auf Bioökonomie wird dadurch erschwert, dass innovative biobasierte Produkte bezogen auf den Gesamtsektor bislang nur eine sehr kleine Rolle einnehmen und wenige spezifische Informationen über Gegebenheiten für die Bioökonomie vorliegen.

Es gibt zahlreiche mittelständische Unternehmen, die sich auf Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen, darunter auch Baumaterialien und -chemikalien spezialisiert haben. Beispiele sind die Fuchs Lubritech GmbH (z. B. pflanzenölbasierte Betontrennmittel) und die Tecnar GmbH (thermoplastische Werkstoffe; „flüssiges Holz“). Den vorgelagerten Stufen des Baugewerbes sind Unternehmen zuzuordnen, die Vorprodukte für die Bauwirtschaft, beispielsweise Bauchemikalien bereitstellen. Hierzu zählen u. a. Sika, Evonik, BASF, Akzo Nobel, Arkema (Biokunststoffe; für den Baubereich noch F&E), WR Grace, Dow Chemical, DuPont, Saint Gobain, aber beispielsweise auch Südzucker AG (Stärkebasierte Additive für die Betonverarbeitung) oder die Firma Fischerwerke GmbH & Co. KG (Universaldübelserie, die zu über 50% aus Biopolymeren hergestellt wird). Eine Herausforderung für die Innovationsaktivitäten ist die starke Fragmentierung der Akteure: Sowohl der organisatorische Rahmen von Innovationen als auch die Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit, gerade gewerke- und spartenübergreifend und damit verbundenes Wissensmanagement, Dokumentation und Lernprozesse sind nur schwach entwickelt (Nordhause-Janz et al. 2011).

### 1.7.3 Wissenschaft und Ausbildung

Bei der an Patentanmeldungen gemessenen, technischen Innovationstätigkeit nimmt Deutschland eine deutliche Spitzenposition in Europa ein (Nordhause-Janz et al. 2011; BMVBS 2013). Bei den Anmeldern dominieren jedoch die industriellen Zulieferer, insbesondere aus den Bereichen „Herstellung von Metallerzeugnissen“, „Maschinenbau“, „Glas, Keramik, Steine“, „Kunststoff“ und „Chemie“. Innovative Unternehmen in der Bauwirtschaft zeichnen sich oft durch Innovationsstrategien aus, die auf Innovationstransfer über qualifiziertes Personal beruhen (Butzin und Rehfeld 2008). Die Qualifizierung der Beschäftigten sowie deren Kompetenz zur gewerke- bzw. fachgruppenübergreifenden Zusammenarbeit, zur Nutzung neuer informationstechnischer Möglichkeiten und zur Koordination und Dokumentation der Prozesse

---

<sup>18</sup> Dies weist darauf hin, dass auch andere Wirtschaftsbereiche wesentlich zur Erstellung von Bauleistungen beitragen.

<sup>19</sup> Berücksichtigt man auf Basis von Input-Output-Analysen zusätzlich zum Beitrag des Baugewerbes den dazugehörigen Vorleistungsverbund, so beteiligt sich das Baugewerbe an der Entstehung von knapp 8% des gesamtwirtschaftlichen Produktionswertes sowie von 7% der Bruttowertschöpfung (Lichtblau 2008).

dürfte für die künftige Entwicklung und Wettbewerbsfähigkeit der Wertschöpfungskette Bau von großer Bedeutung sein (Nordhause-Janzen et al. 2011).

In der F&E-Förderung werden einzelne baurelevante Projekte mit Bezug zur Bioökonomie gefördert. Neben nachwachsenden Rohstoffen als Baumaterialien (Holz, Dämmstoffe) wurden auch einige bauchemikalienrelevante Projekte von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe unterstützt (z. B. Entwicklung von Betonverflüssigern auf Basis nachwachsender Rohstoffe). Zudem hat die FNR im Oktober 2014 einen neuen BMEL-Förderschwerpunkt „Forschungsverbund Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“ eingerichtet. Daneben können auch andere Förderinstitutionen in einzelnen Fällen von Bedeutung sein (z. B. BMUB, BMBF).<sup>20</sup>

#### **1.7.4 Nachfrage und Rahmenbedingungen für die Bioökonomie**

Die Nachfrage nach biobasierten Materialien in der Bauwirtschaft wird wesentlich durch Kostenwettbewerbsfähigkeit mit fossilen Alternativen (z. B. Dämmstoffe), anderen Baumaterialien (Stahl vs. Holz) und alternativen Nutzungspfaden (energetische vs. stoffliche Nutzung) bestimmt. Eine erhöhte Zahlungsbereitschaft für biobasierte Produkte ist nur für Nischen realistisch. Da zudem die meisten Baumaterialien eine lange Lebensdauer aufweisen müssen, kann in Teilbereichen die Adoption biobasierter Baumaterialien aufgrund mangelnder Langzeiterfahrungen noch langsamer verlaufen als in anderen Endanwenderbranchen.

Treiber für eine potenziell verstärkte Nutzung von Produkten und Leistungen der Bioökonomie in der Wertschöpfungskette des Baugewerbes ist der Trend zum nachhaltigen Bauen, insbesondere, wenn er durch entsprechende regulatorische Rahmenbedingungen (z. B. Energiesparverordnung, Erneuerbare-Energien-Gesetz) flankiert wird (FNR 2014b). Bioökonomische Anwendungen im Bereich nachhaltiges Bauen sind:

- nachwachsende Rohstoffe mit Nachhaltigkeitszertifizierungen (vorrangig Holz)
- biobasierte Baumaterialien, Bauchemikalien und Dämmstoffe, die einen Beitrag zu Energie- und Ressourceneffizienz in der Bau-, Nutzungs- und Nachnutzungsphase von Gebäuden leisten.
- biobasierte Materialien und Begrünung mit sozial und gesundheitlich wünschenswerten baubiologischen Eigenschaften (z. B. Gebäude- und Raumklima; Vermeidung von Schadstoffemissionen, Beschattung und Temperaturregulierung)

Die öffentliche Hand kann als anspruchsvoller Leitkunde fungieren und/oder durch die Einführung von Kennzeichnungen (Labels) für biobasierte Produkte die Marktentwicklung für biobasierte Anwendungen unterstützen. Während es in Frankreich und den USA spezifische, auf biobasierte Bauprodukte und -leistungen gerichtete Förderprogramme bzw. Qualitätssiegel gibt (BioPreferred; Batiment biosourcé), wird in Deutschland mit den Maßnahmen zum „nachhaltigen Bauen“ ein eher technologie- und rohstoffoffener Ansatz verfolgt. Die Maßnahmen der Bundesregierung zum Nachhaltigen Bauen umfassen den „Leitfaden nachhaltiges Bauen“ und das Bewertungssystem „nachhaltiges Bauen“ (BNB). Diese Vorgaben zur öffentlichen Beschaffung des Bundes sind seit 2013 bei Neubauten von Büro- und Verwaltungsgebäuden, Unterrichtsgebäuden und Komplettmodernisierungen anzuwenden (FNR 2014a). Bei allen Beschaffungsmaßnahmen und Bauleistungen durch Bundesministerien müssen beispielsweise Holzprodukte eine Nachhaltigkeitszertifizierung aufweisen (FNR 2014b).

Daneben gibt es weitere politische Initiativen zur Förderung des Werkstoffes Holz, dem wichtigsten biobasierten Baumaterial. Die Bundesregierung hat für den Bereich Bauen und Wohnen sowohl in der „Waldstrategie 2020“ als auch im Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe Ziele für den

---

<sup>20</sup> Das BMBF fördert im Rahmen der „Innovationsinitiative industrielle Biotechnologie“ Vorhaben, die auf die Entwicklung neuer Betonverflüssiger abzielen.

Einsatz von Holz formuliert. Das eingesetzte Holz soll dabei nachhaltig produziert, und Nutzungskonflikte im Wald (Multifunktionalität der Wälder) sollen minimiert werden.

## **1.8. Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)**

### **1.8.1 Bedeutung der Bioökonomie**

Neben der fortschreitenden Digitalisierung, die praktisch alle Wissenschafts- und Wirtschaftssektoren betrifft, gibt es auch IKT-Entwicklungen, die speziell die Bioökonomie unterstützen (Zweck et al. 2015). Zurzeit liegt der Schwerpunkt auf Systemen, welche die Informationsgewinnung und -analyse in äußerst datenintensiven Anwendungen ermöglichen.

In der biomedizinischen, biotechnologischen und Umweltforschung wird dem Bereich „Big Data“ ein großes Potenzial zugemessen. Es geht darum, sehr große Datensätze über den Zustand von Lebewesen zu generieren, z. B. mit Hilfe der Omics-Technologien oder durch digitales Monitoring von Umweltfaktoren. Da es sich bei biologischen Systemen sowie biologischen Produktionsprozessen um komplexe Systeme handelt, kommt der Entwicklung von „In-silico“-Modellen und Simulationen große Bedeutung zu. In der industriellen Biotechnologie werden derartige Modelle zur Optimierung von Produktionsorganismen und Enzymen im Rahmen des Metabolic Engineering und Protein Engineering breit eingesetzt. Weitere Anwendungen befassen sich mit der bioinformatischen Auswertung sowie der Verknüpfung mit Daten aus anderen Quellen. „Big Data“ unterstützt die Erforschung, Diagnostik und Entwicklung von Lösungen für Krankheiten und Umweltprobleme. Mit Hilfe dieser Anwendungen entstehen zudem neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle. Ein Beispiel ist die Verwendung von Daten aus Genomsequenzierungen für Verbraucherprodukte, beispielsweise Direct-to-Consumer-Genests, personalisierte Ernährungs- oder Gesundheitsangebote.

Für die Biomasseproduktion kann „Precision Farming“ eine erhebliche Rolle spielen. Hierunter wird die ortsdifferenzierte und zielgerichtete Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen verstanden. Dazu gehören die automatische und positionsgenaue Datenerfassung, Datenverarbeitung-/auswertung, bis hin zur Feldrobotik (Bockelmann et al. 2012; Zhang et al. 2002; Jürgens 2009). Durch Precision Farming können landwirtschaftliche Produktionsabläufe ziel- und bedarfsgenauer (z. B. hinsichtlich Aussaat- und Erntezeitpunkt, Dünger- und Pestizidmenge) durchgeführt und optimiert werden. Damit ergeben sich prinzipiell erhebliche Einsparpotentiale, beispielsweise Reduktion der Arbeitszeit, Maschinenstunden, Betriebsmittel, Dünge- und Pflanzenschutzmittel.

Aber auch der IKT-Bereich verwendet biologisches Wissen. Bei der Softwareentwicklung kommen beispielsweise Algorithmen zur Anwendung, deren Konzeption biologisch inspiriert ist. Vorbilder sind unter anderem evolutionäre Prozesse und das Verhalten von Organismenschwärmen (Fische, Ameisen, Vögel, Bienen). Diese Algorithmen können bei der Optimierung von Produktions- und Automatisierungsprozessen, bei der Modellierung und Simulation des Verhaltens komplexer Systeme (z. B. Börse, internationale Handelsbeziehungen) und der Lenkung von Verkehrs- und Personenströmen eingesetzt werden. Weitere zukünftige Beiträge der Bioökonomie zur IK-Technik liegen im biomolekularen Computing, bei dem beispielsweise DNA oder Proteine als Speicher- und Verarbeitungsmedium für Informationen genutzt werden. Entsprechende Ansätze befinden sich jedoch noch im Stadium der Grundlagenforschung.

### **1.8.2 Industrielle Akteure**

Zu den Informations- und Kommunikationstechnologien werden gemäß der Definition der OECD sowohl Informations- und Kommunikationstechnik (Computerbau, elektronische Bauelemente, Unterhaltungselektronik etc.), Telekommunikationsdienste als auch Dienstleistungen (Software-Entwicklung, Datenverarbeitung) gezählt. In Deutschland beschäftigt die IKT-Wirtschaft mehr als 900.000 Arbeitnehmer (rund

60% davon in Dienstleistungen) und erzielt rund 6% der deutschen Wertschöpfung (Jahr 2011; Gehrke et al. 2014).

Zu den für die Bioökonomie relevanten IKT-Anbietern gehören neben den IT-Systemhäusern auch einige mittelgroße Branchenspezialisten. Daneben etablieren sich v. a. KMU-Anbieter für hochspezialisierte Anwendungen. Zu diesen Unternehmen zählen z. B. Softwareanbieter für Precision Farming, Bioinformatikunternehmen, Next-Generation-Sequencing-Anbieter oder (Direkt-)Vermarkter von Gentests. Über die Anzahl der Unternehmen in diesen Bereichen bzw. den Anteil der Aktivitäten großer Unternehmen im Bereich der Bioökonomie liegen kaum Daten vor.

Für die Teilbereiche, für die zumindest teilweise Informationen zur Verfügung stehen, lässt sich die Wettbewerbsposition Deutschlands als ordentlich, aber nicht als führend einzustufen: Zum einen fehlen in Deutschland – beispielsweise im Vergleich zu den USA – weltweit führende Großunternehmen, die spezifische Life-Sciences-Angebote im Portfolio haben (z. B. Cisco, Dell, IBM, Microsoft, Oracle, Intel). Zum anderen gibt es nur relativ wenige Bioinformatik-Spezialisten (<50 Unternehmen) in der Biotech-Branche in Deutschland (biotechnologie.de 2015). Trotz einer Zunahme an Unternehmensgründungen lässt sich hier kein Gründungsboom beobachten (Leimbach und Bachlechner 2014).

### **1.8.3 Wissenschaft und Ausbildung**

Eine Expertengruppe der Leopoldina Nationalen Akademie der Wissenschaften geht davon aus, dass die Bedeutung der Bioinformatik innerhalb der lebenswissenschaftlichen Forschung in den kommenden Jahren um bis zu 30% steigen wird. Deutschlands Forschungsinfrastruktur sei beim Thema Omics-Technologien und Big Data nicht wettbewerbsfähig. In einem Untersuchungsbericht empfehlen die Experten deshalb eine langfristig finanzierte und flexibel zugängliche nationale Omics- und IT-Infrastruktur, in der universitäre und außeruniversitäre Einrichtungen in Forschung und Ausbildung zusammenarbeiten können. Die Ausbildung in den Lebenswissenschaften sollte Omics-Technologien stärker und früher in den Curricula berücksichtigen. Um den Personalbedarf zu decken, sei es notwendig, Karrierewege transparenter und vielfältiger zu gestalten. Neue Anreize für die IT-Infrastrukturentwicklung seien nötig (Leopoldina 2014).

Neben der Frage der Verfügbarkeit einer ausreichenden Fachkräftebasis in der IKT, ist die dynamische Anpassung des Qualifikationsprofils an die sich wandelnden Anforderungen eine dauerhaft große Herausforderung. Aktuell werden insbesondere im Kontext von Big-Data-Spezialisten („Data Scientists“) gesucht, die auch über Fachkompetenzen in der jeweiligen Anwendungsdomäne verfügen müssen (z. B. Biotechnologie). Umgekehrt muss auch naturwissenschaftlich ausgebildetes Forschungspersonal Kompetenzen entwickeln, um Big-Data-Lösungen produktiv für ihre Forschungsarbeiten nutzbar zu machen (z. B. durch Erlernen von Abfragesprachen). Hieraus ergeben sich vor allem Herausforderungen für die Aus-, Fort- und Weiterbildung (Leimbach und Bachlechner 2014). In diesem Bereich müssen allerdings auch grundlegende Fähigkeiten entwickelt werden, z. B. durch Entwicklung neuer Ansätze zum Verstehen und Verknüpfen von Informationen.

### **1.8.4 Nachfrage und Rahmenbedingungen**

Auf der Nachfrageseite ist die Marktfragmentierung in Deutschland und Europa ein zentrales Hemmnis für die IKT-Akteure, um internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erreichen. Insbesondere Märkte für Software und Internet-Dienste sind sehr stark von Netzwerkeffekten geprägt. Demnach erhöht sich der Nutzen für den Anwender bzw. Nutzer, wenn möglichst viele Kunden dasselbe Produkt oder dieselbe Dienstleistung erwerben bzw. in Anspruch nehmen. Unternehmen mit einem kleinen Heimatmarkt haben Probleme, diese Effekte zu erzielen.

Darüber hinaus ergeben sich durch die zunehmende Digitalisierung von Wirtschaftsprozessen zahlreiche gesellschaftliche Herausforderungen, welche die Akzeptanz in der Bevölkerung deutlich beeinflussen. Zu den Bedenken oder ungeklärten Fragen zählen der Datenschutz (z. B. Gendiagnostikgesetz, Biobank-Regelungen etc.) die Teilhabe der Bürger, der Umgang mit möglichen Diskriminierungen (z. B. beim Versicherungsschutz oder der Kreditvergabe) sowie die Qualität von statistischen Verfahren, die auf Korrelationen als Messgröße für Zusammenhänge setzen.

Hinsichtlich vieler dieser Fragen herrscht Rechtsunsicherheit bei IKT-Unternehmen, Anwendern und Verbrauchern bzw. erweist sich das derzeit anwendbare Recht als wenig geeignet (Leimbach und Bachlechner 2014). So gilt die bisherige EU-Datenschutzrichtlinie als unzureichend und bedarf einer Anpassung an den Stand der heutigen Technik. Neue Anwendungen, beispielsweise Cloud Computing, verlangen neue Herangehensweisen hinsichtlich der Definition der Akteure, der Verantwortlichkeiten, der Gerichtsstände etc. Die Europäische Kommission veröffentlichte im Jahr 2012 den ersten Entwurf einer Grundverordnung, welche die vorhandene Datenschutzrichtlinie ablösen soll. Noch ist die Grundverordnung aber nicht in Kraft und die genauen Auswirkungen dieser Regelungen auf die Praxis sind schwer vorherzusagen.

## Annex II

### 2. Literatur- und Datenbasis zur Bioökonomie in der deutschen Industrie

Ausgewählte Studien, die sich mit der Einschätzung der Bedeutung und der Entwicklung der biobasierten Industrie in Deutschland auseinandersetzen werden im Folgenden kurz skizziert.

#### Nusser et al. (2007): Makroökonomische Effekte des Anbaus und der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen

Die vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz beim Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Auftrag gegebene Studie gibt erstmals einen umfassenden Überblick über die volkswirtschaftlichen Effekte (insbesondere Einkommen und Beschäftigungseffekte) nachwachsender Rohstoffe mit dem Ziel, eine Datenbasis für die Entwicklung zukünftiger Förder-, Innovations- und Nachhaltigkeitsstrategien zu entwickeln. Die Studie ist auf vier Verwendungsbereiche nachwachsender Rohstoffe beschränkt: biogene Kraftstoffe, Energie/Strom aus Biomasse, Chemierohstoffe und Werkstoffe.

#### Nusser et al. (2007): Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie

Die vom Fraunhofer ISI im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung durchgeführte Studie verwendet einen Innovationssystem-Ansatz. Sie analysiert die Markt- und Beschäftigungspotenziale sowie die Innovationshemmnisse der industriellen, weißen Biotechnologie. Dabei werden technische, ökonomische, gesellschaftliche und internationale Dimensionen berücksichtigt.

#### Nusser, Soete und Wydra (2007): Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie in Deutschland

Das Fraunhofer ISI untersucht in der Studie für die Hans-Böckler-Stiftung, der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) und der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie und Energie (IGBCE) die Beschäftigungspotenziale der Biotechnologie in Deutschland für das Jahr 2004/2005 sowie prospektiv für das Jahr 2020. Dabei werden sowohl die direkten Beschäftigungseffekte durch die Bereitstellung und Anwendung der Biotechnologie erfasst als auch Vorleistungseffekte in Zulieferindustrien. Die Studie erwartet, dass ein erheblicher Anteil an Beschäftigung zukünftig eng mit der Bereitstellung und Anwendung der Biotechnologie verbunden sein wird. So werden beispielsweise durch die Anwendung von Biotechnologie-Know-how in den Anwenderindustrien der Chemiebranche für das Jahr 2020 Bruttobeschäftigungseffekte in der Größenordnung von 82.000 bis 164.000 Personen erwartet.

#### Efken et al. (2012): Volkswirtschaftliche Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland

Die Studie beschäftigt sich mit der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Erzeugung und Verarbeitung sowie des Handels mit Biomasse innerhalb der deutschen Volkswirtschaft. Anhand der vierjährigen Materialflussrechnung des Statistischen Bundesamtes werden die Anteile biobasierter Wirtschaftens für das Jahr 2007 in Deutschland ermittelt. Unter Berücksichtigung aller Aktivitäten von der Primärproduktion über die Verarbeitung und Vermarktung bis zu biobasierten Dienstleistungen lassen sich 2007 in Deutschland rund fünf Millionen Arbeitsplätze der Bioökonomie zuordnen. Das entspricht etwa 12,5% der Beschäftigten. Mit einer Bruttowertschöpfung von knapp 165 Mrd. Euro liegt der Anteil der biomassebasierten Wirtschaft bei etwa 7,6% der Gesamtwirtschaft. Die Stärken der Studie liegen darin, dass sie auf offiziellen Statistiken beruht und damit eine Vergleichbarkeit ermöglicht. Beschäftigungs- und Wertschöpfungsanteile werden allerdings nur proportional vom Biomasseanteil eines Wirtschaftsbereichs abgeleitet. Die Statistik gibt keine Auskunft über den Anteil innovativer bioökonomischer Produkte, Dienstleistungen und Verfahren. Diese sind üblicherweise mit einem höheren Mehrwert als bei der klassischen Nutzung verbunden.

**Efken et al. (2016): Measuring the importance of the bioeconomy in Germany: Concept and illustration**

Diese Studie baut auf Efken et al. (2012) und überträgt die dortige Methodik und Abgrenzung der Bioökonomie auch auf die neue Wirtschaftszweigklassifikation ab 2008. Damit wird die Bedeutung der Bioökonomie im Zeitverlauf zwischen 2002 und 2010 abgeschätzt. Die Berechnung zeigt, dass die Dynamik in der Bioökonomie höher als in der Gesamtwirtschaft war und folglich ihr Anteil wächst. Demnach beträgt der Anteil der Bioökonomie an der Wertschöpfung in Deutschland im Jahr 2010 rund 6% (Jahr 2002: 5,7%). Der Beschäftigungsanteil steigt von 9,9% im Jahr 2002 auf 12,4% im Jahr 2010. Der hohe Beschäftigungsanteil und seine Dynamik im Vergleich zur Wertschöpfung lässt sich vor allem auf die Arbeitsintensität und Entwicklung im Handel und Gastgewerbe zurückführen, die von den Autoren der Bioökonomie zu Anteilen zugerechnet werden.

**Carus et al. (2010): Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland**

Die Studie zielt auf die Entwicklung geeigneter Instrumente zur Förderung der stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Ausgewertet wurden Fachstudien, Datenbanken, Experteninterviews und Workshops. Die Autoren stellen fest, dass die innovative stoffliche Verwertung von Biomasse gegenüber der rein energetischen Nutzung volkswirtschaftlich günstiger ist und schlagen Fördermaßnahmen vor.

**Biotechnologie.de (2005 bis 2015) Die deutsche Biotechnologie Branche**

Die seit 2005 jährlich stattfindende Erhebung unter den deutschen Biotechnologie-Unternehmen bietet eine Beobachtung der Entwicklung der Branche anhand wichtiger Indikatoren (Unternehmensanzahl, Beschäftigung, Gründungsverhalten etc.). Die Studie identifiziert zudem wichtige Einflussfaktoren der Innovationsfähigkeit, beispielsweise F&E-Aktivitäten, Markteinführungen, Finanzierung und Innovationsnetzwerke der Branche.

**FNR (2006, 2014) Marktanalyse nachwachsende Rohstoffe**

Der Einsatz und die Marktpotentiale nachwachsender Rohstoffe und biogener Reststoffe in relevanten Sektoren der deutschen Wirtschaft werden in dieser sehr umfangreichen Arbeit (mehr als 1.000 Seiten) detailliert abgebildet. Ausgehend vom ermittelten Einsatz nachwachsender Rohstoffe wird zudem der damit verbundene Flächenbedarf im In- und Ausland geschätzt. Die Studie deckt insbesondere die Teilssegmente der biomassebasierten Produktion und der industriellen Verwendung nachwachsender Rohstoffe umfassend ab.

## Referenzen

- acatech. 2016. Innovationspotenziale der Biotechnologie. Dossier für den 5. Innovationsdialog in der 18. Legislaturperiode, 7.11. 2016. Verfügbar unter <http://innovationsdialog.acatech.de>
- Adler, P., Budzinski, M., Erdmann, G., Majer, S., Meisel, K., Schock, S., & Thrän, D. 2015. Sachstandsbericht über vorhandene Grundlagen für ein Monitoring der Bioökonomie: Nachhaltigkeit und Ressourcenbasis der Bioökonomie. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ), Leipzig.
- Aeschelmann, F., Carus, M. und nova-Team, Baltus, W., Blum, H., Busch, R., Carrez, D., Ißbrücker, C., Käß, H., Lange, K.-B., Philp, J., Ravenstijn, J. und von Pogrell, H. 2015. Bio-based Building Blocks and Polymers in the World – Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends Towards 2020. Nova-Institut. Hürth.
- Aichinger, H., Hüsing, B., Wydra, S. 2016 (bevorstehende Veröffentlichung): Industrielle Biotechnologie: Verfahren, Anwendungen, Ökonomische Perspektiven. TAB-Arbeitsbericht, Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
- Balkyte, A. und Tvaronavičiene, M. 2010. Perception of Competitiveness in the Context of Sustainable Development: Facets of „Sustainable Competitiveness“. *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 341–365.
- Bayern Innovativ. 2014. Bericht des 16. Jahreskongress Zulieferer Innovativ. Verfügbar unter [www.bayern-innovativ.de/zulieferer2014/bericht](http://www.bayern-innovativ.de/zulieferer2014/bericht)
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.). 2016. Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe. Berechnungen für das Jahr 2015. BBSR-Online-Publikation 09/2016, Bonn, September 2016. Verfügbar unter <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen>
- BCG und VFA. 2013. The Boston Consulting Group und vfa.bio die forschenden Pharma-Unternehmen. Medizinische Biotechnologie in Deutschland 2013. Verfügbar unter <https://www.vfa.de/embed/bcg2013.pdf>
- BCG und VFA. 2014. The Boston Consulting Group und vfa.bio die forschenden Pharma-Unternehmen. Medizinische Biotechnologie in Deutschland 2014. Verfügbar unter <https://www.vfa-bio.de/embed/bcg2014.pdf>
- Becker, J. und Wittmann, C. 2012. Systems and synthetic metabolic engineering for amino acid production - the heartbeat of industrial strain development. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(5), 718-726.
- Berkhout, F. 2002. Technological regimes, path dependency and the environment. *Global Environmental Change*, 12(1), 1-4.
- BioIndustrie 2021. Deutsche Cluster gemeinsam für die Industrielle Biotechnologie. Verfügbar unter <http://www.bioindustrie2021.eu/>
- Bioökonomierat. 2010. Berichte aus dem Bioökonomierat 04. Verfügbar unter <http://biooekonomierat.de>
- Bioökonomierat. 2012. <http://biooekonomierat.de/biooekonomie/>
- Bioökonomierat. 2013. Bioökonomie-Politikempfehlungen für die 18. Legislaturperiode. Verfügbar unter <http://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/empfehlungen/Politikempfehlungen.pdf>
- Bioökonomierat. 2014. Lebensmittelkonsum, Ernährung & Gesundheit: Förderkonzept des Bioökonomierates. Verfügbar unter <http://biooekonomierat.de>
- Bioökonomierat. 2015. Bioeconomy Policy. Synopsis of National Strategies around the World. Verfügbar unter <http://biooekonomierat.de>
- BIOPOL 2009. Verfügbar unter <https://www.novapublishers.com/catalog>
- Biotechnologie.de. 2014. Die deutsche Biotechnologie-Branche 2014. Verfügbar unter <https://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Hintergrund/studien-statistiken,did=172508.html?view=renderPrint>
- BMBF. 2008. Pflanzen als Rohstoff für die Zukunft. Neue Wege für Landwirtschaft, Ernährung, Industrie und Energie. Verfügbar unter <https://www.biotechnologie.de/BIO/Redaktion/PDF/de/Broschueren>

- BMBF. 2010. Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft. Bundesministerium für Forschung und Bildung.  
Verfügbar unter [https://www.bmbf.de/pub/Nationale\\_Forschungsstrategie\\_Biooekonomie\\_2030.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Nationale_Forschungsstrategie_Biooekonomie_2030.pdf)
- BMBF. 2014. Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland. Bundesministerium für Forschung und Bildung. Verfügbar unter [https://www.bmbf.de/pub\\_hts/HTS\\_Broschüre\\_Web.pdf](https://www.bmbf.de/pub_hts/HTS_Broschüre_Web.pdf)
- BMBF. 2015. Weiße Biotechnologie. Chancen für eine biobasierte Wirtschaft. Bundesministerium für Forschung und Bildung. Verfügbar unter [https://www.bmbf.de/pub/Weisse\\_Biotechnologie.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Weisse_Biotechnologie.pdf)
- BMEL. 2013. Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Nachwachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie. Verfügbar unter [http://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/Broschueren/BioOekonomiestrategie.pdf;jsessionid=BE4E21B940B5201C76B189AE1E8C7B01.2\\_cid288?\\_blob=publicationFile](http://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/Broschueren/BioOekonomiestrategie.pdf;jsessionid=BE4E21B940B5201C76B189AE1E8C7B01.2_cid288?_blob=publicationFile)
- BMVBS. 2013. Indikatoren zur Innovationstätigkeit am Bau im internationalen Vergleich (Bearbeiter: Jürgen Nordhause-Janz, Dieter Rehfeld, Anna Butzin), Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.).
- BMWi. 2015. Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und Internationale Entwicklung im Jahr 2014. Verfügbar unter <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/erneuerbare-energien-in-zahlen-2014,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- Bokelmann, W., Doernberg, A., Schwerdtner, W., Kuntosch, A., Busse, M., König, B., Siebert, R., Koschatzky, K., Stahlecker, T. 2012. Sektorstudie zur Untersuchung des Innovationssystems der deutschen Landwirtschaft. Edoc.hu-berlin.de
- Bormann, R., Fink, P., Iwer, F., Schade, W. 2014. Wie Phönix aus der Asche? Zur Zukunft der Automobilindustrie in Deutschland. Diskussionspapier der Arbeitskreise Innovative Verkehrspolitik und Nachhaltige Strukturpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung. Verfügbar unter <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/10481.pdf>
- Breschi, S. und Malerba, F. 1997. Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. *Systems of innovation: Technologies, institutions and organizations*, 130-156.
- Butzin, A. und Rehfeld, R. 2008. Innovationsbiographien in der Bauwirtschaft: Endbericht, Stuttgart, Forschungsinitiative Zukunft Bau, F 2718
- Carus et al. 2010. Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland. Nova-Institut. Hürth.
- Carus, M., Eder, A. und Beckmann, J. 2014. GreenPremium prices along the value chain of bio-based products. nova-paper #3 on bio-based economy. Nova-Institut. Hürth, 2014-03. Verfügbar unter [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets)
- Chemical Weekly (2012): Bio-based chemicals: In need of innovative strategies, Chemical Weekly February 28, 2012, S. 195–202
- Czernich, N. 2014. Forschung und Entwicklung deutscher Unternehmen im Ausland – Zielländer, Motive und Schwierigkeiten. Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI). Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 13-2014. Verfügbar unter [http://www.stifterverband.de/pdf/fue\\_im\\_ausland.pdf](http://www.stifterverband.de/pdf/fue_im_ausland.pdf)
- DBFZ. 2011. Deutsches Biomasse Forschungszentrum. Final Report. Global and Regional Spatial Distribution of Biomass Potentials. Status quo and options for specification. Verfügbar unter [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/DBFZ\\_Reports/DBFZ\\_Report\\_7.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_7.pdf)
- DECHEMA. 2005. DECHEMA e. V. Biotechnologie 2020. Frankfurt am Main.
- Del Rio Gonzalez, P. 2005. Analysing the Factors Influencing Clean Technology Adoption: A Study of the Spanish Pulp and Paper Industry. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 14, 20-37.
- Deutscher Bauernverband. 2014. Situationsbericht 2013/14.
- Delzeit, R., Klepper, G., Söder, M. (2015): Sachstandsbericht über vorhandene Grundlagen und Beiträge für ein Monitoring der Bioökonomie: Wirtschaftliche Kennzahlen“
- Deutscher Bundestag (Hrsg.). 1984. Antwort der Bundesregierung auf eine Große Anfrage „Perspektiven für den bäuerlichen Familienbetrieb“. Drucksache 10/2043

- DIB. 2014. Biotechnologie-Statistik 2013/2014. Verfügbar unter <https://www.vci.de/langfassungen-pdf/biotechnologie-statistik.pdf>
- E4tech, RE-CORD and WUR. 2015. From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals. Final report for the European Commission, contract No.ENER/C2/423-2012/SI2.673791
- Edquist, C. 2005. Systems of Innovation. Perspectives and Challenges. In: Fagerberg, J., Mowery, D.C. and Nelson, R.R. (Eds.): The Oxford Handbook of Innovation. New York: Oxford University Press, 190–191.
- EFI. 2015. Expertenkommission Forschung und Innovation. Gutachten 2015. Berlin. Verfügbar unter [http://www.e-fi.de/fileadmin/Gutachten\\_2015/EFI\\_Gutachten\\_2015.pdf](http://www.e-fi.de/fileadmin/Gutachten_2015/EFI_Gutachten_2015.pdf)
- EFI. 2016. Expertenkommission Forschung und Innovation. Gutachten 2016. Berlin. Verfügbar unter [https://www.bmbf.de/files/EFI\\_Gutachten\\_2016.pdf](https://www.bmbf.de/files/EFI_Gutachten_2016.pdf)
- Efken, J., Banse M., Rothe A., Dieter M., Dirksmeyer W., Ebeling M., Fluck K., Hansen H., Kreins P., Seintsch B., Schweinle J., Strohm K., Weimar H. 2012. Volkswirtschaftliche Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie, 07/2012, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- Efken J., Dirksmeyer W., Kreins P., Knecht M. 2016. Measuring the importance of the bioeconomy in Germany: Concept and illustration. NJAS Wageningen Journal of Life Sciences, 77, 9-17.
- ePure. 2014. European Renewable Ethanol. Renewable ethanol: driving jobs, growth and innovation throughout Europe, State of the industry report 2014. Verfügbar unter <http://epure.org/media/1137/state-of-the-industry-report-2014.pdf>
- ERA-NET. European Research Area. Coordination of Research Programmes. Europäische Kommission. Verfügbar unter [http://ec.europa.eu/research/era/era-net\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/era/era-net_en.htm)
- EU Presidency. 2007. En route to the Knowledge-Based Bio-Economy. Cologne, Cologne Summit of the German Presidency.
- Europäische Kommission. 1993. Growth, Competitiveness and Employment: the Challenges and Ways forward into the 21st century. Brüssel
- Europäische Kommission. 2006. Eurobarometer 66. Die öffentliche Meinung in der Europäischen Union. Verfügbar unter [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/eb/eb66/eb66\\_highlights\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/eb/eb66/eb66_highlights_de.pdf)
- Europäische Kommission. 2009. Taking Bio-based from Promise to Market.
- Europäische Kommission. 2012. Innovating for Sustainable Growth. A Bioeconomy for Europe. Brüssel. Verfügbar unter <http://bookshop.europa.eu/en/innovating-for-sustainable-growth-pbKI3212262/>
- Europäische Kommission. 2014b. Bioeconomy Information System and Observatory Project. Set up of the Bioeconomy Observatory. Methodology Report. Verfügbar unter <https://biobs.jrc.ec.europa.eu/>
- Europäische Kommission. 2014a. Communication: For a European Industrial Renaissance. Brüssel. Verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014DC0014>
- Europäische Kommission. 2015. European Commission. The Paris Protocol – A blueprint for tackling global climate change beyond 2020. Verfügbar unter [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/paris\\_protocol/docs/com\\_2015\\_81\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/paris_protocol/docs/com_2015_81_en.pdf)
- Europäischer Rat. 2000. An Agenda of Economic and Social Renewal for Europe (Lisbon Agenda). European Council [DOC/00/7]. Brüssel.
- Evaluate Pharma. 2015. World Preview 2015. Outlook to 2020. 8. Edition
- EY. 2014. Ernst and Young. 1% für die Zukunft. Innovation zum Erfolg bringen. Deutscher Biotechnologie-Report 2014. Verfügbar unter <http://www.ey.com/Publication/>
- EY und Fraunhofer ISI. 2015. Vorausschauen... Studie zur Biotechnologie in Bayern 2013. Verfügbar unter [http://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user\\_upload/stmwivt/Publikationen](http://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwivt/Publikationen)
- Festel Capital (2009): Industry Structure and Business Models for Industrial Biotechnology, DSTI/STP/BIO(2009)22. Paris
- Festel Capital (2012): Industrial biotechnology – Markets and industry structure. In: Journal of Commercial Biotechnology 18(1), S. 11–21
- Feurer, R. und Chaharbaghi, K. 1994. Defining Competitiveness: A Holistic Approach. Management Decision, 32(2), 49–58.

- Fichter, K. und Clausen, J. 2013. Erfolg und Scheitern „grüner“ Innovationen. Warum einige Nachhaltigkeitsinnovationen am Markt erfolgreich sind und andere nicht. Marburg: Metropolis.
- Fikter, K. 2005. Interpreneurship. Nachhaltigkeitsinnovationen in interaktiven Perspektiven eines vernetzten Unternehmertums. Marburg: Metropolis.
- FIZ. 2013. Fischinformationszentrum e.V. (Hrsg.). Fischwirtschaft, Daten und Fakten 2012.  
Verfügbar unter <http://www.fischinfo.de>
- FNR. 2014a. Bauen mit Nachwachsenden Rohstoffen 2014. Gülzower Fachgespräche Band 47, Gülzow-Prüzen: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).
- FNR. 2014b. Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe Band 34, Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).
- FNR. 2015. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Pressemitteilung: Simulationsberechnungen für Automobilbauteile aus naturfaserverstärkten Kunststoffen künftig möglich.
- Focus. 2013. Die Goldesel der Autoindustrie. 22. Februar 2013. Verfügbar unter [http://www.focus.de/auto/news/suv-boom-die-goldesel-der-autoindustrie\\_aid\\_925237.html](http://www.focus.de/auto/news/suv-boom-die-goldesel-der-autoindustrie_aid_925237.html)
- Frahm, C. 2013. Hanffasern im Autobau. Gib Gras. In Der Spiegel.  
Verfügbar unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/autos-aus-hanf-naturfasern-werden-in-der-karosserie-verbaut-a-878973.html>, 14. März 2013.
- Frantzeskaki, N. und De Haan, H. 2009. Transitions: Two steps from theory to policy. *Futures*, 41(9), 593-606.
- Freeman, C. 1992. *The Economics of Hope. Essays on Technikal Change, Economic Growth and the Environment*. Pinter Publishers, NY, London.
- Freeman, C. 1995. The National System of Innovation in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19, 5-24.
- Frietsch, R., Köhler, F., Blind, K. 2013. Weltmarktpatente – Strukturen und deren Veränderungen. Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI). Studien zum deutschen Innovationssystem 7-2008. Verfügbar unter [http://www.e-fi.de/fileadmin/Studien/StuDIls\\_7\\_2008\\_Patente.pdf](http://www.e-fi.de/fileadmin/Studien/StuDIls_7_2008_Patente.pdf)
- Frohberg, K. und Hartmann, M. 1997. Comparing Measures of Competitiveness. Halle: Working Paper, No. 2, Institut für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa.
- Frost & Sullivan. 2011. A Bio-based Future for the Chemicals and Materials Market. Chapter Transport. Report #M739-39. London
- Frost & Sullivan. 2011. White Biotechnology. Report N8E3-39. London
- Frost & Sullivan. 2012. Analysis of Biorenewable Chemicals and Materials Market in Construction Industry. North America. Report NAOE-39. Mountain View, CA
- Frost & Sullivan. (2013. Emerging Trends in Bio-chemicals. D4C3-TI. London
- Gallagher, K.S., Grübler, A., Kuhl, L., Nemet, G., Wilson, C. 2012. The Energy Technology Innovation System. *Annual Review of Environment and Resources*, 37, 137-162.
- Geels, F. W. 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257-1274.
- Geels, F. W. 2005. Technological transitions and system innovations: a co-evolutionary and socio-technical analysis. Northampton, Mass.: Edward Elgar Pub. Cheltenham, UK.
- Geels, F. W. 2006. System innovations and transitions to sustainability: challenges for innovation theory. Paper presented at the SPRU 40th Anniversary Conference, 11-13 September 2006.
- Geels, F.W. 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy* 31, 1257-1274.
- Gehrke, B., Cordes, A., John, K., Frietsch, R., Michels, C., Neuhäusler, P., Pohlmann, T., Ohnemus, J., Rammer, C. 2014. Informations- und Kommunikationstechnologien in Deutschland und im internationalen Vergleich - ausgewählte Innovationsindikatoren. Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI). Studien zum deutschen Innovationssystem 11-2014.  
Verfügbar unter <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/p/de/efi-studien/>

- Genencor. 2011. Study: Green Products on the Shelf.  
Verfügbar unter <http://news.bio-based.eu/study-green-products-on-the-shelf/>
- Herrmann, C., Kuntzky, D. W. I. K. 2013. Sustainable PSS in Automotive Industry. In Handbook of Sustainable Engineering. pp. 723-742. Springer. The Netherlands.
- Hill, K., Swiecki, B., Cregger, J. 2012. The Bio-Based Materials Automotive Value Chain. Center for Automotive Research, Economic Development and Strategies Group.  
Verfügbar unter <http://www.cargroup.org/?module=Publications&event=View&pubID=29>
- Horbach, J., 2008. Determinants of Environmental Innovation – New Evidence from German Panel Data Sources, Research Policy, Vol. 37, 163-173.
- International Energy Agency (IEA).2013. World Energy Outlook, WEO-2013. Verfügbar unter <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013.pdf>
- IfBB. 2015. Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe. Biopolymer Platform - the knowledge database for bioplastics.  
Verfügbar unter <http://ifbb.wp.hs-hannover.de/downloads/>
- Inal, G. A. 2003. A Study into Competitiveness Indicators. Istanbul: REF Rekabet Forumu Tüsiad Sabanci Üniversitesi.
- IPCC. 2011. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press: United Kingdom and New York, NY, USA.
- Isermeyer, F. 2013. Dilemma zwischen Energie- und Nahrungspflanzen? Nova Acta Leopoldina, NF 118(400), 223-248.
- JOBS Act USA. 2014. Information unter <https://www.sec.gov/spotlight/jobs-act.shtml>
- Kemp, R. und Rotmans, J. 2005. The Management of the Co-evolution of Technical, Environmental and Social Systems, in: Weber, M., Hemmelskamp, J. (Eds.), Towards environmental innovation systems. Berlin, New York: Springer, pp. 33-55.
- KET Observatory. 2015. Key Enabling Technologies (KETs) Observatory. Second Report. September 2015. Europäische Kommission. Brüssel.
- Klerkx, L., Schut, M., Leeuwis, C., Kilelu, C. 2012. Advantages in knowledge brokering in the agricultural sector: towards innovation system facilitation. IDS Bulletin, 43, 53-60.
- Koschatzky, K. 2012. Fraunhofer ISI's systemic research perspective in the context of innovation systems. In: Fraunhofer ISI (Hrsg.): Innovation system revisited - Experiences from 40 years of Fraunhofer ISI research. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 1-24.
- Krugman, P. 1994. Competitiveness: A Dangerous Obsession. Foreign Affairs, 73(2), 28–44.
- Kušić, S. und Grupe, C. 2004. Über die Wettbewerbsfähigkeit: Definitionsversuche und Erklärungsansätze. Ekonomski Pregled, 55(9-10), 804–814.
- Latieule, S. 2014. Biobased Materials in the Motor Car. Verfügbar unter <http://www.biobasedpress.eu/2014/09/biobased-materials-in-the-motor-car-part-1-automotive-industrys-demands>
- Latieule, S. 2014. Biobased Materials in the Motor Car. www.biobasedpress.eu, verfügbar unter <http://www.biobasedpress.eu/2014/09/biobased-materials-in-the-motor-car-part-1-automotive-industrys-demands>, 21. September 2014.
- Leimbach und Bachlechner. 2014. Big Data in der Cloud. Im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Hintergrundpapier Nr. 19. Berlin.
- Leopoldina. 2014. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, 2014: Zukunftsreport Wissenschaft. Lebenswissenschaften im Umbruch – Herausforderungen der Omics-Technologien für Deutschlands Infrastrukturen in Forschung und Lehre. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. Nationale Akademie der Wissenschaften. Halle/Saale. Verfügbar unter [https://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2014\\_Zukunftsreport\\_Langfassung\\_web.pdf](https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2014_Zukunftsreport_Langfassung_web.pdf)
- Lundvall, B.-A. (Ed.). 1992. National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning, Pinter Publishers, London.

- Lundvall, B.-A. 1988. Innovation as an interactive process: from user–producer interaction to the national system of innovation. In: Dosi, G. Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., Soete, L. , Technical Change and Economic Theory. Pinter, London, S. 349–369.
- Malerba, F. 2005. Sectoral Systems: How and Why Innovation Differs Across Sectors”, In: Fagerberg, J., Mowery, D. und Nelson, R. (Hrsg.), The Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press, Oxford, Kapitel 14.
- McKelvey, M. 1991. How do National Systems of Innovation Differ?: A Critical Analysis of Porter, Freeman, Lundvall and Nelson, 117 – 137, in Hodgson, G. Rethinking Economics: Markets, Technology and Economic Evolution, Edward Elgar, Aldershot.
- McKinsey (2009): White Biotechnology. Press briefing, February 2009. [www.dsm.com/content/dam/dsm/cworld/en\\_US/documents/whitebiotech-mckinsey-feb-2009.pdf](http://www.dsm.com/content/dam/dsm/cworld/en_US/documents/whitebiotech-mckinsey-feb-2009.pdf) (29.7.2010)
- Nelson R. 1993. National Innovation Systems, Oxford UP, Oxford, UK.
- NIW. 2013. Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung. Die chemische Industrie: Branchenanalyse 2013. Verfügbar unter [www.niw.de](http://www.niw.de)
- Nordhause-Jan, J., Rehfeld, D., Welschhoff, J. 2011. Innovationsstrategien am Bau im internationalen Vergleich. BMVBS-Online-Publikation 07/11, Hrsg.: BMVBS.
- NRC (National Research Council) (2015): Industrialization of Biology: A Roadmap to Accelerate the Advanced Manufacturing of Chemicals. The National Academics Press, Washington D.C. Nusser et. al. 2007. Makroökonomische Effekte des Anbaus und der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Gülzow: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Nusser, M., Hülsing, B. und Wydra, S. 2007. Potenzialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie, Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung.
- O'Brien, M., Wechsler, D., Bringezu, S., & Arnold, K. (2015). Sachstandsbericht über vorhandene Grundlagen und Beiträge für ein Monitoring der Bioökonomie: systemische Betrachtung und Modellierung der Bioökonomie.
- O'Sullivan, M., Edler, D., Bickel, P., Lehr U., Peter, F., Sakowski, F. 2014. Gross employment from renewable energy in Germany in 2013 – a first estimate. Research project commissioned by the OECD und Eurostat. 2005. Oslo Manual. Guidelines for collecting and interpreting innovation data. 3rd edition. OECD Publishing.
- OECD. 2007. Innovation and Growth. Rationale for an Innovation Strategy. OECD Publishing.
- OECD. 2009. The Bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda. OECD Publishing.
- OECD. 2014. Biobased Chemicals and Bioplastics. Finding the Right Policy Balance. OECD Publishing.
- Oxford Economics. 2014. Evolution of competitiveness in the German chemical industry: historical trends and future prospects. Oxford, OX1 1HB, UK.
- Philp, J. 2015. Balancing the bioeconomy: supporting biofuels and bio-based materials in public policy. Energy & Environmental Science, 8(11), 3063-3068.
- Porter, M. 1990. The Competitive Advantage of Nations. New York: Free Press.
- Porter, M. und van der Linde, C. 1995. Green and Competitive – Ending the Stalemate, Harvard Business Review, Sept.-Oct., 120 – 134.
- Priemer, B. und Schulte, C. 2014. Neue SUV-Modelle bis 2017, Auto, Motor und Sport, 21.03.2014, <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/gelaendewagen-zukunft-neue-suv-modelle-bis-2017-2721873.html>
- Ramirez, P. 2014. Outsourcing and Offshoring of R&D in the Pharmaceutical Industry: Evidence and Policy Implications from a Global Value Chain Analysis. Verfügbar unter <http://iri.jrc.ec.europa.eu/documents/>
- Reichardt, M. und Jürgens, C. 2009. Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. Precision Agriculture, 10(1), 73-94.
- REN21. 2013. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables Global Futures Report. Verfügbar unter [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gfr/REN21\\_GFR\\_2013.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gfr/REN21_GFR_2013.pdf)
- Reynolds, E. B. (2011). The changing geography of biomanufacturing. Working paper series of the Industrial Performance Center Massachusetts Institute of Technology. 2011 MIT-IPC-11-001.

- Sartorius, C., 2006. Second-order sustainability–conditions for the development of sustainable innovations in a dynamic environment. *Ecological Economics*, 58(2), 268-286.
- Schwab, K. und Sala-i-Martin, X. 2016. *The Global Competitiveness Report 2016-2017*. Davos: World Economic Forum.
- Shell Deutschland und Prognos AG. 2014. *PKW-Szenarien bis 2040. Fakten, Trends und Perspektiven für Auto-Mobilität*.
- Sijtsema, S., Onwezen, M., Reinders, M., Dagevos, H., Partanen, A., Meeusen, M. 2016. Consumer perception of bio-based products—An exploratory study in 5 European countries, *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, Volume 77, S. 61-69,
- Statistisches Bundesamt. 2014. *Statistisches Jahrbuch 2014. Deutschland und Internationales*. Verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/>
- Stigler, G. 1971. The Theory of Economic Regulation. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 2, 3–21.
- SusChem Strategic Innovation and Research Agenda 2015. Verfügbar unter <http://www.suschem.org/news-room/suschem-press-releases/suschem-publishes-new-strategic-innovation-and-research-agenda.aspx>
- The Economist. 2015. The process of invention. Now and Then. In „The Economist, print version“ am 25.4.2015. Verfügbar unter <http://www.economist.com/news/science-and-technology/21649448-patent-records-reveal-way-inventions-are-made-has-changed-over>
- USDA. 2008. *U.S. Biobased Products Market Potential and Projections Through 2025* Verfügbar unter <http://www.usda.gov/oce/reports/energy/BiobasedReport2008.pdf>
- VCI und Prognos AG. 2013. *Verband der chemischen Industrie und Prognos. Die deutsche chemische Industrie 2030*. Verfügbar unter <https://www.vci.de/die-branche/chemie-2030/Seiten/Startseite.aspx>
- VCI. 2012. *Verband der chemischen Industrie Factbook 05: Die Formel Ressourceneffizienz*. Verfügbar unter <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/media-weitere-downloads/dokumente/2012-06-12-vci-factbook-05-01-gesamt-pdf.pdf>
- VCI. 2013. *Verband der chemischen Industrie Branchenporträt der deutschen chemisch-pharmazeutischen Industrie 2013*. Verfügbar unter <https://www.vci.de/Downloads/>
- VCI. 2014. *Verband der chemischen Industrie. Rohstoffbasis der chemischen Industrie*. Verfügbar unter <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/daten-fakten-rohstoffbasis-der-chemischen-industrie-de.pdf>
- VDA. 2013. *Verband der Automobilindustrie. Jahresbericht 2013*. Verfügbar unter <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/jahresbericht-2013.html>
- VDA. 2014. *Verband der Automobilindustrie. Jahresbericht 2014*. Verfügbar unter <https://www.vda.de/en/services/Publications/annual-report-2014.html>
- Wagner, M. 2009. Erfolgsfaktoren für Nachhaltigkeitsinnovationen: Qualitative und quantitative Befunde. *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*. 2, 179-198.
- WBGU. 2011. *Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation*. Verfügbar unter [http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2011/wbgu\\_jg2011.pdf](http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2011/wbgu_jg2011.pdf)
- Wydra, S. 2011. Initiativen und Politikmaßnahmen für biobasierte Produkte in Deutschland, *Chemie Ingenieur Technik*, 83, No. 8, 1209-1218.
- Wydra, S., Hüsing, B. und Kukk, P. 2010. *Analyse des Handlungsbedarfs für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aus der Leitmarktinitiative (LMI) der Europäischen Kommission für biobasierte Produkte außerhalb des Energiesektors*. Fraunhofer-Institut für System-und Innovationsforschung, Competence Center Neue Technologien.
- Yue, C., Hall, C.R., Behe, B.K., Campbell, B.L., Dennis, J.H., Lopez, R.G. 2010. Are consumers willing to pay more for biodegradable containers than for plastic ones? Evidence from hypothetical conjoint analysis and non-hypothetical experimental auctions. Selected Paper prepared for presentation at the Agricultural & Applied Economics Association's 2010 AAEA, CAES & WAEA Joint Annual Meeting, Denver, Colorado, July 25-27, 2010.

Zhang, N., Wang, M., Wang, N. 2002. Precision agriculture - a worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2), 113-132.

Zweck, A., Holtmannspötter, D., Braun, M., Cuhls, K., Hirt, M., Kimpeler, S. (2015). *Forschungs- und Technologieperspektiven 2030*.