

Die deutsche Chemieindustrie – Wettbewerbsfähigkeit und Bioökonomie

Vorbemerkung

Die chemische Industrie gehört traditionell zum Kern der deutschen Volkswirtschaft. Strukturell ist der Wirtschaftsbereich durch eine starke Konzentration gekennzeichnet. Zu den wichtigsten Kunden der Chemieindustrie gehören mit der Automobilindustrie und dem Maschinenbau zwei weitere zentrale Bereiche der deutschen Wirtschaft. Die in Deutschland aktiven Konzerne sowie eine Anzahl hochspezialisierter mittelständischer Unternehmen sind international wettbewerbsfähig. Knapp 60% der Umsätze erwirtschaften die deutschen Chemieunternehmen im Ausland. Auf dem Weltmarkt für Chemikalien zählt Deutschland mit den USA, Japan und China zu den größten Akteuren. Obwohl zahlreiche Rohstoffe und Vorprodukte eingeführt werden, ist Deutschland seit Jahren Nettoexporteur. [1] Grund für den Erfolg ist eine effi-

Über die BÖRMEMOS

BÖRMEMOS fassen in komprimierter Form Einschätzungen des Rates zu zentralen Aspekten der Bioökonomie zusammen. Sie erheben nicht den Anspruch, eine umfassende Abhandlung dieser Sachverhalte zu liefern. Vielmehr stellen sie eine fokussierte und allgemein verständliche Betrachtung des jeweiligen Gebietes und dessen Bezug zur Bioökonomie dar. Die BÖRMEMOS sind als pointierter Beitrag zur öffentlichen Debatte konzipiert. Sie sind Bestandteil einer Serie von Analysen, die der Bioökonomierat veröffentlichen wird. Ihre theoretische Basis haben sie in umfassenderen Hintergrundpapieren, die ebenfalls auf der Homepage des Rates veröffentlicht sind. BÖRMEMOS werden gemeinsam mit BÖR-Hintergrund-Papieren begutachtet (Peer Review). Während dieses Prozesses werden sie als vorläufig gekennzeichnet und die Autoren genannt. Das vorliegende Memo zur Chemieindustrie wurde vorläufig am 4.6.2014 veröffentlicht und nach dem Durchlaufen des oben beschriebenen Prozesses vom Rat auf der 10. Sitzung am 14.11.2014 endgültig verabschiedet.



Die deutsche Chemieindustrie ist im weltweiten Wettbewerb sehr erfolgreich. Sie ist stark vernetzt mit wichtigen Wirtschaftsbereichen wie dem Automobil- oder Maschinenbau. Damit nimmt die Chemie die Rolle eines zentralen Innovators ein.

ziente und nahezu optimal ausgebaute Verbundstruktur am Standort Deutschland, die eine leistungsfähige, vollintegrierte Produktionsweise ermöglicht. Wichtigste Rohstoffbasis für die Chemieindustrie sind Erdölprodukte (NAPHTHA) und Erdgas. Nachwachsende Rohstoffe, wie Fette, Stärke, Cellulose und Zucker, werden heute bereits erfolgreich in biobasierten und thermochemischen Verfahren eingesetzt, wenn Wettbewerbsvorteile hinsichtlich der Nachhaltigkeit, der Wirtschaftlichkeit oder der Technologie bestehen. Sie werden als Ergänzung zur chemischen Synthese verwendet, wenn Vorteile hinsichtlich der Nachhaltigkeit, der Wirtschaftlichkeit oder der Technologie bestehen. Der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe hat sich zwar in den vergangenen Jahren auf etwa 13% erhöht, ein Trend hin zu einer umfassenden Rohstoffwende ist aber nicht zu erkennen. [2] Mit seinen Empfehlungen möchte der Bioökonomierat dazu beitragen, Innovations- und Investitionshürden in der Chemie auf dem Weg in die biobasierte Wirtschaft zu benennen und abzubauen.

Globale Ausgangsbedingungen

Weltweit setzen Chemiekonzerne auf Größe und globale Präsenz. Während regionale Lohnkostenunterschiede eher

Überblick & Kernaspekte

Definition: Bioökonomie ist die wissensbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen. In der Europäischen Union wird die Bioökonomie als wesentliches Element einer sozial, ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Kreislaufwirtschaft angestrebt [3].

- Rund 1.600 Betriebe der Chemieindustrie beschäftigen in Deutschland ca. 325.000 Mitarbeiter.
- Fast 60% des Gesamtumsatzes von rd. 145 Mrd. Euro werden im Ausland erzielt.
- Die deutschen Chemiekonzerne erzielen mehr als die Hälfte des Branchenumsatzes und beschäftigen eine Mehrheit der Mitarbeiter. Die zahlreichen mittelständischen Unternehmen sind meist anwendungsnahe Veredler von Grund- und Spezialchemikalien.
- Das Umsatzwachstum seit der Finanz- und Wirtschaftskrise beruht hauptsächlich auf steigenden Erzeugerpreisen und wachsenden Auslandsmärkten.
- Die chemische Industrie nutzt biologische Ressourcen und Verfahren fokussiert dort, wo sie Kosten einsparen oder Umweltvorteile besitzen. Eine starke Ausweitung über derzeitige Anwendungen hinaus oder der Ersatz leistungsstarker petrochemischer Herstellverfahren sind kurz- und mittelfristig nicht abzusehen.

an Bedeutung für Ansiedlungsentscheidungen verlieren, gewinnt die Nähe zu attraktiven Wachstumsmärkten und damit neuen Kunden stark an Bedeutung. Hier punktet derzeit Asien. Dank einer stark wachsenden Konsum-Nachfrage und technologischen Fortschritten im asiatisch-pazifischen Raum geht die Expansion des weltweiten Chemiegeschäfts mittelfristig weiter. Ein Verdrängungswettbewerb bleibt aus. So konnte China als weltweit am stärksten wachsender Produktionsstandort den traditionellen Märkten USA, Japan und Deutschland global Marktanteile abnehmen, obwohl die Produktion auch in diesen Ländern selbst gewachsen ist [4]. Bis 2030 wird China zur führenden Chemienation aufsteigen [5]. Rohstoffkosten haben bei Petrochemikalien, Polymeren und Basischemikalien einen wichtigen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit. Bei energieintensiver, fossilbasierter Produktion spielen somit die Rohöl- und Gaspreise eine wesentliche Rolle. Während die Rohölpreise auf den Weltmärkten relativ einheitlich auf einem hohen Niveau

liegen, haben sich die Gaspreise seit 2010 regional sehr unterschiedlich entwickelt. Infolge der umfangreichen Schiefergasexplorationen sank der Preis für Erdgas in den USA auf etwa ein Drittel des europäischen Niveaus. Seit 2010 haben US-amerikanische Chemieunternehmen insbesondere durch die Verwendung von Erdgas-Crackern in diesem Bereich zusehends Kostenvorteile [4]. Allerdings ist die Produktion mit Erdgas-Crackern weniger effizient als mit Erdöl-Crackern. Dies dürfte die Kostenvorteile wieder mindern [6]. Längerfristig wird die Wettbewerbsfähigkeit der Chemieindustrie jedoch am stärksten von der Innovationskraft der Unternehmen, und damit den Investitionen in Forschung und Entwicklung, beeinflusst [4]. Im Zuge der Verschiebung der Nachfrage in aufstrebende Schwellenländer verlagern sich auch die Innovationsaktivitäten der Chemieindustrie. Insbesondere China, aber auch Japan und Korea verzeichnen steigende Anteile an den weltweiten Patentanmeldungen, F&E Ausgaben und wissenschaftlichen Publikationen [1].

Status quo in Deutschland

Die deutsche Chemieindustrie verfügt über eine etablierte, zumeist hochintegrierte Struktur im Verbund und stellt insgesamt mehr als 30.000 verschiedene Chemieprodukte her. Die wichtigsten Erzeugnisse sind Petrochemikalien mit 32% des Gesamtumsatzes (2013), gefolgt von Fein- und Spezialchemikalien (26%), Polymeren (23%) sowie anorganische Grundchemikalien (10%) und Wasch- und Körperpflegemittel (9%) [7]. Die chemische Industrie trägt wesentlich zur Innovationskraft der deutschen Industrie bei, denn viele Zukunftstechnologien erfordern den Einsatz von chemischem Know-how und Produktentwicklungen. Mit Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen von rund 5 Mrd. Euro liegt die Chemie auf Platz fünf der forschungsintensiven Industrien in Deutschland, hinter dem Fahrzeugbau, der Elektroindustrie, dem Maschinenbau und der Pharmaindustrie [8]. International gilt sie als eine der forschungsintensivsten innerhalb der hochentwickelten Chemienationen [9].

Nachhaltigkeit in der Chemie

Seit Jahren unternimmt die chemische Industrie große Anstrengungen, die Energie- und Ressourcenintensität zu minimieren. Beispielsweise konnte die Energieintensität seit dem Jahr 1990 mehr als halbiert werden, liegt aber immer noch deutlich über dem Durchschnitt des verarbeitenden Gewerbes. Darüber hinaus gelang es, die Abfallmenge in der chemischen Industrie drastisch zu senken. Heute werden 98% der Rohstoffe in der Produktion verwertet. [10] Weitere

Anstrengungen zur Ressourcenoptimierung führen nach Einschätzung des VCI bis 2030 zu einer relativen Entkopplung des Ressourcenverbrauchs. Absolut gesehen wird der Rohstoffverbrauch der chemischen Industrie jedoch weiter ansteigen [5]. Bioökonomische Fragestellungen finden bisher im Zuge von Nachhaltigkeitsinitiativen, beispielsweise der Initiative „Chemie³“, Eingang in die strategischen Ziele der chemischen Industrie in Deutschland [11]. Sie ist nicht nur aus Kostengründen, sondern auch aus Nachhaltigkeitsüberlegungen um effiziente Ressourcennutzung bemüht. Die Chemieindustrie befürchtet allerdings, dass die Wettbewerbsfähigkeit verzerrt werden könnte, wenn nicht ähnlich hohe Umweltauflagen wie in Deutschland auch global angewandt werden [12].

Biobasierte Verfahren in der Chemie

In der traditionellen Wirtschaftsweise werden in Deutschland die chemischen Grundstoffe über eine Aufspaltung von Erdölfraktionen in sogenannten Steam-Crackern gewonnen. Im Jahr 2011 wurden dabei ca. 19 Mio. Tonnen fossile Rohstoffe verarbeitet. Die chemische Industrie nutzte damit rund 15% des insgesamt in Deutschland verbrauchten Erdöls zur stofflichen Verarbeitung. [2] Nachwachsende Rohstoffe, vor allem Stärke, Zucker, Cellulose, Öle und Fette werden häufig zu Enzymen, Aminosäuren, Vitaminen, Feinchemikalien oder Kunststoffen verarbeitet. Neue Anwendungs- und Produktionsfelder kommen aus der Bionik, beispielsweise in Form von biomimetischen Oberflächenbeschichtungen für schmutzabweisende Farben. Neben technischen Produktverbesserungen spielt die Einsparung von Prozessschritten, Energie oder Treibhausgasen eine wesentliche Rolle für den Einsatz biobasierter Verfahren und die Verwendung nachwachsender Rohstoffe.

Wichtig für den Einsatz heimischer nachwachsender Rohstoffe oder Abfallstoffe ist neben der Logistik ihre gleichbleibende Qualität und gute Verfügbarkeit auch im jahreszeitlichen Wechsel. Neue Aufschlussverfahren (z. B. für Holz) könnten den Zugang zu lokalen Ressourcen erleichtern. Grundvoraussetzung hierfür ist, dass diese ökonomisch sinnvoll und nachhaltig nutzbar sind.

Herausforderungen für die Bioökonomie

Auf dem Weg zu einem umfassenden Rohstoffwandel ergeben sich folgende Herausforderungen.

- **Etablierung neuer Verfahren:** Die fossil-basierte etablierte Produktion bietet unter den gegebenen Rahmen-

Exkurs: Biokunststoffe

Traditionell wird Plastik aus Erdöl hergestellt. Heute lässt sich jedoch fast jeder Kunststoff auch mit biobasierten Rohstoffen erzeugen. Tatsächlich ist die Herstellung von Biokunststoffen eines der erfolgreichsten Beispiele eines bioökonomischen Prozesses. Die führenden Getränkehersteller haben weltweit bereits mehr als 10 Milliarden Flaschen aus biobasierten Kunststoffen verkauft. Sie bestehen hauptsächlich aus PET (Polyethylenterephthalat), das wiederum zwei Komponenten im Verhältnis 70:30 enthält. Die 30%-Komponente (Monoethylenglycol) kann bereits heute aus Bioethanol hergestellt werden. Es wird daran gearbeitet, auch die 70%-Komponente biobasiert zu produzieren. Nur durch entsprechende Informationen auf den Verpackungen (Labels) kann der Kunde erkennen, ob es sich um biobasierte Kunststoffe handelt, denn der traditionelle und der neue Kunststoff sind chemisch identisch – lediglich die Art der verwendeten Rohstoffe unterscheidet sich. Dass Biokunststoffe als erfolgversprechend eingestuft werden, liegt auch daran, dass es effiziente biotechnologische Verfahren für Plattformchemikalien gibt, die erdölbasierte Rohstoffe ersetzen können. Eine davon ist Bernsteinsäure, die bereits 2014 mit einer Produktionskapazität von mehr als 50.000 Tonnen pro Jahr aus Mais, Stärke oder Lignocellulose großtechnisch hergestellt wird. Hierbei wird nicht nur Energie, sondern auch Kohlendioxid eingespart. In einigen Fällen ist die Produktion gar emissionsneutral. Die Parameter der Nachhaltigkeit sind jedoch vom Standort und dem jeweiligen Energiemix abhängig. Sie müssen mit Lebenszyklusanalysen überprüft werden. [13]

bedingungen meist Kostenvorteile und bessere Margen im Vergleich zu einer neu zu etablierenden biobasierten Produktion. Es fehlt somit ein ökonomischer Anreiz, um in die Entwicklung von umweltfreundlicheren, biobasierten Produkten und Verfahren zu investieren.

- **Umbau der entwickelten Infrastruktur:** In Deutschland existiert eine gewachsene und vorteilhafte Infrastruktur für die erdölbasierte Chemie, die sich in Crackern, Pipelines, Verbund- und spezialisierten Produktionsanlagen manifestiert. Diese Anlagen und die Nutzung von Stoffflüssen wurden über Jahrzehnte optimiert. Die Infrastruktur ist zumeist seit einigen Jahren abgeschrieben und daher hochprofitabel, die Prozessketten

sind etabliert. Ein Wechsel zu biobasierter Produktion ist mit großen Investitionen in neue Infrastruktur- und Produktionsanlagen verbunden. Diese Investitionen führen jedoch kurzfristig nicht zu steigenden Gewinnen und werden daher vom Kapitalmarkt nicht honoriert.

- **Skaleneffekte:** Im Bereich der Basischemikalien wird der Gewinn vor allem durch Skaleneffekte bestimmt. Für zahlreiche Chemikalien gibt es häufig nur eine „World-Scale-Anlage“. Um entsprechende biotechnologische Prozesse auf solche Produktionsskalen zu bringen, ist spezielles und bisher nur begrenzt verfügbares Know-how notwendig.
- **Biologisch-technische Herausforderungen:** Die Entwicklung von biotechnologischen Verfahren erfordert Spezialwissen in der Optimierung von Produktionsorganismen, der Fermentations- und Aufarbeitungungsverfahren sowie der Anwendungstechnik. Die Entwicklungszeiten sind gewöhnlich lang und die damit verbundenen Kosten und Aufwendungen hoch.
- **Fehlende Wertschöpfungsketten:** Landwirte und Agrarbetriebe begreifen sich bislang nicht als Rohstoff-Lieferanten oder Vorleistungsbetriebe der Chemieindustrie. Hier fehlen Ansätze für den Aufbau von Wertschöpfungsketten und Allianzen, die auch kleine und mittlere Unternehmen einbeziehen. Insbesondere ergeben sich Schwierigkeiten hinsichtlich der Heterogenität von Biomasse, die dezentral von meist kleinstrukturierten Landwirtschaftsbetrieben erzeugt wird und idealerweise aus Reststoffen besteht (Kaskadennutzung). Die Koordinationsaspekte in den Wertschöpfungsketten und die Aufbereitung dieser Biomassen als interessante Rohstoffcharge für die Chemieindustrie sind zum Teil noch ungeklärt.
- **Fehlende Finanzierungsmöglichkeiten:** Die mangelnde Verfügbarkeit von Wagniskapital, auch verursacht durch die in Deutschland fehlenden Abschreibungsmöglichkeiten für F&E-Investitionen, hat vor allem negative Auswirkungen auf die Innovationsleistung von kleinen und mittleren Unternehmen in Deutschland. Aufgrund ihrer geringen Eigenkapitalausstattung sind sie besonders abhängig von Investoren. Anders als in der pharmazeutischen Industrie ist der Markt für die Akquisitionen kleiner und mittlerer Unternehmen in der Chemie unterentwickelt. Die Möglichkeit, hohe Gewinne über Unternehmensverkäufe zu erzielen, ist jedoch ein Schlüsselreiz für Risikokapitalgeber.
- **Preise und Nachfrage:** Obwohl biologisch und biotechnologisch erzeugte Produkte unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit von Teilen der Gesellschaft verstärkt nachgefragt werden, sind viele Verbraucher bisher

nicht bereit, Premiumpreise für biobasierte chemische Produkte zu bezahlen. Zudem ist der bioökonomische Anteil an einer Produktion oder einem Endprodukt meist nicht auf den ersten Blick erkennbar, so dass eine erfolgreiche Vermarktung auch an Kommunikationshürden scheitern kann. Erste Konsumgüterkonzerne haben Kommunikationsaktivitäten in der Bioökonomie gestartet, mit dem Ziel, Produkte aus biobasierter Produktion sichtbar zu machen und sich so im Wettbewerb zu differenzieren.

Fazit

Der Chemiesektor ist von wenigen Großunternehmen dominiert. Diese nehmen die Bioökonomie noch nicht als zentrales Innovations- und Wachstumsthema wahr. Elemente der Nachhaltigkeitsdebatte können jedoch als Teil einer Bioökonomiestrategie gesehen werden. Die Größe der Unternehmen, eine gute Nachfrage, die nahezu optimalen Prozessbedingungen und das Verbundsystem auf einzelbetrieblicher und Branchenebene führen zu ständigen inkrementellen Verbesserungen bestehender Produkte und Prozesse auf der Grundlage fossiler Rohstoffe. Eine umfassende Transformation der Chemieindustrie hin zu einer „biobasierten Wirtschaft“ im Sinne der Abkehr von der Petrochemie ist derzeit allerdings nur schwer vorstellbar. [14] Angesichts der günstigen Entwicklung von Preisen und Fördermengen bei Erdgas (und zukünftig auch Rohöl) durch hydraulische Frakturierung erscheint in der Chemieindustrie mittelfristig gar eine Renaissance von fossilen Rohstoffen näherliegend als ein umfassender Wandel hin zu nachwachsenden Rohstoffen. Der Systemwandel zur biobasierten Wirtschaft ist gerade in Anbetracht der wirtschaftlichen Stärken und hervorragenden Strukturen in der deutschen Chemiebranche schwieriger als gemeinhin angenommen. Daher ist zu erwarten, dass biologische Verfahren in Großunternehmen nur dort zum Einsatz kommen, wo die biobasierten Produkte wirtschaftlicher in der Produktion sind, keine chemischen Äquivalente haben oder sich eindeutig durch verbesserte Eigenschaften im Markt differenzieren. Dies gilt sowohl für fermentativ hergestellte komplexe Moleküle wie z. B. Aminosäuren und Vitamine, als auch für die Ergänzung von einzelnen Syntheseschritten durch Biokatalyse, wo z.B. spezielle Selektivitäten erforderlich sind. Insbesondere die in Deutschland zahlreichen, mittelgroßen und kleinen chemischen Unternehmen, die anwender- oder konsumentennahe Produkte entwickeln und herstellen, nutzen bereits vermehrt biobasierte Verfahren. In diesem Bereich ist eine Intensivierung deutlich erkennbar.

Überlegungen zur deutschen Politik

Es stellt sich die Frage, wie die chemische Industrie in Deutschland die Bioökonomie verstärkt als Chance nutzen kann, um in Zukunft wettbewerbsfähig zu bleiben und nachhaltiger zu produzieren. Das Potential der Bioökonomie liegt nicht nur im bloßen Ersatz der Rohstoffe, sondern besteht vielmehr darin, neue biobasierte oder bio-inspirierte Produkte mit verbesserten Eigenschaften zu entwickeln und zu vermarkten. Die zukünftige Wettbewerbsposition hängt entscheidend von der Nutzung dieses Innovationspotentials ab. Die klassischen Instrumente der Forschungs- und Technologieförderung als Basis dieser Innovationen müssen weiterentwickelt oder ergänzt werden. Bei der Ausgestaltung der Förderprogramme sollte verstärkt auf die Beteiligung von mittelständischen Unternehmen und Investoren abgezielt werden. Diese Maßnahmen übersteigen häufig den Handlungsrahmen einzelner Ministerien. Es gilt daher, verstärkt zu untersuchen, wie mutige und unkonventionelle unternehmerische Entscheidungsprozesse incentiviert und die Mobilisierung von investivem Kapital vorangetrieben werden können. Ein wichtiger Aspekt ist die frühe Einbeziehung der Gesellschaft in den Dialog zur Zukunftsfähigkeit des Landes und seiner ökonomischen Basis. Hierzu sind auch eine breitere Information und Kommunikation über den gesellschaftlichen Nutzen biobasierter Produkte und Verfahren und „Nudging“-Anreize für den Verbraucher notwendig [15]. Die Konsumenten sollten in die Lage versetzt werden, die Vorteile von biobasierten Produkte anhand von verständlichen Informationen und auf der Grundlage geprüfter Nachhaltigkeit zu bewerten, so dass ein „Market-Pull“-Effekt entstehen kann.

Quellen

- [1] Die Branchenkennzahlen zur chemischen Industrie beziehen sich auf das Jahr 2012. Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung NIW. (2013). Die chemische Industrie. Branchenanalyse.
- [2] VCI. (2014). Rohstoffbasis der chemischen Industrie.
- [3] Europäische Kommission. (2014). Towards a Circular Economy. A Zero-Waste Program for Europe. Com (398).
- [4] Oxford Economics. (2014). Evolution of competitiveness in the German chemical industry. Historical trends & future prospects. A report for VCI.
- [5] Verband der Chemischen Industrie VCI & Prognos (2013). Die deutsche chemische Industrie 2030.
- [6] Helaba Volkswirtschaft/Research. (2014). Branchenfokus. Deutsche Chemieindustrie vor Herausforderungen.
- [7] VCI. (2014). Chemiewirtschaft in Zahlen 2014. <https://www.vci.de/Downloads/Publikation/Chemiewirtschaft%20in%20Zahlen%202014.pdf>
- [8] CHEManager online. Chemie-, Pharma- und Biotech-Forschung in Deutschland. 14.10.2014. <http://www.chemanager-online.com/news-opinions/grafiken/chemie-pharma-und-biotech-forschung-deutschland>
- [9] VCI. (2013). Branchenporträt der deutschen chemisch-pharmazeutischen Industrie.
- [10] Verband der chemischen Industrie VCI. (2012). Factbook 05: Die Formel Ressourceneffizienz. Verfügbar unter: <https://www.vci.de>
- [11] Chemie3: Die Nachhaltigkeitsinitiative der deutschen Industrie. Verfügbar unter: <http://www.chemiehoch3.de>
- [12] VCI Stellungnahme zum 7. Umweltaktionsprogramm der EU im März 2013
- [13] Bioamber, http://www.bio-amber.com/ignitionweb/data/media_centre_files/804/Ontario_Canada_LCA_04.16.2013.pdf und FNR. (2014). Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe.
- [14] CHEManager Whitepaper (2014). Bedeutung von Mega-trends für den Geschäftserfolg. www.ChemPharmTrends.de
- [15] Bioökonomierat. (2014). Förderkonzept Lebensmittel, Ernährung & Gesundheit. Verfügbar unter: <http://biooekonomierat.de>

Weiterführende Literatur

- 1) Bioökonomierat. (2010). Berichte aus dem Bioökonomierat 04. Verfügbar unter: <http://biooekonomierat.de>
- 2) Efken et. al. (2012). Volkswirtschaftliche Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- 3) Nusser et. al. (2007). Potenzialanalyse der industriellen weißen Biotechnologie. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung.
- 4) VDI Technologiezentrum (2011). Biomasse – Rohstoff der Zukunft für die Chemische Industrie.