

# Chemische-, Pharmazeutische- und Kunststoffwirtschaft im Mitteldeutschen Revier und im Lausitzer Revier

## Sektorstudie

## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber:**

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

### **Kontakt:**

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116

04347 Leipzig

Tel. +49 (0)341 2434-112

E-Mail: [info@dbfz.de](mailto:info@dbfz.de)

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

### **Geschäftsführung:**

Prof. Dr. mont. Michael Nelles (wiss. Geschäftsführer)

Dr. Christoph Krukenkamp (admin. Geschäftsführer)

Das dieser Sektorstudie zugrunde liegende FE-Vorhaben „Modellregionen Bioökonomie im Mitteldeutschen Revier und im Lausitzer Revier (MoreBio)“ wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) unter dem Kennzeichen A STAB 19-185 durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor\*innen.

### **Autorin:**

Karoline Fürst

Die inhaltliche Erarbeitung der Sektorstudie wurde tatkräftig von Clara Hagedorn unterstützt.

### **Zitierempfehlung:**

Fürst, K., (2022): Chemische-, Pharmazeutische- und Kunststoffwirtschaft im Lausitzer Revier und im Mitteldeutschen Revier – Sektorstudie im Rahmen des MoreBio Projekts. DBFZ - Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH. Leipzig.

© Copyright: DBFZ 2022.

## Inhalt

Zusammenfassung	4
1. Einleitung	5
2. Methodisches Vorgehen und Datenquellen	12
3. Chemische, pharmazeutische und Kunststoffindustrie	15
3.1 Abgrenzung des Sektors	15
3.2 Aufkommen Rohstoffe	17
3.3 Wirtschaftliche Stellung	22
4. Potenzialbranchen	25
4.1 Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen und synthetischem Kautschuk	25
4.2. Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten	37
4.2 Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen	44
4.4 Herstellung von Chemiefasern	50
4.5 Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen	56
4.6 Herstellung von Kunststoffwaren	62
5. Ausblick und Handlungsempfehlungen	73
Literaturverzeichnis	75

## Zusammenfassung

Die Sektorstudie „Chemische, Pharmazeutische und Kunststoffindustrie im Mitteldeutschen Revier und im Lausitzer Revier“ liefert eine umfassende Informationsbasis für die Industriezweige Chemie, Pharmazie und Kunststoff. Gemäß Wirtschaftszweigklassifikation (2008) des Statistischen Bundesamtes gehören dazu die „Herstellung von chemischen Erzeugnissen“ sowie die „Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen“ und die „Herstellung von Kunststoffwaren“. Im Rahmen der Studie werden Strukturen, Herausforderungen und Innovationspotenziale der regionalen Branchen im Kontext der Bioökonomie herausgearbeitet sowie konkrete Innovationsansätze identifiziert. Dabei werden die Branchen der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie betrachtet, die in den Revieren von hoher Beschäftigungsbedeutung sind und/oder eine regionale Besonderheit darstellen und somit als Potenzialbranchen verstanden werden können. Die Chemie-, Pharmazie- und Kunststoffindustrie ist anteilig der Bioökonomie zuzuordnen, da die Rohstoffbasis nicht voll-ständig biobasiert ist. Fossile Rohstoffe sind weiterhin mit Abstand die wichtigste Rohstoffbasis. Der Anteil biobasierter Rohstoffe lag im Jahr 2020 bei etwa 13 Prozent.

Die chemische, pharmazeutische und Kunststoffindustrie ist in beiden Revieren durch international agierende Großunternehmen geprägt (Dow Olefinverbund Deutschland GmbH, Beiersdorf AG, BASF Schwarzheide GmbH). Gleichwohl komplettieren zahlreiche mittelständische und kleine Unternehmen das Bild dieser Branchen und besetzen Nischen mit zum Teil hochspezialisierten Verfahren. Im Lausitzer Revier waren 2019 in der Chemie- und Kunststoffindustrie 108 steuerpflichtige Unternehmen aktiv. Diese erwirtschafteten mit 9.300 Beschäftigten einen Umsatz von knapp 1,1 Mrd. Euro. Die Beschäftigtenzahl in der Lausitz stieg seit 2007 um etwa 1.000 (+12%). Die Herstellung von Kunststoffwaren ist in der Lausitz besonders ausgeprägt. In Mitteldeutschland lag der Umsatz der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie im Jahr 2019 bei rund 6,1 Mrd. Euro. Etwa 195 Unternehmen waren in den Branchen aktiv und boten 16.300 Arbeitsplätze. Seit 2007 verzeichneten die Branchen in Mitteldeutschland einen Beschäftigungszuwachs um etwa 2.600 Personen (+19%). Die Herstellung chemischer Erzeugnisse ist in Mitteldeutschland besonders ausgeprägt. Im Kontext der regionalen Transformation sind die Chemie- und Kunststoffwirtschaft wichtige Leitbranchen.

Die Chemie-, Pharmazie- und Kunststoffindustrie ist äußerst energieintensiv. Steigende Energiekosten zählen, ebenso wie steigende Rohstoffpreise, zur größten Herausforderung der Branche. Daneben ist die Abhängigkeit von wenigen importierten fossilen Rohstoffen ein Risikofaktor der Grundstoffherzeugung. Um alternative Technologien zur Herstellung von biobasierten oder recycelten Chemikalien in Bioraffinerien umzusetzen, sind hohe Investitionssummen nötig. Vertreter\*innen aus weiterverarbeitenden Unternehmen der Branche können bisher nur auf wenige bio-basierte, umweltfreundliche Alternativen zurückgreifen. Zudem beschreiben Branchenvertreter\*innen die Arbeits- und Fachkräftesituation als kritisch. Dies betrifft vor allem technische Berufe und Bereich der Mechatronik, elektrische Betriebstechnik und Kunststoffherstellung etc. Außerdem beeinflusst der rechtliche Rahmen die Branchen maßgeblich. Neue Anforderungen sind mit hohem bürokratischen Aufwand verbunden.

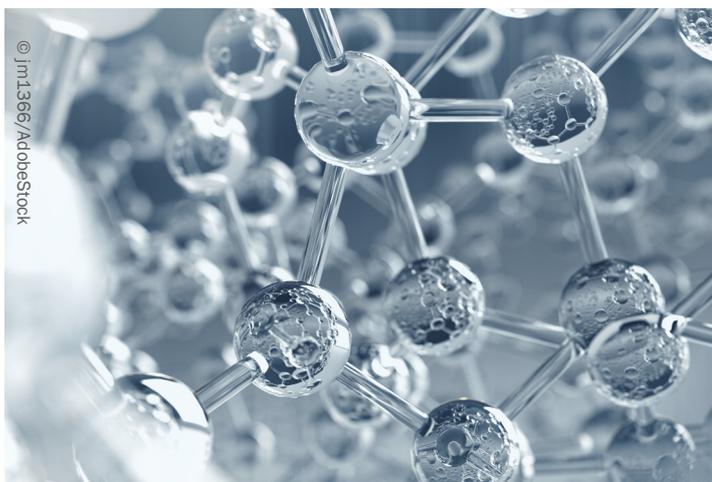
Eine Defossilisierung der chemischen Grundstoffproduktion adressiert sowohl die Rohstoff- als auch die Energiewende und dient dem übergeordneten Ziel der Klimaneutralität. Nachhaltigkeit ist neben der Digitalisierung und der Automatisierung ein zentrales Entwicklungsthema der Branchen. Petrochemische Produkte sollen so lange wie möglich im stofflichen Kreislauf erhalten bleiben, um signifikante Abfallmengen wie auch Treibhausgasemissionen zu vermeiden. Für Unternehmen kann die Verantwortung für Produktzirkularität Herausforderung und Chance zugleich sein. Zur Umsetzung der Prinzipien der „Grünen Chemie“ wird unter anderem auf den Einsatz künstlicher Intelligenz sowie die Stärkung biotechnologischer Prozesse gesetzt. Zudem sehen die Akteure die treibhausneutrale Gestaltung zentraler Wertschöpfungsketten als zentrales Handlungsfeld zur langfristigen Sicherung regionaler Standorte in Deutschland und Europa. Daher sind Branchenvertreter\*innen größtenteils umfassend über das Konzept „Bioökonomie“ informiert und damit verbundene Innovationspotenziale im Bilde.

## 1. Einleitung

### Zielstellung der Sektorstudie

Mit der Sektorstudie zur chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie werden zahlreiche Kennzahlen zur wirtschaftlichen Situation der Branchen im Mitteldeutschen und Lausitzer Revier präsentiert. Ziel ist es, die Strukturen, Potenziale, Herausforderungen und Gestaltungsoptionen in der Region im Kontext der Bioökonomie herauszuarbeiten. Darüber hinaus werden mit der Bioökonomie in Verbindung stehende Innovationspotenziale aufgezeigt sowie konkrete Innovationsansätze regionaler Akteure identifiziert. Im Ergebnis liegt eine umfassende Informationsbasis zur chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie in Mitteldeutschland und der Lausitz vor.

Betrachtet werden die Branchen, die in den Revieren hohe Bedeutung der Beschäftigung aufweisen und eine regionale Besonderheit darstellen – im Folgenden als „Potenzialbranchen“ bezeichnet. Dafür wurden jeweils wesentliche Akteure identifiziert, die Rohstoffbasis erfasst sowie neue, innovative Methoden und Ansätze im Kontext der Bioökonomie abgebildet. Nach der Einleitung wird in Kapitel 2 das methodische Vorgehen mit den zugrunde liegenden Datenquellen erläutert. Kapitel 3 beschreibt die gesamte chemische, pharmazeutische und Kunststoffindustrie hinsichtlich der Rohstoffe und wirtschaftlicher Stellung. Die identifizierten Potenzialbranchen auf Ebene der Reviere werden in Kapitel 4 detailliert beleuchtet. Die Sektorstudie schließt in Kapitel 5 mit branchenspezifischen Empfehlungen für die Entwicklung der Bioökonomie in den Regionen ab und ordnet die Empfehlungen in einem Ausblick ein.



Neue und bekannte chemische Moleküle sind Kernelemente für Innovationen der Bioökonomie.

### Räumliche und inhaltliche Abgrenzung

Die Sektorstudie ist im Rahmen des Projektes „Modellregionen Bioökonomie im Mitteldeutschen Revier und im Lausitzer Revier (MoreBio)“ im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) entstanden. Daher beziehen sich die Analysen auf das Lausitzer und das Mitteldeutsche Revier. Die Abgrenzung der Reviere folgt der Festlegung im Abschlussbericht der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2019). Demzufolge erstreckt sich das Mitteldeutsche Revier über drei Bundesländer. Dazu gehören die Landkreise Anhalt-Bitterfeld, Mansfeld-Südharz, Saalekreis, Burgenlandkreis und die kreisfreie Stadt Halle (Saale) in Sachsen-Anhalt, die Landkreise Nordsachsen und Leipzig sowie die Stadt Leipzig in Sachsen und das Altenburger Land in Thüringen. Dem Lausitzer Revier gehören die ostsächsischen Landkreise Bautzen und Görlitz sowie die südbrandenburgischen Kreise Elbe-Elster, Oberspreewald-Lausitz, Dahme-Spreewald, Spree-Neiße und die kreisfreie Stadt Cottbus an. Abbildung 1 zeigt die betrachteten Reviere.

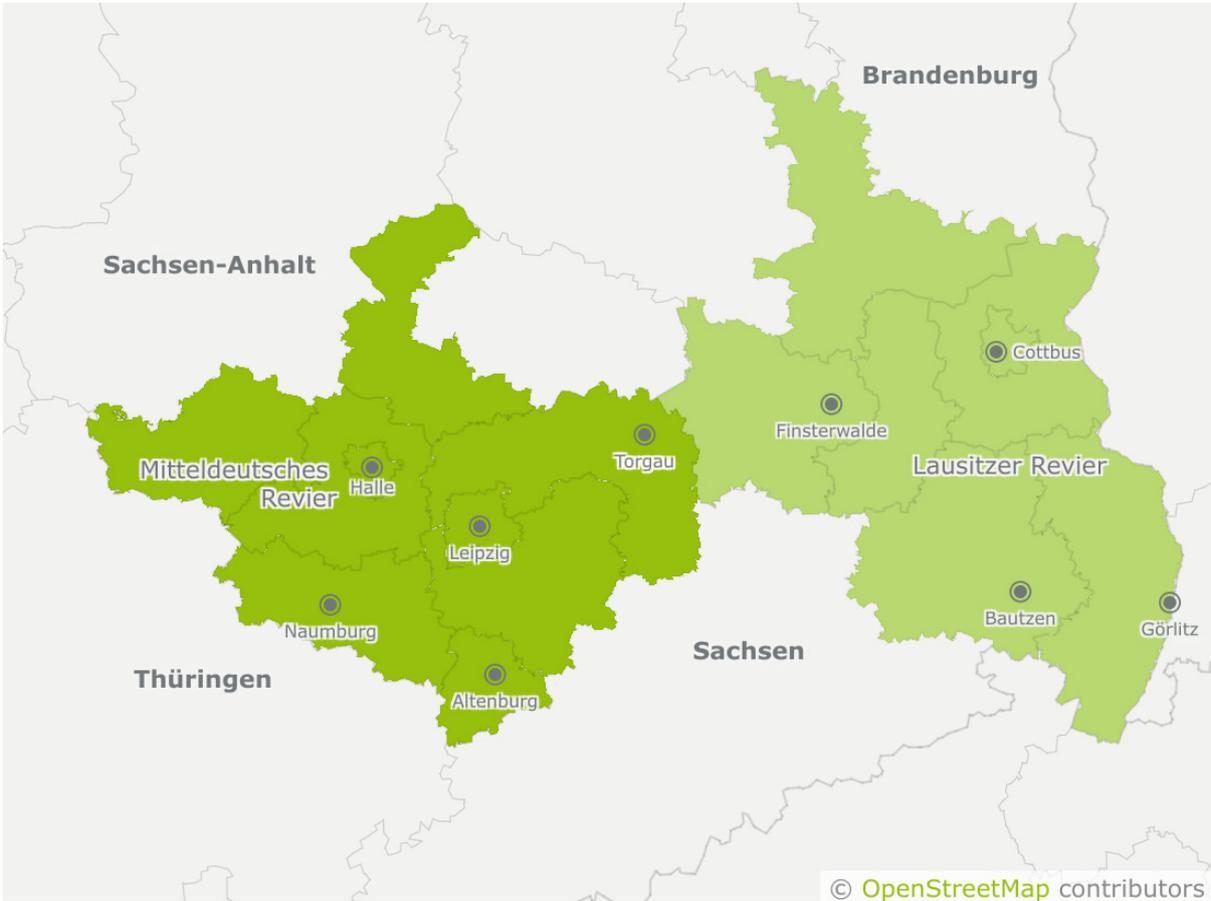


Abbildung 1: Übersicht zum Mitteldeutschen Revier und Lausitzer Revier.  
Quelle: eigene Abbildung.

Die inhaltliche Abgrenzung der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie basiert auf der Einordnung gemäß der Wirtschaftszweigklassifikation (2008) des Statistischen Bundesamtes. Berücksichtigt werden die Abteilungen C 20 „Herstellung chemischer Erzeugnisse“, C 21 „Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse“ sowie C 22 „Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren“. Detailliert analysiert werden die ausgewählten Potenzialbranchen, die in Tabelle 1 aufgezählt sind. Diese Branchen bestimmen die wirtschaftliche Struktur der Reviere durch hohe Beschäftigungsanteile und sind daher regionale Besonderheiten.

Potenzialbranchen der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffwirtschaft in den Revieren		
	Lausitzer Revier	Mitteldeutsches Revier
C 20		Herstellung chemischer Grundstoffe (C 20.1)
	Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kittlen (C 20.3)	
		Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemittel sowie Duftstoffe (C 20.4)
	Herstellung von Chemiefasern (C 20.6)	
C 21		Herstellung pharmazeutischer Grundstoffe (C 21.1)
C 22	Herstellung von Kunststoffwaren (C 22.2)	

Tabelle 1: Potenzialbranchen der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffwirtschaft in den Revieren.

## Die chemische, pharmazeutische und Kunststoffindustrie im Kontext der Bioökonomie

Die Bioökonomie gilt als zentrales Zukunfts- und Innovationsfeld, das ökologische und ökonomische Entwicklungen miteinander in Einklang bringt. Ihr Ausbau ist grundlegend für den Übergang von einem fossilbasierten hin zu einem biobasierten, nachhaltigen und an natürlichen Stoffkreisläufen orientierten Wirtschaftssystem. Vor diesem Hintergrund ergeben sich für das Mitteldeutsche und das Lausitzer Revier vielfältige Optionen, ihre wirtschaftliche Basis nachhaltig zu transformieren und eine biobasierte Wirtschaft strategisch zu forcieren.

Die Bioökonomie ist ein Querschnittskonzept, das vielfältige Branchen und Aktivitäten integriert. Das allgemeine Verständnis über dieses Konzept ist daher nicht immer eindeutig. Die vorliegende Studie orientiert sich an der Definition der Bundesregierung, die im Rahmen der Nationalen Bioökonomiestrategie ein systemisches Verständnis zugrunde legt (Bundesregierung 2020). Demnach umfasst die Bioökonomie die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, um im Rahmen eines zukunftsfähigen, kreislauforientierten Wirtschaftssystems Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren bereitzustellen.

Verschiedene Wirtschaftszweige können entweder vollständig oder anteilig der Bioökonomie zugeordnet werden. In Branchen, die vollständig der Bioökonomie angehören, werden ausschließlich biobasierte Ressourcen, Produkte und Verfahren generiert, genutzt oder gehandelt. Dazu zählen u.a. die Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, die Produktion von Lebensmitteln sowie die Holzwirtschaft. Hybride Branchen sind hingegen nur anteilig biobasiert. In diese Kategorie fällt die in dieser Studie betrachtete Chemie-, Pharmazie- und Kunststoffindustrie. Fossile Rohstoffe sind hier (noch) mit Abstand die wichtigste Basis. Der Anteil biobasierter Rohstoffe lag im Jahr 2020 bei etwa 13 Prozent. Laut Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) wurden 2020 in der chemischen Industrie in Deutschland 2,6 Mio. Tonnen biogener Rohstoffe verarbeitet (2018: 2,5 Mio. Tonnen). Im Zuge der Entwicklung einer klimaneutralen Wirtschaftsweise steigt auch die Bedeutung biogener Rohstoffe in dieser hybriden Branche.

	Branche	Anteil Bioökonomie in Prozent
<b>C 20</b>	<b>Herstellung chemischer Erzeugnisse</b>	<b>2,56 – 13,5</b>
C 20.1	Herstellung chemischer Grundstoffe	3,73 – 6,18
C 20.2	Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln	0
C 20.4	Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie Duftstoffen	2,56 – 13,5
C 20.6	Herstellung von Chemiefasern	0 – 13,5
<b>C 21</b>	<b>Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse</b>	<b>8,73 – 31</b>
C 21.1	Herstellung pharmazeutischer Grundstoffe	7,67 – 40
C 21.2	Herstellung pharmazeutischer Spezialitäten und sonstigen pharmazeutischen Erzeugnissen	8,95 – 30,75
<b>C 22</b>	<b>Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren</b>	<b>7,87 – 39,42</b>
C 22.1	Herstellung von Gummiwaren	36,57 – 40
C 22.2	Herstellung von Kunststoffwaren	1,63 – 40,84

Tabelle 2: Anteile der Branche aus chemischer, pharmazeutischer und Kunststoffindustrie an der Bioökonomie.  
Quelle: Brödner et al. 2021.

Für die ausgeprägte chemische Grundstoffherzeugung und Weiterverarbeitung zu Spezialchemikalien in den Revieren bietet die Bioökonomie daher ein hervorragendes Entwicklungs- und Transformationspotenzial. Die fossile Prägung des chemischen Sektors hat sich seit der Industrialisierung im Laufe des 20. Jahrhunderts immer mehr verstetigt. Mittlerweile sind Produkte der chemischen Industrie aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken – sei es in Form von Verpackungen, Teilen von Automobilen oder elektrischen Geräten, Waschmitteln, Holzschutzlacken oder Klebstoffen. Mit der Endlichkeit fossiler Rohstoffe und den Folgen des



Biotechnologische Methoden bereichern moderne Produktionsverfahren für chemische Erzeugnisse (z.B. bei der Verwendung von Inhaltsstoffen aus Algen)

Kohlenstoffdioxid-Ausstoßes auf das globale Klima besteht in diesem Sektor erheblicher Transformationsdruck. Dazu kann die Weiterentwicklung der Bioökonomie einen entscheidenden Beitrag leisten. Für die chemische, pharmazeutische und Kunststoffindustrie kommen verschiedene Biomassen, Rezyklate sowie Kohlenstoffdioxid als alternative Rohstoffquellen in Frage. Tatsächlich wünschen sich immer mehr Verarbeitungsbetriebe biobasierte Ausgangsstoffe zur Herstellung von beispielsweise Synthetikgummi, Reinigungsmitteln, Kosmetika oder Chemiefasern. Darin besteht eine globale Lücke für die Wertschöpfungskette (IV\_MB1733). Aus einer Rohstoffdiversifizierung und -regionalisierung ergibt sich daneben eine verminderte Abhängigkeit von volatilen, internationalen Märkten. Dazu ist auch der Aufbau regionaler Wertschöpfungsnetze essentiell. Die industrielle Güterproduktion kann dadurch nachhaltiger und negative Folgen für Mensch und Umwelt begrenzt werden.

Hohe Beschäftigungsanteile in der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie sind sowohl in Deutschland als auch in den Revieren Mitteldeutschland und der Lausitz zu verzeichnen. Im ostdeutschen Bundesgebiet wurde in den Branchen zwischen 2012 und 2018 ein Beschäftigungszuwachs von sechs Prozent verzeichnet (Verband der Chemischen Industrie e. V., Landesverband Nordost 2021). Besonders in Sachsen-Anhalt besteht mit dem Chemiedreieck zwischen Leuna, Bitterfeld und Schkopau sowie Böhlen eine starke Großindustrie, die für die Region strukturbestimmend ist. Die Abhängigkeit von der Mineralölindustrie birgt jedoch Risiken. Als Hauptabnehmerindustrie ist die Kunststoffverarbeitung auf Vorleistungen der chemischen Industrie angewiesen. Daneben liegen die Elektroindustrie, Automobilbranche oder die Papier- und Textilindustrie auf der Abnehmerseite. Die in dieser Sektorstudie mitbetrachtete Kunststoffverarbeitung zeichnet sich sowohl im Mitteldeutschen als auch im Lausitzer Revier durch eine besondere wirtschaftliche Charakteristik aus. Die Bioökonomie bietet daher die Chance, funktionierende wirtschaftliche Strukturen zu erhalten und den Wandel in den Regionen zu gestalten.

Zu technologischen Bausteinen der Bioökonomie zählen die Verarbeitung biobasierter Rohstoffe und Anwendung biologischer Verfahren. Vor allem für die Biomassennutzung betreiben einzelne Unternehmen bereits großindustrielle Anlagen, sogenannte Bioraffinerien. In Bioraffinerien können nachwachsende Rohstoffe aufbereitet und verarbeitet werden. Dazu werden die Polymere der Pflanzen zunächst zu Monomeren zerlegt und schließlich mit Hilfe von Mikroorganismen oder Enzymen zu Chemikalien umgebaut.<sup>1</sup>

Tatsächlich war die Herstellung von Chemikalien vor dem flächendeckenden Einsatz von Erdöl und Erdgas seit dem 20. Jahrhundert von nachwachsenden Rohstoffen geprägt. Beispiele da-

1 „Nachhaltige Bioraffinerien“, anschauliche Erklärung der BIOCUM AG unter: <https://biooekonomie.de/service/mediathek/nachhaltige-bioraffinerien>, zuletzt aufgerufen am 21.07.2022

für sind der Kunststoff Zelluloid auf Basis von Zellulose aus Holz, oder Terpentinöl aus Baumharz, das als Lösungsmittel verwendet wird. Pflanzenöl ist heutzutage der wichtigste erneuerbare, biogene Rohstoff in der chemischen Industrie, der sich vor allem in Tensiden, Lacken und Farben wiederfindet. Neben Fetten und Ölen kommen Industriezucker, -zellstoff und -stärke als biogene Rohstoffe zum Einsatz, beispielsweise in Chemiefasern oder Kunststoffen. Technologische Fortschritte für den Aufschluss und die Verarbeitung von Biomassen erlauben die Herstellung vielfältiger biobasierter Produkte. So



Nachwachsende Rohstoffe sowie Nebenprodukte und Reststoffe als neue Rohstoffbasis für die chemische Industrie

können auch Stroh, Holz, Biotreber oder Getreide die Basis für chemische Grundstoffe sein. Ziel ist damit auch die stärkere Verschneidung und Kooperation zwischen der Biomasseerzeugung in der Land- bzw. Forstwirtschaft einerseits und andererseits mit der Ernährungswirtschaft, wo weitere relevante Nebenprodukte und Reststoffe entstehen. Als biologisches Verfahren ist außerdem die Biotechnologie eine Kerntechnologie der Bioökonomie. In der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie werden mehr und mehr Produkte biotechnologisch mit Hilfe von Mikroorganismen oder deren Enzymen erzeugt. Die Nutzung dieser Biosystemleistungen von Bakterien, Pilzen, Algen oder Protozyten kann sich vorteilhaft auf Prozess- und Energieeffizienz sowie Umweltverträglichkeit der Verfahren auswirken.

In den „Zwölf Prinzipien der Grünen Chemie“ werden ebenfalls Kernelemente der Bioökonomie adressiert. Sie wurden Ende der 1990er Jahre von Paul Anastas und John Warner entwickelt und bilden den Leitrahmen für die Gestaltung chemischer Produkte und Prozesse. Die Prinzipien beginnen bei den verwendeten Rohstoffen, beschreiben Effizienz und Sicherheit der Umwandlung bis hin zur Toxizität und biologischen Abbaubarkeit der Produkte und Reagenzien. Bislang sind viele Produkte der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie von einem Risikopotenzial begleitet. Trotz hoher Sicherheitsanforderungen in Labors und Produktionsstätten können Chemikalien auch aus Reinigungsmitteln, Kunststoffen, Textilien usw. nach und nach in die Umwelt gelangen. Zu den zwölf Grundsätzen zählen u.a. die Vermeidung von Abfall, die Nutzung von Katalysatoren und energieeffiziente Synthesen, der Umstieg auf umweltfreundliche Lösungsmittel und die Entwicklung bioabbaubarer Produkte. Auch die Nutzung nachhaltig erzeugter Energie spielt eine entscheidende Rolle (Anastas und Warner 2000). In der chemischen Industrie wurde 2019 ein Drittel des Energiebedarfs des Verarbeitenden Gewerbes verbraucht (Umweltbundesamt 2022). Deshalb ist genau diese Bereitstellung „Erneuerbarer Energie“ ein entscheidender Baustein zur Etablierung der Bioökonomie.

Die Reviere bieten insgesamt gute Voraussetzungen für biobasiertes Wirtschaften. Mit einem Flächenanteil von 65 Prozent ist die Landwirtschaft im Mitteldeutschen Revier besonders ausgeprägt. In Bezug auf die Waldfläche liegt der Anteil im Lausitzer Revier über dem Durchschnitt in Deutschland. Damit ist eine sichere Basis für nachwachsende Rohstoffe aus der Region gegeben. Auch die Leder- und Textilindustrie sowie die Ernährungswirtschaft sind stark ausgeprägte Wirtschaftszweige der Bioökonomie in beiden Revieren. Zu Letzterem zählt u.a. die Herstellung von Bier im Lausitzer Revier, die Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln wie Zucker im Mitteldeutschen Revier sowie die Back- und Teigwarenherstellung, die Milchverarbeitung oder Schlachtereien und Fleischverarbeitung. Die chemische Industrie bietet das Potenzial, dort anfallende Nebenprodukte und Reststoffe mittels intensiver Kaskadennutzung weiterzuverarbeiten, um daraus neue Wertstoffe zu erzeugen.

Das Konzept der Bioökonomie ist Unternehmensvertreter\*innen der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie aus größeren Unternehmen weitestgehend bekannt. Die Bio-

ökonomiestrategie des Landes Sachsen-Anhalt und spezifische Fördermittelprogramme tragen zur Verbreitung der Thematik im mitteldeutschen Chemiesiedreieck bei. Vor allem in der Branche der Herstellung chemischer Grundstoffe und im Kunststoffbereich ist ein umfassendes Konzeptverständnis vorhanden (IV\_MB0090, IV\_MB1696, IV\_MB1697, IV\_MB1733, IV\_MB1116, IV\_MB1625, IV\_MB1682). Bei den chemischen Grundstoffen wird in dem Zusammenhang die globale Lücke für biobasierte Produkte angesprochen, die auf der wirtschaftlichen Monopolstellung der Ölraffinerien gründet. Der Kreislaufaspekt wiederum ist für die Kunststoffherstellung und -verarbeitung seit langem zentrales Arbeitsthema. Hierin sehen Akteure ebenfalls Potenzial für die Bioökonomie. Lediglich für Beschäftigte in kleinen und mittelständischen Unternehmen ist der Begriff der Bioökonomie noch größtenteils abstrakt und vergleichsweise unbekannt (IV\_MB1061, IV\_MB1089).



Für Vertreter\*innen der chemischen Industrie ist der Begriff „Bioökonomie“ kein Fremdwort

Für die Rohstoffwende in der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie kann die Bioökonomie einen entscheidenden Beitrag leisten. Damit werden wirtschaftliche Stärken und Wertschöpfungsketten in der Region erhalten, gefördert und erneuert. Vor dem Hintergrund des bevorstehenden Ausstiegs aus der Kohleverstromung kommt der Bioökonomie eine Schlüsselrolle für die Transformation der Braunkohlereviere Mitteldeutschland und der Lausitz zu.

### Trends und Herausforderungen

Das Kernthema Energie ist für die chemische, pharmazeutische und Kunststoffindustrie von besonderer Bedeutung, sowohl im Hinblick auf die Verfügbarkeit und Bereitstellung aus nachhaltigen Quellen als auch hinsichtlich der Preisentwicklung. Gleiches gilt für die Rohstoffbeschaffung. Die Abhängigkeit von internationalen Handelsbeziehungen und steigende oder stark schwankende Rohstoffpreise verunsichern die Unternehmen. Die Entwicklungen der jüngeren Vergangenheit, maßgeblich getrieben durch die Wirkungen der Covid-19-Pandemie sowie des Kriegs in der Ukraine, zeigen die Krisenanfälligkeit internationaler Lieferketten. Die infolge der steigenden Energie- und Rohstoffpreise erhöhten Produktionskosten sind ein branchenübergreifendes Problem (Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V.).

Die klassische, lineare Wertschöpfung mit dem Flaschenhals der Grundstoffherzeugung aus einer Handvoll Rohstoffen bietet ebenfalls Handlungsbedarf. Bestehende Großanlagen sind hochspezialisiert, laufen mit hoher Effizienz und sind fest in wichtige Produktionsketten integriert. Erst durch die hohen Produktionsmengen werden die Prozesse jedoch wirtschaftlich. Um alternative Technologien zur Herstellung von Chemikalien in einer Bioraffinerie umzusetzen, sind daher hohe Investitionssummen nötig. Im Vergleich zu biobasierten Alternativen oder Rezyklaten haben klassische, fossilbasierte Chemikalien noch immer einen Preis- und oft auch Qualitätsvorteil angesichts etablierter Verarbeitungswege. Vertreter\*innen aus weiterverarbeitenden Unternehmen der Branche können bisher nur auf wenige biobasierte, umweltfreundliche Alternativen zurückgreifen.

Zudem beschreiben Vertreter\*innen der Branchen die Sicherung der Arbeits- und Fachkräftebasis als Zukunftsfeld. Dies betrifft vor allem technische Berufe wie Mechatronik, elektrische Betriebstechnik oder Kunststoffherstellung, denn qualifizierte Fachkräfte sind in diesen Bereichen schwer zu finden. Im Arbeitsbereich der naturwissenschaftlichen Disziplinen verzeichnet die che-

mische, pharmazeutische Industrie leicht steigende Auszubildendenzahlen. An Spezialkräften mit höheren Bildungsabschlüssen mangelt es hingegen eher selten.

Durch Änderungen von Regularien und die Umsetzung komplizierter rechtlicher Vorgaben sehen sich Unternehmensvertreter\*innen mit großen Schwierigkeiten konfrontiert. Wahrgenommen wird oft eine mangelnde Einbindung von Verbänden und betroffenen Akteuren und Akteurinnen. Dies bezieht sich beispielsweise auf beschlossene und kommende gesetzliche Vorgaben im Zusammenhang mit dem Green Deal der Europäischen Union. Darauf basiert z.B. der Aktionsplan Kreislaufwirtschaft (Circular Economy Action Plan - CEAP).<sup>2</sup> Der Rezyklateinsatz in der Industrie soll damit gesteigert, Abfall vermieden und mehr biobasierte Ausgangsstoffe verwendet werden. Außerdem existiert seit 2020 die EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit (CSS).<sup>3</sup> Der Einsatz gefährlicher Chemikalien in Konsumgütern soll verboten werden. Synergieeffekte von Chemikalien untereinander müssen bei der Bewertung berücksichtigt und Investitionskapazitäten für Herstellung und Verwendung von sicheren Chemikalien gefördert werden. Die bereits 2007 in Kraft getretene Chemikalien-Verordnung „REACH“ (Registrierung, Evaluierung und Autorisierung von Chemikalien) und die seit 2008 geltende „CLP“ (Klassifizierung, Kennzeichnung und Verpackung – Classification, Labelling and Packaging) sowie weitere Vorschriften wie die Biozid-Verordnung werden damit reformiert. Ziel ist neben der Klimaneutralität der Schutz von Umwelt und menschlicher Gesundheit. Dieser rechtliche Rahmen beeinflusst die Arbeit in der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffbranche maßgeblich. Neue Anforderungen sind oft mit einem hohen bürokratischen Aufwand verbunden. Neue Regularien erzeugen außerdem zunächst Unklarheiten und können Vorbehalte auslösen. Wichtig sind hier einerseits ein klarer und langfristiger politischer Kurs sowie andererseits unterstützende Beratungsangebote von Verbänden und Netzwerken.

In einigen Unternehmensstrategien ist neben der Digitalisierung und Automatisierung auch die Nachhaltigkeit zu einem zentralen Thema geworden. Für Chemieunternehmen kann die Verantwortung für Produktzirkularität gleichzeitig Aufgabe, Herausforderung und Chance sein. Zentrale Themen sind die Reorganisation der Prozesse Sammlung, Sortierung und Aufbereitung in Bezug auf das Recycling und die Etablierung neuer Methoden zur stofflichen Wiederverwertung (Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI) und Deloitte Touche Tohmatsu Limited („DTTL“) 2017). Zur Umsetzung der Prinzipien der „Grünen Chemie“ wird unter anderem auf den Einsatz künstlicher Intelligenz sowie die Stärkung biotechnologischer Prozesse gesetzt.

In Bezug auf nachhaltige Produkte wird auch das „Greenwashing“ als problematisch wahrgenommen. Mit irreführenden Aussagen zu Produkten über deren Ökobilanz oder Umweltverträglichkeit können Wettbewerbsvorteile erzielt werden. Genutzt werden u.a. unseriöse Labels, welche Aktivitäten zum Umweltschutz vorgeben oder unklare Definitionen beinhalten. Lediglich durch verstärkte Prüfung und Zertifizierung kann diesem Phänomen begegnet werden. Ein noch zu ratifizierender Beschluss der Europäischen Union sieht ab 2024 vor, dass Unternehmen die Auswirkungen ihrer Aktivitäten auf Mensch und Umwelt offenlegen sollen.

2 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098&from=EN>, zuletzt aufgerufen am 05.07.2022

3 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0667&from=EN>, zuletzt aufgerufen am 05.07.2022

## 2. Methodisches Vorgehen und Datenquellen

Die Erarbeitung der Sektorstudie der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie und die durchgeführten Analysen zu den spezifischen Potenzialbranchen stützen sich auf quantitative und qualitative methodische Ansätze, Primär- sowie Sekundärdaten. Tabelle 3 gibt einen Überblick zum methodischen Vorgehen und den im Kontext dieser Sektorstudie durchgeführten Analysen.

Analyse	Methoden	Datenquellen
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erfassung der Potenzialbranchen der regionalen Bioökonomie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beschäftigungsanalysen</li> <li>▪ Konzentrationsmaße</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Brödner et al. 2021: Beschäftigungsstrukturen und Potenziale der Bioökonomie in den deutschen Braunkohlerevieren</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung der Potenzialbranchen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sekundärdatenanalyse</li> <li>▪ Dokumentenanalyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Statistische Ämter des Bundes und der Länder</li> <li>▪ Bundesagentur für Arbeit</li> <li>▪ bestehende Studien</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mapping der regionalen Unternehmen der Potenzialbranchen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desktoprecherche</li> <li>▪ Dokumentenanalyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unternehmensdatenbanken der Länder, Informationen regionaler Akteure</li> <li>▪ Business Portale</li> <li>▪ bestehende Studien</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erfassung der Rohstoff- und Ressourcenbasis der Potenzialbranchen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sekundärdatenanalyse</li> <li>▪ Primärdatenanalyse</li> <li>▪ Dokumentenanalyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Statistische Ämter des Bundes und der Länder</li> <li>▪ Expert*innengespräche</li> <li>▪ bestehende Studien</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erfassung von Stoffströmen, Zukunftsthemen und Innovationspotenzialen, Herausforderungen etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Primärdatenanalyse</li> <li>▪ Dokumentenanalyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interviews mit Unternehmensvertreter*innen, Expert*innengespräche</li> <li>▪ Webseiten, Jahresberichte der Unternehmen</li> </ul>

Tabelle 3: Zusammenfassung des methodischen Vorgehens im Kontext der Sektorstudie der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffwirtschaft.

Die Erfassung der Potenzialbranchen, die im Rahmen der Sektorstudien detailliert beleuchtet werden, beruht auf Ergebnissen, die in der Studie „Beschäftigungsstrukturen und Potenziale der Bioökonomie in den deutschen Braunkohlerevieren“ (Brödner et al. 2021) veröffentlicht sind. Potenzialbranchen sind demnach biobasierte und teilweise biobasierte Branchen, die regional von hoher Beschäftigungsbedeutung sind und/oder eine regionale Besonderheit darstellen. Ihre Entwicklung und Stärkung kann ein wichtiger Bestandteil der regionalen Entwicklungspfade der Bioökonomie in den Revieren sein. Die Bestimmung der Potenzialbranchen basiert auf Daten sozialversicherungspflichtig Beschäftigter in bioökonomierelevanten Wirtschaftszweigen (gemäß Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008). Dazu wurden Branchen mit hoher Beschäftigungsrelevanz für die Bioökonomie und Branchen mit einer strukturellen Besonderheit in der Region ermittelt. Diese weisen einen überdurchschnittlichen Beschäftigungsanteil im Vergleich zu den Ostdeutschen Flächenländern auf, d.h. sie sind in den Revieren überdurchschnittlich bedeutend. Als Maß zur Bewertung der räumlichen Spezialisierung wurde der Lokalisationskoeffizient herangezogen. Die für die Reviere identifizierten Potenzialbranchen der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie sind nachfolgend aufgelistet und werden, mit Blick auf die Reviere, in der vorliegenden Sektorstudie detailliert beleuchtet.

- Herstellung von chemischen Grundstoffen (C 20.1) – Mitteldeutsches Revier
- Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kittungen (C 20.3) – Lausitzer Revier
- Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen (C 20.4) – Mitteldeutsches Revier
- Herstellung von Chemiefasern (C 20.6) – Lausitzer Revier
- Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen (C 21.1) – Mitteldeutsches Revier
- Herstellung von Kunststoffwaren (C 22.2) – Lausitzer Revier

Die Darstellung der wirtschaftlichen Relevanz der Potenzialbranchen auf Bundesebene sowie auf Ebene der Länder und Reviere wird auf Grundlage sekundärstatistischer Datenmaterialien durchgeführt. Dazu wurden primär die Angebote der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder genutzt und um Daten der Bundesagentur für Arbeit ergänzt sowie mit Daten und Ergebnissen aus bestehenden Studien verschnitten.

Zum Mapping der zu den Potenzialbranchen gehörenden Unternehmen in den Revieren wurde auf öffentlich zugängliche Datenbanken der Wirtschaftsfördereinrichtungen der Länder<sup>4</sup> zurückgegriffen. Die erzielten Informationen wurden mit Daten abgeglichen und ergänzt, die durch regionale Akteure (Landkreise, Kammern etc.) bereitgestellt wurden. Zudem wurden zur Unternehmensrecherche Business Portale (insbesondere das Portal [firmenwissen.de](https://www.firmenwissen.de)) genutzt und weitere, eigene Recherchen auf regionaler Ebene durchgeführt. Der Ansatz führte letztlich dazu, dass ein Großteil der aktiven und strukturbestimmenden Unternehmen einer Potenzialbranche auf regionaler Ebene identifiziert werden konnte. Er bietet jedoch nicht die Möglichkeit einer Vollerfassung aller Unternehmen.

Des Weiteren wurden im Rahmen der Sektorstudie leitfadengestützte Interviews mit Branchenexpert\*innen und Vertreter\*innen der Unternehmen der Potenzialbranchen geführt. Ziel der Interviews war es, beispielsweise die Rohstoff- und Ressourcenbasis der Unternehmen sowie anfallende Reststoffe und Nebenprodukte zu erfassen und zu quantifizieren, Zukunftsthemen und Innovationsfelder zu identifizieren und Entwicklungspotenziale sowie Herausforderungen von Unternehmen und Branchen zu beleuchten. Unternehmen wurden für Interviews angefragt, wenn diese im Kontext der regionalen Potenzialbranche große, strukturbestimmende Betriebe sind oder als kleine bzw. mittlere Unternehmen in spezifischen Marktnischen und Innovationsfeldern aktiv sind. Damit verfolgte die Auswahl der Interviewpartner das Ziel, die Breite einer Potenzialbranche hinsichtlich Größe, Bedeutung und Innovation abzubilden. Ferner konnten durch die Interviews auch Ergebnisse übergeordneter Studien für die regionale Potenzialbranche sowie eigene Rechercheergebnisse validiert werden. Insgesamt wurden im Rahmen der Sektorstudie der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie elf Interviews geführt. Eine hohe Interviewbereitschaft war bei Unternehmen aus Mitteldeutschland im Chemiedreieck festzustellen. Im Bereich Anstrichmittel und Kunststoffverarbeitung im Lausitzer Revier konnten aufgrund fehlender Bereitschaft keine Interviews durchgeführt werden. Pandemiebedingt wurden Interviews digital oder telefonisch geführt. Tabelle 4 bietet einen Überblick der im Rahmen der Sektorstudie der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie geführten Interviews.

4 Sachsen, Firmendatenbank der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH: <https://firmen.standort-sachsen.de/company/de/>; Brandenburg, Brandenburg Business Guide der Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH: <https://www.brandenburg-business-guide.de/de/karte>; Thüringen, Unternehmens- und Technologiedatenbank des Thüringer Clustermanagements: <https://www.cluster-thueringen.de/innovationsstrategie/partner-akteure/wirtschaft/>.

	Branche	Akteur	Einheit	Standort	Code
1	Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln	Produktionsbetrieb von Zucker	Geschäftsführung	Zeitz	IV_MB0080
2	Herstellung von chemischen Grundstoffen	Forschungsinstitut	Institutsleitung	Leuna	IV_MB0090
3	Herstellung von chemischen Grundstoffen	Bioraffinerie	Geschäftsführung	Leuna	IV_MB1696
4	Herstellung von chemischen Grundstoffen	Infrastrukturgesellschaft	Geschäftsführung	Leuna	IV_MB1697
5	Herstellung von chemischen Grundstoffen	Produktionsbetrieb von chemischen Grundstoffen	Bereichsleitung Forschung und Entwicklung	Schkopau	IV_MB1733
6	Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen	Produktionsbetrieb von Seifen, Wasch- und Reinigungsmitteln sowie Kosmetika	Geschäftsführung	Zittau	IV_MB1061
7	Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen	Produktionsbetrieb von Kosmetika	Geschäftsführung	Leipzig	IV_MB1089
8	Herstellung von Chemiefasern	Produktionsbetrieb von Filamentgarn	Bereichsleitung Forschung und Entwicklung	Guben	IV_MB1116
9	Herstellung von sonstigen chemischen Erzeugnissen	Produktionsbetrieb von Biokraftstoffen	Geschäftsführung	Leipzig	IV_MB1625
10	Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen	Biotechnologieunternehmen	Geschäftsführung	Leuna	IV_MB1682
11	Forschung und Entwicklung im Bereich Natur-, Ingenieur-, Agrarwissenschaften und Medizin	Forschungsinstitut	Wissenschaftliche*r Mitarbeiter*in	Potsdam	IV_MB1356

Tabelle 4: Im Rahmen der Sektorstudie der chemischen-, pharmazeutischen- und Kunststoffindustrie geführte Expertengespräche und Interviews.

### 3. Chemische, pharmazeutische und Kunststoffindustrie

#### 3.1 Abgrenzung des Sektors

Über die Klassifikation der Wirtschaftszweige ergibt sich die in Tabelle 5 dargestellte Übersicht für die chemische, pharmazeutische und Kunststoffindustrie.

ABSCHNITT C – VERARBEITENDES GEWERBE		
Abteilung	Gruppe	
20		<b>Herstellung von chemischen Erzeugnissen</b>
	20.1	<b>Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen</b>
	20.2	Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln
	20.3	<b>Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitt</b>
	20.4	<b>Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen</b>
	20.5	Herstellung von sonstigen chemischen Erzeugnissen
	20.6	<b>Herstellung von Chemiefasern</b>
21		<b>Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen</b>
	21.1	<b>Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen</b>
	21.2	Herstellung von pharmazeutischen Spezialitäten und sonstigen pharmazeutischen Erzeugnissen
22		<b>Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren</b>
	22.1	Herstellung von Gummiwaren
	22.2	<b>Herstellung von Kunststoffwaren</b>

Tabelle 5: Abgrenzung des Sektors mit Klassifikation der Wirtschaftszweige; grau: wird in dieser Sektorstudie nicht detailliert betrachtet.

Die Basis bieten chemische Grundstoffe, aus denen nachfolgende Branchen Spezialprodukte erzeugen. Dadurch sind die einzelnen Sektoren dieser Studie, nämlich die Chemiewirtschaft, Pharmazie und Kunststoffherstellung, in der Wertschöpfungskette eng miteinander verknüpft. Abbildung 2 stellt diesen Zusammenhang dar. Ausgehend von fossilen (oder biogenen) Rohstoffen erfolgt zunächst deren Aufschluss durch physikalische, chemische oder biotechnologische Verfahren.

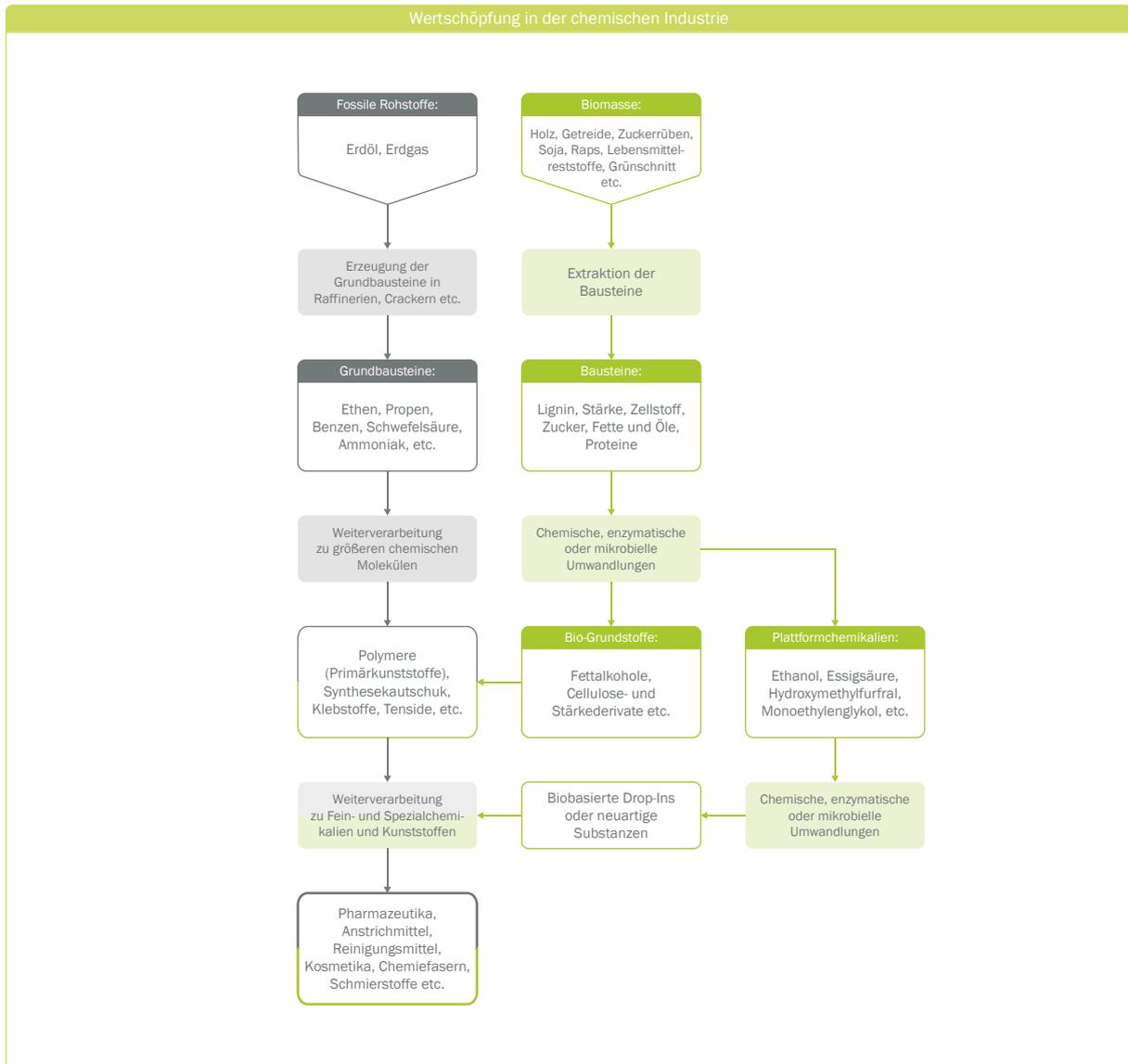


Abbildung 2: Wertschöpfung in der chemischen Industrie / grau: fossilbasiert; grün: biobasiert.  
Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020a.

Die daraus resultierenden chemischen Grundstoffe<sup>5</sup> bzw. Plattformchemikalien<sup>6</sup> können in nachfolgenden Verarbeitungsschritten zu einer Vielzahl unterschiedlicher Produkte umgewandelt werden. Die daraus resultierenden Spezialchemikalien sind z.B. Kunststoffe in Primärform, pharmazeutische Grundstoffe oder Komponenten für Anstrich- oder Reinigungsmittel. Anschließend erfolgt deren neuerliche Zusammensetzung und Weiterverarbeitung zu Produkten wie Farben, Pharmazeutika, Seifen, Kunststoffwaren oder Chemiefasern. Neben Erdöl und Erdgas sind gängige biobasierte Rohstoffe pflanzliche sowie tierische Öle und Fette (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020a). Der vermehrte Ersatz fossiler Rohstoffe durch biobasierte Rohstoffe wie z.B. Holz, Zucker oder Getreide kann durch die Erzeugung sogenannter Plattformchemikalien wie Hydroxymethylfurfural (HMF), Ethanol oder Monoethylenglykol (MEG) gelingen, wie ebenfalls in Abbildung 2 im grün markierten, unteren Syntheseweg beschrieben.

<sup>5</sup> Grundchemikalien sind vergleichsweise einfache chemische Verbindungen, die für die Synthese von anderen Chemikalien benötigt werden. Ihre Herstellung ist ein wichtiges und lukratives Teilgebiet vieler Chemieunternehmen. Die mengenmäßig wichtigsten organischen Grundchemikalien sind Ethylen, Propylen, Benzol und Methanol. Zu den wichtigsten anorganischen Grundchemikalien zählen Schwefelsäure, Ammoniak, Chlor und Salzsäure, Schwefelsäure, Phosphorsäure und Natriumhydroxid.

<sup>6</sup> Plattformchemikalien sind aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Grundchemikalien, die sich als Synthesebausteine für zahlreiche weitere Chemikalien eignen.

In den Revieren wurden auf Basis der Analyse von Beschäftigungsstruktur und Anteilen an der Bioökonomie folgende Potenzialbranchen identifiziert:

#### Lausitz:

- Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten (C 20.3)
- Herstellung von Chemiefasern (C 20.6)
- Herstellung von Kunststoffwaren (C 22.2)

#### Mitteldeutschland:

- Herstellung chemischer Grundstoffe (C 20.1)
- Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemittel sowie Duftstoffe (C 20.4)
- Herstellung pharmazeutischer Grundstoffe (C 21.1)

### 3.2 Aufkommen Rohstoffe

Die folgende Analyse der Rohstoff- und Ressourcenbasis für die chemisch-pharmazeutische Industrie knüpft an die Hauptrohstoffe in den Revieren und in Deutschland an. Die Daten wurden durch das Aufkommen potentiell relevanter biobasierter Rohstoffe ergänzt (Tabelle 7). Limitiert ist die Erfassung dadurch, dass bestimmte Daten statistisch nicht landkreisscharf erfasst werden. Darüber hinaus ist der direkte Vergleich zwischen Deutschland und den Revieren insofern begrenzt, als dass die Daten mitunter nicht aus denselben Bezugsjahren stammen. Für eine vollständige Stoffstromanalyse liegen spezifische Zahlen nur in unzureichendem Detailgrad vor. Gründe hierfür sind unter anderem die Geheimhaltung der Unternehmen sowie die Fülle relevanter Akteure. Die angegebenen Ressourcenpotenziale treffen verschiedene Grundannahmen, die jeweils den Datenquellen zu entnehmen sind. Deshalb ist die erarbeitete Datenbasis als Abschätzung zu verstehen.

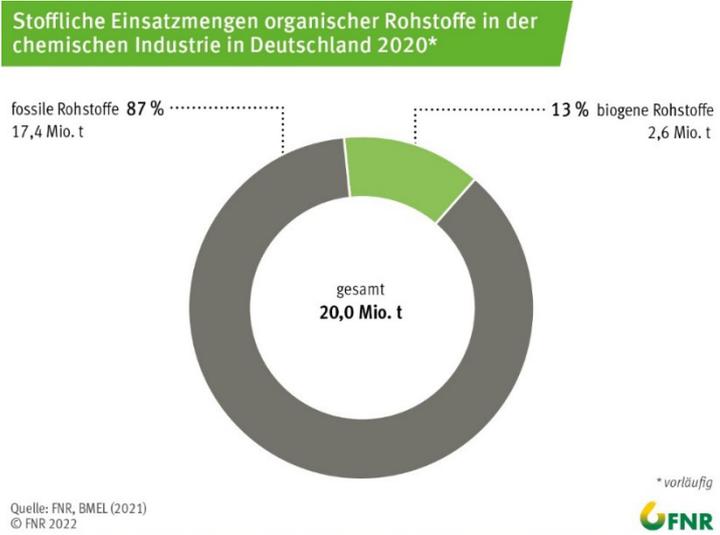


Abbildung 3: Anteil biogener Rohstoffe in der chemischen Industrie. Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

Die Ressourcenbasis der chemischen Industrie setzt sich neben Luft aus mineralischen und organischen Rohstoffen zusammen. Zu den mineralischen Rohstoffen zählen Salze und Metalle, die als Bodenschätze überwiegend im Ausland abgebaut werden. Die Hauptressourcenquelle für Produkte der chemischen Industrie sind organische Rohstoffe: fossilbasiert oder nachwachsend.<sup>7</sup> Im Jahr 2018 wurden in der chemischen Industrie in Deutschland rund 19,6 Mio. Tonnen solcher Rohstoffe verarbeitet. Etwa 13 Prozent davon, also 2,6 Mio. Tonnen, waren biobasiert. Der Rest entfiel auf die fossilen Rohstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020a). Zehn Jahre zuvor (2008) betrug der Gesamteinsatz organischer Rohstoffe in der chemischen Indus-

<sup>7</sup> „nachwachsend“, „biogen“ und „biobasiert“ werden im Text synonym verwendet für die Einordnung von Rohstoffen

trie 21,7 Mio. Tonnen, wovon ebenfalls 13 Prozent nachwachsende Rohstoffe waren (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2010). Der Importanteil nachwachsender Rohstoffe lag 2014 bei etwa 60 Prozent (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2015). Bezüglich der mineralischen und organischen Anteile (Salze, Metalle, Erdöl, Erdgas) der Rohstoffbasis wird deutlich, dass der Industriezweig generell auf ausgesprochen hohe Importraten angewiesen ist.

Verwendete Rohstoffe	2008 (1)	2011 (1)	2015 (3)	2018 (2)
Fossile Rohstoffe	18,5 Mio. t	18,7 Mio. t	19,8 Mio. t	17,0 Mio. t
Biogene Rohstoffe, davon	2,71 Mio. t	2,72 Mio. t	2,51 Mio. t	2,6 Mio. t
Fette und Öle	1.450.000 t	1.210.000 t	–	1.170.000 t
Stärke	–	187.000 t	–	257.000 t
Zucker	–	60.000 t	–	133.000 t
Chemie-Zellstoff	300.000 t	401.000 t	–	406.000 t
Proteine	24.000 t	139.000 t	–	87.000 t
Sonstige	525.000 t	591.000 t	–	505.000 t

Tabelle 6: Rohstoffbasis der vergangenen Jahre in der chemischen Industrie. Quelle: (1) (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2014b); (2) (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020a) (3) (Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS und isw Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung gemeinnützige Gesellschaft mbH 2017).

Wie der zeitliche Verlauf der eingesetzten Mengen über die Jahre 2008, 2011 und 2018 in Tabelle 6 zeigt, bewegt sich die Menge biologischer Rohstoffe um einen Wert von durchschnittlich 2,6 Mio. Tonnen. Deren Verteilung ist auch in Abbildung 4 dargestellt. Von den bisher eingesetzten biogenen Rohstoffen zählte knapp die Hälfte, also ca. 1,2 Mio. Tonnen, zu pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen. Die Entwicklung der vergangenen Jahre zeigt einen Rückgang des absoluten Einsatzes, allerdings ist der relative Anteil konstant bei etwa 50 Prozent der nachwachsenden Rohstoffe. Mehr als 30 Prozent dieser Öle und Fette wird zur Herstellung von Tensiden genutzt. Der Rest entfällt auf Lacke und Farben sowie auf Polymere, Polymeradditive oder Schmierstoffe. Fette und Öle werden auch in der Biodieselproduktion genutzt. Im Zeitraum zwischen 2003 bis 2007 kam es deshalb zu einer Verdreifachung des Bedarfs an Raps-, Soja- und Palmölen in der Industrie. Diese Verschiebung bewirkte einen Kostenanstieg für Öle im Nahrungsmittelsektor (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2015).

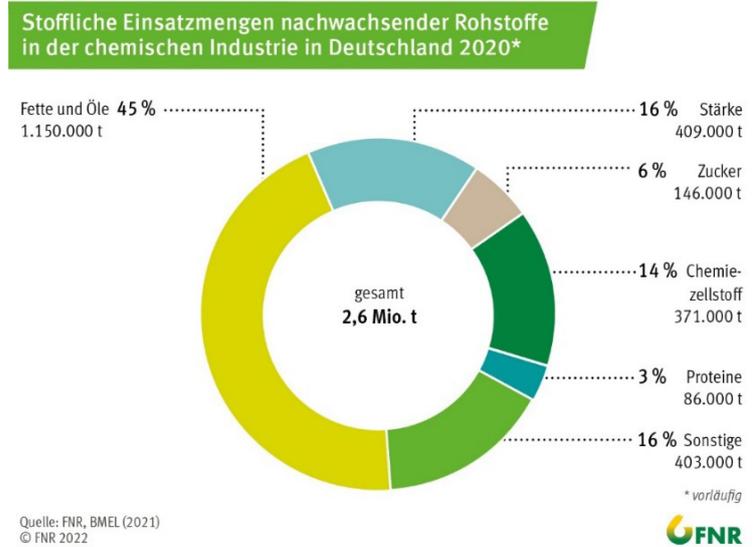


Abbildung 4: Verteilung des Einsatzes biogener Rohstoffe in der chemischen Industrie.

Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

Neben diesen Lipiden sind chemischer Zellstoff und Stärke bzw. Zucker relevante Rohstoffe aus nachwachsenden Quellen, die hierzulande eingesetzt werden. Zellstoff wird aus Holz hergestellt. Stärke und Zucker stammen aus Weizen, Kartoffeln, Mais oder Zuckerrüben. Neue Synthesewege für chemische Grundstoffe nutzen Stärke oder Zucker, um daraus Plattformchemikalien zu er-

zeugen. Wie über den petrochemischen Weg können daraus bekannte Kunststoffe oder Basischemikalien als Drop-In-Lösung oder völlig neue chemische Verbindungen hergestellt werden (Abbildung 2).

Holz kann in Zukunft für die chemische Industrie zu einem wichtigen Rohstoff werden. Besonders das Lausitzer Revier ist von einer starken Forstwirtschaft geprägt. Brandenburg verzeichnete 2018 ein Nadelholzaufkommen von 4,2 Mio. Kubikmetern und 0,6 Mio. Kubikmeter Laubholz. Insgesamt fielen 2016 im Lausitzer Revier 1 Mio. Kubikmeter Holz an. Im Mitteldeutschen Revier weist Thüringen ein ausgeprägtes Holzvorkommen auf, insbesondere für Laubholz mit 0,7 Mio. Kubikmetern sowie mit 2,7 Mio. Kubikmetern Nadelholz. Das Holzaufkommen im gesamten Revier 2016 betrug 0,7 Mio. Kubikmeter (DBFZ 2022). Etwa drei Prozent des nationalen Altholzaufkommens entfällt auf die Reviere. Insgesamt werden 80 Prozent des Altholzes energetisch genutzt (DBFZ 2022). Hauptinhaltsstoffe von Holz sind Zellulose, Hemizellulose und Lignin. Durch enzymatischen oder chemischen Aufschluss werden diese Stoffe voneinander getrennt und einzeln zu kleineren Molekülen abgebaut oder modifiziert. Ein solches Verfahren ist die Prozessgrundlage in der Bioraffinerie-Anlage von UPM Biochemicals GmbH in Leuna. Die Anlage befindet sich im Bau bis 2023 und soll ab dann 220.000 Tonnen Buchenholz verarbeiten können (IV\_MB1116).



Holz kann in Zukunft für die chemische Industrie zu einem wichtigen Rohstoff werden.

Weizen, Mais, Gerste oder Triticale sowie Kartoffeln zeichnen sich durch hohe Stärkegehalte aus. Der Hauptanteil der produzierten Stärke stammt in Deutschland mittlerweile überwiegend aus Weizen und Kartoffeln. Technische Stärke kommt in Deutschland vor allem aus Kartoffeln zum Einsatz. Noch 2006 betrug der Stärkeeinsatz in der chemischen Industrie 260.000 Tonnen (DECHEMA – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA) et al. 2010). Bis 2018 hat sich dieser Wert nur geringfügig verändert (Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft VGMS e.V. 2022). Stärke kann modifiziert, unverändert oder hydrolytisch gespalten verwendet werden. Wichtigste Anwendungsfelder finden sich (neben der Ernährungswirtschaft) in der Papier- und Textilherstellung als Kleber und Bindemittel oder modifiziert als Hilfsstoffe. Weitere Einsatzmöglichkeiten bietet die Kunststoffindustrie in Form von extrudierten Stärkepolymeren oder als Blends mit Polymilchsäure (PLA) oder Polyhydroxybutyrat (PHB). Solche Bio-Kunststoffe sind biologisch abbaubar. In der Pharmazie und Kosmetik kann Stärke als Füllstoff dienen.

Durch Fermentation von Stärke ergeben sich zahlreiche weitere Anwendungen über den nächsten wichtigen biogenen Rohstoff der chemischen Industrie: dem Zucker. Der Abbau von Stärke zu Zucker bzw. Glucose verläuft enzymatisch oder hydrolytisch. Aus Zuckerrüben kann Zucker aber auch direkt extrahiert werden. Durch Fermentation oder chemische Synthesen entstehen daraus neue Substanzen. 2006 wurden bereits 295.000 Tonnen Zucker zur Fermentation bei industriellen Anwendungen eingesetzt. Zucker in Form von Saccharose ist Ausgangsstoff für bioabbaubare Tenside oder Polyurethanschäume. Glucose kann mit Fettalkoholen ebenfalls zu Tensiden umgewandelt werden. Besonders für fermentative Prozesse der Biotechnologie ist Glucose neben Proteinquellen als Nahrung für Mikroorganismen bedeutsam. Mikroorganismen können Zucker beispielsweise zu biobasierten, bioabbaubaren Kunststoffen umsetzen. Aber auch Vitamine, Duft- und Aromastoffe sowie Aminosäuren und Enzyme lassen sich biotechnologisch erzeugen. Daneben basiert eine zunehmende Zahl der Pharmazeutika (Antibiotika, Hormone, Antikörper etc.) auf biotechnologischen Verfahren, bei denen Glucose als Quelle unerlässlich ist. Weiterhin lassen sich Plattformchemikalien als Ersatz für fossilbasierte Grundchemikalien aus Glucose herstellen.

Im Mitteldeutschen Revier existiert durch die ausgeprägte Landwirtschaft eine solide Rohstoffbasis, besonders beim Anbau von Weizen und Zuckerrüben. Diese dienen als Rohstoffquellen von Zucker und Stärke. In Zeitz werden in der Zuckerfabrik der Südzucker AG jährlich 220.000 bis 270.000 Tonnen Zucker aus 1,3 bis 1,7 Mio. Tonnen Rüben hergestellt (Südzucker AG 2019). Am Standort operiert zudem eine der größten Bioethanolanlagen Europas, die CropEnergies Bioethanol GmbH (Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft BDB 2019). Dort wird Bioethanol, Futtermittel und verflüssigtes Kohlenstoffdioxid durch en-



Zucker und Stärke aus z.B. Mais eignen sich zur Herstellung zahlreicher Chemikalien.

zymatische Hydrolyse und Fermentation aus Getreide hergestellt. Ausgangsstoffe können Weizen, Mais, Gerste oder Triticale sowie Koppelprodukte der Zuckerproduktion sein, wie Rohsaft, Dicksaft oder Melasse. Insgesamt werden in dieser Bioethanolanlage jährlich ca. eine Mio. Tonnen Rohstoffe verarbeitet, die aus einem Umkreis von maximal 300 Kilometern stammen. Auch die Tschechische Republik und die Slowakei gehören zum Einzugsgebiet (IV\_MB0080). Daneben verarbeitet die Bio Raffinerie der Verbio Vereinigte BioEnergie AG in Zörbig stärkehaltige Rohstoffe zu Bioethanol. Die Produktionskapazität betrug 2015 etwa 60.000 Jahrestonnen Bioethanol, wofür mehr als 200.000 Tonnen stärkehaltige Rohstoffe eingesetzt wurden (Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft BDB 2019). In den Folgejahren wurde diese Kapazität stetig erhöht auf inzwischen 260.000 Jahrestonnen (IV\_MB1625). Etwa die Hälfte des in Deutschland produzierten Bioethanols wird in Mitteldeutschland erzeugt. Ethanol ist als Kraftstoffbeimischung im Transportsektor von hoher Relevanz, wird aber auch als Plattformchemikalie, Lösungs- und Desinfektionsmittel in der chemisch-pharmazeutischen Industrie eingesetzt. Die Nutzungskonkurrenz von Bioethanol zwischen Transportsektor und Chemieindustrie kann durch den Ausbau der Elektromobilität sowie synthetische Kraftstoffe entschärft werden.

Der zunehmende Einsatz stärke- und zuckerhaltiger Primärrohstoffe in der chemischen und Kraftstoffindustrie wird auch von kritischen Stimmen begleitet. Konkurrenzen zur Lebensmittelherzeugung und Gefährdung der Versorgungssicherheit müssen vermieden werden. Daher sind inzwischen lignozellulosehaltige Biomassen sowie verschiedene Nebenprodukte, Rest- und Abfallstoffe von Interesse für die Rohstoffbasis. In der sogenannten „Zweiten Generation Biokraftstoffe“ wird mit Hilfe von Bakterien der Zelluloseanteil der Pflanzen aufgeschlossen. So können agrarische Reststoffe, Stroh, Altholz und andere minderwertige Holzreste genutzt werden. Insgesamt könnten laut Angaben der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) 20 bis 25 Prozent des Kraftstoffbedarfs mithilfe dieser Quellen gedeckt werden (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2014a).

Relevante Sekundärrohstoffe fallen in der Agrarwirtschaft (z.B. Stroh, Grünschnitt) oder der Ernährungswirtschaft (z.B. Treber, Trester, Rübenschnitzel, Melasse) an. Für eine höherwertige Nutzung kommt beispielsweise Getreidestroh in Frage. In den Revieren liegt dessen nutzbares Potenzial laut der Ressourcendatenbank des Deutschen Biomasseforschungszentrums gGmbH (DBFZ) bei mehr als 1 Mio. Tonnen Frischmasse, darunter 277.000 Tonnen im Lausitzer Revier und 795.000 Tonnen im Mitteldeutschen Revier (Kalcher et al. 2021). Die Verfügbarkeit von Stroh ist mit dem ausgeprägten Getreideanbau im Mitteldeutschen Revier verknüpft. Das Reststoffaufkommen in den beiden Revieren bietet somit vielfältige Potenziale, die Rohstoffbasis der regional verankerten chemischen Industrie weiter zu diversifizieren. Zu erwarten ist jedoch, dass die biogenen Rohstoffe auch vermehrten Nutzungskonkurrenzen unterliegen, z.B. für die Bauwirtschaft, die Automobilindustrie, Verpackungsherstellende und auch dem Bioenergiesektor. Zudem sind zur Mobilisierung

von Nebenprodukten oder Rest- und Abfallstoffen gesetzliche Rahmenbedingungen, logistische und qualitative Voraussetzungen unumgänglich.

Getreiderohstoffe wie Weizen, Mais und Kartoffeln, die als Futtermittel genutzt werden, könnten zukünftig ebenfalls ein Wertschöpfungspotenzial für die chemische Industrie bieten. Die Bindung dieser nachwachsenden Rohstoffe in der Tierernährung ist von hohem Energie- und Ressourcenverbrauch geprägt. Dazu zählen der landwirtschaftliche Anbau und Ernte sowie Lagerung, Transport und Verarbeitung sowie die biochemische Umwandlung im tierischen Organismus. In Deutschland werden jährlich 22,7 Mio. Tonnen Getreide als marktgängige Primärfuttermittel verfüttert (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2021). Eine Reduzierung der Tierbestände um ein Fünftel könnte demnach zur Bereitstellung von mindestens 4,5 Mio. Tonnen stärkehaltiger Biomasse führen.

Rohstoffe / Grundstoffe	Lausitz	Mitteldeutschland	D (Gesamtaufkommen)
Holzeinschlag	4,8 Mio. m <sup>3</sup> (1) (Brandenburg)	2,3 Mio. m <sup>3</sup> (1) (Sachsen und Sachsen-Anhalt)	64,6 Mio. m <sup>3</sup> (2)
Holz- und Forstwirtschaftliche Nebenprodukte	1,0 Mio. m <sup>3</sup> (1)	0,7 Mio. m <sup>3</sup> (1)	-
Altholz	Min. 0,15 Mio. m <sup>3</sup> (1)	Min. 0,2 Mio. m <sup>3</sup> (1)	13,3 Mio. m <sup>3</sup> (1)
Zuckerrüben	0,16 Mio. t FM (1)	1,3 Mio. t FM (1)	31,9 Mio. t (4)
Weizen	0,38 Mio. t FM (1)	1,7 Mio. t FM (1)	21,5 Mio. t (4)
Kartoffeln	0,07 Mio. t FM (1)	0,19 Mio. t FM (1)	11,3 Mio. t (4)
Silomais/Grünmais	1,8 Mio. t FM (1)	2,2 Mio. t FM (1)	105 Mio. t (4)
[Reststoffe aus der LM-Verarbeitung]	-	-	37 Mio. t FM (11)
Bioethanol	8.000 t (8) (Leppersdorf)	405.000 t (8) (Zeitz und Zörbig)	785.000 t (8)
Zucker	-	220.000 – 270.000 t (9)	Gesamt: 4,3 Mio. t Industrielle Verwendung: 263.000 t (10)
Getreide zur Mischfurtherstellung	180.000 t (5) (marktgängige)	150.000 t (6) (marktgängige)	Min. 11,7 Mio. t (7)
Stroh (Aufkommen technisches / mobilisierbares Potenzial)	0,36 Mio. t / 0,28 Mio. t FM (3)	0,91 Mio. t / 0,80 Mio. t FM (3)	18,7 Mio. t / 13,9 Mio. t FM (3)

Tabelle 7: Aufkommen biobasierter Rohstoffe für die chemische, pharmazeutische und kunststoffverarbeitende Industrie (FM: Frischmasse, m<sup>3</sup>: Holzeinschlag in Kubikmetern; Altholz in Kubikmetern feste Holzmasse). Quelle: (1) = (DBFZ 2022) (Daten von 2016); (2) = (Statistisches Bundesamt 2020a) (Daten von 2016); (3) = Kalcher et al. 2021 (Daten von 2018); (4) = (Statistisches Bundesamt 2022a) (Daten von 2021); (5) = IV\_MB0099 (6) = IV\_MB0069; (7) = Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2020a; (8) = Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft BDB 2019; (9) = Südzucker AG 2019; (10) = Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) 2022.

Zur Deckung des Bedarfs an Rohstoffen für die chemische Industrie wird neben Biomassen und auch die (Rückgewinnung und) stoffliche Nutzung von Kohlenstoffdioxid aus der Luft an Bedeutung gewinnen. Dabei wird Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff mittels elektrochemischer, photochemischer oder biochemischer Methoden zu chemischen Grundstoffen umgewandelt. Solche Verfahren erfordern ein hohes Maß an Energie und sind in keiner Großanlage etabliert. Daher bietet sich hier noch erheblicher Forschungsbedarf<sup>8</sup>. Schneller umsetzbar wird das umfangreiche Recycling als die dritte Säule der stofflichen Basis sein. Die stoffliche Wiederverwertung genutzter Produkte wird

<sup>8</sup> Streng genommen liegen hier keine biogenen Rohstoffe zugrunde. Lediglich die Nutzung biogener Systeme, wie der Mikroorganis-

bereits praktiziert. Produktdesign im Sinne des „Design-for-Recycling“-Konzepts sowie der Ausbau von mechanischem, chemischen Recycling und dem chemischen Upcycling bietet große Chancen für die Bioökonomie: zur Etablierung einer vernetzten Kreislaufwirtschaft, in der nachwachsende, neue Rohstoffe intelligent eingesetzt werden. Nur mit Hilfe dieser drei Inputströme – Biomasse aus Anbau oder Rest- und Abfallstoffen sowie Nebenprodukten, stoffliche Nutzung von CO<sub>2</sub>, Recycling – wird die Transformation der Rohstoffbasis für die chemische Industrie gelingen.

### 3.3 Wirtschaftliche Stellung

Deutschland hat im internationalen Vergleich eine starke chemisch-pharmazeutische Industrie. Im Jahr 2019 lagen die Umsätze bei 198 Mrd. Euro. Damit führt Deutschland die Liste der europäischen Länder an (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021). Hinsichtlich des Umsatzes sind die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz die bedeutendsten Standorte. Danach folgen Baden-Württemberg, Hessen und Bayern. Die pharmazeutische Industrie ist in Hessen, Berlin und Baden-Württemberg am stärksten besetzt.

Im Mitteldeutschen und im Lausitzer Revier beliefen sich die Umsätze der chemisch-pharmazeutischen Industrie insgesamt auf mehr als 6 Mrd. Euro, wobei davon etwa 90 Prozent auf das Mitteldeutsche Revier entfallen. Diese Ausprägung fußt auf der Ansammlung von mehreren Chemieparcs im Mitteldeutschen Revier, dem sogenannten „Chemiedreieck“, wozu mittlerweile mehr als drei Standorte gehören (Abbildung 5). Im Vergleich zu anderen deutschen Standorten ist die Konzentration von Betrieben, die Grundstoffe herstellen, hervorzuheben. Der bedeutendste Chemiepark der Region liegt in Leuna zwischen Halle und Leipzig und ist gleichzeitig der größte in Deutschland. Hier arbeiten in 142 Firmen über 10.000 Menschen auf einer Fläche von 1.300 Hektar (InfraLeuna GmbH 2021). Den Kristallisationskeim bildet die Erdölraffinerie, in der Produkte zur Energieerzeugung wie Heizöl und Treibstoffe hergestellt werden. In der Entschwefelungsanlage werden in Leuna die Erdölprodukte vom Schwefelwasserstoff befreit. Damit wird ein wichtiger Grundstoff zur Schwefelsäureerzeugung und Düngemittelherstellung zur Verfügung gestellt. Außerdem sind weitere Unternehmen der chemischen Grundstoffherzeugung und Herstellung sonstiger Chemikalien in Leuna ansässig. Das bei der Erdölraffination anfallende gasförmige Naphtha wird im nahegelegenen DOW ValuePark in Böhlen (südlich von Leipzig) zu weiteren chemischen Grundstoffen (Benzen, Toluol, Xylol, Propylen und Ethylen) umgesetzt. Erweitert wird der Standort Böhlen um den DOW ValuePark in Schkopau nördlich von Leuna, wo die Herstellung und Weiterverarbeitung von Primärkunststoffen zum Hauptgeschäftsfeld gehört. Der ValuePark Böhlen-Schkopau zählt 27 Unternehmen mit ca. 1.200 Mitarbeitenden auf 150 Hektar (ValuePark Dow Olefinverbund GmbH 2020). In den mitteldeutschen Chemieverbund reiht sich auch der Chemiepark in Bitterfeld-Wolfen ein mit etwa 11.000 Arbeitskräften und über 300 Unternehmen auf 1.200 Hektar (ChemiePark Bitterfeld-Wolfen GmbH ohne Jahr). Die Expertise liegt hier in der Herstellung chemischer Grundstoffe wie Chlor, Natriumhydroxid sowie Pharmazeutika, Fein- und Spezialchemikalien und der Kunststoffverarbeitung. Nicht zuletzt zu erwähnen ist der Gründerstandort in Zeitz (Elsteraue), der als nachhaltiger Chemiepark heranwächst. Um den Nukleus von CropEnergies Bioethanol GmbH und den Zuckerproduzenten Südzucker AG haben sich mehr als 50 weitere Unternehmen angesiedelt, wo etwa 1.000 Beschäftigte gezählt werden (Infra-Zeitz Servicegesellschaft mbH ohne Jahr). In Zeitz liegt ein Schwerpunkt auf der Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe.

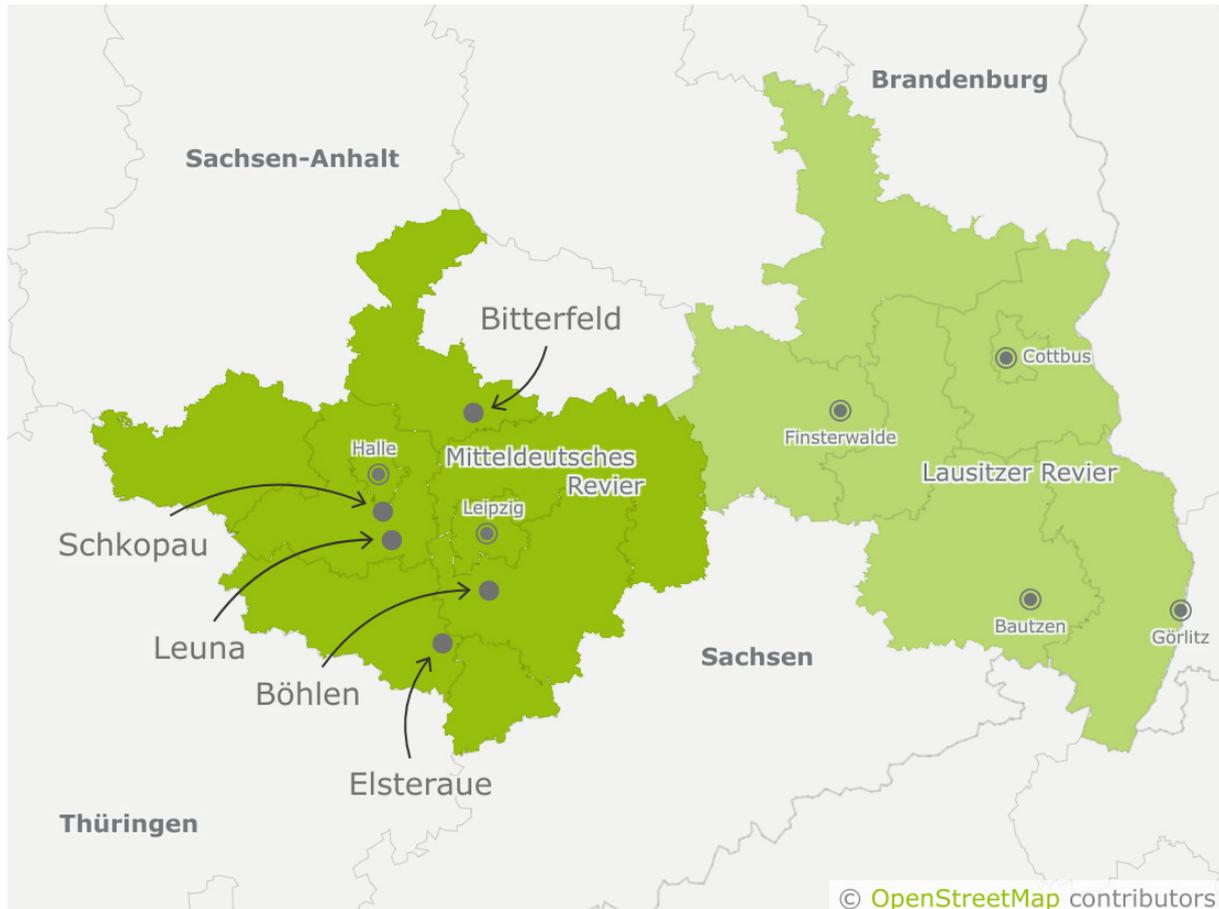


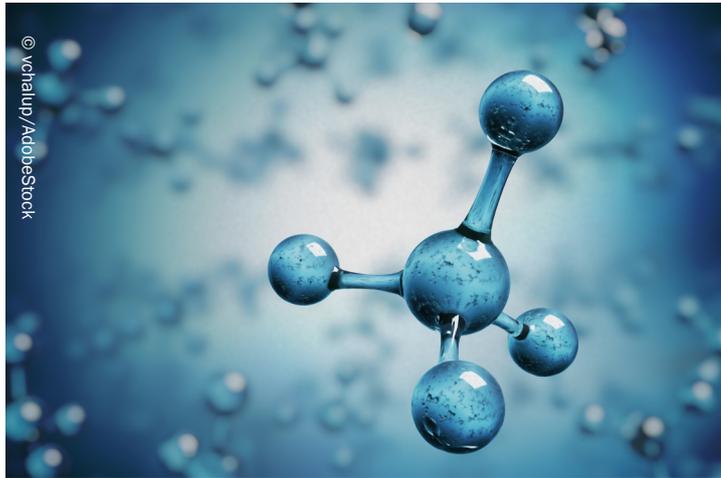
Abbildung 5: Chemiestandorte Leuna, Böhlen, Schkopau, Bitterfeld und Elsteraue im Chemiedreieck Mitteldeutschland.

Quelle: eigene Abbildung.

Zwischen Leuna, Böhlen, Schkopau, Bitterfeld und Zeitz besteht ein historisch gewachsener Stoffverbund. Die Rohöl- und Erdgaspipeline aus dem Ausland versorgt die Erdölraffinerie in Leuna. Von dort werden Naphtha und Wasserstoff zur thermischen Cracker-Anlage nach Böhlen geliefert. Die entstehenden Grundchemikalien (Ethylen, Propylen, Butadien etc.) fließen dann nach Bitterfeld und Leuna zurück. Mit den bestehenden Pipelines können erhöhte Transportanforderungen und -kosten für Chemikalien minimiert werden. Neben großindustriellen Betrieben profitieren besonders kleinere Unternehmen von der Vernetzung. Das Chemiedreieck Bitterfeld-Leuna-Böhlen war eines der ersten seiner Art, dass sich bis Mitte des 20. Jahrhunderts zu einem der wichtigsten Chemiestandorte in Deutschland entwickelt hat. Die Vorteile der räumlichen Nähe zwischen Erzeugern und Verbrauchern liegen in optimierter Logistik, Prozesseffizienz und Konzentration von Expertise und industriezweigspezifischen Standortanforderungen. Mittlerweile existieren in Deutschland 37 große Verbundstandorte und 60 kleinere Chemieparke. Das Konzept vom Chemiepark bzw. Industrieverbundstandort hat sich auch international durchgesetzt (Gehrke und Weilage 2018).

Im Verarbeitenden Gewerbe zählt die chemisch-pharmazeutische Industrie und die Kunststoffverarbeitung in Deutschland zu den wichtigsten Arbeitgebern. Insgesamt arbeiteten 2020 hier 892.000 Menschen in mehr als 12.300 Betrieben. Die Entwicklung der Beschäftigung ist seit 2008 konstant bis leicht positiv, besonders in der chemischen Industrie. Im Mitteldeutschen Revier ist die Beschäftigung in allen drei Wirtschaftszweigen besonders ausgeprägt. Etwa 16.700 Menschen waren 2020 in etwa 200 Betrieben tätig. Im Lausitzer Revier ist besonders die Kunststoffverarbeitung relevant, in der etwa 5.300 Menschen in 77 Betrieben beschäftigt waren. Daneben arbeiten im chemisch-pharmazeutischen Sektor weitere 4.300 Personen. Die Beschäftigung ist geprägt von Spezialisten und Fachkräften, wobei deutlich mehr Spezialisten in der chemisch-pharmazeutischen Industrie arbeiten als im Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes.

In der chemischen Industrie wird eine hohe Wertschöpfungstiefe erzielt. Aus wenigen Grundstoffen wird eine breite Produktpalette erzeugt. Diese reicht von Polymeren, Petrochemikalien, (an)organischen Grundchemikalien über Fein- und Spezialchemikalien, Wasch- und Körperpflegemittel bis hin zu Pharmazeutika und Medizinprodukten. Besonders organische Grundstoffe, Kunststoffe in Primärform, sonstige chemische Erzeugnisse und pharmazeutische Spezialitäten haben die höchsten Produktionswertanteile, da deren Menge (Kunststoffe) bzw. Verkaufswerte (Pharmazeutika) wertbestimmend sind.<sup>9</sup> Chemische Erzeugnisse werden unter anderem in der Verpackungs-, Automobil- oder Baubranche weiterverarbeitet. In der Kunststoffverarbeitung erwirtschafteten knapp 6.500 Betriebe in Deutschland 2019 Umsätze von 88 Mrd. Euro. Im Lausitzer und im Mitteldeutschen Revier ist daher eine regionale Besonderheit in der Kunststoffverarbeitung zu erkennen. In beiden Revieren wurden 2019 jeweils mehr als eine halbe Milliarde Euro umgesetzt.



In der chemischen Industrie wird aus wenigen Grundstoffen eine breite Produktpalette erzeugt.

Die Exportquote der chemischen Industrie rangiert mit etwa 65 Prozent deutlich über dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes (40-50%). Verantwortlich für den hohen Exportanteil sind pharmazeutische Spezialitäten, sonstige chemische Erzeugnisse, Kunststoffe in Primärform und organische Grundstoffe. Für Arzneiwaren beispielsweise übersteigt der Export den Import um das Doppelte. Für die Kunststoffverarbeitung hingegen ist der Inlandsmarkt von größerer Bedeutung; hier liegt der Auslandumsatz bei weniger als 40 Prozent (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021).

Wie eingangs erwähnt, ist der hohe Energiebedarf neben den Rohstoffpreisen Hauptkostenfaktor der chemischen, pharmazeutischen und Kunststoffindustrie. Die Energieintensität bezieht sich gleichermaßen auf Strom, Wärme und Dampf. Der Energieverbrauch der chemischen Industrie lag 2019 bei etwa 650.000 Terajoule (TJ). Das entspricht etwa einem Viertel des Energieverbrauchs des gesamten Verarbeitenden Gewerbes bzw. 36 Mio. Privathaushalten mit drei oder mehr Personen.<sup>10</sup> Davon entfielen ca. 182.000 TJ auf Strom und knapp 10.000 TJ Heizöl. Zur Energiezeugung wurden 425.000 TJ an Erdgas genutzt. Der Einsatz von Erdgas hat sich in den vergangenen zehn Jahren erhöht. Der Verbrauch an Kohle hingegen sinkt. 2019 wurden nur noch rund 31.000 Terajoule aus Kohle verbraucht, wohingegen es 2015 noch mehr als 55.000 Terajoule waren. Kohle spielt ohnehin nur in der chemischen, nicht in der pharmazeutischen Industrie eine Rolle (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021). Etwa 10 Prozent des Stromverbrauchs in Deutschland fließt in diesen Industriezweig. Daher werden Investitionen in energieeffiziente Systeme und Anlagen von den Unternehmen der Branche vorangetrieben. Ergänzend wird der Bezug von Energie aus erneuerbaren Quellen an den Verbundstandorten künftig an Bedeutung gewinnen (IV\_MB1697).

<sup>9</sup> Der Produktionswert setzt sich aus der eigenen Bruttowertschöpfung und den von anderen Unternehmen bezogenen Vorleistungen zusammen.

<sup>10</sup> Mit 5.000 kWh (= 18 GJ) durchschnittlichem Energieverbrauch eines 3- oder mehr-Personenhaushalts in Deutschland 2019 laut <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html>

## 4. Potenzialbranchen

### 4.1 Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen und synthetischem Kautschuk

#### Einordnung des Wirtschaftszweigs

In der Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008) ist die Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen<sup>11</sup> dem Verarbeitenden Gewerbe (Abschnitt C) und der Abteilung Herstellung von chemischen Erzeugnissen C 20 zugeordnet. Insgesamt sind sieben Unterklassen dieser Gruppe zugehörig: die Herstellung von Industriegasen (20.11.0), Farbstoffen und Pigmenten (20.12.0), sonstigen anorganischen und organischen Grundstoffen und Chemikalien (20.13.0 und 20.14.0), Düngemitteln und Stickstoffverbindungen (20.15.0) sowie die Herstellung von Kunststoffen und Kautschuk in Primärformen (20.16.0 und 20.17.0).

Der Produktionswert für den Wirtschaftszweig C 20.1 in Deutschland liegt bei etwa 59 Mrd. Euro.<sup>12</sup> Der Anteil am Produktionswert der chemisch-pharmazeutischen Industrie beträgt 43 Prozent, wovon knapp die Hälfte die Kunststoffe in Primärform (20.16) sowie sonstige organische Grundstoffe und Chemikalien (20.14) ausmachen (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021). Daran gemessen ist die Grundstofferzeugung das bedeutendste Teilgebiet der chemischen Industrie. Chemische Grundstoffe werden in großen Mengen produziert und sind Ausgangsstoffe für ein breites Anwendungsspektrum, wie der Herstellung von Spezial- und Feinchemikalien, Pharmazeutika, Gummi- und Kunststoffwaren, und sind daher die Basis für die chemisch-pharmazeutische Industrie. Vorgelagerte Schritte sind der Abbau mineralischer Rohstoffe und die Mineralölverarbeitung. Diese schließt die Raffination und Fraktionierung von Erdöl ein. Außerdem wird Erdgas und Kohle zu Naphtha und Synthesegas umgewandelt. Daraus entstehen danach die Grundchemikalien, die zu komplexeren Grundstoffen wie Synthetikautschuk, organischen Chemikalien oder Kunststoffen in Primärform umgewandelt werden. Wesentliche Abnehmer der Produkte aus der chemischen Grundstoffindustrie sind die Produktionsbetriebe von Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln, Anstrichmitteln, Seifen und Reinigungsmitteln sowie Kosmetika, Chemiefasern und sonstigen chemischen Erzeugnissen. Chemische Grundstoffe werden auch in der Gummi-, Kunststoff- und Metallverarbeitung weiterverarbeitet. Diese liefern ihre Erzeugnisse beispielsweise in die Landwirtschaft (Pflanzenschutz- und Düngemittel) und in weitere Zweige des Verarbeitenden Gewerbes wie die Baubranche oder die Automobilindustrie (Gehrke und Weilage 2018).

Der biobasierte Anteil der Herstellung chemischer Grundstoffe liegt aktuellen Schätzungen zufolge bei bis zu 6,2 Prozent. In den in dieser Sektorstudie betrachteten Potenzialbranchen handelt es sich um den niedrigsten Anteil (Brödner et al. 2021). Im Folgenden wird zur besseren Lesbarkeit der Wirtschaftszweig als „Herstellung chemischer Grundstoffe“ und deren Produkte allgemein als „chemische Grundstoffe“ bezeichnet.

<sup>11</sup> Im Folgenden als „Herstellung chemischer Grundstoffe“ bezeichnet.

<sup>12</sup> Der Produktionswert setzt sich aus der eigenen Bruttowertschöpfung und den von anderen Unternehmen bezogenen Vorleistungen zusammen.

C	VERARBEITENDES GEWERBE
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen
20.1	<b>Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen</b>
20.11.0	<b>Herstellung von Industriegasen</b> die Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von technischen und medizinischen Flüssig- oder Druckgasen (Elementargase, Flüssig- oder Druckluft, gasförmige Kühlmittel, Misch-Industriegase, Inertgase wie Kohlendioxid, Isoliergase)</li> </ul>
20.12.0	<b>Herstellung von Farbstoffen und Pigmenten</b> die Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von Farbstoffen und Pigmenten jeder Herkunft als Grundstoff oder Konzentrat</li> <li>• Herstellung von als fluoreszierende Aufheller oder Luminophore verwendeten Erzeugnissen</li> </ul>
20.13.0	<b>Herstellung von sonstigen anorganischen Grundstoffen und Chemikalien</b> Diese Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von chemischen Elementen mit Ausnahme von Industriegasen und Metallen</li> <li>• Herstellung anorganischer Säuren mit Ausnahme von Salpetersäure</li> <li>• Herstellung von Alkalien, Laugen und sonstigen anorganischen Basen (außer Ammoniak)</li> <li>• Herstellung sonstiger anorganischer Verbindungen</li> <li>• Rösten von Eisenkies</li> <li>• Herstellung von destilliertem Wasser</li> <li>• Anreicherung von Uran- und Thoriumerzen</li> </ul>
20.14.0	<b>Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien</b> Diese Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von organischen chemischen Grundstoffen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>– gesättigte und ungesättigte azyklische Kohlenwasserstoffe</li> <li>– gesättigte und ungesättigte zyklische Kohlenwasserstoffe</li> <li>– azyklische und zyklische Alkohole</li> <li>– Mono- und Polycarbonsäuren einschließlich Essigsäure</li> <li>– sonstige Verbindungen mit Sauerstoffgruppen einschließlich Aldehyden, Ketonen, Chinonen und Verbindungen mit zwei oder mehreren Sauerstoffgruppen</li> <li>– synthetisches Glycerin</li> <li>– organische Verbindungen mit Stickstoffgruppen einschließlich Aminen</li> <li>– Vergärung von Zuckerrohr, Mais oder ähnlichen Agrarerzeugnissen zur Herstellung von                 <ul style="list-style-type: none"> <li>– Alkohol und Estern</li> <li>– sonstige organische Verbindungen einschließlich Erzeugnissen der Holzdestillation</li> <li>– (z.B. Holzkohle) usw.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Herstellung von synthetischen Aromen</li> <li>• Destillation von Steinkohlenteer</li> </ul>

C	VERARBEITENDES GEWERBE
20.15.0	<p><b>Herstellung von Düngemitteln und Stickstoffverbindungen</b></p> <p>Diese Unterklasse umfasst:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von Düngemitteln (einfache oder zusammengesetzte stickstoff-, phosphat- oder kaliumhaltige Düngemittel, Harnstoff, natürliches Rohphosphat und natürliches Rohkalisalz)</li> <li>• Herstellung von verwandten Stickstoffprodukten (Stickstoff- und Sulfosäuren, Ammoniak, Ammoniumchlorid, Ammoniumkarbonat, Kaliumnitrite und -nitrate)</li> <li>• Herstellung von Gartenerde mit Torf als Hauptbestandteil</li> <li>• Herstellung von Gartenerdemischungen aus Mutterboden, Sand, Ton und Mineralen</li> </ul>
20.16.0	<p><b>Herstellung von Kunststoffen in Primärformen</b></p> <p>Diese Unterklasse umfasst:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von Kunststoffen in Primärformen: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Polymere, auch von Ethylen, Propylen, Styrol, Vinylchlorid, Vinylacetat und Acryl</li> <li>– Polyamide</li> <li>– Phenol- und Epoxidharze und Polyurethane</li> <li>– Alkyd- und Polyesterharze und Polyether</li> <li>– Silicone</li> <li>– Ionenaustauscher auf der Grundlage von Polymeren</li> </ul> </li> <li>• Herstellung von Zellulose und ihren chemischen Derivaten</li> </ul>
20.17.0	<p><b>Herstellung von synthetischem Kautschuk in Primärformen</b></p> <p>Diese Unterklasse umfasst:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von synthetischem Kautschuk in Primärformen (synthetischer Kautschuk, Faktis)</li> <li>• Herstellung von Mischungen aus synthetischem Kautschuk und Naturkautschuk oder kautschukähnlichen Gummiharzen (z.B. Balata)</li> </ul>

Tabelle 8: Eingrenzung und Hauptprodukte der chemischen Grundstoffherstellung.

### Wirtschaftliche Bedeutung in Deutschland

Im Jahr 2019 erwirtschafteten 1.249 Betriebe einen Umsatz von 107,5 Mrd. Euro. Beschäftigt waren hier 197.100 Personen. Bezogen auf Umsatz und Beschäftigung der gesamten chemisch-pharmazeutischen Industrie in Deutschland macht die Herstellung chemischer Grundstoffe (HCG) den größten Anteil aus. Innerhalb der Klasse „Herstellung chemischer Grundstoffe“ ist die Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien besonders bedeutsam (hinsichtlich Beschäftigung und Umsatz). Die Herstellung von Primärkunststoffen hat den höchsten Anteil an Betrieben.

Seit 2008 hat die Anzahl von Betrieben und Beschäftigten innerhalb der HCG leicht zugenommen. Getrieben durch den Hauptrohstoff Erdöl ist der Industriezweig stark von Konjunktorentwicklungen und volatilen Rohstoffmärkten abhängig. Die Bruttowertschöpfung in Relation zur Beschäftigtenzahl ist in der HCG enorm hoch und übersteigt mit 146.000 Euro im Jahr 2018 den Durchschnitt im Verarbeitenden Gewerbe und der chemischen Industrie deutlich (Nisser und Malanowski 2019).

Um chemische Grundstoffe wirtschaftlich zu produzieren sind hochtechnisierte Anlagen und große Produktionsmengen nötig. Daher ist die Branche durch Großunternehmen geprägt. In Deutschland konzentrieren sich diese in Nordrhein-Westfalen, Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. Die wichtigsten Akteure der chemischen Industrie sind unter anderem BASF SE (Ludwigshafen), Merck KgaA (Darmstadt), Covestro AG (Leverkusen), Lanxess AG (Köln). In Abgrenzung dazu befassen sich die Konzerne Wacker Chemie AG und Evonik Industries AG in Bezug auf deren Hauptbranche mit der Herstellung von sonstigen chemischen



In hochtechnisierten Anlagen von Chemieparks werden chemische Grundstoffe hergestellt

Erzeugnissen (C 20.59). Die Linde AG produziert insbesondere technische Gase. All diese Großkonzerne betreiben in Deutschland mehrere Standorte in unterschiedlichen Regionen. Außerdem sind in Deutschland die Tochtergesellschaften des US-Konzerns Dow bedeutende Player; darunter die Dow Deutschland Anlagengesellschaft mbH, Dow Silicones Deutschland GmbH und Dow Olefinverbund GmbH. Im Regelfall sind die Anlagen in größere Chemieverbundstandorte, sogenannte Chemieparks, integriert. In Deutschland existieren laut Verband der chemischen Industrie etwa 40 größere Chemieparks. Diese ballen sich insbesondere entlang der Rheinschiene in Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg sowie in Mitteldeutschland. Als historisch gewachsene Großstandorte sind die Chemieparks typischerweise in das europäische Pipeline-Netz für Rohöl, Ethylen und Propylen eingebunden. Darüber hinaus vernetzen Pipelines für Erdgas, Naphtha, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und technische Gase die Chemieparks. An Verbundstandorten werden zahlreiche Synergien ermöglicht, wie der wirtschaftliche Austausch von Rohstoffen. Damit einhergehen eine effiziente Produktion und nicht zuletzt auch die Zirkulation von Wissen und Expertise. Die Betreibergesellschaften der Chemieparks agieren als Dienstleister und organisieren chemie- und pharmatypische Infrastrukturen (Energie, Prozesswärme, Dampf, Kühlwasser, Entsorgung, Transportleistungen, Lagerplätze), begleiten die Ansiedlung neuer Unternehmen und bieten Services an zum Beispiel im Bereich Umwelt- und Baurecht etc. (IV\_MB1697).

Der Export chemischer Grundstoffe belief sich 2019 auf etwa 61,3 Mrd. Euro. Das entspricht 35 Prozent aller exportierten chemisch-pharmazeutischen Erzeugnisse. Hauptexportgüter sind organische Grundstoffe (Petrochemikalien und Derivate) und Kunststoffe in Primärform sowie sonstige anorganische Grundstoffe und Chemikalien. Der Importanteil ist hingegen vergleichsweise gering für chemische Grundstoffe insgesamt. Nur für organische Grundstoffe (Petrochemikalien und Derivate) und synthetischen Kautschuk übersteigt der Importwert den Exportwert deutlich (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021).

Wie die Chemieindustrie insgesamt ist die Herstellung chemischer Grundstoffe sehr energieintensiv. Der Aufschluss von Rohöl benötigt enorme Mengen an Energie, Dampf und Wärme. Die Preise für Erdgas, Rohöl, Kohle und Strom wirken daher ganz wesentlich auf die Unternehmen der chemischen Industrie ein. Eine Diversifizierung des Energiebezugs durch den Bau eigener Kraftwerke oder Nutzung von Systemen wie der Kraft-Wärme-Kopplung sind daher relevante Investitionen, um das Geschäftsrisiko mit Bezug auf die Energieversorgung zu minimieren. Neben den Rohstoff- und Strompreisen ist die Neufassung von Regularien im Energiebereich mit Planungsunsicherheiten für die Unternehmen verbunden (Gehrke und Weilage 2018).

Ferner ist für die Entwicklung einer nachhaltigen Chemie auch die Energieversorgung aus nachhaltigen Alternativen entscheidend. Produkte mit verbesserter Ökobilanz werden als Vermarktungsoption immer wichtiger (IV\_MB1696). Die Bereitstellung nachhaltig erzeugter Energie gewinnt für

die Ansiedlung von Unternehmen in Chemieparks neben der Flächenverfügbarkeit, der Anbindung an Infrastrukturen und Rohstoffverfügbarkeit zunehmend an Bedeutung: „Die Verfügbarkeit von „Grüner Energie“ an den Chemieverbundstandorten wird in Zukunft viel stärker in die Auswahlkriterien potentieller Investoren einfließen.“ (IV\_MB1696). Die Deckung des Energiebedarfs ist eine der Hauptaufgaben der Chemieparkbetreibergesellschaften. Im Chemiapark in Leuna werden jährlich rund fünf Mio. Megawattstunden (MWh) bzw. 18.000 TJ verbraucht. Die Hauptenergie erzeugt ein Gas-und-Dampf-Kombikraftwerk mit einer Kapazität zwischen 600 und 700 Megawatt (MW). Zur Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen ist eine Photovoltaik-Anlage auf dem ehemaligen Deponiegelände mit 45 MW geplant sowie eine Biogasanlage zur Nutzung biologischer Abwässer der Bioraffinerien mit acht MW (IV\_MB1697). Dennoch kann auch langfristig die enorme Nachfrage nach Energie an diesen Standorten nur durch die Nutzung von fossilen Energieträgern bedient werden: „Die benötigten Energiemengen der chemischen Industrie sind enorm. Der Ausbau der „Grünen Energie“ in Leuna entwickelt sich weiter, wird aber vorerst ein Randthema bleiben.“ (IV\_MB1697).

Produktinnovationen sind im Bereich der chemischen Industrie, im Vergleich zum gesamten verarbeitenden Gewerbe, von geringer Bedeutung (Nisser und Malanowski 2019). Ein komplexes Konstrukt aus hochspezialisierten Verarbeitungswegen und -technologien erzeugt die Grundstoffe für nachgelagerte Industrien aus einem einzigen Hauptrohstoff, dem Rohöl. „Innovationen“ fokussieren eher auf die Prozesse, insbesondere in den Bereichen Energieeffizienz- und Ausbeutesteigerung von Anlagen und Reaktionswegen und weniger auf den Austausch der Rohstoffe. Neue Produkte sind von geringer Bedeutung. Im Kontext der Substitution fossiler Rohstoffe steht die Transformation der chemischen Grundstoffindustrie vor einer enormen Herausforderung. Die Bioökonomie ist der Schlüssel auf diesem Weg. Dazu beitragen können auch die Prinzipien der „Grünen Chemie“. Festgeschrieben sind darin die Umstellung der Ressourcenbasis, Erhöhung der Ressourceneffizienz, die Reduktion des Einsatzes gefährlicher Stoffe und die Entwicklung ungefährlicher Chemikalien sowie die Erhöhung der Recyclingfähigkeit von Produkten bzw. deren Abbaumöglichkeit in der Umwelt sowie die Nutzung von Energie (Anastas und Warner 2000).

### **Wirtschaftliche Bedeutung in den Bundesländern und Revieren**

In den neuen Bundesländern befassen sich etwa 40 Prozent der 429 Unternehmen der chemischen Industrie mit der Herstellung chemischer Grundstoffe. Dieser Anteil ist höher als in den alten Bundesländern (Verband der Chemischen Industrie e. V., Landesverband Nordost 2021). Im sogenannten „Chemiedreieck“ zwischen Leuna (Merseburg), Schkopau und Bitterfeld-Wolfen in Sachsen-Anhalt konzentrieren sich Betriebe der HCG sowie nachgelagerter Verarbeitungswege. Allein 40 Unternehmen mit etwa 6.200 Beschäftigten werden in Mitteldeutschland diesem Wirtschaftszweig zugeordnet. Trotz eines geringen Bioökonomie-Anteil (zwischen 3,7% und 6,2%), handelt es sich um eine Beschäftigungsrelevante Potenzialbranche im Mitteldeutschen Revier (Brödner et al. 2021). Der Lokalisationskoeffizient von 2,09 zeigt, dass im Vergleich zu den ostdeutschen Flächenländern mehr als doppelt so viele Personen in Mitteldeutschland in der HCG beschäftigt sind. Gleichzeitig besteht in der Branche ein großes Potenzial für die Transformation durch die Bioökonomie, um zur De-Fossilierung und der Umsetzung einer biobasierten Wirtschaft beizutragen.

Herstellung chemischer Grundstoffe – Potenzialbranche Mitteldeutsches Revier		
	Lausitzer Revier	Mitteldeutsches Revier
umsatzsteuerpflichtige Unternehmen (2019)	10	40
sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (2020)	800	6.200
steuerbarer Umsatz (2019, Mio.)	275,2	4.721,4
Lokalisationskoeffizient (2020)	0,48	2,09

Tabelle 9: Wirtschaftliche Kennzahlen der Branche Herstellung von chemischen Grundstoffen.

Quelle: Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Bundesagentur für Arbeit 2021; Brödner et al. 2021.

Der Chemiestandort Leuna (Saalekreis) ist historisch gewachsen und wurde vor mehr als 100 Jahren mit dem zweiten Ammoniaksynthesewerk der Badischen Anilin- und Sodafabrik (BASF) begründet. Maßgeblich für den Ausbau des Standorts war die Nähe zu den Braunkohleabbaugebieten als nahegelegene Energie- und Rohstoffquelle. Daran schlossen auch die Errichtung einer Großanlage zur Methanolproduktion aus Synthesegas sowie die Entwicklung eines Verfahrens zur industriellen Erzeugung synthetischen Kraftstoffs durch Kohleverflüssigung und deren großtechnische Umsetzung in einem Hydrierwerk an. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde in Leuna ein moderner Produktionskomplex für die Petrochemie zur Raffination von Erdöl aufgebaut. Die Erdölraffinerie, heute betrieben von der der TotalEnergies Raffinerie Mitteldeutschland GmbH, ist bis heute Herzstück im Chemiepark in Leuna. Mehr als 100 weitere Unternehmen sind am Standort Leuna tätig und verarbeiten u.a. Produkte der Ölraffinerie weiter. Leuna ist mit 1.300 Hektar der größte Chemieverbundstandort in Deutschland. Die DOMO Caproleuna GmbH schließt hier den Syntheseweg über Phenol und Caprolactam zur Herstellung von Polyamiden (für Fasern etc.) und beschäftigt 618 Personen. Die Linde GmbH sichert im Stoffverbund die Versorgung mit technischen Gasen mit ca. 500 Mitarbeitenden. Durch den Aufbau eines Elektrolyseurs mit Protonenaustausch-Membran (PEM) mit einer Kapazität von 24 MW übernimmt die Linde GmbH zukünftig eine Schlüsselrolle in der Versorgung mit grünem Wasserstoff. Des Weiteren finden sich in Leuna und Merseburg Firmen wie GLACONCHEMIE GmbH für die Herstellung von biogenem Glycerin, Quadrimex Sulfur Chemicals GmbH & Co. KG zur Herstellung von anorganischen Schwefelverbindungen, Taminco Germany GmbH, die Düngemittel und andere Stickstoffverbindungen herstellen, AKREMA GmbH zur Herstellung von Wasserstoffperoxid oder FG-Pigments GmbH, die Farbstoffe und Pigmente herstellen. Diese mittelständischen Firmen der chemischen Grundstoffherstellung beschäftigen in Leuna zusammen etwa 300 Personen (IV\_MB1697).

In Leuna befindet sich mit dem Fraunhofer-Zentrum für chemisch-biotechnologische Prozesse (CBP) zudem eine zentrale Forschungseinrichtung, die als regionaler Innovationstreiber fungiert. Zur Entwicklung und Etablierung von Verfahren zur Transformation in Richtung „Grüne Chemie“ bilden die drei Themenbereiche die Forschungsschwerpunkte des CBP: Fermentationsverfahren (industrielle Biotechnologie), Chemie mit nachwachsenden Rohstoffen und der stofflichen Nutzung von Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff (Power-to-X). Der dortige Betrieb von Demonstrationsanlagen zur Erprobung der Grundstoffherstellung von Chemikalien aus biogenen Rohstoffen wie Holz ebnet auch den Weg zu Erprobung breit angelegter Bioraffinerie-Konzepte. Regional kooperiert das CBP mit den Universitäten in Halle, Merseburg, Leipzig sowie mit zahlreichen regionalen und überregionalen Industriepartnern (z.B. Linde Engineering GmbH, Taminco Germany GmbH, Evonik Industries AG) und anderen Forschungseinrichtungen (z.B. die Fraunhofer-Institute für Chemische Technologie ICT und für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB) (IV\_MB0090).

Eigenen Angaben zufolge profitieren die Akteure im Chemiepark Leuna von unterschiedlichen regionalen Standortvorteilen. Dazu gehört beispielsweise die Verfügbarkeit von Arbeitskräften im Ballungsgebiet Halle-Leipzig, die Anbindung an nationale und internationale Infrastrukturen bestehend aus Straße und Schiene sowie Pipelines für Rohstoffe und Zwischenprodukte. Außerdem schätzen Akteure die geografische Nähe zu etablierten Großunternehmen (für Investitionen, Aufträge und den Bezug von Rohstoffen) sowie die lokale Lieferung von Strom, Gas, Dampf und Wärme. Ein wei-

terer Standortvorteil ist die Akzeptanz regionaler Akteure und der Bewohner\*innen für die Errichtung neuer Anlagen und Ansiedelung weiterer Firmen im Chemiapark, begründet durch die lange Tradition des Chemiaparks in der Region (IV\_MB0090; IV\_MB1682; IV\_MB1696; IV\_MB1697).

Nicht weit entfernt von Leuna, im Saalekreis in Schkopau, betreibt das Unternehmen Dow Olefinverbund GmbH als Tochtergesellschaft der Dow Inc. (USA) den Dow Valuepark. Zu den dort ansässigen Unternehmen des Wirtschaftszweigs der HCG zählt hier der Styrol- und Kautschukhersteller Trinseo Deutschland GmbH, dessen Kautschuk-Werk 2021 von dem polnischen Unternehmen Synthos S.A. übernommen wurde. Die Ravapor GmbH erzeugt Polystyrol (EPS, „Styropor“) in Schkopau und beschäftigt knapp unter 100 Personen. Neben Schkopau und Leuna betreibt Dow Olefinverbund GmbH in Mitteldeutschland drei weitere Standorte (und beschäftigt etwa 1.600 Menschen). Dazu zählt das Werk in Böhlen zur Erzeugung von Crackerderivaten, Acrylsäure und Lackharzen, daneben eine Soleförderung zur Chlorproduktion in Teutschenthal sowie eine Anlage in Bitterfeld-Wolfen zur Methyl-Zelluloseherstellung aus Holz.

In Bitterfeld-Wolfen liegt der zweitgrößte und älteste Chemiapark Deutschlands. Hier befassen sich unter anderem die Firmen Nobian GmbH mit etwa 90 Beschäftigten, ICL-IP Bitterfeld GmbH mit 70 Mitarbeitenden, Chemische Fabrik Berg GmbH mit 83 Mitarbeitenden, CBW Chemie GmbH Bitterfeld-Wolfen mit 43 Arbeitnehmer\*innen und BNT Chemicals GmbH mit 78 Beschäftigten mit der Herstellung chemischer Grundstoffe. Auch VERBIO Leuna GmbH hat ihren Sitz im Landkreis Anhalt-Bitterfeld und wird formal dem Wirtschaftszweig zur Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien zugeordnet. Die Verarbeitungskapazität von Getreide in Zöbzig liegt bei 60.000 Tonnen pro Jahr, das zu Bioethanol verarbeitet wird. Die Firma ist ein Tochterunternehmen der VERBIO Vereinigte BioEnergie AG aus Zöbzig, die weitere Tochtergesellschaften in Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern betreibt und auch international tätig ist (z.B. Indien, USA).

Der Industrie- und Chemiapark in Zeitz (Elsteraue) ist Standort verschiedener Unternehmen der chemischen Industrie. Hier liegt der Fokus auf der Herstellung sonstiger chemischer Erzeugnisse, weniger der Grundstoffherzeugung. Mit der HCG befasst sich dort CropEnergies Bioethanol GmbH als Tochter der Südzucker AG mit mehr als 100 Mitarbeitenden. Diese erzeugt jährlich 400.000 Tonnen Bioethanol aus Getreide und anderen agrarischen Rohstoffen (IV\_MB0080). Zusätzlich plant CropEnergies eine Anlage in Zeitz, die jährlich bis zu 50.000 Tonnen Ethylacetat aus Ethanol herstellen kann (CropEnergies AG 2022). Ethylacetat kann als zur Herstellung von flexiblen Verpackungen und Beschichtungen, Farben und Klebstoffen sowie in der Ernährungs- und Pharmaindustrie Anwendung finden. In der Anlage soll außerdem Wasserstoff erzeugt werden, mit dem im Power-To-X-Verfahren auch synthetische Kraftstoffe erzeugt werden können. In Zeitz ist auch die RADICI CHIMICA DEUTSCHLAND GMBH ansässig, die mit ca. 200 Beschäftigten Adipinsäure für die Polyamidherstellung (für Fasern etc.) erzeugen.

Die Herstellung chemischer Grundstoffe in Mitteldeutschland konzentriert sich demnach in Sachsen-Anhalt, konkret im Saalekreis, im Landkreis Anhalt-Bitterfeld und im Burgenlandkreis und vornehmlich in den Verbundstandorten Leuna, Schkopau, Böhlen, Bitterfeld-Wolfen und Zeitz. Das Chemiedreieck Mitteldeutschland ist verknüpft durch Pipelines, die die Versorgung der Standorte mit chemischen Grundstoffen wie Wasserstoff und anderen Gasen (z.B. Butadien, Ethylen, Propylen) sicherstellen (IV\_MB0090; IV\_MB1697).

Über die Reviergrenzen hinaus verbindet eine Pipeline für Gase und Ammoniak Leuna und Piesteritz, das im Landkreis Wittenberg am Revierrand gelegen ist. Dort wird mit dem Haber-Bosch-Verfahren Ammoniak aus Wasserstoff und Stickstoff hergestellt. Die Firmen SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH und Borealis Agrolinz Melamine Deutschland GmbH erzeugen Stickstoffprodukte und Düngemittel und beschäftigen zusammen knapp 1.000 Mitarbeitende. Ebenfalls am Rand des Mitteldeutschen Reviers, in Nünchritz, ist die Wacker Chemie AG tätig. Etwa 1.500 Beschäftigte widmen sich hier der Herstellung silikatbasierter Chemikalien wie Silanen, Siliconen, pyrogenen Kieselsäuren und polykristallinem Silicium, die sich beispielsweise in Photovoltaik-Modulen wiederfinden. Die Firma Seraplant GmbH in Haldensleben im Bördelandkreis stellt Düngemittel durch Phosphorrecycling aus Klärschlamm her. In Rodleben im Landkreis Dessau-Roßlau befinden sich

zudem die Firmen Ecogreen Oleochemicals GmbH und DHW Deutsche Hydrierwerke GmbH. Auf Basis biogener Fette und Öle werden dort Fett- und Zuckeralkohole, Fettamine, Fettsäureester und -ether hergestellt.

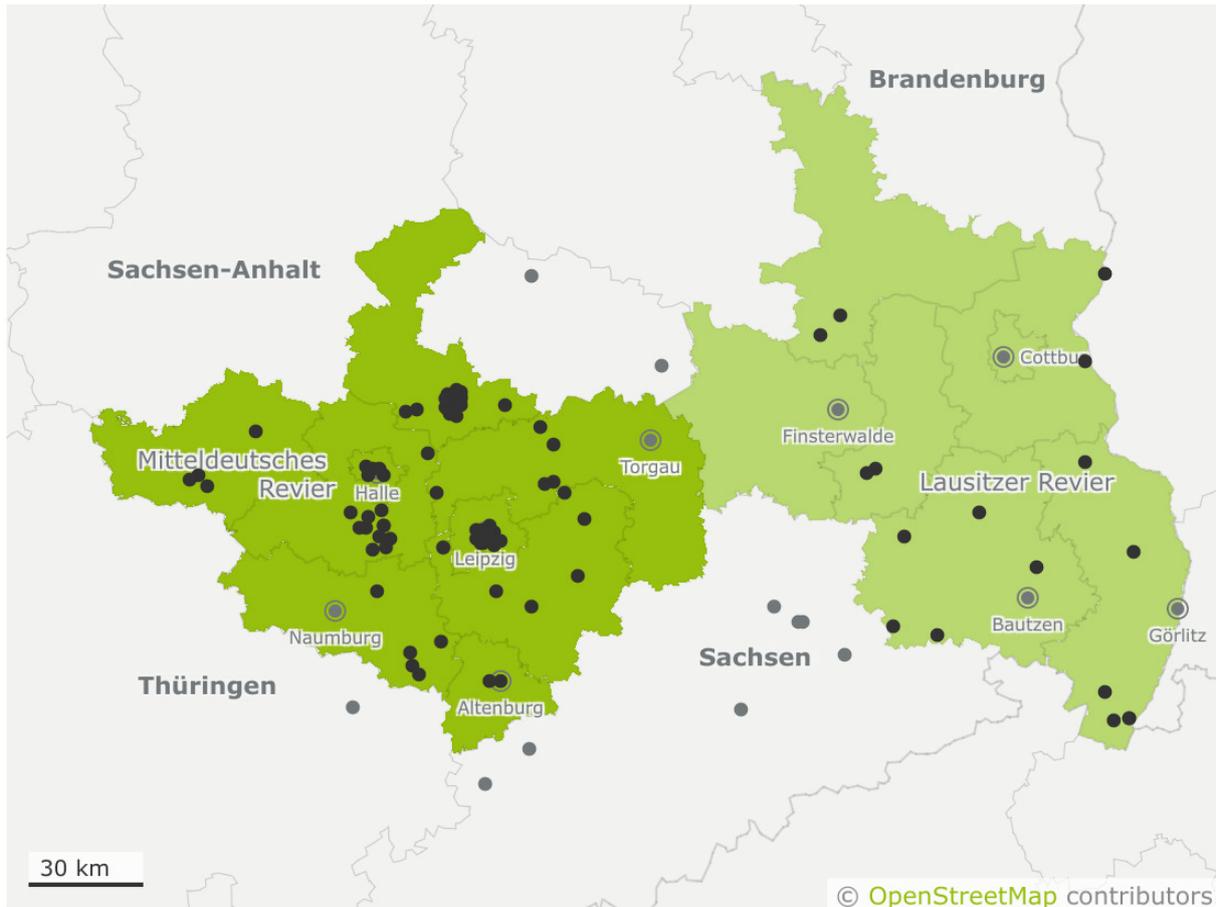


Abbildung 6: Standorte der Branche Herstellung chemischer Grundstoffe in den Revieren und im direkten Einzugsbereich.

Quelle: eigene Abbildung.

Der größte Teil der Unternehmen, die in Deutschland chemische Grundstoffe herstellen, ist von Muttergesellschaften wirtschaftlich und strategisch abhängig. Auffällig ist, dass im Mitteldeutschen Revier trotz der Ballung von Großunternehmen keines dieser Unternehmen seinen Hauptsitz im Revier hat. Überwiegend sind hier Tochtergesellschaften verortet, deren Hauptsitz im Ausland oder in anderen Teilen der Bundesrepublik liegt. Dazu zählen u.a. AKREMA S.A. (Frankreich), BASF SE (Ludwigshafen), DOW Inc. (USA), EW-Group (Visbek), TotalEnergies SE (Frankreich), Trinseo S.A. (Luxemburg), UPM-Kymmene Oyj (Finnland) (Verband der Chemischen Industrie e. V., Landesverband Nordost 2021).

Die Herstellung chemischer Grundstoffe zählt zu den hybriden Branchen der Bioökonomie, wo fossile Rohstoffe mengenmäßig noch mit Abstand die wichtigste Rohstoffbasis darstellen. Der Anteil der Bioökonomie an der HCG ist bisher noch gering mit 3,7 – 6,2 Prozent (Brödner et al. 2021). Mit der Bioökonomie-Strategie des Landes Sachsen-Anhalt ist jedoch eine politische Entscheidung zur Förderung der Bioökonomie festgesetzt worden. Investitionen in Bioraffinerien laufen bereits heute. Besonders hervorzuheben ist in diesem Kontext die erste Bioraffinerie in Leuna der UPM Biochemicals GmbH. Deren Geschäftsfeld widmet sich formal der Herstellung sonstiger chemischer Erzeugnisse (C 20.59). „Dass sich das finnische Unternehmen für Leuna entschieden hat, ist ein klarer Fingerzeig für die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts. Auch durch die Investition in die Bioraffinerie wird Sachsen-Anhalt immer mehr zum Land der Zukunftstechnologien.“, sagte der Wirtschaftsminister von Sachsen-Anhalt Prof. Dr. Armin Willingmann (Ministerium

für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten). Mit der Investitionssumme von 550 Mio. Euro entsteht hier eine Anlage zur Herstellung von Biochemikalien aus Holz. Hinsichtlich der Entwicklung und Anwendung neuer Technologien ist die Bioraffinerie in Leuna ein Leuchtturmprojekt für die Bioökonomie. Wie eingangs erwähnt, ist die Fertigstellung bis Ende 2023 geplant. Bis zu 200 neue Arbeitsplätze werden entstehen. Aus Buchenholz sollen jährlich 70.000 Tonnen Bio-Monoethylenglykol bzw. Bio-Monopropylenglykol (Bio-MEG und Bio-MPG) und 140.000 Tonnen biobasierte Füllstoffe (Renewable Functional Filler, RFF) produziert werden (IV\_MB1696). MEG bzw. MPG kann analog zu fossilbasiertem Ethylen und Propylen als Grundstoff in der chemischen Industrie und zur Erzeugung von Kunststoffen und Textilien verwendet werden. MEG ist ein enorm vielseitiger Grundstoff, der zur Herstellung von Polyestertextilien, PET-Flaschen, Verpackungsmaterialien und Frostschutzmittel eingesetzt werden kann. Auch MPG kann als Grundstoff umfassend genutzt werden, z.B. in Verbundstoffen, Arzneimitteln, Kosmetika und Waschmitteln. RFF sind relevant in Gummi- und Kunststoffprodukten als Alternative zu Industrieruß oder Kieselsäure und können z.B. im nahegelegenen Kautschukwerk in Schkopau weiterverarbeitet werden (IV\_MB1696, IV\_MB1697). Neben UPM Biochemicals GmbH befassen sich in Mitteldeutschland weitere Unternehmen mit der Verwendung biogener Ressourcen in der HCG. Dazu zählen die GLACONCHEMIE GmbH und Ecogreen Oleochemicals GmbH, CropEnergies Bioethanol GmbH, Verbio GmbH und EW Biotech GmbH.

### Rohstoffbasis

Primärrohstoff der chemischen Industrie ist Rohöl. In der Raffinerie der TotalRaffinerie Mitteldeutschland GmbH in Leuna werden jährlich etwa 12 Mio. Tonnen Rohöl verarbeitet. Davon fließen etwa 15 Prozent der stofflichen Nutzung in der HCG zu. Etwa 50 Prozent wird zur Kraftstoffherzeugung, der übrige Teil zur Wärme- und Energiegewinnung genutzt (IV\_MB1697). Aus Rohöl wird durch atmosphärische Destillation neben Schweröl, Diesel, Kerosin und Propangas auch die Naphtha-Fraktion abgetrennt. Naphtha ist ein komplexes Stoffgemisch, aus dem durch „Reforming“ Benzin erzeugt werden kann. Im Kontext der chemischen Industrie wird aus Naphtha durch thermisches und Steamcracken die BTEX-Fraktion erzeugt. Darin enthalten sind Benzen, Toluol, Ethylbenzol und Xylol sowie Ethylen, Propylen, Acetylen und Isobuten. Diese Chemikalien sind die wichtigsten Ausgangsstoffe für nachgelagerte Synthesen der chemischen Industrie, wie Abbildung 6 zeigt. Synthesegas ist nach Naphtha der zweitwichtigste Ausgangsstoff der chemischen Grundstoffindustrie und bezeichnet im engeren Sinn ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid zur Methanolsynthese. Dieses Gasgemisch kann aus Kohle, Erdöl oder Erdgas erzeugt werden. Erdgas hat einen wichtigen Stellenwert zur Herstellung von Wasserstoff. Insgesamt etwa 5 Prozent des weltweit geförderten Erdgases wird zu Wasserstoff umgesetzt. Im Haber-Bosch-Verfahren wird daraus in Kombination mit Stickstoff Ammoniak erzeugt, das beispielsweise zu Harnstoff, Dimethylformamid oder Ammoniumsulfat weiterverarbeitet wird (InfraLeuna GmbH 2022). Neben organischen Rohstoffen in der Chemieindustrie sind mineralische und anorganische Rohstoffe von Bedeutung. Mit der Bereitstellung technischer Gase befasst sich die Linde AG. Aus Luft wird dabei Sauerstoff, Stickstoff und Edelgase gewonnen. Aus Salzsole stellt die Nobian GmbH in Bitterfeld die anorganischen Grundstoffe Chlor (ca. 90.000 t jährlich) und Natronlauge (ca. 100.000 t) sowie 2.700 Tonnen Wasserstoff her (Göbelbecker 2021).

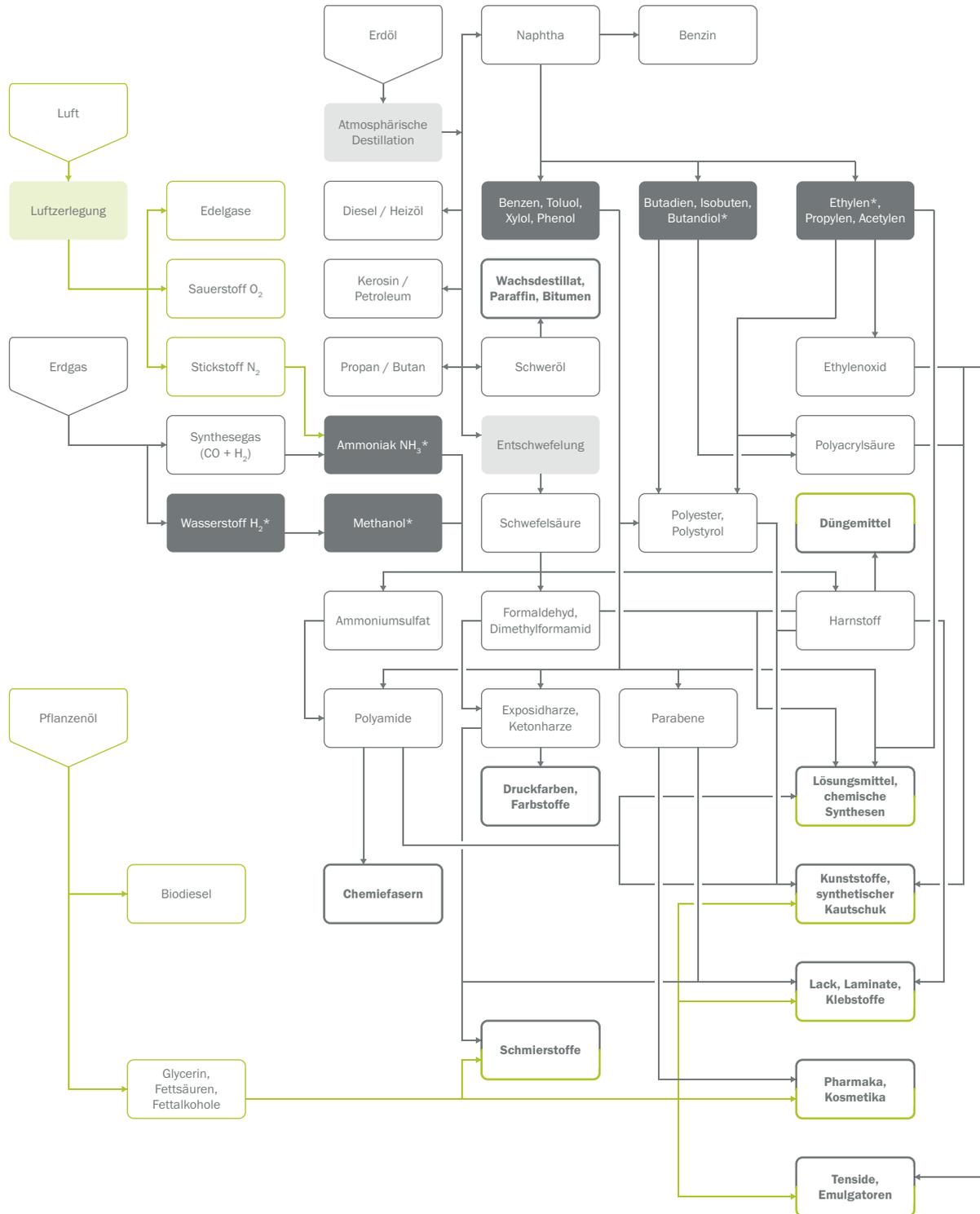


Abbildung 7: Überblick über die klassischen Herstellungswege einiger chemischer Grundstoffe am Standort Leuna (vereinfachte Darstellung) / dunkel hinterlegt: essentielle Basischemikalien, \*: auch biobasiertes Herstellungsverfahren möglich.  
Quelle (InfraLeuna GmbH 2022).

In Bezug auf nachwachsende Rohstoffquellen der HCG im Mitteldeutschen Revier ist in der Bioaffinerie in Leuna zukünftig die Verarbeitung von 220.000 Tonnen Buchenholz geplant (IV\_MB1696). Zur Substitution von Erdgas in der Wasserstoffherzeugung wird am Standort Leuna ein solarbetriebener PEM-Elektrolyseur zur Erzeugung von grünem Wasserstoff aus Wasser aufgebaut (siehe auch Wirtschaftliche Bedeutung in den Bundesländern und Revieren). Nachwachsende Ressourcen sind

als Rohstoffgrundlage auch für biotechnologische Prozesse von Bedeutung. In der Grundstoffchemie lassen sich biotechnologisch beispielsweise langkettige Dicarbonsäuren, Fettsäureepoxide oder Propandiol erzeugen, die zu Kunststoffen weiterverarbeitet werden können. Für das Wachstum der verwendeten Mikroorganismen in der Biotechnologie werden organische Kohlenstoff- und Stickstoffquellen (z.B. Glucosesirup, Melasse, verzuckerte Stärke bzw. Sojapepton, Hefeextrakt oder Maisquellwasser) sowie verschiedene Salze benötigt (IV\_MB1682). Die hohe Rohstoff- und Energieeffizienz von biotechnologischen Verfahren führt zu besserer Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu herkömmlichen Methoden. Das beweist die biotechnologische Erzeugung hochkomplexer Verbindungen wie Antibiotika, Kosmetika oder Aminosäuren mithilfe von Mikroorganismen schon heute (Fraunhofer-Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik IGB 2021).

### **Innovationsfelder der Bioökonomie**

Die vermehrte Nutzung biogener Rohstoffe ist ein wesentliches Innovationsfeld der Bioökonomie für die Herstellung chemischer Grundstoffe. Nach Erforschung der Möglichkeiten und Prozessoptimierung im Pilotmaßstab kann der Aufschluss von Biomasse in Bioraffinerien im industriellen Maßstab etabliert werden. In Bioraffinerien werden Chemikalien, Werkstoffe bzw. Bioenergie oder Biokraftstoffe erzeugt, und zwar unter möglichst vollständiger Verwertung aller Ausgangskomponenten. Aus solchen multifunktionalen, integrativen Systemen können auch Koppelprodukte in die Nahrungs- und Futtermittelindustrie geleitet werden (Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes CBP 2014). „Der Stoffverbund in Leuna wird sich in Zukunft auf biobasierte Rohstoffe erweitern. Durch die Ansiedlung der neuen Bioraffinerie ergeben sich völlig neue Wertschöpfungspfade“ (IV\_MB1696, IV\_MB1697).

Zunächst bietet sich Holz als nachwachsende Rohstoffquelle an, um einer Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung vorzubeugen. Wie bereits erwähnt, wird die erste Bioraffinerie in Leuna von UPM Biochemicals GmbH demnächst Buchenholz als Rohstoff einsetzen. Zunächst wird von den angelieferten Stämmen die Rinde entfernt und Holzhackschnitzel erzeugt. Durch thermische Behandlung können danach Lignin und Kohlenhydrate entzogen werden. Die Kohlenhydrate werden anschließend in einem mehrstufigen Prozess zu Monoethylen- und -propylenglykol umgewandelt, die als chemische Grundstoffe verwendet werden können. Aus Lignin entstehen funktionelle Füllstoffe, die besonders für die Automobilindustrie relevant werden. Ein weiteres interessantes Bioraffinerie-Konzept verarbeitet Holzhackschnitzel und andere ligninhaltige Biomassen im sogenannten Organosolv-Prozess, der am Fraunhofer-Institut in Leuna CBP entwickelt wurde. Durch ein kombiniertes Verfahren aus thermischem Aufschluss, enzymatischer Hydrolyse und Fermentation entstehen verschiedene Plattformchemikalien wie Xylonsäure, Bernsteinsäure und 1,4-Butandiol, wie in Abbildung 8 dargestellt. Daraus lassen sich eine Vielzahl chemischer Erzeugnisse herstellen, unter anderem Polyester, Harze, Polyurethan, Tenside und Bio-Kunststoffe. Eine solche Pilotanlage wird am Fraunhofer CBP in Leuna betrieben (Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes CBP 2014).

Daneben werden auch Abfallstoffe als Rohstoffe für Bioraffinerien getestet, unter anderem von Forschenden am Institut für Pflanzen- und Holzchemie der TU Dresden. Pflanzliche Roh- und Reststoffe aus Land- und Forstwirtschaft (Stroh, Hanf, Schadholz, Sägereste, Miscanthus etc.) sollen hier thermisch und unter Druck aufgeschlossen werden, um Grundchemikalien zu erzeugen (Freese 2022). Neben Holz oder Reststoffen können zukünftig Insekten als Rohstoffe für Bioraffinerien eine Rolle spielen. Deren Nahrung basiert auf Reststoffen und Nebenprodukten der Lebensmittel- und Landwirtschaft. Aus Insekten extrahiertes Fett lässt sich ähnlich verwenden wie Pflanzenöl und könnte zum Rohstoff für Bio-Tenside werden. Chitin und Chitosan aus Insektenhäuten sind vielversprechende Hilfsmittel in der Textilverarbeitung und zur Faserbeschichtung, zum Beispiel für wasser- und schmutzabweisende Eigenschaften von Garn und Fasern (Neis-Beeckmann 2022). In Baden-Württemberg befinden sich mehrere Bioraffinerie-Pilotanlagen im Aufbau, darunter eine Insekten-Bioraffinerie, eine Biogasanlage zur Verwertung von Biomüll zu Fasern und Blumentöpfen,

eine Algen-Bioraffinerie zur Erzeugung von Biowasserstoff und Chemikalien aus Abwasser sowie ein Klärwerk zur Stickstoff- und Phosphor-Rückgewinnung und Mikroalgenproduktion (bioökonomie.de 2022b). Gezielte Investitionsförderungen für derartige neue Technologien sind für die De-Fossilierung der chemischen Industrie maßgeblich.

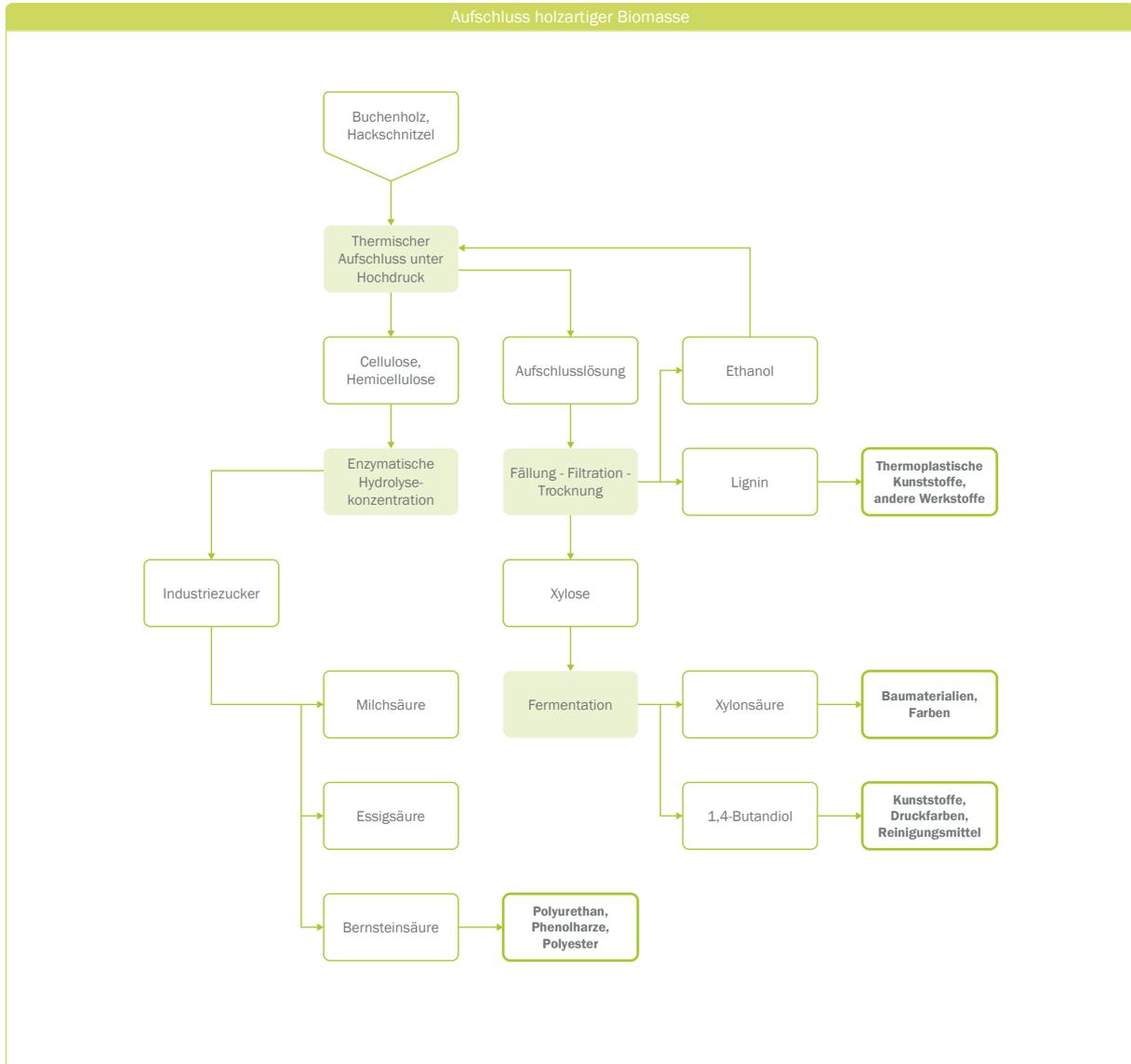


Abbildung 8: Verfahren der Pilotanlage am CBP Fraunhofer Institut in Leuna zum Aufschluss von holzartiger Biomasse.

Quelle: Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes CBP 2014.

Neben Bioraffinerien sind biotechnologische Verfahren vielversprechende Zukunftsfelder, um den ökologischen Fußabdruck chemischer Grundstoffe zu reduzieren. Die Umwandlung von Zucker aus Maissirup mit Hilfe biotechnologisch hergestellter Enzyme ist eine Möglichkeit, Beton, Reinigungs- und Düngemittel herzustellen (Jendrischik 2021). Andererseits ist es möglich, über molekularbiologische Veränderungen an Mikroorganismen deren Stoffwechselwege zu verändern, um dann mit deren Hilfe chemische Grundstoffe herzustellen. Am Umweltforschungszentrum in Leipzig wurde ein Stamm von *Pseudomonas*-Bakterien gentechnisch verändert, um aus Cyclohexan in Adipinsäure umzuwandeln. Adipinsäure findet sich als Ausgangsstoff zur Herstellung von Schaumstoffen, Schmierstoffen oder Lebensmittelzusätzen wieder (Bretschneider et al. 2022). Die mikrobiologische Umsetzung kann nicht nur von zuckerhaltiger Biomasse ausgehen, sondern auch Kohlenstoffdioxid ist als Ausgangsstoff zum Forschungsgegenstand geworden. Einer Forschungsgruppe aus Texas gelang kürzlich die Umwandlung von CO<sub>2</sub> zu Isopropanol und Aceton durch einen *Clostridium*-Stamm im Pilotmaßstab (Liew et al. 2022).

Mit der Wasserstoffstrategie der Deutschen Bundesregierung ist ein weiterer Grundstein für die De-Fossilierung der mitteldeutschen Chemie- und Kunststoffindustrie gelegt worden. Da die Erzeugung mittels Elektrolyse enorme Mengen an Strom benötigt, wird an der Prozessoptimierung durch neue Katalysatoren und an weiteren Herstellungswegen geforscht. Dafür sind Biomassefermentation, -vergasung und Biogasreforming, die Verknüpfung von mikrobiellen und elektrochemischen Reaktionswegen in der Elektrobiologie oder die Biophotosynthese wesentliche Untersuchungsfelder. Im sogenannten Power-To-X-Modell wird Wasserstoff elektrochemisch aus Wasser unter Nutzung erneuerbarer Energie erzeugt. Deshalb ist die Verfügbarkeit von Wasser und bspw. Solar- und Windstrom entscheidend. Daneben wird aus Abgasen oder der Atmosphäre außerdem Kohlenstoffdioxid entzogen und bereitgestellt. Auch hier gibt es neue vielversprechende Forschungsergebnisse für energieeffiziente Wege. Zur Synthese von chemischen Grundstoffen oder synthetischen Kraftstoffen werden Wasserstoff und Kohlenstoff miteinander kombiniert. Im Projekt HySCALE100 soll demonstriert werden, wie durch eine integrierte Wertschöpfungskette die Ressourcen optimal genutzt und die Chemie- und Zementindustrie „de-fossilisiert“ werden kann.<sup>13</sup> Dazu wird ein Kreislauf gebildet aus der elektrochemischen Wasserstoffproduktion (auf Basis Erneuerbarer Energien), die mit der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus energieintensiven Industrien (z.B. Zementproduktion) verknüpft wird. Aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid können dann synthetische Kraftstoffe hergestellt werden. Eine solche Großinvestition in Anlagenbau und Infrastruktur kann zum Vorbild für weitere Großprojekte, die die Klimaschutzziele der Bundesregierung adressieren, werden.

Ein wichtiges Bindeglied zwischen diesen innovativen Verfahren und klassischen chemischen Reaktionswegen ist der hohe Energiebedarf. Um diesen zu decken, muss wie bereits erwähnt eine nachhaltige Energieerzeugung sichergestellt werden. Neben klassischen chemischen Reaktionswegen werden auch für neue Technologien wie Elektrosynthesen, Fermentationen oder biotechnologischen Synthesen erhebliche Mengen an Strom bzw. Wärme benötigt. Teilweise sind erhöhte Prozessdrücke oder -temperaturen dafür verantwortlich, daneben spielt für die Prozesse eine kontinuierliche Stromversorgung eine entscheidende Rolle, auch weil zukünftig mit einer Erhöhung digitaler Prozesskontrollen zu rechnen ist (IV\_MB1682).

## 4.2. Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kittlen

### Einordnung des Wirtschaftszweigs

In der Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008) ist die Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kittlen dem Verarbeitenden Gewerbe (Abschnitt C) und der Abteilung Herstellung von chemischen Erzeugnissen C 20 zugeordnet. In der Gruppe geht es um die Herstellung von Zwischen- und Endprodukten durch Weiterverarbeitung chemischer Grundstoffe.

13 <https://deutschland.edf.com/de/edf-in-deutschland/hyscale100>, zuletzt geprüft am 30.06.2022

<b>C</b>	<b>VERARBEITENDES GEWERBE</b>
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen
<b>20.3</b>	<b>Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten</b>
<b>20.30.0</b>	<b>Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten</b> Diese Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von Farben und Lacken, Lackharzen</li> <li>• Herstellung von zubereiteten Pigmenten und Farbstoffen, Trübungsmitteln und Farben</li> <li>• Herstellung von Druckfarben</li> <li>• Herstellung von verglasbaren Emaillen, Glasuren, Engoben und ähnlichen Zubereitungen</li> <li>• Herstellung von Kitten</li> <li>• Herstellung von Dichtungsbestandteilen und ähnlichen nichtfeuerfesten Spachtel- und Verputzmassen</li> <li>• Herstellung von zusammengesetzten organischen Lösungs- und Verdünnungsmitteln</li> <li>• Herstellung von zubereiteten Farb- und Lackentfernern</li> </ul>

Tabelle 10: Eingrenzung und Hauptprodukte der Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Lacken.

Der biobasierte Anteil der Branche liegt zwischen 2,6 Prozent und 13,5 Prozent (Brödner et al. 2021). Druckfarben und Kitte zählen zu den Fein- und Spezialchemikalien. Bei der Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten entsteht eine Vielzahl von Produkten. Individuelle Produkteigenschaften von Anstrichmitteln werden für spezifische Anwendungsbereiche entwickelt. Bauteananstrichmittel und Kitte (Klebe- und Dichtungsmittel) finden in der Baubranche und bei Hand- und Heimwerkern Verwendung, Industrielacke werden in der Automobilindustrie, Maschinen-, Schiff- und Stahlbau sowie bei Herstellenden von Haushaltsgeräten und Möbeln benötigt. Die Werbe- und Printmedienbranche sowie die Verpackungsindustrie sind Großabnehmende von Druckfarben (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021).

### Wirtschaftliche Bedeutung in Deutschland

Kleine und mittelständische Unternehmen prägen neben wenigen Großbetrieben diesen Wirtschaftszweig in Deutschland. 377 Betriebe erwirtschafteten 2019 einen Umsatz von 12 Mrd. Euro. Die Beschäftigung lag bei 35.700 Personen. Seit 2005 ist die Zahl der Beschäftigten leicht gestiegen, die Zahl der Betriebe hingegen leicht gesunken. Damit verbunden war eine Umsatzsteigerung seit 2005 um 40 Prozent. Darin spiegelt sich die seit mehreren Jahren anhaltende Konsolidierungswelle in der Lack- und Farbenindustrie wider, die mit einer Stärkung der internationalen tätigen Konzerne einhergeht (Nisser und Malanowski 2019).

Betriebe in Deutschland konzentrieren sich in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern. Zu den größten Unternehmen zählt die BASF Coatings GmbH sowie Brillux GmbH & Co. KG mit Hauptsitz in Münster sowie Deutsche Amphibolin-Werke Stiftung & Co. KG aus dem hessischen Ober-Ramstadt.

Die Gesamtproduktionsmenge an Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten lag im Jahr 2020 bei etwa 2,2 Mio. Tonnen. Darunter 425.000 Tonnen lösemittelhaltige Lacke, 1.537.000 Tonnen Dispersionen, Putze und wässrige Anstrichmittel sowie 182.000 Tonnen Verdünnungen. Innerhalb Deutschlands wurden im Jahr 2020 insgesamt 1.681.000 Tonnen Lacke, Farben und Druckfarben abgesetzt, darunter 950.000 Tonnen Bautenfarben und Putze, 345.000 Tonnen Industrielacke sowie 234.000 Tonnen Druckfarben. Im Ausland erwirtschaftete die Branche 41,2 Prozent ihres Umsatzes (Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. 2021). Im Bereich der Industrielacke, Druckfarben und Autolacke waren 2020 teils starke Absatzrückgänge zu beobachten.

Hingegen ist die Sparte der Bautenfarben aufgrund des vergrößerten Heimwerker-Segments in Deutschland im Vergleich zum Vorjahr um 13 Prozent gewachsen (Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. 2021).

Flächendeckend werden von den Unternehmen dieses Wirtschaftszweigs Fachkräfte gesucht. Der Anteil hochqualifizierter Beschäftigter (Spezialkräfte) liegt mit 28,9 Prozent etwas unter dem Durchschnitt der deutschen Chemiebranche (Nisser und Malanowski 2019).

### Wirtschaftliche Bedeutung in den Bundesländern und Revieren

Im Lausitzer Revier zählt die Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten zu den Potenzialbranchen. Hier wurden sieben Unternehmen identifiziert, die insgesamt 2.100 Beschäftigte zählen. Der steuerbare Umsatz wird von den Statistischen Ämtern des Landes und des Bundes mit 3,3 Mio. Euro angegeben. Diese Diskrepanz kommt dadurch zustande, dass ein einzelnes Unternehmen in mehreren Wirtschaftszweigen aktiv sein kann. Die Methodik, die der Sektorstudie zugrunde liegt, kann diese Unterscheidung nicht vornehmen.

Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten - Potenzialbranche Lausitzer Revier		
	Lausitzer Revier	Mitteldeutsches Revier
umsatzsteuerpflichtige Unternehmen (2019)	7	7
sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (2020)	2.100	600
steuerbarer Umsatz (2019, Mio.)	3,3	30,9
Lokalisationskoeffizient (2020)	6,47	0,98

Tabelle 11: Wirtschaftliche Kennzahlen der Branche Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten.  
Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Bundesagentur für Arbeit 2021; Brödner et al. 2021.

Im Lausitzer Revier ist die BASF Schwarzheide GmbH im Kreis Oberspreewald-Lausitz ansässig. Zu den vielfältigen Geschäftsinhalten am Standort zählt auch die Herstellung von Anstrichmitteln. Insgesamt sind in diesem Unternehmen mehr Mitarbeitende beschäftigt, als dem Wirtschaftszweig 20.3 zuzuordnen sind. Das Unternehmen prägt hinsichtlich der Beschäftigung die Lack- und Farbindustrie der Region. In Schwarzheide werden wasserbasierte Karosserielacke hergestellt, die im Fahrzeugbau eingesetzt werden. Auch das niederländische Großunternehmen Akzo Nobel Farbe & Heimtex GmbH stellt am Standort in Mittenwalde (Landkreis Dahme-Spreewald) Lacke und Farben her. Der Standort entstand durch Konsolidierung eines kleinen Unternehmens und er wird die Herstellung von Lacken demnächst planmäßig einstellen. Geschäftsinhalt ist bisher lediglich der Vertrieb von Möbellacken.

Darüber hinaus existieren mittelständische und kleine Unternehmen im Revier. Ein Produktionsstandort der Keimfarben GmbH (Hauptsitz in Bayern) befindet sich in Luckau (Kreis Dahme-Spreewald). Hinzu kommen kleine Unternehmen, darunter Höpner Lacke GmbH (Niesky, Landkreis Görlitz), Farben Löwe GmbH (Zittau, Landkreis Görlitz) und Buzzard Farben GmbH (Heideblick, Landkreis Dahme-Spreewald). Außerhalb der Reviergrenze in Coswig bei Dresden befindet sich das Unternehmen Herlac GmbH mit etwa 50 Mitarbeitenden.

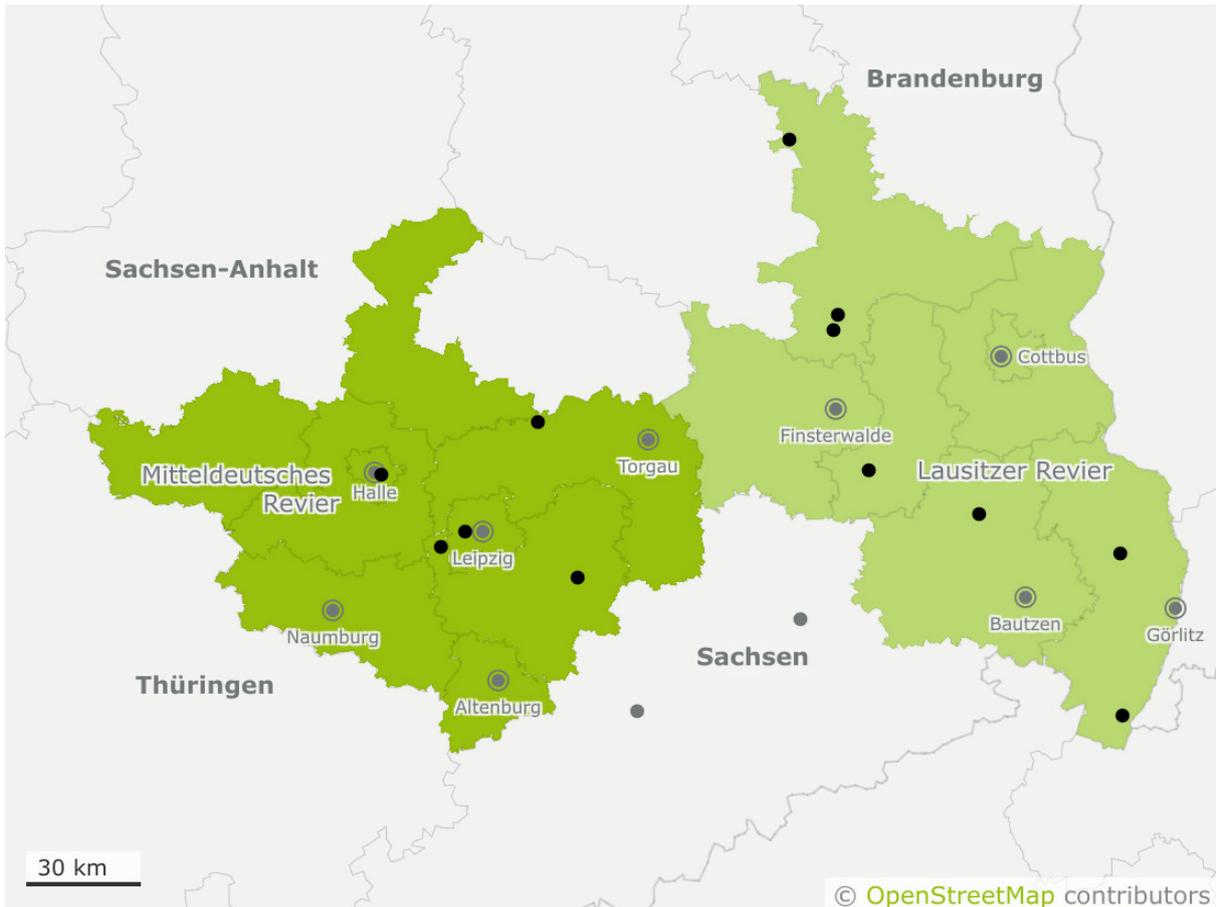


Abbildung 9: Standorte der Branche Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten in den Revieren und im direkten Einzugsbereich.  
Quelle: eigene Abbildung.

## Rohstoffbasis

Anstrichmittel, Druckfarben und Kitt sind hochspezialisierte Produkte, die auf spezielle Anwendungen und Kundenwünsche zugeschnitten werden. Die Varietät dieser kundenorientierten Produkte spiegelt sich auch in der Vielzahl der eingesetzten Rohstoffe wider (Nisser und Malanowski 2019). Hauptbestandteile von Lacken und Farben sind Bindemittel, Pigmente, Füllstoffe, Lösungsmittel und Additive. Deren Funktion und Beispiele sind in Tabelle 12 aufgeschlüsselt (Bader et al. 2018).

Die wegen Versorgungsengpässen und gestiegenen Rohstoffpreisen angespannte Rohstoffsituation beeinflusst die Lack- und Farbenindustrie massiv. So sind die Preise für Epoxidharze in Europa um zwei Drittel gestiegen und Inhaltsstoffe wie Aceton oder n-Butylacetat verteuerten sich um etwa 100 Prozent zwischen Dezember 2020 und Januar 2021 (Maier et al. 2021). Weitere stark nachgefragte Rohstoffe sind Polyesterharze, Polypropylenglykole, Acrylsäuren, Acrylharz, UV-Harze, Polyurethanharze und Lösungsmittel. Ebenso haben sich Pigmente (einschließlich Titandioxid, rotes und gelbes Eisenoxid) stark verteuert und sind nur schwer zu beschaffen. Der Kostenanteil von Pigmenten in Anstrichmitteln liegt bei bis zu 50 Prozent, sodass diese Verteuerungen den Preisanstieg bei Farben und Lacken treiben (Maier et al. 2021). Die Anwendungsreife alternativer, biobasierter Ausgangsstoffe, die aus der Region stammen, ist daher auch zunehmend von wirtschaftlicher Relevanz.

Bestandteile	Funktion	Biobasierte Beispiele	Anorganische Beispiele	Erdölbasierte Beispiele
Bindemittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• filmbildender Anteil und wichtigster Bestandteil</li> <li>• Matrix für Pigmente</li> <li>• 1-K-Lack Dispersion in wässriger Lösung</li> <li>• 2-K-Lack Kunstharz + Härter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Härtende Öle (z.B. Lein-, Mohn-, Sonnenblumen-, Walnuss-, Hanföl, Tallöl etc.)</li> <li>• Derivate von Zucker oder Zellulose</li> <li>• Alkydharze aus Adipinsäure oder Glycerin, Itaconsäure-Polymere</li> </ul>	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alkyd-, Epoxidharze</li> <li>• Polyurethane</li> <li>• Bitumen, Teer</li> <li>• Polyacrylate</li> </ul>
Pigmente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• genereller Farbeindruck</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alizarin, Carminlack, Indischgelb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Titan- und Eisenoxide</li> <li>• Blei-Molybdat</li> <li>• Chromoyide</li> <li>• Eisenblau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azo- oder Kupferphthalocyanin-Pigmente</li> <li>• Perylen-Pigmente</li> </ul>
Füllstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung des Farbeindrucks</li> <li>• Einstellung von Glanzgrad und Oberflächenstruktur</li> <li>• Beeinflussung mechanischer Eigenschaften</li> </ul>	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calciumcarbonat</li> <li>• Bariumsulfat</li> <li>• Kaolin</li> <li>• Silikate</li> </ul>	–
Lösungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispersion aller Bestandteile</li> <li>• Verdünnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lävulinsäure-, oder Glycerinderivate</li> <li>• Zitruschalenöl</li> <li>• Balsamterpentin</li> </ul>	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• organische Lösungsmittel (z.B. Alkohole, Glycole, Isoaliphate, Ketone, Ester etc.)</li> </ul>
Hilfsstoffe (Additive)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konservierung</li> <li>• erleichterte Verarbeitung</li> <li>• Trocknungsbeschleunigung</li> <li>• Beständigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adipinsäure</li> <li>• Diole</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silberpartikel (als Biozide)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weichmacher</li> <li>• Biozide</li> <li>• Sikkative</li> <li>• Trockenstoffe</li> <li>• Lichtschutz-, Konservierungsmittel etc.</li> </ul>

Tabelle 12: Übersicht zu Arten, Funktion und Rohstoffkategorien verwendeter Bestandteile zur Herstellung von Anstrichmitteln und Druckfarben.

Quelle: (Bader et al. 2018).

Biobasierte Rohstoffe gewinnen zunehmend an Bedeutung in der Farb- und Lackindustrie. Wandfarbe mit Kasein (Milchprotein) und Kalk sind bereits gängige Alternativen. Daneben spielen biobasierte Rohstoffe in der Verwendung von Fetten und Ölen tierischen oder pflanzlichen Ursprungs eine wichtige Rolle. Zwischen 2011 und 2016 wurden jährlich 83.000 bis 86.000 Tonnen dieser Rohstoffe in der Farb- und Lackindustrie genutzt (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020b).

Für den Schutz der bestrichenen Werkstücke vor Korrosion und Beschädigung sind beständige Bindemittel ohne bioabbaubare Inhaltsstoffe von Vorteil. Biobasierte Alternativen existieren schon lange. Klassische Bindemittel sind beispielsweise Carnaubawachs aus der Carnaubapalme, die z.B. in Brasilien angebaut wird, oder Schellack, das aus Schildläusen z.B. in Indien gewonnen wird. Durch die weiten Transportwege beschränkt sich allerdings deren Einsatz in Europa.

Der Anteil biobasierter Lösungsmittel liegt in der Europäischen Union bei etwa 13 Prozent (Gagro 2017). Beispiele hierfür sind aus Bio-Monoethylenglykol, Glycerin oder aus Lävulinsäure erzeugte Lösungsmittel. Rohstoffbasis dafür kann Zellulose aus Holz oder Stärke aus Weizen, Kartoffeln oder Mais sein. Weitere Beispiele für biobasierte Lösungsmittel sind Balsamterpentin oder Zitrusfruchtöl. Balsamterpentin wird aus bestimmten Pinus-Baumarten gewonnen. Zitrusfruchtöle entstehen aus Nebenprodukten bei der Herstellung von Orangensaft durch Pressen der verbliebenen Schalen.



Beschichtungen schützen die Produktoberflächen vor Umwelteinflüssen.

Auch die Entwicklung neuer Formulierungen und Verbindungen trägt in der Lack- und Farbindustrie dazu bei, dass mehr biobasierte Rohstoffe im Fokus stehen (Gesthuizen et al. 2020). Ein Beispiel dafür ist die Substitution von flüchtigen Lösungsmitteln in Holzschutzlack. Dazu werden bereits wasserbasierte Lacke mit Acryl-Copolymeren genutzt. Auch neuartige Alkydharze, die aus biobasierten Alkoholen oder Dicarbonsäuren (z.B. Glycerin, Glycol, Adipin- oder Bernsteinsäure) hergestellt sind, werden schon angeboten. Für die Substitution von Acrylat- oder Methacrylat-Polymeren steht Itaconsäure im Fokus. Dabei handelt es sich um eine organische Dicarbonsäure, die mit Hilfe des Pilzstammes *Aspergillus Itaconicus* oder durch Fermentation von Melasse<sup>14</sup> gewonnen wird (Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. 2020). Der Einsatz von Isosorbit, gewonnen aus Stärke, kann als Additiv die Glasübergangstemperatur in Lacken erhöhen. Auch Zellulose, Lignin und Pflanzenöle werden zunehmend in der Lackharzproduktion eingesetzt. Das Makromolekül Lignin fällt als Koppelprodukt der Papier- und Holzindustrie bei der Verarbeitung von Holz an. In Reaktion mit Epichlorhydrin kann aus Lignin Epoxidharz gebildet werden. Auch Tallöle fallen als Koppelprodukt in der Schwarzlaugung bei der Papierherstellung an und stammen aus dem Harz-Anteil des verarbeiteten Holzes. Tallöl wird bereits als Rohstoff zur Herstellung von Lacken, Polyamidharzen oder Epoxidharzen eingesetzt. Biobasiertes Epoxidharz lässt sich weiterhin aus Traubenkernöl und Leinöl herstellen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020b). Nebenprodukte aus der Rapsölproduktion stehen zudem zur Entwicklung neuer Lacksysteme im Fokus. Im Projekt TeFuProt des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) wird versucht, die Proteine des Rapsextraktionsschrotts für Farben und Lacke zu nutzen. Potenzial hat auch Chitosan aus Krabbenschalen (oder Insektenexoskeletten) in Kombination mit Schellack. Daneben bieten neuartige Kaseinfarben mit pflanzlichem Bindemitteln aus Sojaweiß die Möglichkeit, vielfältig eingesetzte Acryllacke zu ersetzen, und können als Beschichtung für Holz, Metall oder Gips im Innen- und Außenbereich genutzt werden (Gesthuizen et al. 2020).

Verglichen mit den Bindemitteln ist die Verwendung nachwachsender Rohstoffe im Bereich der Pigmente eher wenig ausgeprägt. Viele biobasierte Pigmente haben im Lauf der Jahre gegenüber ihren synthetischen Äquivalenten an Bedeutung verloren. Synthetische Alternativen bieten oft qualitative Vorteile wie eine verbesserte Beständigkeit, höhere Farbintensität und Einheitlichkeit des Farbeindrucks. Besonders für die Druckfarbenindustrie ist die Farbbeständigkeit und Dokumentenechtheit wichtig. Der Einsatz von Farbextrakten aus Pflanzen in Inkjet-Tinten ist bislang jedoch gering. Potenzial bietet hier regenerierte Zellulose aus Baumwollabfällen die mit Reaktivfarbstoffen eingefärbt wird. Diese Zellulose trägt durch ihre Farbechtheit zur Produktoptimierung bei. Weiterhin sind Tannin, ein Reststoff der Holzverarbeitung, oder Polymerpigmente auf Wasserbasis biobasierte Rohstoffalternativen für Pigmente (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020b; Ding et al. 2018).

14 Melasse ist ein Nebenprodukt der Zuckerherstellung.

## Innovationsfelder der Bioökonomie

Ein Hauptinnovationsfeld der Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten ist die Reduzierung des Lösemittelleinsatzes. Hierdurch lassen sich Ressourcen schonen sowie Gesundheits- und Umwelteinflüsse minimieren. Lösungsmittel dienen der Verdünnung und verflüchtigen sich bei der Verarbeitung. Eingesetzt werden bereits Pulverlacke, die ohne Lösungsmittel auskommen. In den letzten Jahren ist der Marktanteil von lösemittelarmen sowie wässrigen Produkten stark gestiegen. Wege dahin waren z.B. die Entwicklung neuartiger Bindemittel auf Harzbasis, sogenannten High-Solid-Systemen (Bader et al. 2018). Zudem wird die Entwicklung von Nanotechnologie-Systemen vorangetrieben, die mit verbesserten Eigenschaften wie UV-Beständigkeit, Kratzfestigkeit, Selfcleaning-Effekt, antibakterieller Wirksamkeit sowie dem Abbau störender Gerüche einhergehen (Musche 2019). Zu beachten ist dabei, dass die Haltbarkeit wasserbasierter Anstrichmittel ohne flüchtige, organische Lösungsmittel mit Hilfe von Konservierungsstoffen gewährleistet werden muss (Maier et al. 2021; Schneider et al. 2021). Eine Projektgruppe der Leibnitz-Universität Hannover und fünf weiteren Universitäten sowie zahlreichen Industriepartnern aus der Europäischen Union widmet sich der Entwicklung von grünen Lösungsmitteln. Das Forschungsprojekt DECADES sucht nach biobasierten Alternativen, wobei auch die Herstellung unter milden und umweltverträglichen Prozessbedingungen ablaufen soll (bioökonomie.de 2022a).

Hinsichtlich Aspekten wie der Kreislaufwirtschaft oder „Design-for-Recycling“ gibt der Verband der deutschen Lack- und Farbindustrie zu bedenken, dass die Wiederverwendung von aufgetragenen Anstrichmitteln im Widerspruch zu deren Nutzen steht (Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. 2021). Beschichtungen sollen Werkstücke langfristig vor Umwelteinflüssen schützen. Doch durch diese Beständigkeit wird auch die Recyclingfähigkeit enorm eingeschränkt. Durch potentiell negative Auswirkungen auf die Umwelt am Ende der Lebensdauer sollten dennoch Aufbereitungskonzepte mitgedacht werden. Ein möglicher Ansatz, um nach Nutzungsende der Beschichtung einen Abbau einzuleiten, könnte mit Hilfe der Biotechnologie funktionieren, ähnlich einem Lichtschalter (Gesthuizen et al. 2020). Bestimmte Mikroben beispielsweise sind in der Lage, Azofarbstoffe abzubauen. Durch deren Enzyme, die Azoreduktasen, können solche Farbstoffe in einzelne Bestandteile zerlegt werden (Khanis et al. 2020). Damit kann der Einsatz von mikrobiellen Enzymen zum innovativen Zukunftsfeld für die Lack- und Farbindustrie werden.

Der Ersatz von Pigmenten oder Füllstoffen in Lacken und Farben ist ebenfalls ein relevantes Forschungsfeld. Im Bereich der Füllstoffe wird am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung (IAP) Keratin aus Hühnerfedern genutzt. Füllstoffe verbessern mechanische Eigenschaften von Lacken. Kreatin verspricht bessere Barriere-Eigenschaften und damit eine stabilere Haftung als anorganische Füllstoffe. Oberflächenstruktur, Farbeindruck und Glanzgrad des Lacks könnten ebenso optimiert werden. Mit Hilfe von Federn ließe sich der Einsatz typischerweise genutzter, mineralischer Rohstoffe wie Bariumsulfat und Kaolin reduzieren. Außerdem würden Reststoffe aus der Fleischverarbeitung, die primär energetisch genutzt werden, auch stoffliche Anwendung finden (IV\_MB1356). Auch der Einsatz von Zellulosefasern hat sich als vielversprechend erwiesen. Dazu entwickelt das Unternehmen J. Rettenmaier und Söhne GmbH (JRS) am Standort in Baden-Württemberg derzeit Formulierungen, um Pigmente wie Titanoxid und Füllstoffe wie Kaolin langfristig ersetzen zu können. Neben gesundheitlicher Unbedenklichkeit sind auch die Gewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen und weniger energieintensive Produktion von Zellulose bedeutende Vorteile für deren Anwendung (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2021).

## 4.2 Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen

### Einordnung des Wirtschaftszweigs

In der Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008) ist die Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln dem Verarbeitenden Gewerbe (Abschnitt C) und der Abteilung Herstellung von chemischen Erzeugnissen C 20 zugeordnet. In der Gruppe geht es um die Herstellung von Zwischen- und Endprodukten durch Weiterverarbeitung chemischer Grundstoffe. Zwei Unterklassen bzw. Kategorien sind in der Gruppe Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen gelistet: dazu zählt die Unterklasse 20.41 Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln und 20.42 Herstellung von Körperpflegemitteln und Duftstoffen.



Zu den Körperpflegemitteln gehören z.B. Produkte für die Haut- und Haarpflege oder dekorative Kosmetik

C	VERARBEITENDES GEWERBE
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen
20.4	<b>Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen</b>
20.41.0	<p><b>Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln</b></p> <p>Diese Unterklasse umfasst:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von organischen grenzflächenaktiven Stoffen</li> <li>• Herstellung von Papier, Watte, Filz und Vliesstoffen, mit Seife oder Reinigungsmitteln getränkt oder überzogen (nicht zur Körperpflege)</li> <li>• Herstellung von Glycerin</li> <li>• Herstellung von Seifen, außer solcher zur Körperpflege</li> <li>• Herstellung von grenzflächenaktiven Zubereitungen (Wasch- und Reinigungsmittel, Geschirrspülmittel, Textilweichspüler)</li> <li>• Herstellung von Reinigungs- und Poliermitteln: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zubereitungen zum Parfümieren und Deodorieren von Räumen</li> <li>- künstliche und zubereitete Wachse</li> <li>- Lederpflegemittel</li> <li>- Holzpflegemittel</li> <li>- Poliermittel für Karosserien, Glas und Metall</li> <li>- Scheuerpasten und -pulver, einschließlich mit Scheuerpasten und -pulver beschichtetem</li> <li>- Papier, Watte usw.</li> </ul> </li> </ul>

C	VERARBEITENDES GEWERBE
20.42.0	<p><b>Herstellung von Körperpflegemitteln und Duftstoffen</b></p> <p>Diese Unterklasse umfasst:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von Körperpflegemitteln und Duftstoffen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Parfüms und Eau de Toilette</li> <li>- Kosmetika</li> <li>- Sonnenschutz- und Bräunungsmittel</li> <li>- Hand- und Fußpflegemittel</li> <li>- Haarwaschmittel, Haarlacke, Dauerwell- und Entkrausungsmittel</li> <li>- Zahnputz- und Mundpflegemittel einschließlich Haftmittel für Zahnprothesen</li> <li>- zubereitete Rasiermittel, einschließlich Zubereitungen für den Gebrauch vor oder nach der Rasur</li> <li>- Deodorants und Badesalze</li> <li>- Enthaarungsmittel</li> <li>- Herstellung von Seifen zur Körperpflege</li> </ul> </li> </ul>

Tabelle 13: Eingrenzung und Hauptprodukte der Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie Duftstoffen.

Der biobasierte Anteil der Branche liegt bei 2,6 Prozent bis 13,5 Prozent (Brödner et al. 2021). Die Branche ähnelt der Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kittenden, denn auch hier wird eine Vielzahl unterschiedlicher Fein- und Spezialchemikalien für spezielle Anwendungsfelder produziert. Zur Unterklasse Wasch- und Reinigungsmittel zählen Produkte zur Wohnraum- und Fahrzeugpflege und Haushaltsreiniger, Seifen, Spezialputz- und Poliermittel. Zur Kategorie Körperpflegemittel gehören Produkte für die Hautpflege und Mundhygiene, Haarpflege, Parfüms und Deodorants, dekorative Kosmetik sowie Bade- und Duschzusätze (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021).

### Wirtschaftliche Bedeutung in Deutschland

Im Jahr 2019 erwirtschafteten in Deutschland 1.117 Unternehmen der Seifen-, Wasch- und Reinigungs-, sowie Kosmetikherstellung einen Umsatz von etwa 22,3 Mrd. Euro. Hier wurden 42.000 Beschäftigte gezählt. Betriebszahl und Beschäftigtenzahlen verteilen sich etwa zu gleichen Anteilen zwischen den beiden Unterklassen Seifen, Wasch- und Reinigungsmittel 20.41 bzw. Körperpflegemittel 20.42.

Wenige globale Großunternehmen dominieren den Markt. Dazu zählen die Töchter des US-Konzerns Procter & Gamble, Unilever (Hamburg, Emmerich), Henkel AG & Co. KG (Düsseldorf) sowie die Beiersdorf AG (Hamburg). Die L'Oreal Deutschland GmbH (Düsseldorf), Colgate-Palmolive GABA GmbH (Hamburg) sowie Rituals Cosmetics Germany GmbH (Köln) und Weleda A.G. (Schwäbisch Gmünd) fokussieren sich auf die Herstellung von Kosmetika und Duftstoffen. Weiterhin sind die DALLI-Werke GmbH & Co. KG (Stolberg, NRW) und das Familienunternehmen Dr. Schumacher GmbH und DR. SCHNELL GmbH (Malsfeld-Beiseförth, Hessen) bedeutende Unternehmen zur Herstellung von Seifen, Wasch- und Reinigungsmitteln. Hier wird deutlich, dass der Markt von Unternehmen mit Produktionsstandorten im Westen, Norden und Süden Deutschlands geprägt ist.

Mit einem Absatzanteil von mehr als 50 Prozent sind Drogerien Hauptabsatzkanäle für Kosmetika. Daneben werden im Fachhandel relevante Mengen abgesetzt, gefolgt von Discount und Verbrauchermärkten sowie Warenhäusern und Apotheken. Auch der Onlinevertrieb hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Seifen, Wasch- und Reinigungsmittel hingegen werden nur zu einem Drittel über Drogeriemärkte abgesetzt. Hier spielen Discounter, Verbrauchermärkte und Wa-

rennhäuser eine größere Rolle mit zusammengekommen 60 Prozent.<sup>15</sup> Dadurch unterscheidet sich die Branche von der Herstellung chemischer oder pharmazeutischer Grundstoffe sowie der Herstellung von Anstrichmitteln.

Die Produktionsmenge an Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen in Deutschland betrug im Jahr 2020 ca. 4,2 Mio. Tonnen. Die größte Menge entfällt mit ca. 3,5 Mio. Tonnen auf Seifen, Wasch- und Reinigungsmittel. Organische Tenside machten zusammen einen Anteil von ca. 25 Prozent an der Gesamtmenge aus. Kosmetika und Duftstoffe hingegen werden in deutlich geringeren Mengen aber zu hohen Preisen verkauft. Daher wohnt ihnen ein besonders hohes Wertschöpfungspotenzial inne (Statistisches Bundesamt 2020b).

Der Absatz von Natur-Kosmetik liegt in Deutschland im Trend. Im Jahr 2020 lag Umsatzanteil von Naturkosmetik bei knapp 11 Prozent und damit deutlich höher als im europäischen Vergleich. Naturkosmetikprodukte erzielten im Jahr 2020 einen Umsatz von über 1,4 Mrd. Euro. 10 Jahre zuvor waren es noch 800 Mio. Euro. Die Weleda AG führt den weltweiten Naturkosmetikmarkt mit einem Umsatz von 424,8 Mio. Euro und insgesamt 2.400 Mitarbeitenden (Weleda AG 2021) an.

### Wirtschaftliche Bedeutung in den Revieren

Im Mitteldeutschen Revier wurde die Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen als Potenzialbranche identifiziert. Hinsichtlich der Beschäftigung ist die Branche im Mitteldeutschen Revier überrepräsentiert im Vergleich zu den ostdeutschen Flächenländern, was sich im Lokalisationskoeffizient von  $> 1$  widerspiegelt. Etwa 700 Personen waren 2019 im Revier beschäftigt. In Mitteldeutschland erwirtschaften im Jahr 2020 21 Unternehmen einen Umsatz von rund 38 Mio. Euro.

Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen – Potenzialbranche im Mitteldeutschen Revier		
	Lausitzer Revier	Mitteldeutsches Revier
umsatzsteuerpflichtige Unternehmen (2019)	8	21
sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (2020)	300	700
steuerbarer Umsatz (2019, Mio.)	126,4	37,9
Lokalisationskoeffizient (2020)	1,26	1,42

Tabelle 14: Wirtschaftliche Kennzahlen der Branche Herstellung von Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen.

Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Bundesagentur für Arbeit 2021; Brödner et al. 2021.

Im Revier konnten 21 Unternehmen der Branche identifiziert werden. Diese konzentrieren sich vor allem im Landkreis Leipzig und der Stadt Leipzig. Das größte Unternehmen der Branche im Revier ist die Bell Flavors&Fragrances GmbH in Leipzig. Außerhalb der Reviergrenze befindet sich die Firma Beiersdorf Manufacturing Waldheim GmbH (Landkreis Mittelsachsen), wo Körperpflegeprodukte hergestellt werden. Während der ersten Monate der Covid-19-Pandemie wurde das Produktspektrum auf Desinfektionsmittel erweitert. Das Unternehmen hat für das Jahr 2022 die Verlagerung seines Standorts nach Leipzig geplant. Die Verlagerung ermöglicht die Modernisierung der Produktion und die Angliederung eines Logistikzentrums. Knapp 300 Mitarbeitende der Bell Flavors&Fragrances GmbH entwickeln, produzieren und vertreiben Duftstoffe und Aromen. Weiterhin wurden im Mitteldeutschen Revier vier Unternehmen identifiziert, die Naturkosmetika herstellen. Ein prägendes Unternehmen der Branche im Lausitzer Revier ist die Fit GmbH in Zittau (Landkreis

15 <https://www.ikw.org/der-ikw/fakten-zahlen>, zuletzt aufgerufen am 21.06.2022

Görlitz) mit etwa 260 Mitarbeitenden. Bereits in der DDR etablierte sich die Spülmittelmarke Fit®, deren Absatz bis heute in den neuen Bundesländern am größten ist.

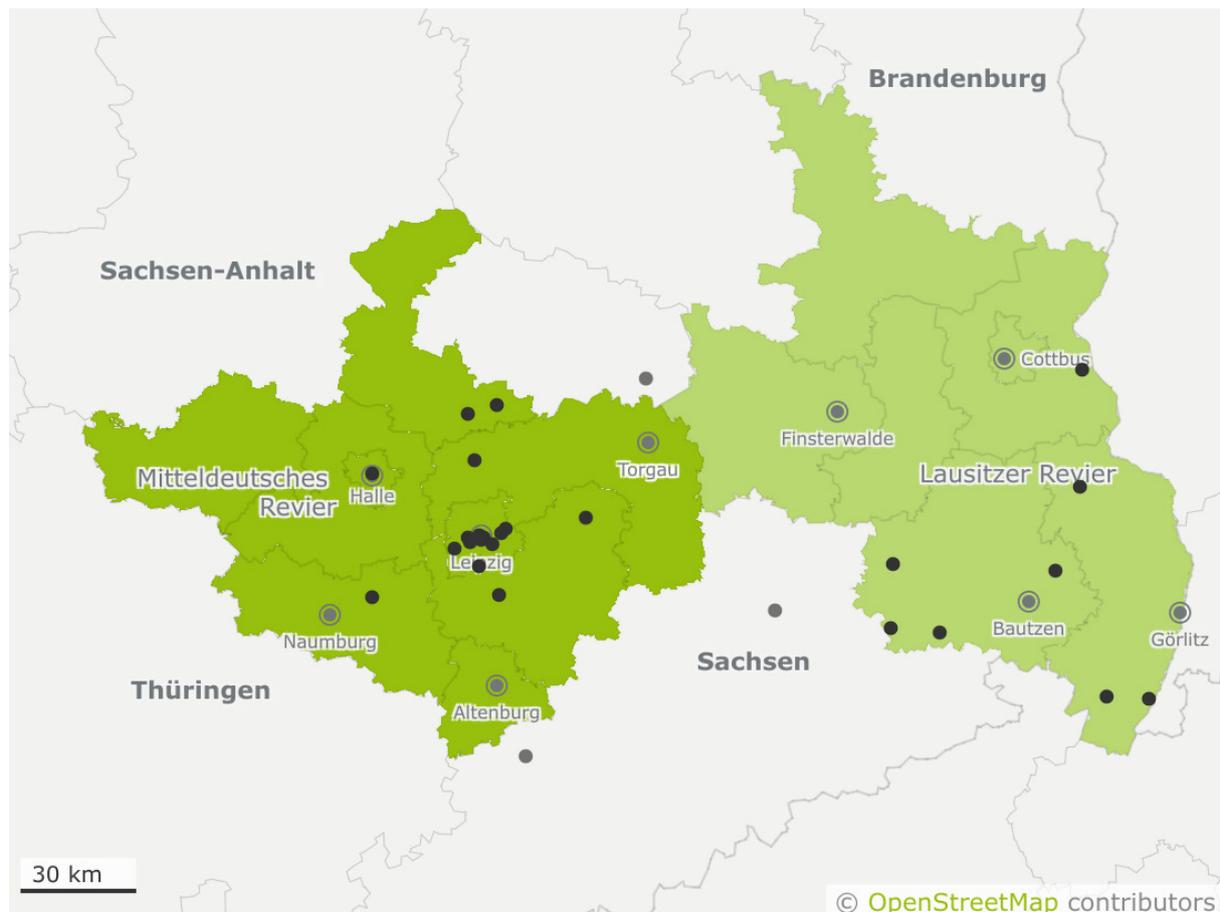


Abbildung 10: Standorte der Branche Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen in den Revieren und im direkten Einzugsbereich.  
Quelle: eigene Abbildung.

## Rohstoffbasis

Die Rohstoffbasis der Branche setzt sich aus biobasierten und fossilen Ressourcen zusammen. Die eingesetzten Chemikalien in der Unterklasse Seifen-, Wasch- und Reinigungsmittel sind sehr vielfältig. Tenside sind entscheidend für eine Reinigungswirkung. Ihr Anteil beträgt bis zu 30 Prozent im Endprodukt. Ein mittelständisches Unternehmen setzt in der Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln jährlich bis zu 10.000 Tonnen Tenside ein (IV\_MB1061). Biobasierte Tenside hatten 2017 einen Anteil von 7 Prozent in Wasch-, Pflege-, und Reinigungsmitteln, erdölbasierte Tenside etwa 50 Prozent und Misch tenside 43 Prozent. 2018 wurden in Deutschland 608.000 Tonnen pflanzlicher Öle zur Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln sowie Kosmetika genutzt (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020a). Die in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzten Tenside basieren hauptsächlich auf Natriumsalzen der Laurinsäure, die überwiegend aus den Rohstoffen Palmkern- und Kokosöl gewonnen werden. Zur Substitution dieser importierten Rohstoffe setzen Entwicklungsansätze vor allem auf heimische Sorten wie Rapsöl, Sonnenblumenöl und Leinöl. Des Weiteren können Fettalkohole aus biobasierten Fettsäuren durch chemische Modifikation zu vielen verschiedenen Tensiden umgesetzt werden (Wiegmann et al. 2019). Daneben bilden bestimmte Hefestämme in ölhaltigen Medien Bio-Tenside, deren Eignung für den Einsatz in Kosmetika, Wasch- und Reinigungsmitteln nachgewiesen werden konnten (Kohl et al. 2018). Auch Zuckertenside oder Tenside auf Basis von Mikroalgen sind vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt (Wiegmann et al. 2019).

Körperpflegemittel und Kosmetika beinhalten ebenfalls Tenside sowie Emulgatoren, Alkohole, Glycerin sowie Fette und Öle. Farb-, Duft-, und Konservierungsstoffe sind nur zu einem geringen Anteil enthalten. In Cremes und Emulsionen spielen Pflanzenöle als Inhaltsstoffe die wichtigste Rolle mit bis zu 40 Gewichtsprozent. Alkohole sind in Hautreinigern, Parfums und Rasierwässern enthalten (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2014b). Emulgatoren werden zur Mischung der einzelnen Komponenten eingesetzt. Tenside und Emulgatoren gleichen sich in ihrer chemischen Grundstruktur, wo innerhalb des Moleküls eine fettlösliche mit einer wasserlöslichen Komponente verknüpft ist.



Tenside sind entscheidend für eine Reinigungswirkung der Produkte.

In Seifen-, Wasch- und Reinigungsmitteln sind außerdem Enthärter (Citrate, Phosphate, Zeolithe) sowie weitere anorganische Bestandteile wie Natriumcarbonat und Natriumsulfat enthalten. Rund die Hälfte der Inhaltsstoffe ist anorganischen Ursprungs. Phosphonate werden häufig in Waschmitteln zur Unterstützung der Bleichwirkung und zur Wasserenthärtung eingesetzt. Bedenklich sind diese Stoffe wegen ihrer Bildung schwer abbaubarer Komplexverbindungen mit Schwermetallionen. Ein einfacher Ersatz für Phosphonate sind Citrate. Die Salze der Zitronensäure werden entweder durch chemische Extraktion aus Zitrusfrüchten gewonnen oder biotechnologisch durch Fermentation von zuckerhaltigen Lösungen mithilfe bestimmter Schimmelpilze. Zitronensäure kann auch zur Entfernung von Rost oder Kalk in Reinigungsmitteln oder zur Einstellung des pH-Werts in Kosmetika verwendet werden (Happel et al. 2021) (IV\_MB1061). Auch bioabbaubare Chelatverbindungen können in Geschirrspül- und Waschmitteln eingesetzt werden (Nouryon Specialty Chemicals B.V. 2022).

In bestimmten Produkten werden auch Enzyme, optische Aufheller, Duftstoffe und Konservierungsmittel verwendet. Enzyme ermöglichen die Reduktion anderer Inhaltsstoffe und werden aufgrund ihrer komplexen Struktur biotechnologisch hergestellt. Ihre Aufgabe liegt darin, Fette, Kohlenhydrate und Eiweiße zu spalten (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2014b; Elsner et al. 2017).

In Naturkosmetika werden überwiegend Rohstoffe eingesetzt, die aus pflanzlichen, tierischen oder mineralischen Rohstoffen stammen. Ca. sechs Prozent des gesamten Marktwertes der Körperpflegemittel waren 2011 Naturkosmetika. Dieser Anteil ist in den letzten Jahren auf etwa zehn Prozent gestiegen. Deutschland ist der größte Absatzmarkt für Naturkosmetik in der Europäischen Union, dicht gefolgt von Frankreich (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2014b).

### Innovationsfelder der Bioökonomie

Aus dem Abwasser gelangen diese Stoffe in Gewässer, wo deren Rückstände dauerhaft in der Umwelt verbleiben und Ökosysteme, Organismen und Lebensräume gefährden können. Neben biobasierten ist daher die (Weiter-)Entwicklung von bioabbaubaren Inhaltsstoffen in Kosmetika, Wasch- und Reinigungsmitteln eines der Hauptinnovationsfelder. Eine großtechnische Anlage zur Gewinnung von Biotensiden in Europa befindet sich im Bau in der Slowakei. Die Firma Evonik Industries AG hat Rhamnolipide auf Basis einer Stärkefermentation entwickelt. Diese Biotenside können in Kosmetika und Reinigungsmitteln eingesetzt werden. Der Bau solcher Biotechnologie-Anlagen zur Produktion biobasierter Grundstoffe trägt zur Verringerung der Produktionskosten bei (Evonik

Industries AG 2022). Denn der Einsatz von biobasierten Tensiden ist einerseits abhängig von den Qualitätseigenschaften und der Deklaration auf dem Endprodukt, andererseits von Preis und Verfügbarkeit. Zur Vermeidung von Lieferengpässen durch weite Handelswege aus Übersee bieten sich regionale Wertschöpfungsketten an.

Grundsätzlich sind diverse Fette und Öle zur Herstellung biobasierter Tenside geeignet. Als biogener Rohstoff für Tenside kommt in Deutschland vornehmlich Rapsöl in Frage. Zur Deckung des Tensidbedarfs eines mittelständischen Herstellers von Reinigungs- und Waschmitteln müssten etwa 3.000 Tonnen rapsölbasierte Tenside jährlich hergestellt werden. Zur Etablierung solcher Wertschöpfungsketten spielen Wirtschaftlichkeit, Logistik und etwaige Konkurrenzsituationen zu anderen Anwendungen von Rapsöl eine Rolle. Die Entwicklung einer regionalen Bioökonomie kann dazu beitragen, die „katastrophale Lage“ am Rohstoffmarkt zu entspannen (IV\_MB1061). Daneben ist auch Insektenfett aus Bioraffinerien zur Herstellung biobasierter Tenside denkbar. Neben Textilbeschichtungen und Nahrungsmitteln können Insekten auch interessante Fette liefern. Auf deren Basis befasst sich die „Allianz Biotenside“ mit der biotechnologischen Herstellung von Bio-Tensiden mit bislang vielversprechenden Ergebnissen. Die verstärkte Produktion und Nutzung von Insekten wird in der industriellen Bioökonomie zukünftig eine Sonderrolle einnehmen (Neis-Beeckmann 2022).

Auf dem Reinigungsmittel- und Kosmetikmarkt können Nischen besetzt werden, insbesondere durch kleine Unternehmen, die Naturkosmetika oder biobasierte Produkte herstellen. Die Wertschöpfung ist für Kosmetika besonders hoch, da diese in verhältnismäßig kleinen Mengen zu hohen Preisen verkauft werden. Beim Aufbau eines kleinen Betriebs oder Start-Ups ist eine solide Vernetzung wünschenswert, um die Situation auf dem Rohstoffmarkt, die Auswahl von Lieferanten und Austausch hinsichtlich rechtlicher Rahmenbedingungen zu ermöglichen (IV\_MB1089). Im Rheinischen Revier werden Disteln zur Verwendung in Kosmetika angebaut. Die Pflanzen kommen gut mit den sandigen Böden zurecht. Das Distelsamenöl bietet Anwendungspotenzial als Zusatz in hochwertigen Produkten (Forschungszentrum Jülich GmbH 2020).

In Rostock stellt das Unternehmen Gebrüder Parsch GmbH die Produktreihe „beeta“ her, die Waschmittel, verschiedene Reinigungsmittel und Seifen auf Basis von Roter Beete umfasst. Die in Roter Beete enthaltene Oxalsäure bewirkt zusätzliche Reinigung neben pflanzlichen Tensiden und anderen zugesetzten organischen Säuren (Gebrüder Parsch GmbH ohne Jahr).

## 4.4 Herstellung von Chemiefasern

### Einordnung des Wirtschaftszweigs

Die Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008) ordnet die Herstellung von Chemiefasern dem Verarbeitenden Gewerbe (Abschnitt C) und der Abteilung Herstellung von chemischen Erzeugnissen C 20 zu. In der Gruppe geht es um die Herstellung von Zwischen- und Endprodukten durch Weiterverarbeitung chemischer Grundstoffe. Dazu zählt die Unterklasse C 20.60.0 zur Herstellung von Chemiefasern.

<b>C</b>	<b>VERARBEITENDES GEWERBE</b>
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen
<b>20.6</b>	<b>Herstellung von Chemiefasern</b>
<b>20.60.0</b>	<b>Herstellung von Chemiefasern</b> Diese Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von synthetischen oder künstlichen Filamenten</li> <li>• Herstellung von synthetischen oder künstlichen Stapelfasern, weder gekrempelt noch gekämmt oder anderweitig für die Spinnerei bearbeitet</li> <li>• Herstellung von synthetischen oder künstlichen Filamentgarnen einschließlich hochfesten Garnen</li> <li>• Herstellung von synthetischen oder künstlichen Monofilamenten oder Streifen</li> </ul>

Tabelle 15: Eingrenzung und Hauptprodukte der Herstellung von Chemiefasern.

Der biobasierte Anteil der Branche liegt bei bis zu 13,5 Prozent (Brödner et al. 2021). Chemiefasern werden der Produktgruppe „Polymere“ zugeordnet. Ausgangsstoffe zur Verarbeitung in dieser Branche stammen aus der Herstellung von Kunststoffen in Primärform (C 20.16). Chemiefasern werden verwendet in der kunststoffverarbeitenden Industrie (C 22.2) sowie der Textilherstellung (C 13.99). Der Produktionswert für Polymere an der chemischen Industrie liegt bei 13 Prozent, Chemiefasern machen ca. ein Prozent des Produktionswertes aus. Damit hat dieser Industriezweig einen vergleichsweise geringen Stellenwert in der chemischen Industrie und im Verarbeitenden Gewerbe (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021).

### Wirtschaftliche Bedeutung in Deutschland

Im Jahr 2020 wurden weltweit 81 Mio. Tonnen Chemiefasern hergestellt. Weniger als ein Prozent davon, 514.000 Tonnen, entfielen dabei auf Deutschland. Hierzulande ist die Produktionsmenge in den vergangenen Jahren stetig gesunken. So waren es vor zehn Jahren noch 751.000 Tonnen (Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (IVC) 2021). Umsatzverringierungen und ein Arbeitsplatzabbau begleiten diese Entwicklung. Im Vergleich zum Jahr 2010 verringerte sich der Umsatz um mehr als 23 Prozent (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021). 76 Unternehmen erwirtschafteten 2019 einen Umsatz von 2,9 Mrd. Euro. Auch bezüglich der Beschäftigten kam es seit 2007 zu einem deutlichen Rückgang von 20.700 auf 9.600 im Jahr 2020.

Wichtige Unternehmen in Deutschland sind überwiegend im Süden und Westen des Landes angesiedelt, darunter Trevira GmbH in Bobingen, Enka International GmbH in Wuppertal, Rhodia Acetow GmbH in Freiburg, TWD Fibres GmbH in Deggendorf und Performance Fibres GmbH in Hattersheim. Neben diesen größeren Unternehmen mit bis zu 1.000 Mitarbeitenden gehören Betriebe der

Chemiefaserindustrie zu weiten Teilen dem Mittelstand mit kleinen und mittleren Betriebsgrößen an (Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (IVC) 2021). 2020 produzierte die Trevira GmbH 120.000 Tonnen Chemiefasern. Davon verließen elf Prozent das Werk in Richtung der Automobilindustrie und in den Bereich Heimtextilien. Knapp die Hälfte der hergestellten Chemiefasern wurden zu Hygieneprodukten verarbeitet.<sup>16</sup>



Chemiefasern können in der Automobilindustrie, zu Heimtextilien oder Hygieneprodukten verarbeitet werden.

In den 1980er Jahren bauten asiatische Länder verstärkt Industrieanlagen zur Faserproduktion auf. In der Folge kam es zu einem deutlichen Produktionsüberschuss, vor allem für die textilen Einsatzbereiche (also für Anzug-, Kleider-, und Futterstoffe, Wäsche und Strümpfe, Bade- und Sportbekleidung, Maschenware und sonstige Gewebe und Garne) sowie für den Bereich der Heimtextilien (Vorhänge und Gardinen, Teppiche und textile Wand und Bodenbeläge). Wachsende globale Handelsverflechtungen führten dazu, dass sich die Chemiefaserherstellung seither in Richtung Asien verschoben hat. Neben dem steigenden Import führte auch die wachsende Verfügbarkeit kostengünstig produzierter Massenware zu einem erheblichen Rückgang der Produktion in Deutschland und Europa. Seit Mitte der 1990er Jahre haben sich die Großkonzerne Hoechst AG, Bayer AG, BASF SE und DuPont de Nemours aus der Chemiefaserherstellung zurückgezogen und widmen sich nur noch der Produktion von Grundstoffen für die Chemiefaserindustrie, die ein breiteres Vertriebspektrum bieten (Löbke 2008).

Die Chemiefaserindustrie gehört deshalb schon länger nicht mehr zu den Kernindustrien in Europa. Nur die Produktion von Spezialprodukten ist in diesem Teil der Welt noch von wirtschaftlicher Relevanz. Für technische Einsatzbereiche gewinnen in Deutschland produzierte Chemiefasern bis heute zusätzliche Marktanteile. Dazu zählen Breit- und Schmalgewebe (Planen, Segel, Gurte und Bänder, Seile und Netze) oder „Mechanical Rubber Goods“ als Verstärkungsmittel für Förder- und Transportbänder, Reifen und Schläuche. Auch der Bedarf der Automobilindustrie, etwa an Auto-Sicherheitsgurten oder Airbags, oder auch Veränderungen des Konsument\*innenverhaltens wie gestiegene Nachfrage nach Zigarettenfiltern und Hygieneprodukten sind Teil dessen (Löbke 2008; Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (IVC) 2021).

Bezogen auf die Menge werden 94 Prozent der in Deutschland produzierten Chemiefasern auch im Inland verarbeitet. Zwei Drittel der Chemiefasern sind für den technischen Einsatz bestimmt (Bau- und Automobilindustrie, medizinische und hygienische Fasern), ein Viertel werden zu Heimtextilien und 13 Prozent zu Bekleidung verarbeitet (Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (IVC) 2021).

### Wirtschaftliche Bedeutung in den Revieren

Im Lausitzer Revier ist ein Unternehmen bekannt, das sich der Chemiefaserproduktion widmet. Bei der Trevira GmbH in Guben arbeiten 585 Menschen. Der Gesamtumsatz des Unternehmens mit Hauptsitz in Bobingen (Landkreis Augsburg in Bayern) beträgt 230 Mio. Euro. Trevira GmbH ist eine Tochtergesellschaft der thailändischen Indorama Ventures PCL. Am Standort in Guben werden Chemiefasern in Form von synthetischen Faserpolymeren in Form von Polyesterfilamentgarnen

<sup>16</sup> <https://www.trevira.de/zahlen-fakten>, zuletzt geprüft am 20.06.2022

hergestellt und aufgespult an Webereien und Wirkereien ausgeliefert. Deren Umsätze und Mitarbeiterzahlen sind in den vergangenen Jahren gesunken. Vor etwa 15 Jahren arbeiteten noch 820 Menschen in der Firma im Kreis Neiße-Spreewald. Der Gesamtumsatz lag zu diesem Zeitpunkt bei 290 Mio. Euro (IV\_MB1116; Löbke 2008).

Herstellung von Chemiefasern – Potenzialbranche im Lausitzer Revier		
	Lausitzer Revier	Mitteldeutsches Revier
umsatzsteuerpflichtige Unternehmen (2019)	1	-
sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (2020)	500	300
steuerbarer Umsatz (2019, Mio.)	-	-
Lokalisationskoeffizient (2020)	4,34	1,19

Tabelle 16: Wirtschaftliche Kennzahlen der Branche Herstellung von Chemiefasern; - = keine Daten.  
Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Bundesagentur für Arbeit 2021; Brödner et al. 2021.

Die Auslastung der Produktionskapazität des Werks in Guben liegt bei etwa 70 Prozent. Jährlich werden 50.000 Tonnen Polyesterchips mit unterschiedlichen Additiven hergestellt. Daraus entstehen in Extrusions- und Spinnanlagen 12.000 Tonnen Garn. Es handelt sich um hochspezialisierte Waren, in die z.B. flammhemmende oder antimikrobielle Komponenten direkt im Polymer eingearbeitet sind. Daneben werden um die 30.000 Tonnen vor Ort produzierte Polyesterchips weiterverkauft. Als Rohstoffe kommen hauptsächlich 35.000 Tonnen pro Jahr Terephthalsäure und 17.000 Tonnen Ethylenglycol zum Einsatz, um daraus Polyethylenterephthalat (PET)-Fasern zu fertigen. Biobasiertes Monoethylenglykol wird zukünftig in Leuna gefertigt. Der Bezug von Furandicarbonsäure oder anderen biobasierten Alternativen zu Terephthalsäure ist bisher in Europa nur eingeschränkt möglich. Darüber hinaus wird recyceltes PET (rPET) verarbeitet. Die Fertigung von Textilien erfolgt dann in einer nachgelagerten Wertschöpfung. Produkte finden sich z.B. in der Automobilindustrie, im Bauwesen oder für hygienische und technische Stoffe (IV\_MB1116).

Der biobasierte, bioabbaubare Ausgangsstoff Polymilchsäure (PLA) nimmt bereits einen wichtigen Stellenwert ein und folgt damit den Entwicklungen auf dem Kunststoffmarkt. Besonders wenn die biologische Abbaubarkeit im Vordergrund steht, bietet sich die Anwendung für Fasern aus PLA an. Dazu zählt etwa mechanischer Pflanzenschutz im Obstbau oder in der Forstwirtschaft. Auch in der Baubranche für akustische Modulatoren oder Sonnenschutz und Halbwerkzeuge in Kombination mit Fasern bieten sich bioabbaubare Fasermaterialien an (IV\_MB1116).

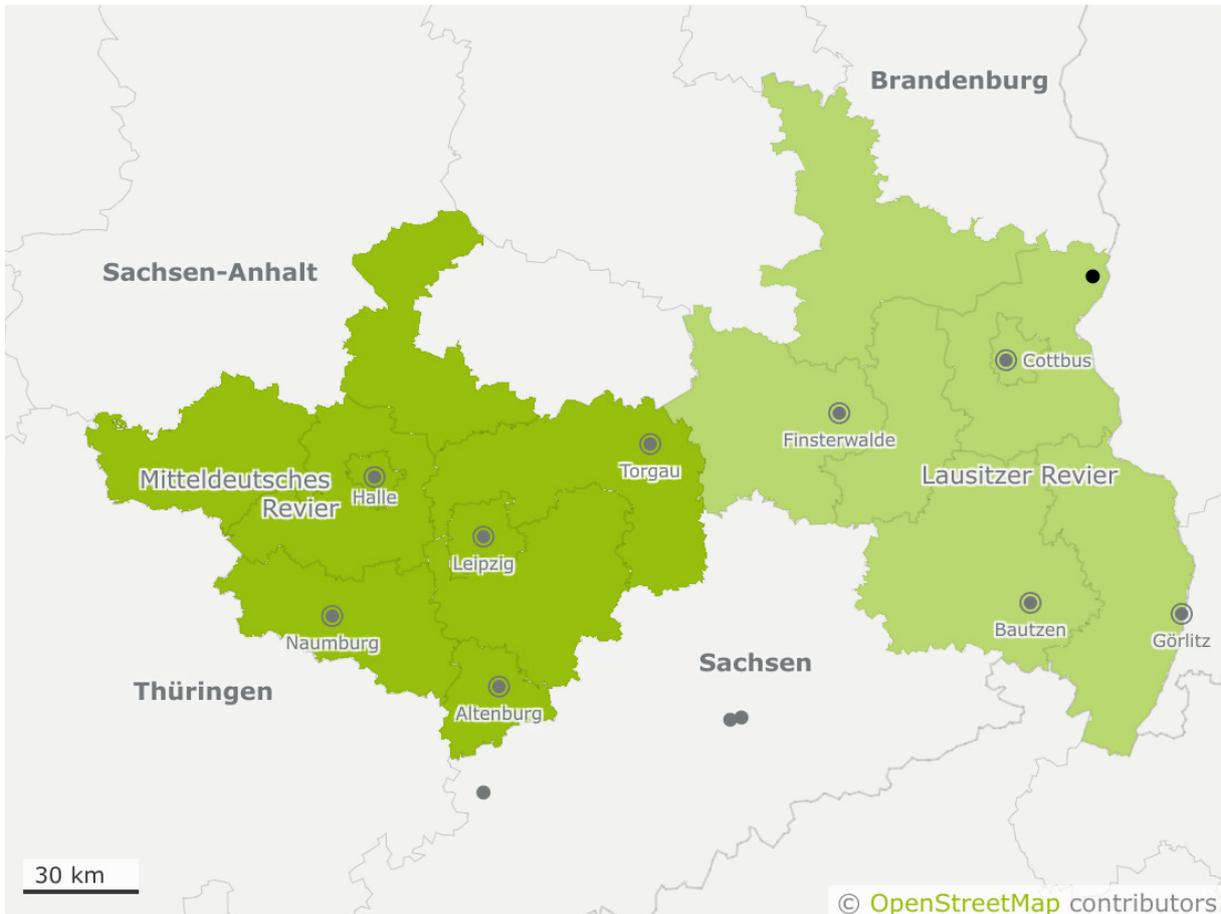


Abbildung 11: Standorte der Branche Herstellung von Chemiefasern in den Revieren und im direkten Einzugsbereich.

Quelle: eigene Abbildung.

Die Überalterung der Mitarbeitenden in der Region wird als problematisch wahrgenommen. Fachkräfte für den Betrieb industrieller Anlagen, aber auch in den Bereichen Instandhaltung, Entwicklung und Leitung sind schwer zu finden. Dazu zählen beispielsweise Spezialist\*innen für Qualitätssicherung oder Elektriker\*innen (IV\_MB1116).

### Rohstoffbasis

Chemiefasern decken etwa drei Viertel des weltweiten Faserbedarfs ab. Bei Kunstfasern wird zwischen zellulosischen und synthetischen Chemiefasern unterschieden. Zellulosische Chemiefasern werden aus chemisch oder verfahrenstechnisch modifizierter Zellulose hergestellt. Zellulose kann aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holz gewonnen werden. Zu diesen sogenannten Regeneratfasern zählen Viskose, Model-, Lyocell- und Acetatfasern. Diese können in den biologischen Kreislauf zurückgeführt werden und sind biologisch abbaubar. Etwa ein Fünftel bis ein Viertel der Produktionsmenge von Chemiefasern sind zellulosischen Ursprungs (Löbke 2008). Synthetische Faserpolymere stellen hinsichtlich der Produktionsmenge den Großteil der Chemiefasern bereit. Sie entstehen aus chemischen Grundstoffen, die bisher hauptsächlich aus fossilen Rohstoffen gewonnen werden. Dazu gehören Polyester-, Polyamid-, Polyacryl- und Elastanfasern. Den größten Anteil an Chemiefasern hat Polyester (Polyethylenterephthalat PET), was auch im Lausitzer Revier vorherrscht. Im Jahr 2020 wurden in Deutschland 175.000 Tonnen Polyester produziert. Dieses Material wird häufig in Mischungen, z.B. mit Baumwolle oder Wolle verwendet (Anteile variieren zwischen 65 und 35 Prozent) und kann auch aus recyceltem Polyethylenterephthalat (rPET) erzeugt werden. Polyamid ist seidenähnlich und ist auch unter dem Namen Nylon und Perlon bekannt. Auf

Basis von Rizinusöl lassen sich zu 75 Prozent biobasierte Polyamide herstellen. Polyacryl ist woll- oder fellähnlich und wird auch Dralon genannt. Elastanfasern bestehen aus Polyurethan und wird meist als Beimischung verwendet, um Stoffe elastischer zu machen. Auch neuartige Polymere auf Basis von Zucker oder Stärke wie z.B. Polymilchsäure (PLA) können zu Fasern verarbeitet werden. Hinsichtlich des Weltmarkts 2018/19 machten Kunstfasern aus biobasierten Rohstoffen etwa acht Prozent aus (Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (IVC) 2021; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2014b, 2020a).



Recycling-Kunststoffe können zu neuen Chemiefasern verarbeitet werden

Weitere Ausgangsmaterialien zur Produktion von Zellulosefasern können Reststoffe aus der Baumwollverarbeitung sein. Auch aus alten Fischernetzen, Teppichen etc. lassen sich Polyamidfasern für den Einsatz in technischen Textilien zurückgewinnen (Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (IVC) 2021).

### Innovationsfelder der Bioökonomie

Produktionsbetriebe von Chemiefasern und anderen Kunststoffwaren zeigen großes Interesse an umweltfreundlichen Ausgangsmaterialien. Für die Herstellung von Polyestern wie PET sind die Ausgangsstoffe Ethylen und Terephthalsäure (TPA) geläufig. Diese werden bisher hauptsächlich aus Erdöl erzeugt und in Schwarzheide und in Leuna produziert. Um biobasierte Alternativen regional verfügbar zu machen, sind neue Anlagen nötig, die diese Grundstoffe in ausreichenden Mengen zu wirtschaftlichen Konditionen produzieren. Biobasiertes Monoethylenglykol (Bio-MEG) als Ersatz für Ethylen kann aus (Rest-)Holz hergestellt werden. In Leuna entsteht eine solche Bioraffinerie (IV\_MB1116). Die zweite Komponente TPA kann biobasiert durch die biotechnologische Umwandlung von Maisstärke in Paraxylol und dessen Weiterreaktion zu TPA erzeugt werden (Bittermann 2021). Ebenfalls von Bedeutung ist der Einsatz zurückgewonnener Terephthalsäure (rTPA). Das Polymer PET wird durch chemisches oder enzymatisches Recycling zu den Ausgangsmonomeren abgebaut. Das französische Unternehmen Carbios hat ein solches enzymatisches Verfahren zur Herstellung von rTPA entwickelt. Eine neue Recyclinganlage war in Schkopau in Sachsen-Anhalt geplant. Firmen wie PepsiCo Inc., Michellin SCA, Indorama Ventures PCL und Suntory Holdings K.K. sind bereits Partner von Carbios, um dieses qualitativ hochwertige rTPA in ihren Polyestern für Verpackungen, Getränkeflaschen und Fasern für Textilien und Reifen einzusetzen (KunststoffWeb GmbH 2021; Michelin Group 2021).

Für neuartige biobasierte und biologisch abbaubare Polymere wie Polymilchsäure (PLA) oder Polyethylenfuronat (PEF) fehlt es an regionalen Produktionsanlagen im industriellen Maßstab. PLA ist ein Polymer aus Milchsäuremonomeren, die aus der Fermentation stärke- oder zuckerhaltiger Biomasse gewonnen wird. PEF wird aus (biobasiertem) MEG und Furandicarbonsäure (FDCA) gefertigt. FDCA wird aus Fruktose über Hydroxymethylfurfural (HMF) synthetisiert. Europäische Hersteller beziehen PLA bisher überwiegend aus den USA. Eine lokale Produktionsstätte, die großtechnisch PLA, FDCA, rTPA und rPET herstellt, ist damit eine echte Lücke in der Wertschöpfungskette. Ab etwa 100.000 Tonnen pro Jahr rentiert sich die großindustrielle Produktion von PLA (IV\_MB1116).

Weitere Innovationsfelder bieten sich hinsichtlich der Entwicklung von Additiven für PLA-Fasern. Diese Additive sorgen für verbesserte Weichheit der sonst relativ starren Faser. Um eine hohe Um-

weltverträglichkeit dieser Mischung zu gewährleisten, sind diese Additive unbedingt als bioabbaubare Lösungen zu entwickeln (IV\_MB1116).

Zur Schließung von Kohlenstoff-Kreisläufen spielt die Weiterentwicklung von Recycling-Methoden eine wichtige Rolle. Die Verfügbarkeit recycelter Kunststoffe, wie von recyceltem Polyethylenterephthalat (rPET), bietet Entwicklungspotenzial für den Ausbau regionaler oder zunächst europäischer Wertschöpfungsketten. Bisher wird rPET aus Asien importiert, denn hohe Qualitätsanforderungen an die Rohstoffe erlauben wenig Spielraum für Schwankungen. Zudem bietet das chemische Recycling weitreichende Forschungsmöglichkeiten. Einerseits sind Verfahren zur Aufbereitung verschiedener Mischfasern interessant. Andererseits ist die Bereitstellung von qualitativ hochwertigen Rezyklaten aus kostengünstigen und energieeffizienten Verfahren ein wichtiges Innovationsfeld (IV\_MB1116). Spezifisches Recycling für Faserpolymere ist selten trivial und bisher noch nicht etabliert, besonders wenn es sich um Mischgewebe handelt. Auch auf diesem Gebiet besteht Entwicklungsbedarf. Wissenschaftler\*innen des Forschungsinstituts für Textilchemie und Textilphysik in Innsbruck gelang es, Polyamid aus Mischfasern mit Hilfe eines Lösungsmittelgemisches aus Ethanol, Wasser und Kalziumchlorid herauszulösen. Das gewonnene Pulver kann wieder zu Fasern versponnen werden. Für die Weiterentwicklung der Methode läuft derzeit die Hochskalierung (Süntinger 2020).

Organisatorische Ansätze zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft sollten im Optimalfall die Rückgabe von Textilien nach Gebrauch an die Produktionsbetriebe einschließen, wo diese dann für neue Produkte aufbereitet werden können. Darüber hinaus kann der Ausbau von Schnittstellen zu anderen Industriezweigen, die mit Kunststoffen arbeiten und in denen die gleichen Ausgangsstoffe genutzt werden (z.B. Verpackungen, Baumaterialien, Heimtextilien etc.), durch Netzwerke und Kooperationen gefördert werden. Damit verknüpft ist auch die Optimierung der Sammlung und Handhabung von Wertstoffen am Ende ihrer Nutzungsdauer. Die Stärkung des Recyclings ermöglicht die Stärkung der Kreislaufführung von Polymeren (IV\_MB1116).

Auch im Hinblick auf Zellulosefasern bieten sich ebenfalls Innovationspotenziale im Kontext der Bioökonomie. Zellulosefasern sind biogenen Ursprungs, zählen aber aufgrund der chemischen Modifikation der Zellulose zu den Chemiefasern. Beispiele sind Tencel-, Viskose- oder Lyocellfasern. Im Gegensatz zu Baumwollfasern zeichnen sie sich durch eine größere Variation ihrer Fasergeometrie aus. Dadurch werden weitere Anwendungsoptionen eröffnet, zum Beispiel für technische Anwendungen mit hohen Belastungen. Außerdem wird für die Herstellung von Tencel und Lyocellfasern weniger Wasser als für Baumwollfasern benötigt. Im Gegensatz zu Viskosefasern verzichtet man bei Lyocell und Tencel auf den Einsatz schädlicher Lösungsmittel. Üblicherweise werden Zellulosefasern aus schnellwachsenden Holzarten wie Buche oder Eukalyptus gewonnen. Außerdem eignen sich Flachs, Bambus oder Bananenfasern zur Zellulosegewinnung.<sup>17</sup> Die ZIM-NEMO-Netzwerke NaWaTech und Hanflyocell haben kürzlich eine Lyocell-Faser auf Hanfbasis entwickelt, die sich erfolgreich zu einem Kleidungsstück verarbeiten ließ. Zur wirtschaftlich rentablen Produktion dieser Fasern steht die Hochskalierung des Prozesses noch aus (Bengel 2020).

---

17 <https://biooekonomie.de/wirtschaft/branchen/textilien>, zuletzt aufgerufen am 05.07.2022

## 4.5 Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen

### Einordnung des Wirtschaftszweigs

Die Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008) ordnet die Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen dem Verarbeitenden Gewerbe (Abschnitt C) und der Abteilung Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen C 21 zu.<sup>18</sup> Dazu zählt die Unterklasse 21.10.0 (Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen).

C	VERARBEITENDES GEWERBE
21	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen
<b>21.1</b>	<b>Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen</b>
<b>21.10.0</b>	<b>Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen</b> Diese Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung aktiver Substanzen für die Herstellung pharmazeutischer Präparate: Antibiotika, Vitamine, Salicyl- und o-Acetylsalicylsäure usw.</li> <li>• Verarbeitung von Blut</li> <li>• Herstellung von chemisch reinem Zucker</li> <li>• Verarbeitung von Drüsen, Herstellung von Drüsenauszügen usw.</li> </ul>

Tabelle 17: Eingrenzung und Hauptprodukte der Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen.

Der biobasierte Anteil für diesen Wirtschaftszweig zwischen 7,7 Prozent und 40 Prozent (Brödner et al. 2021). Damit verfügt die Branche, im Vergleich zu den anderen in dieser Sektorstudie betrachteten Branchen, über einen vergleichsweise hohen Bioökonomieanteil. Der Produktionswert bezogen auf die gesamte chemisch-pharmazeutische Industrie liegt für Herstellung pharmazeutischer Grundstoffen bei 2,7 Prozent. Deutlich größer ist dieser Wert für die Herstellung pharmazeutischer Spezialitäten und sonstiger pharmazeutischer Erzeugnisse in der Unterklasse C 21.20.0 mit 20,2 Prozent (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021).

Bei der Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse bestehen hohe Anforderungen an Produktionsabläufe, Reinheit, Qualifizierung und Wirksamkeit. Zur Sicherstellung hoher Produktqualitäten sind die Prozesse in pharmazeutischen Unternehmen von einem umfassenden Qualitätsmanagement geprägt. Die Herstellung erfolgt entweder in Betrieben forschender Pharmaunternehmen, oder über Lohn- bzw. Kontraktherstellende. Forschende Pharmaunternehmen betreiben eigene Forschung und Entwicklung, testen neue Produkte und betreuen deren Zulassung. Für Lohn- und Kontraktherstellende Unternehmen entfallen die Schwerpunkte Forschung und Entwicklung und ggf. Testung und Zulassung der produzierten Arzneimittel oder Medizinprodukte. Lohnherstellende Unternehmen integrieren typischerweise Produktion und Konfektionierung. Kontraktherstellende Unternehmen bieten zudem Einkauf, Produktion, Analytik, Qualitätskontrolle, Dokumentation und Distribution an (Gehrke und Haaren-Giebel 2015). Pharmazeutika werden meist über den Großhandel an Apotheken und Krankenhäuser vertrieben, und gelangen von dort aus zum Patienten gelangen. Gut abgestimmte und stabile Lieferketten in einem funktionierenden Zusammenspiel aus Lieferanten, Unterauftragnehmer\*innen, Herstellerbetrieben und behördlicher Aufsicht sind essentielle Bausteine der Wertschöpfungskette für pharmazeutische Produkte (Grömling und Kirchhoff 2020). Die Aufbereitung botanischer Erzeugnisse für pharmazeutische Zwecke zählt zur Unterklasse C 21.20.0. Der Anbau von Arzneipflanzen gehört zum landwirtschaftlichen Wirtschaftszweig A 01.

18 Pharmazeutika, Arzneimittel und Medizinprodukte

## Wirtschaftliche Bedeutung in Deutschland

Der Jahresumsatz der Branche lag in Deutschland bei 10,2 Mrd. Euro im Jahr 2019. Zugleich waren 119 steuerpflichtige Unternehmen registriert. Insgesamt zählte die Branche im Jahr etwa 2020 etwa 20.100 Mitarbeitende (2007: 25.800). Die gesamte pharmazeutische Branche erwirtschaftete 2019 etwa 100,3 Mrd. Euro Umsatz mit ca. 159.100 Beschäftigten in 906 Unternehmen. Diese Zahlen verdeutlichen, dass die Herstellung pharmazeutischer Spezialitäten (und sonstiger pharmazeutischer Erzeugnisse) hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Bedeutung in Deutschland gegenüber der Grundstoffherstellung überwiegt.



Die Produktion von pharmazeutischen Grundstoffen verlagert sich seit den 1990er Jahren zunehmend nach Asien und Südamerika

Geprägt ist die Branche von kleinen bis mittelständischen Unternehmen. Zudem produzieren in Deutschland sechs große Betriebe mit mehr als 250 Beschäftigten. Dazu zählen u.a. die Bayer AG aus Leverkusen, Merck KGaA aus Darmstadt, Berlin-Chemie AG und Pfizer Manufacturing Deutschland GmbH aus Berlin und Sanofi-Aventis Deutschland GmbH aus Frankfurt am Main. Der Auslandsumsatz ist ein wichtiger Absatzkanal der pharmazeutischen Branche und lag 2020 bei etwa 70 Prozent (Grömling und Kirchhoff 2020). Vor etwa zehn Jahren betrug der Anteil noch knapp 65 Prozent. Im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes ist der Auslandsumsatz mit pharmazeutischen Grundstoffen sehr ausgeprägt. Hauptabnehmerländer liegen innerhalb der Europäischen Union, wie etwa Belgien, die Niederlande und Frankreich (Industrie- und Handelskammer Halle-Dessau (IHK) 2013).

Die Produktionsstruktur der pharmazeutischen Industrie befindet sich im Wandel. Einerseits ist die Branche geprägt von Konsolidierungen, andererseits verlagerte sich die Produktion von Grundstoffen wie Generika, Verpackungsmaterialien, Desinfektionsmittel etc. seit den 1990er Jahren zunehmend nach Asien und Südamerika. Hinzu kommt ein seit Jahren zunehmender Kostendruck durch Einsparungen im Gesundheitssektor. Die weltpolitische Lage zeigt die Krisenanfälligkeit der internationaler Lieferketten. Der Importwert für pharmazeutische Grundstoffe lag 2019 mit 9,9 Mrd. Euro deutlich über dem Exportwert von 5,3 Mrd. Euro (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021). Bei der Grundstoffproduktion verengt sich der Markt auf wenige Zulieferer im Ausland. Importiert werden pharmazeutische Grundstoffe vor allem aus China und anderen asiatischen Ländern. Dies sind überwiegend generische Wirkstoffe, deren Patentschutz ausgelaufen ist. Generika werden in hohen Mengen zu geringen Preisen gehandelt. Mit Blick auf den Einfuhrwert sind Mitgliedsstaaten der Europäischen Union die wichtigsten Handelspartner für Deutschland. 2019 entfielen 77 Prozent des Einfuhrwertes auf die 28 EU-Mitgliedsstaaten. Die Schweiz ist mit 35 Prozent wichtigstes Einzelland für die Einfuhr, wobei nur geringe Mengen importiert werden. Die erheblichen Unterschiede zwischen Wert und Menge kommen durch die Produktarten zustande, denn aus der Schweiz werden vor allem hochwertige Grundstoffe (z.B. für die Produktion innovativer Arzneimittel) bezogen (Grömling und Kirchhoff 2020).

Die Produktion in Deutschland beschränkt sich somit häufig auf innovative, neue Wirkstoffe und patentgeschützte Medikamente, denen komplexe Produktionsverfahren zugrunde liegen. Teil dessen sind auch biotechnologiebasierte Arzneimittel, die zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen werden. Hohe Standards hinsichtlich der Qualität sind für Deutschland und andere EU-Länder ein erheblicher Wettbewerbsvorteil (Grömling und Kirchhoff 2020). Die Produktion pharmazeutischer Produkten ist geprägt von gesetzlichen, analytischen und technischen Anforderungen. Wegen zunehmender Technisierung und Bürokratisierung steigen die Anforderungen an Mitarbeitende stetig.

Deshalb sind gut ausgebildete Fachkräfte mit spezialisiertem Wissen gefragt. Die Ausbildung qualifizierten Personals hat für Pharmaunternehmen große Bedeutung. Auch eine regelmäßige Qualifizierung ist entscheidend für die Produktion sicherer, hochwertiger Pharmazeutika und ist in der sogenannten „Guten Herstellungspraxis“ (Good Manufacturing Practice, GMP) als verpflichtender Herstellungsnorm für Pharmazeutika geregelt (Gehrke und Haaren-Giebel 2015).

### Wirtschaftliche Bedeutung in den Bundesländern und Revieren

Die pharmazeutische Industrie ist traditionell in Mitteldeutschland verankert. Die Herstellung pharmazeutischer Grundstoffe ist im Revier mit etwa 700 Mitarbeitenden im Vergleich zu den ostdeutschen Flächenländern deutlich überrepräsentiert (Lokalisationskoeffizient: 1.91), in denen insgesamt 2.300 Beschäftigte in der Branche beschäftigt sind. Seit der Wiedervereinigung ist die Anzahl regional aktiver Unternehmen durch (Re-)Privatisierungen und Neuansiedlungen gestiegen.

Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen – Potenzialbranche im Mitteldeutschen Revier		
	Lausitzer Revier	Mitteldeutsches Revier
umsatzsteuerpflichtige Unternehmen (2019)	-	8
sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (2020)	0	700
steuerbarer Umsatz (2019, Mio.)	-	131,333
Lokalisationskoeffizient (2020)	0	1,91

Tabelle 18: Wirtschaftliche Kennzahlen der Branche Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen; - = keine Daten.

Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Bundesagentur für Arbeit 2021; Brödner et al. 2021.

Der Umsatz der Branche im Mitteldeutschen Revier lag im Jahr 2019 bei etwa 131 Mio. Euro. Acht umsatzsteuerpflichtige Unternehmen wurden im Mitteldeutschen Revier erfasst. Mehrere Unternehmen finden sich in Bitterfeld-Wolfen im Landkreis Anhalt-Bitterfeld. Dazu gehören die Synthon Chemicals GmbH & Co. KG, die Hi-Bis GmbH und die Miltitz Aromatics GmbH. Hinzu kommt auch der Betrieb der Bayer AG in Bitterfeld, der sich am Standort der Herstellung verschreibungspflichtiger Medikamente widmet (Industrie- und Handelskammer Halle-Dessau (IHK) 2013). Der Chemiepark Bitterfeld-Wolfen bietet als Stoffverbund entsprechende Infrastrukturen und Verbindungen zu den Chemieparcs Leuna, Böhlen, Schkopau, Piesteritz und Zeitz. Auch historisch ist der Standort Bitterfeld eng mit der pharmazeutischen Industrie verknüpft. Nicht weit entfernt finden sich in Halle (Saale) drei weitere Unternehmen: die Heppe Medical Chitosan GmbH, galmed Gesellschaft für galenische und medizinische Forschung mbH sowie die General Organics GmbH. Diese Unternehmen beschäftigen jeweils weniger als 50 Personen.

### Stoffliche Basis

Pharmazeutische Wirkstoffe können anhand ihrer Herstellungsprozesse unterschieden werden. Dazu gehören chemisch synthetisierte Moleküle sowie unveränderte oder semisynthetische Naturstoffe sowie biotechnologisch hergestellte Stoffe (Verband Forschender Arzneimittelhersteller e.V. 2009). Bei chemisch synthetisierten Molekülen handelt es sich um vergleichsweise kleine Moleküle („Small Molecules“), die mit Hilfe weniger chemischer Reaktionen hergestellt werden. Bis vor wenigen Jahren machten diese den Großteil der am häufigsten verkauften Medikamente

aus (Njarðarson 2009, 2007, 2014; Qureshi 2021). Besonderes Entwicklungspotenzial besteht im Kontext der „Grünen Chemie“, um gesundheitsschädliche Ausgangsstoffe, Reaktionswege und Nebenprodukte zu ersetzen. Einen einfacheren Syntheseweg verspricht die Elektrosynthese. Milde Bedingungen ohne gesundheitsgefährdende organische Lösungsmittel und eine hohe Reaktions-effizienz bieten erhebliche Vorteile gegenüber klassischen chemischen Reaktionswegen. In der Produktion kommt die Elektrosynthese bisher selten zum Einsatz (Seawill und Wilde 2020). Andere Verbesserungen chemischer Synthesen bietet auch der Einsatz von Mikrowellen oder Ultraschall, enzymbasierte Katalysatoren oder die Photokatalyse sowie die Nutzung lösemittelfreier oder wässriger Umgebungen (Tauro 2013).

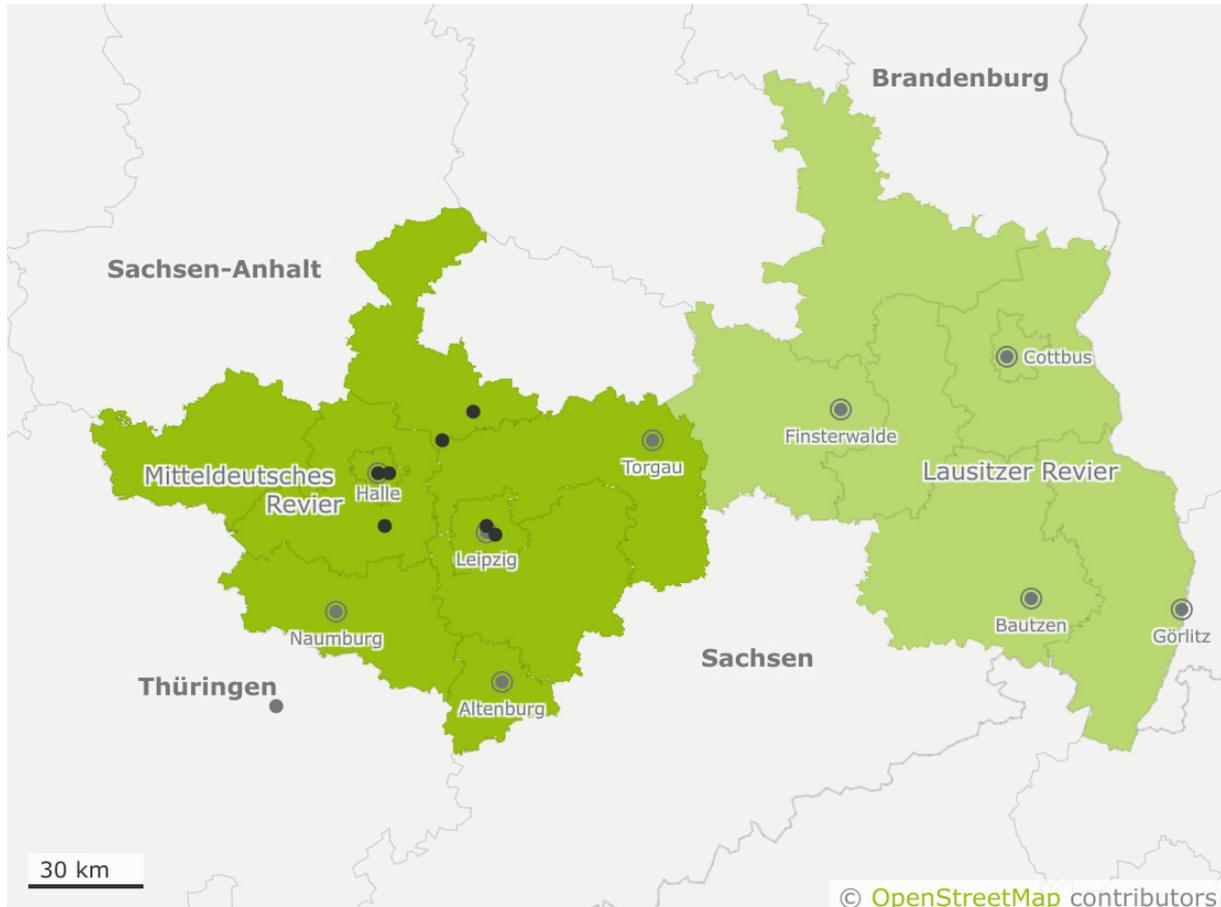
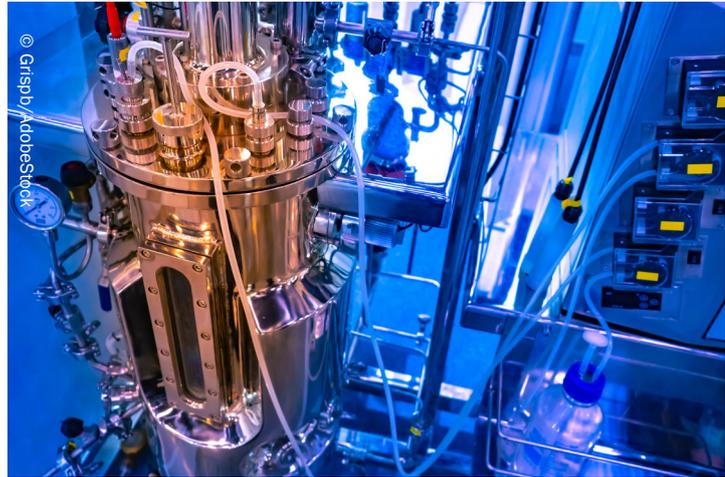


Abbildung 12: Standorte der Branche Herstellung pharmazeutischer Grundstoffe in den Revieren und im direkten Einzugsbereich.

Quelle: eigene Abbildung.

Naturstoffe und semisynthetische Stoffe können aus Pilzen, Bakterien, Pflanzen, tierischen und menschlichen Bestandteilen gewonnen werden. Die Zellen, die diese Naturstoffe erzeugen, sind nicht gentechnisch modifiziert. Die Naturstoffe können entweder unverändert eingesetzt oder chemisch nachbehandelt werden (Verband Forschender Arzneimittelhersteller e.V. 2009). Klassisches Beispiel ist das Penicillin aus dem Schimmelpilz der Gattung *Aspergillus*. Außerdem zählen dazu Phytopharmaka aus Arzneipflanzen wie Kamille, Pfefferminze, Thymian oder Gingko. Durch Extraktion oder Isolierung der Wirkungsbestandteile können daraus Arzneimittel hergestellt werden. Deutschland ist europaweit Marktführer für die Herstellung pflanzlicher Arzneimittel. Trotz rückläufigem Umsatz sind Phytopharmaka immer noch ein wichtiges Teilssegment. Der überwiegende Teil der in Deutschland verarbeiteten Arzneipflanzen (ca. 85 – 90%) ist Importware. In Deutschland konzentriert sich der Anbau von Arzneipflanzen in Thüringen, Bayern, Hessen und Niedersachsen. Etwa 750 Betriebe bewirtschaften dazu etwa 13.000 Hektar. Die Nachfrage nach inländisch hochwertig erzeugten Arzneipflanzen steigt stetig. Zu den wichtigsten Arzneipflanzen gehören Kamille, Lein, Mariendistel, Pfefferminze, Sanddorn, Fenchel und Johanniskraut (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2013).

Biopharmazeutika werden über biotechnologische Verfahren von gentechnisch veränderten Organismen produziert – also von Mikroorganismen, tierischen oder pflanzlichen Zellen. Beispiele für Biopharmazeutika sind zahlreich, etwa Insulin aus E.coli-Bakterien, Hepatitis-Impfstoffe aus Hefekulturen, Blutgerinnungsfaktoren oder Hormone usw. Die Biotechnologie hat sich über die Jahre zu einem essentiellen Technologiezweig in der Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse entwickelt. Der Prozess erfolgt im industriellen Maßstab in Fermentern mit einem Fassungsvermögen ab 500 Litern. Gegebenenfalls müssen die Produkte durch mechanische und thermische Verfahren (z.B. Zentrifugation, Kristallisation) nachbehandelt werden, um die Wirkstoffe für einen therapeutischen Einsatz aufzureinigen (Pharma Fakten e.V. 2020). In den vergangenen 15 Jahren sind deutliche Zuwächse an biotechnologisch erzeugten Arzneimitteln zu beobachten. Die Small Molecules werden davon zunehmend von ihren Spitzenplätzen der am häufigsten verkauften Medikamente verdrängt. Auch die Vielfalt der Substanzen insgesamt ist stark angestiegen und bietet auch in Zukunft erhebliches Entwicklungspotenzial (Njarðarson 2009, 2007, 2014; Qureshi 2021).



Im Bioreaktor werden Biopharmazeutika hergestellt

Neben diesen Wirkstoffen sind zur Herstellung von Arzneimitteln und Medizinprodukten zahlreiche Hilfsstoffe relevant. Dazu gehören z.B. Füll- und Konservierungsstoffe, Emulgatoren, Lösungsvermittler, Puffer, Lösungs-, Binde- und Umhüllungsmittel. Füllstoffe können z.B. aus Algen extrahiert werden.

### Innovationsfelder der Bioökonomie

Die Stärkung biotechnologischer Prozesse stellt die Weichen zur Weiterentwicklung der pharmazeutischen Industrie im Kontext der Bioökonomie. Biotechnologische Prozesse basieren auf nachwachsenden Rohstoffen. Pharmazeutische Wirkstoffe können dadurch nach den Prinzipien der „Grünen Chemie“ hergestellt werden. Die Forschung an den zugrundeliegenden Mechanismen und Scale-Up-Prozessen sind nötig, um die Produktion im industriellen Maßstab zu etablieren. Ein wichtiges Instrument dafür sind Reallabore, die die Beschleunigung der Markteinführung ermöglichen. Vielversprechende Forschungsergebnisse können so in den Maßstab von wirtschaftlichen Produktionsmengen gebracht werden. Auch verstärkter Wissenstransfer über engmaschige Vernetzung der Akteure aus Forschung und Wirtschaft kann dazu beitragen. Da biotechnologische Prozesse energieintensiv sind, ist eine verlässliche, nachhaltige und wirtschaftliche Energieversorgung zu gewährleisten. Eine sichere Rohstoffbasis besteht für die Biotechnologie aus Kohlenstoffquellen (Glucose, Saccharose, Stärke, Melasse etc.) und Stickstoffquellen wie Hefeextrakt oder Sojapepton sowie anorganischen Salzen (IV\_MB1682).

Erfolgversprechend sind zudem Versuche im Rahmen der Bioelektrosynthese. Diese Kombination aus Biotechnologie und Elektrochemie untersucht, wie der Ablauf mikrobieller oder enzymatischer Produktionsprozesse mit Hilfe von Strom unterstützt werden kann. Forschungen an der Universität Bayreuth etwa verfolgen eine solche Synthese zur Herstellung von Polyketiden, die z.B. als Antibiotika oder Krebsmedikamente genutzt werden können. Die Fixierung von CO<sub>2</sub> unter Nutzung von regenerativ erzeugtem Strom und die nachhaltige Produktion wichtiger Substanzen vereint wichtige Kernelemente der Bioökonomie (Universität Bayreuth 2021).

Neben der Förderung der Biotechnologie kann auch die Stärkung des Arzneipflanzenanbaus einen Beitrag zur Entwicklung der pharmazeutischen Industrie und der Regionalisierung ihrer Rohstoffbasis leisten. Thüringen ist das bedeutendste Bundesland im Arzneipflanzenanbau. Die wichtigste Arzneipflanze in Deutschland, die Echte Kamille, kann auf ertragsschwachen Flächen angebaut werden und übersteht unbeschadet lange Trockenphasen. Die Produktion in Arzneimittelqualität setzt sonnige Standorte mit nährstoffreichen Böden voraus. Daher eignet sich diese Arzneipflanze auch zum Anbau in den Revieren. Zur Stärkung des Arzneipflanzenanbaus setzt sich der Verein Saluplanta e.V. aus Bernburg (Salzlandkreis in Sachsen-Anhalt) mit Informationsveranstaltungen zur Weiterentwicklung und Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse und Netzwerkarbeit ein. Außerdem fokussiert eine Projektgruppe am Julius-Kühn-Institut (JKI) an der Weiterentwicklung des Arzneipflanzenanbaus in Deutschland mit Blick auf Themen wie Züchtung, Bekämpfung von Schaderregern und alternativer Nutzung von Inhaltsstoffen. Der Anbau von Arzneipflanzen trägt zur Biodiversität bei und eignet sich als Habitat für Insekten (Julius Kühn-Institut 2020). Informationen über den Anbau von Arzneipflanzen im Kontext einer klimawandelangepassten Biomasseproduktion stellen auch die Pflanzensteckbriefe bereit, die in Zusammenarbeit des Instituts für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V. (ILU) und dem Deutschen Biomasseforschungszentrum gGmbH entstanden sind (Hoffmann et al. 2022).<sup>19</sup>

Zur Sicherung der Produktion von Arzneimitteln kann die Regionalisierung von Lieferketten ein wichtiges Handlungsfeld sein. Die Herstellung pharmazeutischer Grundstoffe im Inland ermöglicht eine sichere Versorgung für nachgelagerte Verarbeitungsbetriebe und Spezialhersteller. Bestehende Verbundstandorte wie beispielsweise in Bitterfeld-Wolfen bieten hierfür ausgezeichnete Voraussetzungen.



Wirkstoffe aus Arzneipflanzen als Arzneimittel

### Veredlung von Wirkstoffen aus Arznei- und Gewürzpflanzen

Zur effizienten Gewinnung von Wirkstoffen aus Arzneipflanzen läuft bis 2023 das Forschungsprojekt an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg: „Entwicklung eines Verfahrens zur gezielten strukturellen Beeinflussung ätherischer Öle unter Nutzung der Hydrolysephase am Beispiel der Modellpflanze Thymian (*Thymus vulgaris* L.)“. Das Projekt widmet sich der Optimierung der Wasserdampfdestillation, mit deren Hilfe pharmakologisch wirksame Stoffe aus den Pflanzen extrahiert werden. Ziel ist die definierte Anreicherung der Wirkstoffe im Endprodukt, dem ätherischen Öl. Da der Anbau von Arzneipflanzen mit einem hohen Wertschöpfungspotenzial verknüpft ist, profitiert davon die Landwirtschaft vor allem in strukturschwachen Regionen. Arzneipflanzen haben oft niedrige Ansprüche an Böden und Standorte. Zudem können positive Effekte auf die Biodiversität erreicht werden.

<sup>19</sup> Die Pflanzensteckbriefe finden sich unter: [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00080913](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00080913)

## 4.6 Herstellung von Kunststoffwaren

### Einordnung des Wirtschaftszweigs

Die Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008) ordnet die Herstellung von Kunststoffwaren dem Verarbeitenden Gewerbe (Abschnitt C) und der Abteilung Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren zu. Die Gruppe 22.2 umfasst die Verarbeitung neuer oder rückgewonnener Kunststoffharzen zu Halbfertig- oder Fertigwaren durch Formpressen, Extrudieren, Spritzgießen, Blasen usw. In den meisten Fällen erlaubt das Fertigungsverfahren die Herstellung einer breiten Palette von Erzeugnissen. Aufgeteilt wird die Gruppe in vier Unterklassen, die Tabelle 19 zeigt.

<b>C</b>	<b>Verarbeitendes Gewerbe</b>
22	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
<b>22.2</b>	<b>Herstellung von Kunststoffwaren</b>
<b>22.21.0</b>	<b>Herstellung von Platten, Folien, Schläuchen und Profilen aus Kunststoffen</b> Diese Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von Halbfertigerzeugnissen aus Kunststoffen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tafeln, Platten, Blöcke, Filme, Folien, Streifen usw. (auch selbstklebend)</li> </ul> </li> <li>• Herstellung von Fertigerzeugnissen aus Kunststoffen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schläuche und Rohre, Form-, Verschluss- und Verbindungsstücke</li> <li>- Zellglasband oder -bögen</li> </ul> </li> </ul>
<b>22.22.0</b>	<b>Herstellung von Verpackungsmitteln aus Kunststoffen</b> Diese Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von Verpackungsmitteln aus Kunststoffen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beutel, Säcke, Container, Kisten, Ballons, Flaschen usw.</li> </ul> </li> </ul>
<b>22.23.0</b>	<b>Herstellung von Baubedarfsartikeln aus Kunststoffen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diese Unterklasse umfasst:</li> <li>• Herstellung von Baubedarfsartikeln aus Kunststoffen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Türen, Fenster, Rahmen, Rollläden, Jalousien und Randleisten</li> <li>- Sammelbehälter und Tanks</li> <li>- Bodenbeläge, Wand- oder Deckenverkleidungen in Rollen oder in Form von Fliesen oder Platten usw.</li> <li>- Bade- und Duschwannen, Wasch- und Spülbecken, WC- und Bidetbecken, Spülkästen usw.</li> </ul> </li> <li>• Herstellung von elastischen Bodenbelägen, z.B. aus Vinyl, Linoleum usw.</li> <li>• Herstellung von Kunststein (z.B. Kunstmarmor)</li> </ul>
<b>22.29.0</b>	<b>Herstellung von sonstigen Kunststoffwaren</b> Diese Unterklasse umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung von Geschirr und anderen Haushaltsartikeln sowie Toilettenartikeln aus Kunststoffen</li> <li>• Herstellung von verschiedenen Kunststoffwaren (Kopfbedeckungen, Isolierteile, Beleuchtungszubehör, Büro- und Schulbedarf, Bekleidungsartikel (die lediglich geschweißt oder geklebt wurden), Möbelbeschläge, Statuetten, Treibriemen, Förderbänder, selbstklebende Kunststoffbänder, Schuhleisten, Zigarren- und Zigarettenmundstücke, Kämmen, Haarwickler, Dekorations- und Scherzartikel usw.)</li> </ul>

Tabelle 19: Eingrenzung und Hauptprodukte der Herstellung von Kunststoffwaren.

Der biobasierte Anteil dieser Potenzialbranche liegt zwischen 1,6 und 40,8 Prozent und ist damit je nach Anwendung sehr variabel (Brödner et al. 2021). Kunststoffe bieten ein ausgezeichnetes Potenzial zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft. Dieser Wirtschaftszweig ist eng verknüpft mit der chemischen Industrie für die Herstellung von Kunststoffen in Primärform (C 20.16) und mit der Rückgewinnung von Kunststoffen (E 38.32). Erzeugnisse dieses Wirtschaftszweigs verfügen über ein breites Anwendungsspektrum von Verpackungsmaterialien über Medizinprodukte und Werkstoffe bis hin zu Teilen für Gebäude oder Automobile (Behnsen et al. 2018).



Folien aus Kunststoff werden als Verpackungsmaterial, in der Landwirtschaft und im technischen Bereich eingesetzt

### Wirtschaftliche Bedeutung in Deutschland

Die Umsätze für die Herstellung von Kunststoffwaren betragen für Deutschland etwa 88 Mrd. Euro im Jahr 2019. Damit ist im Vergleich zum Rekordumsatz im Jahr 2018 ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Grundsätzlich ist die Branche jedoch durch stetes Wachstum gekennzeichnet (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021). Gemessen am Umsatz entfallen je ein Drittel auf die Herstellung sonstiger Kunststoffwaren, auf die Herstellung von Platten, Folien usw. und jeweils etwa ein Sechstel auf Verpackungen und Baubedarfsartikel (Statistisches Bundesamt 2022b). Die umsatzstärksten Unternehmen der Branche in Deutschland befinden sich überwiegend im Süden und Westen der Republik. Dazu gehören zum Beispiel die SMP Deutschland GmbH und GRAMMER Interior Components GmbH aus Baden-Württemberg sowie die Rehau + Co. Gruppe aus Bayern, die SSI Schäfer Plastics GmbH aus dem Saarland oder Schüco International KG aus Nordrhein-Westfalen.

In Deutschland waren 2019 über 6.400 umsatzsteuerpflichtige Unternehmen gelistet. Die Branche ist von mittelständischen und kleinen Unternehmen geprägt. Mehr als 70 Prozent zählten weniger als 50 Beschäftigte. Interessant ist, dass die Unternehmensanzahl zur Hälfte auf die Herstellung sonstiger Kunststoffwaren entfällt, gefolgt von Betrieben für Platten, Folien usw. und Betrieben im Bereich Baubedarfsartikel sowie Betrieben in der Unterklasse Verpackungsmaterialien (Statistisches Bundesamt 2022b). Die Betriebsgröße von Baubedarfsherstellenden ist demnach meist kleiner. Dazu zählt beispielsweise ein Großteil der Fenster- und Türbaubetriebe.

Die kunststoffverarbeitende Industrie ist mit knapp 325.000 Beschäftigten im Jahr 2020 ein bedeutender Wirtschaftszweig der verarbeitenden Industrie. Die Beschäftigtenzahlen sind seit 2007 um neun Prozent gestiegen. Die meisten Menschen arbeiten an der Herstellung von sonstigen Kunststoffwaren, gefolgt von der Herstellung von Platten, Folien usw., der Herstellung von Verpackungsmitteln und der Herstellung von Baubedarfsartikeln (Statistisches Bundesamt 2022b). Seit ungefähr zehn Jahren entwickelt sich die Kunststoffindustrie zu Lasten von Beschäftigten mit geringer oder keiner formalen Qualifikation. Zwischen 2007 und 2019 ist ein deutlicher Rückgang der Beschäftigten ohne Ausbildungsabschluss zu beobachten. Gleichzeitig bleiben viele Ausbildungsplätze in der Branche unbesetzt und die Branche sieht sich mit einem zunehmenden Fachkräftemangel konfrontiert. Durch eine stärkere Fokussierung auf das Bildungsmarketing, beispielsweise durch das Werben für duale Studiengänge im Zusammenhang mit Unternehmen der Kunststoffverarbeitung, versuchen Branchenverbände diesem Trend entgegenzuwirken. Außerdem ist das Durchschnittsalter der Beschäftigten in der Kunststoffindustrie im Zeitraum 2007 bis 2019 deut-

lich gestiegen. Während 2007 nur 13 Prozent der Beschäftigten über 55 Jahren waren, hat sich der Wert bis 2019 bereits auf 22 Prozent erhöht (Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE 2021).

Der im Ausland erzielte Umsatz liegt seit 2009 konstant bei 40 Prozent des Inlandsumsatzes (Verband der Chemischen Industrie e. V. 2021). Der Großteil der exportierten Güter geht in die Länder der Europäischen Union. Im Vergleich zur chemischen Industrie liegt die Exportrate deutlich niedriger. Viele Kunststoffteile werden von nachgelagerten Industrien verwendet und z.B. in Automobilen oder Maschinen als Bauteilen integriert, die wiederum als ganze Produkte exportiert werden (Dispan und Mendler 2020).

Die Produktionsstandorte für Rohstoffe haben sich in den letzten Jahrzehnten Richtung Asien verschoben. Beigetragen haben dazu auch große europäische und deutsche Unternehmen, die die Vorteile neuer Standorte hinsichtlich Platzangebot, Rohstoffbeschaffung und Arbeitskräften in Joint-Ventures schätzen. Die weltpolitischen und gesellschaftlichen Entwicklungen der vergangenen Jahre zeigen jedoch, dass globale Wertschöpfungsketten wenig krisenresistent sind. Ein Ausweg in Europa bietet sich durch die Stärkung der Trends der Kunststoffbranche, indem vor Ort neue und etablierte Recyclingmethoden und neue Biokunststoffanlagen etabliert werden (Dispan und Mendler 2020).

Der innovative Wandel der Kunststoffbranche vollzieht sich entlang der Themen Recycling, Biokunststoffe und Digitalisierung. Erarbeitet werden etwa neue Verfahren für die Logistik (Sammlung, Sortierung, chemisches/mechanisches Recycling), die Optimierung der Aufbereitung und Effizienzsteigerungen für Material- und Energieverbrauch der genutzten Verfahren. Den Schlüssel zur Optimierung von Verfügbarkeit und Qualität bieten digitale Systeme. Besonders die Kunststoffstrategie der Europäischen Union („A European Strategy For Plastics In A Circular Economy“) fasste den rechtlichen Rahmen für einen solchen Innovationsschub. Verpackungen aus Kunststoff sollen demnach bis 2030 recyclingfähig sein. Bis 2029 sollen 90 Prozent der Kunststoffflaschen EU-weit getrennt gesammelt und PET-Flaschen ab 2030 zu mindestens 30 Prozent recycelt sein. Die „Single-Use-Plastics-Directive“ von 2019 verbietet schon jetzt bestimmte Artikel aus Einwegkunststoffen. Zudem ist geplant, die Verwendung von Mikroplastik einzuschränken. Auch im Produktdesign müssen Wiederverwendbarkeit, Recycling und Reparatur bereits mitgedacht werden („Design-For-Recycling“). Ziel ist die Reduktion des Eintrags von Kunststoffen in die Umwelt, deren Risiken und deren Folgen offensichtlich aber bislang nicht in Gänze abschätzbar sind (Dispan und Mendler 2020).

Je etwa ein Viertel der in Deutschland verbrauchten Kunststoffe sind für die Verarbeitung zu Verpackungen vorgesehen oder werden im Bauwesen verwendet. Verpackungen sind zumeist kurzlebige Produkte. Dagegen sind Baumaterialien zur Langzeitnutzung vorgesehen. 2019 wurden über 99 Prozent der 6,3 Mio. Tonnen Kunststoffabfälle verwertet, wobei mehr als die Hälfte energetisch genutzt wurde. Insgesamt konnten 1,9 Mio. Tonnen Rezyklat in der Kunststoffverarbeitung eingesetzt werden. 40 Prozent davon wurden im Bauwesen verwendet, ein Viertel in Verpackungen und ein Zehntel in der Landwirtschaft. Der Rezyklat-Anteil in Produkten liegt in diesen drei Bereichen bei über zehn Prozent (Lindner et al. 2020).

### **Wirtschaftliche Bedeutung in den Revieren**

Die Kunststoffverarbeitung ist ein wichtiger Wirtschaftsfaktor in der Lausitz. Die Branche ist auch hier kleinbetrieblich und mittelständisch geprägt. Im Lausitzer Revier arbeiteten im Jahr 2020 insgesamt 5.300 Beschäftigte in 77 Unternehmen zur Herstellung von Kunststoffwaren. Besonders im Landkreis Bautzen zeigt sich ein regionaler Schwerpunkt von Unternehmen aus der kunststoffverarbeitenden Industrie. Etwa 3.500 Beschäftigte sind in 90 Unternehmen in der Oberlausitz tätig. Die Nähe zu Tschechien und Polen kann sich zum Standortvorteil entwickeln, wenn Handelskooperationen sowie der Ausbau von Infrastruktur grenzüberschreitend gestärkt werden (Berger et al. 2019).

Herstellung von Kunststoffwaren – Potenzialbranche im Lausitzer Revier		
	Lausitzer Revier	Mitteldeutsches Revier
umsatzsteuerpflichtige Unternehmen (2019)	77	80
sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (2020)	5.300	5.300
steuerbarer Umsatz (2019, Mio.)	514,066	572,923
Lokalisationskoeffizient (2020)	1,41	0,76

Tabelle 20: Wirtschaftliche Kennzahlen der Branche Herstellung von Kunststoffwaren.  
Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Bundesagentur für Arbeit 2021; Brödner et al. 2021.

Im Landkreis Bautzen gehören die LAKOWA GmbH mit über 200 Beschäftigten, die Schoplast Plastic GmbH mit 185 Beschäftigten, die Knipping Kunststofftechnik King Plastic GmbH mit 130 Beschäftigten sowie die Jokey Sohland GmbH mit 83 Beschäftigten zu den größten kunststoffverarbeitenden Unternehmen. Auch im Landkreis Elbe-Elster finden sich mehrere große Betriebe der Kunststoffindustrie: der Standort in Elsterwerda der GIZEH Verpackungen GmbH mit 140 Beschäftigten, die Predl GmbH mit 120 Beschäftigten und die BOSIG Baukunststoffe GmbH mit 161 Beschäftigten. Weitere Unternehmen sind die plastic concept GmbH in Görlitz mit etwa 300 Beschäftigten, die Erhard Hippe KG im Landkreis Spree-Neiße mit 200 Beschäftigten und die Betriebsstätte Schwarzheide der FEURER Febra GmbH im Kreis Oberspreewald-Lausitz mit über 80 Beschäftigten. Auch die BASF Schwarzheide GmbH spielt im Gebiet der Kunststofftechnik und -verarbeitung eine wichtige Rolle. Der strategische Fokus am Standort hat sich jedoch in den vergangenen Jahren zur Herstellung und Wiederverwertung von Kathodenmaterialien verschoben (BASF SE 2021). Die Produktpalette betreffend, hebt sich die Linotech GmbH & Co. KG in Forst im Landkreis Spree-Neiße hervor. Das Unternehmen entwickelt Spritzguss- sowie Extrusionsanwendungen und additive Fertigung auf Basis biobasierter Kunststoffe.

Die Industrieparks Guben und Schwarze Pumpe sowie der Chemiestandort Schwarzheide überzeugen hinsichtlich vorhandener Infrastrukturen bezüglich der Energie- und Rohstoffversorgung, des Abfallmanagements und der Anbindung an das Straßen- und Schienenverkehrsnetz. Im Rahmen des „Clusters Kunststoff und Chemie Brandenburg“ der Wirtschaftsförderung Brandenburg und des „Kunststoffverbunds Berlin-Brandenburg“ (KuVBB) wurden spezifische regionale Netzwerke aufgebaut. Das Fraunhofer-Verarbeitungstechnikum Biopolymere in Schwarzheide als Außenstelle des Fraunhofer-Institutes für Angewandte Polymerforschung (IAP), die BTU Cottbus-Senftenberg (Materialchemie), die Hochschule Zittau-Görlitz sowie die Technische Hochschule Wildau bilden die Forschungs- und Entwicklungsbasis für die Kunststoffverarbeitung in der Region. Besonders im Hinblick auf die wichtigen Innovationsfelder der Branche – Digitalisierung, Recycling sowie biogene Rohstoffe für Leichtbau und additive Fertigung – bietet die Nähe zu Forschung und Entwicklung große Vorteile für den Standort (Dispan und Mendler 2020; Berger et al. 2019; Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB) 2021). Die Wirtschaftsinitiative Polysax Bildungszentrum Kunststoffe e.V. aus Bautzen widmet sich als Bildungsplattform den spezifischen Ausbildungsthemen im Kunststoffbereich. Seit 2006 werden Maschinen- und Anlagenführer\*innen und Verfahrensmechaniker\*innen für Kunststoff und Kautschuktechnik in Bautzen ausgebildet. Dort lernten im Jahr 2019 etwa 90 Auszubildende aus Mittel- und Ostsachsen (POLYSAX Bildungszentrum Kunststoffe GmbH 2019).

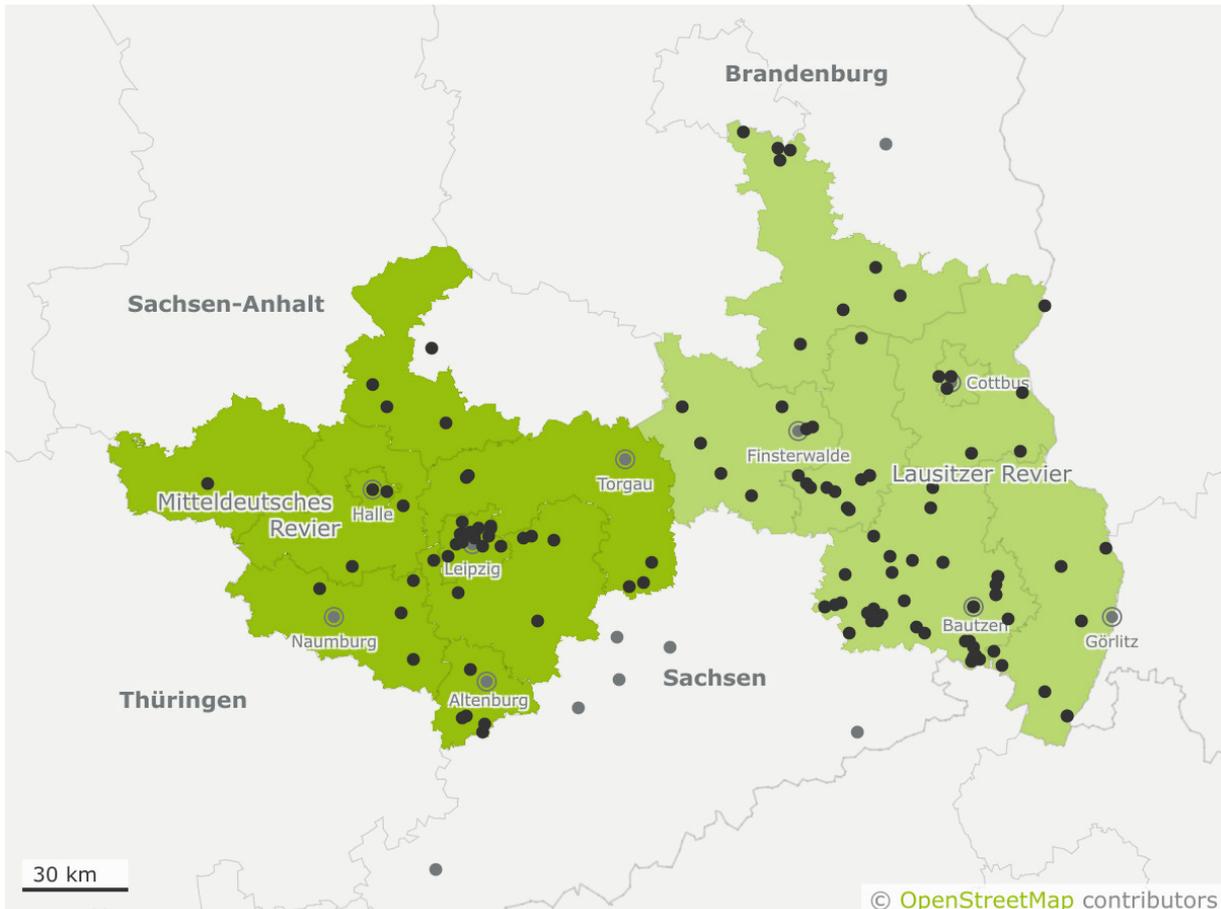


Abbildung 13: Standorte der Branche Kunststoffverarbeitung in den Revieren und im direkten Einzugsbereich.  
Quelle: eigene Abbildung.

## Rohstoffbasis

Die Herstellung von Kunststoffen basiert zu einem erheblichen Anteil auf fossilen Primärrohstoffen. In Deutschland wurden 2019 circa 12,3 Mio. Tonnen Kunststoffe aus Primärrohstoffen gefertigt und zu Kunststoffneuware verarbeitet. Am häufigsten wurde Polypropylen, Polyethylen, Polyvinylchlorid und Polyethylenterephthalat erzeugt (Lindner et al. 2020). Nur etwa ein Prozent der weltweit produzierten Kunststoffe entfielen 2018 auf biobasierte Primärrohstoffe, das entspricht weltweit etwa zwei Mio. Tonnen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020a). Sekundärrohstoffe, also Rezyklate als Granulat oder Pulver, machen weltweit einen Anteil von etwa 14 Prozent aus, wobei sich diese Quote in einzelnen Ländern stark unterscheidet. In Deutschland waren es 2019 mengenmäßig 1,9 Mio. Tonnen (Lindner et al. 2020).

Kunststoffe können verschieden kategorisiert werden. Die gängige Einteilung in Duromere, Elastomere und Thermoplaste basiert auf ihren thermisch-mechanischen Eigenschaften. Duromere sind nicht mechanisch recyclebar, da sie aufgrund ihrer dichten Vernetzung nicht zum Einschmelzen geeignet sind. Dazu gehören Melamin-, Phenol- oder Harnstoffharze oder Epoxidharze und Polyesterharze. Elastomere sind formfest und dennoch kurzzeitig elastisch verformbar. Dazu zählen Schaumstoffe (Polyurethane, PUR) sowie alle Kautschukarten, die entweder natürlich oder synthetisch sein können. Rezyklierte Elastomere werden hauptsächlich in Sekundärprodukten verwertet, womit ein gewisser Down-Cycling-Charakter einhergeht. Thermoplaste werden weltweit am häufigsten eingesetzt und lassen sich thermisch verformen. Daher können Thermoplaste durch Spritzguss, additive Fertigung (3D-Druck), Vakuumtiefziehen, Extrusion etc. verarbeitet werden. Thermoplaste sind zum einfachen mechanischen Recycling geeignet. Klassische Beispiele sind Polypropylen (PP),

Polyvinylchlorid (PVC), Polycarbonat (PC), Polyethylenterephthalat (PET) oder Polyethylen (PE) (Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE 2021).

Mit Polylactid bzw. Polymilchsäure (PLA) eröffnet sich eine für die Bioökonomie eine praktikable Einteilung von Kunststoffen. Kategorien dafür sind „biobasierte Rohstoffe“ und „Bioabbaubarkeit“. Tatsächlich waren bereits die ersten Kunststoffe im 19. und frühen 20. Jahrhundert biobasiert. Dazu gehören Zelluloid, Zellophan und Zellulose-Acetate aus Zellulose, Kunsthorn aus Kasein und Gummi aus Kautschuk oder Linoleum aus Leinöl, Harzen und Holzmehl (Behnsen et al. 2018).

Die Eigenschaften „biobasiert“ und „bioabbaubar“ mit ihren Gegenspielern „fossilbasiert“ und „nicht bioabbaubar“ werden in dieser Einteilung jeweils miteinander kombiniert. Einige Beispiele sind in Tabelle 21 aufgeführt. Anhand ihrer chemischen Struktur spricht man auch von Drop-Ins, also klassischen Polymeren auf Basis nachwachsender Rohstoffe, die nicht bioabbaubar sind. Zu den wichtigsten Drop-Ins zählen biobasiertes PET (Bio-PET) und biobasiertes PE (Bio-PE). Die Prozesskette ab Verarbeitung, Nutzung und Recycling bleibt bei solchen Kunststoffen unverändert. Nach und nach kann durch Recycling der fossile Kohlenstoff durch biobasierten Kohlenstoff ersetzt werden (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020b). Neuartige Biokunststoffe haben neue chemische Strukturen und damit andere Eigenschaften. Daraus ergeben sich mögliche neue Einsatzbereiche. Zu dieser Gruppe gehören beispielsweise PLA, Polyhydroxyalkanoat (PHA), Polyethylenfuranoat (PEF), Polybutylensuccinat (PBS), Polybutylenadipat-co-terephthalat (PBAT) oder stärkebasierte Biokunststoffe (IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites 2020). Letztere treten häufig in Form von „Blends“ auf, also als dispergierte Kunststoffmischung, um die Vorteile verschiedener Kunststoffe miteinander zu verbinden (Kern GmbH 2022). Nur etwa ein Prozent der erzeugten Kunststoffe ist biobasiert (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020b)



Kunststoffe in Primärform werden oft als Granulat gehandelt

	Rohstoff	Monomer	Biobasiert (%)	Bio-abbaubar	Anwendungsgebiete
Polylactid (PLA)	Zucker/ Stärke/ Zellulose	Milchsäure (Lactid)	100	eingeschränkt	Verpackung, medizinische Implantate, Spezialanfertigungen aus 3D-Druck, Textilien, Elektronik
Polyamide (PA)	Zucker/ Stärke/ Rizinusöl	Caprolactam, Dicarbonsäuren	Bis 100	✗	Automobilindustrie, Elektrotechnik/Elektronik, Konsumgüter
Polyhydroxyalkanoate (PHA)	Zucker/ Stärke/ Zellulose	3-Hydroxybutansäure	100	✓	Verpackung, Kompostbeutel, Tissue Engineering
Polybutylensuccinate (PBS)	Zucker/ Stärke/ Zellulose	1,4-Butandiol und Bernsteinsäure	Bis 100	✓	Verpackungen, Essbesteck, Mulchfolien, medizinische Artikel
Polybutylenadipat-co-terephthalat (PBAT)	Hauptsächlich fossilbasiert	1,4-Butandiol, Adipinsäure, Terephthalsäure/Dimethylterephthalat		✓	Folien: Verpackung und Landwirtschaft
Polyurethane (PUR), teilbiobasiert (TPU)	Rizinusöl	Dialkohole und Diisocyanate	10 bis 100	✓	Schaumstoff in Verpackung, Bekleidung (z.B. Schuhe), Baumaterial
Bio-Polyethylen (Bio-PE)	Zucker/ Stärke/ Zellulose	Ethen	35 bis 100	✗	Verpackung, Folien und Beutel
Bio-Polyethylenterephthalat (Bio-PET) bzw. Poly(ethylene furanoate) (PEF)	Zucker/ Stärke/ Zellulose	Ethylenglycol und Terephthalsäure bzw. 2,5-Furandicarbonsäure	Bis 100	✗	Verpackung, Fasern (wie PET verwendbar)
Bio-poly(trimethylene terephthalate) (Bio- PTT)	Zucker/ Stärke/ Zellulose	1,3-Propandiol und Terephthalsäure		✗	Fasern für Textilien und Teppiche, Vliesstoffe

Tabelle 21: Auswahl an Biokunststoffen, inkl. Eigenschaften.

Quelle: IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites 2020; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2020b.

Viele Biopolymere können aus gut verfügbaren und günstigen Rohstoffen erzeugt werden. Dazu zählen zuckerhaltige Rohstoffe wie Zuckerrüben und Zuckerrohr oder stärkehaltige, wie Weizen, Mais oder Kartoffeln. Der Schlüssel dazu ist die Biotechnologie, um Stärke, Zellulose oder Glucose (direkt oder nach Hydrolyse von Stärke) mit Hilfe bestimmter Mikroorganismen zu verschiedenen Basischemikalien zu fermentieren. Diese Basischemikalien (auch Plattformchemikalien genannt) sind z.B. Ethanol, Isobutanol, Propandiol, Bernsteinsäure, Butandiol oder Milchsäure. Je nach eingesetztem Grundbaustein entstehen bei der Polymerisation die Bio-Kunststoffe. Stärke kann auch direkt genutzt werden, durch makromolekulare Strukturveränderung mittels Extrusion. Dabei entstehen sogenannte Stärkeblends (TPS) (IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites 2020; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020b). Die Erntemengen der potenziell einsetzbaren Feldfrüchte im Lausitzer Revier sind Tabelle 22 aufgeführt. Zu beachten ist dabei die Konkurrenz zur Nahrungsmittel- und Kraftstoffproduktion. Diese Nutzungskonkurrenz ist bislang gering, kann mit steigendem Einsatz allerdings in den Fokus rücken. Der Anteil für die industrielle Nutzung von Weizen, für Kraftstoffherzeugung und chemische Industrie, liegt in Deutschland bei rund fünf Pro-

zent. Etwa ein Prozent des Zuckerabsatzes entfiel 2018/2019 auf die chemisch-pharmazeutische Industrie (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2020b).

Feldfrucht	Erntemenge im Lausitzer Revier im Jahr 2016 (in Tonnen)
Silo- und Grünmais	1.849.044
Zuckerrübe	160.872
Kartoffel	68.713
Weizen	376.802

Tabelle 22: Erntemengen relevanter biobasierter Ausgangsstoffe die Herstellung von biobasierten Kunststoffen. Quelle: (Deutsches Biomasseforschungszentrum 2020).

Eine andere Rohstoffquelle für biobasierte Polymere kann Holz sein. In chemischen Verfahren werden Zellosederivate oder Regeneratfasern erzeugt, die in Chemiefasern genutzt werden können (IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites 2020). Auch pflanzliche Öle wie Rizinus-, Soja- oder Rapsöl lassen sich zu Bio-Kunststoffen verarbeiten. Beispiele hierfür sind Bio-PA für Vakuumverpackungen oder der Schaumstoff Bio-PUR, welche neben PET zu den gängigsten biobasierten Polymeren auf dem Markt gehören. Polyamide können teilweise oder vollständig biobasiert sein. Kunststoffherstellende und -verarbeitende arbeiten bereits mit Polyamiden auf Basis von Rizinusöl (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020b).

Den größten Marktanteil in Europa bei biobasierten Kunststoffen haben Stärkeblends mit etwa einem Fünftel. Danach folgen Polylactid (PLA) mit knapp 14 Prozent, Bio-Polybutylenadipaterephthalat (Bio-PBAT) mit 13 Prozent. Bio-PE, Bio-PET und Bio-PA sowie Bio-Polytrimethylenterephthalat (Bio-PTT) haben einen signifikanten Anteil an der Gesamtmenge (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2020a).

### Innovationsfelder der Bioökonomie

Die etablierte Kreislaufwirtschaft ist ein Kernelement der Bioökonomie und im Bereich der Kunststoffe ein wichtiger Teil der Wertschöpfungskette. Gebrauchte Verpackungen und Werkstoffe müssen langfristig zu einem hohen Prozentsatz wiederverwertet werden. Denn die weltweite Produktion an Kunststoffen wird sich bis 2050 ungefähr verdreifachen. Mehr als die Hälfte des zukünftigen Rohstoffbedarfs könnte durch das Recycling gedeckt werden (Carus et al. 2020). Die vermehrte stoffliche Nutzung von gebrauchten Kunststoffen steht daher über dem Einsatz als Energielieferant. Dahingehend wird die Stärkung der Bioökonomie einerseits mit Hilfe der Reduktion von Kunststoffabfällen und andererseits durch den Ausbau des Kunststoffrecyclings vorangetrieben.

Zum einen zählt zum Recycling die logistische Optimierung der Sammlung und Rückführung von Kunststoffen. Die Entwicklung intelligenter, digitalisierter Rückverfolgbarkeitssysteme ermöglicht den transparenten Blick auf die regionale Verfügbarkeit von Rezyklaten und darüber hinaus den Austausch und Wissenstransfer der Akteure untereinander. Einheitliche Qualitätsstandards ermöglichen, dass regional erzeugte Rezyklate auch wieder in regionale Produktionsketten einfließen können. Produktspezifische Einsatzquoten für Rezyklatanteile können regionale Rezyklatmärkte fördern und der vorherrschenden, eingeschränkten Verfügbarkeit hochwertiger Rezyklate entgegenwirken. Zum anderen ist die Entwicklung und Optimierung von Methoden zum mechanischen und chemischen Recycling sowie chemischen Upcycling von Kunststoffen von großer Bedeutung. Mechanisches Recycling oder werkstoffliches Recycling betrifft die Aufbereitung von gesammelten, aufbereiteten und sortenreinen Altmaterialien durch Zerkleinerung und Einschmelzen in Sekundärrohstoffe. Etablierte Methoden bestehen vor allem für klassische Kunststoffe wie PET, PVC oder expandiertes Polystyrol (EPS). Solche Verfahren haben einfache apparative Ansprüche und sind

mit niedrigem Aufwand verbunden. Störstoffe wie Farbstoffe und andere Additive beeinflussen jedoch die Reinheit des Rezyklats. Durch den Qualitätsverlust der Materialien beim Einschmelzen sind solche Sekundärrohstoffe nur eingeschränkt nutzbar (Vogel et al. 2020).

Das chemische oder rohstoffliche Recycling wandelt Kunststoffe zurück in deren Basisbestandteile, also in die Monomere oder Grundchemikalien. Bei hohen Temperaturen kommt es entweder zur Pyrolyse oder Vergasung. Dabei entstehen Kohlenwasserstoffgemische in Form von Pyrolyseöl oder Wachsen, die durch Fraktionierung zu chemischen Grundstoffen aufbereitet werden können, oder Synthesegas, das üblicherweise zur Herstellung von Methanol genutzt wird. Fossile Ausgangsstoffe können durch diese Methoden abgelöst werden. Solche Verfahren sind vielversprechende Ansätze, um bei nicht verwertbaren Kunststoffabfällen die stoffliche der energetischen Nutzung vorzuziehen. Bestehende Anlagen der Rohölverarbeitung weisen die apparativen Voraussetzungen für solche Verfahren auf. Die hohe Spezialisierung der bestehenden Prozesse und die Abhängigkeit der chemischen Industrie von der Rohölaufbereitung verhinderten allerdings bisher die Etablierung. Ökologische und ökonomische Vorteile sind bisher nicht hinreichend belegt (Vogel et al. 2020). Als Sonderform des chemischen Recyclings kann das chemische Upcycling (oder Solvolyse) betrachtet werden. Die Kunststoffe, also Polymerketten, werden durch chemische Verfahren zu den entsprechenden Monomeren abgebaut. Dabei wird von einer hohen Qualität dieser Monomere ausgegangen. Metallorganische Katalyse oder Photokatalyse sind vielversprechende Ansätze. Biologisches Recycling knüpft an diese Idee des Abbaus zu Monomeren an. Dafür werden Enzyme genutzt, die von Mikroorganismen produziert werden. Der Abbau der Kunststoffe ist dann hochspezifisch. An der Universität Leipzig haben Forscher\*innen ein PET-abbauendes Enzym entdeckt, das im Kompost vorkommt. Diese Polyester-Hydrolase ist in der Lage, PET aus Abfällen bei milden 70 Grad Celsius abzubauen (Sonnendecker, Christian: Oeser, Juliane et al. 2021). Die Universität Stuttgart hat kürzlich die Datenbank PAZy zur Sammlung der bisher bekannten kunststoffabbauenden Enzyme angelegt.<sup>20</sup> Die Verfahren des chemischen Upcyclings und biologischen Recyclings sind allerdings oft noch im experimentellen Stadium, deshalb besteht hier ein zentrales Innovationsfeld für die Bioökonomie. Für die nachhaltige Etablierung neuer Methoden bedarf es neben dem Scale-Up auch Life-Cycle-Analysen und Ökobilanzierungen. Der Reallaborcharakter einer Modellregion kann dazu beitragen, neue Verfahren in flächendeckende Anwendung zu bringen (Vogel et al. 2020).



Die optimale Sammlung, Sortierung und Aufbereitung von Kunststoffabfällen ist eine wichtige Voraussetzung für das Recycling

Entscheidend ist, dass die Optimierung der Recycling-Systeme entlang des gesamten Kreislaufs gedacht wird, und zwar für alle am Markt befindlichen Kunststoffe. Rohstoffproduzierende, Kunststoffverarbeitung, Produktdesign, Handel, Konsument\*innen und der Abfallwirtschaft müssen die Lösungsoptimierung gleichermaßen vorantreiben (Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2021; Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. 2021). Vor allem die Optimierung der Kunststoffsortierung ist Grundlage effektiver Recyclings-Systeme. Die Nahinfrarottechnologie kann bis zur Analyse der Anzahl Wiederverwertungszyklen ausgebaut werden. Ein Projekt am Fraunhofer IMWS in Halle widmet sich dieser Technologie. Recycling biobasierter Kunststoffe birgt wirtschaftliches Potenzial, wenn Rezyklate zu günstigeren Preisen angeboten werden als die Rohware.

Um fossilen Kohlenstoff langfristig zu ersetzen, ist neben der Kreislaufführung die Stärkung biobasierter Rohstoffe ein zentraler Ansatz. Auch für den Kunststoffsektor sind nachwachsende Roh-

<sup>20</sup> PAZy - The Plastics-Active Enzymes Database: <https://www.pazy.eu/doku.php>

stoffe in Zukunft von entscheidender Bedeutung. Vielversprechend ist u.a. ein biobasiertes Äquivalent von PET, das Polyethylenfuranoat (PEF). PEF kann aus den Monomeren Monoethylenglykol (MEG) und Furandicarbonsäure (FDCA) aufgebaut werden. Neben den biogenen Bausteinen sprechen u.a. verbesserte Barriereigenschaften und höhere Temperaturstabilität von PEF für den verstärkten Einsatz dieses Polymers. Europäische Fertigungsanlagen für z.B. PEF, PLA, PBS, PHA usw. sind nicht etabliert. Der Aufbau von Produktionsstätten für biobasierte Kunststoffe in Deutschland bzw. Europa wird daher zur Stabilisierung wirtschaftlicher Kreisläufe beitragen. Die Abhängigkeit von globalen Märkten verringert sich dadurch ebenfalls. Bestrebungen in Richtung des Aufbaus einer Bioraffinerie für Biokunststoffe laufen bereits im Mitteldeutschen Revier im Bündnis „Rubio“: Im Netzwerk sind 18 Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus dem mitteldeutschen Chemiedreieck zusammengeschlossen. Sie decken die gesamte Wertschöpfungskette von industrieller Verarbeitung über biotechnologische Verfahrenstechnik bis zum Recycling ab. Mit dem Aufbau einer „Biokunststoffregion“ wird die Sicherung bestehender Arbeitsplätze und der Ausbau der Beschäftigung sowie die Begrenzung der Emissionen und Umweltverschmutzung angestrebt.<sup>21</sup>



Biokunststoff und biobasierte Modifikatoren bieten Entwicklungs- und Innovationspotenzial für die Bioökonomie.

Zur Verbesserung der Biokunststoffsynthese und Beeinflussung der Eigenschaften durch Modellierung der Polymerstruktur besteht weiterer Forschungsbedarf. Unter Einbezug der Analyse der Rohstoffbasis können verschiedene Biomassen als Rohstofflieferanten getestet werden. Der Biomasseaufschluss ist dabei ein wichtiger Verarbeitungsschritt. Je breiter die Rohstoffbasis aufgestellt ist, desto geringer ist die Abhängigkeit von bestimmten Rohstoffen. Aufbauend darauf stehen die Verarbeitungs- und Anwendungseigenschaften der Werkstoffe: Welche Syntheserouten eignen sich am besten für den Aufbau der gewünschten Molekülstruktur? Wie werden davon die Materialeigenschaften beeinflusst? Welche Mischungen aus verschiedenen Biokunststoffen erweisen sich als günstig? In welchen Mengenverhältnissen? Die Entwicklung biobasierter Modifikatoren verspricht darüber hinaus eine genauere Modellierung der Eigenschaften. Als einzelne Komponenten bergen diese Stoffe außerdem ein höheres Wertschöpfungspotenzial, da sie als Spezialprodukte zur Einstellung der Eigenschaften nur zu einem geringen Anteil im Werkstoff genutzt werden. Innovationen im Bereich Biokunststoffverarbeitung und deren umfangreiche Anwendung können so weiter gefördert werden. Zum Abbau von Hemmnissen für die Herstellung und den Einsatz von Biokunststoffen erarbeitet das Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe der Universität Hannover Daten zur Prozess- und Fertigungssimulation. Ziel des Projekts „BiKoSim“ ist, mit Hilfe dieser Datenbasis kosten- und zeitintensive Fehlversuche zu vermeiden. Der Austausch konventioneller durch biobasierte Kunststoffe soll so vereinfacht werden (IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites 2022).

Zur Sicherung der Rohstoffbasis sind effiziente land- und forstwirtschaftliche Systeme gefragt. Daneben werden Reststoffe und Nebenprodukte aus Land-, Forst- und Lebensmittelwirtschaft entscheidend. Diverse Start-Ups befassen sich bereits mit der Verwendung von Nebenprodukten (wie z.B. Brauereitresten) als Grundstoff für Verpackungen. Im Landkreis Uckermark in Brandenburg produziert das Start-Up Bio-Lutions GmbH Naturfaser-Werkstoff aus Agrarabfällen. Die Technologie wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Zelfo Technology GmbH entwickelt. Geeignet sind neben Stroh auch Tomatenstengel und Hanfschäben, die zu Produkten wie Einwegbesteck, Deckel für

21 Informationen zum Rubio-Bündnis: <https://rubio-biopolymer.de/de/>

Getränkebecher oder Blumentöpfe verpresst werden (Haas 2022). Auch aus Orangen- und Bananenschalen, Avocadokernen oder Hühnerfedern lassen sich Biokunststoffe herstellen (Tsang et al. 2019). Darüber hinaus können Abwässer aus der Lebensmittelindustrie, Zellstoffwerken oder aus biotechnologischen Prozessen einen Beitrag leisten, z.B. zur Produktion von PHA (Paques Biomaterials). Eine große Bedeutung wird auch der Nutzung von Kohlenstoffdioxid als Kohlenstofflieferant einnehmen. Mit Hilfe der Diversifizierung der Rohstoffbasis werden einzelne Bausteine geschaffen, die wie Puzzleteile schließlich ein Gesamtbild ergeben. Ziel ist die effiziente Nutzung aller Rohstoffbestandteile in einem kreislauforientierten System (Behnsen et al. 2018; Umweltbundesamt 2017; Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. 2021).

Bioabbaubare Kunststoffe lohnen sich besonders in Einsatzbereichen, wo eine Sammlung und Rückführung der Werkstoffe nur schwer oder unter Verlusten gelingen kann, z.B. für medizinische Fasern, bestimmte Agrarfolien oder Fischernetze. Die Entsorgungsfrage neuer Polymere wird außerdem zum Teil eines neuen, effektiven Recyclingsystems. Beim flächendeckenden Einsatz bioabbaubarer Kunststoffe in u.a. Verpackungen oder Einwegartikeln besteht die Sorge, das sogenannte „Littering“ zu befördern: Konsument\*innen führen dabei Kunststoffabfälle nicht dem Abfall- und Rezyklatensystem zu, sondern die Polymere verbleiben in der Umwelt. Zur Eindämmung dieses Verhaltens kann Bildungsarbeit zur Förderung des Umweltbewusstseins sowie die Optimierung des Rückführungssystems einen Beitrag leisten, ohne das Problem jedoch vollständig zu lösen. Der biologische Abbau von bioabbaubaren Kunststoffen ist an bestimmte Bedingungen geknüpft und sollte deshalb in kontrollierter Umgebung ablaufen. Hierbei spielt wiederum die Biotechnologie eine entscheidende Rolle. Nur durch Sammlung und gezieltes Recycling können auch bioabbaubare Kunststoffe wieder dem Kreislauf zugeführt werden (Umweltbundesamt 2017; Behnsen et al. 2018; Löw et al. 2021).

Zur Optimierung der Anwendungsfelder werden Life-Cycle-Analysen, Ökobilanzierungen und Nachhaltigkeitsbewertungen von Produkten auf Basis neuartiger biobasierter und bioabbaubarer Kunststoffe beitragen. Denn Biokunststoffe bewegen sich in einem spannungsreichen Zielkonflikt hinsichtlich ihrer Ökobilanzen. Problematisch bei biobasierten Kunststoffen ist deren Verbrauch von Wasser und landwirtschaftlicher Fläche, um deren Rohstoffe bereitzustellen. Zellulose-, stärke- und zuckerhaltige Biomassen für die Kunststoffindustrie stehen grundsätzlich in Konkurrenz zur Lebensmittelerzeugung. Daher ist die Verwertung von Reststoffen und das Recycling von hoher Relevanz, vor allem wenn es um kurzlebige Kunststoffprodukte wie Verpackungen geht. Dennoch bleibt das enorme Einsparpotenzial an Kohlenstoffdioxidäquivalenten für Biokunststoffe im Vergleich zu fossil basierten hervorzuheben (Becker 2022).

## 5. Ausblick und Handlungsempfehlungen

„Die chemische Industrie steht mit einem Großteil ihrer Produkte am Anfang vieler Wertschöpfungsketten. Die Innovationen aus der Branche haben so direkten Einfluss auf die weiterverarbeitenden Industrien und sind dort oft Ausgangspunkt für weitere Innovationen. Damit ist die Chemie ein Technologie-Impulsgeber und Innovationsmotor der gesamten Volkswirtschaft. [...] Die Chemie- und Kunststoffbranche liefert wichtige Technologien und Materialien für energie- und ressourceneffizienten Leichtbau, nachhaltige Mobilität und die Energieerzeugung der Zukunft.“ (Land Berlin und Land Brandenburg 2019)

Angesichts steigender Preise, volatiler Märkte und nicht zuletzt des Klimawandels ist die Rohstoffwende eine drängende Aufgabe der chemischen Industrie. Bestimmende Elemente werden zukünftig das **Recycling**, die **Biomassenutzung** und die stoffliche Nutzung von grünem Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid sein. Die **Biotechnologie** kann sich in allen drei Grundbausteinen als übergeordnetes Verbindungsglied wiederfinden. Langfristig sind so weitere Bioraffinerie-Konzepte in den Revieren für die Erzeugung von chemischen Grundstoffen zu etablieren. Mit Hilfe umfassender **Technologie- und Investitionsförderungen** in diesen Bereichen kann eine ernsthafte Konkurrenz zu fossilbasierten Methoden entstehen. Teil dessen ist die Forschungsförderung und Beschleunigung der Technologieentwicklung. Experimentierflächen und Versuchsstände in Technikumsanlagen führen zu schrittweisen Maßstabsvergrößerungen, um die praxisnahe Umsetzung neuer Verfahren zu ermöglichen. Der **Reallaborcharakter** solcher Modellvorhaben gewährt eine zeitlich und räumlich begrenzte Anpassung des rechtlichen Rahmens (z.B. Kreislaufwirtschaftsgesetz, Genehmigungsverfahren für den Anlagenbau). Bauen sich hieran Netzwerke auf, zum Beispiel im Sinne eines Innovationscampus, können Strukturen zur Förderung von Start-Ups integriert werden. So kann neben dem Scale-Up auch das Produktmarketing und der Vertrieb begleitet werden. Innovationen im Kontext der Bioökonomie werden außerdem durch Ökobilanzierung und Life-Cycle-Analysen neuer Produkte und Verfahren unterstützt.

Zur Erreichung der Klimaziele ist die Bündelung aller Kräfte in **starken Netzwerken, Zusammenarbeit und Kooperationen** anzustreben. Grundsätzlich muss der **Wissens- und Technologietransfer forciert werden**. Regionale Unternehmen und insbesondere KMU sollten verstärkt für Forschungsk Kooperationen aktiviert und in Strukturen des Transfers über Köpfe (Praktika, Studientarbeiten, duales Studium etc.) eingebunden werden. Das Verständnis für die Bioökonomie soll bereits in die Schulen gebracht werden. Die Fokussierung der Ausbildung von Fachkräften kann durch die Attraktivitätssteigerung „Grüner Berufe“ und ein weitreichendes Bildungskolleg geschaffen werden.

Um neue Verfahren in die breite Anwendung mit entsprechenden Produktionsmengen zu bringen, sind **Planung und Genehmigung im Großanlagenbau zu vereinfachen**. Hier sind enorme Investitionssummen zu erwarten, die nicht von einzelnen KMU allein getragen werden können. Nur im Zusammenschluss oder durch das Kapital großer Unternehmen sind solche Projekte im Bereich der chemischen Industrie möglich. Besondere Standortfaktoren und regionale Vorteile sind wichtige Argumente, um Investoren von langfristigen Projekten zu überzeugen. In Mitteldeutschland und der Lausitz ist in diesem Sinne der **Ausbau und die Bereitstellung von nachhaltigen Energie- und Versorgungsinfrastrukturen aus erneuerbaren Quellen** voranzutreiben. Damit werden zukünftige Investitionen in Bioraffinerien und biobasierte Prozesse in der Region forciert. Daneben muss ein **klarer förderpolitischer Kurs** die langfristige Planung für Investoren und Unternehmen unterstützen.

Am Beispiel biobasierter, bioabbaubarer Kunststoffe verdeutlicht sich der Bedarf für eine regionale Lösung. Trotz weltweit steigender Nachfrage nach Biokunststoffen liegen die Hauptbezugsquellen solcher Verarbeitungsrohstoffe bislang ausschließlich in Asien und Nordamerika. Regional hergestellte Biokunststoffe bieten daher die Chance zum Ausbau spezifischer Kompetenzen in den Revieren zur Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen. Aufgrund der starken Ausprägung der chemischen Grundstoffherstellung in Mitteldeutschland und der Stärke der Kunststoffverarbeitung in der Lausitz bietet sich in der Region der **Aufbau einer Produktionsanlage für Biopolymere in den ostdeutschen Braunkohlerevieren** an. Besondere Bedeutung kommt hierbei der Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette und der Einbindung aller Akteure zu: von einer ausreichenden Biomassebasis, über die Grundstoffherstellung hin zur Verarbeitung, dem Produktdesign und sich anschließendem Recycling.

Ein weiteres wichtiges Handlungsfeld ist die **Stärkung der Kreislaufwirtschaft und Steigerung der Ressourceneffizienz**. Nur so kann die steigende Nachfrage nach Produkten der Chemie- und Kunststoffindustrie zukünftig gedeckt werden. Die leistungsfähige „grüne“ Chemieindustrie wird ihren Wert zu einem erheblichen Teil aus der Wiederverwendung von hochwertigen Rohstoffen schöpfen, vor allem im Bereich der Kunststoffe. Zunächst geht es hierbei um die effiziente und einfache **Kaskadennutzung von Reststoffen und Nebenprodukten** beispielsweise aus der Land- und Forstwirtschaft, wie z.B. Stroh oder Restholz, oder aus der Lebensmittelindustrie, wie z.B. Biertreber, Weizenpülpe oder Backwarenretouren. Der Abbau rechtlicher Hürden ist eine wichtige Voraussetzung, um die Weiterverarbeitung solcher Biomassen zu ermöglichen. Ein zusätzlicher Aspekt ist die intelligente und möglichst **vollständige Wiederverwertung aller Wertstoffe nach dem Lebensende** der Produkte. Neben der Verankerung im Produktdesign als „Design-For-Recycling“ ist die Reorganisation des gesamten Recyclings anzustreben, damit Rücknahme und Sammlung, Sortierung und Aufbereitung effektiv gestaltet werden können. Dabei sind alle relevanten Akteure in Logistik, Herstellungs-, Verarbeitungs- und Aufbereitungsprozessen und gleichwohl die Bürger\*innen einzubeziehen. Anforderungen an Qualität und verfügbare Mengen in der Region können durch digitale Lösungen unterstützt werden. Der **Dialog in Netzwerken und Transformationsclustern** fördert das Streben nach gemeinsamen Zielen und das Verständnis untereinander.

Zur **Sicherung der Versorgung mit regional erzeugten Biomassen** können z.B. **Agroforst-Systeme** einbezogen werden. Dazu ist die stoffliche Nutzung von Holz aus Kurz- und Langumtriebsplantagen für den Einsatz in Bioraffinerien zu erforschen und Technologien weiterzuentwickeln. Solche Maßnahmen tragen zur Diversifizierung der Rohstoffbasis bei und für landwirtschaftliche Erzeugerbetriebe entsteht durch die hohe Wertschöpfung aus der Biomasse ein wirtschaftlicher Vorteil. Auch Futtermittelunternehmen können perspektivisch als Zulieferer von Bioraffinerien fungieren. Denn auch stärke- und zuckerhaltige Rohstoffe sind in der chemischen Industrie von steigender Bedeutung. Für zukünftige Wertschöpfungsnetze können neue Stoffströme aus der Landwirtschaft über die Futtermittelwirtschaft in Richtung der Chemieindustrie ausgebaut werden, indem ein akteursübergreifender **„Zukunftsdialog Futtermittel“** angestoßen wird. Die Futtermittelwirtschaft ist in Mitteldeutschland stark ausgeprägt, doch der Rückgang der Tierbestände infolge sinkenden Fleischkonsums verringert die Nachfrage nach Futtermitteln. Die dadurch freiwerdenden Biomassen können für Innovationen am Chemiestandort zu einem wichtigen Treiber werden. Durch einen Dialog zwischen Futtermittelindustrie, Chemiewirtschaft, Biotechnologieunternehmen sowie Akteuren aus der Agrarwirtschaft und der Zivilgesellschaft können Potenziale und Herausforderungen einer solchen Zusammenarbeit frühzeitig evaluiert werden.

## Literaturverzeichnis

**Anastas, Paul; Warner, John (2000):** Green Chemistry. Theory and Practice. New York: Oxford University Press.

**Bader, Hans Joachim; Brock, Thomas; Hanke, Klaus; Heuß, Ingrid Streitberger, Hans-Joachim (2018):** Was das Leben bunt macht. Unterrichtsmaterial Lacke, Farben und Druckfarben. Hg. v. Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (FCI). Frankfurt am Main.

**BASF SE (2021):** BASF baut neue Prototypanlage für Batterierecycling in Schwarzheide. Schwarzheide.

**Becker, Nico (2022):** Ökologische Nachhaltigkeitsbewertung von Biokunststoffen für NFKs. Status Quo und Herausforderungen. Hg. v. IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites. Hochschule Hannover.

**Behnen, Hannah; Spierling, Sebastian; Endres, Hans-Josef (2018):** Biobasierte Kunststoffe als Produkt der Bioökonomie. In: *Ökologisches Wirtschaften* 1, Februar 2018 (33), S. 28–29.

**Bengel, Thomas (2020):** Auszeichnung für innovative Cellulose Textilien aus biologisch angebautem Hanf. Hg. v. Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI), zuletzt geprüft am 05.07.2022.

**Berger, Wolfram; Schnellenbach, Jan; Weidner, Silke; Zundel, Stefan (2019):** Standortpotentiale Lausitz. Studie im Auftrag der Zukunftswerkstatt Lausitz. Hg. v. Wirtschaftsregion Lausitz GmbH. Cottbus.

**bioökonomie.de (Hg.) (2022a):** Lösungsmittel sollen grüner werden. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/loesungsmittel-sollen-grue-ner-werden>, zuletzt aktualisiert am 01.06.2022, zuletzt geprüft am 20.07.2022.

**bioökonomie.de (Hg.) (2022b):** Millionen-Förderung für fünf Bioraffinerie-Projekte. Bioraffinerie-Forschung im Südwesten: Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und die EU stellen 19 Mio. Euro für fünf Verbundprojekte bereit. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/millionen-foerderung-fuer-fu-enf-bioraffinerie-projekte>, zuletzt aktualisiert am 17.03.2022, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

**Bittermann, Philip (2021):** Biobasierter Kunststoff für Getränkeflaschen. Coca-Cola stellt Prototyp aus pflanzlichen Rohstoffen vor. Hg. v. PlastVerarbeiter Hüthig GmbH. Online verfügbar unter <https://www.plastverarbeiter.de/markt/coca-cola-stellt-prototyp-pflanzlichen-rohstoffen-vor-381.html>, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

**Bretschneider, Lisa; Heuschkel, Ingeborg; Bühler, Katja; Karande, Rohan; Bühler, Bruno (2022):** Rational orthologous pathway and biochemical process engineering for adipic acid production using *Pseudomonas taiwanensis* VLB120. In: *Metabolic Engineering* 70, 2022, S. 206–217.

**Brödner, Romy; Graffenberger, Martin; Kropp, Per; Sujata, Uwe (2021):** Beschäftigungsstrukturen und Potenziale der Bioökonomie in den deutschen Braunkohlerevieren. Nürnberg (IAB-Discussion Paper, 14).

**Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.) (2020a):** Bericht zur Markt- und Versorgungslage Futtermittel 2020. Bonn.

**Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.) (2020b):** Bericht zur Markt- und Versor-

gungslage Zucker 2020. Bonn.

**Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.) (2021):** Futteraufkommen. Wirtschaftsjahr 2019/2020.

**Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Hg.) (2022):** Zuckerbilanz 2020/21 vorläufig. Leichter Rückgang des Nahrungsverbrauchs und des Selbstversorgungsgrad.

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2019):** Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“. Abschlussbericht. Berlin.

**Bundesregierung (2020):** Nationale Bioökonomiestrategie. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Berlin.

**Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft BDB (Hg.) (2019):** Bioethanolproduktion seit 2005. Online verfügbar unter <https://www.bdbe.de/biokraftstoff-bioethanol/zellulose-ethanol>, zuletzt geprüft am 07.06.2022.

**Carus, Michael; Dammer, Lara; Raschka, Achim; Skoczinski, Pia, vom Berg, Christopher (2020):** Renewable Carbon. Key to a Sustainable and Future-Oriented Chemical and Plastic Industry. Definition, Strategy, Measures and Potential. Hg. v. nova-Institute (nova-Paper on renewable carbon, 12). Online verfügbar unter <http://nova-institute.eu/press/?id=218>, zuletzt geprüft am 29.03.2022.

**ChemiePark Bitterfeld-Wolfen GmbH (Hg.) (ohne Jahr):** Daten und Fakten. ChemiePark Bitterfeld-Wolfen. Online verfügbar unter <https://www.chemiepark.de/der-chemiepark/daten-und-fakten/>, zuletzt geprüft am 03.06.2022.

**CropEnergies AG (2022):** CropEnergies AG präsentiert Pläne zur Herstellung von erneuerbarem Ethylacetat mit Johnson Matthey-Technologie. Mannheim. Online verfügbar unter <http://adhoc.presetext.com/news/1641967200549>, zuletzt geprüft am 23.06.2022.

**DBFZ (Hg.) (2022):** Bioökonomieatlas. Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH. Online verfügbar unter [www.dbfz.de/bioökonomieatlas](http://www.dbfz.de/bioökonomieatlas), zuletzt geprüft am 11.08.2022.

**DECHEMA – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA); Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh); Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK); Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) (Hg.) (2010):** Positionspapier: Rohstoffbasis im Wandel. Frankfurt. Online verfügbar unter [https://dechema.de/dechema\\_media/Downloads/Positionspapiere/Positionspapier\\_Rohstoffbasis+im+Wandel-called\\_by-dechema-original\\_page-124930-original\\_site-dechema\\_eV-view\\_image-1.pdf](https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Positionspapier_Rohstoffbasis+im+Wandel-called_by-dechema-original_page-124930-original_site-dechema_eV-view_image-1.pdf), zuletzt geprüft am 03.06.2022.

**Ding, L.; Jiang, Y.; Wang, B.; et al. (2018):** A waterborne bio-based polymer pigment: colored regenerated cellulose suspension from waste cotton fabrics. In: *Cellulose* 25, 2018, S. 7369–7379.

**Dispan, Jürgen; Mendler, Laura (2020):** Branchenanalyse kunststoffverarbeitende Industrie 2020. Beschäftigungstrends, Kreislaufwirtschaft, digitale Transformation. Hg. v. Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.

**Elsner, Harald; Kuhn, Kerstin; Schmitz, Martin (2017):** Heimische mineralische Rohstoffe – unverzichtbar für Deutschland! Hg. v. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover.

**Evonik Industries AG (2022):** Evonik baut weltweit erste Produktionsanlage für Rhamnolipide im industriellen Maßstab. Essen. Online verfügbar unter <https://corporate.evonik.com/de/presse/pressemitteilungen/corporate/evonik-baut-weltweit-erste-produktionsanlage-fuer-rhamnolipide-im-industriellen-massstab-168461.html>, zuletzt geprüft am 20.07.2022.

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2010):** Industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Gülzow. Online verfügbar unter <https://news.fnr.de/fnr-pressemitteilung/industrielle-nutzung-nachwachsender-rohstoffe-in-deutschland>, zuletzt geprüft am 07.06.2022.

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hg.) (2013):** Arzneipflanzen. Anbau und Nutzen. 3. Aufl. Gülzow.

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hg.) (2014a):** Biokraftstoffe. Gülzow.

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hg.) (2014b):** Marktanalyse nachwachsende Rohstoffe. Gülzow (Nachwachsende Rohstoffe).

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hg.) (2020a):** Basisdaten Biobasierte Produkte 2021. Anbau, Rohstoffe, Produkte. 5. Auflage. Gülzow.

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hg.) (2020b):** Biokunststoffe. 7. Aufl. Gülzow.

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2021):** Gele und ultrafeine Fasern aus Cellulose für nachhaltige Farben und Lacke mit verbesserten Eigenschaften.

**Forschungszentrum Jülich GmbH (Regie) (2020):** Distelfelder statt Tagebau: Vision für NRW. Online verfügbar unter <https://www.biooekonomierevier.de/index.php?index=689>, zuletzt geprüft am 20.07.2022.

**Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes CBP (Hg.) (2014):** Lignocellulose-Bioraffinerie. Aufschluss lignocellulosehaltiger Rohstoffe und vollständige stoffliche Nutzung der Komponenten (Phase 2).

**Fraunhofer-Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik IGB (Hg.) (2021):** Industrielle Biotechnologie. Die Natur als chemische Fabrik. Stuttgart.

**Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS; isw Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung gemeinnützige Gesellschaft mbH (Hg.) (2017):** Zukunftssicherung der chemischen Industrie unter besonderer Berücksichtigung sich verändernder Rahmenbedingungen. Rohstoffbezogene Handlungsszenarien - Optionen für die chemische Industrie in Sachsen-Anhalt. Online verfügbar unter [https://www.materials-economics.com/content/dam/imws/materials-economics/documents/2017%2012%2015\\_Studie%20Zukunftssicherung\\_final.pdf](https://www.materials-economics.com/content/dam/imws/materials-economics/documents/2017%2012%2015_Studie%20Zukunftssicherung_final.pdf), zuletzt geprüft am 07.06.2022.

**Freese, Maren (2022):** Einweihung des neuen Kochersystems. Hg. v. Technische Universität Dresden. Online verfügbar unter <https://tu-dresden.de/bu/umwelt/forst/institut-fuer-pflanzen-und-holzchemie/das-institut/news/einweihung-des-neuen-kochersystems>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2022, zuletzt geprüft am 12.04.2022.

**Gagro, Damir (2017):** Biobasierte Lacksysteme. Marktübersicht. Hg. v. Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. (VdL). Online verfügbar unter <https://www.dsm.com/content/dam/discovery/Documents/Wachstum-Weltweit-Farbe-&-Lack-10-2017.pdf>, zuletzt geprüft am 02.02.2022.

**Gebrüder Parsch GmbH (ohne Jahr):** Beeta Reinigungsmittel aus Rezepturen der Roten Bete. Online verfügbar unter <https://www.beeta.eu/pages/about-us>, zuletzt geprüft am 20.07.2022.

**Gehrke, Birgit; Haaren-Giebel, Friederike von (2015):** Branchenanalyse Pharmaindustrie. Geschäftsmodelle von Lohnherstellern und deren Auswirkungen auf Beschäftigung und Arbeitsbedingungen. Hg. v. Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.

**Gehrke, Birgit; Weilage, Insa (2018):** Branchenanalyse Chemieindustrie. Der Chemiestandort Deutschland im Spannungsfeld globaler Verschiebungen von Nachfragestrukturen und Wertschöpfungsketten. Hg. v. Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.

**Gesthuizen, Jan; Robert, Tobias; Lux, Sabrina (2020):** Biobasierte Lacke und ihre Rohstoffe [Podcast]. Hg. v. Vincentz Network. Fraunhofer WKI. Hannover. Online verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-590241.html>, zuletzt geprüft am 07.12.2021.

**Göbelbecker, Jona (2021):** Chlor-Alkali-Elektrolyse. Nobian liefert ersten grünen Wasserstoff aus Bitterfeld-Wolfen. Hg. v. chemietechnik.de. Hüthig GmbH. Heidelberg. Online verfügbar unter <https://www.chemietechnik.de/markt/nobian-liefert-ersten-gruenen-wasserstoff-aus-bitterfeld-wolfen-721.html>, zuletzt aktualisiert am 06.12.2021, zuletzt geprüft am 12.04.2022.

**Grömling, Michael; Kirchhoff, Jasmina (2020):** Produktions- und Zulieferstrukturen der deutschen Pharmaindustrie. Hg. v. Institut der Deutschen Wirtschaft. Köln (IW-Trends 4/2020).

**Haas, Michaela (2022):** Die beste Art der Müllverwertung. In: *sueddeutsche.de*, 04.02.2022. Online verfügbar unter <https://sz-magazin.sueddeutsche.de/die-loesung-fuer-alles/plastik-muell-verpackungen-recycling-91193>, zuletzt geprüft am 21.06.2022.

**Happel, Oliver; Armbruster, Dominic; Brauch, Heinz-Jürgen; Rott, Eduard; Minke, Ralf (2021):** Phosphonate in Wasch- und Reinigungsmitteln und deren Verbleib in der Umwelt – Entwicklung von Analyseverfahren und deren praktische Anwendung bei Proben von Oberflächenwasser, Abwasser und Sediment. Hg. v. Umweltbundesamt (69/2021).

**Hoffmann, Jonas; Grüter, Maxie; Lüttger, Andrea (2022):** Pflanzensteckbriefe: Pflanzen zur klimawandelangepassten Biomasseproduktion. Open Agrar Repositorium. Göttingen. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.48480/cz89-1p73>, zuletzt geprüft am 16.09.2022.

**IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites (Hg.) (2020):** Biopolymers facts and statistics 2020. Production capacities, processing routes, feedstock, land and water use. Hochschule Hannover. Hannover.

**IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites (2022):** Mehr Biokunststoffe einsetzen mit Verarbeitungssimulationen. Hannover. Mundzeck, Lisa. Online verfügbar unter <https://www.ifbb-hannover.de/de/pressemitteilung/mehr-biokunststoffe-einsetzen-mit-verarbeitungssimulationen.html>, zuletzt geprüft am 21.06.2022.

**Industrie- und Handelskammer Halle-Dessau (IHK) (Hg.) (2013):** Chemische und pharmazeutische Industrie im IHK-Bezirk Halle-Dessau. Halle (Saale). Online verfügbar unter <https://www.halle.ihk.de/blueprint/servlet/resource/blob/623258/295e0586a71a2d7be6030233a7fb6fcd/ihk-branchenstudie-data.pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

**Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (IVC) (Hg.) (2021):** Die Chemiefaserindustrie in der Bundesrepublik Deutschland 2020/2021. Frankfurt/Main. Online verfügbar unter <https://www.ivc-ev.de/sites/default/files/informationmaterial-dateien/IVC%20Jahresbrosch%C3%BCre%202021.pdf>, zuletzt geprüft am 17.02.2022.

**Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. (Hg.):** Rekord-Preissprünge bei Energie und Rohstoffen gefährden Produktion. Kunststoffverpackungs-Industrie ruft nach Entlastungen.

**Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. (Hg.) (2021):** Nachhaltigkeitsbericht 2020/2021. Bad Homburg.

**InfraLeuna GmbH (Hg.) (2021):** Daten und Fakten. Standort Leuna. Online verfügbar unter <https://www.infraleuna.de/standort-leuna/daten-und-fakten/>, zuletzt geprüft am 03.06.2022.

**InfraLeuna GmbH (Hg.) (2022):** LEUNA - Haupterzeugnislinien. Online verfügbar unter [https://www.infraleuna.de/fileadmin/infraleuna/downloads/Haupterzeugnislinien\\_2022\\_02\\_01\\_d.pdf](https://www.infraleuna.de/fileadmin/infraleuna/downloads/Haupterzeugnislinien_2022_02_01_d.pdf), zuletzt aktualisiert am 01.02.2022, zuletzt geprüft am 12.04.2022.

**Infra-Zeit Servicegesellschaft mbH (Hg.) (ohne Jahr):** Standort des Mittelstandes. Chemie- und Industriepark Zeitz. Online verfügbar unter [https://www.industriepark-zeitz.de/wp-content/uploads/2014/11/Infra\\_Zeitz\\_Brosch%C3%BCre\\_DE.pdf](https://www.industriepark-zeitz.de/wp-content/uploads/2014/11/Infra_Zeitz_Brosch%C3%BCre_DE.pdf), zuletzt geprüft am 03.06.2022.

**Jendrischik, Martin (2021):** Wie Cleantech-Unternehmen Solugen aus Zucker wertvolle Chemikalien macht. Hg. v. Cleanthinking.de. Leipzig. Online verfügbar unter <https://www.cleanthinking.de/solugen-aus-zucker-werden-wertvolle-chemikalien/>, zuletzt geprüft am 12.04.2022.

**Julius Kühn-Institut (2020):** Johanniskraut, Anis und Co. – Deutscher Arzneipflanzenanbau soll wettbewerbsfähiger werden. Online verfügbar unter <https://www.julius-kuehn.de/pressemitteilungen/pressemeldung/news/pi2020-01-johanniskraut-anis-und-co-deutscher-arzneipflanzenanbau-soll-wettbewerbsfaehiger-werde/>, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

**Kalcher, Jasmin; Naegeli de Torres, Friederike; Gareis, Elisa; Cyffka, Karl-Friedrich; Brosowski, André (2021):** DBFZ Dashboard biogene Rohstoffe in Deutschland (BETA-VERSION). DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH. Online verfügbar unter <https://dbfz.maps.arcgis.com/apps/opsoashboard/index.html#/517497791eb14ae9b9e9b44d3bca2b5a>, zuletzt geprüft am 10.05.2022.

**Kern GmbH (Hg.) (2022):** Kunststofflegierung. Online verfügbar unter <https://www.kern.de/de/kunststofflexikon/kunststofflegierung>, zuletzt geprüft am 12.04.2022.

**Khanis, Khairun ,Aqilah Hanis; Nasri, Muhammad; Farahiyah, Wan; Rabani, Mohd (2020):** Bacterial Degradation of Azo Dye Congo Red by Bacillus sp. In: *Journal of Physics*, 2020 (1529).

**Kohl, Christina; Beck, Alexander; Haitz, Fabian; LeLoarer, Guylaine; Miller, Michaela; Schönhaar, Veronika et al. (2018):** Umweltentlastung durch den Einsatz mikrobiell hergestellter Biotenside in Körperpflegemitteln sowie Wasch-, Pflege und Reinigungsmitteln. Abschlussbericht. Hg. v. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU). Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-32360-01.pdf>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

**KunststoffWeb GmbH (Hg.) (2021):** Carbios: Errichtung einer PET-Recyclinganlage in Schkopau. Online verfügbar unter [https://www.kunststoffweb.de/branchen-news/carbios\\_errichtung\\_einer\\_pet-recyclinganlage\\_in\\_schkopau\\_t247439](https://www.kunststoffweb.de/branchen-news/carbios_errichtung_einer_pet-recyclinganlage_in_schkopau_t247439), zuletzt geprüft am 04.03.2022.

**Liew, F. E.; Nogle, R.; Abdalla, T. et al. (2022):** Carbon-negative production of acetone and isopropanol by gas fermentation at industrial pilot scale. In: *Nature Biotechnology*, 2022 (40), S. 335–344.

**Lindner, Christoph; Schmitt, Jan; Hein, Julia (2020):** Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019. Hg. v. BKV GmbH, PlasticsEurope e.V., AGPU e.V., BDE e.V., bvse e.V., IG BCE, et al. Conversio Market & Strategy GmbH. Online verfügbar unter [http://hightecparts.org/images/tecpart/Konjunktur/Consultic/Kurzfassung\\_Stoffstrombild\\_2019.pdf](http://hightecparts.org/images/tecpart/Konjunktur/Consultic/Kurzfassung_Stoffstrombild_2019.pdf), zuletzt geprüft am 24.03.2022.

**Löbbe, Klaus (2008):** Die Chemiefaserindustrie am Standort Deutschland. Struktur, Standortbedingungen und Entwicklungsperspektiven bis 2020. Hg. v. Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.

**Löw, Clara; Gröger, Jens; Neles, Camilla; Wacker, Mona (2021):** Biobasierte und biologisch abbaubare Einwegverpackungen? Keine Lösung für Verpackungsmüll! Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

**Maier, Christoph; Schneider, Alexander; Schmidt-Wehrich, Lucas (2021):** Zwischen Tiefrot und Schwarz. Corona malt die Wirtschaftszahlen in eigenen Farben. In: *WIR SIND FARBE*, April 2021

(12), S. 1–23.

**Michelin Group (2021):** Von der Plastikflasche zum Reifen: Michelin und Carbios starten revolutionäres Recycling von Kunststoffabfällen. Frankfurt. Online verfügbar unter <https://news.michelin.de/articles/von-der-plastikflasche-zum-reifen-michelin-und-carbios-starten-revolutionaeres-recycling-von-kunststoffabfaellen>, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

**Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten:** UPM errichtet Bioraffinerie für 550 Mio. Euro in Leuna. Magdeburg. Online verfügbar unter <https://mw.sachsen-anhalt.de/news-detail/news/upm-errichtet-bioraffinerie-fuer-550-mio-euro-in-leuna/>, zuletzt geprüft am 31.05.2022.

**Musche, Nina (2019):** Geschichte der High-Solids: Logische Entwicklung oder Sackgasse? Hg. v. Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. (VdL). Online verfügbar unter [https://www.farbeundlack.de/artikel/archiv/geschichte-der-high\\_solids-logische-entwicklung-oder-sackgasse](https://www.farbeundlack.de/artikel/archiv/geschichte-der-high_solids-logische-entwicklung-oder-sackgasse), zuletzt geprüft am 07.12.2021.

**Neis-Beeckmann, Petra (2022):** Vision Insekten-Bioraffinerie: Baustein einer nachhaltigen Bioökonomie. Aus Abfällen wertvolle Produkte herstellen. Hg. v. BIOPRO Baden-Württemberg GmbH. Stuttgart.

**Nisser, Annerose; Malanowski, Norbert (2019):** Branchenanalyse chemische und pharmazeutische Industrie. Zukünftige Entwicklungen im Zuge Künstlicher Intelligenz. Hg. v. Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.

**Njarðarson, Jón T. (2007):** Top 200 Brand-Name Drugs by Retail Dollars in 2006. Hg. v. Cornell University.

**Njarðarson, Jón T. (2009):** Top 200 Brand-Name Drugs by Worldwide Sales in 2008. Hg. v. Cornell University. Online verfügbar unter <https://njardarson.lab.arizona.edu/sites/njardarson.lab.arizona.edu/files/Top200PharmaceuticalProductsbyWorldwideSalesin2008v4.pdf>, zuletzt geprüft am 18.03.2022.

**Njarðarson, Jón T. (2014):** Top US Pharmaceutical Products of 2013. Top 100 by Retail Sales - Top 100 by Prescription. Hg. v. Cornell University. Online verfügbar unter <https://njardarson.lab.arizona.edu/sites/njardarson.lab.arizona.edu/files/Top%20US%20Pharmaceutical%20Products%20of%202013.pdf>, zuletzt geprüft am 18.03.2022.

**Nouryon Specialty Chemicals B.V. (2022):** Nouryon commissions biodegradable chelates production facility in the Netherlands to meet growing consumer demand for eco-friendly auto dishwashing and liquid laundry products. Nouryon. Online verfügbar unter <https://renewable-carbon.eu/news/nouryon-commissions-biodegradable-chelates-production-facility-in-the-netherlands-to-meet-growing-consumer-demand-for-eco-friendly-auto-dishwashing-and-liquid-laundry-products/>, zuletzt geprüft am 20.07.2022.

**Paques Biomaterials:** Upcycling Waste to Natural Biopolymers. Online verfügbar unter <https://www.paquesbiomaterials.nl/>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

**Pharma Fakten e.V. (Hg.) (2020):** Die Welt der Biopharmazeutika. Online verfügbar unter <https://www.pharma-fakten.de/news/details/978-die-welt-der-biopharmazeutika/>, zuletzt geprüft am 15.03.2022.

**POLYSAX Bildungszentrum Kunststoffe GmbH (Hg.) (2019):** Fachkräfte von morgen. Oberlausitzer Kunststoff-Initiative wirbt um Nachwuchs. Online verfügbar unter <https://www.plastverarbeiter.de/markt/oberlausitzer-kunststoff-initiative-wirbt-um-nachwuchs.html>, zuletzt geprüft am 21.06.2022.

**Qureshi, M. Haziq (2021):** Top 200 Pharmaceuticals by Retail Sales in 2020. Hg. v. Cornell University of Arizona. Online verfügbar unter <https://njardarson.lab.arizona.edu/sites/njardarson.lab.arizona.edu/files/Top%20200%20Pharmaceuticals%20By%20Retail%20Sales%202020V3.pdf>, zuletzt geprüft am 18.03.2022.

**Schneider, Alexander; Walter, Christof; Schmidt-Wehrich, Lucas; Maier, Christoph (2021):** Industrie stärken, Ziele erreichen. In: *WIR SIND FARBE*, Oktober 2021 (14), S. 4–21. Online verfügbar unter [https://www.wirsindfarbe.de/fileadmin/user\\_upload/Dokumente/Wir\\_sind\\_Farbe/WSF\\_14\\_Oktober\\_2021\\_final\\_web.pdf](https://www.wirsindfarbe.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Wir_sind_Farbe/WSF_14_Oktober_2021_final_web.pdf), zuletzt geprüft am 07.12.2021.

**Seawill, Peter; Wilde, Jonathan (2020):** The preparation and applications of amides using electro-synthesis. In: *Green Chem.*, 2020 (22), S. 7737–7759.

**Sonnendecker, Christian; Oeser, Juliane; Richter, Konstantin; Hille, Patrick; Zhao, Ziyue; Fischer, Cornelius; Lippold, Holger et al. (2021):** Low Carbon Footprint Recycling of Post-Consumer PET Plastic with a Metagenomic Polyester Hydrolase. In: *ChemSusChem* 2022, 2021 (15), S. 1–10.

**Statistisches Bundesamt (Hg.) (2020a):** Land- und Forstwirtschaft, Fischerei Fachserie 3 Reihe 3.3.1. Forstwirtschaftliche Bodennutzung - Holzeinschlagsstatistik der Jahre 2014-2019. Wiesbaden.

**Statistisches Bundesamt (Hg.) (2020b):** Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung. Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (9-Steller). Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=ergebnistabelleAnzeigen&index=0&levelindex=0&levelid=1646233818270#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 02.03.2022.

**Statistisches Bundesamt (Hg.) (2022a):** Anbauflächen, Hektarerträge und Erntemengen ausgewählter Anbaukulturen im Zeitvergleich. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/liste-feldfruechte-zeitreihe.htm>, zuletzt geprüft am 07.06.2022.

**Statistisches Bundesamt (2022b):** Produzierendes Gewerbe. Betriebe, tätige Personen und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigtengrößenklassen 2020. Fachserie 4 Reihe 4.2.1. Wiesbaden.

**Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE (Hg.) (2021):** Branchenausblick 2030+: Die kunststoffverarbeitende Industrie.

**Südzucker AG (Hg.) (2019):** Willkommen im Werk Zeitz. Online verfügbar unter [https://www.suedzucker.de/sites/default/files/2019-12/SZ\\_Werksprospekt\\_Zeitz\\_2019.pdf](https://www.suedzucker.de/sites/default/files/2019-12/SZ_Werksprospekt_Zeitz_2019.pdf), zuletzt geprüft am 20.10.2021.

**Süntinger, Hildegard (2020):** Durchbruch im Recycling von Kleidung mit Polyamid. Hg. v. innovationorigins.com. Online verfügbar unter <https://innovationorigins.com/de/neue-methode-ermoglicht-das-recycling-von-kleidung-mit-polyamid-erstmal-im-geschlossenen-kreislauf/>, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

**Tauro, Savita J. (2013):** Green Chemistry: A Boon to Pharmaceutical Synthesis. In: *International Journal of Scientific Research* 2, 2013 (7), S. 67–69.

**Tsang, Yiu Fai; Kumar, Vanish; Samadar, Pallabi; Yang, Yi; Lee, Jechan; Ok, Yong Sik et al. (2019):** Production of bioplastic through food waste valorization. In: *Environment International*, 2019 (127), S. 625–644.

**Umweltbundesamt (Hg.) (2017):** Kurzposition Biokunststoffe. Online verfügbar unter <https://www.>

umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/uba\_kurzposition\_biokunststoffe.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

**Umweltbundesamt (2022):** Branchenabhängiger Energieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/industrie/branchenabhaengiger-energieverbrauch-des#primarenergienutzung-des-verarbeitenden-gewerbes>, zuletzt geprüft am 23.06.2022.

**Universität Bayreuth (2021):** Bakterien unter Strom: VolkswagenStiftung fördert langjährige Forschungsagenda an der Universität Bayreuth. Bayreuth. Online verfügbar unter <https://nachrichten.idw-online.de/2021/07/29/bakterien-unter-strom-volkswagenstiftung-foerdert-langjaehrige-forschungsagenda-an-der-universitaet-bayreuth/>, zuletzt geprüft am 03.06.2022.

**ValuePark Dow Olefinverbund GmbH (Hg.) (2020):** ValuePark. Online verfügbar unter <https://de.dow.com/de-de/standorte/mitteldeutschland/valuepark.html>, zuletzt geprüft am 03.06.2022.

**Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hg.) (2015):** Chancen und Grenzen des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie. Frankfurt (VCI-Positionspapier).

**Verband der Chemischen Industrie e. V. (Hg.) (2021):** Chemiewirtschaft in Zahlen. 2021. Frankfurt am Main.

**Verband der Chemischen Industrie e. V., Landesverband Nordost (Hg.) (2021):** Die Chemie- und Pharmaindustrie in Ostdeutschland. Eine Strukturanalyse des ifo Instituts Dresden. Ifo Institut-Leibnitz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e.V., Niederlassung Dresden. Baden-Baden.

**Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI); Deloitte Touche Tohmatsu Limited („DTTL“) (Hg.) (2017):** Chemie 4.0. Wachstum durch Innovation in einer Welt im Umbruch. Online verfügbar unter <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/vci-deloitte-studie-chemie-4-punkt-0-kurzfasung.pdf>, zuletzt geprüft am 05.07.2022.

**Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. (Hg.) (2020):** Biobasierte Monomere anstelle von traditionellem Material bei der Herstellung von Polyesterharz. Online verfügbar unter <https://www.farbeundlack.de/artikel/biobasierte-monomere-anstelle-von-traditionellem-material-bei-der-herstellung-von-polyesterharz>, zuletzt geprüft am 07.12.2021.

**Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. (Hg.) (2021):** Die deutsche Lack- und Druckfarbenindustrie in Zahlen 2020. Frankfurt am Main.

**Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft VGMS e.V. (Hg.) (2022):** Daten zur Stärkeindustrie in Deutschland.

**Verband Forschender Arzneimittelhersteller e.V. (Hg.) (2009):** Neue Wirkstoffe und Darreichungsformen. Online verfügbar unter <https://www.vfa.de/de/anzneimittel-forschung/woran-wir-forschen/amf-wirkstoffe.html>, zuletzt geprüft am 15.03.2022.

**Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hg.) (2021):** Circular Economy für Kunststoffe neu denken. Wie die Transformation zur zirkulären Wertschöpfung gelingen kann. Düsseldorf (Green Paper des VDI-Round Table).

**Vogel, Julia; Krüger, Franziska; Fabian, Matthias (2020):** Chemisches Recycling. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

**Weleda AG (Hg.) (2021):** Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht 2020. Online verfügbar unter [https://weledaint-prod.global.ssl.fastly.net/binaries/content/assets/pdf/corporate/geschaefts\\_](https://weledaint-prod.global.ssl.fastly.net/binaries/content/assets/pdf/corporate/geschaefts_)

und\_nachhaltigkeitsbericht\_2020.pdf, zuletzt geprüft am 20.05.2022.

**Wiegmann, Kirsten; Hünecke, Katja; Moch, Katja; Hennenberg, Klaus Josef; Fehrenbach, Horst (2019):** Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engel. Teil 4: PROSA - Biobasierte Wasch- und Reinigungsmittel. Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

**Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB) (Hg.) (2021):** Starke Standorte. Online verfügbar unter <https://kunststoffe-chemie-brandenburg.de/de/themen/starke-standorte>, zuletzt geprüft am 22.03.2022.