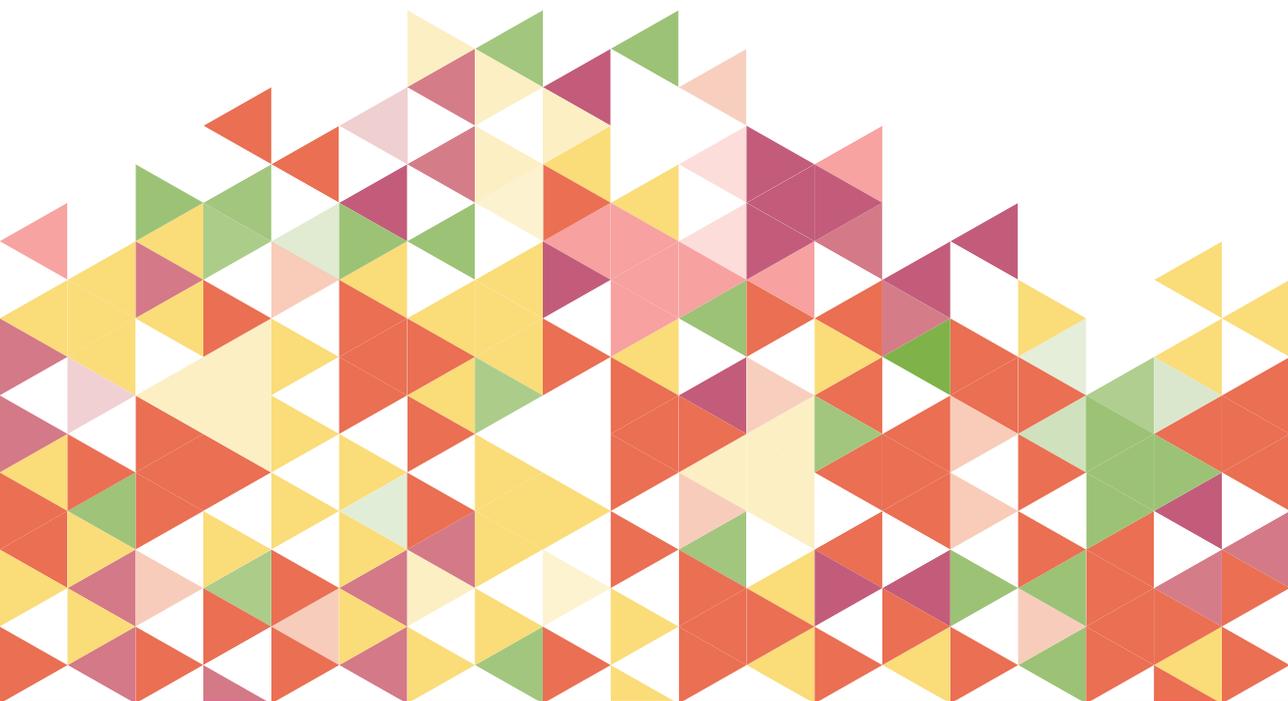


Monika Hackel | Ulrich Blötz | Magret Reymers  
unter Mitarbeit von Ulrike Eckstein | Maren Petersen

# Diffusion neuer Technologien – Veränderungen von Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen im produzierenden Gewerbe

Eine deskriptive Analyse zur Technologiedauerbeobachtung



Monika Hackel | Ulrich Blötz | Magret Reymers  
unter Mitarbeit von Ulrike Eckstein | Maren Petersen

# **Diffusion neuer Technologien – Veränderungen von Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen im produzierenden Gewerbe**

Eine deskriptive Analyse zur Technologiedauerbeobachtung

## Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

urn:nbn:de:0035-vetrepository-763551-0

© 2015 by Bundesinstitut für Berufsbildung, Bonn

### Herausgeber:

Bundesinstitut für Berufsbildung, 53142 Bonn

Internet: [www.bibb.de](http://www.bibb.de)

E-Mail: [zentrale@bibb.de](mailto:zentrale@bibb.de)

Publikationsmanagement Arbeitsbereich 1.4

Umschlag: CD Werbeagentur Troisdorf

Satz: Christiane Zay, Potsdam

Druck und Verlag: W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld

W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co. KG

Postfach 10 06 33

33506 Bielefeld

Internet: [wbv.de](http://wbv.de)

E-Mail: [service@wbv.de](mailto:service@wbv.de)

Telefon: (05 21) 9 11 01-11

Telefax: (05 21) 9 11 01-19

Bestell-Nr.: 111.077

Printed in Germany

ISBN 978-3-7639-1180-6 Print

ISBN 978-3-7639-5659-3 E-Book



Der Inhalt dieses Werkes steht unter einer Creative-Commons-Lizenz (Lizenztyp: Namensnennung – Keine kommerzielle Nutzung – Keine Bearbeitung – 4.0 International).

Weitere Informationen finden sie im Internet auf unserer Creative-Commons-Infoseite [www.bibb.de/cc-lizenz](http://www.bibb.de/cc-lizenz).



# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....</b>	<b>7</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>9</b>
<b>Das Wichtigste in Kürze .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Ausgangslage .....</b>	<b>13</b>
<b>2 Theoretischer Hintergrund und Forschungsfragen.....</b>	<b>17</b>
2.1 Theoretischer Hintergrund .....	17
2.2 Forschungsfragen und forschungsleitende Annahmen .....	29
<b>3 Methodische Vorgehensweise.....</b>	<b>31</b>
<b>4 Detailergebnisse der empirischen Arbeitsschritte .....</b>	<b>35</b>
4.1 Sektoranalyse zur Begründung der Fallauswahl .....	35
4.1.1 Filterstrategie zur Eingrenzung der Komplexität des Forschungsfeldes .....	35
4.1.2 Allgemeiner Überblick über Innovationsmerkmale im produzierenden Gewerbe .....	38
4.1.3 Die ZEW Innovationserhebung 2010 .....	40
4.1.4 Das Branchenranking des Instituts der deutschen Wirtschaft zu Deutschlands Zukunftsbranchen .....	42
4.1.5 Ableitung von Konsequenzen für die eigene Untersuchung und erste Begrenzung des Forschungsfeldes „produzierendes Gewerbe“ .....	43
4.1.6 Exemplarisches Beispiel Sektoranalyse: metallischer Leichtbau .....	46
4.1.7 Begründungszusammenhänge zur Fallauswahl .....	50
4.2 Themenfeld Leichtbau: Fallbeispiel CFK .....	51
4.2.1 Technologiebeschreibung .....	51
4.2.2 Empirie: Datengrundlage .....	54
4.2.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette .....	55
4.2.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung .....	64
4.2.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer .....	70
4.2.6 Sonstige Ergebnisse .....	71
4.2.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens .....	73
4.2.8 Fazit .....	73

4.3 Themenfeld Leichtbau: Fallbeispiel metallischer Leichtbau (Gießereitechnik) .....	73
4.3.1 Technologiebeschreibung .....	74
4.3.2 Empirie: Datengrundlage .....	74
4.3.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette .....	75
4.3.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung .....	77
4.3.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer/ Erfahrungswissen .....	78
4.3.6 Sonstige Ergebnisse .....	79
4.3.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens .....	80
4.3.8 Fazit .....	81
4.4 Themenfeld Energiewende: Fallbeispiel Smart Grid .....	82
4.4.1 Technologiebeschreibung .....	82
4.4.2 Empirie: Datengrundlage .....	83
4.4.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette .....	83
4.4.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung .....	85
4.4.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer .....	87
4.4.6 Sonstige Ergebnisse .....	88
4.4.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens .....	89
4.4.8 Fazit .....	89
4.5 Themenfeld Energiewende: Fallbeispiel Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) .....	90
4.5.1 Technologiebeschreibung .....	90
4.5.2 Empirie: Datengrundlage .....	91
4.5.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette .....	91
4.5.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung .....	93
4.5.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer .....	95
4.5.6 Sonstige Ergebnisse .....	96
4.5.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens .....	97
4.5.8 Fazit .....	97
4.6 Themenfeld Energiewende: Fallbeispiel Batterietechnik .....	98
4.6.1 Technologiebeschreibung .....	98
4.6.2 Empirie: Datengrundlage .....	99
4.6.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette .....	100
4.6.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung .....	102
4.6.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer .....	104

4.6.6	Sonstige Ergebnisse .....	105
4.6.7	Ergebnisse des methodischen Vorgehens .....	105
4.6.8	Fazit .....	106
4.7	Themenfeld Laser: Fallbeispiel Industrielle Laserfertigung und -bearbeitung .....	106
4.7.1	Technologiebeschreibung .....	106
4.7.2	Empirie: Datengrundlage .....	110
4.7.3	Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette .....	111
4.7.4	Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung .....	112
4.7.5	Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer .....	116
4.7.6	Sonstige Ergebnisse .....	116
4.7.7	Ergebnisse des methodischen Vorgehens .....	116
4.7.8	Fazit .....	117
4.8	Themenfeld Biotechnologie: Allgemeine Biotechnologie und Bioraffinerie ..	117
4.8.1	Technologiebeschreibung .....	118
4.8.2	Empirie: Datengrundlage .....	125
4.8.3	Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette .....	125
4.8.4	Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung .....	134
4.8.5	Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer .....	138
4.8.6	Sonstige Ergebnisse .....	138
4.8.7	Ergebnisse des methodischen Vorgehens .....	141
4.8.8	Fazit .....	141
4.9	Themenfeld IKT: Fallbeispiel AR/VR – Augmented und Virtual Reality.....	142
4.9.1	Technologiebeschreibung .....	142
4.9.2	Empirie: Datengrundlage.....	143
4.9.3	Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette .....	143
4.9.4	Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung .....	144
4.9.5	Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer .....	145
4.9.6	Sonstige Ergebnisse: Hypothesengenerierung .....	146
4.9.7	Ergebnisse des methodischen Vorgehens.....	148
4.9.8	Fazit .....	149
<b>5</b>	<b>Fallbeispielübergreifende Ergebnisse .....</b>	<b>151</b>
5.1	Technologie und Berufsbildung.....	152
5.1.1	Die Begriffe Technologie, Innovation und Diffusion im Kontext von Dauerbeobachtung.....	152

5.1.2	Analysezeitpunkt und Qualität der Aussagen .....	157
5.2	Technologiefeldübergreifende Analyse .....	160
5.2.1	Automatisierung .....	161
5.2.2	Der Einfluss betrieblicher Arbeitsorganisation auf Qualifizierungsbedarfe und die Auswahl von Ausbildungsberufen .....	162
5.2.3	Qualifizierung als innovationsfördernder Faktor in KMU .....	165
5.3	Bedeutung der Berufsbildungsakteure für gelungene Technologie- diffusionsprozesse .....	166
5.3.1	Schnittstellen und Akteure beim Transfer technologischen Know-hows .....	167
5.3.2	Konsequenzen für die Technologiedauerbeobachtung .....	170
5.4	Methodenreflexion .....	171
5.4.1	Indikatoren .....	173
5.4.2	Abbruchkriterien .....	175
5.4.3	Vor- und Nachteile des methodischen Vorgehens .....	176
5.4.4	Fazit .....	178
<b>6</b>	<b>Ausblick und Transfer .....</b>	<b>183</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>191</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>195</b>
	<b>Abstract .....</b>	<b>201</b>

# Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1:	Strukturmodell menschlicher Tätigkeit .....	19
Abbildung 2:	Ein tätigkeitstheoretischer Analyseansatz zur Untersuchung von Diffusionsprozessen .....	21
Abbildung 3:	Technologielebenszyklus nach Arthur D. Little .....	25
Abbildung 4:	Determinanten der Technologiediffusion .....	27
Abbildung 5:	In DiffTech bearbeitete Technologiefelder .....	32
Abbildung 6:	Filterstrategien zur Handhabung der Komplexität des Forschungsfeldes ..	37
Abbildung 7:	Anzahl der Beschäftigten nach Branchen in Deutschland .....	39
Abbildung 8:	Innovatorenquote nach Branchengruppen 2009 .....	40
Abbildung 9:	Umsatzanteil mit neuen Produkten nach Branchengruppen 2009 .....	41
Abbildung 10:	Bereich Technologie des Teilindex Expertenbefragung .....	42
Abbildung 11:	Gesamtindex Branchenranking Deutschlands Zukunftsbranchen 2009 (Rang 1–10) .....	43
Abbildung 12:	Die größten Stahlerzeuger Deutschlands 2010 (Stahl-Online 2011) .....	48
Abbildung 13:	Weltweiter Verbrauch von CFK nach Anwendungen .....	52
Abbildung 14:	Fallbeispiel Carbon. Kfz-Diffusionskette und involvierte Berufe .....	56
Abbildung 15:	Arbeitsschritte Einzelteilfertigung CFK-Bauteile .....	61
Abbildung 16:	Wertschöpfung und Arbeitsprozesse im Druckguss .....	75
Abbildung 17:	Wertschöpfung und Arbeitsprozesse im Zusammenhang mit Smart Grid ...	84
Abbildung 18:	Wertschöpfung und Arbeitsprozesse im SHK-Handwerk in Bezug zur Kraft-Wärme-Kopplung .....	92
Abbildung 19:	Wertschöpfung und Arbeitsprozesse bei Produktion und Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien .....	100
Abbildung 20:	Arbeitsteilung bei der industriellen Laserbearbeitung .....	112
Abbildung 21:	Lignocellulose-Bioraffinerie .....	122
Abbildung 22:	Chemische Prozesse im Bereich Bioraffinerie .....	123
Abbildung 23:	Funktionsteilung und Prozesskette Zelllinienentwicklung bis Fertigarzneimittel .....	127
Abbildung 24:	Stellenbeschreibung Fermentation .....	132
Abbildung 25:	Stellenbeschreibung Aufreinigung .....	132
Abbildung 26:	Prozesskette und Funktionsteilung Bioraffinerien .....	133
Abbildung 27:	Wertschöpfung und Arbeitsprozesse beim Einsatz von AR im Nutzfahrzeugbau .....	144
Abbildung 28:	Beschäftigtenzahlen Technische Modellbauerin und Technischer Modellbauer .....	147

Abbildung 29: Ein tätigkeitstheoretischer Analyseansatz zur Untersuchung von technologischen Diffusionsprozessen .....	153
Abbildung 30: Einordnung der untersuchten Fallbeispiele in den Technologielebenszyklus nach Arthur D. Little .....	159
Abbildung 31: Arbeitsteilung im Bereich der Laserfertigung .....	163
Abbildung 32: Akteure des Innovationstransfers in die berufliche Bildung .....	166
Abbildung 33: Entscheidungsbaum zum Vorgehen in der qualitativen Technologie-dauerbeobachtung.....	179
Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung der theoretischen Überlegungen.....	29
Tabelle 2: Fertigungsverfahren für hochfeste CFK-Bauteile .....	53
Tabelle 3: Arbeitsfelder Biotechnologie.....	118
Tabelle 4: Biotechnologisch hergestellte Produkte .....	121
Tabelle 5: Verfahren im Bereich Bioraffinerie .....	122
Tabelle 6: Methodenschritte .....	172

# Abkürzungsverzeichnis

<b>AR/VR:</b>	Augmented und Virtual Reality
<b>BAuA:</b>	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
<b>BBiG:</b>	Berufsbildungsgesetz
<b>BMBF:</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>BHKW:</b>	Blockheizkraftwerk
<b>BIBB:</b>	Bundesinstitut für Berufsbildung
<b>BTA:</b>	Biologisch-technische Assistenten
<b>CAD:</b>	Computer-aided Design
<b>CFK:</b>	Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe
<b>CHAT:</b>	Cultural Historical Activity Theory
<b>CNC:</b>	rechnergestützte numerische Steuerung (Computerized Numerical Control)
<b>CoP:</b>	Community of Practice
<b>CTA:</b>	Chemisch-technische Assistenten
<b>DVGW:</b>	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
<b>EGOS:</b>	European Group for Organisational Studies
<b>FEM:</b>	Finite-Elemente-Methode
<b>FMEA:</b>	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (Failure Mode and Effects Analysis)
<b>FreQueNz:</b>	Forschungsnetz zur Früherkennung von Qualifikationserfordernissen
<b>FuE:</b>	Forschung und Entwicklung
<b>FVK:</b>	Faserverbundwerkstoffe
<b>GFK:</b>	Glasfaserverstärkte Kunststoffe
<b>GMP:</b>	Good Manufacturing Practice
<b>IHK:</b>	Industrie und Handelskammer
<b>IKT:</b>	Informations- und Kommunikationstechnik
<b>ISCAR:</b>	International Society for Cultural and Activity Research
<b>KWK:</b>	Kraft-Wärme-Kopplung
<b>NACE Rev:</b>	Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft
<b>NE:</b>	Nicht-Eisen
<b>NFK:</b>	Naturfaserverstärkte Kunststoffe
<b>PTA:</b>	Pharmazeutisch-technische Assistenten
<b>RTM-Verfahren:</b>	Harzinjektionsverfahren (Resin Transfer Moulding)
<b>SHK:</b>	Sanitär Heizung Klima
<b>SPS:</b>	Speicherprogrammierbare Steuerung
<b>ÜBS:</b>	überbetriebliche Berufsbildungsstätten
<b>VDE:</b>	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
<b>WKZG:</b>	Werkzeuge
<b>Zebra:</b>	Zero Emission Battery Research Activities
<b>ZEW:</b>	Zentrum für europäische Wirtschaftsförderung



## Das Wichtigste in Kürze

Diese Untersuchung stellt, ausgehend von den theoretischen Grundlagen, das empirische Vorgehen und die Ergebnisse des BIBB-Forschungsprojekts Diffusion neuer Technologien (DifTech) dar. Untersucht werden exemplarisch und vergleichend Qualifikationsveränderungen auf der Facharbeiterebene, welche durch den Diffusionsprozess unterschiedlicher Technologien hervorgerufen werden. Hieraus werden methodische Empfehlungen und Indikatoren für die Technologiedauerbeobachtung mit qualitativen Methoden abgeleitet. In den Themenfeldern Leichtbau, Energiewende, Biotechnologie, Laserbearbeitung sowie Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) werden unterschiedliche Technologien auf der Grundlage der Tätigkeitstheorie nach ENGSTRÖM analysiert. Neben Aussagen zu konkreten Veränderungsbedarfen in unterschiedlichen Berufsfeldern werden aus einem übergreifenden Vergleich der insgesamt 76 Datensätze auch verallgemeinerbare Ergebnisse zur Veränderung der Facharbeit in automatisierten Produktionsprozessen, zum Innovationstransfer in die berufliche Bildung und zum Einfluss der Arbeitsorganisation auf Qualifizierungsbedarfe abgeleitet. In Bezug auf die Technologiebeobachtung mit berufspädagogischem Fokus werden Empfehlungen für die Dauerbeobachtungsaufgaben des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) gegeben und ggf. notwendige ergänzende quantitative Untersuchungen sowie Untersuchungen mit stärkerem Berufsbezug aufgezeigt. Daneben wird die Zusammenarbeit und systematische Verknüpfung der Technologiedauerbeobachtungsaktivitäten von Sozialpartnern, berufspädagogischen Lehrstühlen und der Technologieförderung des Bundes angemahnt.



## ► 1 Ausgangslage

Innovationen gelten in einer Volkswirtschaft als Motor für Wachstum und Fortschritt. Sie spielen in einem ressourcenarmen Land wie Deutschland eine Schlüsselrolle. Von einer Innovation spricht man, wenn eine Erfindung (Invention) eine wirtschaftliche Anwendung findet und vermarktet wird. Neben der Erfindung stellt im Rahmen des Innovationsprozesses die Verbreitung einer Innovation über ihr erstes Anwendungsfeld hinaus einen entscheidenden Faktor dar, damit eine Innovation die Rolle als Wachstumsmotor tatsächlich erfüllen kann. Diese Phase, in der sich die Innovation in unterschiedlichen Anwendungsfeldern und oft auch in unterschiedlichen Ausprägungsformen verbreitet, wird als Diffusion bezeichnet. Der Diffusionsprozess kann also definiert werden als Prozess der „*Verbreitung einer Innovation vom Innovator auf andere Standorte und Wirtschaftssubjekte*“ (KRAMAR 2005, S. 12).

Eine erfolgreiche Verbreitung von Innovationen ist verknüpft mit dynamischen Prozessen im Bereich der Qualifikationsentwicklung. Die Anforderungen an bestehende Tätigkeiten im Industrie- und Dienstleistungssektor verändern sich kontinuierlich, und damit gehen auch veränderte Qualifizierungsbedarfe auf der Fachkräfteebene einher (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2006, 2007). Dies gilt besonders dann, wenn durch den Diffusionsprozess die gesamte Wertschöpfungskette betroffen ist (Verfahren, Prozesse oder Produkte entwickeln, konstruieren, herstellen, verbreiten, anwenden oder instand halten, recyceln).

Die Früherkennung dieser veränderten Qualifikationserfordernisse spielt eine wichtige Rolle, um die Beschäftigungs- und Bildungssysteme aufeinander abzustimmen. Dazu ist es notwendig, Änderungen im Qualifikationsbedarf zeitnah in Aus- und Weiterbildungsordnungen des Berufsbildungssystems zu integrieren. Dieser Zusammenhang wurde in der Vergangenheit bereits durch unterschiedliche Früherkennungsaktivitäten von Politik und Wissenschaft aufgegriffen:

- Das BIBB verfolgt seit den 1990er-Jahren einen methodisch gefächerten Ansatz zur Früherkennung von Qualifikationsbedarf. Dazu gehörten Befragungen mit dem Referenzbetriebspanel, Stellenanzeigenanalysen sowie Befragungen von Weiterbildungsanbietern bzw. die Analyse des Weiterbildungsinnovationspreises.
- Der Bund förderte mehrere Forschungs- und Entwicklungsprogramme in verschiedenen Technikfeldern, bei denen es primär darum ging bzw. geht, neue Technologien weiterzuentwickeln und marktfähig zu machen. In einigen dieser Programme (wie z. B. im Forschungsschwerpunkt „Forschung für die Produktion von Morgen“), wurden bzw. werden auch Bildungsfragen thematisiert.
- Das Forschungsnetz zur Früherkennung von Qualifikationserfordernissen (FreQueNz) beschäftigte sich mit der Ermittlung und Beurteilung von Qualifikationsanforderungen.

In diesem Netzwerk wurden auch einige Erhebungen in den hier relevanten Technologiefeldern durchgeführt. Allerdings untersuchten diese Arbeiten im Vergleich zu den hier untersuchten Fallbeispielen in der Regel Technologien zu einem recht frühen Diffusionszeitpunkt.

- ▶ Zahlreiche Studien zur Qualifikationsentwicklung im Bereich der neuen Technologien (vgl. ABICHT 2004, 2008; ABICHT/FREIKAMP 2007; ABICHT u. a. 2006; ABICHT/LEHNER o. J.; ABICHT u. a. 2005; AGEMAR u. a. 2003; BARON u. a. 2005; FISCHER u. a. 2005; LUTHER/MALANOWSKI 2004; SCHÖNMANN 2001) beleuchten Qualifikationsanforderungen, die durch die Anwendung neuer Technologien entstehen können.

Die Frage nach den Implikationen der Diffusion von neuen Technologien in das Wirtschafts- und Beschäftigungssystem und die daraus resultierenden Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie die Ausgestaltung der Berufsprofile im dualen Berufsbildungssystem wird im Rahmen der angeführten Studien nicht umfassend und eindeutig beantwortet. Hier wurde auf einen Vergleich mit bestehenden Strukturen und Berufsbildern weitestgehend verzichtet.

Ein Ausgangspunkt des vorliegenden Projektes war die Annahme, dass die Diffusion neuer Technologien nicht ausschließlich trennscharf eine Technologie betrifft und sektoral unterschiedliche Ausprägungen annimmt. Durch die Veränderung von Produkten und Prozessen (z. B. Herstellungsverfahren, Qualitätssicherungsverfahren, Werkzeugen) wirken zumeist unterschiedliche technologische Innovationen gleichzeitig auf die Tätigkeitssysteme ein und verändern die dort bestehenden Qualifikations- und Organisationsstrukturen. Die Diffusion neuer Technologien in etablierte Branchen hinein kann vielfältige Ausprägungen annehmen. Durch die Adaption derselben Technologie in verschiedene Branchen mit branchenspezifischen Qualifikationsstrukturen und Organisationsformen können unterschiedliche Anforderungen an Ausgestaltung und Inhalte von Qualifizierung resultieren. Auch aus diesem Grund besteht in Deutschland und in Europa ein kontinuierlicher empirischer Forschungsbedarf in Bezug auf die Entwicklung von arbeitsmarktbezogenen Qualifikationen und Angeboten beruflicher Bildung im Bereich der neuen Technologien (Europäisches Zentrum für die Förderung der Berufsbildung (CEDEFOP) 2008, RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 2008).

Die Frage nach technologischen Innovationen und ihren Wechselwirkungen mit gesellschaftlichen Systemen, wie einzelnen Wirtschaftssektoren oder Unternehmen, darf nicht eindimensional behandelt werden. Beispielsweise wird für die Bewertung der Innovationskraft einer Volkswirtschaft in der Regel ein ganzes Bündel an Indikatoren herangezogen. Es erscheint grundsätzlich nicht ausreichend, einen Qualifizierungsbedarf ausschließlich aus technologischen Entwicklungen oder Neuerungen abzuleiten. Vielmehr sind die Wechselwirkungen zwischen technologischer Innovation, dem Arbeitssystem mit seiner Fachkräftestruktur und -kompetenz sowie der Organisationsstruktur und -entwicklung zu betrach-

ten (LUDWIG u. a. 2007). Pädagogische Begründungen für diese Annahmen basieren zum einen auf dem handlungstheoretischen Konzept der Kontextbezogenheit von Handlungen (SUCHMANN 1987, S. 50) und zum anderen auf der pädagogisch-didaktischen Leitidee der Gestaltungsorientierung, die davon ausgeht, dass Technik gestaltet wird und gestaltungsbedürftig ist (RAUNER 1988). Damit wird unterstellt, dass reflektiert handelnde Fachkräfte die Fähigkeit haben, im Arbeitssystem technologische Innovationen zu gestalten. Diese Grundannahmen haben forschungspraktische Konsequenzen sowohl für die Untersuchung von Diffusionsprozessen neuer Technologien als auch für die Erhebung des Qualifizierungsbedarfs.



## ► 2 Theoretischer Hintergrund und Forschungsfragen

Ziel des Projekts war die Identifizierung von Indikatoren für die Dauerbeobachtung zur Früherkennung von veränderten Qualifikationsanforderungen, die aussagekräftig für die Berufsbildungsordnungsarbeit des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) sind. Damit stehen methodische Fragen im Rahmen der Dauerbeobachtung im Mittelpunkt des Projektes, wobei qualitative Methodenansätze im Vordergrund stehen.

Geklärt wird, anhand welcher Schritte und Kriterien technologische Innovationen und Diffusionsprozesse hinsichtlich ihrer Relevanz für die Gestaltung der Berufsbildung auf der Facharbeiterebene im produzierenden Gewerbe identifiziert und kategorisiert werden können. Dadurch werden Hinweise für eine Vorgehensweise zur systematischen Identifizierung von Forschungsbedarfen gewonnen sowie Empfehlungen für die Gestaltung einer systematischen Dauerbeobachtung technologischer Entwicklungen erarbeitet. Ein längerfristiges Ziel eines solchen Technologie-Monitorings könnte sein, durch eine kontinuierliche Beobachtung Erkenntnisse zu generieren, die für die Überarbeitung bestehender Berufe, die Schaffung neuer Berufe, die systematische Gestaltung des Berufsensembles, die Konzeption von Zusatzqualifikationen oder auch für einzelne Bildungsmaßnahmen relevant sind.

### 2.1 Theoretischer Hintergrund

Als theoretische Basis für diese empirische Untersuchung wurde die Cultural Historical Activity Theory CHAT (ENGESTRÖM 1999, 2008) herangezogen. Durch den Rückgriff auf diesen im Folgenden als Tätigkeitstheorie bezeichneten Ansatz wird eine systemische Betrachtung der zu untersuchenden Fragestellung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Systemebenen erreicht. Eine tätigkeitstheoretische Analyse baut auf fünf grundlegenden Prinzipien auf (ENGESTRÖM 1987, S. 67):

- dem Strukturmodell menschlicher Tätigkeit als zentralem Analysefokus. Hier werden Tätigkeitssysteme in Bezug auf ihre Elemente, Relationen und Prozesse geordnet und Ansatzpunkte für Widerstände innerhalb und zwischen Tätigkeitssystemen aufgedeckt.
- dem Prinzip der Historizität. Betrachtet werden Tätigkeiten vor ihrem sozio-kulturellen Hintergrund.
- dem Prinzip der Vielstimmigkeit: Akteure und Gruppen von Akteuren nehmen Einfluss auf Tätigkeitssysteme.

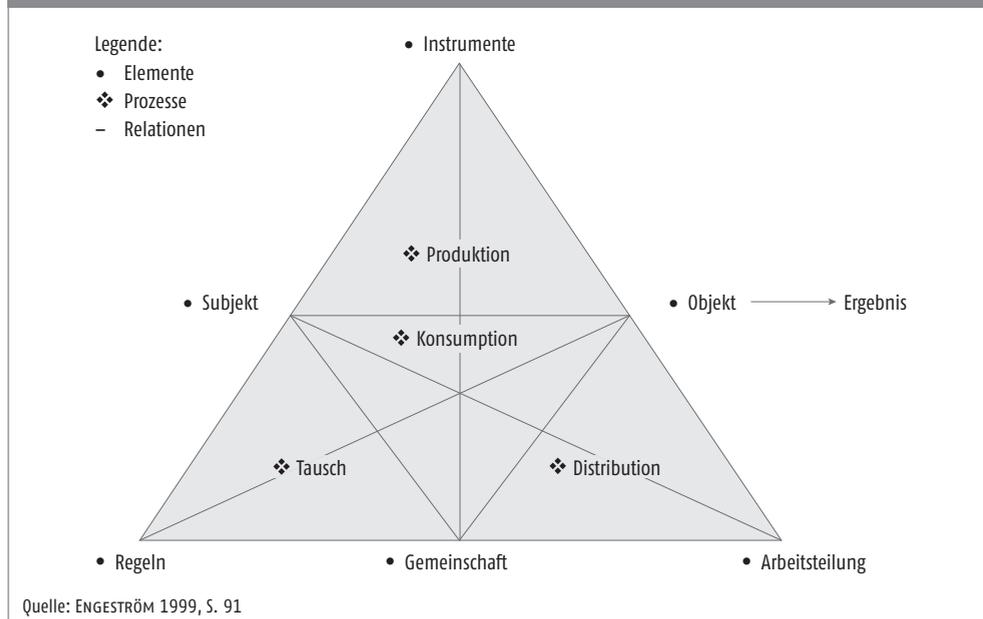
- ▶ Das Prinzip der Berücksichtigung von Widerständen als zentralem Lerngegenstand im Veränderungsprozess ermöglicht die Einordnung von Veränderungen hinsichtlich ihrer Relevanz für die Weiterentwicklung von Tätigkeitssystemen.
- ▶ dem Prinzip der Möglichkeit der expansiven Erweiterung von Tätigkeitssystemen. Es wird angenommen, dass durch Reflexion und Diskurs Veränderungsprozesse aktiv gestaltet werden können.

Die Tätigkeitstheorie bietet mit dem Modell der Tätigkeit ein Analysemodell von Vergangenheit, Gegenwart und antizipierter Zukunft und bietet einen geeigneten Rahmen zur Untersuchung von Veränderungsprozessen in sozio-technischen Systemen der Arbeitswelt aus pädagogischer Perspektive (HACKEL 2011, 2013b). Das Modell der Tätigkeit stellt nach ENGSTRÖM die kleinste sinnvoll zu analysierende Einheit arbeitsteiliger Prozesse dar. Das Modell ist in Abbildung 1 dargestellt und wird im Folgenden kurz erläutert.

Das Tätigkeitssystem als kleinste sinnvoll zu analysierende Strukturform kollektiver menschlicher Arbeitsprozesse ermöglicht die Analyse von Dynamiken und Prozessen innerhalb und zwischen Tätigkeitssystemen und berücksichtigt dabei auch die historische Bedingtheit von Arbeitsprozessen als kulturellem Phänomen. Das Modell beinhaltet die Elemente der Tätigkeit, die in Relationen zueinander stehen und durch intermediär vermittelte Prozesse auf das Objekt der Tätigkeit einwirken. Das Objekt der Tätigkeit, welches in das gewünschte Ergebnis der Tätigkeit umgeformt wird, gilt als zentrales Element zur Definition eines Tätigkeitssystems. Jedes Tätigkeitssystem enthält nur ein Objekt der Tätigkeit, auf welches die Subjekte des Tätigkeitssystems motivational ausgerichtet sind und durch welches die einzelnen Handlungen und Operationen im Tätigkeitssystem grundsätzlich bestimmt werden. Diesen Prozess nennt ENGSTRÖM Produktion. Um das Objekt in der gewünschten Weise zum Ergebnis der Tätigkeit umzuformen, arbeiten unterschiedliche gesellschaftliche Gruppen, im Modell als Gemeinschaft bezeichnet, arbeitsteilig zusammen. Sie benutzen zu diesem Zweck Instrumente (Materialien, Werkzeuge, Sprache, Symbole), um das Objekt in der gewünschten Form umzugestalten. Regeln bestimmen sowohl die Austausch- und Verteilungsprozesse der Subjekte in Gemeinschaft und Arbeitsteilung als auch den Umgang mit den Instrumenten hinsichtlich des Objekts. Der Prozess der Konsumption bezeichnet den Nutzen, den sowohl die einzelnen Akteure (Element: Subjekt) als auch Gruppen (Element: Gemeinschaft) innerhalb des Tätigkeitssystems aus den anderen Prozessen im System ziehen.

Durch die Einordnung der vielfältigen Aspekte im Modell der Tätigkeit nach Elementen, Relationen und Prozessen lassen sich die unterschiedlichen Einflussfaktoren darstellen. Durch Schwerpunktsetzungen bezüglich der behandelten Fragestellung kann eine vertiefte Analyse einzelner Aspekte vorgenommen werden, ohne andere systemische Einflussfaktoren auszublenden. Dies erscheint besonders für die Entwicklung von Grundlagen für die Dauerbeobachtung relevant, da eine systematische Darstellung aller Systemgrößen für die Ableitung von relevanten Indikatoren von entscheidender Bedeutung ist (vgl. BRANDT und VOLKERT 2003).

Abbildung 1: Strukturmodell menschlicher Tätigkeit



Arbeiten auf Grundlage der Tätigkeitstheorie beschäftigen sich in jüngerer Zeit intensiv mit Prozessen und Effekten, die durch die Verschränkung mehrerer Tätigkeitssysteme hervorgerufen werden (vgl. BODROŽIĆ 2008, ENGSTRÖM 2001, SANNINO u. a. 2009). Die Diffusion neuer Technologien und die damit verbundenen Auswirkungen auf Aufgabenverteilung und Qualifikationsanforderungen stellen einen solchen Prozess dar. Durch den Transfer einer neuartigen technischen Lösung in ein historisch gewachsenes Tätigkeitssystem werden Herausforderungen, Schwierigkeiten und Anforderungen an das dort etablierte arbeitsteilige System sichtbar, aus denen sich Qualifizierungsbedarfe ableiten und Veränderungen in der Arbeitsteilung unterschiedlicher Gruppen von Akteuren (z. B. Berufe, Hierarchieebenen) erklären lassen. Die Tätigkeitstheorie ist anschlussfähig für andere theoretische Ansätze und Modelle, die sich mit spezifischeren Themenstellungen befassen. Im Zusammenhang mit der Implementierung und Verbreitung von neuen Technologien sind hier Innovations- und Diffusionstheorien zu berücksichtigen. Die Diffusionstheorie beschäftigt sich mit den Prozessen, die durch die Einführung und Verbreitung von Innovationen in einem sozialen System, wie z. B. einer Organisation, einem Unternehmen oder einem Markt, ausgelöst werden. Die bekanntesten Theorien stammen von HAUSCHILDT (HAUSCHILDT und SALOMO 2007) und ROGERS (1995) und bilden auch heute noch die Basis für andere Innovations- oder Diffusionsmodelle. Auch wenn diese Modelle nicht genuin auf bildungswissenschaftliche Implikationen ausgerichtet sind, finden sich hier doch Hinweise für eine tätigkeitstheoretische Betrachtung.

Der Vergleich der deskriptiven Beschreibung unterschiedlicher Tätigkeitssysteme auf der Grundlage eines einheitlichen Analyserahmens beleuchtet Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Strukturen von Tätigkeitssystemen und zeigt Muster für die Interpretation der gewonnenen Daten auf. Die Beschreibung der Diffusionsprozesse auf dieser Grundlage bildet die Produktinnovationen als Veränderungen des Objekts der Tätigkeit ab, während Prozessinnovationen ein verändertes Instrument (z. B. in Form eines neuen Werkzeugs oder eine neue Form der arbeitsteiligen Organisation eines Tätigkeitssystems) darstellen. Die Beurteilung, ob die Diffusion einer oder mehrerer neuer Technologien in ein bestehendes Tätigkeitssystem für berufspädagogische Fragestellungen relevant ist, lässt sich über die Analyse der Widerstände auf den Relationen Subjekt/Instrumente/Arbeitsteilung und Subjekt/Arbeitsteilung/Objekt herbeiführen. Durch die Feinanalyse dieser Relationen kann der Qualifizierungsbedarf der einzelnen Mitarbeiter/-innen und Berufsgruppen aufgedeckt werden.

Die in Deutschland noch wenig rezipierte Tätigkeitstheorie bietet eine theoretische Rahmung für die *berufswissenschaftliche* Qualifikationsforschung, die sich trotz zahlreicher empirischer Studien mit bemerkenswerten Befunden zu beruflicher Arbeit, Qualifikationen und Kompetenzen (noch) nicht im Gefüge der Wissenschaften etabliert hat (vgl. PAHL 2005, RAUNER 2000, 2002, TEICHLER 1995). Der berufswissenschaftliche Forschungsansatz zielt im Kern darauf, „einen Zusammenhang herzustellen zwischen den in der Berufsarbeit inkorporierten Kompetenzen, der Entwicklung von Berufsbildern und der Begründung von Inhalten, Zielen und Strukturen beruflicher Bildung“ (RAUNER 2002, S. 317). Qualifikationsforschung dieser Art hat deshalb den Anspruch, (berufliche) Arbeit, Anforderungen und Kompetenz in Bezug auf die Entwicklung von Berufen und Curricula zu analysieren und zu beschreiben. Epistemologisch geht es somit um die bildungstheoretische Frage der Auswahl, Legitimation und Strukturierung von Lerninhalten. Ansatzpunkte für die Feinanalyse der Daten hinsichtlich des Qualifizierungsbedarfs finden sich auch bei der Expertiseforschung, die sich ebenfalls mit der Entstehung, Entwicklung und Struktur von (herausragendem) Wissen und Können in Domänen (z. B. FRANKE 2001) beschäftigt und dafür ein theoretisches Fundament und ein methodisches Instrumentarium zur Verfügung stellt. Die tätigkeitstheoretischen Analyse Kriterien lassen sich durch die Berücksichtigung dieser berufspädagogischen Ansätze verfeinern.

Eine tätigkeitstheoretische Betrachtung bleibt nicht wie manche eher empirisch-motivierte Ansätze – wie etwa der Strukturfunktionalismus (MANSFIELD und MITCHELL 1996, PARSONS 1939) oder andere Ansätze der empirischen Qualifikationsforschung (NORTON 1985, VARGAS ZUNIGA 2004) – bei einer Analyse der funktionalen Arbeitsteilung oder von Arbeitsvollzügen stehen, sondern berücksichtigt auch die im Tätigkeitssystem vorherrschenden und auf das Tätigkeitssystem einwirkenden sozialen Regeln. Bei der Entstehung und Konstruktion von Berufen handelt es sich um ein gesellschaftlich-kulturelles Phänomen, welches durch normative Setzungen (z. B. Bildungsziele) und interessengeleitete Aushandlungsprozesse (z. B. Curriculumentwicklung) und somit durch soziale Gestaltungsprozesse beeinflusst wird. Die subjektiven Kategorien der beruflichen Kompetenz und Identität sind eingebettet in ge-

sellschaftliche und kulturelle Rahmenbedingungen und Traditionen. Aus gutem Grund beschränkte sich der klassische berufsbildungstheoretische Anspruch (z. B. SPRANGER 1975) von beruflicher Bildung nie allein auf die Reproduktion des Arbeitsvermögens in einem instrumentell verengten Verständnis (vgl. KUTSCHA 2008). Eine auf die Berufs- und Curriculumentwicklung ausgerichtete empirische Qualifikationsforschung begnügt sich nicht mit einer bloßen objektiven Analyse von Arbeitsaktivität, -aufgaben und -inhalten. In einer tätigkeitstheoretischen Analyse wird dieser Aspekt auch durch die Betrachtung der in Tätigkeitssystemen ablaufenden Prozesse – Produktion, Konsumtion, Distribution und Tausch – aufgegriffen.

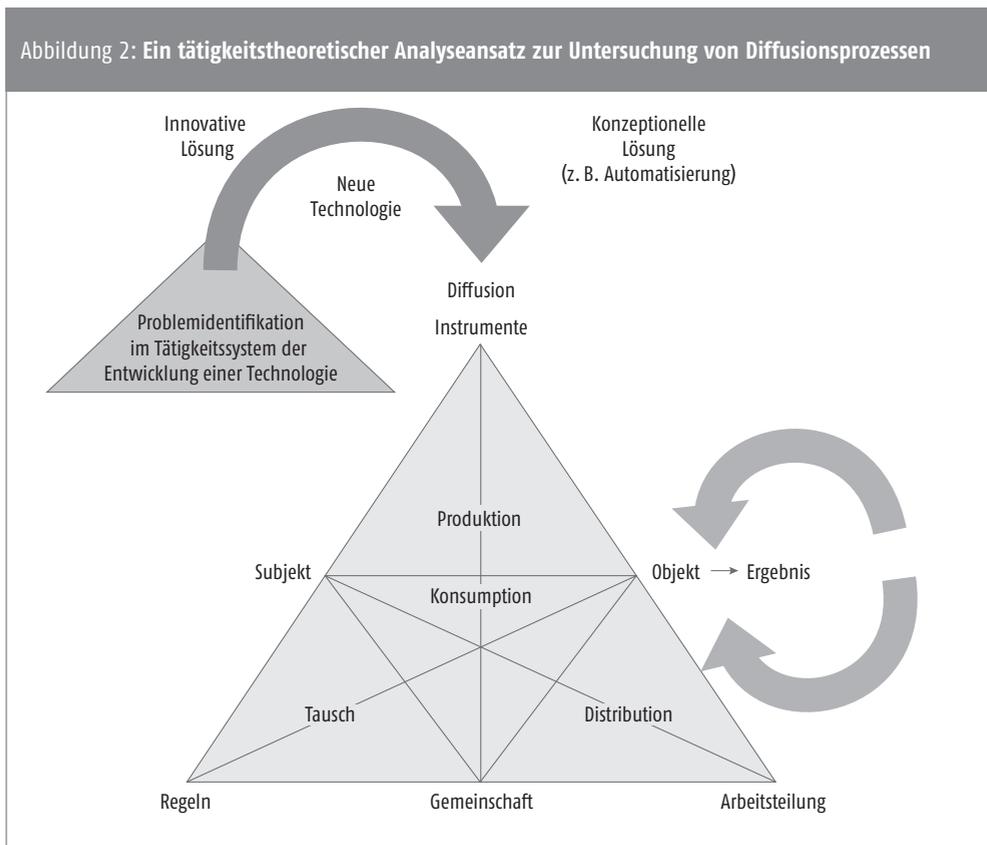


Abbildung 2 zeigt das tätigkeitstheoretische Analysemodell in einer an die Forschungsfrage angepassten Form. Hierbei wurde in Anlehnung an BODROŽIĆ (2008) das Strukturmodell menschlicher Tätigkeit nach ENGSTRÖM erweitert. BODROŽIĆ fasst die Diffusion technischer Innovationen als einen gesellschaftlichen Problemlöseprozess auf und bezieht sich hier auf die Ausführungen von SEIDEL (1976, S. 117–119). Der Diffusionsprozess wird dabei unter zwei Gesichtspunkten betrachtet. Problemlösungen aus dem Ursprungsfeld einer Technolo-

gie durchlaufen einen Transformationsprozess und werden als konzeptionelle Lösungen in andere Tätigkeitsfelder transferiert. Die Diffusion neuer Lösungen wird somit sowohl vom Tätigkeitssystem des Feldes, in dem sie entwickelt wurde, beeinflusst als auch von den Problemstellungen und Anforderungen aus dem aufnehmenden Tätigkeitsfeld. Dabei kann die Problemlösung sowohl in Form neuer Produktkomponenten oder Werkstoffe direkt auf das Objekt der Tätigkeit Einfluss nehmen (hellgraue Pfeile) als auch in Form von Instrumenten, wie neuen Produktions- und Prüfverfahren oder Organisationsprozessen, in das Tätigkeitssystem diffundieren.

Die kulturhistorische Tätigkeitstheorie geht vom Prinzip der historischen Entwicklung von Tätigkeitssystemen aus und betrachtet diese immer auch vor dem Hintergrund ihrer historisch gewachsenen sozio-kulturellen Bezüge. Im Zusammenhang mit der Einführung und Diffusion neuer Technologien wird dies auch durch das Modell der Pfadabhängigkeit (*path dependence*) angenommen. Die Pfadabhängigkeit hat sich inzwischen zu einem der meistverwendeten Erklärungskonzepte in der sozialwissenschaftlichen und ökonomischen Forschung entwickelt (BEYER 2006). Sie betont die Historizität von Institutionen, wobei angenommen wird, dass sich in der Vergangenheit getroffene Entscheidungen und internalisierte Denkmuster und Routinen auf die Gegenwart und zukünftige Entwicklungen auswirken. Die Pfadabhängigkeit engt potenzielle Handlungsalternativen ein und beeinflusst zukünftige Entwicklungsrichtungen in maßgeblicher Weise. Mit anderen Worten: Die Entwicklungsvorgänge einer Organisation, eines Produktes, einer Technologie usw. beeinflusst und begrenzt künftige Entwicklungsmöglichkeiten und Vorgehensweisen. In Bezug auf die Analyse der Diffusion neuer Technologien ins produzierende Gewerbe bedeutet dies, dass neben der Analyse der lokalen Tätigkeitssysteme vor Ort auch eine Auseinandersetzung mit den Bedingungen und Festlegungen in der übergeordneten Community of Practice (z. B. Verbänden, Branchen, Netzwerken) erfolgen muss, um Aussagen und Empfehlungen bezüglich zukünftiger Entwicklungen zu erhärten. ENGSTRÖM u. a. (2007) weisen darauf hin, dass Studien zur Pfadabhängigkeit zwar die Beschränkungen durch Pfadfestlegungen aufzeigen, aber wenig Hinweise zur Überwindung dieser Beschränkungen bieten. Hier geht die Tätigkeitstheorie einen Schritt weiter, indem im Sinne einer pädagogischen Betrachtung der Entwicklungsgedanke aufgegriffen wird. Tätigkeitssysteme werden als lernende Systeme verstanden, die durch Reflexion und Diskurs bei der Erweiterung ihrer Handlungsmöglichkeiten unterstützt werden können.

Entwicklungsprozesse werden also tätigkeitstheoretisch als kollektive Lernprozesse verstanden. Damit ist die Tätigkeitstheorie eine Lerntheorie, die kollektive Lernprozesse in der Arbeitswelt erklärt und ein Vorgehen zur Unterstützung dieser Lernprozesse anbietet. Dabei geht sie davon aus, dass durch Veränderungen im Zeitverlauf Widerstände im Tätigkeitssystem auftreten, die durch kollektive Aushandlungsprozesse bewältigt werden können. Dieser

Bewältigungsprozess wird bei ENGSTRÖM expansives Lernen<sup>1</sup> genannt. Die Identifizierung und die Reflexion dieser Widerstände durch die unterschiedlichen Akteure im System ist für die expansive Transformation des Tätigkeitssystems, im Sinne einer Erweiterung der kollektiven Handlungsfähigkeit, besonders bedeutsam. In engem Zusammenhang mit der Tätigkeitstheorie steht daher das methodische Konzept der Entwickelnden Arbeitsforschung. Im Zentrum dieses Konzepts steht eine Abfolge von methodischen Schritten zur Analyse von Veränderungsprozessen: die historische und die real-empirische Analyse der Tätigkeitssysteme in Bezug auf die Fragestellung, die Spiegelung der Daten in die Community of Practice und die gemeinsame Erarbeitung einer Zone der nächsten Entwicklung auf der Grundlage des Datenmaterials. In einem kollektiven Aushandlungsprozess wird die Vielstimmigkeit der Akteure und Gruppen von Akteuren berücksichtigt. Aufgrund dieser Vielstimmigkeit kann der Transformationsprozess unterschiedliche Ausprägungen annehmen. Die Möglichkeit einer expansiven Erweiterung im Sinne einer adäquaten Weiterentwicklung des Tätigkeitssystems im Hinblick auf aktuelle Herausforderungen ist dabei eine mögliche Ausprägung.

Bei den Lernenden kann man zudem zwischen der lokalen Community of Practice (CoP) und der übergeordneten Community of Practice, also einer Interessengemeinschaft in einem Praxisfeld, unterscheiden. Während in der Community of Practice vor Ort an lokalen Lösungen zur Bewältigung von Widerständen gearbeitet wird, erarbeitet die übergeordnete Community of Practice übergreifende Konzepte, Prozeduren und Werkzeuge für die zu bearbeitende Problemstellung (HACKEL 2013b, HACKEL und KLEBL 2014). Auf Basis der Tätigkeitstheorie lassen sich also frühzeitige Einführungsprozesse neuer Technologien bei einzelnen Branchenvorreitern als Lerngegenstand der übergeordneten Community of Practice heranziehen und für die Weiterentwicklung des Praxisfeldes nutzen. Ein solches Vorgehen unter Berücksichtigung eines berufspädagogischen Analysefokus kann frühzeitige Weichenstellungen im Berufsbildungssystem befördern; es macht aber auch deutlich, dass einzelbetriebliche Lösungen noch einmal vor dem Hintergrund bildungssystemischer Zusammenhänge reflektiert werden müssen.

Die Auswahl der Methoden erfolgt vor dem Hintergrund der Fragestellungen und schöpft das breite Spektrum sozialwissenschaftlicher Methoden aus. Auch hier kann auf eine große Nähe zur berufswissenschaftlichen Qualifikationsforschung verwiesen werden, die keinem einheitlichen und eindeutigen, also einem positivistischen, interpretativ-hermeneutischen oder sozial-kritischen Paradigma folgt, welches sich auf die Art der Erfassung sozialer Phänomene und damit auch die Methodenauswahl auswirkt. In Abhängigkeit von den Forschungsfragen und Untersuchungsgegenständen werden oft triangulativ Daten erhoben und in der Regel auch qualitative Verfahren berücksichtigt. Im Vordergrund dieser Art sozialwissenschaftlicher Forschung steht die Offenlegung der Tiefenstruktur von Arbeit und Kompetenz, das Verstehen von Arbeitsteilung und Arbeitsprozessen in Tätigkeitssystemen sowie die Ab-

---

1 Der Begriff ist nicht identisch mit dem von Klaus HOLZKAMP (1995) geprägten Begriffsverständnis expansiven Lernens im Sinne einer Erweiterung der subjektiven Handlungsmöglichkeiten.

leitung von Implikationen für Bildungsziele in Auseinandersetzung mit den Akteuren der Berufsbildungspraxis in einer Domäne (BECKER und SPÖTTL 2008, PAHL und RAUNER 1998, PRZYGODDA und BAUER 2004, RAUNER 2004, 2005, WINDELBAND und SPÖTTL 2004).

Die Tätigkeitstheorie nimmt hinsichtlich der Ausdifferenzierung der Systemelemente im Systemmodell der Tätigkeit keine Spezifizierung vor. So werden alle Hilfsmittel (Werkzeuge, Maschinen, aber auch Zeichen und Symbole), die Subjekt und Gemeinschaft zur Transformation des Objekts der Tätigkeit heranziehen, unter dem Begriff „Instrumente“ zusammengefasst. Die im Rahmen der Sektoranalyse durchgeführten Technologieanalysen machen jedoch eine ausführlichere Definition des Begriffs und eine Konkretisierung des Strukturelements „Instrumente“ der Tätigkeitstheorie notwendig (vgl. HACKEL 2014b). Im Projekt wird daher der Technik- und Technologiebegriff in Anlehnung an Definitionen der allgemeinen Technologie (ROPOHL 1999, WOLFFGRAMM 1994)<sup>2</sup> differenziert.

Nach ROPOHL (1999, S. 31) wird Technik in dreifacher Hinsicht definiert als:

- ▶ die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme),
- ▶ die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und
- ▶ die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.

Nach WOLFFGRAMM (1994, S. 10) wird Technologie als die Wissenschaft von den Gesetzmäßigkeiten der materiell-technischen Seite vollständiger Produktionsprozesse verstanden. Ihr Gegenstand sind Verfahren der Gewinnung von Rohstoffen sowie ihrer Weiterverarbeitung zu Werkstoffen, Halbfabrikaten und Fertigerzeugnissen. Ihr Ziel ist die effektive Gestaltung der produktionstechnischen Vorgänge (ebd., S. 30). Im Begriff der Technologie stehen somit nicht einzelne Aspekte der Technik, sondern der vollständige Produktionsprozess im Vordergrund. Zur Realisierung eines technologischen Grundvorgangs werden Arbeitsgegenstände (Stoffe) durch Energieeinträge verändert und durch Informationen gesteuert (WOLFFGRAMM 1994, S. 74). Dabei werden die Grundvorgänge nach ihrer Funktion (Wandlung, Transport, Speicherung) und nach der Objektkategorie (Stoff, Energie, Information) klassifiziert (MÜLLER 1970, S. 59).

Innerhalb des technischen Systems wird eine Umsetzung der Eingangsgrößen und des inneren Zustands in die Ausgangsgrößen vorgenommen. Als Endzustand steht das Produkt. Darunter wird hier ein Wirtschafts- oder Konsumgut verstanden, das in einem technologischen Prozess am Ende der Wertschöpfungskette geschaffen wird. Güter, die als Ausgangsmaterial in einen Produktionsprozess eingehen, sind entweder Rohstoffe oder Halbzeuge. Das Produkt entspricht in der Tätigkeitstheorie dem Objekt der Tätigkeit, das über verschiedene

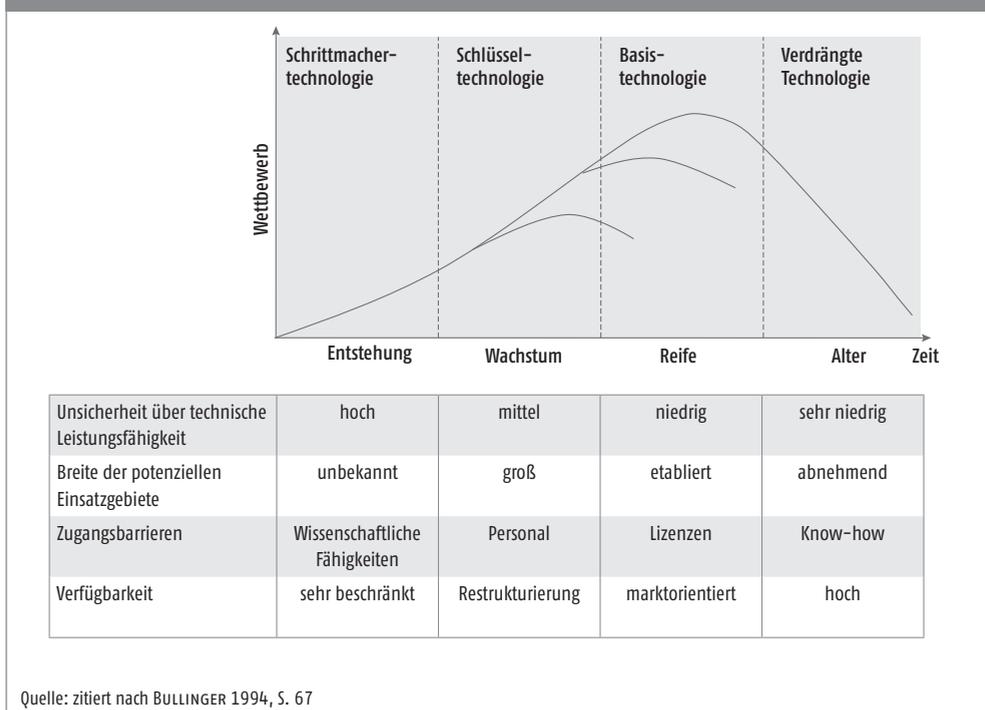
2 Kritik an der Definition von ROPOHL wird hinsichtlich ihres Anspruchs als didaktisches Konzept der Arbeitslehre geäußert (SCHMAYL 2004). Im Rahmen des hier vorliegenden Projektes wurde die allgemeine Technologie lediglich als Systematisierungsansatz zur Konkretisierung des Technologiebegriffs verwendet.

Reifegrade bzw. Bearbeitungsstände zum Ergebnis oder Produkt des Tätigkeitssystems transformiert wird.

Durch diese technologische Spezifizierung ergeben sich im Hinblick auf die Sektoranalyse zwei zentrale Aspekte: Zu fragen ist nach der Ausprägung einer Technologie gemäß der Klassifizierung der allgemeinen Technologie und nach der Prozesskette, die dabei durchlaufen wird. Hierdurch kann z. B. festgestellt werden, ob es sich um einen in der Branche neuartigen Prozess im Sinne einer radikalen Innovation handelt oder um eine inkrementelle Innovation, die ein bewährtes Verfahren oder einen bekannten technologischen Prozess lediglich für ein neues Produkt oder ein innovatives Material modifiziert.

Zusätzlich ist es, bezogen auf die Technologie, auch notwendig, das tätigkeitstheoretische Prinzip der Historizität zu berücksichtigen und Technologien hinsichtlich ihres Innovationsgehalts und des zeitlichen Verlaufs des Diffusionsprozesses einzuschätzen, also die Frage zu beantworten, was eigentlich unter dem Begriff „neue“ Technologien zu verstehen ist. Betrachtet man Technologien anhand ihres Innovationsgrades, kann die Klassifizierung nach Arthur D. LITTLE zum Lebenszyklus von Technologien (SPECHT u. a. 2002, S. 70) helfen, eine Fokussierung nach dem Reifegrad vorzunehmen. Hier wird der Einsatz einer Technologie in Relation zu ihrem Marktpotenzial gesetzt.

Abbildung 3: Technologielebenszyklus nach Arthur D. LITTLE



Folgende Stufen werden unterschieden:

- ▶ Technologien in Forschung und Entwicklung (FuE): Die wirtschaftliche Realisierung ist noch nicht erkennbar oder sehr unsicher. Eine vertiefte berufspädagogische Tätigkeitsanalyse ist nicht sinnvoll, da noch nicht abschätzbar ist, ob und in welchen Ausprägungen die Technologie adaptiert wird. Da diese Vorstufe noch keine Relevanz für die Wettbewerbsfähigkeit aufweist, ist sie in der Grafik nicht aufgeführt.
- ▶ Schrittmachertechnologien: Erste Auswirkungen der Nutzung auf das Marktpotenzial und die Wettbewerbsdynamik sind bereits erkennbar. Eine vertiefte berufspädagogische Tätigkeitsanalyse ist dann sinnvoll, wenn aufgrund ökonomischer und/oder politischer Weichenstellungen eine weitere Verbreitung der Technologie zu erwarten ist.
- ▶ Schlüsseltechnologien: Sie beeinflussen signifikant die gegenwärtige Wettbewerbsfähigkeit. Dabei stellt das Fehlen geeigneten Personals eine Zugangsbarriere für die Verbreitung dar. Es ist zu erwarten, dass die Ergebnisse einer vertieften berufspädagogischen Tätigkeitsanalyse bei frühen Nutzern zeitnah in Empfehlungen zur Gestaltung des Berufsbildungssystems einfließen können.
- ▶ Basistechnologien: Diese werden von den Wettbewerbern in etwa gleichem Maße beherrscht. Hier ist zu erwarten, dass die Technologie aufgrund der Breite ihrer Anwendung bereits ihren Weg in das Berufsbildungssystem gefunden hat.
- ▶ Verdrängte Technologien: Diese Technologien sind bereits durch neue verdrängt worden.

Die Einordnung einer Technologie auf der Grundlage des Technologielebenszyklus erwies sich als vielversprechend, um Aussagen hinsichtlich ihres Verbreitungsgrades zu treffen und Auswahlentscheidungen für die Wahl von Fallbeispielen zu begründen.

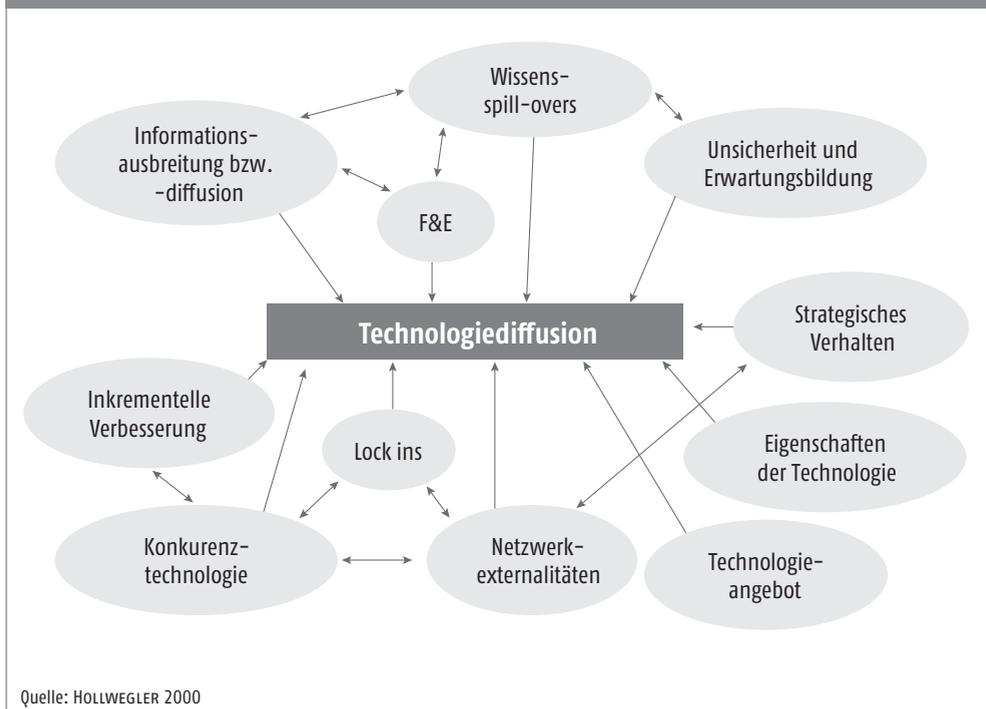
Auch der Begriff der Technologiediffusion bedarf einer Definition. Allgemein bezeichnet der Begriff Diffusion im Zusammenhang mit Innovationen „die Ausbreitung einer Neuerung in einem sozialen System, von ihrer Quelle bis zum letzten Übernehmer“ (FANTAPIÉ ALTOBELLI 1991, S. 2). In der ökonomischen Diffusionsforschung werden das Muster der Diffusion und die Geschwindigkeit ihrer Ausbreitung untersucht. Dieser zeitliche Ablauf der Ausbreitung wird auch als Diffusionsprozess bezeichnet. Die primären Einflussfaktoren auf diesen Prozess sind (ROGERS 1995):

- ▶ die Innovation selbst. Hier spielt die Ausprägung der Technologie eine besondere Rolle. Zur Klassifizierung und Einordnung kann auf die oben erläuterten Konzepte der allgemeinen Technologie (ROPOHL 1999; WOLFFGRAMM 1994) und zum Technologielebenszyklus (LITTLE 1985) zurückgegriffen werden;
- ▶ die Kommunikationskanäle, über welche die potenziellen Anwender Informationen über die Innovation erhalten;
- ▶ das soziale System, also die Gesamtheit der Individuen, die aufgrund gemeinsamer Merkmale und eines ähnlichen Problemlösungsverhaltens das Marktpotenzial für die Neuerung darstellen;
- ▶ der Zeitraum, über den sich der Diffusionsprozess erstreckt.

Nach Dosi (1991) kann man verschiedene nachfrageseitige Modelle der Diffusionsforschung unterscheiden. Diese untersuchen, welche Faktoren aufseiten der Übernehmer dazu führen, dass Technologien sich in einem sozialen System verbreiten, und zeigen verschiedene Facetten des Diffusionsprozesses auf, die auch im Hinblick auf eine berufspädagogische Betrachtung zu berücksichtigen sind.

Diffusionsmodelle unterscheiden sich demnach darin, ob sie auf der Makroebene von einem Gleichgewichtszustand ausgehen, also die Rationalität bei der Entscheidung von Nutzern für die Übernahme von Technologien voraussetzen, oder Faktoren zur Erklärung von Ungleichgewichten heranziehen. Die frühen Modelle der Diffusionsforschung gehen von einem Gleichgewichtszustand aus. Diese traditionellen Modelle sehen den Informationsfluss über Innovationen als das entscheidende Kriterium für die Übernahme einer Innovation an. Neoklassische Modelle gehen ebenfalls von einem Gleichgewicht im Sinne zweckrationalen Verhaltens aus. Als Erklärung für die unterschiedlichen rationalen Übernahmeentscheidungen werden beim Probit-Ansatz in der Stochastik jedoch Unterschiede in der Zielgruppe (wie z. B. Firmengröße) herangezogen, während spieltheoretische Modelle unterschiedliche Nutzenabwägungen als Erklärungsmuster heranziehen.

Abbildung 4: Determinanten der Technologiediffusion



Quelle: HOLLWEGLER 2000

Ungleichgewichtsmodelle gehen demgegenüber davon aus, dass Entscheidungen für oder gegen eine Innovation durch historische Entwicklungen oder Netzwerkexternalitäten geprägt sind. Modelle mit steigenden Erträgen, Netzwerkexternalitäten und Pfadabhängigkeiten betrachten nicht die Übernahme einer Technologie, sondern erklären die Entscheidung zwischen unterschiedlichen Technologien. Dabei kann der Nutzen einer Technologie von der Zahl der Anwender abhängen. Wird dieser Nutzen erst spät erreicht, ist aufgrund von Technologiefestlegung bereits eine Entscheidung für eine andere Technologie gefallen, die nur schwer wieder zurückgenommen werden kann (lock in). Diese Modelle erklären auch Entscheidungen innerhalb von Netzwerken gegen eine rational betrachtet effektivere Technologie. Evolutorische Modelle dagegen gehen davon aus, dass nicht rationales Gewinnmaximierungsstreben den Ausschlag für eine Technologieentscheidung gibt; vielmehr wird eine solche Entscheidung erst dann gegen das vorherrschende Routineverhalten durchgesetzt, wenn das Unternehmen seine Ziele zu verfehlen droht (Marktanteil, Verkaufszahlen). HOLWEGLER (2000) leitet aus einem Vergleich dieser verschiedenen Modelle Einflussgrößen auf die Technologiediffusion ab (siehe Abbildung 4), wobei er zusätzlich auch das Technologieangebot mit seinen Eigenschaften berücksichtigt.

Betrachtet man die in der Diffusionsforschung identifizierten Einflussgrößen auf die Technologiediffusion, wird deutlich, dass aufgrund der Unsicherheiten, mit denen der Innovationsprozess in der frühen Phase in Forschung und Entwicklung behaftet ist, eine Fokussierung auf Schlüsseltechnologien sinnvoll erscheint. Dies sind, folgt man der Definition des Technologielebenszyklusmodells von Arthur D. LITTLE (SOMMERLATTE und DESCHAMPS 1985, S. 52–53), Technologien, die zwar bereits im Arbeitsmarkt zu beobachten sind und signifikant die gegenwärtige Wettbewerbsfähigkeit beeinflussen, sich aber noch nicht flächendeckend durchgesetzt haben. Gleichzeitig erscheint es auch notwendig, Netzwerkstrukturen, Kommunikationskanäle und Wertschöpfungsketten zu berücksichtigen, um so einen Überblick über die Informationsflüsse zu neuen Technologien in den jeweiligen sozialen Systemen und Netzwerken der Subsektoren zu gewinnen.

In der folgenden Tabelle werden die theoretischen Überlegungen noch einmal zusammengefasst, indem die Fragestellungen den fünf grundlegenden Prinzipien der Tätigkeitstheorie zugeordnet und die angeführten Anschluss- und Vertiefungsmöglichkeiten für weitere Theorieansätze eingeordnet werden. In Kapitel 5 werden die theoretischen Vorannahmen hinsichtlich ihrer Aussagekraft für die untersuchte Thematik reflektiert.

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung der theoretischen Überlegungen

Tätigkeits-theoretisches Prinzip	Strukturmodell der Tätigkeit	Historizität	Vielstimmigkeit	Widerstände als Lerngegenstand	Möglichkeit der expansiven Transformation
Analysefokus	Veränderung der Tätigkeitssysteme und Qualifikationsanforderungen durch die Technologiediffusion (Arbeitsteilung; Breite und Tiefe von Arbeitsaufgaben)	Hintergründe und Bedingungen für Technologiediffusion in unterschiedlichen Branchen	Analyse der Arbeitsteilung vor Ort und Einordnung bezüglich der Relevanz für die Branche (Funktionsteilung und Entwicklungswege)	Widerstände, die durch die Technologiediffusion hervorgerufen und durch die Tätigkeitssysteme bewältigt werden müssen (Relevanz von Veränderungen im Hinblick auf Qualifikation)	Einführungsprozesse einzelner Branchenvorreiter als Ausgangspunkt und Lerngegenstand für Weiterentwicklung innerhalb der Branche
Theoretische Vertiefung durch andere Ansätze	Berufswissenschaftliche Ansätze zur Qualifikationsforschung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Diffusionstheorien</li> <li>▶ Modell der Pfadabhängigkeit</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Diffusionstheorien</li> <li>▶ Modell der Pfadabhängigkeit</li> </ul>

## 2.2 Forschungsfragen und forschungsleitende Annahmen

Im Forschungsprojekt steht die folgende Forschungsfrage im Vordergrund:

Wie kann die Diffusion technischer Innovationen möglichst frühzeitig kategorisiert und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Qualifikationsbedarfe klassifiziert werden?

Diese Frage ist auf das Ziel ausgerichtet, eine forschungsökonomisch sinnvolle Strategie für die Technologiebeobachtung in der Ordnungsabteilung des BIBB zu erarbeiten. Dieser Frage untergeordnet wurden folgende Forschungsfragen in den Fallbeispielen bearbeitet:

1. Wie verändern sich Tätigkeiten und Aufgaben aufgrund der Diffusion neuer Technologien in Beschäftigungsfeldern des produzierenden Gewerbes, die einen hohen Anteil an Beschäftigten auf der mittleren Qualifikationsebene aufweisen?
2. Welche Anforderungen in Breite (Zuschnitt und Reichweite) und Tiefe (Kompetenzfacetten und -inhalte) ergeben sich für neue (oder veränderte) Tätigkeiten in solchen Tätigkeitssystemen?
3. Welche Veränderungen in den Funktionsteilungen zwischen operativen (z. B. Facharbeiterinnen und Facharbeitern), planend-organisierenden (z. B. Meisterinnen und Meistern/Technikerinnen und Technikern) und forschend-entwickelnden Einheiten (z. B. Ingenieurinnen und Ingenieuren) sind in solchen Tätigkeitssystemen zu beobachten?
4. Welche Entwicklungswege und Aufstiegsmöglichkeiten für Facharbeiterinnen und Facharbeiter existieren in solchen Tätigkeitssystemen?
5. Welche Konsequenzen ergeben sich für die Ordnungsarbeit des BIBB aus den empirischen Daten?

Die Studie ist explorativ und deskriptiv angelegt. Für die obigen Fragestellungen wurden unter Berücksichtigung des Forschungsstandes folgende fünf forschungsleitende Annahmen formuliert:

1. Die Diffusion von neuen Technologien kann unterschiedliche Ausprägungen annehmen. Das Verständnis und die Einordnung dieser Prozesse hinsichtlich ihrer Relevanz für das Berufsbildungssystem sind richtungweisend für die frühzeitige Identifizierung von Veränderungsbedarfen.
2. Die Diffusion von neuen Technologien in betriebliche Arbeitssysteme des produzierenden Gewerbes führt zu neuen (oder veränderten) Aufgaben und Anforderungen im intermediären Bereich, in Abhängigkeit von den Qualifikations- und Personalstrukturen der aufnehmenden Systeme.
3. Die Bewältigung dieser Aufgaben im Zusammenhang mit neuen Technologien erfordert eine Anpassung der naturwissenschaftlich-technischen Kenntnisse.
4. Durch die Diffusion von neuen Technologien werden die tradierten Funktionsdifferenzierungen im Arbeitssystem sowie Entwicklungs- und Aufstiegsmöglichkeiten von Facharbeiterinnen und Facharbeitern beeinflusst.
5. Durch die systematische tätigkeitstheoretische Analyse des Diffusionsprozesses können Hinweise zu veränderten Qualifikationsanforderungen und Empfehlungen zur Gestaltung neuer Bildungskonzepte abgeleitet werden.

## ► 3 Methodische Vorgehensweise

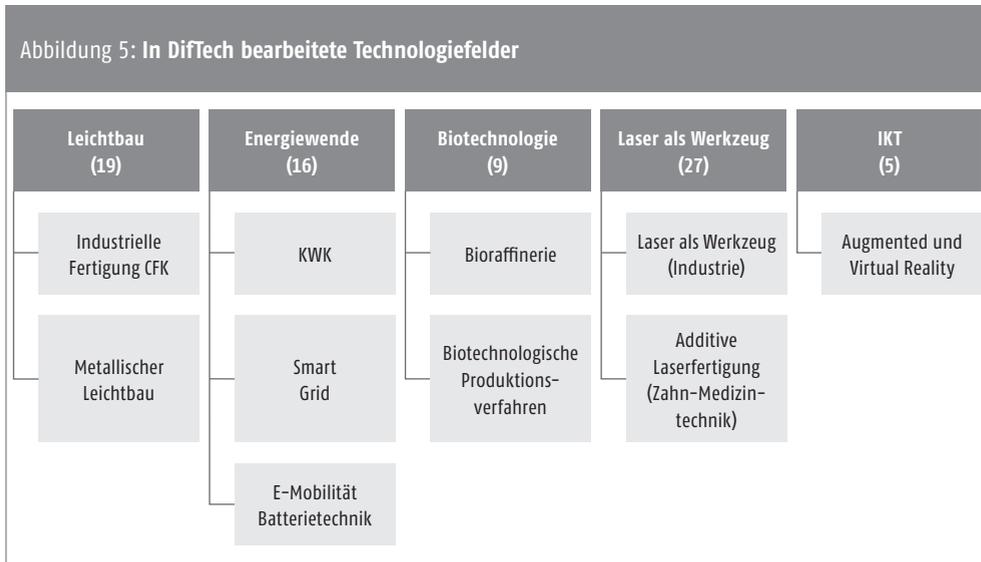
Das methodische Vorgehen lehnt sich an den Ansatz der entwickelnden Arbeitsforschung nach ENGESTRÖM (2008a) an und ist dem von WINDELBAND und SPÖTTL (2004) vorgeschlagenen Berufsforschungsansatz ähnlich. Besonderer Wert wird in diesem Ansatz auf die Partizipation der Betroffenen gelegt, weil nur durch expansive Lernprozesse innerhalb der am Tätigkeitssystem beteiligten Community of Practice (CoP) Veränderungen initiiert werden können. Dies erscheint im Hinblick auf die Gestaltungsbedingungen dualer Aus- und Weiterbildung in Deutschland besonders passend, da der Ordnungsprozess von der intensiven Berücksichtigung sozialpartnerschaftlicher Interessen und damit einer breiten Beteiligung der betrieblichen Praxis geprägt ist.

Im Anschluss an eine Sekundärdaten- und Sektoranalyse (vgl. SPÖTTL 2005) im produzierenden Gewerbe wurde auf Grundlage der aus der theoretischen Annäherung gewonnenen Kriterien (HACKEL u. a. 2012) zunächst eine Fallauswahl getroffen. In den ausgewählten Technologiefeldern wurden qualitative Interviews durchgeführt.

Interviewpartner in den Fallbeispielen waren Experten und Expertinnen aus Technologieclustern und Verbänden sowie betriebliche Akteure aus Management, Forschung und Entwicklung (FuE) sowie Aus- und Weiterbildung. In einzelnen Feldern wurden auch Gruppendiskussionen durchgeführt, um die jeweiligen Interviewergebnisse aus den Fallstudien mit Akteuren der betrieblichen Aus- und Weiterbildung zu reflektieren. Die Leitfragebögen für die Interviews mit Schlüsselpersonen, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie der Diskussionsleitfaden zur Strukturierung der Gruppendiskussion finden sich im Anhang. Je nach Technologiefeld wurden diese angepasst und konkretisiert. Die Interviews und Gruppendiskussionen wurden auf Datenträger aufgenommen und vollständig transkribiert. Wo unternehmensspezifische Vorgaben eine solche Aufnahme verhinderten, wurde eine Mitschrift des Interviews gefertigt und diese anschließend den Befragten zur Validierung vorgelegt. Interviewleitfäden und Analysekatoren sind auf den gewählten theoretischen Ansatz ausgerichtet und wurden mit dem Projektbeirat validiert. Besonderen Stellenwert haben die tätigkeitstheoretischen Kategorien: Gemeinschaft, Arbeitsteilung, Instrumente und Widerstände. Daneben werden auch Kategorien auf der Basis der Diffusionstheorie (wie z. B. Zeitpunkt des Technologielebenszyklus, Netzwerke und Informationskanäle) berücksichtigt und in den Daten wiederkehrende Kategorien induktiv ermittelt. Die Ergebnisse aus den unterschiedlichen Feldern wurden hinsichtlich ihrer methodischen Implikationen verglichen, um hieraus Empfehlungen und Indikatoren für die Dauerbeobachtung abzuleiten.

Die Methodenreflexion wurde in einem Workshop mit Akteuren aus der Berufsbildungsforschung vorgestellt. In diesem Kontext wurden auch die ermittelten Indikatoren hinsichtlich ihrer Relevanz für die Dauerbeobachtungsaufgabe des BIBB diskutiert. Da ein Schwerpunkt des Projektes in der methodischen Gestaltung von Technologiedauerbeobachtung durch das BIBB liegt, wird in der Ergebnisdarstellung das methodische Vorgehen im Detail erörtert. Die

folgende Abbildung zeigt die Technologiethematenfelder, die auf der Grundlage der Sektoranalyse ausgewählt und weiterbearbeitet wurden. Die Anzahl der in den einzelnen Themenfeldern bearbeiteten Interviews ist in Klammern gesetzt:



Im Themenfeld Leichtbau wurden die Felder Leichtbau mit carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) und metallischer Leichtbau durch Druckguss ausgewählt. Damit werden die traditionsreiche Gießereiindustrie und das heterogene Feld im Bereich der CFK-Fertigung betrachtet. Das Fallbeispiel CFK zeigt die Technologiediffusion in unterschiedlichen Branchen mit verschiedenartigen Ausprägungen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Technologielebenszyklus. Im Flugzeugbau und in der Auftragsteilefertigung für unterschiedliche Branchen liegen bereits seit den 1980er-Jahren Erfahrungen mit den Bearbeitungsprozessen vor, die bei den Neuordnungen 2006 bzw. 2012 in ein entsprechendes Berufsbild eingeflossen sind. Demgegenüber handelt es sich bei der industriellen Fertigung von CFK-Bauteilen in der Automobilindustrie um ein für diese Branche relativ neues Material. Die Fertigungskette in diesem Diffusionsfeld wird durch den Einsatz von CFK als Substitut für Metalle um die Werkstoffherstellung durch chemische Reaktion und gleichzeitig erfolgende Urformung erweitert, womit veränderte Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen verbunden sind. Da ein Material mit anderen Materialeigenschaften als bisher verwendet wird, verändern sich auch Arbeiten in den Prozessschritten Reparatur und Service.

Die sogenannte Energiewende wirft an sehr unterschiedlichen Stellen Qualifizierungsfragen auf. In diesem Themenfeld wurden solche Fälle ausgewählt, die unterschiedliche Stadien des Technologielebenszyklus abdecken und auch in heterogenen Anwendungsfeldern zu finden sind. Der Fall Smart Grid steht für den Diffusionsprozess einer Schrittmachertechnologie, die

durch politische Weichenstellungen im Rahmen der Energiewende getrieben ist, also als Beispiel für eine Push-Innovation gelten kann. Der Schritt von der FuE in die Praxis ist aktuell erst im Rahmen von Modellprojekten vollzogen. Die Technologie kann als Enabler für andere grüne Technologien angesehen werden und hat so einen großen Einfluss auf die Energiewende. Das Fallbeispiel beleuchtet den gestiegenen Stellenwert von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) in der Energiewirtschaft. Das Fallbeispiel Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) steht in einer inhaltlichen Nähe zum Fall Smart Grid, da Mikro-KWK-Anlagen in Privathaushalten erst durch die Netzanbindung ihren wahren Nutzen entfalten können. Weiter beschreibt das Fallbeispiel einen Diffusionsprozess im Stadium der Schlüsseltechnologie im SHK (Sanitär-Heizung-Klima)-Handwerk. Der Bearbeitungsprozess KWK ist in der Branche neuartig, da der Anlagenmechaniker-SHK/die Anlagenmechanikerin-SHK erstmals mit einem Verbrennungsmotor befasst ist. Im Fallbeispiel wird auch die Bedeutung von Kompetenzzentren und überbetrieblichen Berufsbildungsstätten (ÜBS) auf die Technologiediffusion ins Handwerk reflektiert. Als weiteren Fall im Themenfeld Energiewende wurde die Batterietechnik als Beispiel für einen hochautomatisierten Bearbeitungsprozess im Bereich der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien als Speichermedium für erneuerbare Energien ausgewählt.

Im Themenfeld Laser wurde eine Technologie in ihrer Funktion als Werkzeug in unterschiedlichen Stufen im Technologielebenszyklus und verschiedenen Branchenzusammenhängen beschrieben, da die jeweiligen Verfahren sowohl im Stadium einer Basis- (Laserschneiden) als auch einer Schlüssel- (Laserschweißen) oder Schrittmachertechnologie (additive Laserfertigung) vorzufinden sind. Die Technologie kann als Beispiel für ein Bearbeitungsverfahren mit unterschiedlichen Ausprägungen in unterschiedlichen Einsatzfeldern gelten und zeigt auch das Spannungsfeld zwischen einfachen Maschinenbedientätigkeiten und prozessorientiertem Erfahrungswissen in automatisierten Prozessen auf.

Im Themenfeld Biotechnologie wurden veränderte Qualifikationsanforderungen, die sich aus der Erschließung von Biomasse als Rohstoffbasis, z. B. für die chemische Industrie ergeben, untersucht. Zu diesem Zweck wurden Interviews in Bioraffinerien geführt. Weitere Fallbeispiele fokussieren auf biotechnologische Herstellungsverfahren im Bereich Chemie/Pharma. Die Biotechnologie ist eine Querschnittstechnologie mit hoher Interdisziplinarität.

Das Fallbeispiel Augmented und Virtual Reality wurde als Beispiel für eine Schrittmachertechnologie an der Schwelle zur Schlüsseltechnologie ausgewählt. Es handelt sich um eine Querschnittstechnologie, die in heterogenen Ausprägungen in unterschiedlichsten Feldern zu finden ist und hier die Arbeitsprozesse verändert. Auch weist das Fallbeispiel auf die Bedeutung von ergonomischen Fragestellungen (Human Computer Interaction) im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) hin und zeigt auf, wie Erfahrungswissen aus beruflicher Facharbeit zur innovativen Weiterentwicklung von Technologien beiträgt.



## ► 4. Detaillierergebnisse der empirischen Arbeitsschritte

Kapitel 4 beschreibt die einzelnen empirischen Arbeitsschritte. Im Rahmen der Sektoranalyse (Abschnitt 4.1) wird zunächst eine Filterstrategie zur systematischen Eingrenzung des Forschungsfelds „produzierendes Gewerbe“ vorgenommen und Kriterien für die Fallauswahl erarbeitet. Es folgt die Dokumentation der Fallbeispiele in den unterschiedlichen Technologiefeldern.

### 4.1 Sektoranalyse zur Begründung der Fallauswahl

Die Sektoranalyse nähert sich dem Forschungsfeld aus unterschiedlichen Sekundärdatenquellen, grenzt diese ein und ermöglicht so die Fallauswahl für die empirische Untersuchung auf der Grundlage systematischer Vorüberlegungen und begründeter Kriterien. Dabei bleibt die Einschränkung bestehen, dass es sich hierbei um eine exemplarische Auswahl handelt.

#### 4.1.1 Filterstrategie zur Eingrenzung der Komplexität des Forschungsfeldes

Aus forschungsökonomischen Gründen wurden die Aktivitäten der Innovationsforschung der Bundesressorts herangezogen, um einen systematischen Einstieg in das Themenfeld zu finden. Diese Ressourcen wurden unter der Perspektive reflektiert, inwieweit sich hier Anknüpfungspunkte für eine berufspädagogische Dauerbeobachtung finden lassen bzw. welche Ergänzungen dieser Aktivitäten des Bundes aus berufspädagogischer Sicht wünschenswert wären.

Die Innovationsforschung der Bundesregierung weist drei herausragende Anwendungsfelder auf, deren Ziele im Folgenden kurz erläutert und deren Relevanz für die hier bearbeitete Fragestellung aufgezeigt werden sollen.

- Sozioökonomische Innovationsforschung zum Vergleich des Innovationspotenzials einzelner Branchen auch im europäischen Vergleich. Im zweijährigen Rhythmus untersucht das ZEW im Auftrag der Bundesregierung das Innovationsverhalten der deutschen Wirtschaft auf Branchenebene. Hierbei werden u. a. folgende Indikatoren zugrunde gelegt: Ausgaben für Innovationen, Beteiligung an Innovationsprojekten, Anzahl Produktinnovationen (Marktneuheiten, Sortimentsneuheiten, Nachahmerinnovationen), Prozessinnovationen (Umsatzanstieg durch Kosteneinsparung, Umsatzanstieg durch Qualitätsverbesserung). Die Ergebnisse dieser Studie wurden zur Eingrenzung des Forschungsfeldes „produzierendes Gewerbe“ ausgewertet.

- ▶ Innovationsforschung zur Unterstützung der Hightechstrategie der Bundesregierung und der Forschungsförderung des BMBF. Hier wurden im Forsichtprozess unter Verwendung eines Multimethodenansatzes (Bibliometrie, Monitoring, Inventorensourcing, Online-Befragung) Leitmärkte und Schlüsseltechnologien identifiziert, die als Ausgangspunkte für eine zielgerichtete Förderpolitik in den nächsten Jahren gelten. Als Leitmärkte der Hightechstrategie gelten die folgenden fünf Bereiche:
  - ▶ Gesundheit (Medizintechnik, Gesundheitsforschung)
  - ▶ Mobilität (Luftfahrttechnologien, maritime Technologien, Fahrzeug- und Verkehrstechnologien)
  - ▶ Klimaschutz Ressourcen/Energie (Umwelttechnologien, Energietechnologien, Pflanzen)
  - ▶ Sicherheit (Sicherheitstechnologien)
  - ▶ Kommunikation

Diese Leitmärkte werden durch relevante neue Technologien unterstützt, die in der gesamten Volkswirtschaft wirksam sind. In den Förderkonzepten der Bundesregierung werden in diesem Zusammenhang folgende Technologiebereiche als Förderschwerpunkte gruppiert (BMBF 2009: 57):

- ▶ Biotechnologie
- ▶ Nanotechnologie
- ▶ Optische Technologien
- ▶ Mikrosystemtechnologie
- ▶ Informations- und Kommunikationstechnologie
- ▶ Produktionstechnologie
- ▶ Werkstofftechnologie

Im Rahmen des Forsichtprozesses (CUHLS u. a. 2009) wurde zusätzlich eine Unterscheidung nach dem Etablierungsgrad von Forschungsfeldern vorgenommen und die Forschungsthemen in diesen Feldern aufgelistet. Etablierte Forschungsfelder sind danach technologische Forschungsfelder, die in Forschungsperspektive und Struktur bereits gefestigt sind. Durch die Konzentration auf diese Felder kann eine erste Eingrenzung der Technologiebereiche vorgenommen werden. Da die Untersuchung sich auf die Diffusion als letzte Phase im Innovationsprozess bezieht und hier vor allem Diffusionsprozesse mit einer gewissen Breitenwirksamkeit relevant sind, ist davon auszugehen, dass Diffusionsprozesse vor allem in den Technologiefeldern zu beobachten sind, die sich in der Forschung bereits etabliert haben. Die Ergebnisse dieser Studie wurden als Ausgangspunkte für die eigene Sekundärdatenanalyse herangezogen, indem die genannten Technologiefelder in ihren Unterausprägungen hinsichtlich ihres Diffusionsgrads, Prozessketten und möglichen Qualifikationsveränderungen untersucht wurden.

- Innovationsforschung zur Technikfolgenabschätzung betrachtet technische Innovationen vor dem Hintergrund gesellschaftlicher und ethischer Aspekte. Das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag arbeitet seit 1990, nachdem seit den 1970er-Jahren der Informationsbedarf zu technologischen Themen verstärkt diskutiert wurde. In diesem Zusammenhang wurde im Auftrag des Bundestags eine breite Themenpalette bearbeitet, z. B. Studien zur gesundheitlichen Belastung durch Nanotechnologie, zur Effektivität der Forschungsförderung im Bereich der Medizintechnik bis hin zu strategischen Untersuchungen zur Energiewende. Aus diesen Studien lassen sich ergänzend Erkenntnisse zu allgemeinen Entwicklungen, ethischen Fragen und politischen Einordnungen von Technologien ableiten.

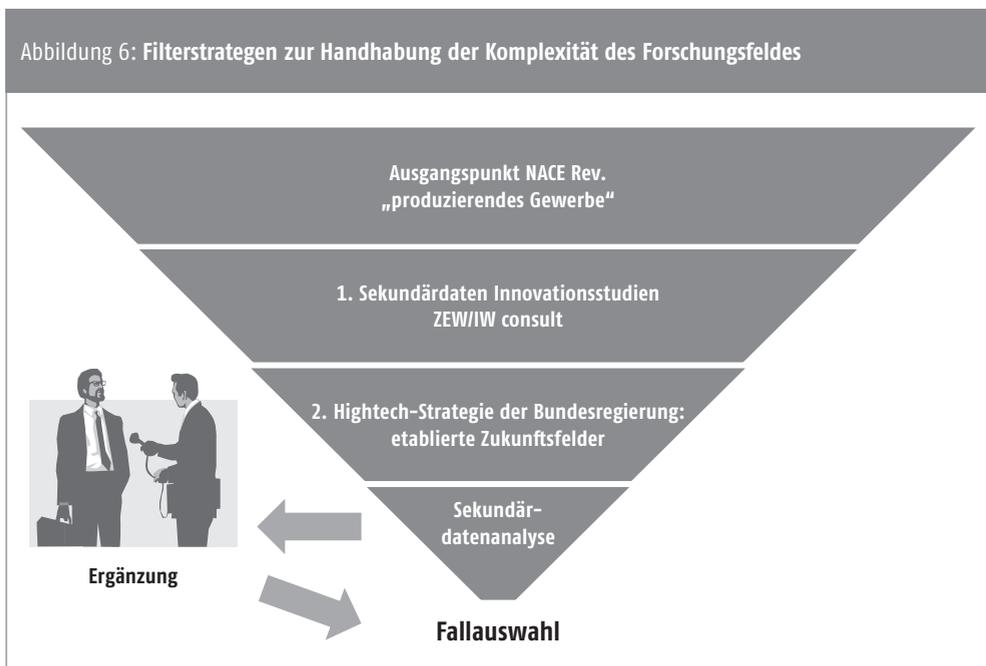


Abbildung 6 zeigt die Filterstrategie und das Vorgehen zur Identifikation von Fallbeispielen: Ausgehend von den in der Branchenklassifikation des NACE Rev. identifizierten Branchen des produzierenden Gewerbes wurde zunächst eine Fokussierung auf die Branchen vorgenommen, in denen eine hohe Innovationsaktivität nach der ZEW Innovationserhebung von 2010 (RAMMER u. a. 2011) besteht. Diese wurden mit den Ergebnissen einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft in Köln (IW Consult GmbH 2009) verglichen und ggfs. erweitert. Eine erste Begrenzung des Technologiefokus wurde mithilfe der im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung vorgenommenen Forsichtstudie zu etablierten Zukunftsfeldern (CUHLS u. a. 2009) vorgenommen. Aus diesen Feldern wurden im Rahmen der

Sekundärdatenanalyse Technologien in unterschiedlicher Detailtiefe mithilfe der identifizierten Kriterien analysiert und durch Telefoninterviews ergänzt. Auswahlkriterien für die Wahl der Interviewteilnehmer/-innen waren je nach offen gebliebenen Fragestellungen

- ▶ fachliche Expertise im Technologiefeld (Mitarbeiter von Forschungsinstituten, Entwicklungsleiter F&E)
- ▶ Expertise zu Produktionsinnovationen (z. B. WZL/LZN/Lehrstühle und Institute für Fertigungstechnik)
- ▶ Expertise zur Verbreitung von Technologien in unterschiedlichen Branchen (Technologiecluster)
- ▶ Expertise zu Fragen der Aus- und Weiterbildung im Technologiefeld.

#### **4.1.2 Allgemeiner Überblick über Innovationsmerkmale im produzierenden Gewerbe**

Unter dem hier verwendeten Oberbegriff des produzierenden Gewerbes lassen sich zahlreiche Sektoren und Subbranchen fassen. Volkswirtschaftlich bezeichnet der Begriff produzierendes Gewerbe synonym zum Begriff des industriellen Sektors alle Unternehmen und Betriebe aus dem verarbeitenden Gewerbe, Energie-, Wasserwirtschaft, Bergbau und Baugewerbe (Gabler Verlag 2011).

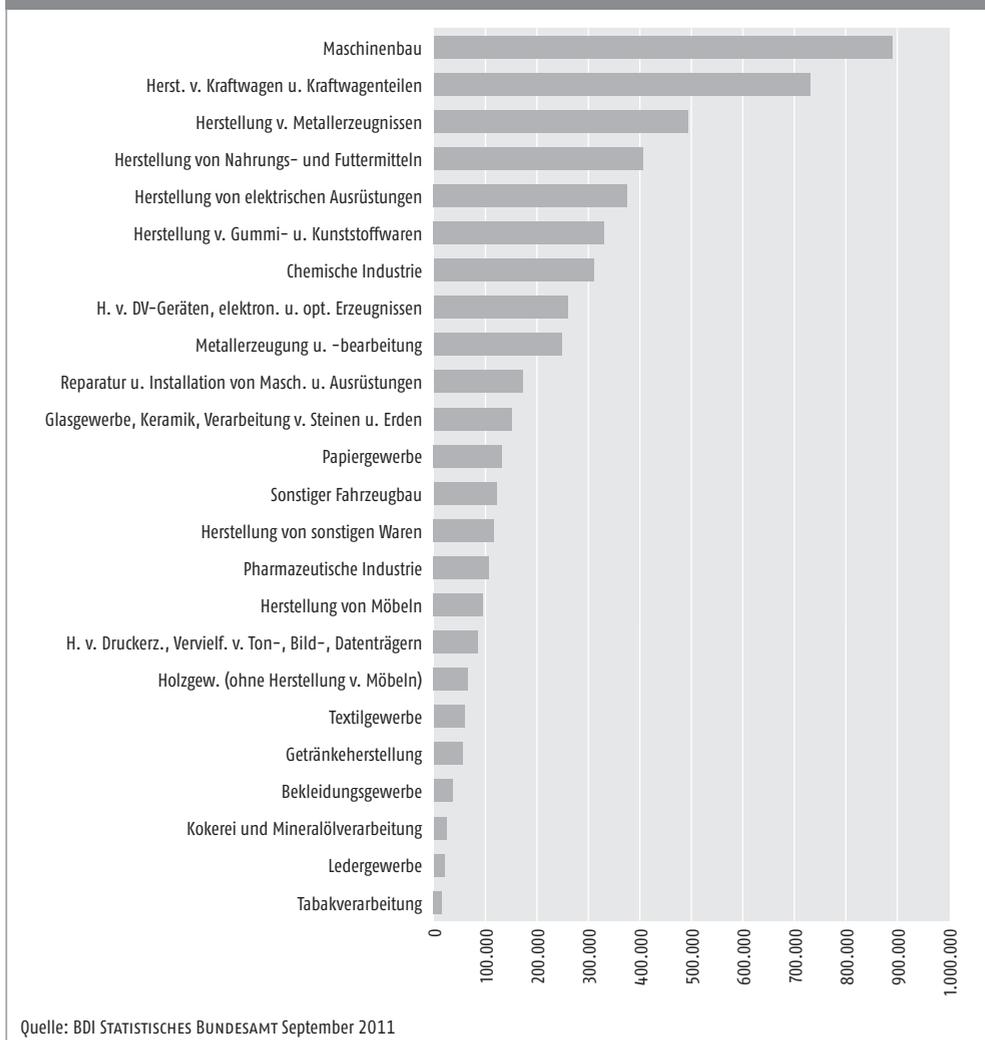
In der Branchenklassifikation des NACE Rev werden diese klassifiziert und eingeordnet, um auf dieser Grundlage die Vergleichbarkeit soziökonomischer Studien auf europäischer Ebene zu gewährleisten. Auf Basis der oben beschriebenen Innovationsforschung des Bundes wurden vorhandene Studien genutzt, um eine von Kriterien geleitete Eingrenzung des Forschungsfeldes vorzunehmen.

Betrachtet man daneben die Anzahl der Beschäftigten im produzierenden Gewerbe nach Branchen, ergibt sich folgendes Bild: Insgesamt waren im Jahr 2009 6.500.000 Beschäftigte direkt im produzierenden Gewerbe sozialversicherungspflichtig angestellt. Das sind ca. ein Viertel aller sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten in Deutschland. Betrachtet man die Verteilung der Beschäftigten nach Branchen, sticht der Maschinenbau als Arbeitgeber im produzierenden Gewerbe hervor, gefolgt von der Automobil- und Metallindustrie. Es folgen die Nahrungsmittelindustrie, Elektroindustrie, Gummi- und Kunststoffindustrie sowie die Chemieindustrie.

Die Orientierung am NACE Rev als Ausgangspunkt für das Projekt war nur bedingt praktikabel. Die Sichtung bestehender Datensätze lieferte keine Informationen zur inhaltlichen Ausprägung und Verbreitung von Technologien. Deshalb konnten auch keine quantitativen Aussagen zum Verbreitungsgrad neuer Technologien in den Subsektoren des produzierenden Gewerbes getroffen werden. Um nun eine Eingrenzung des Forschungsfeldes vorzunehmen, erschien es am vielversprechendsten, die bestehenden Innovationserhebungen hinsichtlich ihrer Aussagen zur Innovationsintensität und zur Verbreitung neuer Technologien in einzel-

nen Subbranchen des produzierenden Gewerbes auszuwerten. Daher wurden zunächst die Ergebnisse der deutschen Innovationserhebung des ZEW betrachtet, um Subsektoren des produzierenden Gewerbes zu ermitteln, die aufgrund ihrer hohen Innovationsintensität und einem hohen Umsatzanteil mit Produktneuheiten in eine vertiefende Analyse einbezogen wurden. Diese Ergebnisse wurden dann mit dem Branchenranking des Instituts für Wirtschaftsforschung in Köln „Deutschlands Zukunftsbranchen 2009“ in Beziehung gesetzt, weil diese Studie anders als die ZEW-Studie auch technologische Aspekte mit aufgreift. Im Folgenden wird dieses Vorgehen beschrieben.

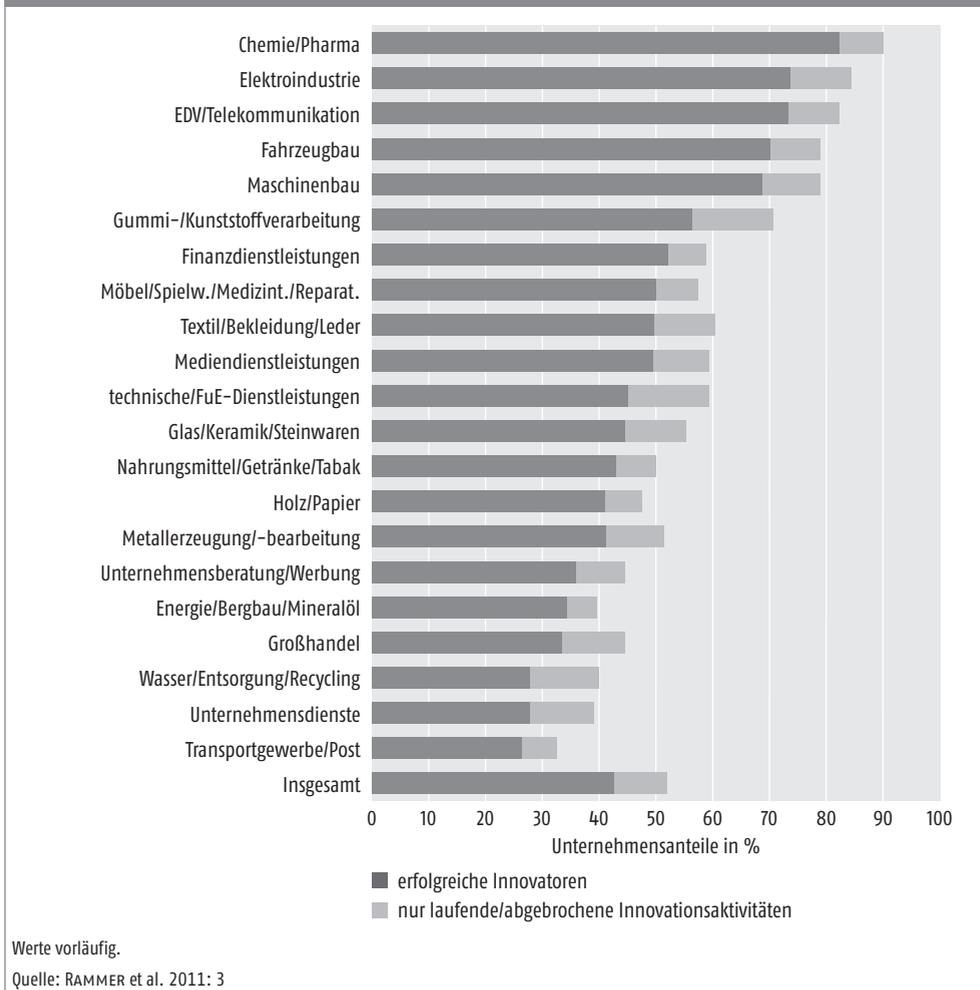
Abbildung 7: Anzahl der Beschäftigten nach Branchen in Deutschland



### 4.1.3 Die ZEW Innovationserhebung 2010

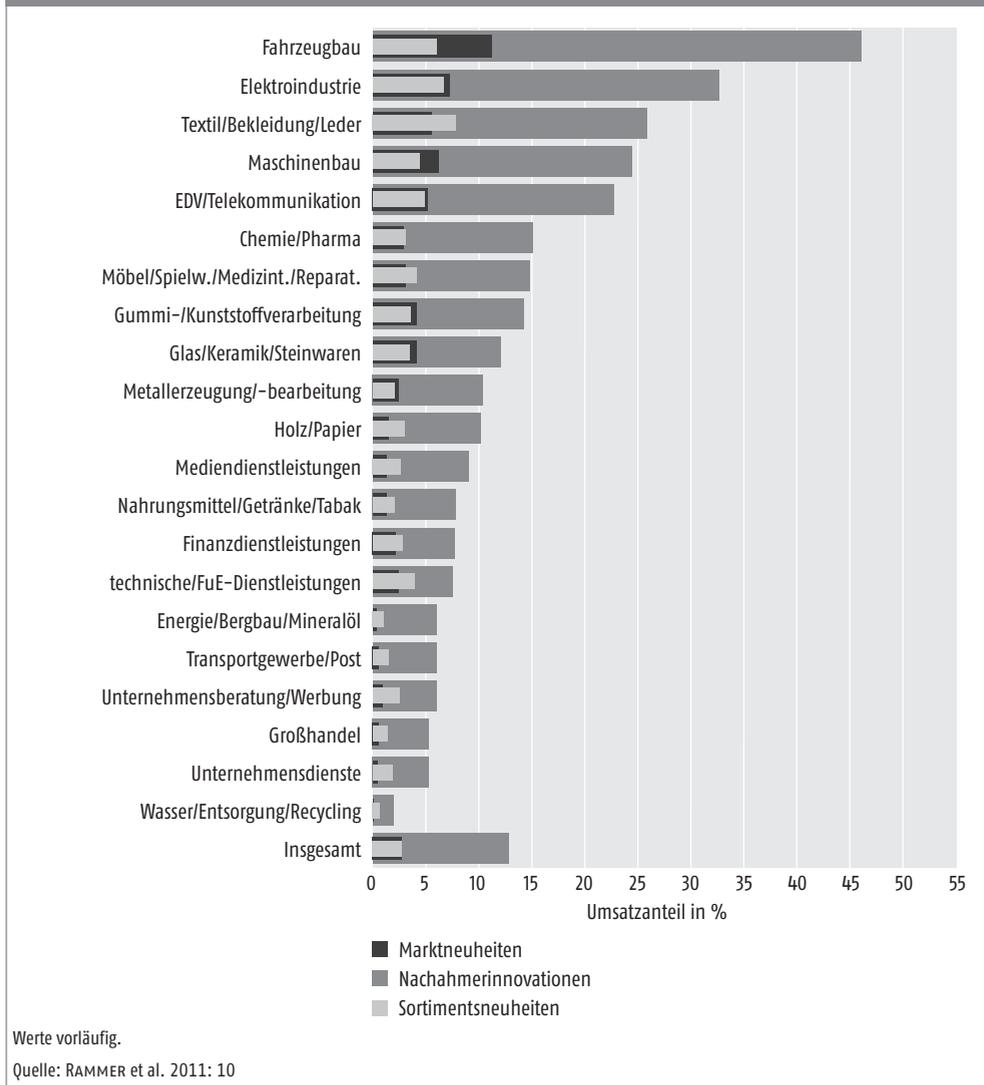
Die ZEW Erhebung von 2010 (RAMMER u. a. 2011) erhebt den Anteil der Unternehmen der deutschen Wirtschaft, die erfolgreich Innovationen eingeführt haben. Dabei nehmen die Innovationsindikatoren des ZEW allerdings lediglich eine sehr allgemeine Gliederung der Produkt- und Prozessindikatoren vor, die keine Aussagen zu Art und Ausprägung technologischer Innovation macht. Nach dieser Erhebung weist die Chemie- und Pharmaindustrie schon seit Jahren den höchsten Wert bei den Innovatoren auf. Daneben zeichnen sich die Elektroindustrie, der Sektor EDV/Telekommunikation, der Fahrzeugbau und der Maschinenbau durch einen Innovatorenanteil von zwei Dritteln oder mehr aus.

Abbildung 8: Innovatorenquote nach Branchengruppen 2009



Außerdem finden sich hohe Anteile von innovationsaktiven Unternehmen in den Bereichen Gummi-/Kunststoffindustrie, in der Textil-, Bekleidungs- und Lederindustrie sowie im Bereich technische FuE Dienstleistungen. Kleinere Sektoren werden in dieser Studie zusammengefasst, um sie statistisch handhaben zu können; aus diesem Grund können z. B. keine Aussagen zur Innovationsintensität in der Medizintechnik getroffen werden, da diese mit der Möbel- und Spielwarenindustrie zusammengefasst wird.

Abbildung 9: Umsatzanteil mit neuen Produkten nach Branchengruppen 2009

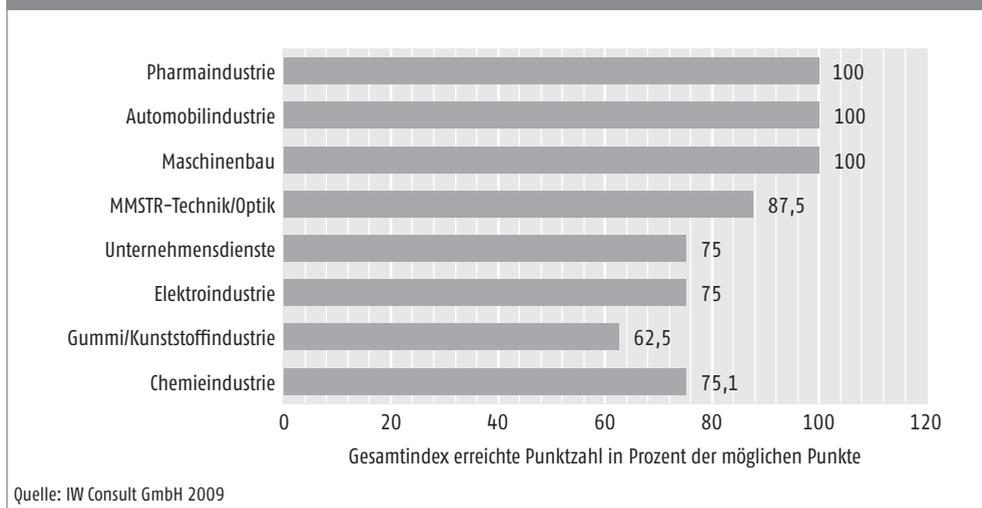


Auch wenn die Innovationsuntersuchung des ZEW nicht auf die Erfassung der Qualität von technologischen Veränderungen in einzelnen Sektoren ausgerichtet ist, gibt sie Hinweise auf Branchen, die von der Diffusion neuer Technologien betroffen sein können, da sie nicht nur Patentanmeldungen oder wissenschaftliche Beiträge als Indikatoren erhebt, sondern konkrete Ausprägungen von Innovationen wie Produkte und Prozesse, die sich bereits im Markt befinden, also den Weg von F&E in die Unternehmen und Branchen bereits gefunden haben. Dabei unterscheidet die Studie bei den Produktinnovationen noch einmal zwischen Marktneuheiten, Nachahmerinnovationen und Sortimentsneuheiten (siehe Abbildung 9). Aus diesem Grund wurde die Studie für die eigene Sektoranalyse als Filter herangezogen, um das Forschungsfeld hinsichtlich der zu untersuchenden Branchen einzugrenzen. Aus forschungsökonomischen Gründen wurde eine detaillierte Analyse in den Feldern vorgenommen, die hier eine besondere Innovationsintensität aufweisen.

#### 4.1.4 Das Branchenranking des Instituts der deutschen Wirtschaft zu Deutschlands Zukunftsbranchen

Eine Ergänzung zum Abgleich der ZEW-Daten mit einem stärker technologischen Fokus stellt die Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft in Köln (IW Consult GmbH 2009) dar. Sie basiert auf anderen Indikatoren für die Erhebung der makroökonomischen Betrachtung (u. a. auch die Entwicklung der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigtenzahlen). Daneben fließen auch qualitative Aspekte wie z. B. Technologie und Trends in das Ranking ein, die durch Experteninterviews erhoben wurden.

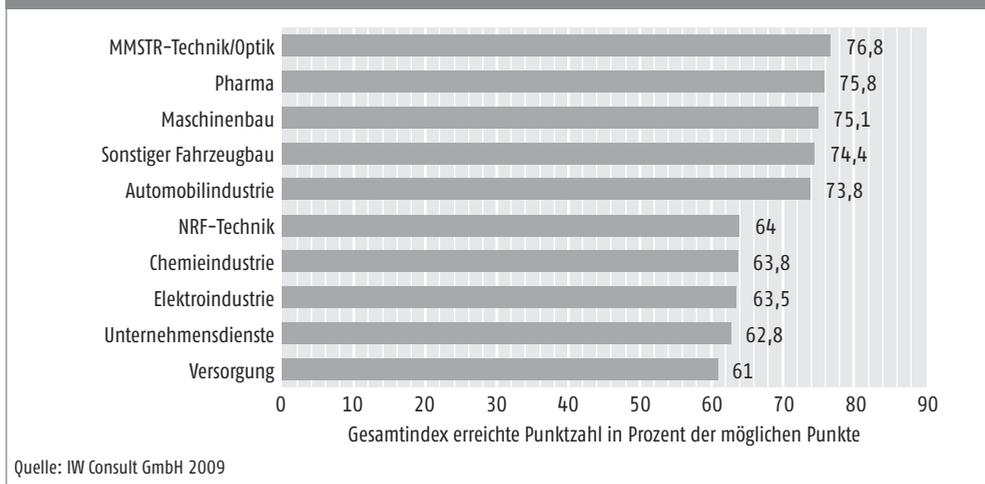
Abbildung 10: Bereich Technologie des Teilindex Expertenbefragung



Der Bereich Technologie zum Teilindex der Expertenbefragung drückt aus, wie die Experten und Expertinnen die Chancen für die zukünftige Schaffung von Arbeitsplätzen durch neue Technologien und die Nutzung der Potenziale der Zukunftstechnologien<sup>3</sup> einschätzen (siehe Abbildung 10). Hiernach gelten besonders Pharma-, Automobilindustrie und Maschinenbau als Spitzenreiter der hochinnovativen Zukunftsbranchen. Auch der Bereich Medizin-, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik weist in diesem Teilindex hohe Werte auf und belegt sogar in der Gesamtbewertung den ersten Rang als Zukunftsbranche in Deutschland. Daneben werden weiter die Elektroindustrie, die Gummi- und Kunststoffindustrie und die Chemieindustrie als Zukunftsbranchen in Deutschland eingestuft.

Die Ränge 1–10 im Gesamtranking sind in der folgenden Abbildung 11 dargestellt. Sie setzen sich aus den beiden makroökonomischen Teilindexen (Makroökonomische Performance und Wachstumstreiber) sowie dem qualitativen Teilindex Expertenbefragung zusammen. Hiernach ergibt sich für das produzierende Gewerbe folgende Rangliste der Zukunftsbranchen:

Abbildung 11: Gesamtindex Branchenranking Deutschlands Zukunftsbranchen 2009 (Rang 1–10)



#### 4.1.5 Ableitung von Konsequenzen für die eigene Untersuchung und erste Begrenzung des Forschungsfeldes „produzierendes Gewerbe“

Vergleicht man die beiden Studien, ergeben sich in der Bewertung innovativer Branchen sowohl Übereinstimmungen als auch Unterschiede, die den unterschiedlichen Indikatoren und Verfahren geschuldet sind. Dieser Vergleich macht deutlich, welche eine entscheidende Rolle

3 Zu den Zukunftstechnologien werden in dieser Studie (IW Consult GmbH 2009: 34) gezählt: Bio-, Nano-IUK-Technologie, Mikrosystem-, Medizin-, Umwelttechnik, Neue Werkstoffe, Optik, Internet und Software.

die Ausrichtung der Indikatoren an der Fragestellung der Untersuchung für die Beurteilung von Innovationen hat. Der Abgleich der Ergebnisse dieser beiden Studien lässt für die hier vorliegende Untersuchung die Konzentration auf die folgenden Branchen sinnvoll erscheinen: Chemie-, Pharmaindustrie, Elektroindustrie, EDV/Computerindustrie, Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Gummi-, Kunststoffindustrie, Metallherzeugung und -bearbeitung sowie Medizintechnik.

Unterschiede zwischen den beiden Studien betreffen die Einschätzung der Textilindustrie als Innovationsfeld; während die Textilindustrie im Innovationsreport des ZEW beim Umsatzanteil mit neuen Produkten den dritten Platz noch vor dem Maschinenbau belegt und bei der Innovatorenquote zu den ersten zehn zählt, liegt sie im Gesamtranking des DIW nur auf dem vorletzten Platz (Rang 34). Eine aktuelle Studie der Textilindustrie (INNtEX Innovation Netzwerk Textil e.V. 2011) fasst den Stand der aktuellen Innovationen und Projekte in diesem Sektor zusammen. Veränderungen auf qualifikatorischer Ebene in diesem Industriezweig sind demnach nicht vorhanden, da auf bewährte Produktionsprozesse zur Herstellung innovativer Textilprodukte zurückgegriffen wird. Diese Einschätzung wurde in einem Experteninterview (Interview 3) validiert. Die Textilbranche wurde daher nicht zur Ermittlung eines Fallbeispiels herangezogen.

Daneben soll auch die Energiewirtschaft in einem Exkurs betrachtet werden. Die Energiewirtschaft ist ein Wirtschaftszweig, der eine Schlüsselstellung in der deutschen Wirtschaft einnimmt, weil aufgrund politischer Weichenstellungen und globaler Herausforderungen wie Energiewende, Klimawandel und Ressourcenknappheit in Zukunft zu erwarten ist, dass die Energiewirtschaft als Diffusionsfeld indirekt stark von neuen Technologien betroffen sein wird und der Nutzen neuer Technologien zur Energieeffizienz nur dann erzielt wird, wenn auf der Ebene der Energieversorgung ausreichend Kapazitäten umweltfreundlich produzierter Energie bereitgestellt werden können (z. B. im Bereich der Elektromobilität) (vgl. ÖKOINSTITUT e.V. 2012, ROTHER u. a. 2010).

Nachfolgend werden die zehn Subsektoren in einem Kurzüberblick beschrieben. Bei den Beschreibungen handelt es sich um Angaben entsprechend des NACE-Schlüssels für Wirtschaftszweige (STATISTISCHES BUNDESAMT 2008). Bis auf die Energiewirtschaft gehören die hier genannten Subsektoren zum verarbeitenden Gewerbe als dem weitesten verzweigten Teilgebiet des produzierenden Gewerbes.

- ▶ **Chemieindustrie:** Dieser Subsektor umfasst die Verarbeitung organischer und anorganischer Rohstoffe in einem chemischen Verfahren zu chemischen Erzeugnissen. Hierbei wird unterschieden zwischen der Herstellung von chemischen Grundstoffen (in der ersten Gruppe) und der Herstellung von Zwischen- und Endprodukten durch Weiterverarbeitung chemischer Grundstoffe.
- ▶ **Pharmaindustrie:** Der Subsektor pharmazeutische Industrie umfasst die Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen und pharmazeutischen Spezialitäten. Sie beinhaltet auch die Herstellung von Arzneimitteln chemischen und botanischen Ursprungs.

- ▶ **Elektroindustrie:** Dieser Subsektor umfasst die Herstellung von Produkten, die Elektrizität erzeugen, verteilen und verwenden. Dieser Subsektor umfasst ferner die Herstellung elektrischer Beleuchtungs- und Signalgeräte sowie elektrischer Haushaltsgeräte.
- ▶ **EDV/Computerindustrie:** Dieser Subsektor umfasst die Herstellung von Computern, peripheren Geräten, Telekommunikationsgeräten und ähnlichen elektronischen Erzeugnissen sowie von entsprechenden Produktkomponenten. Charakteristische Merkmale der in diese Abteilung eingeordneten Herstellungsprozesse sind der Entwurf und die Anwendung von integrierten Schaltungen sowie die Anwendung hoch spezialisierter Miniaturisierungstechnologien. Dieser Subsektor umfasst auch die Herstellung von Geräten der Unterhaltungselektronik, von Mess-, Kontroll-, Navigations- und Steuerungsinstrumenten, Bestrahlungs- und Elektrotherapiegeräten, elektromedizinischen Geräten, optischen Instrumenten und Geräten sowie magnetischen und optischen Datenträgern.
- ▶ **Maschinenbau:** Dieser Subsektor umfasst den Bau von Maschinen, die mechanisch oder durch Wärme auf Materialien einwirken oder an Materialien Vorgänge durchführen (wie Bearbeitung, Besprühen, Wiegen oder Verpacken), einschließlich ihrer mechanischen Bestandteile, die Kraft erzeugen und anwenden, sowie spezieller Teile dafür. Hierunter fallen feste, bewegliche oder handgeführte Vorrichtungen, ungeachtet, ob sie für Industrie und Gewerbe, den Bau, die Landwirtschaft oder für den Einsatz im Haushalt bestimmt sind. Dieser Subsektor umfasst ferner die Herstellung von Hebezeugen und Fördermitteln.
- ▶ **Fahrzeugtechnik:** Dieser Subsektor umfasst die Herstellung von Kraftwagen zur Personen- oder Güterbeförderung. Sie umfasst ferner die Herstellung verschiedener Teile und Zubehör sowie die Herstellung von Anhängern und Sattelanhängern. Wartung und Instandsetzung von Kraftwagen werden in der Klasse 45.20 dieser Klassifikation nachgewiesen.
- ▶ **Gummi- und Kunststoffindustrie:** Dieser Subsektor umfasst die Herstellung von Erzeugnissen aus Gummi und Kunststoffen und wird durch die eingesetzten Rohstoffe charakterisiert. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Herstellung aller aus diesen Rohstoffen gefertigten Waren hier zugeordnet ist.
- ▶ **Metallerzeugung und -bearbeitung:** Dieser Subsektor umfasst die Tätigkeiten des Schmelzens und Legierens von Eisenmetallen und NE-Metallen aus Erz, Roheisen oder Schrott mit elektrometallurgischen und anderen metallurgischen Verfahren. Dieser Subsektor umfasst ferner die Herstellung von Metalllegierungen und Superlegierungen durch Zugabe anderer chemischer Elemente zu reinen Metallen. Die nach dem Schmelzen und Legieren in der Regel in Blockform zur Verfügung stehenden Erzeugnisse werden durch Walz-, Zieh- und Extrusionsverfahren zu Platten, Blech, Bandstahl, Stabstahl, Stangen, Draht, Rohren oder Hohlprofilen bzw. in geschmolzener Form zu Guss- und anderen Grundmetallerzeugnissen verarbeitet.
- ▶ **Medizintechnik:** Dieser Subsektor umfasst die Herstellung von Laborgeräten, medizinischen und chirurgischen Instrumenten, chirurgischen Apparaten und Geräten, zahnme-

dizinischen Apparaten und Geräten. Sie umfasst auch die Herstellung von medizinischen, zahnmedizinischen und ähnlichen Möbeln, bei denen Zusatzfunktionen den Zweck des Möbels bestimmen, beispielsweise Zahnarztstühle mit eingebauter hydraulischer Funktion. Weitere Unterklassen sind die Herstellung von orthopädischen Erzeugnissen sowie die zahntechnischen Laboratorien.

- ▶ **Energiewirtschaft:** Dieser Subsektor umfasst die Elektrizitäts-, Gas-, Wärme- und Warmwasserversorgung durch ein fest installiertes Netz von Strom- bzw. Rohrleitungen. Der Umfang des Netzes ist nicht entscheidend. Eingeschlossen ist auch die Versorgung von Industrie- und Gewerbegebieten sowie von Wohngebäuden. Unter diesen Abschnitt fällt daher der Betrieb von Anlagen, die Elektrizität oder Gas erzeugen und verteilen bzw. deren Erzeugung und Verteilung überwachen. Ebenfalls eingeschlossen ist die Wärme- und Kälteversorgung.

Wie weiter oben erläutert, wurde eine weitere Begrenzung des Forschungsfeldes hinsichtlich des Technologiefokus vorgenommen. Hier orientiert sich die Arbeit an den in der Hightechstrategie als bedeutsam identifizierten Technologien, die in Forschung und Entwicklung bereits etablierte Forschungsfelder darstellen (CUHLS u. a. 2009).

Zunächst wurde eine umfangreiche Datensammlung und Sektoranalyse durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurden dann mögliche Fallbeispiele (Units of Analysis) entlang ihrer Wertschöpfungskette skizziert und relevante Praxisgemeinschaften (CoP) identifiziert, die im Anschluss zur Validierung der Fallbeispiele durch einen vertieften Praxisdialog hinzugezogen werden können.

#### 4.1.6 Exemplarisches Beispiel Sektoranalyse: metallischer Leichtbau

In der Sektoranalyse wurden 80 Technologien im Hinblick auf die oben ermittelten Kriterien in unterschiedlicher Detailtiefe analysiert. Aufgrund ihres Umfangs wird an dieser Stelle nicht der komplette Bearbeitungsstand der Technologieanalyse dokumentiert, sondern lediglich der eines ausgewählten Felds. Durch die exemplarische Beschreibung eines Beispiels soll verdeutlicht werden, welche Informationen auf Basis einer Sekundärdatenanalyse in der ersten Phase ermittelt werden konnten. Eine vertiefte Sekundärdatenanalyse wird im Fallbeispiel Batterietechnik dokumentiert (Kapitel 4.6). Hier wurden zusätzlich zu der Analyse der Sekundärliteratur zwei Schlüsselexperten interviewt und eine universitäre Weiterbildungsveranstaltung zum Thema besucht.

**Hintergrund und Technologiebeschreibung:** Grundsätzlich werden drei verschiedene Prinzipien des Leichtbaus unterschieden. Beim Materialleichtbau werden Werkstoffe verwendet, die in Relation zum Eigengewicht eine hohe Festigkeit und Steifigkeit haben. Unter Strukturleichtbau versteht man die Vorgehensweise, bei der optimale Lastabtragungsmechanismen für eine Struktur entwickelt werden, z. B. die Vermeidung von Biege-

beanspruchungen. Bei der Anwendung des Systemleichtbaus werden verschiedene Funktionen in einem einzelnen Bauteil vereint. Außerdem sind auch die Verbindungstechniken für den Leichtbau von Bedeutung. Die Geschichte der Leichtbautechnologie ist seit Anfang des 20. Jahrhunderts eng mit der Geschichte des Fahrzeugbaus und speziell mit der des Automobilbaus (Karosserieleichtbau) verbunden. Die Leichtbauweise ist ein Konstruktionsprinzip, das eine möglichst hohe Gewichtseinsparung zum Ziel hat. Als Leichtbaumaterialien kommen traditionell verwendete Metalle wie Aluminium oder Magnesium zum Einsatz, aber auch moderne Stoffe wie Faserverbundwerkstoffe (FVW). Unter den FVW (Kohlenstofffasern, Glasfasern, Stahlfasern, Naturfasern u. a.) sind besonders die Glasfaserverstärkten Kunststoffe (GFK), die Kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffe (CFK) und bedingt die Naturfaserverstärkten Kunststoffe (NFK) von Interesse. Neben dem geringen Gewicht der eingesetzten Materialien sind für den Fahrzeugaufbau auch andere Eigenschaften von Interesse, wie Verwindungssteifigkeit, Beständigkeit gegenüber Torsion und Biegung, aber auch Lärmschutzeigenschaften oder Verminderung von Vibrationen. Ursprünglich wurden nicht selbsttragende Karosserien verwendet, die auf einem Rahmen in Form des Fahrgestells aufgebaut waren. Auch heute noch werden bei besonders stark beanspruchten Fahrzeugen Gitterrohrrahmen verwendet, um die Steifigkeit zu verbessern. Stand der Technik sind selbsttragende Karosserien, die auch Monocoque genannt werden. Die neue Bauweise wurde erstmals Anfang der 1920er-Jahre eingeführt und ermöglichte weitere Gewichtseinsparungen. Bei Monocoques sind Beplankungen, Verstärkungen, Aufnahmebleche und Profile fest miteinander verknüpft. Die Struktur selbst leistet die tragende Funktion. Die verschiedenen Bestandteile wirken wie Schalen und nehmen die eingeleiteten Kräfte insgesamt auf. Deshalb wird auch der Begriff Schalenbauweise verwendet. Eine weitere Bauart von Karosserien sind sogenannte Skelettkarosserien aus geschlossenen Hohlprofilen, die über Knoten oder direkt miteinander verbunden sind. Flächige, nicht bewegliche Elemente, wie die Windschutzscheibe oder das Dach, werden steif mit dem Skelett verbunden und können so besser äußere Kräfte aufnehmen. Die Vorteile sind zudem weitere Gewichtseinsparungen, hohe Steifigkeit und neue Möglichkeiten für das Design.

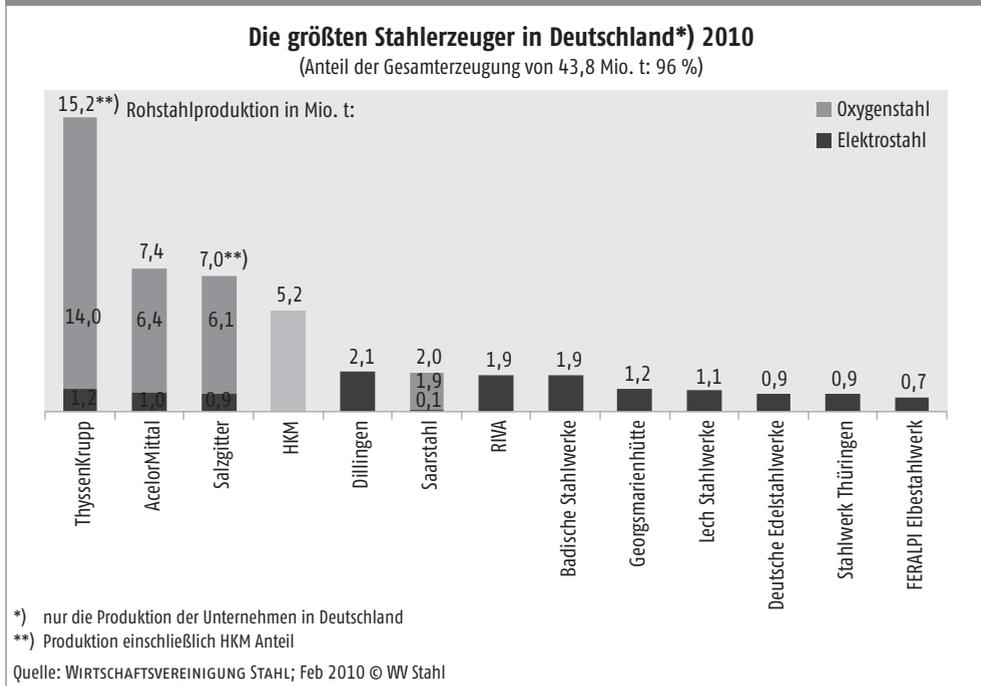
- ▶ **Innovationsgrad:** mittel (trotz der langen Entwicklungstradition sind zukünftig weitere Verbesserungen und zunehmende Optimierung zu erwarten)
- ▶ **Regionale Verteilung:** Die regionale Verteilung ist als hoch einzustufen, mit zunehmender Tendenz.
- ▶ **Diffusionsfelder:** Die Karosserieleichtbautechnik wurde innerhalb des Wirtschaftszweiges des Fahrzeugbaus (C29) entwickelt und diffundiert in die Branchen sonstiger Fahrzeugbau (C30), Metallherzeugung und -bearbeitung (C24), Herstellung von Metallzeugnissen (C25), Herstellung von Kunststoffen (C22) bis hin zur Herstellung von Möbeln (C31).

## Branchenstrukturen, Netzwerke und Informationskanäle in der metallherzeugenden Industrie

**Stahlindustrie:** Deutschland ist der größte Stahlproduzent in Europa und belegte 2010 Rang 7 auf der Liste der weltgrößten Stahlproduzenten. In 22 Standorten werden in diesem energieintensiven Industriezweig in Hochofen-, Stahl- und Walzwerken sowie Elektrostahlwerken Eisen, Roh- und Edelstahl hergestellt und im Warmwalzverfahren zu Rohr- und Flachstahlerzeugnissen gewalzt. Aufgrund der Konkurrenzsituation auf dem Weltmarkt wurden seit 1980 große Anstrengungen unternommen, um die Produktivität je Mitarbeiter zu steigern. Der Personalbestand wurde bei gleichbleibenden oder sogar leicht ansteigenden Produktionsraten um 69 Prozent auf ca. 90.000 Beschäftigte reduziert.

**Ebene der mittleren Qualifikation:** In der Stahlindustrie werden unterschiedliche gewerblich-technische Berufe ausgebildet (Chemielaborant/-in, Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik, Elektroniker/-in für Betriebstechnik, Industriemechaniker/-in, Konstruktionsmechaniker/-in, Mechatroniker/-in, IT-Systemelektroniker/-in, Verfahrensmechaniker/-in der Hütten- und Halbzeugindustrie, Werkstoffprüfer/-in, Werkzeugmechaniker/-in, Zerspanungsmechaniker/-in), dabei ist der Beruf Industriemechaniker/-in mit 37 Prozent der am häufigsten ausgebildete gewerblich-technische Beruf in diesem Industriezweig (Stahl-Online 2011).

Abbildung 12: Die größten Stahlerzeuger Deutschlands 2010 (Stahl-Online 2011)



**Gießerei-Industrie:** Die Gießerei-Industrie in Deutschland ist europaweit führend und zählt weltweit zu den sechs größten Gießereiproduzenten. Die Branche beschäftigt in rund 600 Eisen-, Stahl- und Nichteisen-Metallgießereien ca. 87.000 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen. Die Gießerei-Industrie ist überwiegend mittelständisch strukturiert. Sie ist eine klassische Zulieferbranche und daher für unterschiedliche Industriezweige in Deutschland von Bedeutung. Zu ihren Abnehmern zählen vorrangig Fahrzeugbau, Maschinenbau, Luftfahrtindustrie, Bauwirtschaft, Stahlindustrie, Elektrotechnik, Schiffbau, Energiewirtschaft, Chemische Industrie und Medizintechnik. Beschränkte sich früher der Lieferumfang der Gießereien auf die geputzten, von Angussteilen und Formsandresten befreiten Gussstücke, zeigt sich in den letzten Jahren die Tendenz, fertigtbearbeitete Teile anzubieten oder komplett einbaufertige Baugruppen zu liefern (Bundesverband der deutschen Gießereiindustrie 2011). Die Standortverteilung orientiert sich an den industriellen Schwerpunktzonen in Deutschland. Damit entfällt auf Nordrhein-Westfalen mit mehr als 25 Prozent der größte Anteil der deutschen Gussproduktion. Weitere Schwerpunkte befinden sich in Hessen, Baden-Württemberg, Saarland/Rheinland-Pfalz, Bayern, Niedersachsen/Schleswig-Holstein sowie in den neuen Bundesländern (Sachsen).

**Ebene der mittleren Qualifikation:** Produktionsnaher Ausbildungsberuf in der Gießereiindustrie ist der/die Gießereimechaniker/-in, der in drei Fachrichtungen ausgebildet wird. Daneben wird auch der/die technische Modellbauer/-in und der/die Metall- und Glockengießer/-in ausgebildet.

**Ziehereien und Kaltwalzwerke:** Weiter sind im Bereich der metallerzeugenden Industrie noch Ziehereien (Draht- und Stabziehereien) und Kaltwalzwerke zu nennen. Die 199 Betriebe mit ca. 16.967 Beschäftigten sind größtenteils KMU. Auch die NE-Metallerzeugung und die NE-Halbzeugwerke mit 343 Betrieben und ca. 60.185 (Gesamtmetall 2011) Beschäftigten ist eher mittelständisch geprägt. Hier werden Nicht-Eisenmetalle wie Edelmetalle, Aluminium oder Schwermetalle (Kupfer, Blei, Zinn, Zink etc.) hergestellt oder wiederaufbereitet und zu Halbzeugen verarbeitet.

**Ebene der mittleren Qualifikation:** Der Ausbildungsberuf des/der Verfahrensmechaniker/-in ist in unterschiedliche Fachrichtungen gegliedert und auf die spezifischen Produktionsprozesse in diesen Bereichen ausgerichtet.

Neben den einschlägigen Branchenverbänden und Gewerkschaften wurden noch folgende Institutionen als relevante Ansprechpartner im Zusammenhang mit der Technologie identifiziert:

- ▶ Cluster Automotive Sachsen-Anhalt, Träger: Sachsen-Anhalt Automotive e.V. – MAHREG
- ▶ Cluster neue Werkstoffe
- ▶ Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung

### 4.1.7 Begründungszusammenhänge zur Fallauswahl

Ziel des Projekts ist die deskriptive Beschreibung und der Vergleich technologischer Diffusionsprozesse in ihren unterschiedlichen Facetten unter Einnahme einer berufspädagogischen Perspektive. Das zentrale Auswahlkriterium für die Fallauswahl ist die Unterschiedlichkeit der Fälle. Daneben kamen weitere Auswahlkriterien zur Anwendung. Diese Merkmale dienten zur Reflexion der Technologiebeispiele aus der Sektoranalyse. Unter diesem Gesichtspunkt wurden folgende Merkmale für die Fallauswahl ermittelt:

- ▶ Unterschiedlichkeit der Branchen
- ▶ Einordnung in die unterschiedlichen Zukunftsfelder der Hightechstrategie
  - ▶ Klima/Energie
  - ▶ Mobilität
  - ▶ Sicherheit
  - ▶ Gesundheit
  - ▶ Kommunikation
- ▶ Innovationsgrad der Technologie in Bezug zur Branche, in der das Fallbeispiel durchgeführt wird
  - ▶ radikal
  - ▶ inkrementell
- ▶ Einordnung im Technologielebenszyklus
  - ▶ Schrittmachertechnologie
  - ▶ Schlüsseltechnologie
  - ▶ Basistechnologie
- ▶ Bearbeitungsprozess in der Branche
  - ▶ Verfahren dient als Enabler für neue Technologien
  - ▶ Verfahren ist bekannt
  - ▶ Verfahren ist in der Branche neuartig
  - ▶ Verfahren wird durch neue Aspekte erweitert
- ▶ Berufspädagogische Aspekte (z. B. Hinweise mit Bezug auf die Forschungsfragen, aktuelle berufspädagogische Fragestellungen, Strukturfragen, Unterschiedlichkeit der Branchen etc.)

Die Ergebnisse der Sektoranalyse wurden in der Projektgruppe vor dem Hintergrund der oben genannten Merkmale diskutiert. Als Ergebnis wurden folgende Schwerpunkte für Fallbeispiele identifiziert, durch die sich die Vielfältigkeit der Diffusionsprozesse abbilden lässt (Kapitel 4.2–4.9). Es wurden Themenfelder gebildet, die auch die Betrachtung übergeordneter Zusammenhänge ermöglichen.

## 4.2 Themenfeld Leichtbau: Fallbeispiel CFK

Das Fallbeispiel wurde ausgewählt, um Technologiediffusion in unterschiedlichen Branchen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Technologielebenszyklus je nach Branche zu beleuchten, wobei davon ausgegangen wurde, dass Innovationsgrad der Technologie und Erfahrungen mit dem Fertigungsprozess je nach Diffusionsfeld unterschiedlich ausgeprägt sind. Im Flugzeugbau und in der Auftragsteilfertigung für unterschiedliche Branchen liegen bereits seit den 1980er-Jahren Erfahrungen mit den Bearbeitungsprozessen vor, die auch im Jahr 2006 bzw. 2012 in ein entsprechendes Berufsbild eingeflossen sind. Demgegenüber handelt es sich bei der industriellen Fertigung von CFK-Bauteilen in der Automobilindustrie um einen aktuell neuen Fertigungsprozess mit einem für diese Branche neuen Material. Die Fertigungskette in diesem Diffusionsfeld wird durch den Einsatz von CFK mit duroplastischem Matrixwerkstoff als Substitut für Metalle um den Aspekt der Werkstoffherstellung durch chemische Reaktion und gleichzeitig erfolgende Urformung erweitert, womit veränderte Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen verbunden sind. Da ein Material mit vollkommen anderen Materialeigenschaften als bisher verwendet wird, wurden zudem auch Veränderungen in den Prozessschritten Reparatur und Service angenommen.

### 4.2.1 Technologiebeschreibung

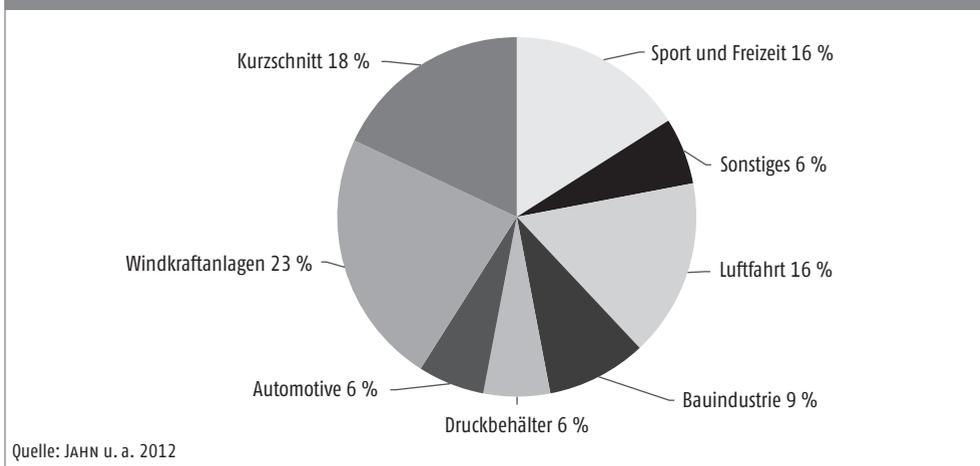
CFK sind Leichtbaumaterialien aus der Klasse der Verbundwerkstoffe, deren Weiterentwicklung und Verbreitung in den 1960er-Jahren begann (militärischer Bereich, Nischenprodukte, Luftfahrt). Sie bestehen aus Kohlenstofffasern, die in eine polymere Matrix eingebettet sind. Die realisierbaren Werkstoffeigenschaften sowie geeignete Fertigungsverfahren sind wesentlich von Länge und Struktur der eingesetzten Fasern (Kurz-, Lang-, Endlosfasern; Gewebe, Gelege) und der Art des Matrixwerkstoffs abhängig. Bei der Substitution von Metallen durch CFK, die seit 2013 in der Serienfertigung von Automobilen erfolgt, treten für diese Bereiche Neuerungen bei Herstellung von Werkstoff und Bauteil (in einem Schritt) sowie in der Montage mit speziellen Füge-technologien auf.

Maßgeblich für den Einsatz von CFK sind die besonderen Materialeigenschaften, die sie insbesondere für den Leichtbau, aber auch Anwendungen in den verschiedensten Branchen qualifizieren. CFK zeichnen sich insbesondere durch hohe Festigkeit und Steifigkeit bei gleichzeitiger Gewichtsersparnis von 30 Prozent gegenüber Aluminium und 70 Prozent gegenüber Stahl aus, wobei die zu erreichende Gewichtsreduzierung auch vom Grad einer werkstoffspezifischen Konstruktion abhängig ist. CFK weisen weiterhin geringe Wärmeausdehnung und gute Wärmeleitfähigkeit auf, sind hitze- und korrosionsbeständig, schwingungsarm, biokompatibel sowie durchlässig für Röntgenstrahlen.

Nach dem Marktbericht im Jahr 2012 des Composite e.V. waren wesentliche Einsatzbereiche im Jahr 2011 Windkraftanlagen, Luftfahrt, Sport/Freizeit, Bau, Druckbehälter, Auto-

motive und Kurzschnitt (Compoundherstellung). Als Treiber für die zukünftige Marktdurchdringung werden die Bereiche Automotive und Luftfahrt gesehen (Marktbericht 2013 des Composite e.V., Roland Berger Strategy Consultants: Serienproduktion von hochfesten Faser-verbundbauteilen, 2012). Hemmnisse für eine schnellere Marktdurchdringung waren bzw. sind, insbesondere im Hinblick auf den Bereich Automotive, der hohe Preis von Carbonfasern, die Notwendigkeit der Entwicklung automatisierter Herstellungsverfahren für Mittel- und Großserien mit geringen Zykluszeiten sowie die Entwicklung spezifischer automatisierbarer Bearbeitungsverfahren für die Montage von CFK-Bauteilen. Treiber für die weitere Verbreitung ist die Diskussion um Energieeffizienz. Durch Leichtbauweise wird in der Automobilindustrie sowie im Flugzeugbau versucht, den Verbrauch fossiler Brennstoffe in der Nutzungsphase zu reduzieren, ohne auf Sicherheit und Komfort verzichten zu müssen.

Abbildung 13: Weltweiter Verbrauch von CFK nach Anwendungen



CFK bestehen aus Kohlenstofffasern, die in einen polymeren Matrixwerkstoff eingebettet sind. Die Länge der eingesetzten Fasern (Einteilung in Kurzfasern, Langfasern, Endlosfasern, Gewebe, Gelege) und die Art des Matrixwerkstoffs haben wesentlichen Einfluss auf die realisierbaren Werkstoffeigenschaften („Leistungseigenschaften“) von CFK und geeignete Fertigungsverfahren. Als Matrixwerkstoff kommen zwei Gruppen polymerer Werkstoffe in Betracht: duroplastische und thermoplastische. CFK auf Basis von Duroplasten sind nur der Urformung zugänglich (die Aushärtung durch Vernetzungsreaktion und die Formgebung erfolgen in einem Schritt, eine Umformung des Bauteils ist nicht möglich), CFK auf Basis thermoplastischer Kunststoffe können durch Erwärmen umgeformt werden, man spricht in diesem Fall auch von „Organoblechen“. In den durchgeführten Fallstudien werden überwiegend duroplastische CFK betrachtet. CFK auf Basis von Thermoplasten haben weniger gute Leis-

tungseigenschaften, sind aber ein Thema für FuE, da sie kürzere Zykluszeiten und damit eine Senkung der Prozesskosten ermöglichen könnten.

Tabelle 2: Fertigungsverfahren für hochfeste CFK-Bauteile

Verfahren	Bauteil	Beispiele	Anmerkungen
Pultrusionsverfahren Faserwickelverfahren	Symmetrische Bauteile	Balken, Profile Rohre, Tanks, Druckbehälter	In der Regel automatisiert
Ablage von Prepregs, Autoklavverfahren	Große und komplexe Bauteile	Strukturkomponenten im Flugzeugbau, Sonderfahrzeuge (Formel 1), Sportgeräte (Skier)	Zykluszeiten im Bereich von Stunden
Vakuumentstützte Infusionsverfahren		Rotorblätter Windkraftanlagen, Struktur- und Verkleidungsteile LKW	
Handlaminierverfahren		Boots- und Behälterbau	Nicht automatisiert
Fließpressen	Limitierte Bauteilgröße und -komplexität	Anwendung für kleine bis mittelgroße Bauteile in unterschiedlichen Branchen; in der Regel keine höchsten Leistungsanforderungen	Vorgeheizte Masse wird in eine Form eingebracht und unter Hitze und Druck gehärtet; in der Regel Einsatz von Kurz- oder Langfasern (bulk moulding compound)
Formpressen			Mit Harz getränktes Halbzeug wird in eine Form eingelegt und unter Hitze und Druck gehärtet; (sheet moulding compound, SMC). In der Regel Einsatz von Langfasern, bei Organoblechen auch Endlosfasern
Ablage imprägnierter Fasern, Autoklavverfahren			Zykluszeiten im Bereich von Stunden
Harzinjektionsverfahren (RTM)			Preform wird in eine zweiseitige Form eingelegt, nach Schließen der Form werden Harz und Starter eingespritzt, Aushärten unter erhöhter Temperatur; bei Wahl schnellhärtender Harzsysteme sind Zykluszeiten im Minutenbereich realisierbar

Quelle Roland BERGER; eigene Darstellung

Während die Fasern (Länge, Struktur, Orientierung) im Wesentlichen ausschlaggebend sind für die Festigkeit, Steifigkeit und die thermomechanischen Eigenschaften eines CFK-Bauteils, hat die Matrix neben Gewährleistung der Formgebung und dem inneren Zusammenhalt des Bauteils wesentlichen Einfluss auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften wie Temperaturbeständigkeit, chemische Beständigkeit und Korrosionsverhalten. Auch hinsichtlich der Kraftaufnahme spielen Fasern und Matrix unterschiedliche Rollen. Zugkräfte werden vor allem von den Fasern aufgenommen, Druck- und Scherkräfte von der Matrix, die damit einen hohen Stellenwert für die Schadenstoleranz eines CFK-Bauteils hat. Für die Fertigung von Strukturelementen in der Automobilherstellung und im Flugzeugbau werden vor allem Endlosfasern verwendet, da hier die höchsten Leistungsanforderungen gestellt werden.

Für die Fertigung von CFK-Bauteilen haben sich verschiedene Verfahren etabliert. Bei der Auswahl des Verfahrens spielen Bauteilgeometrie und -komplexität, Bauteilqualität und -eigenschaften (u. a. bestimmt durch Faserlänge, -struktur und -orientierung sowie Art der Matrix), Oberflächengüte, die Seriengröße und durch Automatisierung erreichbare Zykluszeiten eine Rolle.

In der Fertigung von CFK-Bauteilen werden Carbonfasern lose in Strängen oder als Gelege oder Gewebe mit einer Matrix aus Duromeren, meist Epoxidharzen oder Polyurethanen, getränkt und gehärtet. Als Bearbeitungstechniken für die Nachbearbeitung von CFK-Bauteilen und deren Weiterverarbeitung sind zu nennen: Säubern, Kleben, Beschichten, Nieten und Fräsen. Weitere Fügeverfahren für CFK wie z. B. Laserbearbeitung werden derzeit in FuE weiterentwickelt.

In der Automobilindustrie wird vor allem das RTM-Verfahren mit besonders schnellhärtenden Harzsystemen eingesetzt, im Flugzeugbau und der Zulieferindustrie kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz.

### **Ausblick auf die weitere Entwicklung der Faserverbundtechnologie**

Der Bedarf an CFK stieg in den vergangenen Jahren stetig an (KRAUS u. a. 2014). Hiernach lag die weltweite Wachstumsrate im Jahr 2013 bei 6,9 Prozent. Bis 2020 wird von jährlichen Wachstumsraten von bis zu zehn Prozent ausgegangen. Dabei haben im Vergleich zum Jahr 2012 im Jahr 2013 *„die Sektoren Luft- und Raumfahrt inkl. Verteidigung, Bauwesen sowie Fahrzeugbau deutlich hinzugewonnen, sowohl den Kohlefaser-Bedarf betreffend, als auch hinsichtlich des generierten Umsatzes“* (ebd., S. 10). Die Entwicklung in der Automobilindustrie und im Bauwesen ist im Vergleich zu den Marktsegmenten Luft- und Raumfahrt, Windenergie sowie Sport und Freizeit, in denen sich das Material bereits stärker etabliert hat, eher mit prognostischen Unsicherheiten behaftet. Hinsichtlich der eingesetzten Verfahren nimmt die Automatisierung der Prozesse zu, allerdings finden nach wie vor auch manuelle Verfahren weitere Verwendung. Man kann davon ausgehen, dass auch der Fachkräftebedarf in diesem Bereich moderat ansteigen wird.

### **4.2.2 Empirie: Datengrundlage**

In die Auswertung im Themenfeld industrieller Leichtbau mit CFK gingen zehn Interviews und drei Gruppendiskussionen ein. Interviewpartner waren eine Schlüsselperson aus einem Technologienetzwerk zum Thema Recycling sowie technologieverantwortliche Führungskräfte, Facharbeiter, Meister und Ausbildungspersonal aus dem Flugzeugbau, der Automobilindustrie und der Teilefertigung. Es wurden sowohl Konzerne als auch KMU aus der Zuliefererindustrie an der Untersuchung beteiligt. Die Ergebnisse der Interviews wurden bei unterschiedlichen Netzwerktreffen vorgestellt und in einem Branchengespräch diskutiert.

### 4.2.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette

#### Fallbeispiel CFK im Automobilbau

In zwei Unternehmen der Automobilindustrie, die unterschiedliche Strategien zur Gewichtsreduzierung verfolgen, wurden Interviews durchgeführt. Ziel war es, die gesamte Wertschöpfungskette von der Produktion über den Service bis hin zur Instandhaltung mit besonderen Reparaturkonzepten zu betrachten und berufliche Tätigkeiten und Qualifikationsbedarfe zu erfassen. Schließlich zählt auch noch das Recycling von Fahrzeugen zur Wertschöpfungskette. Dies hat wegen gesetzlicher Vorgaben zur Fahrzeugrücknahme im Automobilbau einen höheren Stellenwert als im Flugzeugbau, wo Recycling allein aufgrund der längeren Nutzungszeiträume eine eher untergeordnete Rolle spielt.

- a) Das betrachtete Unternehmen setzt bei der Herstellung von Fahrzeugen mit Elektroantrieb auf Leichtbau durch den innovativen Materialeinsatz von CFK. Die Architektur der Fahrzeuge besteht aus dem fahraktiven, aus Aluminium gefertigten „Drive-Modul“ (Antrieb, Fahrwerk, Energiespeicher, Struktur- und Crashfunktionen) und dem „Life-Modul“ (Fahrgastzelle) aus CFK sowie einer Außenhaut aus „konventionellem“ Kunststoff.

In diesem Unternehmen wurde die gesamte Prozesskette der industriellen Fertigung betrachtet. Sie reicht von der Fertigung der CFK-Bauteile über die (Nach-)Bearbeitung einzelner Teile (z. B. Lackierung), das Fügen der Fahrgastzelle aus selbst gefertigten und zugelieferten CFK-Bauteilen im Karosseriebau, die Herstellung und Lackierung der Außenhaut aus konventionellem Kunststoff, der Lackierung des CFK-Daches bis hin zur Montage des gesamten Fahrzeuges aus Bauteilen/Halbzeugen unterschiedlicher Materialien.

Interessant am industriellen Produktionsprozess dieses Automobilherstellers ist, dass die Fertigung der CFK-Teile nicht komplett integriert in der Linie stattfindet, sondern aufgrund der noch nicht ausreichend kurzen Zykluszeiten als Vorlauf vorweggeschaltet wird. Nur einzelne Teile werden im RTM-Verfahren selbst gefertigt. Nach wie vor ist eine breite Kooperation mit spezialisierten (CFK-)Zulieferfirmen zu beobachten.

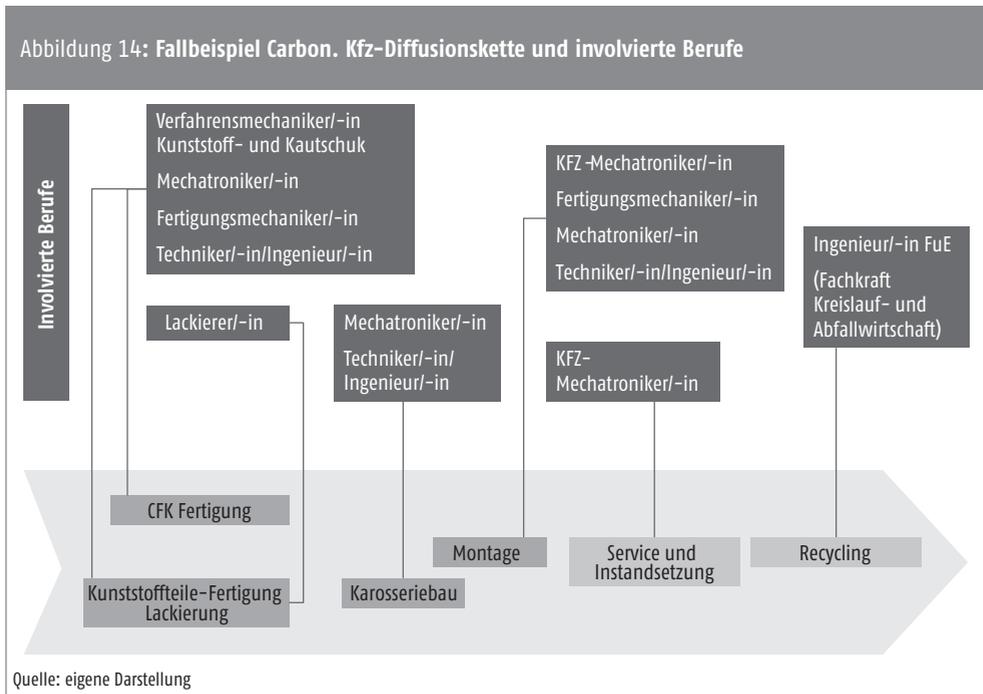
Zum Produktionsstart der neuen Modellreihen mit CFK-Fahrgastzellen wurden neue anlagenbezogene bzw. materialspezifische Qualifikationsbedarfe vor allem durch Anpassungsweiterbildung der bestehenden Belegschaft und, insbesondere für die CFK-Bauteilfertigung, durch Rekrutierung von Kunststoffformgebern und -formgeberinnen bzw. Verfahrensmechanikern und -mechanikerinnen für Kunststoff und Kautschuktechnik vom Markt gedeckt. Nachwuchs wird durch eine eigene Ausbildung gewonnen. Der Anteil der Auszubildenden zum Verfahrensmechaniker/zur Verfahrensmechanikerin für Kunststoff- und Kautschuktechnik entspricht dem Umfang dieses Einsatzbereiches am Standort (25 %).

Die Fachkräfte in der Produktion werden – unabhängig vom jeweiligen Beruf und Fertigungsabschnitt – als „Betreiber/-in“, mit den Funktionen Anlagenbetreiber/-in und Instandhal-

ter/-in eingesetzt. Abhängig vom Beruf erfolgt eine über die jeweiligen Ausbildungsordnungen hinausgehende Schulung. Auch die Ausbildung wird phasenweise berufsübergreifend durchgeführt.

- b) In einem zweiten Unternehmen, welches die Strategie verfolgt, Gewichtsreduzierungen durch funktionsbezogenen Einsatz verschiedener Leichtbaukonzepte (Werkstoffmix, Strukturen/Konstruktion) unter Einbeziehung von CFK zu erreichen, wurden in den Interviews im Wesentlichen Montage sowie Reparatur-, Recycling- und Servicekonzept thematisiert. Das Unternehmen fertigt derzeit CFK-Bauteile nur in Kleinstserien im Technikum, was also eher dem Bereich Entwicklung zuzuordnen ist. In der Montage werden neben extern gefertigten CFK-Bauteilen Komponenten aus verschiedenen Werkstoffen verbaut. In diesem Unternehmen wurde die Prozesskette nicht umfassend erfasst. Aussagen, die sich auf Qualifikationsbedarfe durch den Einsatz von CFK ergeben, werden an den entsprechenden Stellen in die Ausführungen integriert.

An verschiedenen Prozessschritten entlang der Wertschöpfungskette sind unterschiedliche Tätigkeiten im Zusammenhang mit CFK auszuführen, die von Fachkräften mit unterschiedlichen Berufen ausgeführt werden. Im Folgenden werden die Schritte Fertigung, Reparatur und Recycling im Hinblick auf durchzuführende Tätigkeiten näher beleuchtet. Weiterhin wird die Funktionsteilung nach Gewerken und den favorisierten Ausbildungsberufen in den Unternehmen aufgezeigt:



**Herstellung der CFK-Bauteile im Unternehmen (a):** Die angelieferten Carbon-Stacks (mehrere übereinander geschichtete Carbonfasergelege) werden in drei Fertigungslinien zu CFK-Karosseriekomponenten verarbeitet. In einem ersten Schritt werden Preform-Rohlinge hergestellt, die zu einem größeren Preform-Bauteil zusammengefügt werden. Nach dem Konfektionieren und Vorformen werden die Preforms in die Presse überführt. Das Harzen erfolgt unter Hochdruck nach dem RTM-Verfahren. Dabei werden in die Preform-Rohlinge unter hohem Druck flüssiges Harz und Härter injiziert. Durch die Verbindung der Fasern mit dem Harz und das anschließende Aushärten erhält das Material seine Steifigkeit. Die Pressen arbeiten nach genau definierten Zeit-, Druck- und Temperaturparametern. Die Zykluszeiten liegen aufgrund des schnell härtenden Harzsystems im Bereich von Minuten.

Umwelt- und Gesundheitsschutz haben aufgrund der eingesetzten Fasern und Chemikalien einen hohen Stellenwert. Besondere Anforderungen stellt darüber hinaus die im Prozess durchgeführte Qualitätssicherung; die sogenannte Fertigungseigenprüfung. Aufgaben mit einer CFK-spezifischen Ausprägung sind Sichtprüfung, ggf. Klopfprüfung, Überwachung der Prozessqualität und Entnahme von Stichproben für die umfassende Qualitätsprüfung im Labor.

In diesem Fertigungsabschnitt sind sowohl Material als auch Verfahren „neu“. Als Fachkräfte werden Mechatronikerinnen und Mechatroniker, Verfahrensmechanikerinnen und Verfahrensmechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik sowie Fertigungsmechanikerinnen und Fertigungsmechaniker eingesetzt.

Vorgelagert ist die Bauteildefinition. Sie wird von Konstrukteuren und akademischen Fachkräften wahrgenommen.

In dem Unternehmen (b), welches einen Materialmix im Fahrzeugbau bevorzugt und derzeit CFK-Teile im Wesentlichen von Zulieferern bezieht und selbst nur in Kleinstserien herstellt, soll bei Ausweitung der Produktion von CFK-Teilen ggf. über den Einsatz und die Ausbildung von Verfahrensmechanikerinnen und -mechanikern nachgedacht werden.

**Kunststofffertigung:** Die komplette Außenhaut des betrachteten Elektrofahrzeugs besteht aus thermoplastischem Kunststoff (Gewichtersparnis gegenüber Stahlblech ca. 50 Prozent, korrosionsfreier Oberflächenschutz, Einsatz von ca. 25 Prozent Recyclat). Die Kunststoffteile werden je nach Bauteil in drei verschiedenen Spritzgussverfahren hergestellt: im „Standardprozess“, in einem TWIN-Spritzgussverfahren, bei dem Außenhaut und Unterkonstruktion separat gefertigt und später verklebt werden, oder im sogenannten „Fügen im Spritzguss“, bei dem die Fertigung von Außenhaut und Unterkonstruktion parallel in einem Werkzeug erfolgt, d. h. sie werden noch innerhalb dieses Prozesses miteinander verbunden. Weiterhin werden in diesem Fertigungsabschnitt Anbauteile wie Alu-Rohrrahmen für die Frontklappe, Stoßfänger mit Leuchten, Rückleuchten u. a. montiert. Die Komponenten der Außenhaut werden abschließend lackiert (Trockenabscheidung), ebenso das CFK-Dach. Die Prozesse sind automatisiert.

In diesem Fertigungsabschnitt sind keine CFK-spezifischen Tätigkeiten auszuführen. Besondere Tätigkeiten ergeben sich aber in der Qualitätssicherung aufgrund der besonderen Bauweise von innen nach außen. Die Geometrie der Teile ist stichprobenartig exakt zu überprüfen, da sich Abweichungen ansonsten erst nach erfolgter Montage zeigen würden.

Als Fachkräfte werden Mechatroniker/-innen, Fertigungsmechaniker/-innen, Verfahrensmechaniker/-innen für Kunststoff- und Kautschuktechnik, Industriemechaniker/-innen sowie Lackierer/-innen und Verfahrensmechaniker/-innen für Beschichtungstechnik eingesetzt. Beim Lackieren spielen auch Simulationen eine Rolle. Die Überprüfung der Maßhaltigkeit der Kunststoffteile wird von Kunststofftechnikern und Kunststofftechnikerinnen wahrgenommen, die betrieblich für diese spezielle Aufgabe qualifiziert werden.

**Karosseriebau:** In diesem Fertigungsabschnitt im Unternehmen (a) werden Fügetechniken ausgeführt, die bisher im Automobilbau kaum eine Rolle spielen. Es handelt sich vor allem um das Kleben, wobei, verglichen mit den im Metallbereich ansonsten verbreiteten Fügetechniken, besondere Bedingungen einzuhalten sind. Neben der Vorbereitung der Klebeflächen ist es wichtig, das Kleben ohne Kraft durchzuführen. Spannungen, die sich unter Krafteinfluss bilden und zu einer nicht einwandfreien Verbindung führen würden, könnten anders als bei „klassisch“ gefügten Metallteilen nicht nachträglich behoben werden. Mit dem Kleben gehen weiterhin spezielle Prüfverfahren zur Qualitätssicherung einher. Weitere spezielle Fügetechniken sind Nieten und Clipsen. Die Prozesse sind automatisiert. Eingesetzt werden Mechatronikerinnen und Mechatroniker, Technikerinnen und Techniker sowie Ingenieurinnen und Ingenieure.

In dem Unternehmen (b), in dem ein Materialmix bevorzugt wird, werden im Karosseriebau sowie in der Montage Fertigungsmechanikerinnen und -mechaniker, Mechatronikerinnen und Mechatroniker sowie Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik eingesetzt. Fertigungsmechanikerinnen und -mechaniker haben ihren Schwerpunkt in der manuellen Bearbeitung. Zur Bedienung und Überwachung automatisierter Systeme werden ausschließlich Mechatronikerinnen und Mechatroniker sowie Elektronikerinnen und Elektroniker für Automatisierungstechnik eingesetzt. Neuerungen ergeben sich hieraus vor allem für die jeweiligen Werkstoffpaarungen, speziellen Verbindungstechniken, einschließlich der Prüfverfahren, sowie notwendigen Maßnahmen zur Verhinderung negativer Wechselwirkungen bei Werkstoffpaarungen wie z. B. Aluminium/CFK. In diesen Bereichen liegen auch die Schwerpunkte für die Schulung von Facharbeiterinnen und Facharbeitern.

**Montage:** In der Montage des Elektrofahrzeugs werden das sogenannte Drive Modul, die Fahrgastzelle aus CFK, und die Außenhaut aus Kunststoff zusammengefügt. Weiterhin erfolgt die kundenspezifische Ausstattung. Als Fügetechniken kommen Kleben, Schrauben, Nieten und Clipsen zur Anwendung. Der automatisierte Prozessablauf wurde weitestgehend von der Montage „im Blechbau“ übernommen. Die Übereinstimmung liegt bei ca. 80 Prozent.

Eine gravierende Neuerung besteht im Bereich der Qualitätssicherung für diesen Fertigungsabschnitt: Die Verantwortung für die gesamte optische Anmutung der Außenhaut, die „Fugenverantwortung“, erfordert die Funktion des „Maßkundigen“. Neben der reinen geometrischen Prüftätigkeit sind ggf. Rückschlüsse auf die vorgelagerte Herstellung der CFK-Bauteile, auf die Fertigung der Kunststoffteile und auf vorgelagerte Prozessschritte in der Montage zu ziehen und zu kommunizieren.

Bezogen auf CFK-relevante Fertigungsschritte im Automobilbau ergibt sich für die eingesetzten Berufe folgendes Gesamtbild:

- ▶ Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik werden zur Anlagenbedienung und in der Instandhaltung ausschließlich in der Fertigung von CFK-Bauteilen sowie in der sonstigen Kunststoffteilefertigung eingesetzt. Sie arbeiten in diesen Bereichen vielfach in berufsübergreifenden Teams mit Mechatronikerinnen und Mechatronikern sowie Fertigungsmechanikerinnen und -mechanikern mit weitgehend überlappenden Aufgaben. Die Montage von CFK-Bauteilen zu Baugruppen gehört nicht zu den Aufgaben von Verfahrensmechanikerinnen und -mechanikern. Eine weitere wesentliche Kompetenz, das Durchführen von CFK-spezifischen Prüfverfahren, spielt eine untergeordnete Rolle, wohl aber ein umfassendes Qualitätsbewusstsein basierend auf Kenntnis der gesamten Prozesskette und Kenntnis der Stellschrauben, die für den Qualitätsprozess bedeutsam sind. Insgesamt lässt sich feststellen, dass das Berufsbild der Verfahrensmechanikerin und des -mechanikers für Kunststoff- und Kautschuktechnik im Automobilbau nicht vollständig ausgeschöpft wird. Eine über die Ausbildungsordnung hinausgehende betriebliche Schulung erfolgt vor allem im Bereich der Automatisierungstechnik (SPS-Programmierung, Programmierung der Robotersteuerung).

Für die spezialisierte Funktion eines „Maßkundigen“ zur Prüfung der Einhaltung geometrischer Anforderungen an die Außenhaut der Fahrzeuge mit CFK-Fahrgastzelle wird eine betriebliche Schulung nach Berufsabschluss im Kunststoffbereich sowie Weiterbildung zur Kunststoff-Technikerin und zum -Techniker durchgeführt. Vertieftes Verständnis des gesamten Fertigungsprozesses, insbesondere der Herstellung der CFK-Bauteile und Kunststoffteile, wird als Voraussetzung angesehen, um die Ursachen von Abweichungen erkennen und rückkoppeln zu können. Die Fertigungseigenprüfung an sich ist keine Besonderheit.

Angesichts des hohen Automatisierungsgrades der Fertigung der CFK-Bauteile wurde in Vorbereitung auf den Produktionsstart diskutiert, welcher Stellenwert Materialkenntnissen zukommt bzw. ob Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker geeignete/notwendige Fachkräfte sind. Letztendlich überwog die Bewertung, dass dieser Fertigungsschritt eher „prozessgetrieben“ als „automatisierungs- oder anlagengetrieben“ ist und Material- und Verfahrenkenntnisse also notwendig sind.

- ▶ Mechatronikerinnen und Mechatroniker spielen über die Herstellung von CFK-Bauteilen hinaus in allen betrachteten Fertigungsschritten (und in allen anderen Fertigungslinien am Standort) eine wesentliche Rolle und werden demzufolge im Verhältnis zu den ande-

ren Berufen häufiger ausgebildet. Sie werden in der automatisierten Fertigung als Anlagenbediener/-innen und Instandhalter/-innen eingesetzt. Dieser Beruf ist etabliert und hat sich durch seine vielfältigen Einsatzmöglichkeiten bewährt, insbesondere aufgrund seiner Qualifikation als Elektrofachkraft und seiner Kenntnisse der SPS-Programmierung. Die Materialkenntnisse zum Themenfeld CFK einschließlich spezifischer Fügetechniken wie Kleben werden geschult bzw. in der Ausbildung zusätzlich vermittelt.

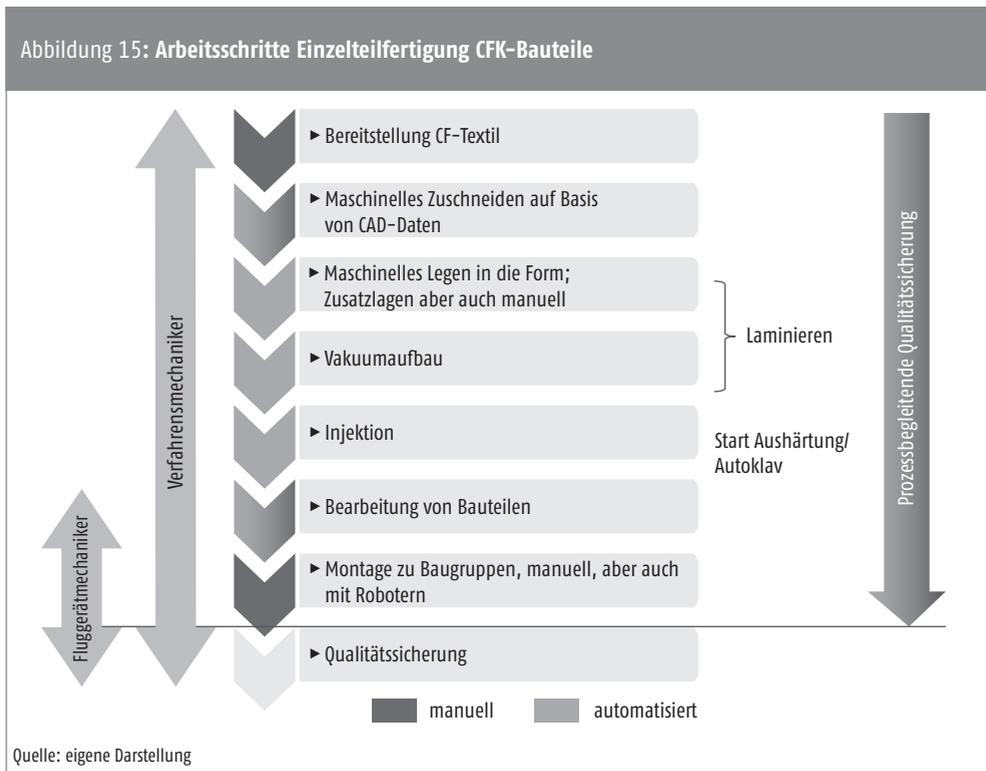
Im Fall von schwerwiegenden Störungen steht ein „interner Service“ (technischer Support) zur Verfügung. Die Mechatronikerinnen und Mechatroniker arbeiten in diesen Fällen mit Elektronikerinnen und Elektronikern für Automatisierungstechnik, Elektro- oder Steuerungstechnikerinnen und -technikern oder Ingenieurinnen und Ingenieuren zusammen.

- ▶ Fertigungsmechanikerinnen und -mechaniker werden in der CFK-Herstellung sowie in der Montage eingesetzt. Hier verfolgen die beiden betrachteten Unternehmen unterschiedliche Strategien: Unternehmen (a) setzt Fertigungsmechanikerinnen und -mechaniker in gleicher Weise wie Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker sowie Mechatronikerinnen und Mechatroniker ein. In Unternehmen (b) werden hauptsächlich Fertigungsmechanikerinnen und -mechaniker eingesetzt, die im Wesentlichen für manuelle Tätigkeiten/manuelle Bearbeitung zuständig sind, während die Bedienung und Überwachung automatisierter Systeme ausschließlich von Mechatronikerinnen und Mechatronikern sowie Elektronikerinnen und Elektronikern für Automatisierungstechnik wahrgenommen wird. Im Fall des Einsatzes als „Betreiber“ werden Fertigungsmechanikerinnen und -mechaniker auch im Bereich Automatisierungstechnik geschult, ansonsten im Themenfeld CFK einschließlich spezifischer Fügetechniken.
- ▶ Der klassische Ausbildungsberuf der Automobilindustrie ist nur wenig von der CFK-Fertigung betroffen. Kfz-Mechatronikerinnen und -Mechatroniker werden hier derzeit vorwiegend in der Montage eingesetzt und sind dabei mit dem Einbau von Teilen aus unterschiedlichen Materialien befasst. Die Berücksichtigung CFK-spezifischer Technologiedaten ist derzeit nicht explizit Teil der Ausbildungsordnung und wird in betrieblichen Schulungen vermittelt.

### **Fallbeispiel CFK im Flugzeugbau**

In der Luft- und Raumfahrtindustrie ist der Werkstoff CFK bereits seit den 1980er-Jahren etabliert. Der Einsatz von CFK-Bauteilen im Flugzeugbau ist – nicht zuletzt aufgrund rechtlicher Sicherheitsanforderungen – in erster Linie leistungsbestimmt. Damit wurden/werden Fertigungsverfahren in erster Linie hinsichtlich ihrer Reproduzierbarkeit und Genauigkeit optimiert, und nicht wie in der Automobilindustrie hinsichtlich der Kosten und Automatisierung.

Im Flugzeugbau kommen, je nach Bauteilgröße, Seriengröße und Leistungsanforderung verschiedene Verfahren zum Einsatz (vgl. Tabelle 2), darunter auch Autoklavverfahren mit den in Abbildung 15 dargestellten Arbeitsschritten. Die Zykluszeiten liegen hier im Bereich von Stunden. Die Fertigung in der Fluggerätherstellung ist in der Regel nicht durchgängig automatisiert, was auch in den geringen Stückzahlen begründet ist.



Unmittelbar in der Fertigung der CFK-Bauteile und deren Montage zu Baugruppen werden Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik sowie Fluggerätmechanikerinnen und -mechaniker eingesetzt. Dazu kommen im technischen Support Mechatronikerinnen und Mechatroniker, Elektronikerinnen und Elektroniker sowie Elektrikerinnen und Elektriker. Berufliche Aufgaben von Verfahrensmechanikerinnen und -mechanikern für Kunststoff- und Kautschuktechnik (ab 2012 der Fachrichtung Faserverbundtechnologie) sind die CFK-Einzelteilerfertigung, die Nachbearbeitung der Bauteile z. B. durch Fräsen (diese Nachbearbeitung entfällt bei der sogenannten endkonturnahen Fertigung, bei der das Gewebe/Gelege vor dem Härten gesäumt wird) sowie die Montage der Bauteile zu Baugruppen. Insbesondere im Bereich der Montage zu Baugruppen werden Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker sowie Fluggerätmechanikerinnen und -mechaniker z. T. parallel eingesetzt. Zum Einsatz in der Montage zu Bauteilgruppen kommen – nach betrieblicher Schulung – auch Metallberufe und Kfz-Mechatronikerinnen und -mechatroniker. Aufgrund der notwendigen Zertifikate nach der Europäischen Luftfahrtbehörde (EASA) werden in der Endmontage (die auf die Einzelteilerfertigung folgt und in Abbildung 15 nicht mehr erfasst ist) keine Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker eingesetzt. Sie ist Domäne der Fluggerätmechanikerinnen und -mechaniker.

Die Ausbildungsordnungen von Verfahrensmechanikerinnen und -mechanikern sowie Fluggerätmechanikerinnen und -mechanikern beinhalten auch die Reparatur von CFK-Teilen. Aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen werden Beschädigungen klassifiziert und nach genauen Vorgaben repariert. Im Flugzeugbau ist dies jedoch häufig eine Spezialistentätigkeit. Wenn kein vergleichbarer Fall vorliegt, ist die Erarbeitung eines geeigneten Konzepts eine ingenieurwissenschaftliche Aufgabe in FuE.

### **Fallstudie: Hersteller von Carbonfaserhalbzeugen und CFK-Bauteilen**

Die Fallstudie wurde bei einem KMU durchgeführt, welches die gesamte Wertschöpfungskette (Faserverarbeitung/Garne, Gelege, Gewebe, Herstellung von Prepregs und CFK-Bauteilen) abdeckt und Carbonfaser-Halbzeuge, Matrixsysteme und CFK-Bauteile für verschiedene Branchen (Röntgenliegen, Robotergreifarme, Messtaster etc.) herstellt. Das Unternehmen setzt überwiegend Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik (ab 2012 der Fachrichtung Faserverbundtechnologie) ein, in der Bearbeitung von CFK-Bauteilen (Nachbearbeitung, Weiterverarbeitung) auch Zerspanungsmechanikerinnen und -mechaniker.

Eingesetzt werden weiterhin Technikerinnen und Techniker, Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Meisterinnen und Meister. Letztere verfügen z. B. über den Abschluss „Industriemeister/-in Kunststoff und Kautschuk“, ergänzt um die Weiterbildung zur Fachkraft für Faserverbund(-werkstoffe) (IHK-Zertifikat, IHK Augsburg, IHK Stade) oder zum Industriemeister/-in Faserverbund(-werkstoffe) (IHK Augsburg, IHK Stade). Die Anforderungen an Meisterinnen und Meister betreffen Sach-, Führungs- und Organisationsaufgaben, wobei den Sachaufgaben eine für Industriemeister vergleichsweise hohe Bedeutung zukommt. Dabei wird eine wesentliche Vertiefung und Erweiterung der Kenntnisse aus der Ausbildung vorausgesetzt.

Technikerinnen und Techniker werden z. B. im Rahmen der Produktprozessentwicklung eingesetzt und sind – in Zusammenarbeit mit Ingenieurinnen und Ingenieuren – an der Ermittlung von Kundenanforderungen beteiligt. Sie arbeiten weiterhin zusammen mit technischen Produktdesignerinnen und -designern und Expertinnen und Experten für die Finite-Elemente-Methode (FEM), Standardwerkzeug bei der Festkörpersimulation, bei der Bauteilberechnung, -auslegung und der Prototypenerstellung. Eine weitere Aufgabe ist die Begleitung des Serienstarts in der Produktion, einschließlich der Schulung von Meisterinnen und Meistern sowie Facharbeiterinnen und Facharbeitern. Ein wesentliches Thema ist dabei Fehlervermeidung (FMEA, Failure Mode and Effects Analysis, Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse). FuE-Themen auf Ingenieurebene sind neben FMEA, Fügetechnologien, (In-line-)Prüfverfahren (zFP), Verfahrensautomatisierung und Verkettung von Prozessschritten.

Ebenso wie im Flugzeugbau ist der Einsatzbereich von Verfahrensmechanikern und Verfahrensmechanikerinnen in diesem Betrieb weiter gefasst als im Automobilbau und erfordert den Einsatz aller wesentlichen Kompetenzen des Berufs. Angesichts der verschiedenen Pro-

zesse entlang der Wertschöpfungskette und des Einsatzes verschiedener Verfahren ist eine größere Variabilität der Arbeitsaufgaben gegeben.

Themen von Schulungen sind vor allem zerstörungsfreie Prüfverfahren, Automatisierung, Metallbearbeitung, Elektrotechnik sowie anlassbezogenen CFK-spezifische Anpassungsbildung. Die Schulungen finden intern und extern statt.

### **Reparatur:**

Bei Fahrzeugen im Materialmix steht der Austausch beschädigter CFK-Komponenten im Vordergrund. Eine Herausforderung wird es sein, Beschädigungen an CFK-Bauteilen sicher zu erkennen bzw. auszuschließen, da sie nicht immer durch äußeren Augenschein zu sehen sind. Zerstörungsfreie Prüfverfahren, die eingesetzt werden können, sind z. B. CT und Ultraschall.

Bei den Elektrofahrzeugen mit CFK-Fahrgastzelle besteht neben der Entwicklung von Reparaturkonzepten für die CFK-Struktur die wesentliche Aufgabe darin, zur Verfügung stehende Konzepte organisatorisch umzusetzen und in ausgewählten Werkstätten bzw. CFK-Kompetenzzentren zu implementieren. Hier sind die sachlichen und qualifikatorischen Voraussetzungen für Reparatur und Schadensbegutachtung an CFK-Teilen zu schaffen.

*CFK-Bauteilhersteller: „Wir sind ... daran beteiligt, das zu entwickeln. Und da gibt es auch schon bestehende Technologien, aber die eben dann in die Serie zu bringen und letztendlich in die lizenzierten Werkstätten zu bekommen, das ist dann noch ein ganz großer Sprung.“*

Entsprechende Inhalte sind in den Ausbildungsordnungen für Kraftfahrzeugmechatronikerinnen und -mechatroniker (2013) sowie für Karosserie- und Fahrzeugbaumechanikerinnen und -mechaniker (2014) enthalten. Auch die Ausbildungsordnungen der Berufe Fluggerätemechanikerinnen und -mechaniker sowie Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik – Fachrichtung Faserverbundtechnologie beinhalten die Reparatur von CFK-Teilen.

### **Recycling:**

**In der Produktion:** Werkstoffliches Recycling erfolgt, indem Zuschnittsreste bei der Herstellung der Preforms für die CFK-Bauteile aufgearbeitet werden; im Rahmen der Herstellung des Elektrofahrzeugs findet dieser Vlies bei der Fertigung des CFK-Daches Verwendung. Der Recyclat-Anteil liegt bei zehn Prozent.

**Nach Gebrauch:** Recycling gebrauchter CFK-Bauteile wird nach jetzigem Stand bei Dienstleistern erfolgen. Eine erste Anlage mit einer jährlichen Mindestkapazität von 100 t wurde 2010/2011 in Betrieb genommen. Das Recycling erfolgt über eine Pyrolyse. Die zurückgewonnenen Carbonfasern können nur als Kurzfasern in CFK-Bauteilen mit geringeren Anforderungen eingesetzt werden. Die Pyrolysegase werden thermisch genutzt. Es bestehen Entsorgungsverträge mit Unternehmen aus dem Flugzeug- und Automobilbau sowie Herstel-

lern verschiedener CFK-Bauteile. Verfahrensoptimierungen und -entwicklungen, die darauf abzielen, ein Recyclat für hochwertige Anwendungen zu erhalten, sind in der Entwicklung, darunter sowohl mechanische, pyrolytische als auch solvolytische Verfahren.

Als Fachkräfte kommen von den Ausbildungsinhalten her vor allem Fachkräfte für Kreislauf- und Abfallwirtschaft infrage, ggf. (je nach Branchenzugehörigkeit des Aufbereiters) auch Produktionsfachkräfte Chemie oder Chemikantinnen und Chemikanten.

#### 4.2.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung

**Ausbildung:** Einschlägige Ausbildungsberufe mit Bezug zu CFK sind Verfahrensmechanikerin und -mechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik, Kraftfahrzeugmechatronikerin und -mechatroniker (2013), Karosserie- und Fahrzeugbaumechanikerin und -mechaniker (2014) sowie Fluggerätmechanikerin und -mechaniker.

Im Beruf Verfahrensmechanikerin und -mechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik wurde bereits im Jahr 2006 ein Schwerpunkt „Faserverbundtechnologie“ in die Ausbildungsordnung integriert. Die Inhalte orientierten sich noch sehr stark an manuellen Herstellungsverfahren. Mit der Erschließung weiterer Einsatzbereiche, der Ausweitung des CFK-Einsatzes z. B. im Flugzeugbau einschließlich der Entwicklung (teil-)automatisierter Verfahren und nicht zuletzt mit dem Beginn der industriellen Großserienproduktion von CFK-Bauteilen in einem Automobilunternehmen änderten sich die Qualifikationsbedarfe. Mit der Neuordnung im Jahr 2012 wurde eine Fachrichtung Faserverbundtechnologie geschaffen. Dem vor allem aus der betrieblichen Praxis geäußerten Wunsch, einen eigenen Beruf zu schaffen, wurde hauptsächlich wegen der (noch) geringen Anzahl von Auszubildenden nicht entsprochen. Das Profil der beruflichen Handlungsfähigkeit der Verfahrensmechanikerin und des -mechanikers für Kunststoff- und Kautschuktechnik – Fachrichtung Faserverbundtechnologie wird in der Zeugniserläuterung folgendermaßen beschrieben:

- ▶ Herstellen von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen mithilfe verschiedener Verfahren,
- ▶ Bearbeiten und Reparieren von Faserverbundbauteilen,
- ▶ Fügen, Montieren und Demontieren von Bauteilen und -gruppen aus Faserverbundwerkstoffen,
- ▶ Anwenden technischer Zeichnungen, isometrischer Darstellungen, Legeplänen sowie Erstellen von Abwicklungen,
- ▶ Planen von Fertigungsabläufen,
- ▶ Aufbereiten von Polymeren, Reaktionsmitteln, Fasermaterialien und Stützstoffen, Kernwerkstoffen, Zuschlag- und Hilfsstoffen,
- ▶ Abwickeln von Produktionsaufträgen,
- ▶ Kontrollieren und Optimieren des Fertigungsprozesses entsprechend den Qualitätsstandards und Umweltvorschriften,

- ▶ Durchführen und Dokumentieren von Mess- und Prüftätigkeiten im Rahmen der Qualitätssicherung,
- ▶ Bedienen von Steuerungs-, Regelungs- und Messeinrichtungen sowie Prozessleitsystemen,
- ▶ Durchführen von Inspektionen und Wartungen an Maschinen, Fertigungsmitteln und Peripheriegeräten sowie Mitwirkung an Instandsetzungen,
- ▶ Kunden- und prozessorientiertes Arbeiten selbstständig und im Team,
- ▶ Beachten von ökonomischen und ökologischen Aspekten,
- ▶ Kommunizieren mit vor- und nachgelagerten sowie Service-Bereichen zur Optimierung des Fertigungsprozesses,
- ▶ Mitwirken beim Planen von Fertigungsprozessen und der Entwicklung kundenspezifischer Anwendungen,
- ▶ Werkstoffgerechtes Transportieren von Bauteilen und Baugruppen.

Das Profil wird in dem betrachteten Unternehmen aus der Automobilindustrie nicht ausgeschöpft. Gleichzeitig wird die Handlungsfähigkeit im Bereich der Automatisierungstechnik für unzureichend gehalten; die Ausbildungsordnung wird darum verhalten beurteilt. Die Bewertung vom Unternehmen, welches die gesamte Wertschöpfungskette im Bereich CFK abdeckt, fällt demgegenüber positiv aus:

*„Wir sind sehr zufrieden mit der Ausbildung, machen wir auch intern. Also, das ist sehr, sehr nah an der Praxis dran. Die lernen erst mal die Grundformen der Faserverbundherstellung, Nasslaminieren, Autoklav, Pressen, auch die mechanische Bearbeitung.“*

Unabhängig von der Bewertung wird die Ausbildung zur Verfahrensmechanikerin und zum Verfahrensmechaniker in allen betrachteten Firmen über die Mindestanforderungen hinaus angereichert im Bereich Metallbearbeitung, Elektrotechnik, Automatisierungstechnik (SPS-Programmierung, Roboterhandling und Programmierung).

Weitere Berufe ohne CFK-spezifische Ausbildungsinhalte, die in den betrachteten Unternehmen ausgebildet werden, sind vor allem Mechatronikerin und Mechatroniker sowie – in geringerem Maß – Fertigungsmechanikerin und -mechaniker, Industriemechanikerin und -mechaniker, Elektronikerin und Elektroniker für Automatisierungstechnik und Zerspanungsmechanikerin und -mechaniker. In die Ausbildung dieser technischen Berufe werden Themen integriert wie Materialkenntnis (Eigenschaften von Matrix, Fasern und Verbundwerkstoff; Handhabung), besondere Anforderungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, Zusammenhangwissen bezüglich Material und Fertigungsverfahren, spezifische Bearbeitungsverfahren für CFK-Bauteile und ihre Besonderheiten, Montage von CFK-Bauteilen zu Baugruppen, CFK-spezifische Prüfverfahren (s. a. externe Weiterbildung).

Die genannten Berufe werden – meist in gemischten Teams – als Anlagenbediener/-in und Instandhalter/-in eingesetzt. Die Ausbildung erfolgt phasenweise berufsübergreifend.

Bei der Auswahl geeigneter Berufe spielt neben den Qualifikationsanforderungen und der Passgenauigkeit der Ausbildung auch die Organisation der Ausbildung eine wesentliche Rolle.

Im betrachteten Unternehmen (a) im Automobilbau war abzuwägen, ob die Qualifikationsbedarfe durch Integration zusätzlicher CFK-spezifischer Inhalte in die Ausbildung von Mechatronikerinnen und Mechatronikern, Fertigungsmechanikerinnen und -mechanikern sowie KFZ-Mechatronikerinnen und -Mechatronikern abgedeckt werden können oder durch einen für das Unternehmen neuen Beruf, die Verfahrensmechanikerin/den Verfahrensmechaniker für Kunststofftechnik übernommen werden sollen. Für die erste Variante sprach vor allem die hohe Kompetenz von Mechatronikerinnen und Mechatronikern in Bezug auf automatisierte Produktionsanlagen (SPS-Programmierung, Elektrofachkraft). Ausschlaggebend für die Entscheidung, auch Verfahrensmechanikerinnen und Verfahrensmechaniker auszubilden, war die Bewertung, dass die Fertigung von CFK-Bauteilen eher „prozessgetrieben“ denn „automatisierungs- oder anlagengetrieben“ ist und Material- und Verfahrenskennnisse damit einen hohen Stellenwert haben.

*„... was ein Unternehmen nicht leisten kann, ist, dass für all diese Spezifika ein besonderer Ausbildungsberuf gesucht wird. Das ist von der Ausbildungsorganisation her nicht möglich.*

*Wir müssen also immer Grundberufe suchen, wo wir sagen, da haben wir ne große Abdeckung von dem, was die Kollegen brauchen, und den Rest machen wir, wie gesagt, vorrangig im dritten Lehrjahr in ner Fachstelle. Dort wird dann von den Fachleuten das Wissen vermittelt, was für die spätere berufliche Tätigkeit, bezogen auf einen relativ engen Arbeitsraum oder Arbeitsumfang, benötigt wird.“*

Vor diesem Hintergrund wäre es interessant zu wissen, ob im Unternehmen (a) zukünftig Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker in zwei Fachrichtungen ausgebildet werden, der Fachrichtung Faserverbundtechnologie im Hinblick auf die Herstellung von CFK-Bauteilen sowie der Fachrichtung Formteile im Hinblick auf sonstige Kunststoffteile. Zum Zeitpunkt der Interviews war diese Frage noch offen.

*„Also, zumindest ist die Nachfrage jetzt da, wobei es jetzt halt auch nicht nur das CFK ist, sondern theoretisch könnten wir auch jemanden im Spritzguss gebrauchen.“*

Der in einem Betrieb artikulierte Bedarf nach einem neuen Beruf, einem „Kunststofftriker“, also Mechatroniker mit CFK-Know-how, wird mit dem wachsenden Bedarf nach SPS-Kenntnissen in automatisierten Prozessen begründet. In diesem Betrieb werden Mechatronikerinnen und Mechatroniker als „Betreiber“ mit der Funktion Anlagenbediener/-in und Instandhalter/-in eingesetzt. Fraglich ist jedoch, ob die Tätigkeit der Anlagenführerin bzw.

des Anlagenführers, die/der ab und an einmal korrigierend in die Anlage eingreift, wirklich als Einsatzfeld für ausgebildete Mechatronikerinnen und Mechatroniker interessant ist, da das Berufsbild inhaltlich breiter angelegt ist. Hier liegt die Vermutung nahe, dass die Personalrekrutierung schwierig werden dürfte, wenn auf dem regionalen Arbeitsmarkt ausreichend Stellen in anderen Einsatzfeldern für Mechatronikerinnen und Mechatroniker zur Verfügung stehen.

**Zusatzqualifikationen:** Die seit der BBiG-Novellierung im Jahr 2005 bestehende Möglichkeit gem. § 5 Abs. 2 Nr. 5 BBiG in Ausbildungsordnungen die zusätzliche Prüfung von Zusatzqualifikationen vorzusehen, wurde bisher für keinen der genannten Berufe realisiert. Einzelne Interviews im Rahmen der Fallstudien sowie die Clusterdiskussion legen nahe, über normierte Zusatzqualifikationen nachzudenken. Der Nutzen dieser Zusatzqualifikationen liegt dabei allerdings weniger bei ausbildenden Betrieben als beim Berufsbildungssystem (Mobilität von Beschäftigten, Hilfestellung bei der Rekrutierung).

- ▶ Im Rahmen eines Interviews wird die Frage aufgeworfen, ob vertiefte Kenntnisse im Bereich Automatisierungstechnik einschließlich SPS- und Roboterprogrammierung nicht grundsätzlich Ausbildungsinhalt für Produktionsberufe sein sollten.  
Da sich die Ausbildungsordnung stets an eine Vielzahl von Betrieben wendet, in denen der Automatisierungsgrad sehr unterschiedlich ausgeprägt sein kann, wird hier empfohlen, über eine einheitliche Zusatzqualifikation „Automatisierungstechnik“ für Produktionsberufe nachzudenken.
- ▶ Die Diskussionsteilnehmer im Cluster schätzen, dass in Zukunft eine Zusatzqualifikation „Reparatur CFK“ für die KFZ-Mechatronikerin und den -mechatroniker relevant werden könnte.
- ▶ Es wurde auch die Möglichkeit einer Zusatzqualifikation zur Bearbeitung von CFK-Bauteilen in diversen Branchen diskutiert. Fraglich ist jedoch, ob der Bedarf dafür bereits überregional vorhanden ist.

### **Weiterbildung:**

**Fortbildung:** Im Bereich der geregelten Fortbildungsabschlüsse einschließlich IHK-Zertifikatslehrgängen gibt es verschiedene Angebote. Es besteht allerdings eine gewisse Unübersichtlichkeit. So unterscheiden sich fast gleichlautende Angebote für IHK-Zertifikatslehrgänge deutlich in den Stundentafeln. Hier einige Beispiele:

- ▶ Verordnung über die Prüfung zum anerkannten Fortbildungsabschluss Geprüfter Industriemeister – Fachrichtung Kunststoff und Kautschuk/Geprüfte Industriemeisterin – Fachrichtung Kunststoff und Kautschuk vom 13. Mai 2014; geregelt nach § 53 BBiG; die Verordnung enthält einen Wahlpflichtqualifikationsschwerpunkt Faserverbundtechnik
- ▶ Industriemeister/Industriemeisterin Faserverbundkunststoffe, IHK Stade vom 15. Oktober 1998; geregelt nach § 54 BBiG

- ▶ Geprüfte Industriemeisterin/Geprüfter Industriemeister – Fachrichtung Faserverbundtechnologie, IHK Schwaben vom 19. Juni 2012, geregelt nach § 54 BBiG
- ▶ „IHK-Fachkraft für Faserverbundwerkstoffe“, Zertifikatslehrgang der IHK Stade, 5,5 Tage für Meister/-in, Techniker/-in, technische Fachkräfte (ohne Vorerfahrung im Bereich CFK); theoretische und praktische Inhalte von der Bauteilauslegung bis zum Recycling
- ▶ „IHK-Fachkraft Faserverbund“ der IHK Schwaben, 300 Stunden für fachfremde Fachkräfte, Meister/-in und Techniker/-in mit technischer Ausbildung; fachübergreifende Kenntnisse in Theorie und Praxis zum Thema „Faserverbundtechnologie“; modularer Lehrgang
- ▶ Techniker/-in für Kunststofftechnik und Faserverbundtechnologie (z. B. Donauwörth, Wasserburg, Weißenberg), schulische Weiterbildung nach Länderrecht

Während die Bundesregelung nach § 53 BBiG in gleichem Maße für Sach-, Organisations- und Führungsaufgaben qualifiziert, liegt der Schwerpunkt der Meisterregelungen der Kammern eindeutig im Sachbereich. Der Stellenwert der technischen Expertise wird in der CoP-Faserverbundtechnologie und im Cluster betont.

*„Der Meister (Anmerkung: „Meister als Funktionsbeschreibung) hat ja noch mal eine andere Ausbildung, der bekommt dann die Fachkraft Faserverbund obendrauf von der IHK und den Industriemeister eben auch. Also, ggf. den Industriemeister Faserverbund, der ja auch angeboten wird, ja, in Vollzeit oder in Teilzeit, ja.“*

*„Von der Aufgabenstellung (Anmerkung: der Meister), es geht noch viel mehr ins Detail der Faser-verbundherstellung, also noch viel mehr. Also, es gibt da, ich kann da locker zehn verschiedene Verfahren aufzählen, die zur Anwendung kommen. Und da geht es halt noch mehr in die Tiefe (...). Und auch Führung, Mitarbeiterführung sind ja auch Bestandteile dieser Ausbildung. Führungsfunktionen, ja, Vorbereitung auf die Führungsaufgabe.“*

Hier wird empfohlen, Systematik und Bezeichnungen der Fortbildungsregelungen nach BBiG zu überprüfen und ggf. eine Bundesregelung für einen Fortbildungsabschluss auf der ersten Ebene anzustreben. Geprüft werden sollte weiterhin, ob Meisterabschluss plus IHK-Fachkraft Faserverbund (300 Stunden) dem DQR-Niveau eines strategischen Professionals entsprechen bzw. welches Delta besteht.

**Weiterbildung allgemein:** Themen der anlassbezogenen Weiterbildung sind für technische Berufe ohne CFK-spezifische Ausbildungsinhalte Materialkenntnis (Eigenschaften von Matrix, Fasern und Verbundwerkstoff; Handhabung), besondere Anforderungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, Zusammenhangwissen bezüglich Material und Fertigungsverfahren, spezifische Bearbeitungsverfahren für CFK-Bauteile und ihre Besonderheiten, Montage von CFK-Bauteilen zu Baugruppen, CFK-spezifische Prüfverfahren. Weiterbildung-

gen/Schulungen für Berufe mit CFK- bezogenen Inhalten finden in der Regel anlassbezogen bei Änderungen in der Produktion (Prozesse, Produkte, Prüfverfahren) statt. Diese Inhalte werden intern oder extern, z. B. auch durch einzelne Module der Fachkraft für Faserverbund, geschult.

Für die spezialisierte Funktion eines „Maßkundigen“ zur Prüfung der Einhaltung geometrischer Anforderungen im Automobilbau wird eine betriebliche Schulung nach Berufsabschluss im Kunststoffbereich sowie der Weiterbildung zum Kunststoff-Techniker durchgeführt.

Die Angebotslage für externe Weiterbildung/Schulung, die in der Regel anlassbezogen durchgeführt wird, wird als zufriedenstellend eingeschätzt. Das breite Angebot ist nicht zuletzt auf die Initiative der Cluster zurückzuführen (s. Bildungsprogramm 2014).

- ▶ Zertifikatslehrgänge an der IHK, aber auch bei Kunststoffzentren  
*„aber wir schicken eben auch (...) einzelne Leute dann auf einzelne Seminare oder auch die komplette Fachkraft Faserverbundstoffe an der IHK. (...), da gibt es ja verschiedene Module (...) man kann (...) auswählen, ob man das gesamte Programm durchlaufen lässt oder eben auch nur einzelne. Also, das reicht ja oft auch, das sind ja gute Module.“*
- ▶ Fortbildung zur Technikerin und zum Techniker  
*„(...) der (Meister) bekommt dann eben noch mal den Techniker Faserverbund dazu. Diese Ausbildung wird bei uns direkt eben, also in (...) wird die angeboten. Da schicken wir dann auch einige hin. Also, wenn bei uns Mitarbeiter sich besonders herausheben, besonders geeignet sind, dann legen wir denen auch nahe, diese Technikerausbildung zu machen. Zahlen wir auch zum Teil, ja, und stellen den Kollegen dafür frei. Hoffen, dass der wiederkommt, ja. Also, da sind wir recht offen.“*

Aktuelle Situation hinsichtlich der Deckung des betrieblichen Qualifikationsbedarfs

I: *„Würden Sie sagen, dass das, was im Flugzeugbau bearbeitet wird, schon relativ weit verbreitet ist und auch die Fachkräfte dafür schon ausreichend geschult sind?“*

B: *„Wir haben natürlich Fachkräfte, die das gut können. Wir haben aber im Gegensatz zur Auto-industrie die Aufgaben nicht so schön gleichmäßig über der Zeitachse verteilt. Das heißt, wir haben Phasen, in denen wir viel solche Arbeit haben, und wir haben Phasen, in denen es weniger solche Arbeit gibt. Und immer wenn es so einen Ramp-up, so einen Hochlauf von Aktivitäten gibt, stellt man fest, man hat nicht genügend von den ausgebildeten Leuten. Das ist auch klar, gibt es in anderen Branchen auch, dass das Ganze irgendwie pulsiert. In der Luftfahrt ist es vielleicht besonders auffällig. Also, gerade wenn man dann auch, weil das ja langlebige Produktzyklen sind. Das ist eine langatmige Industrie bei uns, und wenn man über die letzten 20 Jahre zurückschaut, dann gibt es da Phasen, in denen ist einfach wenig Geschäft gelaufen. Und im Moment läuft aber verhältnismäßig viel, und so einen Hochlauf hatten, haben wir hinter uns. Somit sind im Moment viele von den Leuten wirklich gut ausgebildet und gut im Stoff. Und es gab aber auch Phasen, da*

war gerade das ein Problem, dass man gar nicht genügend gut Ausgebildete hatte und die dementsprechend selber dann in Windeseile anlernen musste.“

#### Zukünftige Entwicklung im Bereich der Anpassungsbildung

„Ja, klar. Da sind wir aber auch schon sehr schnell Richtung Techniker unterwegs oder vielleicht auch Ingenieur, aber das Thema finite Elemente, das ist ein großes Thema. Die Auslegung von CFK-Bauteilen, da sind wir noch längst nicht am Ende. Da sind unheimliche Sicherheitsreserven eingebaut, auch noch in dem (neuen Fahrzeug) beispielsweise. Da legt man sich 100 Prozent oder 200, 300 Prozent auf die sichere Seite, und man kann da sicherlich noch viel Gewicht rausnehmen, wenn man die Bauteile entsprechend auslegt. Und ich denke, da fehlt es noch sehr stark an Erfahrung und an Methodenkompetenz, Softwarekompetenz FEM, die Auslegung. Und dann das ganz große Thema ist auch die Fügetechnologie, also das Thema Kleben. Ich meine, man kann so eine Karosserie nicht aus einem einzigen Teil fertigen. Man muss immer fügen, und das sind natürlich die Sollbruchstellen im Gesamten, einfach die mit dem höchsten Risiko. Wie füge ich das? Oder auch das Thema Reparatur, wenn dem Auto ein Unfall passiert und das Auto repariert werden soll, wie repariere ich das dann? Also, die Fügetechnologie. Damit geht dann einher das ganze Thema Prüfverfahren, zerstörungsfreie Prüfverfahren. Klar haben wir da schon viel, das gibt es sehr viel, aber das sind oft Offline-Verfahren. Da gibt es die sichere, ich meine, Prozessketten haben einen Inline-Up. Also, das Know-how für das zerstörungsfreie Prüfverfahren, das ist noch sehr wichtig auch. Und dann das ganz übergeordnete Thema ist Automatisierung.“

#### 4.2.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer

Geänderte Qualifikationsbedarfe bei Einführung der Faserverbundtechnologie ins Unternehmen sind zunächst für die Weiterbildung relevant, erst dann für die Ausbildung. Der Innovationstransfer geht von der Fabrikplanung zur Technologie und über die Weiterbildung schließlich in die Ausbildung, die eine lange Vorlaufzeit hat. Nach Produktionsstart geht der Transfer auch von den laufenden Prozessen direkt in die Ausbildung und aus der Produktion zu FuE.

Im ersten Schritt ist zu entscheiden, welche Qualifizierungsbedarfe durch Weiterbildung der vorhandenen Belegschaft oder durch Rekrutierung von Fachkräften abgedeckt werden können. Als Instrument wird die Qualifizierungslandkarte genutzt. Im nächsten Schritt sind Schlussfolgerungen für die Ausbildung zu ziehen. Kann der neue Qualifikationsbedarf durch betriebliche Zusatzangebote für die im Unternehmen etablierten Ausbildungsberufe gedeckt werden, oder ist die Anzahl der Ausbildungsberufe zu erweitern? Als Instrumente zur Ermittlung von Qualifikationsbedarfen wurden Bildungslandkarten sowie Anforderungs- und Qualifikationsprofil vorgefunden.

Der Wert einer eigenen Ausbildung wird vor allem darin gesehen, die Inhalte entsprechend der betrieblichen Bedarfe auszuprägen und für Kontinuität in der Deckung des Qualifikationsbedarfs zu sorgen:

*„Und wir haben natürlich die eigene Aus- und Weiterbildung, die eigene Ausbildung hier am Standort und dadurch eben auch sehr viel Kompetenz. Und wir schauen schon, dass wir die Leute dann auch einstellen, weil wir da auch eine Kontinuität drin haben und Inhalte dann eben auch ändern können oder, ja, ergänzen können. Das steht dann schon auch in unserem Ermessen.“*

Die Weiterbildung hat einen recht hohen Stellenwert, da sich die Faserverbundtechnologie durch eine hohe Entwicklungsdynamik auszeichnet. Dies dürfte auch der Grund dafür sein, dass bei der internen Schulung eine Verzahnung von Produktion und FuE zu beobachten ist, die z. T. mit einem Innovationstransfer von der Produktion in FuE einhergeht.

- ▶ Wissenschaftler/-innen aus der zentralen Entwicklung führen Inhouse-Schulungen durch *„... neues Werk ist sozusagen eine Lernfabrik, weil hier auf einmal Dinge möglich werden, die man normalerweise im Alltagsgeschäft nicht so hat, dass zum Beispiel aus der Entwicklung (...) irgendjemand herkommt, der dann auch diskutiert, auch mit den Facharbeitern und meist dann im Betrieb über die Prozesse, die da sind oder wo's Probleme gibt.“*
- ▶ Jobrotation zwischen Musterbau und Produktion *„Jetzt haben wir im Musterbau immer die sehr hoch qualifizierten Leute. Und deswegen wurde beispielsweise der Schritt gegangen, dass man Serienhandwerker im Musterbau mitarbeiten ließ, um sie da auch on the Job anzulernen, oder dass auch Musterbaumitarbeiter in der Serie mitgearbeitet haben, um dort so ein bisschen die Rolle, die früher mal ein Lehrmeister hatte, bei der Arbeit auszuführen. Daneben gibt es auch ein internes Weiterbildungsprogramm.“*
- ▶ Verfahrensmechanikerinnen und -mechaniker arbeiten in diesen Bereichen vielfach in berufsübergreifenden Teams mit Mechatronikerinnen und Mechatronikern sowie Fertigungsmechanikerinnen und -mechanikern mit weitgehend überlappenden Aufgaben
- ▶ Hospitationen/Besichtigungen bei Kunden oder Lieferanten werden zum Know-how-Transfer genutzt
- ▶ Inhouse-Seminare, z. B. durch Kunststoffzentren, zu anstehenden Neuerungen *„... holen da mal jemand noch dazu, der uns das vielleicht mal genauer erklären kann, was die Anforderung ist an dieses neue, an dieses Thermoplast-System.“*

#### 4.2.6 Sonstige Ergebnisse

##### *Erfahrungswissen*

Im Cluster wurde der Stellenwert von beruflichem Erfahrungswissen im Kontext automatisierter Fertigungsprozesse diskutiert. Dieses Erfahrungswissen setzt sich zusammen aus einer vertieften Kenntnis des Materialverhaltens unter unterschiedlichen Bedingungen, Pro-

zesswissen bei der Auslegung und Feinjustierung des Fertigungsprozesses und Kenntnis der Anlage sowie Erfahrungen bei der Fehlersuche bei Störungen der Anlage. Einig waren sich alle Expertinnen und Experten, dass Facharbeiterinnen und Facharbeiter über Erfahrungswissen zum Materialverhalten auch bei stark automatisierten Prozessen sowie in der Überwachung der automatisierten Prozesse (Lernen aus den Fehlerbehebungen an der Anlage) verfügen sollten. Prozesswissen zur Gestaltung neuer Fertigungsprozesse wird demgegenüber eher auf der akademischen Ebene gesehen. Dieses Wissen fließt dann über Technologietabellen in die betriebliche Praxis ein. Dies gilt auch für den Einsatz/die Weiterverarbeitung von CFK-Einzelteilen, z. B. in der Medizintechnik hinsichtlich der spezifischen Bearbeitungsparameter. Häufig wird hier auf die Erfahrung und das Wissen der Hersteller von CFK-Bauteilen zurückgegriffen, solange noch keine entsprechenden Technologietabellen für das jeweilige Anwendungsfeld vorliegen.

Grundsätzlich wird Erfahrungswissen also insbesondere an Schlüsselpositionen wie Anlagenführer/-in oder Qualitätsprüfer/-in für notwendig gehalten, aber es kann z. B. im Bereich der Montage während des Umstellungsprozesses offenbar kompensiert werden durch die vorhandene erhöhte Aufmerksamkeit:

*„Also, momentan hilft uns die geringe Erfahrung dabei, sehr wachsam zu sein und fehlerfrei zu bauen, weil die Kollegen sich nicht auf ihre Intuition verlassen. Die sind momentan wesentlich konzentrierter in den Takten zugange, was sich signifikant an dem Fehleraufkommen zeigt. Das geht nämlich fast gegen null. Das liegt aber auch n Stück weit daran, darf man sich jetzt net blenden lassen, dass wir noch ne geringe Stückzahl haben. Was man sieht, ist, dass sich der Mensch scheinbar wesentlich mehr konzentriert bei neuen Themen als bei bekannten Themen.“*

*„Und wenn Sie einen Spezialisten haben, der sich mit Kleben auskennt und kennt halt die ganze Varianz, wie so ne Klebnaht aussehen kann, und kann das sofort beurteilen, haben Sie natürlich da schon n Vorteil.“*

*„Da müsste ich jetzt noch mal überlegen. Ja, auch das Thema Maßkundiger, das ist auch so ne Funktion, wo man wirklich ne lange Erfahrung braucht.“*

*„Wo ich mir auch immer Gedanken mache bei bestimmten Tätigkeiten, die automatisiert werden, fällt ja dann auch die Erfahrung für den Werkstoff irgendwo weg, ja.“*

*I: Und die Frage ist, wie erhält man so ein Wissen, wenn es im Betrieb nicht mehr ...*

*B: Richtig, nicht mehr gefragt ist, keiner ist mehr da, den man dafür bezahlen kann, dass er das Wissen erhält. Und ein paar Jahre später stellt man fest, uns fehlt die Basis. Also, das Thema, das ist natürlich ganz weit weg von allem, was industriell bedeutsam ist, wenn man bloß das Tagesge-*

*schäft und das Quartalsergebnis anschaut. Es ist aber eine Frage des echten Know-how. Und das ist, denke ich, ein Thema, das geht zurzeit in unserer Volkswirtschaft absolut unter.“*

#### **4.2.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens**

Im Fallbeispiel wurden alle Methodenschritte vollständig durchlaufen. Hierbei hat sich die Vermittlung durch das Technologiecluster als hilfreich erwiesen. In mehreren Workshops konnten die einzelnen Interviewergebnisse noch einmal mit der Praxisgemeinschaft diskutiert werden; dies hat sich für ein allgemeines Verständnis des Technologiefeldes als hilfreich erwiesen. Da in den betroffenen Berufsbildern keine Neuordnung ansteht, musste jedoch zunächst Interesse für die Veranstaltung geweckt werden. Außerdem wurden im Workshop Erwartungen an die zukünftige Gestaltung eines eigenen Branchenberufs bzw. einer Zusatzqualifikation Faserverbund für unterschiedliche Branchenzusammenhänge formuliert, die aus Sicht der CoP zwar nachvollziehbar, vor dem Hintergrund einer gesamtsystemischen Betrachtung aber aufgrund der niedrigen bundesweiten Ausbildungszahlen nicht praktisch umsetzbar sind.

#### **4.2.8 Fazit**

Im Fallbeispiel wurde der Bedarf an einer Zusatzqualifikation „Automatisierungstechnik“ für Produktionsberufe deutlich, die vertiefte Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten in der Steuerungsprogrammierung vermittelt und zertifiziert.

Aus den unterschiedlichen Aussagen zur Weiterbildung und den vielfältigen identifizierten Kammerregelungen lässt sich die Empfehlung ableiten, eine bundesweit einheitliche Fortbildungsstruktur im Feld CFK zu gestalten (DQR Niveau 5–7) und die bisherigen unterschiedlichen Kammerregelungen darin zu integrieren.

### **4.3 Themenfeld Leichtbau: Fallbeispiel metallischer Leichtbau (Gießereitechnik)**

Dieses Fallbeispiel beschreibt eine inkrementelle Weiterentwicklung von Technologie in einem traditionell stark auf Facharbeit ausgerichteten Berufsfeld. Ursprünglich sollte die Wertschöpfungskette von der Konstruktion über die Fertigung (z. B. Gießereien) bis hin zur Montage in den Branchen (Automobil/Flugzeugbau/Maschinenbau) beschrieben werden. Die Untersuchung beschränkt sich jedoch auf den Bereich der Fertigung (Gießerei/Schmiede), weil hier die maßgeblichen Veränderungen der Facharbeit im Bereich des Leichtbaus nach Aussagen der interviewten Schlüsselpersonen beobachtbar sind. Der Schwerpunkt der Analyse liegt dabei auf dem Aluminiumdruckguss. Daneben wurde noch ein Interview im Bereich Aluminiumschmieden/Hybridschmieden geführt.

### 4.3.1 Technologiebeschreibung

Das zentrale Ziel im Leichtbau besteht darin, über die Konstruktion und Materialauswahl eine Gewichtsreduzierung bei gleichzeitiger optimaler Funktionalität und Qualität zu erreichen. Das Thema wird durch die Diskussion um Energieeffizienz getrieben. Anwendende Branchen sind daher vor allem die Fahrzeugindustrie, aber auch der Maschinen- und Anlagenbau. Grundsätzlich existieren drei verschiedene Prinzipien des Leichtbaus: Beim Materialleichtbau werden Werkstoffe verwendet, die in Relation zum Eigengewicht eine hohe Festigkeit und Steifigkeit haben. Beim Strukturleichtbau werden optimale Lastabtragungsmechanismen für eine Struktur entwickelt, z. B. um Biegebeanspruchungen zu vermeiden. Beim Systemleichtbau werden verschiedene Funktionen in einem einzelnen Bauteil vereint.

Das Fallbeispiel beschränkt sich auf den Materialleichtbau, konkret den metallischen Leichtbau, wobei beispielhaft nur zwei Prozesse beschrieben werden sollen: der Druckguss und das Hybridschmieden. Der Druckguss ist ein weit verbreitetes Fertigungsverfahren im metallischen Leichtbau, weil hier besonders geringe Wandstärken zu realisieren sind. Die Gussteile werden aus Aluminium-, Magnesium- und Zink-Legierungen hergestellt. Die Schmelze wird dabei zunächst in die Gießkammer einer Druckgießmaschine gefüllt und von dort mittels eines Kolbens unter hohem Druck (150 bis 1200 bar) mit hoher Strömungsgeschwindigkeit (10–150 m/s) in den Formhohlraum gepresst. Die Formen sind an bestimmten Stellen gekühlt oder beheizt, um eine optimale Erstarrung der Gussteile zu gewährleisten. Je nach Material kommen unterschiedliche Druckgussverfahren zur Anwendung (z. B. Kaltkammer-, Warmkammerdruckgießverfahren). Druckgussprozesse sind heute stark automatisiert (bdguss 2013). Durch das Um- oder Eingießen von Halbzeugen, also durch die Herstellung hybrider Bauteile, lassen sich zudem Fügeoperationen einsparen.

Ein weiteres Fertigungsverfahren im Leichtbau ist das Hybridschmieden. Hierbei handelt es sich um ein noch junges Verfahren, in dem Stahl mit Aluminium durch einen Schmiedeprozess verbunden wird. Das Verfahren befindet sich erst an der Schwelle von FuE in die betriebliche Anwendung. Auch Hybridsysteme (z. B. aus Stahl, Aluminium und Faserverbundkunststoffen) werden derzeit in FuE intensiv bearbeitet, und es ist zu vermuten, dass dies in Zukunft wiederum die industriellen Bearbeitungsprozesse verändern wird.

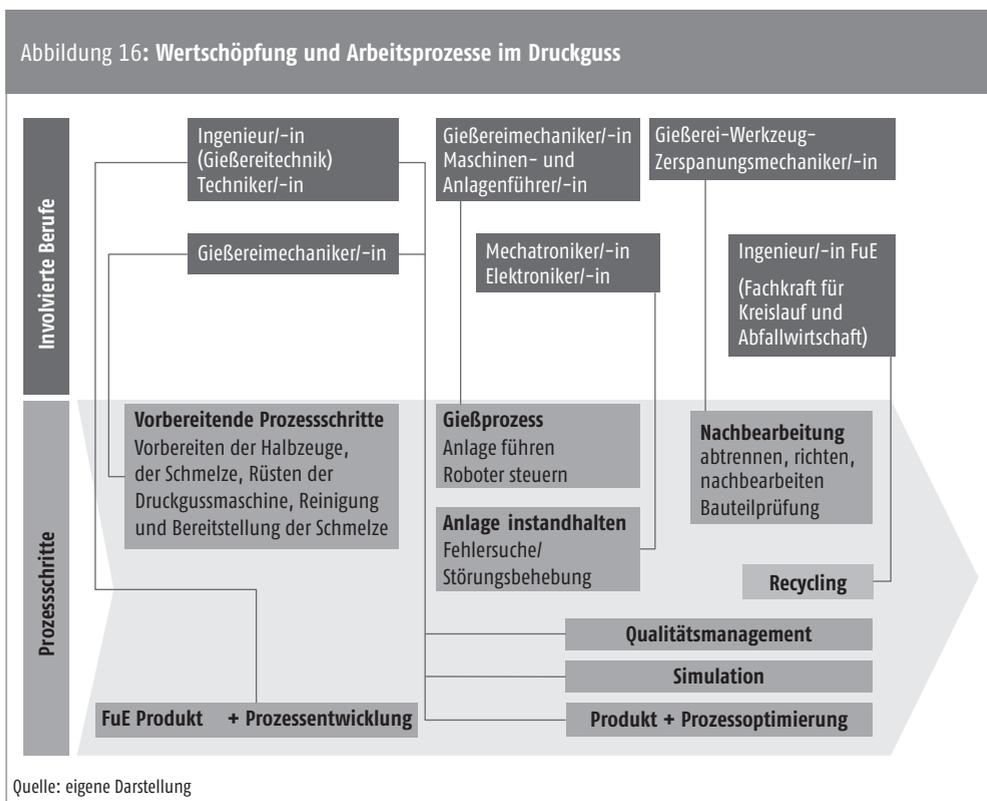
### 4.3.2 Empirie: Datengrundlage

Im Fallbeispiel wurden neun Interviews und zwei Gruppendiskussionen durchgeführt. Im Bereich des Druckgusses wurden drei Ausbilder, zwei Facharbeiter, ein Meister und zwei Ingenieure befragt. Ein weiteres Interview wurde gemeinsam mit der Ausbildungsleiterin und dem Geschäftsführer eines mittelständischen Betriebes aus dem Bereich des hybriden Schmiedens durchgeführt. Weitere Interviewteilnehmer waren ein Berufsschullehrer und ein

Vertreter eines Verbandes. Eine Gruppendiskussion fand im Rahmen eines betrieblichen Falls in der Gießerei eines Automobilherstellers und eine weitere im Rahmen eines Neuordnungsverfahrens zum/zur Gießereimechaniker/-in statt.

### 4.3.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette

Abbildung 16 zeigt die Prozessschritte für die Herstellung eines Hybridbauteils. Es wird unterschieden zwischen dem eigentlichen Druckgussprozess und den vor- und nachgelagerten Arbeitsprozessschritten sowie prozessbegleitenden Arbeitsschritten.



Dem Druckgussvorgang vorgelagert sind die Entwicklung eines Formkonzepts und serientauglicher Gießparameter, die Charakterisierung des Verbundguss- oder des Bauteilverhaltens. Dies sind ingenieurwissenschaftliche Tätigkeiten, die von erfahrenen Gießereimechanikerinnen und -mechanikern sowie Technikerinnen und Technikern unterstützt werden. Erfahrungswissen spielt hier eine besondere Rolle. Tätigkeiten auf Facharbeiterebene sind die Herstellung der Halbzeuge, die Konstruktion und Herstellung der Druckgießform, das Rüsten der Druck-

gussmaschine sowie die Herstellung, Reinigung und Bereitstellung der Schmelze. Hier sind vor allem Gießereimechanikerinnen und -mechaniker eingesetzt. Der eigentliche Druckgussvorgang ist ein automatisierter Prozess, der das Fahren der Anlage, Robotersteuerung sowie Fehlersuche und Störungsbehebung umfasst. Hier ist die gewerkeübergreifende Funktionsteilung zwischen Gießereimechanikerinnen und -mechanikern, Maschinen- und Anlagenführerinnen und -führern sowie Mechatronikerinnen und Mechatronikern zu verzeichnen.

Nachgelagerte Prozessschritte sind das Abtrennen von Anschnitt- und Überlaufsystem, ggf. Wärmebehandlung, ggf. Richten und mechanische Bearbeitung der Bauteile sowie die Bauteilprüfung. Hier sind neben Gießereimechanikerinnen und -mechanikern auch z. B. Werkzeug- und Zerspanungsmechanikerinnen und -mechaniker eingesetzt.

Hinzu kommen noch folgende prozessbegleitende Arbeitsschritte:

- ▶ **Dokumentation:** Die Dokumentation aller relevanten Parameter gewinnt zunehmend an Bedeutung, weil sensiblere Produkte eine höhere Genauigkeit der Prozesse erfordern. Eine Prozessoptimierung ist nur möglich, wenn alle feinen Veränderungen am laufenden Druckprozess nachvollziehbar und transparent sind. Im Rahmen der Automatisierung werden Produktionsdaten zunehmend maschinell im Prozess erfasst. Daneben müssen aber Störungen dokumentiert, PDCA-Listen (plan do check act) und weitere Checklisten gepflegt werden. Die Erfassung erfolgt meist am PC.
- ▶ **Qualitätssicherung:** Hier wurden folgende Tätigkeiten genannt: Qualitätsanforderungen anhand von DIN-ISO-Normen überwachen, Prüfverfahren anwenden (z. B. Röntgen, Spektralanalyse, Dichteindex, Richtprüfung, Zugprüfung), Prüfergebnisse dokumentieren und die Qualität anhand von Musterteilen bewerten. Dabei spielt die Sensibilität für 0-Fehler-Toleranz eine wichtige Rolle. Qualitätssicherung ist genau wie die Dokumentation eine von allen Beschäftigten wahrzunehmende Aufgabe, die je nach Funktion unterschiedliche Detailtiefe und Verantwortlichkeit aufweist.
- ▶ **Simulation:** Prozessauslegung und Qualitätssicherung erfolgen zunehmend auf der Grundlage von Simulationen. Hier ist auch in der Produktion die Anwendung von firmenspezifischer Simulationssoftware von wachsender Bedeutung. Die Interpretation der Simulationsdaten im Rahmen der Fehlerbehebung und die Anpassung des Gießprozesses auf der Grundlage der Daten ist eine Aufgabe von Ingenieurinnen und Ingenieuren, Technikerinnen und Technikern sowie in Einzelfällen auch von erfahrenen Facharbeiterinnen und Facharbeitern.
- ▶ **Optimierung:** Optimieren des Gießprozesses durch Feinabstimmung der Gießprozessparameter sowie die prozessübergreifende Produktoptimierung durch Optimierung der Peripherie (Sprühtechnik, Temperatur) sowie Auswertung und Analyse von Schadens- und Fehlermeldungen sind ebenfalls Aufgaben für erfahrene Facharbeiterinnen und Facharbeiter, Meisterinnen und Meister sowie Technikerinnen und Techniker in Abstimmung mit Ingenieurinnen und Ingenieuren.
- ▶ **Recycling:** Die Erarbeitung einer ökologisch und ökonomisch sinnvollen Recyclingstrategie ist eine Aufgabe, die bereits in FuE berücksichtigt wird und die dann entweder mit

speziellen Recycling-Abteilungen des Unternehmens oder externen Dienstleistern aus der Recyclingbranche umgesetzt wird. Hier kommen auf der Facharbeiterebene Fachkräfte für Kreislauf- und Abfallwirtschaft zum Einsatz.

- ▶ Das Haupteinsatzfeld der Industriemeisterin und des -meisters Gießereitechnik ist eindeutig das einer mittleren Führungskraft. Sie verantwortet die Überwachung und Steuerung des Prozesses sowie das Personalmanagement.

#### **4.3.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung**

Der Beruf Gießereimechanikerin und -mechaniker hat eine lange Tradition und ist in den interviewten Betrieben zweifelsohne die wesentliche Basis für die Facharbeit rund um den Produktionsprozess. Die befragten Ingenieurinnen und Ingenieure haben häufig ebenfalls zunächst eine Gießereimechaniker-Ausbildung absolviert und darauf aufbauend Fortbildung und/oder Studium angeschlossen. In den Betrieben werden die technologischen Veränderungen schon vor einer Neuordnung in die Ausbildung integriert. Die folgenden Ergebnisse sind daher Anforderungen an die neue Ausbildungsordnung aus Sicht der Betriebe, die diese bereits in die Ausbildung integriert haben.

##### **Ausbildung:**

- ▶ In den Betrieben wird eine zeitgemäße Grundbildung gefordert, die die Auszubildenden prozessorientiert mit den Grundlagen der Metallbearbeitung vertraut macht. Gute Erfahrungen wurden hier mit einem Einsatz im Werkzeugformenbau zur Vermittlung des Drehens, FräSENS und Schleifens gemacht. Der Bereich Werkzeugmechanik sollte nach Ansicht der befragten Ausbilder daher einen höheren Zeitanteil in der Ausbildung erhalten.
- ▶ Technologisch hochwertige Produkte stellen höhere Anforderungen an die Qualität und das Qualitätsmanagement. Dies erfordert Fachkenntnisse sowohl zum Produkt als auch zum Prozess und zum Material. Die Dokumentation von Fehlern und die Kommunikation im Team sind relevante Faktoren für erfolgreiches Qualitätsmanagement. Die Anforderungen an Methodenkenntnisse sind in diesem Bereich ebenfalls gestiegen. Systematische Qualitätssicherungsverfahren gewinnen an Bedeutung und werden schon in der Ausbildung vermittelt.
- ▶ Ein höherer Automatisierungsgrad führt zu erhöhten elektrotechnischen Anforderungen. Dies hat zur Folge, dass zukünftig die Schnittstelle zur Mechatronikerin/zum Mechatroniker neu definiert werden muss. Es herrschen unterschiedliche Ansichten darüber, in welchem Umfang SPS/CNC-Programmierkenntnisse von Gießereimechanikerinnen und -mechanikern zukünftig benötigt werden. Diese reichen von der Forderung, Mechatronikerinnen und Mechatroniker mit gießereitechnischem „Know-how“ auszubilden, bis hin zu der Forderung, an der klassischen Arbeitsteilung festzuhalten. Besonders kleine und mittelständische Betriebe vergeben nach Ansicht der Gruppendiskussionsteilnehmerin-

nen und -teilnehmer Instandhaltungsarbeiten an den Maschinen und Anlagen nach außen. Hier seien nur Anwenderkenntnisse notwendig und keine vertieften Kenntnisse in der SPS-Programmierung und Fehlerbehebung.

- ▶ Durch den verstärkten Einsatz von automatisierten Anlagen werden zunehmend hydraulische und pneumatische Kenntnisse benötigt. Dies sollte in einem größeren zeitlichen Umfang in der Ausbildung vermittelt werden.
- ▶ Überfachliche Inhalte wie Bürokommunikation, Lean Production und Compliance nehmen nach Ansicht der Befragten in den Betrieben an Bedeutung zu und werden schon während der Ausbildung vermittelt.
- ▶ Wichtige soziale und personale Kompetenzen sind Teamfähigkeit, Selbstmanagement, Sorgfalt und Problemlösefähigkeit.

### **Zusatzqualifikationen und Weiterbildung:**

Prozessauslegung und Qualitätssicherung erfolgen zunehmend auf der Grundlage von Simulationen. Die Interpretation der Simulationsdaten ist eine Aufgabe, mit der auch Facharbeiterinnen und Facharbeiter, vor allem erfahrene Facharbeiterinnen und Facharbeiter, Meisterinnen und Meister sowie Technikerinnen und Techniker konfrontiert sind. Die Fehlerbehebung und Anpassung des Gießprozesses auf der Grundlage der Daten ist ein Feld der betrieblichen Weiterbildung. Nach Ansicht der Gruppendiskussionsteilnehmerinnen und -teilnehmer ist die Implementierung dieser Aspekte in die Erstausbildung nicht ratsam, da diese Kenntnisse erst von erfahrenen Gießereimechanikerinnen und -mechanikern benötigt werden und keine Mindestanforderung darstellen.

In den befragten Betrieben wurden folgende Schulungen zur Anpassungsfortbildung angeboten: Elektrofachkraft, Staplerschein, Kranschein, SPS-Programmierung, CNC-Bearbeitung, Herstellschulungen (Druckgussmaschinen), Roboterhandling.

Einige dieser Angebote wurden auch als Zusatzqualifikationen (außerhalb BBiG) in der Ausbildung vermittelt (z. B. Elektrofachkraft, Roboterhandling). Die Diskussion im Neuordnungsverfahren zeigte, dass die Vermittlung der Elektrofachkraft durchaus als zertifizierte Zusatzqualifikation in der Branche sinnvoll wäre. Im Laufe des Verfahrens wurde der Impuls jedoch nicht weiter verfolgt.

### **4.3.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer/ Erfahrungswissen**

Im Bereich der Gießereitechnik spielt Erfahrungswissen eine bedeutende Rolle. Erfahrene Gießereimechanikerinnen und Gießereimechaniker sind gesuchte Spezialisten, die in die Feinauslegung des Prozesses sowie in die Produkt- und Prozessoptimierung miteinbezogen werden. Das nötige Erfahrungswissen erwerben Auszubildende in hochautomatisierten Betrieben vor allem in den vor- und nachgelagerten Arbeitsschritten. Eine Strategie in der Aus-

bildung ist es daher, die Ausbildungszeit in diesen Bereichen auszuweiten. Größere Betriebe, die ein Technikum für Neuentwicklungen vorhalten, nutzen auch diesen Bereich für die Ausbildung. Auch hier kann Erfahrungswissen besser vermittelt werden als an der Anlage. Die reine Anlagensteuerung ist ein Anlernprozess, der auch von Ungelernten mit einer entsprechenden Einweisung übernommen werden kann. Gießereimechaniker übernehmen hier zunehmende Aufgaben, die soziale Kompetenzen erforderlich machen, wie das folgende Zitat aus der Gruppendiskussion im Neuordnungsverfahren belegt:

*„Wenn wir heute eine Spitze, wir sind Zulieferer im Automobilbereich, Automotive, wenn heute eine Bestellung kommt, eine große, müssen wir von heute auf morgen Personal in die Firma reinholen, um diesen Großauftrag abzuarbeiten. Das ist oftmals nur kurzfristig für drei, vier, fünf Monate. Und dann muss dieser Facharbeiter, der muss in der Lage sein, auch andere anzulernen, die Aufgaben zu überwachen, und das sind halt Anforderungen, ja.“*

Materialtechnisches Erfahrungswissen ist aber nach wie vor erfolgskritisch für die Branche. Auch wenn der eigentliche Gießprozess verstärkt automatisiert wird und auch die Zuführung von Material in den vergangenen Jahren verstärkt mithilfe von Robotern erfolgt, werden Facharbeiterinnen und Facharbeiter mit Erfahrungswissen über den Gießprozess und das Materialverhalten benötigt, um die Prozessqualität zu überwachen und kurzfristig Gegenmaßnahmen bei Prozessabweichungen zu ergreifen. Dies ist umso mehr der Fall, je exakter die Prozessdurchführung konstant gehalten werden muss, um eine bestimmte Qualität des Produktes zu erzielen. Für die Produktion von hybriden Materialien und Bauteilen ist dies eine unabdingbare Grundvoraussetzung. Ein Interviewteilnehmer berichtete zudem von Versuchen von Betrieben, auf Gießereimechanikerinnen und -mechaniker zu verzichten und nur Anlagenführerinnen und -führer sowie Mechatronikerinnen und Mechatroniker einzusetzen. Dies habe sich in der Praxis nicht bewährt, da der automatisierte Gießprozess immer wieder anhand der spezifischen Gießparameter geprüft und justiert werden musste und gerade das Erfahrungswissen der Gießereimechanikerinnen und -mechaniker für qualitativ hochwertige Produkte erfolgskritisch war. Das im beruflichen Anwendungskontext gesammelte Erfahrungswissen spielt für die Übernahme verantwortlicher Fachaufgaben eine besondere Rolle. Erfahrene Facharbeiterinnen und Facharbeiter sind in Entwicklungsaufgaben in der Produkt- und Prozessentwicklung integriert und steuern hier Erfahrungswissen zum Prozess- und Materialverhalten mit bei.

### 4.3.6 Sonstige Ergebnisse

**Automatisierung:** Durch den gestiegenen Automatisierungsgrad wird vermehrt steuerungstechnisches Know-how benötigt. Hier wird die Arbeitsteilung zwischen Mechatronikerinnen und Mechatronikern, Elektronikerinnen und Elektronikern sowie den Gießereimechanikerinnen und -mechanikern in den Betrieben unterschiedlich wahrgenommen. Die Program-

mierung der Schnittstellen unterschiedlicher Maschinen, Anlagen und Industrieroboter sind von der Fehlersuche und Störungsbehebung an der Anlage zu unterscheiden. Ersteres wird klar als Aufgabe spezifischer Fachkräfte wie Mechatronikerinnen und Mechatronikern oder Elektronikerinnen und Elektronikern gesehen. Die Behebung von kleineren Störungen an der Anlage wird von den betrieblichen Praktikerinnen und Praktikern auch als eine Aufgabenstellung der Gießereimechanikerin und des Gießereimechanikers angesehen. Hierzu das Zitat eines Ausbildungsleiters:

*„Wir sind jetzt dabei, soweit weiterzuentwickeln, dass die Auszubildenden danach, wenn sie mit dem theoretischen Part und fachpraktisch, also mit, mit Steckerchen stecken in der Schule dann abgeleistet haben, noch mal n praktischen Part hier machen und danach den sogenannten E1er-Schlüssel (Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten, Anmerkung der Verfasser) bekommen können, der sie berechtigt, Schaltschränke zu öffnen und da irgendwelche Reparaturen durchzuführen. Mit dem Hintergrund, das ist das, was die Gießerei wollte. Dass die den E1er-Schlüssel haben, um kleinere Reparaturen selber durchführen zu können. Ich sage mal 80 Prozent der Fehler, die wir an der Druckgussmaschine haben, sind elektrischer Natur. Ja, 80 Prozent davon kann ich innerhalb der ersten 5 Minuten abstellen. Ich muss aber manchmal eine Stunde, zwei Stunden, drei Stunden auf den Elektriker warten. Dann steht, für ne Störung, die eigentlich nur fünf oder zehn Minuten oder ne Viertelstunde dauert, steht die Maschine zwei Stunden.“*

Grundsätzlich ist das Thema Steuerungstechnik in den vergangenen Jahren in viele Ausbildungsordnungen implementiert worden. Die Gruppendiskussion im Rahmen des Ordnungsverfahrens zur Gießereimechanikerin und zum Gießereimechaniker ergab hier ein Votum, die Ausbildung nicht zulasten der eigentlichen gießereitechnischen Inhalte zu verbreitern. Die gießereitechnischen Spezifika seien weiterhin die berufsprofilgebenden und dringend benötigten Kompetenzen. Demgegenüber sind einfache Instandhaltungsaufgaben an der Anlage bereits im Berufsbild der Gießereimechanikerin/des Gießereimechanikers enthalten.

#### **4.3.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens**

Im Fallbeispiel wurde der Methodenzyklus vollständig durchlaufen. Es wurden auf der Grundlage der Literaturrecherche Schlüsselpersonen identifiziert, die Hinweise zu Betrieben liefern konnten. Hier wurden sowohl Technologie- als auch Bildungsexpertinnen und -experten interviewt. In einem Betrieb war ein Fallbeispiel unter Einbezug aller Qualifikationsebenen möglich. Hier wurde auch eine Gruppendiskussion durchgeführt. Eine weitere Gruppendiskussion wurde im Rahmen des Neuordnungsverfahrens initiiert. Es ist anzumerken, dass der Ausbildungsberuf Gießereimechanikerin/Gießereimechaniker kein Monoberuf ist. Bislang wurde der Druckguss in der Fachrichtung Druck- und Kokillenguss ausgebildet.

Auch diese beiden verschiedenen Ausprägungen sind nur selten am selben Standort eines Betriebs vorhanden. Die notwendigen Praxiszeiten werden dann häufig in Verbundausbildung vermittelt. Daneben sind noch die Fachrichtungen Handformguss und Maschinenformguss zu nennen. Eine Annäherung an das Berufsbild über einen Technologieprozess stellt damit insgesamt für den Neuordnungsprozess eine Eingrenzung dar. Im Fallbeispiel wird somit ein Teil des Berufsbildes sehr detailliert beschrieben. Für einen Überblick über das gesamte Tätigkeitsfeld der Gießereimechanikerin/des Gießereimechanikers wäre eine ergänzende Analyse ohne technologische Schwerpunktsetzung notwendig gewesen. Dies hätte jedoch den Rahmen des vorliegenden Projektes gesprengt. Dennoch wurde das Fallbeispiel im laufenden Neuordnungsverfahren diskutiert, und Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den jeweiligen Fachrichtungen wurden erörtert. So ist der Automatisierungsgrad im Druckguss weiter fortgeschritten als in anderen Fachrichtungen, was zu unterschiedlichen Einschätzungen bezüglich der notwendigen steuerungstechnischen Expertise der Gießereimechanikerin/des Gießereimechanikers führt. Im Rahmen der Akquise haben viele der angefragten Betriebe ihre Teilnahme mit dem Hinweis auf fehlende zeitliche Ressourcen verweigert. Dabei wurde der Stellenwert einer solchen Untersuchung immer positiv hervorgehoben.

#### 4.3.8 Fazit

Folgende Aussagen hinsichtlich Methodik der Dauerbeobachtung wurden gemacht:

- ▶ Ist die Spiegelung einer Technologie an einem konkreten Berufsbild möglich, werden spezifischere Aussagen in Bezug auf Qualifikationsinhalte getroffen.
- ▶ Für den Feldzugang in die Betriebe hinein ist eine Untersuchung im Vorfeld eines Neuordnungsverfahrens in einem Beruf hilfreich.
- ▶ Technologien stellen häufig nur einen kleinen Ausschnitt im Gesamtprofil eines Ausbildungsberufes dar. Für den Input in ein Neuordnungsverfahren wäre eine umfassendere Qualifikationsanalyse des gesamten Berufsbildes und seiner Fachrichtungen hilfreicher. Hierbei würden jedoch die Aussagen im Hinblick auf eine bestimmte Technologie in den Hintergrund treten. Es ist daher im Rahmen der Dauerbeobachtung zunächst zu klären, welches Untersuchungsziel im Vordergrund steht (Technologie- versus Berufsfeldanalyse).

Sonstige Aussagen lauteten:

- ▶ Im Rahmen einer zunehmenden Automatisierung gewinnen Aufgaben, die die Instandhaltung der Anlage betreffen, an Gewicht.
- ▶ Berufliches Erfahrungswissen zum Gießereiprozess und Erfahrungen im Umgang mit dem Material werden zur Optimierung der Prozesse auch bei einem hohen Automatisierungsgrad benötigt. Die dem automatisierten Gießereiprozess vor- und nachgelagerten Prozessschritte sowie die Lehrwerkstatt gewinnen daher im Hinblick auf eine handlungsorientierte Ausbildung an Bedeutung.

## 4.4 Themenfeld Energiewende: Fallbeispiel Smart Grid

Das Fallbeispiel steht für den Diffusionsprozess einer Schrittmachertechnologie. Der Schritt von FuE in die betriebliche Umsetzung ist erst im Rahmen von Modellprojekten vollzogen. Da von den politischen Weichenstellungen im Rahmen der Energiewende ein starker Umsetzungsdruck vorhanden ist, kann dieses Feld auch als Beispiel für die Umsetzung einer Push-Innovation gelten. Die Technologie wird als Enabler für andere grüne Technologien angesehen und hat so einen großen Einfluss auf die Energiewende. Das Fallbeispiel beleuchtet die gestiegenen Anforderungen an die IK-Technik in der Energiewirtschaft.

### 4.4.1 Technologiebeschreibung

Charakteristisch für Strom aus erneuerbaren Energiequellen ist eine dezentrale und fluktuierende Stromerzeugung mit Einspeisung in Verteilnetze. Diese arbeiten derzeit – anders als Übertragungsnetze auf höheren Spannungsebenen – überwiegend ohne Systemmanagement und direkte Anbindung an zentrale Steuerungs- und Überwachungseinrichtungen. Für einen effizienten und zuverlässigen Systembetrieb müssen auch die Verteilnetze intelligent(er), also „smarter“ werden. Smart Grids ermöglichen auf der Grundlage durchgängiger Kommunikationsfähigkeit von Energieerzeugern, über Netzkomponenten bis hin zu Verbrauchern die Überwachung und das optimierte Management des Systems und begrenzen den Netzausbau auf das notwendige Maß. Technologie baut auf bereits existierenden Routinen auf, die auf die Verteilnetze übertragen werden müssen. (Technische, organisatorische, (datenschutz-)rechtliche und wirtschaftliche Herausforderungen werden derzeit in Modellprojekten bearbeitet.) Smart Grids stehen in engem Zusammenhang zu Smart Market und Smart Metering – in das Kommunikationsnetz eingebundene Stromzähler ermöglichen angebots-/nachfrageabhängige Tarife. *„Die Europäische Technologieplattform beziffert die erforderlichen Investitionen in Smart Grids bis zum Jahr 2030 auf insgesamt 390 Milliarden Euro.“* (T-SYSTEMS 2011)

Mit dem eigentlichen Thema „Ausbau intelligenter Netze“ ist eine Reihe von weiteren Fragestellungen verbunden. Der Bereich Smart Meter beschäftigt sich mit der Messung des Stromverbrauchs und den intelligenten Entnahme- und Einspeisestrategien. Der Begriff Smart Market steht für kaufmännisch-betriebswirtschaftliche Strategien zur Verwaltung, Beratung und Vermarktung im Themenfeld. Besonders hier sind noch zahlreiche Fragestellungen offen, die in der Zukunft neue Einsatz- und Geschäftsfelder für kaufmännische Dienstleistungen eröffnen. Um eine effektive und wirtschaftlich sowie versorgungstechnisch effiziente Vernetzung sicherzustellen, ist eine Gesamtbetrachtung all dieser Faktoren notwendig. Aus diesem Grund wurden in den vergangenen Jahren einige Großprojekte auf Bundes- und Länderebene mit multidisziplinärer Ausrichtung gestartet.

Für die Anwendung in privaten Haushalten ist zudem das Themenfeld Smart Home (ABICHT u. a. 2012) zu nennen, das die Vernetzung der Haustechnik über das Telekommu-

nikationsnetz zur Analyse und effizienten Steuerung umfasst. Hier ist eine breite Produktpalette auf dem Markt vorhanden, welche durch das Elektro- und SHK-Handwerk vertrieben, eingebaut und gewartet wird.

#### **4.4.2 Empirie: Datengrundlage**

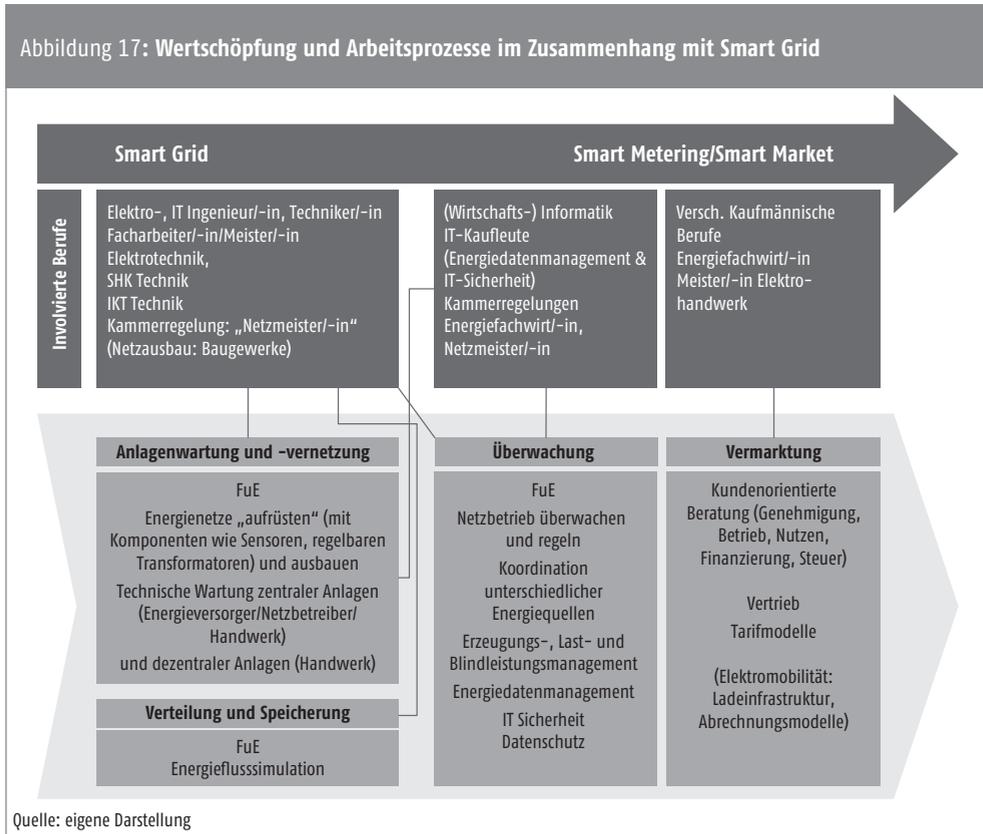
Datengrundlage des Fallbeispiels sind acht Interviews, wobei eins mit zwei Personen geführt wurde (Geschäftsführer und Ausbildungsleiter eines KMU im Bereich Energiedatenmanagement). Bei den Befragten der Einzelinterviews handelt es sich um einen Ausbilder im Bereich Telekommunikation, den Leiter Netzkunden und den Ausbildungsleiter eines Energieversorgungsunternehmens. Letztgenannter ist sowohl für Aus- und Weiterbildung als auch für die Schnittstelle zur Hochschule verantwortlich. Des Weiteren wurde der Projektmanager einer Handwerkskammer (Meister Elektroinstallation) sowie ein wissenschaftlicher Mitarbeiter einer Weiterbildungseinrichtung des Handwerks befragt. Daneben wurden noch der Gesamtprojektleiter eines umfangreichen, aus mehreren Teilprojekten bestehenden Forschungsprojektes im Bereich Smart Grid und der Geschäftsführer eines Zulieferbetriebes aus dem Bereich Energieversorgung mit den Schwerpunkten Breitband-Übertragung und Smart Metering interviewt.

#### **4.4.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette**

Die Wertschöpfungskette im Bereich Smart Grid verläuft von der Energieerzeugung über die Verteilung und Überwachung und wird durch kaufmännisch-betriebswirtschaftliche Prozesse (Smart Market) begleitet, um eine effiziente Nutzung der Energie zu gewährleisten. Dies hat zur Folge, dass eine breite Palette an Qualifikationen erforderlich ist, um eine wirklich effiziente Netzbetriebung und Steuerung zu gewährleisten und aufrechtzuerhalten. Die in den unterschiedlichen Interviews gefundenen arbeitsteiligen Prozesse und Tätigkeiten sind in Abbildung 17 zusammenfassend dargestellt und sollen an dieser Stelle erläutert werden.

Traditionellerweise sind im Bereich der Energieversorgung vor allem elektrotechnische Qualifikationen verortet. Kennzeichnend für die Entwicklung im Bereich Smart Grid ist die stärkere transdisziplinäre Ausrichtung der Gewerke aus den Bereichen Elektrotechnik, Heizung-Sanitär-Klima-Technik und Informations-/Kommunikationstechnik. Zudem ist durch die Verknüpfung verschiedener Energiequellen an unterschiedlichen Standorten und mit einer stärker ausdifferenzierten Betreiberstruktur eine Dezentralisierung auf der Erzeugerseite zu beobachten, was mit einer vermehrten Einbindung des Handwerks (Elektro-, SHK-Handwerk) verbunden ist. Im Hinblick auf eine intelligente Vernetzung dieser dezentralen Energiequellen sind bei den Energieversorgern und Netzbetreibern derzeit intensive Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten vorhanden, die erst langsam über Modellprojekte in die betriebliche

Praxis diffundieren. Daneben gibt es seitens der Energieversorgung und im Handwerk schon seit geraumer Zeit Veränderungen durch den Ausbau erneuerbarer Energien, die eine Zunahme von transdisziplinärer Zusammenarbeit der Gewerke Elektrotechnik und SHK nach sich gezogen hat. Dabei steigen die Anforderungen an steuerungstechnische Vernetzung stetig.



Zudem sind auch die Anforderungen an die kaufmännischen Tätigkeiten in diesem Bereich gestiegen. Im Zusammenhang mit dem Themenfeld Smart Market werden Absolventen und Absolventinnen kaufmännischer Berufe gesucht, die im Themenfeld Energiedatenmanagement über Expertise verfügen. Hier wird auch ein berufliches Einsatzfeld für IT-Kaufleute gesehen, die zudem im Themenfeld IT-Sicherheit über Expertise verfügen müssen. Dieser Beruf wird allerdings in der Branche noch nicht als passgenauer Beruf wahrgenommen. Weitere kaufmännische Tätigkeiten liegen im Bereich Beratung und Vertrieb. Davon betroffen sind sowohl kaufmännische Grundberufe (Steuerberatung, Beratung über Förderstrukturen) als auch die Meisterebene im Bereich des Handwerks (Vertrieb von spezifischen Produktlösungen).

Nimmt man, wie einige der Interviewten, das Zukunftsthema Elektromobilität und Ladeinfrastruktur noch mit in den Blick, könnten sich auch hier eine Reihe neuer Einsatzfelder für

kaufmännisch Beschäftigte erschließen. Allerdings wäre auch denkbar, dass mit einer vollständigen Umstellung auf Elektrofahrzeuge eine Reduzierung von Arbeitsaufgaben im Bereich Wartung und Reparatur einhergeht, da Elektromotoren im Vergleich zu Verbrennungsmotoren weniger wartungsintensiv und reparaturanfällig sind, weniger Komponenten benötigen und eher ein Austausch von Modulen als eine Reparatur vor Ort erfolgsversprechend scheint. Zum Thema E-Mobilität liegen an anderer Stelle umfangreiche Arbeiten vor (BECKER/SPÖTTL 2012); daher wurde es hier nur am Rand gestreift und steht nicht im Zentrum der Betrachtung. Eine vollständige Substitution von Verbrennungsmotoren erscheint zudem mittelfristig nicht realistisch.

Bezüglich der Qualifizierungsart grenzten die Interviewten Absolventinnen und Absolventen von (dualen) Bachelorstudiengängen und der Facharbeiter-/Meisterebene ab. Danach ist eine Substitution der dualen Berufe durch Bachelorstudiengänge im Bereich der Energiewirtschaft nicht zu erwarten. Vielmehr unterscheiden die Betriebe durchaus zwischen Qualifizierungsart und beruflichem Einsatzfeld. Hierzu ein interessantes Zitat:

*„Die dualen Bachelor sind für uns im Moment noch die Baukoordinatoren. Also man muss ein bisschen weiter ausholen: Alles, was so an Bautätigkeiten vorliegt, ist ja sehr stark outgesourct worden, das machen nicht mehr die Energieversorger, sondern Firmen die für uns im Auftrag arbeiten. Dennoch muss es beim Energieversorger noch Mitarbeiter geben, die diese Aufträge planen, durchführen, überwachen und letztendlich nachher auch abrechnen, abnehmen. Da gibt es sehr viele rechtliche Aspekte auch von Unfallverhütung angefangen bis eben auch zum Regelwerk DVGW und VDE-Regelwerke. Und alles, was eben planerisch vorausschauend perspektivisch ist, da sehe ich mehr die Bachelor und alles, was dann im praktischen Doing ist, vor Ort in der Umsetzung, also Begehung der Baustelle, Bewertung, ist der Grabenverbau richtig etc., da sehe ich eher die Meistertätigkeiten.“*

Die Expertise von erfahrenen Facharbeiterinnen und Facharbeitern und vor allem Meisterinnen und Meistern sowie Technikerinnen und Technikern wird auch in einigen Modellversuchen sehr geschätzt und in den FuE-Prozess miteinbezogen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Wertschöpfungskette des Smart Grid die Schritte Energieerzeugung, Anlagenbetreuung und -wartung, intelligente Netzverteilung und (Zwischen-)Speicherung umfasst, begleitet von kontinuierlichen Prozessen der Überwachung mit intelligenten Systemen und kaufmännischen Tätigkeiten der Beratung und Vermarktung.

#### **4.4.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung**

**Ausbildung:** Die involvierten technischen Berufe haben geringe Schwierigkeiten, die veränderten technologischen Anforderungen in die Ausbildung mitaufzunehmen. Es handelt

sich hierbei um eine inkrementelle Veränderung der bisherigen Tätigkeit: Die Ausbildungsordnungen bieten durch ihre offene Formulierung ausreichend Spielraum, um die Qualifizierungsbedarfe aufzunehmen. Veränderungen sind vor allem in einer notwendigen Vertiefung der IT-Kompetenzen zu verzeichnen. Allgemein wurde das Thema Energieeffizienz und Ressourceneffizienz als berufsübergreifendes Thema genannt, welches stärker in die Aus- und Weiterbildung verankert werden muss. Erst über ein Bewusstsein für die Systemzusammenhänge und eine dementsprechende Beratung und gezielte Planung von Anlagen und Gebäuden können erneuerbare Energien effizient genutzt werden. Hier gilt es nach Ansicht einiger Befragten vor allem im Handwerk stärker gewerkeübergreifend zu qualifizieren. Auch sollte die übergreifende Berufsbildposition Umweltschutz eine neue Ausrichtung erfahren. Im Rahmen des Smart Market entstehen neue Geschäftsfelder für kaufmännische Beschäftigte, während andere einfache kaufmännische Tätigkeiten durch eine stärker automatisierte Datenerfassung vor allem im Bereich der Abrechnung entfallen. Daneben bringen die Themen Smart Metering und Smart House eine ganze Angebotspalette an neuen Produkten mit sich, deren sinnvoller Einsatz und technischer Aufbau beherrscht werden muss. Letzteres sind jedoch keine Anforderungen, die neue Qualifizierungsmaßnahmen erforderlich machen. Folgende Qualifizierungsbedarfe für die involvierten Berufe wurden genannt:

- ▶ Elektronikerinnen und Elektroniker für Geräte und Systeme, Elektronikerinnen und Elektroniker für Informations- und Systemtechnik sowie Fachinformatikerinnen und Fachinformatiker werden in relativ ähnlichen Kontexten in der Energiewirtschaft eingesetzt: Hier gewinnt im Rahmen des Smart Grid vor allem das Thema IT-Sicherheit an Bedeutung. Die derzeit vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) entwickelten Schutzprofile und Sicherheitsrichtlinien werden Sicherheitsanforderungen vergleichbar mit denen im Banken- und Gesundheitswesen auch in der Energiewirtschaft erfordern. Durch die offene Formulierung der Ausbildungsordnungen sind diese Anforderungen bereits implizit enthalten.
- ▶ Elektronikerinnen und Elektroniker Energie- und Gebäudetechnik im Handwerk (HW) sowie Elektronikerinnen und Elektroniker für Infrastruktursysteme: Diese beiden Berufe werden in Zukunft ebenfalls stärker mit IT-Anforderungen bei der Installation von Gebäudetechnik betroffen sein. Sie werden eine breitere Produktpalette beherrschen müssen und sind auf eine engere Abstimmung mit den anderen Gewerken vor Ort angewiesen (vor allem mit der Anlagenmechanikerin/dem Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik).
- ▶ Anlagenmechanikerinnen und -mechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik stehen vor besonderen Herausforderungen. Durch das Thema Smart Grid, aber auch durch das verwandte Thema Kraft-Wärme-Kopplung (siehe dort) werden verstärkt steuerungs-technische Inhalte von den Fachkräften erwartet, die bislang nur in wesentlich geringerem Umfang notwendig waren.

- ▶ **IT-Kaufmann:** Es wird der Bedarf einer kaufmännisch-informationstechnischen Hybridqualifikation mit spezifischer Ausrichtung auf den Energiesektor formuliert. In eine mögliche Neuordnung der IT-Berufe sollte daher die Energiebranche miteinbezogen werden, um die gestiegenen Bedarfe an IKT-Qualifikationen, die in der Branche durch die Energiewende entstehen, aufzugreifen.

**Tertiäre Bildung:** Das Thema Datenschutz im Zusammenhang mit dem Smart Grid wird von einem Interviewteilnehmer als eine Anforderung an das Hochschulstudium formuliert. Informatikerinnen und Informatiker, die im Bereich Smart Grid arbeiten, müssten juristische Fragestellungen stärker berücksichtigen. Hier würde eine spezifische interdisziplinäre Ausrichtung notwendig. Diese Aussage müsste allerdings noch hinsichtlich ihres quantitativen Bedarfs überprüft werden.

- ▶ Die gestiegenen Anforderungen an eine interdisziplinäre Verknüpfung im Bereich der Versorgungssysteme wurde bereits in eine spezifische Kammerregelung auf Meisterebene aufgegriffen (Netzmeister/-in für die Versorgungssparten Strom, Gas, Wasser und Fernwärme). Hier stellt sich die Frage, ob mit dem stetigen Ausbau des Smart Grids auch die Erarbeitung einer bundeseinheitlichen Fortbildungsordnung nach §§ 53 BBiG bzw. 42 HwO verbunden sein sollte. Dabei könnte auch geprüft werden, inwieweit eine stärkere Orientierung an Berufslaufbahnkonzepten über alle Ebenen der beruflichen Fortbildung in der Energiewirtschaft im Zusammenhang mit der Energiewende sinnvoll ist.
- ▶ Kaufmännische Qualifikationen werden seitens des Handwerks für den Vertrieb, aber auch für die gezielte Kundenberatung zu förder- und steuerrechtlichen Aspekten benötigt. Hier wurde der Bedarf einer gesamtsystemischen Beratungskompetenz zum Gebäudemanagement formuliert. Entsprechende Qualifizierungsmaßnahmen wurden bislang auf der Ebene von Kammerregelungen entwickelt, teilweise flossen Ergebnisse aus Modellversuchen im Förderschwerpunkt „Berufsbildung für eine nachhaltige Entwicklung“ in diese Konzepte ein. Es existieren zurzeit mehrere Kammerregelungen für Energieberaterinnen und -berater im Handwerk. Es stellt sich die Frage, ob diese nicht in eine bundesweite Fortbildungsregelung überführt werden sollten.
- ▶ Angebote der Bildungsträger im kaufmännischen Bereich sind derzeit auf der Fortbildungsebene angesiedelt. So sind z. B. die Themen Energierecht, Energiemarketing und Vertrieb in der Kammerregelung für Energiefachwirtinnen und -fachwirte der IHK Berlin aufgegriffen worden. Auch hier wäre zu prüfen, ob der Bedarf für eine bundesweite Fortbildungsregelung besteht.

#### 4.4.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben unterschiedliche Aufgabenfelder und nutzen diverse Plattformen (Messen, Austausch mit Forschungsinstituten, Industriearbeitskreisen,

Produktmanagern der Industrie, Dialog mit Verbrauchern), um Themen zu erarbeiten. Zudem dienen regelmäßige Teamtreffen dem internen Wissenstransfer. Interessant war das Beispiel eines Betriebes aus der Telekommunikationsbranche, das vielfältige Maßnahmen zum Innovationstransfer in die Ausbildung nutzt. So werden z. B. die Auszubildenden selbst durch die Ausbildungsleitung nach Einsätzen in innovativen Feldern befragt, damit Neuerungen in den Geschäftsfeldern identifiziert und in die Ausbildung integriert werden können. Des Weiteren werden in diesem Unternehmen im Rahmen der Personalplanung Bedarfe ermittelt und an die Ausbildungsabteilung weitergeleitet. Spezifische Bedarfe werden auch durch die Geschäftsbereiche an den Ausbildungsbereich kommuniziert. Zur Verbesserung des Domänenwissens wurde im Bereich Smart Grid ein Informationsportal für die Auszubildenden eingerichtet, in dem Informationen zum Thema gesammelt werden (z. B. Projektberichte). Ebenso wird in Kooperation mit einer Fachabteilung ein Labor für den Bereich Smart Grid betrieben (Einbau eines Smart Meters im Testlauf), dessen Nutzung auch für Ausbildungszwecke pilotiert wird.

Weitere Firmen kooperieren mit Bildungsdienstleistern und geben Anregungen aus dem kontinuierlichen Verbesserungsmanagement an diese weiter, um Qualifizierungsmaßnahmen zu entwickeln. Der Innovationstransfer aus der Hochschule in die Forschung wurde ebenfalls angesprochen. Besonders bewährt haben sich Kooperationen mit (Fach-) Hochschulen und duale Studiengänge, in denen Forschungsfragen des Unternehmens als Projekt- oder Abschlussarbeiten durch die Studierenden bearbeitet werden. Auch über technische Produkte werden Inhalte zu neuen Prozeduren und zur Handhabung transportiert. So werden z. B. im Bereich Smart Meter über die Anforderung der Geräte und deren Bedienungsanleitungen Informationen zu neuen Herangehensweisen in die Betriebe hineingetragen. Wo dies nicht ausreichend ist, werden Schulungsbedarfe offensichtlich. Innovationstransfer im Handwerk findet hier über den Austausch der Kammern und deren Weiterbildungsangebote statt.

#### 4.4.6 Sonstige Ergebnisse

**Berufliches Erfahrungswissen:** Der Projektleiter des Modellversuchsprojektes stellte das Erfahrungswissen auf der Facharbeiterebene als sehr wesentlich für die Projektarbeit heraus. Erfahrene Facharbeiterinnen und Facharbeiter werden als wichtige Ansprechpartner/-innen für die Anforderungsanalyse im Rahmen der Modellprojekte angesehen.

**Arbeitsteilung:** Im Themenfeld Smart Grid wird deutlich, wie flexibel Betriebe in der Auswahl von Ausbildungsberufen sind. Für ähnliche Tätigkeiten werden im Fallbeispiel seitens der Energieversorger Elektronikerinnen und Elektroniker für Geräte und Systeme, Elektronikerinnen und Elektroniker für Informations- und Systemtechnik sowie Fachinformatikerinnen und Fachinformatiker ausgebildet. Die branchenübergreifende Flexibilität und inhalt-

liche Breite der Berufsbilder bietet für die Betriebe den Vorteil, dass sie die für sie passenden Berufe auswählen können und dennoch nur jeweils eine überschaubare Anzahl an Berufen ausbilden müssen.

#### 4.4.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens

Obwohl eine Vielzahl von Projekten mit Bezug zu Fragestellungen rund um das Smart Grid gefördert werden, sahen die Projektleiter keine Notwendigkeit, sich mit Fragen der Berufsbildung zu beschäftigen. Das Thema Qualifizierung wird zwar als wichtiges Thema gesehen, spielt aber in Projektfragestellungen und Forschungskonzeption kaum eine Rolle. Die Bereitschaft, am Interview teilzunehmen, war sehr gering. Von den identifizierten 15 Projekten auf lokaler und überregionaler Ebene konnte lediglich ein Projektleiter für ein Interview gewonnen werden. Da betriebliche Praktiker in den Interviews auf die Teilnahme ihrer Betriebe an geförderten Projekten hinwiesen und davon berichteten, konnten zumindest indirekt weitere Erfahrungen aus den Modellprojekten aufgenommen werden. Wünschenswert wäre sicherlich eine verbindlichere Struktur in den Förderrichtlinien, um qualifizierungsrelevante Ergebnisse unmittelbar aus den Förderprojekten zu gewinnen (siehe auch HARTMANN 2013). Dies erscheint vor allem in Projekten mit hohem Anwendungsbezug und industrienahen Projekten vielversprechend.

#### 4.4.8 Fazit

Aussagen Methodik der Dauerbeobachtung:

- ▶ Förderpolitisch geprägte Begriffe sind häufig unscharf und bringen Definitionsprobleme mit sich, wie die Auseinandersetzung mit den Begriffen Smart Grid, Smart Meter und Smart Market zeigt.
- ▶ In anwendungsnahen Förderlinien und Modellprojekten im Bereich der Technologieförderung sollte eine verbindliche Anbindung an Fragestellungen der Qualifikationsforschung etabliert werden.
- ▶ Dauerbeobachtung auf der Fortbildungsebene könnte durch die Beobachtung und quantitative Bedarfsabfragen in Bezug auf kammergeregelte Fortbildungsabschlüsse systematisiert werden.

Sonstige Aussagen:

- ▶ Technologische Veränderungen diffundieren in unterschiedliche Berufsbilder und haben auch Auswirkungen auf kaufmännische Qualifikationen (siehe Aussagen zum IT-Kaufmann).
- ▶ Branchenübergreifende Flexibilität und inhaltliche Breite der (elektro- und informationstechnischen) Berufsbilder bieten für die Betriebe den Vorteil, dass sie die für sie passenden

Berufe auswählen können und dennoch nur jeweils eine überschaubare Anzahl an Berufen im Unternehmen ausbilden müssen.

## 4.5 Themenfeld Energiewende: Fallbeispiel Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Das Fallbeispiel steht für einen Diffusionsprozess im Stadium der Schlüsseltechnologie im SHK (Sanitär-Heizungs-Klima)-Handwerk. Der Bearbeitungsprozess ist in der Branche neuartig, da sich die Anlagenmechanikerin-SHK und der Anlagenmechaniker-SHK erstmals mit einem Verbrennungsmotor befassen. Im Fallbeispiel soll auch die Bedeutung von Kompetenzzentren und ÜBS auf die Technologiediffusion ins Handwerk reflektiert werden. Zudem steht das Fallbeispiel auch in einer inhaltlichen Nähe zum Fallbeispiel Smart Grid, da Mikro-KWK-Anlagen in Privathaushalten erst durch die Netzanbindung ihren wahren Nutzen entfalten können.

### 4.5.1 Technologiebeschreibung

Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) besteht in der gleichzeitigen Umwandlung von Primärenergie (z. B. Erdgas) in elektrische Energie und der Bereitstellung der Abwärme als Nutzwärme (energieeffizientere Nutzung von Primärenergie). KWK-Anlagen werden in unterschiedlichen Größen betrieben: von großen Heizkraftwerken für die Fernwärme bis hin zu den im Fallbeispiel betrachteten Klein- oder Mikro-Blockheizkraftwerken für Gewerbebetriebe oder private Haushalte. Neu ist die virtuelle Vernetzung mehrerer solcher Blockheizkraftwerke zu virtuellen Kraftwerken (Verbindung zu Smart Grid).

Durch die Kopplung von Stromerzeugung und Wärmebereitstellung (Nah- oder Fernwärme, Prozesswärme) lässt sich der Gesamt-Wirkungsgrad auf bis zu 95 Prozent steigern, während er bei fossil befeuerten Kraftwerken zur Stromerzeugung ohne Nutzung der Abwärme lediglich eine Größenordnung von etwa 40 Prozent erreichen kann. Im Vergleich zur getrennten Energieversorgung mit Strom aus einem Kondensationskraftwerk und Wärme aus einem Heizkessel werden bis zu 30 Prozent Primärenergie eingespart. Größere Anlagen sind bereits seit Langem etabliert, weshalb das Augenmerk in dieser Studie auf die kleinen dezentralen Anlagen gelegt wurde.

Der Begriff Blockheizkraftwerk (BHKW) ergibt sich daraus, dass verschiedene Module zu einer Anlage verbunden werden. Wesentliche Komponenten sind dabei Kraftmaschinen wie Verbrennungsmotoren als derzeit häufigste Variante, Gasturbinen oder Stirlingmotoren zur Umwandlung der Primärenergie in mechanische Energie, ein Generator zur Umwandlung der mechanischen in elektrische Energie sowie Wärmetauscher, um die thermische Energie im Abgas und Motorkühlwasser bzw. -schmieröl für die Warmwasserversorgung und Heizung verwenden zu können. Das BHKW wird dann in die übliche Hausinstallation eingebunden.

Hierbei sind neben dem eigentlichen BHKW auch weitere Elemente wie Spitzenlastkessel und Pufferspeicher etc. eingebunden, deren aufeinander und auf die Kundenbedürfnisse abgestimmte Dimensionierung wesentlich zur Wirtschaftlichkeit der Anlage beiträgt.

Verschiedene Hersteller bieten unterschiedliche Anlagen an und vertreiben diese über ihr etabliertes Vertriebsnetz. In Deutschland kommt derzeit in dezentralen Anlagen in der Regel Erdgas als primäre Energiequelle zum Einsatz, aber auch Flüssiggas, Heizöl, Pflanzenöl oder Holz sind möglich. Der erzeugte Strom wird entweder selbst genutzt oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Hierbei entsteht der Bedarf an einer intelligenten Vernetzung einzelner Anlagen (virtuelle Kraftwerke, Schwarmstrom), wodurch das Fallbeispiel sehr eng mit dem vorherigen verknüpft ist und viele Querbezüge aufweist. Die Verwendung von Brennstoffzellen als primäre Energiequelle wird in jüngster Zeit in FuE vorangetrieben und steht an der Schwelle zum Markteintritt. Bei dieser Technologie wird der eingesetzte Energieträger direkt über eine elektrochemische Reaktion in elektrische Energie umwandelt.

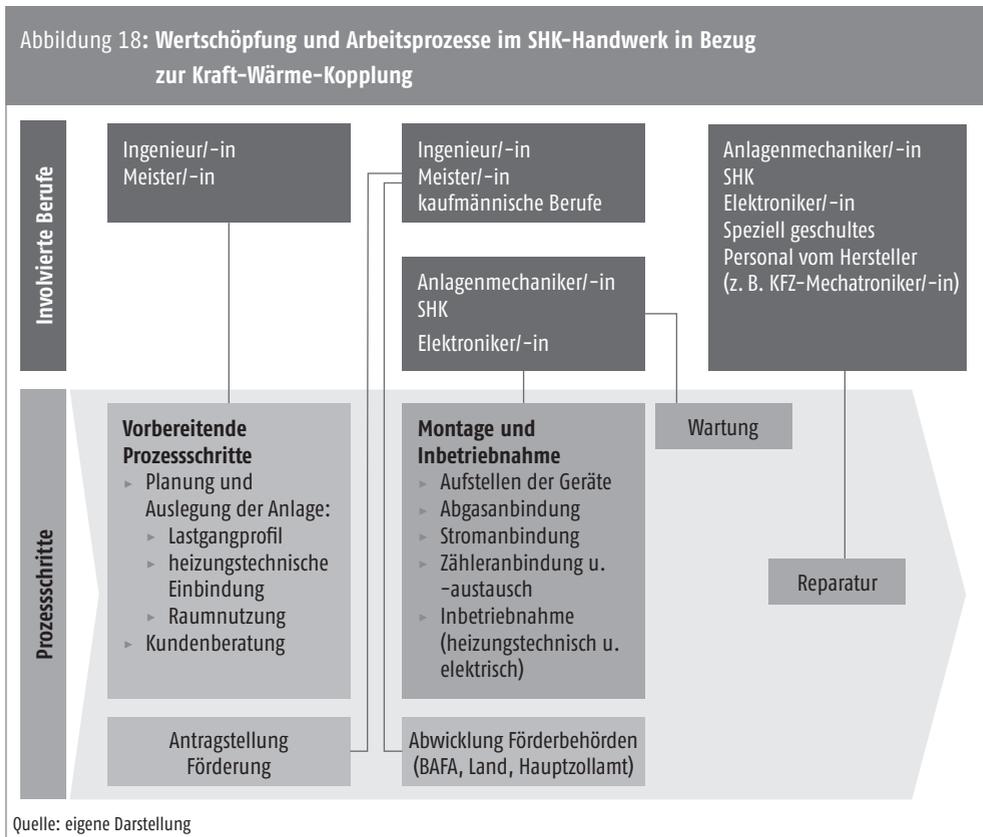
#### **4.5.2 Empirie: Datengrundlage**

Es wurden sechs Interviews geführt. Folgende Personen wurden befragt: zwei Geschäftsstellenleiter von Verbänden im Bereich KWK, der Projektleiter einer Handwerkskammer mit Schwerpunkt KWK, der Schulungsleiter einer Herstellerfirma, der Leiter eines Handwerksbetriebes mit Schwerpunkt Erneuerbare Energien und der Geschäftsführer eines Betriebes, der sowohl KWK-Anlagen eines bestimmten Herstellers vertreibt als auch selbst Anlagen aufbaut. Daneben wurde das Thema KWK auch in einigen der Interviews zum Themenfeld Smart Grid thematisiert. Diese Aussagen flossen ebenfalls in die Auswertung ein.

#### **4.5.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette**

Die Wertschöpfungskette verläuft von den Herstellern ins SHK-Handwerk. Sowohl etablierte Herstellerfirmen aus dem Bereich der Heiztechnik bieten KWK-Anlagen an als auch Hersteller aus dem Bereich der Elektrotechnik. Herstellerseitig ist die Produktion von KWK-Anlagen nicht mit neuartigen Arbeitsaufgaben und Anforderungen an die Facharbeit verbunden. Der Bereich der Produktschulung ist ein Geschäftsfeld, das durch den Bereich KWK vor größeren Herausforderungen steht, weil seitens der Kunden aus dem Handwerk ein großer Weiterbildungsbedarf vorhanden ist. Abbildung 18 zeigt die Prozessschritte im SHK-Handwerk. Hier beginnt der Prozess mit der Planung und Auslegung der Anlage durch besonders geschultes Personal. In größeren oder auf KWK spezialisierten Betrieben sind hier auch Ingenieurinnen und Ingenieure (Maschinenbau, Elektrotechnik) anzutreffen, die sowohl Führungsaufgaben als auch planerisch konzeptionelle Arbeitsaufgaben wahrnehmen. Weiter sind sowohl speziell geschulte Meisterinnen und Meister sowie Facharbeiterinnen und Facharbeiter an diesem Arbeitsschritt

beteiligt. Hier werden Kundenbedürfnisse und technische Möglichkeiten des Produktes bewertet, spezifische Lastgangprofile erstellt und die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage berechnet. Die Beratung der Kunden stellt dabei eine besondere Anforderung dar. Die heizungstechnische Einbindung und das Raumkonzept zum Aufstellen der Anlage werden konzipiert. Dabei müssen auch Aspekte des Transports der Anlage berücksichtigt werden. Durch das höhere Volumen und Gewicht der KWK-Anlagen gegenüber einer konventionellen Heizungsanlage wird der Einsatz von Hilfsmitteln notwendig, der geplant und mit den räumlichen Gegebenheiten abgeglichen werden muss. Hat der Kunde sich für ein spezifisches KWK-Produkt entschieden, erfolgen in dieser frühen Phase neben der Antragstellung beim Energieversorger auch das Einwerben von Fördermitteln aus unterschiedlichen Förderquellen, also Tätigkeiten, die in den kaufmännischen Bereich fallen. Entsprechend sind neben den zuvor genannten erfahrenen technischen Fachkräften auch kaufmännische Fachkräfte eingebunden. Die kontinuierliche Beobachtung der Förderlandschaft stellt im SHK-Handwerk eine wettbewerbskritische Aufgabe dar.



Der Prozessschritt Montage und Inbetriebnahme betrifft das Aufstellen der Geräte vor Ort, die heizungstechnische und regelungstechnische Einbindung sowie die abgastechnische Ein-

bindung, die gegenüber herkömmlichen Heizungsanlagen aufwendiger ist, da aufgrund der Auslegung einer Anlage teilweise mehrere Abgassysteme miteinander kombiniert werden. Daneben erfolgt die Stromanbindung, aber auch die Anbindung an den Stromzähler bzw. der Austausch der Stromzähler für die Einbindung der Anlage in das Stromnetz des Energieversorgers. Zu diesen Tätigkeiten sind nur Elektronikerinnen und Elektroniker befugt. Es folgt die Inbetriebnahme der Anlage und die steuerungstechnische Anpassung an das ermittelte Lastgangprofil. Die Inbetriebnahme muss für die Meldung bei den Förderbehörden und beim Energieversorger dokumentiert werden. Die Abwicklung der förderrechtlichen Meldung ist ein weiterer kaufmännischer Prozessschritt. Weitere Prozessschritte sind die Wartung und die Reparatur der Anlage. Während mit der Wartung häufig die SHK-Anlagenmechaniker/-innen der Handwerksbetriebe betraut sind, werden Reparaturen häufig von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Herstellerfirmen mit einem produktspezifischen Fachwissen durchgeführt. Wegen ihrer Nähe zum Verbrennungsmotor sind damit auch KFZ-Mechatronikerinnen und -Mechatroniker betraut. Die Motorwartung ist aufwendiger als bei herkömmlichen Heizungsanlagen. Für die Wartung ist in jedem Fall eine Herstellerzertifizierung für das jeweilige Produkt notwendig. Der Erwerb dieser Servicemonteurkarten hat in der Regel einen zeitlichen Umfang von drei Tagen.

#### 4.5.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung

**Ausbildung:** Der Beruf der SHK-Anlagenmechanikerin/des Anlagenmechanikers wird von einer sehr breiten Produktpalette geprägt. Aus dieser Produktvielfalt lassen sich sehr spezifische Anforderungen an die Fachkräfte ableiten. Auch für die Montage von KWK-Anlagen ist das Berufsbild grundlegend. Es besteht jedoch ein über die Ausbildungsinhalte hinausgehender Schulungsbedarf. Dieser betrifft folgende Aspekte:

- ▶ KWK-Anlagen sind gegenüber herkömmlichen Heizungsanlagen deutlich komplexer. Denken in den hydraulischen Systemzusammenhängen der Anlage ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung der Anlage. Hierzu ein Zitat:  
*„Die handwerkliche Ausbildung ist natürlich wichtig und sollte auch durchgeführt werden, aber das Denken im System, das halt nicht Rohrleitung von A nach B, sondern wie funktioniert das System nachher, wie sind die Ströme der Flüssigkeiten, welches Gerät muss wann schalten, welche Pumpe muss wann laufen und so weiter. Das ist auch wesentlich, das erleichtert auf jeden Fall nachher den Bau der Anlage. Wenn ich weiß, was die Anlage tut, kann ich sie besser richtig bauen, als wenn ich nichts von der Anlage weiß.“*
- ▶ Insgesamt nimmt nach Aussagen der Interviewpartnerinnen und -partner der Bedarf an steuerungstechnischem und elektrotechnischem Know-how im Bereich des SHK-Handwerks zu. Das Verdrahten der Anlage selbst wird durch die Anlagenmechaniker/-innen vorgenommen, die hierfür auch eine Schulung zur Elektrofachkraft für festgelegte Tätig-

keiten erhält. Durch die Einbindung der KWK-Anlage an das Versorgungsnetz des Energieversorgers entstehen zusätzliche Anforderungen, die eine stärker interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Elektronikerinnen und Elektronikern notwendig macht und auch eine spezifischere steuerungstechnische Expertise bei dem Anlagenmechaniker/der Anlagenmechanikerin selbst erfordert.

- Die Wartungsarbeiten am Motor weichen von den Wartungsarbeiten von herkömmlichen Heizungsanlagen ab. Hier besteht ein besonderer Schulungsbedarf. Öl muss mit spezifischen Werkzeugen und Vorrichtungen gewechselt und fachgerecht entsorgt werden, Zündkerzen müssen ausgetauscht werden. Durch die offene Formulierung der Ausbildungsordnung ist die Integration dieser Aspekte in die berufliche Erstausbildung für Betriebe, die KWK-Anlagen aufbauen, problemlos möglich.

Da KWK nur ein komplexes Produkt unter vielen in der Produktpalette des SHK-Handwerks darstellt, steht das Themenfeld in der Ausbildung nicht im Mittelpunkt. Betriebe, die die Technologie einsetzen, können aufgrund der technikoffenen Formulierung der Ausbildungsordnung die Technologie vermitteln und auch im Rahmen des betrieblichen Auftrags zum Prüfungsgegenstand machen. Um eine weitere Verbreitung der Technologie zu begünstigen, könnte das Thema auch in der Berufsschule oder der überbetrieblichen Ausbildung intensiver vermittelt werden.

**Weiterbildung:** Der Beruf der Anlagenmechanikerin und des -mechanikers SHK ist vielfältig und bietet eine breite Grundlage in mehreren Anwendungsfeldern. Die Interviewpartnerinnen und -partner halten jedoch eine fachliche Spezialisierung im Feld KWK für notwendig, um KWK-Anlagen professionell planen, montieren und warten zu können. Qualifizierungsmaßnahmen werden vor allem in Form von Herstellerschulungen angeboten und wahrgenommen. Hier werden spezifische Produktkenntnisse vermittelt. Allerdings bleibt es dann häufig dem Praktiker selbst überlassen, die unterschiedlichen Produktschulungen in einen Systemzusammenhang zu stellen. Dies bringt zudem einen hohen Weiterbildungsaufwand für Firmen mit sich, die nicht von einem Anbieter abhängig sein und Kunden eine bedarfsgerechte Produktpalette und Servicedienstleistung anbieten möchten. Die Branche hat einen hohen Schulungsaufwand und daher das Thema Weiterbildung in den aktuellen Tarifvertrag aufgenommen. Ein Interviewter berichtete, dass seine Mitarbeiter im zeitlichen Umfang von ca. sechs Tagen pro Jahr an Weiterbildungen teilnehmen, zum größten Teil in Form von (kostenpflichtigen) Herstellerschulungen. Es besteht auch ein Bedarf an übergreifendem Fach- und Handlungswissen im Zusammenhang mit KWK, der bereits über Förderprojekte auf europäischer und nationaler Ebene bearbeitet wurde. Hier wurden z. B. aktuell Pilotschulungen innerhalb der CoP erarbeitet, die sowohl allgemeine Weiterbildung (fünf Module) als auch eine Schulung für ein Herstellerzertifikat für unterschiedliche Produkte verschiedener Hersteller in Form von Blended Learning anbietet (HWK Osnabrück). Die HWK Osnabrück bereitet darauf aufbauend bereits Fortbildungsregelungen auf Kammerebene mit unterschiedlichen Herstellerfirmen

vor. Der Bundesverband KWK hat in Zusammenarbeit mit Akteuren aus anderen Feldern im Bereich der erneuerbaren Energien Module erstellt. Diese beinhalten u. a. das Thema KWK. Auch Weiterbildungsträger (z. B. Handwerkskammern, IHK, TÜV-Süd, Energieagenturen) bieten bereits allgemeine Schulungen an, die auch einen Überblick über Hersteller und Produkte auf dem Markt bieten und bei denen vor allem die Planung von KWK-Anlagen im Vordergrund steht. Zielgruppen sind dabei neben dem SHK-Handwerk auch Ingenieurinnen und Ingenieure, Architektinnen und Architekten sowie Bauträger, Wohnungsbaugesellschaften und Energieversorger.

Qualifizierungsbedarf in der Weiterbildung besteht produktunabhängig in Bezug auf folgende Themen:

- ▶ Planung, Dimensionierung und Auslegung von KWK-Anlagen unter Berücksichtigung energetischer, wirtschaftlicher und technischer Aspekte
- ▶ Kundenberatung in Bezug auf Planung und Nutzung der Anlage
- ▶ KWK-Motoren und Brennstoffzellen: Spezifika von Funktion, Handhabung, Montage und Wartung
- ▶ Hydraulik
- ▶ Regelungstechnik
- ▶ Elektrofachkraft
- ▶ Marketing
- ▶ Förderrechtliche und steuerrechtliche Aspekte
- ▶ Vertragsgestaltung mit dem Energieversorger

#### 4.5.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer

Der Innovationstransfer läuft über die Produktschulungen der Hersteller ins Handwerk. Dabei entstehen allerdings Abhängigkeiten von bestimmten Herstellern und Produkten. Außerdem ist ein Gesamtüberblick über die Möglichkeiten der Technologie so nicht gegeben. Aufgabe von Kompetenzzentren, Kammern und überbetrieblichen Ausbildungsstätten ist demgegenüber, einen Überblick über unterschiedliche Produktpaletten und Einsatzmöglichkeiten zu bieten und die hinterlegten Wirkprinzipien, aber auch die unterschiedlichen notwendigen Wartungsarbeiten zu schulen. Seitens der Hersteller wird eine solche übergreifende Schulung durchaus positiv gesehen, weil sie auch eine Unterstützung für die Marktdurchdringung dieser Technologie bietet, wie das folgende Zitat belegt:

*„Und die (Hersteller) machen letztlich vor allen Dingen eine Erfahrung, wir haben da ein Produkt (...), ein Markt dafür ist da. Warum läuft das nicht? Vor diesem Hintergrund stellt sich immer wieder die Frage, wie kann man dieses Produkt wirklich auch noch mal mehr ins Bewusstsein bringen? Wie kann man darüber aufklären, wo es sinnvoll eingesetzt werden kann? Und alle diese Punkte laufen immer wieder an einer Stelle da aus, wo es heißt, das Handwerk ist letztlich*

*das Nadelöhr, durch das die Kraft-Wärme-Kopplung kommen muss. Aus der Perspektive heraus erfahren wir eine breite Unterstützung, weil überall die Notwendigkeit gesehen wird, dass Handwerker auch Botschafter der Kraft-Wärme-Kopplung sind. Und das sind sie nur, wenn sie davon überzeugt sind. Und davon überzeugt sind sie nur, wenn sie Informationen haben.“*

Das Thema Brennstoffzelle KWK ist ein interessantes Beispiel für einen Fall, in dem Schulung schon vor Markteintritt eines Produktes aus einer Projektförderung heraus entwickelt und angeboten wird. Das beteiligte Kompetenzzentrum räumt allerdings ein, dass lediglich bei einer kleinen Gruppe innovativer Unternehmen Interesse an solch einer vorauseilenden Schulung vorhanden ist. Für die Schulung wird bundesweit eine Teilnahme von 16 Personen erwartet.

#### 4.5.6 Sonstige Ergebnisse

**Technologiediffusion:** Am Fallbeispiel KWK kann gezeigt werden, wie sich eine Technologie inkrementell weiterentwickelt und in ein neues Anwendungsfeld diffundiert: Das technologische Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung ist nicht neu. Große Anlagen existieren bereits seit Langem und werden zur Erzeugung von Fernwärme genutzt. Seit 1992 ist der Bestand an KWK-Anlagen von unter 1 000 auf rund 50 000 im Jahr 2013 gestiegen (BROEKMANS/KRÄMER 2014). Der größte Zuwachs ist bei den kleinen Anlagen zu verzeichnen, die durch Handwerksbetriebe des SHK-Handwerks in kleineren gewerblich genutzten Gebäuden und Privathaushalten verbaut werden. Treiber dieser Entwicklung ist die Energiewende, da KWK-Anlagen gut geeignet sind, Regelungsbedarfe, die aufgrund von Schwankungen in der Energieerzeugung durch Sonne und Windkraft entstehen, zu decken (ebd., S. 9). Dabei spielt staatliche Förderung eine bedeutende Rolle, um die Technologie auf dem Markt konkurrenzfähig gegenüber etablierten Energieerzeugern und den staatlich stark geförderten erneuerbaren Energien zu machen. Hier wird seitens der Interessenverbände auch verstärkt der Nutzen von KWK als Systemstabilisator in einem Stromnetz, das auf die Nutzung erneuerbarer Energien hin ausgelegt ist, betont. Die Einordnung in den Technologielebenszyklus fällt daher differenziert aus: KWK-Großanlagen können als Basistechnologie angesehen werden. Kleinere KWK-Anlagen als Insellösungen in Gewerbebetrieben und Privathaushalten auf der Basis von Gasmotoren sind im Stadium der Schlüsseltechnologien, d. h. es sind bereits Anwender auf dem Markt vorhanden. Weitere Ausprägungen, wie z. B. KWK auf der Basis von Brennstoffzellen, sind noch im Stadium der Schrittmachertechnologie. Auch die intelligente Vernetzung mit dem Smart Grid befindet sich noch in diesem Stadium, steht jedoch an der Schwelle zum Markteintritt. Einzelne Projektlösungen sind in der Felderprobung.

Ein Interviewpartner erwähnte, dass ungedeckte Qualifizierungsbedarfe in der Begleitforschung eines Förderprogramms als Hinderungsgrund für die Technologiediffusion von KWK identifiziert wurden. Daraufhin wurden im Umfeld dieses Programms Qualifizierungsmaßnahmen konzipiert. Eine Schwierigkeit besteht allerdings darin, diese Schulungen in der Praxis zu verbreiten. Hier könnte durch ein Angebot im Rahmen der Erstausbildung in der

überbetrieblichen Ausbildung gezielt eine Förderung von regenerativen Energien vorange-  
trieben werden. Voraussetzung hierfür wäre die Definition von sinnvollen Lerninhalten und  
eine aktuelle und zeitgemäße technische Ausstattung der ÜBS sowie die Qualifizierung des  
Lehrpersonals für diese Themen.

**Produktabhängigkeit von Qualifizierung:** Im Fallbeispiel wird deutlich, wie stark Quali-  
fizierung auch von der komplexen Produktpalette im SHK-Handwerk abhängig ist. Das Be-  
rufsbild der Ausbildungsordnung stellt dabei eine Grundqualifizierung dar, die je nach be-  
ruflichem Einsatzfeld durch Produktschulungen unterschiedlicher Hersteller ergänzt wird  
(werden muss). Diese Herstellerzertifikate nehmen Einfluss auf die berufliche Mobilität der  
Facharbeiterinnen und Facharbeiter. Kompetenzzentren im Handwerk, Berufsschulen und  
überbetriebliche Bildungseinrichtungen können dabei durch Kooperationen mit (mehreren)  
Herstellern dazu beitragen, dass auch die Auszubildenden von kleinen oder eher traditio-  
nell ausgerichteten Betrieben eine zukunftsweisende Ausbildung erhalten. Durch ein solches  
Angebot können diese Akteure aktiv zum Innovationstransfer in KMU beitragen. In einem  
untersuchten Kompetenzzentrum wurde versucht, ein über die Herstellerschulung hinausge-  
hendes angebotsorientiertes Schulungsprogramm am Markt zu etablieren, um systemische  
und technologische Aspekte von KWK-Anlagen produktübergreifend zu schulen.

#### 4.5.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens

Im Fallbeispiel konnten sowohl Schulungsabteilungen von Herstellern als auch ÜBS und Kam-  
mern als wichtige Informationsträger für Fragen nach Qualifizierungsbedarfen durch neue  
Technologien identifiziert werden. Auch die Kombination unterschiedlicher Experten aus der  
Praxis mit Interessenvertretern der Technologie und Bildungseinrichtungen hat sich dabei als  
hilfreich erwiesen. Auf eine Gruppendiskussion wurde verzichtet, weil innerhalb der CoP be-  
reits ein reger Dialog zu Qualifizierungsfragen in Gang gesetzt worden ist. Die Ergebnisse aus  
dem Fallbeispiel sollen jedoch in die anstehende Neuordnung zum Beruf Anlagenmechanike-  
rin/Anlagenmechaniker SHK eingespeist werden. Somit wurde der bereits vorhandene Dialog  
in der CoP als ein Sättigungskriterium für den Ausstieg aus dem methodischen Setting definiert.

#### 4.5.8 Fazit

Das Fallbeispiel belegt anschaulich sowohl die Handhabbarkeit als auch die Schwierigkeiten  
technikoffen formulierter Ausbildungsordnungen. Die Produktvielfalt kann mit technikoffe-  
nen Ausbildungsordnungen aufgefangen werden. Gleichzeitig entsteht ein Bedarf an konkreter  
Produktschulung, um die vom Hersteller vorgeschriebenen Zertifikate und das notwendige  
Know-how zur Handhabung der komplexen Produkte zu erwerben. Dies kann entweder über  
reine Herstellerschulungen oder integriert über Fortbildungsmaßnahmen von Bildungs-

trägern im Anschluss an die Ausbildung erworben werden. Um die Verbreitung von Technologien in KMU gezielt zu fördern, könnten solche Qualifizierungsmaßnahmen auch schon in der Ausbildung stärker vermittelt werden, indem sie von Berufsschulen und Kompetenzzentren im Handwerk im Rahmen der überbetrieblichen Ausbildung aufgegriffen werden.

## 4.6 Themenfeld Energiewende: Fallbeispiel Batterietechnik

Das Fallbeispiel wurde als Beispiel für eine Schlüsseltechnologie mit einem neuartigen Bearbeitungsprozess im Bereich der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien ausgewählt. Es stellte sich heraus, dass sich Deutschland noch nicht als Produktionsstandort etabliert hat und nur wenige Akteure bereits hier produzieren. Diese Akteure sahen jedoch keine Notwendigkeit, sich an einem Fallbeispiel zu beteiligen. Die Technologiebeschreibung und einige Aussagen zur Wertschöpfungskette in der Batterieproduktion basieren u. a. auf einem Seminar der Technischen Universität München (ZÄH/REINHARD 2012).

### 4.6.1 Technologiebeschreibung

Die Batterie stellt die größte Herausforderung bei der Serienfertigung von Elektroautos dar. Akkumulatoren dienen zur Umwandlung und Speicherung von elektrischer Energie in chemische Energie. Dabei sind die Energie- und Leistungsdichte (Voraussetzungen für Reichweite und Fahrleistung), Temperaturstabilität und Sicherheit die erfolgskritischen Aspekte (NIETNER 2011). Neben dem Elektromobil wird auch der Einsatz von Großbatterien zur Speicherung von regenerativ erzeugtem Strom in Gebäuden erforscht.

Für den Einsatz in der Elektromobilität kommen unterschiedliche Akkumulatoren infrage: Lithium-Ionen-Akkus, Lithium-Polymer-Akkus, Zink-Luft-Batterien, Natrium-Nickelchlorid-Zellen oder Zebra-Batterien (Zebra = Zero Emission Battery Research Activities).

Lithium-Ionen-Akkus erfüllen die Anforderungen, die durch die Elektromobilität gestellt werden. In FuE wird intensiv an ihrer Weiterentwicklung in Bezug auf dieses Anwendungsfeld gearbeitet. Insgesamt werden weltweit zweistellige Zuwachsraten im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien prognostiziert (GRIMM et al. 2011, S. 85).

Die Kathode der Lithium-Ionen-Zelle besteht aus einem Li-Metalloxid, die Anode aus Graphit, die als dünne Schicht auf Aluminium- bzw. Kupferfolie aufgebracht werden. Anoden- und Kathodenraum werden durch eine mikroporöse, für Li-Ionen durchlässige Membran voneinander getrennt. Als Elektrolyt dient organisches Lösungsmittel; es muss wasserfrei sein. Beim Laden/Entladen wandern Lithium-Ionen zwischen den Elektroden durch den Elektrolyt. Ein Batteriesystem besteht aus mehreren, in Reihe geschalteten Lithium-Ionen-Zellen und dem Batteriemanagementsystem (Kühlsystem, Schütze, Sensoren) zur Vermeidung von Überhitzung durch Überladung, Tiefentladung sowie zur Diagnose und Steuerung von Lade- und Entladungsvorgang.

Eine Leistungssteigerung kann durch optimierte Elektrodenmaterialien und Beschichtungen sowie Elektrolyte erzielt werden. Diese Optimierung lässt sich u. a. durch die Anwendung von Nanotechnologie in Form von Materialien und Beschichtungen erzielen. Um die Materialqualität (u. a. Fließ-, Leitfähigkeit oder Energiedichte) zu verbessern, werden z. B. dem Phasenmaterial Nanopartikel oder Nanoröhrchen (Nanocubes) zugefügt. Diese Entwicklungen sind bislang jedoch noch im Stadium von FuE und noch nicht in die Produktion überführt worden.

Ein Batteriesystem enthält neben den Lithium-Ionen-Zellen noch verschiedene Zellmodule, die je nach Leistungsanforderungen miteinander verbunden werden. Viele Batterieanbieter beziehen die Zellen aus dem Ausland und führen hier nur die Konfektionierung und Verdrahtung der Batteriesysteme durch (Battery-Pack-Supply). Struktur- bzw. Anbauteile wie das Batteriemanagementsystem, die Bodenplatte, das Kühlsystem, Schütze, Sensoren, Stecker und Kabel werden mit den vorgefertigten Zellen verbunden. Derzeit arbeiten einige etablierte Batteriehersteller in Deutschland auf diese Weise. Es kann jedoch sein, dass mit wachsender Bedeutung der Elektromobilität auch der Bedarf in diesem Bereich zunehmen wird und neue Marktteilnehmer aus dem Bereich der Automobilzulieferung neu einsteigen. Diese Entwicklung ist derzeit aber noch nicht absehbar.

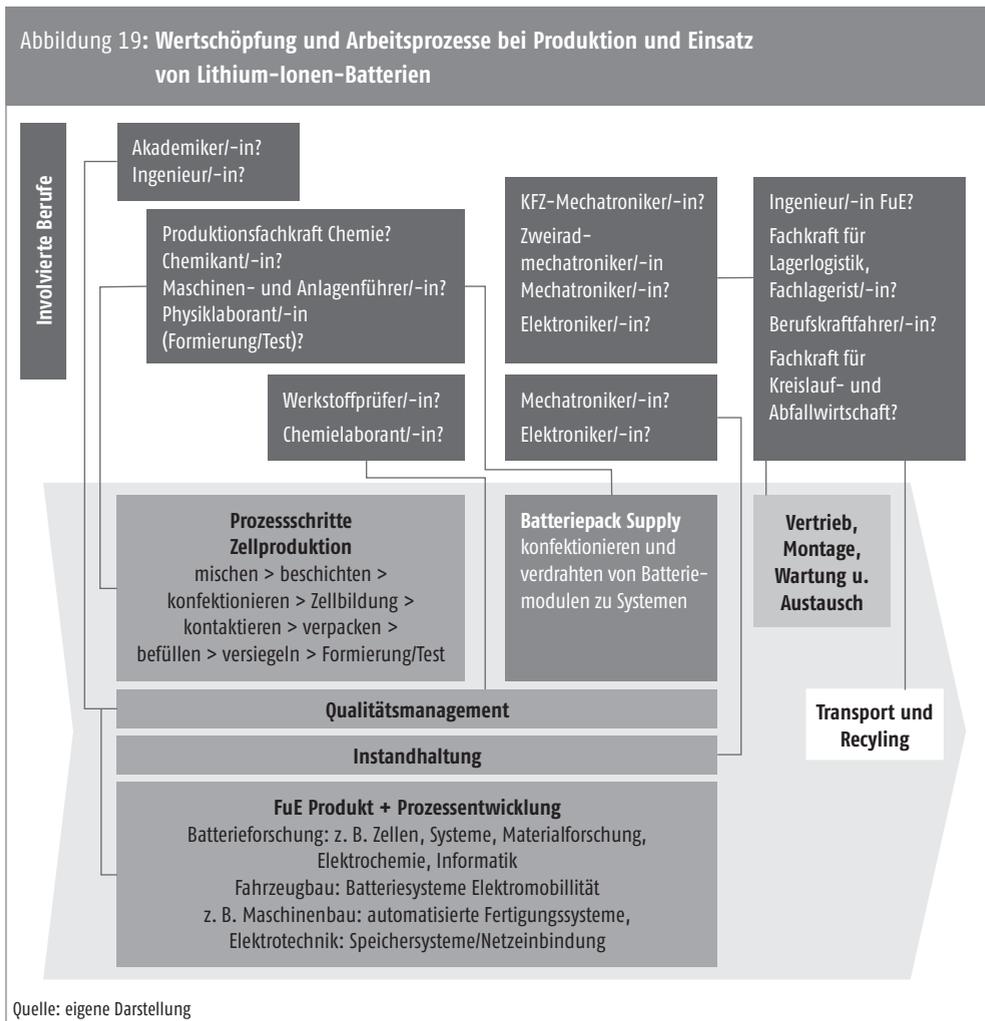
Gerade die Automobilindustrie stellt besondere Anforderungen an die Qualität von Lithium-Ionen-Batterien und drängt daher auf einen qualitätsgesicherten automatisierten Fertigungsprozess. Deutsche Automobilhersteller sind nach Aussagen eines Interviewpartners zögerlich beim Import von Batteriezellen und -systemen aus China, da hier eine stabile Prozessqualität in der Herstellung nicht garantiert erscheint. Auch ist der Transport großer Mengen solcher Batterien auf dem Luftweg nicht unkritisch. Derzeit sind einige Anstrengungen bei der Entwicklung der Automatisierungstechnik für die Batterieproduktion seitens des Maschinenbaus zu beobachten, die dazu führen könnten, dass in Deutschland im Zusammenhang mit dem Anstieg der Produktion von Elektrofahrzeugen auch die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien auf der Basis hochautomatisierter Prozesse ausgeweitet wird. Zum Untersuchungszeitpunkt waren einzelne Joint Ventures zwischen Chemieunternehmen und Automobilherstellern vorhanden.

#### **4.6.2 Empirie: Datengrundlage**

In diesem Fallbeispiel liegt keine ausreichende Datenbasis vor, um generalisierbare Aussagen zu spezifischen veränderten Qualifikationsbedarfen im Bereich der Batterieproduktion zu treffen. Interviewt wurde der Geschäftsführer eines Unternehmens im Anlagenbau, der sich mit der automatisierten Fertigungstechnik für die Batterieherstellung beschäftigt und die Produktionsplanung für Batteriehersteller übernimmt. Daneben wurde der Manager eines Batterieclusters befragt.

### 4.6.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette

Aus den wenigen Daten aus Interviews mit den Schlüsselpersonen konnten im Vergleich zu den anderen Fallbeispielen nur unspezifische Aussagen gewonnen werden. Allerdings gelang es unter Zuhilfenahme der Schulungsdokumentation von ZÄH/REINHARD (2012) die Wertschöpfungskette im Groben nachzuzeichnen und einigen in diesen Bereichen etablierten Berufen zuzuordnen.



Es gibt zahlreiche interdisziplinäre Forschungsaktivitäten im Zusammenhang mit der Nutzung von Lithium-Ionen-Batterien als Energiequelle für die Elektromobilität und als Speicher-

medium im Zusammenhang mit Stromgewinnung aus erneuerbaren Energien. Diese betreffen zunächst die direkte Batterieforschung zur Weiterentwicklung von Zellen, Batteriesystemen und Materialzusammensetzung. Im Rahmen des Fahrzeugbaus werden Batteriesysteme besonders im Hinblick auf die Anforderungen an Langlebigkeit, Reichweite und Sicherheit hin untersucht und weiterentwickelt. Im Maschinenbau wird das Thema Batterieproduktion in Bezug auf automatisierte Fertigungsprozesse, Prozessstabilität und Qualität intensiv erforscht. In FuE sind vor allem Akademikerinnen und Akademiker aus naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern sowie Ingenieurinnen und Ingenieure zu finden.

In der Produktion könnten aufgrund ihrer Vorbildung vor allem Produktionsfachkräfte aus dem Bereich der Chemie zum Einsatz kommen, z. B. Chemikantin und Chemikant Chemie oder die Produktionsfachkraft Chemie, aber auch weitere Produktionsberufe sind denkbar, wie z. B. Maschinen- und Anlagenführerin bzw. -führer oder Produktionstechnologin bzw. -technologe oder Mikrotechnologin bzw. Mikrotechnologe. Weitere involvierte Berufe sind aufgrund der automatisierten Prozesse die Berufe des technischen Supports, also elektrotechnische Berufe (z. B. Mechatronikerin und Mechatroniker).

Im Prozessschritt der Zellproduktion verläuft die Herstellung von Batterien entlang folgender automatisierter Arbeitsschritte und in weiten Schritten unter Trocken- oder Schutzgasatmosphäre (ZÄH/REINHARD 2012):

- ▶ Mischen des chemischen Ausgangsmaterials für die Beschichtung der Elektrodenfolien.
- ▶ Beschichten (Applizieren der Aktivmaterialien auf die Trägerfolie, Trocknen und Kalandrieren der Folien in eine einheitliche Schichtdicke)
- ▶ Konfektionierung (Schneidung der Elektroden und Separatorrollen, teilweise mittels Laser, Schaffung einer Ableiterfahne)
- ▶ Zellbildung (Stapeln und Fixieren der Zellen in unterschiedlichen Verfahren)
- ▶ Kontaktieren (Fügen bzw. Verschweißen der Ableiter, Kathoden und Anoden mittels Ultraschallschweißen, Laserschweißen, Verpressen und Falzen)
- ▶ Packen (Herstellen der Verpackung und Einfügen des Zellstapels)
- ▶ Befüllen (Einfüllen des Elektrolyts in die Verpackung in Vakuumkammer oder Schutzgasatmosphäre)
- ▶ Versiegeln (dichtes Verschließen der Verpackung unter Schutzgas-Trockenatmosphäre, z. B. durch Laserschweißen oder -siegeln)
- ▶ Formierung (erstmaliges Laden der Zelle, Bildung einer SEI (Solid-Elektrolyte-Interphase), Reduzierung von Fertigungstoleranzen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Qualitätsfaktoren)
- ▶ Test (Laden und Entladen der Zellen unter kontrollierten Bedingungen)

Im Prozessschritt Batterypack Supply werden bereits gefertigte Batteriemodule zu Batteriesystemen zusammengefasst, indem Batteriezellen, Kühlelemente und Gehäusestrukturen zusammengesetzt und die Zellen miteinander kontaktiert werden.

Bei der Zellkontaktierung kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz (Remote-Laserstrahlschweißen, Schrauben, Löten mit Nanofolien, Buckelschweißen, leitfähiges Kleben und elektromagnetische Puls-Technologie (EMPT)).

Der Prozessschritt Qualitätsmanagement spielt bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien eine bedeutende Rolle und ist in allen Produktionsschritten zu beachten. Dabei werden sowohl Verfahren, die die Prozessqualität steigern (z. B. Partikelkontaminationen, Produktionseinflüsse), als auch solche, die die Qualität der einzelnen Batteriezelle beurteilen (z. B. Materialqualität und -stabilität, Dichtigkeit, Füllstand, Feuchtigkeitserkennung), stetig weiterentwickelt. Hier dürften neben den bereits genannten Berufsbildern auch die Berufe Werkstoffprüferin bzw. Werkstoffprüfer und Chemielaborantin bzw. Chemielaborant eingesetzt werden können. Schaut man sich die innovativen Prozesse und Verfahren an, so ist anzunehmen, dass die in diesem Feld eingesetzten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf die spezifischen Bedarfe dieses Feldes hin zunächst eine Anpassungsweiterbildung durchlaufen müssen.

Im Prozessschritt Vertrieb, Montage, Wartung und Austausch sind nun Auto- und Fahrradhändler bzw. -werkstätten mit dem Verkauf eines sicherheitssensiblen Produktes und der Arbeit an einem Hochvoltspeicher betraut. Dies stellt eine neue Qualität in den hier vorzufindenden Ausbildungsberufen dar, die aber aufgrund der breiten Diskussion im Zusammenhang mit der Elektromobilität bereits Eingang in die Berufsbilder gefunden hat. Reparatur meint in diesem Zusammenhang vor allem den kompletten Austausch beschädigter Batteriesysteme. Bei Vertrieb, Montage, Wartung und Reparatur von Batterien im Rahmen der Energiespeicherung sind vor allem die klassischen Elektroberufe und Mechatronikerinnen bzw. Mechatroniker involviert. Im letzten Schritt, Transport und Recycling/Fahrzeugrücknahme, sind die Logistikberufe und die Fachkraft für Kreislauf und Abfallwirtschaft involviert. Auch hier gibt es derzeit erst vereinzelte Aktivitäten in FuE, die sich mit Entsorgung und Recycling von Lithium-Ionen-Batterien im Hochvoltbereich beschäftigen. Der Transport beschädigter Batterien ist ein sicherheitsrelevantes Thema, für das Konzepte entwickelt werden müssen. Auch Rettungskräfte sind bei Unfällen im Straßenverkehr mit Schäden der Hochvoltbatterie konfrontiert und müssen ausreichend auf den Umgang mit dieser Situation vorbereitet werden.

#### **4.6.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung**

Qualifizierungsbedarfe werden in der CoP nach Aussagen des Clustermanagers vor allem in Bezug auf akademische Abschlüsse formuliert. Hier wird primär der Rückgang an elektrochemischen Lehrstühlen in der Vergangenheit beklagt. Allerdings haben in den letzten Jahren einige Universitäten und Fachhochschulen im Zusammenhang mit der Förderung der Elektromobilität wieder verstärkt Lehrstühle eingerichtet oder das Thema in der Forschung unter einem anderen Oberbegriff bearbeitet. Zu nennen sind hier deutschlandweit ca. 15 Institute

an unterschiedlichen Forschungseinrichtungen (z. B. RWTH Aachen, KIT Karlsruhe, TU München, ZSW Ulm, Uni Münster, Uni Dresden, Uni Braunschweig). Weiter werden auf akademischem Niveau Absolventen und Absolventinnen aus den Bereichen Elektrotechnik und technische Informatik gebraucht. Letztere erforschen vor allem Batteriemanagementsysteme.

In Bezug auf die Produktion wurden keine Aussagen zu Qualifizierungsbedarfen gemacht. Es wurden jedoch zwei mögliche Trends aufgezeigt, die in der Produktion von Lithium-Ionen-Batterien wirksam werden könnten. Einige wenige große Produzenten aus der Batterieindustrie und der chemischen Industrie könnten Deutschland aufgrund der Nähe zur Automobilindustrie als Produktionsstandort für Lithium-Ionen-Batterien wählen und die Produktion auf der Basis einer ausgefeilten Automatisierungstechnik betreiben. Inwieweit dies neue Qualifikationen in den etablierten chemischen Produktionsberufen erforderlich macht, ist bisher noch ungewiss. Hier ist ein Anknüpfungspunkt für zukünftige Dauerbeobachtung gegeben. Geprüft werden sollte, ob ein Beobachtungsfeld für die hochautomatisierte Fertigung in Deutschland entsteht, in dem sich auch neue Organisations- und Berufsstrukturen entwickeln. Daneben werden sich eine Reihe von Zulieferfirmen und Batterieherstellern etablieren, die Lithium-Ionen-Zellen zukaufen und im Bereich der Konfektionierung und Modulauslegung tätig werden. Auch hier wurden keine Aussagen zu erhöhten Qualifikationsanforderungen gemacht. Diese Entwicklungen sollten allerdings weiter beobachtet werden.

Die Aussagen auf der Ebene der Facharbeit bezogen sich vor allem auf Vertrieb, Montage, Austausch, Wartung und Recycling. Davon ist das Handwerk betroffen (sowohl Kfz- und Zweiradmechatronikerinnen bzw. -mechatroniker im Bereich der Elektromobilität als auch das Elektrohandwerk im Bereich der stationären Hochvoltspeicher). Die Aussagen der Interviewpartner blieben allerdings auf einer sehr oberflächlichen Ebene und befassten sich zumeist mit Sicherheitsaspekten der Technologie. Folgende konkreten Aussagen zu Qualifikationsanforderungen wurden getroffen:

- ▶ Vertrieb: Kundenberatung in Bezug auf Auswahl, Handhabung und Sicherheit von Batteriesystemen (elektrische und chemische Gefährdung)
- ▶ Montage, Reparatur und Wartung Kfz:
  - ▶ Umgang mit Hochvoltsystemen
  - ▶ Arbeitssicherheit
- ▶ Elektrohandwerk:
  - ▶ Kundenberatung
  - ▶ Montage, Wartung und Austausch von Hochvoltspeichern
  - ▶ Arbeitssicherheit
- ▶ Transport und Recycling:
  - ▶ Sicherheit und Umgang beim Versand von (beschädigten) Lithium-Ionen-Batteriesystemen
  - ▶ Sicherheit und Umweltschutz bei der Entsorgung von Lithium-Ionen-Batterien

Im Zusammenhang mit der Elektromobilität wurden vor allem für kleine und mittlere Kfz-Werkstätten einige Weiterbildungsaktivitäten gestartet, die sich hauptsächlich auf die Arbeit an Hochvoltsystemen beziehen und einen zeitlichen Umfang von durchschnittlich 16 Zeitstunden haben (BECKER und SPÖTTL 2012, S. 16 ff.). Gleiches gilt übrigens auch für das Rettungswesen im Straßenverkehr. Auch Beschäftigte der Rettungsdienste, Polizei und Feuerwehr werden für den Umgang mit beschädigten Hochvoltspeichern am Unfallort geschult. Einzelne Qualifizierungsmaßnahmen hierzu wurden im Rahmen von Förderprogrammen zur Elektromobilität entwickelt (VOLZ 2012). Die Qualifizierung im Zusammenhang mit der Elektromobilität ist eine gesellschaftliche Aufgabe, die auch in Zusammenarbeit von Kammern, Berufsschulen und Kompetenzzentren gemeinsam vorangetrieben wird.

Für viele der oben genannten Berufe stellt Batterietechnik allerdings keine grundsätzlich neue Herausforderung dar, die in die Ordnungsmittel Einzug halten müsste. Zum Beispiel sind die genannten Elektroberufe aufgrund ihrer elektrotechnischen Ausbildung für die Handhabung von Hochvoltbatterien ausreichend geschult. Die Ausbildungsordnungen sind aufgrund ihrer offenen Formulierung geeignet, die Technologie in der betrieblichen Ausbildung zu berücksichtigen. Ähnliches gilt für die Logistikberufe: Auch hier ist der sachgerechte Umgang bei Lagerung und Transport von Gefahrstoffen in der Ausbildungsordnung bewusst offen formuliert.

#### 4.6.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer

Am Beispiel der Batterieproduktion kann aufgezeigt werden, wie erfolgreiche Forschungsthemen in Deutschland zunächst nicht in die Umsetzung gelangten, weil die Produktion am Standort Deutschland sich gegenüber dem asiatischen Markt nicht rechnete und nun aufgrund veränderter Bedingungen und Anforderungen zurückkehrt. Dies soll durch ein Zitat belegt werden:

*„Wir haben natürlich die letzten 10, 12 Jahre das ganze Thema elektrochemische Speicher, sprich Lithium-Ionen-Batterien nach Asien abziehen lassen, weil einfach man hat damit noch nicht dran geglaubt, dass sich das entsprechend durchsetzt. Man hat das dann den Asiaten überlassen, die in großen Mengen für, für Consumer-Artikel, das ausgereift haben. Jetzt kommt die Chance durch die Automobil-Anwendung, die viel höhere Anforderungen stellt an Lebensdauer, Sicherheit und natürlich auch an die Kosten, dass da, und, und auch, auch die Transport- Problematik, die man natürlich hat, man kann nicht große Batterien mit dem Flugzeug transportieren, das ist zu gefährlich. Damit braucht man die eher wieder in den Regionen und nicht interkontinental transportiert und gehandelt. Jetzt ist die Chance wieder da, und die Rahmenbedingungen in Deutschland verbessern sich zunehmend.“*

Es gibt nur wenige bereits hier produzierende Firmen, jedoch zahlreiche Aktivitäten in FuE mit dem Ziel der Optimierung der Produkte und des Herstellungsprozesses. Interessant ist

daher, dass auch der Bedarf an qualifizierten Fachkräften zunächst nur auf der akademischen Ebene gesehen wird. Der Zeithorizont für eine wirtschaftlich erfolgreiche Umsetzung wird von einem der Experten mit fünf Jahren angegeben. Es wird in der Zukunft zu beobachten sein, wie sich die Formulierung von Qualifizierungsbedarfen im Hinblick auf die Facharbeit weiterentwickelt. Aufgrund der Zurückhaltung der Early Adopters, Interviewpartner zur Verfügung zu stellen, konnten keine Aussagen zur Facharbeiterqualifizierung auf der Basis konkreter betrieblicher Daten erhoben werden. Aus Sicht der Betriebe ist ein solcher Know-how-Schutz gegenüber Wettbewerbern nachvollziehbar. Es ist davon auszugehen, dass Betriebe erst dann an der Weitergabe von Handlungswissen interessiert sind, wenn das Eigeninteresse vorhanden ist, spezifische Qualifizierungsbedarfe über den Weg staatlich geregelter Aus- und Fortbildung zu decken. Dies begrenzt die Aussagekraft des Fallbeispiels im Hinblick auf die Ableitung von Qualifikationsanforderung.

#### 4.6.6 Sonstige Ergebnisse

**Bezüge zu Automatisierungstechnik und anderen Querschnittstechnologien:** Im Fallbeispiel wird deutlich, dass bestimmte Technologien eng miteinander verknüpft sind und hohe Anforderungen an die Automatisierung der Prozesse stellen. So basiert eine qualitativ hochwertige Batterieproduktion auf dem breiten Einsatz von Laserbearbeitungsverfahren, die wiederum durch Automatisierung stark unterstützt wird. Dieser Zusammenhang kann als ein übergreifender Technologietrend im Sinne einer Querschnittstechnologie angenommen werden. Eine weitere Querschnittstechnologie, die auch in der Batterietechnologie in FuE starken Einfluss hat, ist das Thema Simulation.

**Systemisches Denken:** Die Notwendigkeit, die Batterie als Element im technischen Gesamtsystem (Fahrzeug, Stromnetz) zu betrachten, stellt nach Ansicht eines Interviewten ein wesentliches Element von Facharbeit in dieser Technologie dar. Hierzu ist es wünschenswert, Querbezüge zwischen elektronischem und chemischem Grundwissen herstellen zu können.

#### 4.6.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens

Das Fallbeispiel zeigt, dass bereits in einem frühen technologischen Stadium aus Literaturrecherche und wenigen Interviews mit Schlüsselpersonen Anhaltspunkte für mögliche Qualifizierungsbedarfe ermittelt werden können. Außerdem illustriert das Fallbeispiel den Nutzen von Technologieförderprogrammen, die Schwerpunkte im Bereich der beruflichen Bildung setzen. Ein Interviewpartner mahnte allerdings an, dass es notwendig sei, die vielen regionalen Einzellösungen auf Bundesebene miteinander in Bezug zu setzen. Weiter wird deutlich, dass Betriebe nicht immer ein Interesse daran haben, ihr proprietäres Know-how zu teilen. Die ablehnende Haltung der Early Adopters verhinderte eine vollständige berufswissen-

schaftliche Betrachtung des Produktionsprozesses von Lithium-Ionen-Batterien, sodass nur wenige Aussagen zu Qualifikationsanforderungen gemacht werden können. Dies zeigt, wie abhängig Dauerbeobachtung von einer engagierten Teilnahme im Feld ist. Da sich aufgrund der wenigen Interviews ein Qualifizierungsbedarf in der Zukunft vermuten lässt, erscheint es sinnvoll, den Dauerbeobachtungsprozess zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufzunehmen. Statt ein Sättigungskriterium zu formulieren, werden hier also eine Weiterbeobachtung des Feldes und eine spätere Wiederaufnahme des Methodensettings empfohlen.

#### 4.6.8 Fazit

- ▶ Das Fallbeispiel zeigt, dass sich aus einer fundierten Technologieanalyse bereits zahlreiche mögliche Veränderungen durch neue Technologien ableiten lassen. Allerdings können die Aussagen zu Qualifizierung und Berufen noch nicht durch empirische Daten belegt werden.
- ▶ Am Fallbeispiel lassen sich die Unsicherheiten der Aussagen im Hinblick auf Qualifikationsanforderungen zu einem frühen Zeitpunkt der Technologiediffusion veranschaulichen.
- ▶ Interessant ist auch, dass zu diesem Zeitpunkt Aussagen der Praxisgemeinschaft zu Qualifizierungsthemen sehr stark auf der akademischen Ebene angesiedelt sind.
- ▶ Der hohe Automatisierungsgrad in der Produktion und die intensive Diskussion darüber, wie die Produktion noch stärker automatisiert werden kann, lässt darauf schließen, dass die Aussagen, die aus der vergleichenden Analyse zur Facharbeit in automatisierten Fertigungsprozessen abgeleitet wurden, auch auf die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien zutreffen könnten (z. B. Bedarf an steuerungstechnischem Know-how etc.).

### 4.7 Themenfeld Laser: Fallbeispiel Industrielle Laserfertigung und -bearbeitung

Am Fallbeispiel Laser kann eine Technologie in ihrer Funktion als Werkzeug in sehr unterschiedlichen Stufen im Technologielebenszyklus beschrieben werden, da sich die jeweiligen Verfahren sowohl im Stadium einer Basis- (Laserschneiden) als auch einer Schlüssel- (Laserschweißen) oder Schrittmachertechnologie (additive Laserfertigung) befinden. Die Technologie kann als Beispiel für ein Bearbeitungsverfahren mit unterschiedlichen Ausprägungen in unterschiedlichen Einsatzfeldern gelten und zeigt auch das Spannungsfeld zwischen Erfahrungswissen in automatisierten Prozessen auf.

#### 4.7.1 Technologiebeschreibung

Die heute mit dem Werkzeug Laser realisierten Fertigungsaufgaben sind häufig auch mit konventionellen Herstellungsverfahren umsetzbar. Durch den Einsatz des Laserprozesses besteht

allerdings die Möglichkeit, die gesamte Prozesskette zu optimieren und an aktuelle Fragestellungen, z. B. in Hinblick auf eine spezifische Funktionalität der Bauteile oder die Nachhaltigkeit der Fertigung, anzupassen. Der Einsatz des Lasers nutzt technologische Vorteile oder ermöglicht die Fertigung von Bauteilen, die konventionell nicht oder nur mit großem Aufwand gefertigt werden könnten. So kann Laserstrahlschneiden heute als Stand der Technik angesehen werden. Es ist inzwischen stark verbreitet. Als weiteres Bearbeitungsverfahren ist in diesem Zusammenhang die additive Fertigung betrachtet worden, die gerade im Medizinbereich (Zahnkronen, Implantate) schon erste Anwendungen erfährt. Allen Verfahren ist gemeinsam, dass die Komplexität und die Wechselwirkung der Stellparameter im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren noch nicht so verstanden ist, dass eine Abbildung in einfachen Handlungsanweisungen (z. B. Tabellen der Stellparameter in Verbindung mit der erreichbaren Qualität als Datensatz in der Anlagensteuerung hinterlegt) mit ausreichend hoher Reproduzierbarkeit gegeben ist. Aufgrund der Anforderungen der Laserstrahlsicherheit sind fast alle Lasermaterialbearbeitungsprozesse zumindest halbautomatisiert.

Der Laser ist ein vielseitiges Werkzeug, das schneidet, verbindet, formt, graviert, beschichtet und vieles mehr. Mit der Bearbeitung von Werkstoffen mit Laserstrahlung ist ein hoher Automatisierungsgrad verbunden. Dies bedingt die Einsatzgebiete und auch die Anforderungen an die Anlagentechnik. Ein Einsatz als handgeführtes System ist nur in sehr begrenztem Rahmen möglich, sodass eigentlich bei der Lasermaterialbearbeitung immer von Werkzeugmaschinen in Verbindung mit dem Werkzeug Laser gesprochen wird. Das Werkzeug Laser zeichnet sich durch besondere Eigenschaften (gebündeltes Licht) und besondere Anforderungen (Führung, Sicherheitsvorschriften) aus; dabei erfolgt die Bearbeitung berührungslos und verschleißfrei.

Die Erzeugung von Laserstrahlung benötigt grundsätzlich drei Komponenten: das laseraktive Medium, die Pumpquelle zur Anregung des laseraktiven Mediums und einen Resonator, der in der Regel durch zwei Spiegel mit unterschiedlicher Reflexivität gebildet wird.

Das laseraktive Medium kann dabei ein Gas (z. B.  $\text{CO}_2$ ), ein Festkörper (z. B. dotierte Kristalle) oder eine Flüssigkeit (z. B. ein Farbstoff) sein. In der Regel werden die Laserstrahlquellen auch nach diesem Medium eingeteilt. Wichtige Eigenschaften für die Lasermaterialbearbeitung sind die Fokussierbarkeit, die Laserstrahlleistung und die Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Die optischen Bauelemente der Laserstrahlquelle und vor allem der Strahlführung sind empfindlich gegen Verschmutzungen und Fehler im Material, da hohe Wärmebelastungen entstehen, die Auswirkungen auf das Prozessergebnis haben. Daher ist hier während des Bearbeitungsprozesses die Vermeidung von Verschmutzungen durch z. B. die korrekte Schutzgasführung besonders wichtig.

Die realisierten Fertigungsverfahren sind in den meisten Fällen auch mit konventionellen Methoden umsetzbar, der Einsatz des Lasers nutzt technologische Vorteile oder ermöglicht die Fertigung von Bauteilen, die so nicht oder nur mit großem Aufwand gefertigt werden

könnten. Diesen Vorteilen stehen häufig die wirtschaftlichen Überlegungen entgegen. Die Anschaffungspreise einer Werkzeugmaschine plus Laserstrahlquelle überschreiten die Anschaffungskosten einer konventionellen Anlagentechnik in der Regel um ein Vielfaches. Hinzu kommt, dass zusätzliche Kosten für die Installation der Sicherheitstechnik und meist auch für Schulungsmaßnahmen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter entstehen. Die Betriebskosten der Anlage sind ebenfalls höher, da die vergleichsweise geringen Wirkungsgrade der Laserstrahlquellen (bis zu 40 %) zu hohen Verlusten führen, die nur in begrenztem Rahmen anderweitig, z. B. als Wärmeenergie, genutzt werden können.

**Laserstrahlschneiden:** Es werden drei Formen des Schneidens unterschieden: Beim Brennschneiden wird Sauerstoff als Schneidgas eingesetzt. Hier wird durch den Oxidationsprozess zusätzlich Energie zugeführt und damit eine höhere Schnittgeschwindigkeit ermöglicht. Brennschneiden eignet sich für Baustahl, aber nicht für Edelstahl. Für Edelstahl wird in der Regel Schmelzschnneiden mit Stickstoff/Argon als Schneidgas eingesetzt. Der Vorteil dieser sogenannten inerten Schneidgase liegt darin, dass sie nicht mit den aufgeschmolzenen Metallen reagieren und oxidfreie Schnittkanten liefern. Für organische Stoffe bzw. Materialien, die keine ausgeprägte Schmelzphase besitzen, wird das sogenannte Sublimationsschneiden angewandt, da hier das Material direkt verdampft.

Die wichtigsten Prozesseinflussgrößen auf Laserstrahlschneiden sind neben den Laserparametern und der Bewegungsgeschwindigkeit die Kenngrößen des Prozessgases (Art, Druck, Strömungsrichtung und -geschwindigkeit). Entscheidend für das Prozessergebnis ist auch die Vorbereitung der Bauteiloberfläche und bei dünnen Blechen die Anordnung bzw. Reihenfolge der Schnitte, damit durch Verzug keine Störungen entstehen.

Beim Laserstrahlschneiden ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob flache Blechtafeln oder dreidimensionale Werkstücke geschnitten werden sollen, da so unterschiedliche Bewegungseinrichtungen notwendig sind. Sind Konturen in dreidimensionalen Werkstücken herzustellen, ist eine flexiblere Optik erforderlich, die mindestens fünf Bewegungsachsen abdeckt (drei Raumachsen, eine Dreh- und eine Schwenkachse). Häufig wird mit Robotern gearbeitet, die größere Freiheitsgrade aufweisen und im Vergleich zu 3D-Anlagen preiswerter sind. Allerdings ist hier die Verwendung des CO<sub>2</sub>-Lasers im Vergleich zu Festkörperlasern sehr viel aufwendiger.

Laserschneiden ist ein Standardverfahren. Entsprechend groß ist das Angebot an Anlagentechnik auf dem Markt. Die verfügbaren Programmiersysteme sind auf den Prozess zugeschnitten und entweder maschinen-/herstellerspezifisch direkt an die Steuerung gekoppelt, oder es wird über eine CAM-Software mittels Post-Prozessoren das CNC-Programm erzeugt.

**Laserstrahlschweißen:** Darunter werden zwei Schweißverfahren gefasst, die sich durch die Art und Ausdehnung der Wärmeeinflusszone unterscheiden. Beim Wärmeleitungsschweißen werden die Fügepartner entlang der Fugestelle aufgeschmolzen und die Schmelzen fließen ineinander. Diese Verfahrensvariante wird bei dünnwandigen Teilen eingesetzt und zeich-

net sich durch glatte, abgerundete Schweißnähte aus, die nicht mehr nachbearbeitet werden müssen. Da die Energie hier nur durch den Effekt der Wärmeleitung übertragen wird, können nur geringe Nahttiefen erreicht werden. Die Nahtbreite ist größer als die Nahttiefe. Bei hohen Leistungsdichten wird ein Tiefschweißeffekt erzeugt, der neben einer schmelzflüssigen Phase auch eine Dampfphase erzeugt. So wird eine schmale, tiefe Schweißnaht mit gleichmäßigem Gefüge erzeugt. Die so erreichbaren Schweißgeschwindigkeiten sind höher als beim Wärmeleitungsschweißen; die Wärmeeinflusszone ist gering und damit auch der Verzug.

Auch dieser Prozess fordert ein Arbeits- bzw. Schutzgas, das für das Prozessergebnis von entscheidender Bedeutung ist. Die Einflussparameter entsprechen im Wesentlichen denen beim Laserstrahlschneiden. Allerdings kann die Strömung des Gases das Schweißbad und damit den Prozess erheblich stören, sodass hier in der Regel ein engeres Prozessfenster zur Verfügung steht und die Robustheit des Prozesses geringer ist.

Beim innovativen Laser-Remote-Schweißen werden bereits erste Systeme für den Dünnblechbereich in der Automobilproduktion industriell genutzt. Das Potenzial dieser Technik kann vor allem bei dem Einsatz in Fertigungsaufgaben mit hohen unproduktiven Nebenzeiten durch aufwendiges Umpositionieren ausgeschöpft werden.

Beim Laser-Hybrid-Schweißverfahren kann das Laserstrahlschweißen mit unterschiedlichen Verfahren wie beispielsweise dem Lichtbogen-, Plasma-, Wolfram-Inertgas- oder Metall-Schutzgas-Schweißen kombiniert werden. Der Laserstrahl sorgt in diesem kombinierten Prozess mit seiner hohen Strahlintensität für das Eintreten des Tiefschweißeffektes, während der MSG-Prozess durch das zusätzlich zugeführte Material die Spaltüberbrückbarkeit und Werkstoffzusammensetzung der Schweißnaht bestimmt. Das Laser-Hybrid-Schweißen wird derzeit in der Blechbearbeitung und im Stahlbau angewendet.

**Additive Fertigung:** Das Prinzip des Lasergenerierens basiert darauf, dass ein pulverförmiger Grundwerkstoff auf eine Bauplattform in sehr dünnen Schichten aufgetragen und mit einem Laserstrahl durch thermische Einwirkung zum Verschmelzen gebracht wird. Die Pulverkörner haben dabei eine statistisch verteilte Korngröße. Der Laserstrahl generiert in jeder Schicht die Konturen des Werkstücks durch Verschmelzen der Pulverkörner, bevor die Bauplatte nach unten gefahren und eine neue Schicht Pulver aufgetragen wird. Hierzu wird durch eine Einrichtung zur Pulververteilung z. B. mit einem Wischer oder einer Walze die neue Pulverschicht an die vorangehende Schicht gedrückt. Der Laserstrahl wird durch eine sogenannte Scanner-Spiegeloptik (drehbar gelagerte Spiegel) an die jeweilige Wirkstelle umgelenkt, an der Pulverkörner geschmolzen werden sollen. Das für den Vorgang des schichtweisen Aufbaus in einzelne „Scheiben“ zerlegte Modell des Werkstücks entstammt einem zugehörigen 3D-CAD-Datensatz. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, Werkstücke zu generieren, die mit keinem konventionellen Verfahren herstellbar sind, wie z. B. komplexe innenliegende Freiformflächen, die u. a. in den häufig konisch geformten Grundkörpern medizinischer Handinstrumente zu finden sind.

Mittels Lasergenerieren besteht die Möglichkeit, ebenso wie beim Gießen, Bauteile endkonturnah zu fertigen. Neben dem zyklischen Prozessablauf, bestehend aus Pulverauftrag, Belichtung und dem Absenken der Bauplattform, vervollständigen die Schritte Daten- und Prozessvorbereitung und Nachbehandlung sowie die Handhabung des eingesetzten metallischen Pulverwerkstoffs die lasergenerative Prozesskette.

Das Lasergenerieren zählt bislang nur in Nischenbereichen wie in der Dentaltechnik oder im Werkzeugbau zur Produktherstellung zum Stand der Technik. Den Markt in diesen Nischenbereichen teilen sich derzeit nur wenige KMU. Ein vermehrter Einsatz im Sinne des Rapid Manufacturing zur Herstellung von funktionsfähigen Produkten im Rahmen einer industriellen (Serien-)Produktion scheitert bisher an der Instabilität und der Unzuverlässigkeit der Prozesse.

**Laserstrahlabtragen:** Laserstrahlabtragen wird im Werkzeug- und Formenbau eingesetzt, um in Spritzgusswerkzeugen dreidimensionale Vertiefungen zu erzeugen, die sich im Spritzgussteil abbilden. Der Unterschied zum Strukturieren ist hier vor allem in der Überlappung von Linien und damit der Erzeugung eines flächigen Abtrags zu sehen. Der Laser trägt hier Schicht für Schicht das Material ab, bis die gewünschte Tiefe und Form erreicht sind. Im Prinzip ist es der Umkehrprozess zur additiven Fertigung und von den physikalischen Prozessen dem Laserstrahlschneiden mit Verdampfung des Materials vergleichbar. Der Unterschied liegt in der Verwendung von gepulsten Laserstrahlquellen. Hier stellt die Strahlquelle mit ihren spezifischen Eigenschaften, die in der Regel vorgegeben sind, die Haupteinflussfaktoren. Die Prozessführung ist ebenso für die Qualität des Ergebnisses entscheidend, allerdings ist die grundsätzliche Machbarkeit durch die nicht oder nur sehr begrenzt variierbaren Laserstrahlparameter bestimmt. Zum Einsatz kommen hauptsächlich gepulste Festkörperlaser, die prinzipiell alle industriell relevanten Materialien abtragen bzw. strukturieren können.

#### 4.7.2 Empirie: Datengrundlage

Aufgrund der Analyse der lasergestützten Fertigungsverfahren, ihrer Einsatzbereiche und der zugehörigen Arbeitsprozesse wurden das Laserstrahlschneiden, das Laserstrahlschweißen und die laseradditive Fertigung als Vertreter unterschiedlicher Diffusionsgrade als Untersuchungsfelder identifiziert. In diesen Feldern wurden Gespräche mit Anwendern, Entwicklern und Schulungsleitern ausgewertet, um die Aufgaben der Facharbeiterinnen und Facharbeiter und vor allem deren Veränderung einzuordnen. Die ursprünglich geplanten qualifizierten Interviews konnten aufgrund der mangelnden Bereitschaft der Unternehmen nicht durchgeführt werden. Von ca. 30 grundsätzlich gesprächsbereiten Firmen konnten mit 19 Firmenvertreterinnen und -vertretern Gespräche geführt werden. Zusätzlich wurden acht Gespräche (von 25 grundsätzlich Gesprächsbereiten) mit Bildungseinrichtungen, Verbänden etc. geführt. Aufbauend auf den Gesprächsergebnissen wurde eine schriftliche Befragung zur Validierung der gewonnenen Ergebnisse entwickelt.

Die Rücklaufquote war trotz des relativ hohen Verbreitungsgrades und der Begrenzung auf zwei Seiten zur Reduzierung des Bearbeitungsaufwandes gering. 40 ausgefüllte Fragebögen ermöglichen keine statistische Auswertung oder Verifizierung der nach den Gesprächen herausgearbeiteten Trends und Vermutungen. Einige Daten sind aber doch so stimmig, dass Tendenzen vermutet werden können.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass sich die ausgewerteten Fragebögen zu über 70 Prozent auf das Laserstrahlschweißen beziehen. Die Antworten zu den anderen Verfahren können nicht sinnvoll einzeln ausgewertet werden. Des Weiteren wurden die Fragebögen zu mehr als 50 Prozent von Befragten mit akademischem Abschluss ausgefüllt. Dies könnte daran liegen, dass diese Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter entweder über den Mailversand besser erreicht wurden oder ihre Bereitschaft, sich an der Befragung zu beteiligen, größer war. Ein Rückschluss auf die tatsächliche Beschäftigungsstruktur in den Produktionsbereichen ist nicht möglich, obwohl die Tendenz zu einem hohen Anteil von Ingenieurinnen und Ingenieuren in den Gesprächen deutlich wurde.

### **4.7.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette**

Die Lasermaterialbearbeitungsprozesse sind immer ein Teil der gesamten Prozesskette zur Herstellung von Bauteilen wie z. B. Gehäusen, Werkzeugformen oder Implantaten. Dabei ist die Fertigung mit dem Werkzeug Laser ein abgegrenzter Arbeitsprozess mit Abhängigkeiten zu den vor- und nachgelagerten Prozessen. Darin liegt auch die Herausforderung bei der Analyse und Bewertung der einzelnen Arbeitsprozesse. So unterschiedlich, wie die hergestellten Produkte und die herstellenden Firmen sind, ist auch die Einbettung des Arbeitsprozesses der Facharbeiterin bzw. des Facharbeiters in den Gesamtprozess.

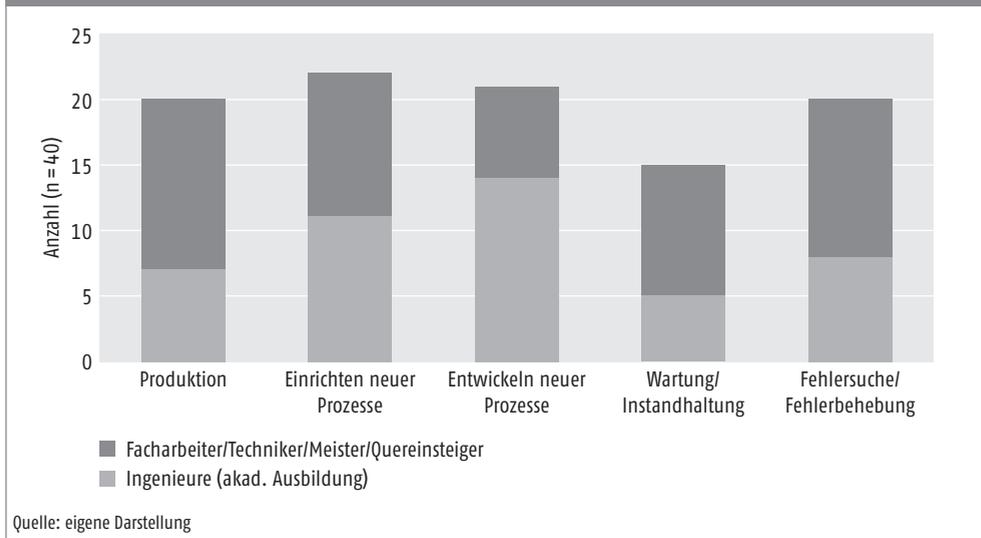
In der industriellen Fertigung wird mit einer größeren Arbeitsteilung gefertigt, sodass der Auftrag des einzelnen Facharbeiters/der Facharbeiterin sich nur auf ein Teilprodukt bzw. einen Teilprozess bezieht.

Die Antworten nach den unterschiedlichen Einsatzbereichen bestätigen die Annahme, dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit beruflicher Aus- und Weiterbildung in der Produktion überwiegen. Demgegenüber ist die Entwicklung neuer Prozesse eher die Domäne der Ingenieurinnen und Ingenieure.

Es zeigt sich aber auch, dass die Aufgabenverteilung nicht eindeutig mit der Ausbildung einhergeht. Auch im Bereich des Laserstrahlschweißens sind alle Qualifikationen in allen Aufgabenbereichen vertreten, wenn auch in diesem Segment die Produktion etwas deutlicher die Domäne der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit einer beruflichen Aus- und Weiterbildung ist. Das Einrichten neuer Prozesse wird von beiden Gruppen gleichermaßen durchgeführt, sodass vermutet werden kann, dass hier die Schnittstelle zwischen den Qualifikationsniveaus liegt. Die Wartung und Instandhaltung fällt eher in den Zuständigkeitsbereich der Mitarbei-

terinnen und Mitarbeiter mit beruflicher Aus- und Weiterbildung. Eine ähnliche, wenn auch nicht so ausgeprägte Tendenz weist die Zuständigkeit für die Fehlersuche auf. Insgesamt spiegeln die Antworten die erwarteten Zuständigkeiten wider. Sie entsprechen weitgehend den Aufgabenverteilungen in der Produktion. Aber eine klare Trennung der Aufgaben kann nicht abgeleitet werden.

Abbildung 20: Arbeitsteilung bei der industriellen Laserbearbeitung



#### 4.7.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung

Aussagen, nach denen neue Technologien zwangsläufig höhere Qualifikationsanforderungen nach sich ziehen, können auf der Grundlage dieser Untersuchung nicht eindeutig bestätigt werden. Vielmehr hat sich gezeigt, dass Qualifikationsanforderungen durch den Lasereinsatz in der Fertigung eher vom Aufgabengebiet abhängig sind und die Arbeitsorganisation einen Einfluss auf die geforderten Qualifikationen hat. Aus den vorliegenden Aussagen und Erfahrungen kann gefolgert werden, dass das Werkzeug Laser eine Veränderung der Produktion an sich bewirkt hat. Die Auswirkung auf die Arbeitsprozesse der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ist allerdings bezogen auf die untersuchten Kriterien wie Aufgaben, benötigtes Wissen usw. nicht spezifizierbar.

Insgesamt beruhen die Aussagen, die hier dokumentiert sind, zu einem überproportionalen Anteil auf Darstellungen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die als höchste Qualifikation einen akademischen Abschluss haben. Der Umkehrschluss, dass in diesem Segment die Aufgaben überwiegend von Ingenieurinnen und Ingenieuren wahrgenommen werden, ist

aber nicht zulässig, da die Ergebnisse nicht repräsentativ sind. Allerdings bestätigen die Untersuchungen, dass bei sehr neuen Verfahren (bsp. laseradditive Fertigung), die noch keine hohe Marktdurchdringung aufweisen, der Anteil akademisch ausgebildeter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unter den Maschinenbedienern in der Produktion überdurchschnittlich hoch ist. Dies dürfte der Komplexität der Zusammenhänge und dem wenig gesicherten Technologieverständnis geschuldet sein. Eine belastbare Bestätigung der Vermutung, die Aufgabenverteilung würde sich mit einer weiteren Verbreitung der Technologie verändern, kann nicht abgeleitet werden.

Eine erste Analyse der Qualifikationsanforderungen an Facharbeiterinnen und Facharbeiter, die die Anlagentechnik einrichten und bedienen, zeigt ein sehr heterogenes Bild. Hierbei ist neben dem eingesetzten Fertigungsverfahren die Struktur und Einordnung des umgesetzten Prozessschrittes in den betrieblichen Ablauf von entscheidender Bedeutung. So gibt es kleine und mittelständische Betriebe, bei denen für die Betreuung der Lasermaterialbearbeitung die (technische) Geschäftsführerin oder der (technische) Geschäftsführer direkt verantwortlich ist, die/der die Prozesse mit einem unterstützenden Mitarbeiter bzw. einer unterstützenden Mitarbeiterin entwickelt und einrichtet. Die Mitarbeiterin oder der Mitarbeiter fungiert dann in der Regel als „Bediener“, der bei ungewöhnlichen Abläufen oder Ergebnissen bzw. neuen Aufgaben auf die Kompetenz seiner Vorgesetzten bzw. seines Vorgesetzten zurückgreift. In der stark automatisierten Massenfertigungen bedienen die Anlagen Maschinenführerinnen und Maschinenführer, die keine Zuständigkeit für die Prozessführung haben, sondern neue Aufgaben von anderen Stellen zugewiesen bekommen. Die Mehrheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bewegt sich zwischen diesen beiden Extremen. Das in Schulungsmaßnahmen von Herstellern erworbene Wissen wird durch Erfahrungswissen erweitert. Hierdurch sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Lage, den Prozess zu führen und in Grenzen zu optimieren. Je nach Stand des Erfahrungswissens können auch neue Bauteile produziert werden, oder es wird hier auf die Zuarbeit der Hersteller zurückgegriffen. Die geforderte Qualifikation ändert sich in dem Augenblick durchgreifend, in dem der Prozess nicht das gewünschte Prozessergebnis in Hinblick auf Bauteilqualität oder Prozesssicherheit zeigt. Die hier notwendige Fehlersuche bzw. auch nur Nachjustierung des Prozesses erfordert dann ein Wissen um die Ursache-Wirkung-Zusammenhänge und die möglichen Stellparameter sowie deren Auswirkungen. Es ist ein hohes Maß an Prozessverständnis gefordert, wenn nicht bei kleineren Abweichungen sofort der Hersteller der Anlagentechnik hinzugerufen werden soll.

Fast alle Hersteller bieten Schulungsmaßnahmen zur Anlagenbedienung an, die die Teilnehmerinnen und Teilnehmer befähigen sollen, die Anlagentechnik sicher zu bedienen und in relativ kurzer Zeit Bauteile in der gewünschten Qualität zu fertigen. Auch die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen und die Qualitätssicherung werden in den Schulungen behandelt. Systemanbieter wie z. B. die Firma Trumpf integrieren auch die grundlegenden Prozessparameter in die Schulung. Allerdings ist der Schwerpunkt entweder die Bedienung der Strahlquelle

oder der Fertigungsanlage mit dem Laser als Blackbox. Prinzipiell besteht die Möglichkeit, Schulungen für alle Komponenten zu buchen, aber erst bei mehreren Schulungsmaßnahmen und einer gewissen Erfahrung mit der Anlagentechnik kann sich das notwendige Wissen um die gegenseitigen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen einstellen. Diese Zeit besteht aber im Alltag nur in ganz begrenzten Bereichen. Auch die Schulungen der Hersteller, die nur eine Komponente wie z. B. Roboterbedienung umfassen, stellen in der Mehrheit keine Verbindung zum eingesetzten Werkzeug und dem Prozess her. Dies ist häufig darin begründet, dass ein Roboter vielfältige Einsatzmöglichkeiten (Schweißen, Pick and Place etc.) hat und die Schulungen für alle Anwender/-innen gedacht sind und nur in Teilen angepasst werden. Hier wird von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erwartet, dass die Verbindungen und Abhängigkeiten selbst erkannt werden. Aber ohne eine entsprechende Vorbereitung in der Ausbildung bzw. durch andere Weiterbildungsmaßnahmen kann dieses Defizit nicht von allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gleich gut ausgeglichen werden.

Wie hier dargestellt, erwirbt momentan die Mehrheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter das notwendige Erfahrungswissen im Arbeitsprozess und hat die Grundlagen häufig bei Schulungsmaßnahmen der Hersteller erworben. Dies bestätigt den gewonnenen Eindruck, dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mehrheitlich das Konzept einer einfachen automatisierten Bedienung befürworten. Diese Erfahrung wird auch durch die Schulungsleiter der Hersteller bestätigt. Deutlich ist das Bedürfnis formuliert worden, mehr Prozessverständnis zu entwickeln. Das Ziel ist weniger der Erwerb von Detailwissen über einen spezifischen Prozess, sondern eher eine Steigerung der Kompetenz, sich diese neuen Erkenntnisse zu eigen zu machen, eine Verknüpfung der unterschiedlichen Bereiche herzustellen und eine systematische Herangehensweise an eine Fehlersuche zu ermöglichen. Auch die Fähigkeit, die grundsätzlichen prozesseigenen Zusammenhänge von der Bedienung der Anlage zu trennen, ist bei der Übertragung auf neue Prozesse, neue Bauteile oder aktualisierte Anlagentechnik gefordert und notwendig. Allerdings scheint der Bedarf an formalisierten Weiterbildungsmaßnahmen aktuell gering. Hier wäre eine erneute Untersuchung zu einem späteren Zeitpunkt sicherlich hilfreich, um zu überprüfen, ob die aktuell beobachtbare Anerkennung des Erfahrungswissens auch bei einer weiteren Verbreitung der Lasermaterialbearbeitungsverfahren und einer deutlich höheren Marktdurchdringung immer noch in diesem Maße erfolgt. Gerade die vorhandene Bereitschaft, an Weiterbildungen mit berufsbezogenen, technischen Inhalten teilzunehmen, ist bei den Befragten deutlich geworden, sodass zu erwarten ist, dass entsprechende Angebote auch angenommen würden. Inwieweit die Firmen solche Fort- bzw. Weiterbildungen finanzieren würden, kann auf Basis der vorliegenden Daten und Erfahrungen nicht abgeschätzt werden.

Zusammenfassend hat sich im Weiterbildungsbereich gezeigt, dass die Frage der Informationsgewinnung zum eigenständigen Lernen bei komplexen Technologien noch nicht vollumfänglich für Facharbeiterinnen und Facharbeiter beantwortet worden ist. Hier ist Handlungsbedarf festzustellen, der sich auch auf die Erstausbildung auswirken könnte, da die Forderung des lebenslangen Lernens und die damit eng verbundene Kompetenz, In-

formationen zu finden und deren Relevanz für das eigene Handeln zu bewerten, gerade in technischen Ausbildungsgängen immer entscheidender wird. Darüber hinaus ist eine Formalisierung und Zertifizierung der Weiterbildungsangebote am Markt aus Sicht der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer anzustreben, denn nur so ist ein Nachweis von Kompetenzen auf Dauer sicherzustellen.

Im Hinblick auf die Erstausbildung lässt sich feststellen, dass das Thema Lasermaterialbearbeitung ein durchaus interessantes Themenfeld für die Rekrutierung von Auszubildenden darstellt und als Alleinstellungsmerkmal eines Betriebes im Rahmen von Personalgewinnung genutzt werden kann. Aber eine Integration in die duale Ausbildung zulasten der gerade in der Facharbeiterausbildung im industriellen Umfeld als sehr wichtig empfundenen Grundausbildung wird nicht angestrebt. Als Zusatzthema im Sinne einer Vorstellung der aktuellen Innovationen im Bereich der Fertigung eignet sich das Thema durchaus und wird befürwortet. Eine entsprechende Vereinfachung der Komplexität der Wirkzusammenhänge erscheint hier nicht nachteilig für die notwendige Handlungskompetenz der Facharbeiterinnen und Facharbeiter. Ausbildungsberufe, die mehr auf die Vermittlung der gesamten Prozesskette und der Fertigungsabläufe abzielen, wie z. B. die Produktionstechnologin oder der Produktionstechnologe, sind eher geeignet, innovative Fertigungsverfahren wie die Lasermaterialbearbeitung zu integrieren, da hier die Abhängigkeiten der einzelnen Produktionsschritte im Mittelpunkt der Vermittlung stehen und diese sich durch veränderte Fertigungstechnologien stark verändern können. Daher kann eine solche komplexe Technologie beispielhaft eingesetzt werden, denn die Auswirkungen auf die vor- und nachgelagerten Prozesse sind nachvollziehbar abzuleiten.

Eine Spezifizierung des Berufsschulunterrichts im Lernfeld 10 „Analysieren von Produktionsprozessen“ bzw. auch in Lernfeld 12 „Optimieren von Produktionsprozessen“ erscheint hier durchaus möglich und sinnvoll. Denkbar wäre auch, eine Zusatzqualifikation Laserbearbeitung für Metall- und Elektroberufe zu schaffen, um Auszubildenden eine arbeitsmarktfähige Zertifizierung anzubieten.

Die Einführung der Fachkraft Metalltechnik als zweijährige Ausbildung nimmt den Trend zur Einführung von Anlagenführern/Anlageführerinnen für automatisierte Prozesse in der Serienfertigung auf, der auch in diesem Zusammenhang geäußert worden ist, und kann voraussichtlich auch im Bereich der automatisierten Serienfertigung mit dem Werkzeug Laser den Bedarf an Bedienpersonal decken.

Festzustellen ist, dass momentan kein Veränderungsdruck besteht, weil die angebotenen Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen den aktuellen Bedarf decken. Die mangelnde Bereitschaft der Betriebe, die Untersuchungen zu unterstützen, und die vorgebrachten Argumente bei der Abwehr der Akquisebemühungen der Projektpartner geben dieser Annahme Recht. Die zurzeit funktionierenden Lösungen sowohl im Bereich der Qualifizierung als auch der Qualitätssicherung in der Produktion sind aber nicht unbedingt als zukunftsweisend anzusehen, und langfristig werden diese Mechanismen den Produktionsstandort nicht sichern. Subsummiert man all diese Aspekte, erscheint es aus bildungspolitischer Sicht durchaus wün-

schenswert, hier aktiv – auch vorgreifend – Maßnahmen zu entwickeln, um in Deutschland eine nachhaltige Nutzung der Lasertechnologie auch in Zukunft zu gewährleisten.

#### **4.7.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer**

Die Marktanalysen belegen, dass die optischen Technologien eine Wachstumsbranche und ein wichtiger Markt für Deutschland sind. Durch die Wachstumsbranche Laseranlagentechnik sind auch viele weitere Branchen direkt mit den Herausforderungen der Lasertechnik konfrontiert. Das Werkzeug Laser findet in der Fertigung vielfältige Anwendungen. In der Ausbildung hat es aber bisher nur vereinzelt Berücksichtigung gefunden. Zusätzlich ist die Entwicklung in vielen Bereichen nicht absehbar. Die FuE-Anstrengungen der Branche sind vergleichsweise hoch, so dass weitere Innovationen zu erwarten sind. Die Einsatzgebiete sind vielfältig und heterogen, sodass sich momentan viele Maßnahmen parallel entwickeln und dies auf die Anforderungen an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unterschiedliche Auswirkungen hat und haben wird. Der Innovationstransfer wird in diesem Bereich sehr stark über Aktivitäten der Hersteller getrieben. Der Know-how-Transfer erfolgt im Wesentlichen über Herstellerschulungen.

#### **4.7.6 Sonstige Ergebnisse**

**Automatisierung:** Laserbearbeitungsprozesse sind sehr stark automatisiert. Einige der Ergebnisse sind nicht trennscharf der Laserbearbeitung zuzuordnen, sondern sind eine Begleiterscheinung in automatisierten Fertigungsprozessen. Hierzu zählt, dass sich Facharbeit in einem Spannungsfeld zwischen Einknopfbedienung und qualifizierter Prozessgestaltung bewegen kann, je nachdem wie die Arbeitsteilung im Unternehmen angelegt ist. Auch erhöhte Anforderungen an die Qualität der Produkte im Sinne von Reproduzierbarkeit, Prozessqualität und Produktgüte gehen auf die hohen Anforderungen zurück, die durch eine automatisierte Fertigung erfüllt werden sollen.

#### **4.7.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens**

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die Firmen nur in geringem Maße bereit waren, an dieser Fragestellung offensiv mitzuarbeiten. Die Firmen hatten Schwierigkeiten, ein Interview mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zuzulassen, oder deren Begleitung vor Ort wurde in allen Fällen abgelehnt. Aufgrund der Einsicht in die Notwendigkeit der Erhebung der Daten bzw. wegen des durchaus positiv bewertete Ziels der Verbesserung der Ausbildung waren einige Firmen bereit, Gespräche zu führen, allerdings nur bei Zusicherung, auf keinen Fall Daten zu veröffentlichen oder zu verwenden, die Rückschlüsse auf den Betrieb zulassen. Neben dem Schutz von Firmengeheimnissen war der kommunizierte Hauptgrund bei Ablehnung der Zeitaufwand für ein Interview, insbesondere wenn es um Interviews mit dem in der Produk-

tion tätigen Personal ging. Die meisten der kontaktierten Betriebe hatten eine so gute Auftragslage, dass die Priorität eindeutig bei der Produktion lag. So waren Arbeitsplatzanalysen und qualitative Interviews nicht möglich, und auch die Bereitschaft zur Teilnahme an einem Workshop zur Diskussion der Ergebnisse war nur sehr gering. Das Thema wurde in den Gesprächen zwar als wichtig angesehen, die Zuständigkeit aber eher bei der Gesellschaft und der Politik und nicht bei den Betrieben verortet.

#### 4.7.8 Fazit

Folgende Aspekte werden in diesem Fallbeispiel besonders deutlich:

- ▶ Arbeitsteilung: Organisationsstruktur und Einordnung in den betrieblichen Ablauf werden unterschiedlich gestaltet und haben Einfluss auf Qualifizierungsbedarfe.
- ▶ Hieraus entstehen unterschiedliche Kontroversen: Wie viel Prozessverständnis ist notwendig? Welche Qualifizierung brauchen Facharbeiterinnen und Facharbeiter beim Betrieb automatisierter Anlagen? Welche Strategie wird hinsichtlich Fehlersuche, Störungsbehebung und Prozessanpassung verfolgt? Werden diese Aufgaben im Betrieb selbst wahrgenommen oder an Hersteller oder externe Dienstleister ausgelagert?
- ▶ Als Basiskompetenz für die Weiterentwicklung von Technologien wurden qualifizierte Informationsbeschaffung und Einordnung technologischer Daten genannt. Teilhabe an der wissenschaftlichen Weiterentwicklung von Technologien sollte auch auf der Ebene der qualifizierten Facharbeit ermöglicht werden.
- ▶ Prozesswissen als Ergänzung zu Herstellerschulung ist wünschenswert.
- ▶ Möglichkeit für Zusatzqualifikation für Metall- und Elektroberufe/Einbindung in den Berufsschulunterricht (Produktionstechnologin und Produktionstechnologie).

### 4.8 Themenfeld Biotechnologie: Allgemeine Biotechnologie und Bioraffinerie

Als Themenfeld wurde zunächst das Thema „nachwachsende Rohstoffe: Bioraffinerie“ ausgewählt, weil sich hier eine radikale Veränderung bei der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen abzeichnete. Die Lignozellulose-Bioraffinerie in Leuna produziert seit Juni 2012 Basischemikalien für die Chemieindustrie, wobei Holz als Rohstoff genutzt wird. Seit Februar 2012 wird das BioEconomy Cluster als Spitzencluster im Rahmen der BMBF-Hightechstrategie 2020 gefördert. Die ersten Interviews im Feld der Bioraffinerien ließen eine Erweiterung des Themas auf die allgemeine biotechnologische Produktion sinnvoll erscheinen, da auch im Bereich der Bioraffinerien auf bewährte biotechnologische Verfahren zurückgegriffen wird. Biotechnologie stellt eine Querschnittstechnologie mit hoher Interdisziplinarität dar und findet sich in heterogenen Anwendungskontexten. Zudem wurde in Branchenberichten wiederholt ein steigender Fachkräftebedarf prognostiziert.

### 4.8.1 Technologiebeschreibung

Die Biotechnologie ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die auf die technische Nutzung von Mikroorganismen und aus ihnen isolierten Enzymen sowie Zellen in technischen Anwendungen zielt, wie z. B. die Entwicklung neuer oder effizienterer Verfahren zur Herstellung chemischer Verbindungen, Arzneimittelwirkstoffen und Diagnostika. Nach der Definition der OECD aus dem Jahr 2001 (BIOTECHNOLOGIE.de, 2015) ist Biotechnologie „die Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen, Teile von ihnen, ihre Produkte oder Modelle von ihnen zwecks Veränderung von lebender oder nichtlebender Materie zur Erweiterung des Wissensstandes, zur Herstellung von Gütern und zur Bereitstellung von Dienstleistungen“. Als Arbeitsfelder werden ergänzend derzeit folgende Positionen aufgeführt:

1. DNA	Genomik, Pharmakogenetik, Gensonden, DNA-Sequenzierung/-Synthese/-Amplifikation, Gentechnik, RNA.
2. Proteine und andere Moleküle	Sequenzierung, Synthese und Veränderung von Proteinen und Peptiden (incl. hochmolekularer Hormone); Identifikation von Zellrezeptoren; verbesserte Darreichungsformen für hochmolekulare Wirkstoffe (beispielsweise mit Glycol oder bestimmten Lipiden); Proteomik.
3. Zell- und Gewebekultur sowie Tissue-Engineering	Zell- und Gewebekultur, Tissue-Engineering, Hybridisierung, Zellfusion, Vakzine und Immunstimulanzen, Embryo-Kultivierung.
4. Methoden der Bioverfahrenstechnik	Fermentationen in Bioreaktoren, Bioverfahren, biologisches Bleichen, biologische Zellstoffgewinnung, biologische Laugung, biologische Entschwefelung, biologische Umweltsanierung und biologische Filtration.
5. Subzelluläre Organismen	Gentherapie, virale Vektoren.
6. Bioinformatik	Erstellung von Datenbanken mit Genomen oder Proteinsequenzen; Modellierung komplexer biologischer Vorgänge.
7. Nanobiotechnologie	Anwendung von Werkzeugen und Verfahren der Nano- und Mikrosystemtechnik zur Herstellung von Hilfsmitteln für die Erforschung biologischer Systeme sowie Anwendungen in der Wirkstoffdarreichung und in der Diagnostik.

Die Arbeitsfelder veranschaulichen, dass die Biotechnologie eine Querschnittswissenschaft ist. Wesentliche Schnittmengen bestehen mit den Fachdisziplinen Biologie, Mikrobiologie, Biochemie, Molekularbiologie, Gentechnik, den Ingenieurwissenschaften (Verfahrenstechnik, Bioverfahrenstechnik, Chemietechnik) und Bioinformatik. Seit den 1960er-Jahren hat der Einsatz neuer Methoden, insbesondere im Bereich der Molekularbiologie, Biochemie und

der Gentechnik, zu einem Erkenntnissschub in der Wissenschaft und zu einer Vielzahl neuer Anwendungen geführt. In den letzten 20–30 Jahren sind biotechnologische Verfahren in der Chemie- und Pharmaindustrie zu einer etablierten Synthesetechnologie geworden. Mithilfe von biotechnologischen Methoden können zum einen Substanzen produziert werden, die auf chemische Weise nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand herzustellen sind, zum anderen kann die Substitution chemischer Synthesen mit Umweltentlastungseffekten und ökonomischen Vorteilen verbunden sein. Weiterhin bieten biotechnologische Verfahren Ansatzpunkte zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe als stoffliche Basis der chemischen Produktion sowie zur Entwicklung neuer biobasierter Materialien (BRELLOCHS und SCHMOLKE und WOLFF 2001; DUBBERT und HEINE, 2006). Nicht zuletzt aus diesen Gründen gehört die Biotechnologie zu einer der geförderten Technologien der Hightech-Strategie, die von der Bundesregierung 2006 beschlossen wurde und seit 2010 unter dem Titel „Hightech-Strategie 2020“ fortgeführt wird. Ziel ist es, den Biotechnologie-Standort Deutschland europaweit nicht nur hinsichtlich der Zahl der Unternehmen, sondern auch der Umsatz- und Beschäftigtenzahlen an die Spitze zu führen. Um die Forschung für eine nachhaltige, bio-basierte Wirtschaft voranzutreiben, wurden weiterhin die „Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ und die Roadmap „Bioraffinerie“ (2012) vorgelegt.

**Biotechnologische Produktionsverfahren:** Da die Diffusion neuer Technologien im produzierenden Gewerbe betrachtet werden soll, wird in dieser Arbeit lediglich das Arbeitsfeld 4 der OECD-Definition betrachtet, wobei die anderen Arbeitsfelder wesentliche Vor- und Teilleistungen erbringen. Die biotechnologische Herstellung von chemischen Verbindungen einschließlich Arzneiwirkstoffen kann auf zwei Wegen erfolgen, durch mikrobielle Verfahren (Fermentation) und durch Biotransformation.

- **Fermentation:** Ein Mikroorganismus produziert, katalysiert durch seine Enzyme, Stoffwechselprodukte aus natürlichen Nahrungsquellen. Das gewünschte Produkt entspricht einem der Stoffwechselprodukte des Mikroorganismus. Damit nutzt die Fermentation unmittelbare Lebensprozesse eines Mikroorganismus zur Produktion von Chemikalien. Alternativ kann die Fermentation durchgeführt werden, um Enzyme zu isolieren. Zum Einsatz kommen leistungsfähige Mikroorganismen-Stämme, die sich durch eine hohe Ausbeute der gewünschten Verbindung auszeichnen. Sie werden durch Isolation, Charakterisierung und Selektion natürlich vorkommender Organismen gefunden. Darüber hinaus bieten Molekularbiologie und Gentechnik verschiedene Ansätze, die Mikroorganismen zu optimieren (Directed Evolution, Metagenomics, rekombinante Wirtsstämme). Als Produktionssystem können Bakterien, Hefen, Mikroalgen oder Säugetierzellen eingesetzt werden. Die Auswahl ist u. a. von der Größe, Struktur und Komplexität des gewünschten Produktes abhängig. So lassen sich therapeutische Proteine und Polypeptide (Biopharmazeutika) nur mithilfe von rekombinanten Säugetierzellen herstellen. Je nach Produkt sind besondere Aufarbeitungs- und Reinigungsverfahren notwendig.

Durch Fermentation werden verschiedenste Stoffgruppen hergestellt, wie z. B.

- ▶ Antibiotika (Penicillin)
  - ▶ Biopharmazeutika
  - ▶ Alkohole (Ethanol, Glycerin)
  - ▶ organische Säuren (Essigsäure, Zitronensäure)
  - ▶ Lösungsmittel (Aceton)
  - ▶ Aminosäuren (Lysin)
  - ▶ Enzyme (als Produkt z. B. Inhaltsstoff von Waschmitteln oder Werkzeug biokatalytische Verfahren).
- ▶ Biotransformation (BRAUN, TEICHERT und ZWECK 2006): Die Biotransformation kann als eine besondere Form der chemischen Synthese angesehen werden, bei der ein Enzym als Katalysator fungiert. Die ablaufenden Reaktionen sind im Gegensatz zur Fermentation kein Bestandteil des normalen Zellstoffwechsels. Die Biokatalyse kann durch isolierte Enzyme oder ruhende Ganzzellkatalysatoren erfolgen. Es werden nach Möglichkeit chemische Standardapparaturen verwendet. Anders als klassisch-chemische Reaktionen verläuft die Biotransformation unter milden Bedingungen zwischen 20 und 40 °C, bei Atmosphärendruck, pH-Werten im neutralen Bereich und in wässrigem Medium ab. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass enzymatische Katalysatoren sich durch eine hohe Stereoselektivität und Spezifität auszeichnen.
- Treiber für die Substitution chemischer Prozesse durch biotechnologische Verfahren können also folgende Aspekte sein:
- ▶ gute Umweltverträglichkeit und Energieeffizienz;
  - ▶ hohe Spezifität und Selektivität vermindern Neben- und Abfallprodukte und vereinfachen die Aufarbeitung;
  - ▶ weniger Produktionsschritte senken die Kosten;
  - ▶ günstige Energie- und Abfallbilanz;
  - ▶ Enzyme sind „nachwachsende Katalysatoren“.

Die Biotechnologie ist eine Querschnittstechnologie. Ihre Anwendung beschränkt sich nicht auf eine bestimmte Industrie, sondern die Produkte kommen in verschiedenen Branchen zum Einsatz (FESTEL 2004).

**Bioraffinerien:** Ein Mix der genannten biotechnologischen Produktionsverfahren kommt in Bioraffinerien zum Einsatz. Ziel ist die Schaffung einer nachhaltigen Energie- und Rohstoffbasis zur Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Einzige nicht fossile Kohlenstoffquelle ist, neben CO<sub>2</sub>, Biomasse. Sie kann in Bioraffinerien genutzt werden, um z. B. gleichzeitig Kraftstoffe, (Basis-) Chemikalien, Strom und Prozesswärme herzustellen. Bioraffinerien zeichnen sich durch ein Gesamtkonzept aus, welches Biomasse unter möglichst vollständiger Verwendung aller Rohstoffkomponenten nutzt und verschiedene energetische und stoffliche Nutzungspfade koppelt, wie

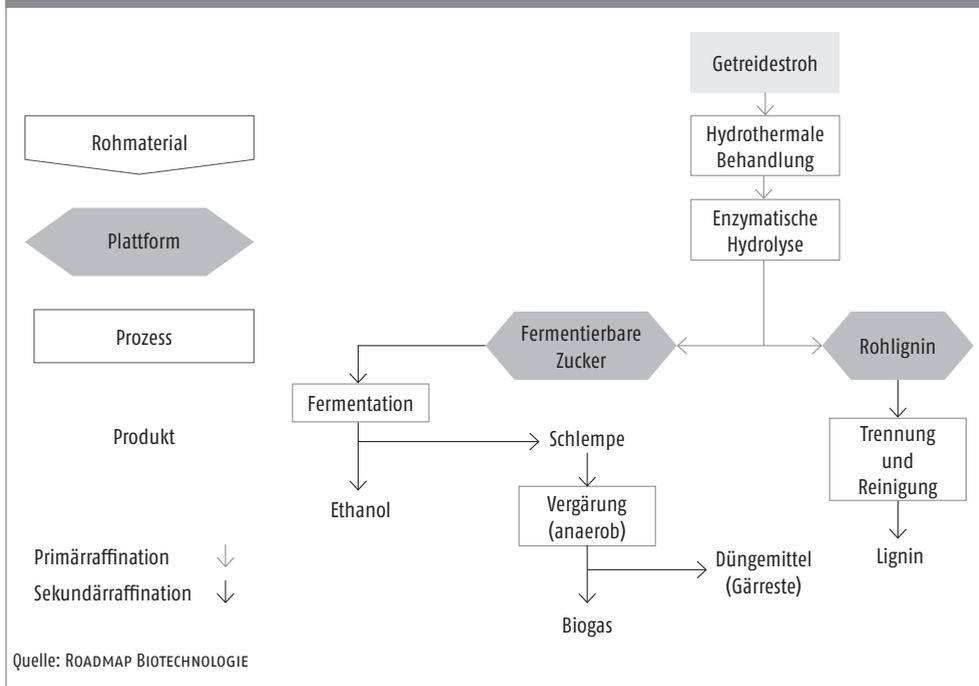
z. B. in der Lignocellulose-Bioaffinerie (eine von fünf Bioaffinerie-Typen siehe Abbildung 21). Derzeit sind ausschließlich Pilot-/Demonstrationsanlagen in Betrieb. Weitere mögliche Plattformen sind z. B. Cellulose, Hemicellulose, Synthesegas, Biogas, Pflanzenfasern (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMELV), 2012).

Tabelle 4: Biotechnologisch hergestellte Produkte

Produktgruppen	Kommerziell erhältliche Produkte	Anwendungen/Marktsegmente
Mikroorganismen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Startkulturen</li> <li>▶ Biomasse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Verwendung von Startkulturen speziell für die Produktion von Käse und Milchprodukten</li> <li>▶ Lebende Mikroorganismen für therapeutische Zwecke</li> <li>▶ Einzellige Proteine aus Biomasse als Basis für Futter</li> </ul>
Grundchemikalien	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Methanol</li> <li>▶ Ethanol</li> <li>▶ Propandiol</li> <li>▶ Methan</li> <li>▶ Furfural</li> <li>▶ Acrylamid</li> <li>▶ Organische Säuren (Zitronensäure, Maleinsäure, Glukonsäure, Fumarsäure, Succinsäure)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Verwendung als Grundchemikalien in verschiedenen Anwendungen (z. B. Lösungsmittel, Nahrungsmittelindustrie)</li> </ul>
Vitamine	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ B-Vitamine (B1, B2, B6, B12)</li> <li>▶ Vitamin C</li> <li>▶ Provit D2</li> <li>▶ Biotin</li> <li>▶ Folsäure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Nahrungs- und Futtermittelzusätze</li> <li>▶ Kosmetika</li> <li>▶ Pharmazeutika</li> </ul>
Aminosäuren und Nukleotide	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ L-Glutaminsäure</li> <li>▶ L-lysin</li> <li>▶ Guanosin-5'-mono-Phosphat</li> <li>▶ Xantosin-5'-mono-Phosphat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Nahrungs- und Futtermittelzusätze</li> <li>▶ Pharmazeutika und pharmazeutische Zwischenstufen</li> <li>▶ Kosmetische Zusätze</li> <li>▶ Nahrungsmittel-Geschmacksstoffe</li> </ul>
Polysaccharide	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Xanthan</li> <li>▶ Dextran</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Verdickungsmittel in Nahrungs- und Futtermitteln sowie Pharma- und Kosmetik-Anwendungen</li> </ul>
Enzyme	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Proteasen</li> <li>▶ Carbohydrasen</li> <li>▶ Lipasen</li> <li>▶ ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Katalysatoren für biochem. Reaktionen (Biotransformation)</li> <li>▶ Additive in Waschmitteln, Nahrung, Futter, Textilchemikalien, ...</li> <li>▶ Zwischenstufen und Additive für Pharmazeutika und Diagnostika</li> </ul>
Sekundäre Metabolite	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Cephalosporin</li> <li>▶ Actinomycin</li> <li>▶ Tetracyclin</li> <li>▶ Streptomycin</li> <li>▶ ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Aktive Inhaltsstoffe für Pharma-, Agrochemie- und andere Anwendungen</li> </ul>

Quelle: FESTEL, 2004

Abbildung 21: Lignocellulose-Bioraffinerie



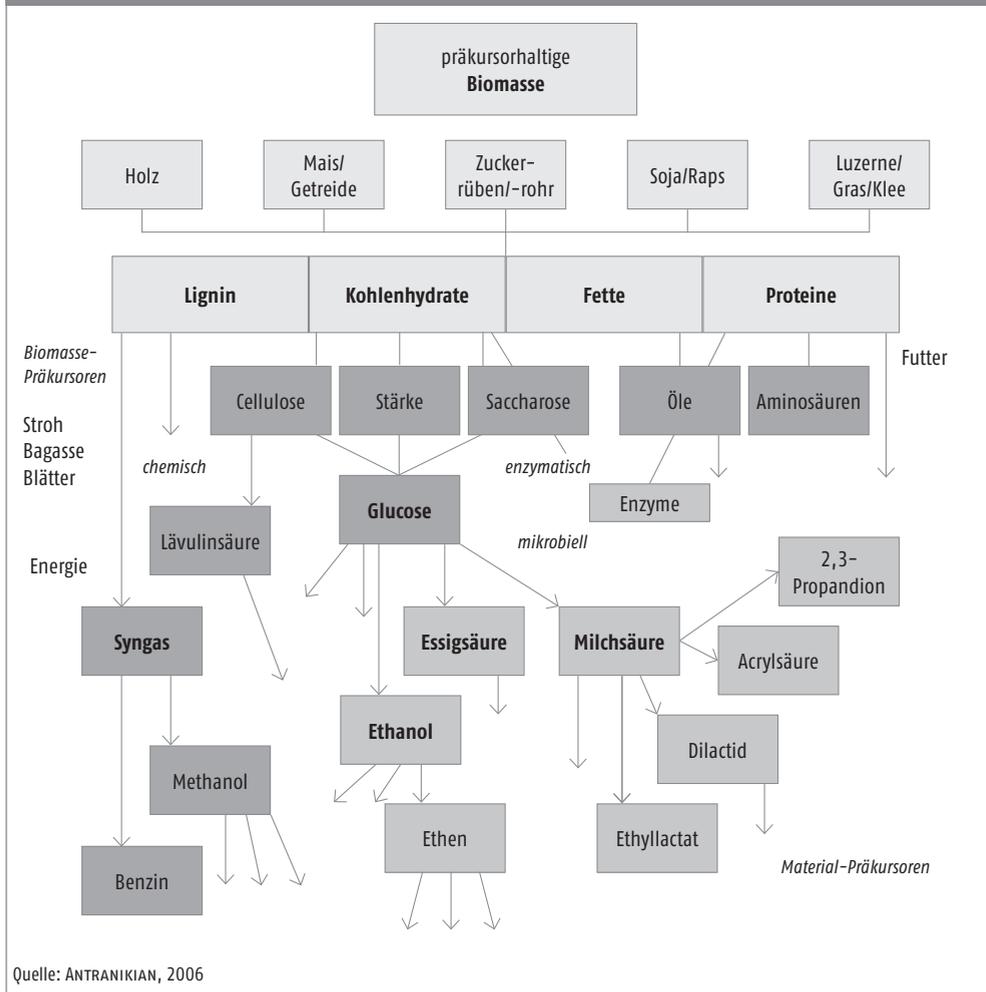
In Primär- und Sekundärraffination sind – je nach Raffinerietyp – verschiedene Technologien (Biotechnologie, Chemie) und Verfahren in der Prozesskette integriert. Die Verfahren sind, mit Ausnahme der Fermentation und enzymatisch katalysierten Umwandlungen, nicht typisch für biotechnologische Verfahren, sie kommen z. B. auch in im Zusammenhang mit „klassischen“ chemischen Synthesewegen oder der Erdölraffination zum Einsatz.

Tabelle 5: Verfahren im Bereich Bioraffinerie

<b>Physikalisch/mechanisch</b> Grundoperationen zur Änderung der Stoffeigenschaften, Reinigungs-/Trennverfahren, Förderverfahren	<b>Thermochemisch</b> Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse, Verflüssigung, Thermolyse, hydrothermale Verfahren	<b>Biotechnologisch</b> Fermentation, enzymatisch katalysierte Umwandlungen	<b>Chemisch</b> Grundoperationen zur Stoffumwandlung wie Oxidation, Veresterung, Hydrolyse; chemisch katalysierte Umwandlungen
---	---	--	---

Auf dem Weg zu (Grund-)Chemikalien, die sich in bestehende chemische Wertschöpfungsketten einfügen oder Ausgangsstoff für neue Materialien wie z. B. Biopolymere sein können, kommen chemische, enzymatisch katalysierte und mikrobielle Umsetzungen zum Einsatz

Abbildung 22: Chemische Prozesse im Bereich Bio Raffinerie



**Verbreitung von Biotechnologie:** Nach der Statistik der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIB) (DIB 2014) liegen die wichtigsten Anwendungsfelder der industriellen Biotechnologie aktuell und zukünftig in den Bereichen Chemie, insbesondere in den Sparten Fein-/Spezialchemikalien und Bio-Kraftstoffe, Lebensmittel/Getränke sowie Pharma. Es wird davon ausgegangen, dass die durch die industrielle Biotechnologie getriebenen Umsatzanteile bis 2025 deutlich ansteigen werden, in einzelnen Branchen wie der Chemie- und Pharmaindustrie um das Zweieinhalb- bis Dreifache gegenüber 2004. Im Jahr 2004 ruhten in der Chemieindustrie vier bis sechs Prozent des Umsatzes auf der industriellen Biotechnologie, in der Pharmabranche drei bis fünf Prozent und in der Lebensmittelindustrie neun bis 23 Pro-

zent. Für Biopharmazeutika und Diagnostika werden 2013 folgende Angaben gemacht: Die 142 zugelassenen rekombinanten Arzneimittel, die biotechnologisch hergestellt wurden, machten 21 Prozent des Arzneimittelumsatzes in Deutschland aus. Der Anteil biotechnologiebasierter Diagnostika- und Life-Science-Research-Reagenzien betrug 2009 rund 37 Prozent des gesamten deutschen Diagnostika- und Life-Science-Reagenzienmarktes. Der Anteil nachwachsender Rohstoffe lag 2011 bei 12,6 Prozent bezogen auf den organischen Anteil, im gesamten Rohstoffeinsatz (organischer und anorganischer Input) waren es ca. sechs Prozent und für 2030 werden acht Prozent prognostiziert (VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE (VCI) 2012). Weitere Angaben zu den Anteilen biotechnologischer Herstellungsverfahren in einzelnen Segmenten der Chemie finden sich in einer Studie des Verbandes der chemischen Industrie (VCI 2012) sowie in Arbeitspapieren der OECD (OECD 2010).

Zu Prognosen bezüglich der weiteren Diffusion der Biotechnologie wird vom DIB (DIB 2014) angemerkt, dass sie z. T. sehr bzw. zu optimistisch sind:

*„Allerdings sollten die Erwartungen an die industrielle Biotechnologie nicht zu hoch und vor allem nicht zu kurzfristig, sondern vielmehr langfristig angesetzt werden. Denn die Diffusion der industriellen Biotechnologie sowie der Erkenntnis- und Innovationsfortschritt wird sich, wie bei industriellen Produktionsprozessen häufig der Fall, eher graduell über mehrere Jahre und nicht schlagartig vollziehen.“*

**Unternehmen und Beschäftigte:** Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) werden seit 2006 von biotechnologie.de jährlich aktuelle Zahlen der Biotechnologie-Branche erhoben. Im Jahr 2014 gab es insgesamt 700 Unternehmen, deren Unternehmensziel im Wesentlichen oder ausschließlich in der Biotechnologie liegt (dedizierte Biotech-Unternehmen), sowie 130 Unternehmen, die sich teilweise mit Biotechnologie befassen (Sonstige biotechnologisch aktive Unternehmen), wie z. B. zahlreiche Unternehmen aus dem Bereich Chemie/Pharma. Im Jahr 2013 waren 35.300 Beschäftigte in Unternehmen im Bereich der Biotechnologie zu verzeichnen, nahezu gleich viele in biotechnologisch aktiven Forschungseinrichtungen. Die Gesamtzahl der Beschäftigten in der Biotechnologie lag also bei rd. 65.000. Folgende Zahlen geben weitere Hinweise auf die zahlenmäßige Verteilung in der Branche:

- ▶ Anzahl dedizierter Biotech-Unternehmen: 570;
- ▶ Anzahl sonstiger biotechnologisch aktiver Unternehmen: 130;
- ▶ Mitarbeiter/-innen dedizierter Biotech-Unternehmen: 16.950;
- ▶ Mitarbeiter/-innen sonstiger biotechnologisch aktiver Unternehmen, die im Bereich Biotech arbeiten: 18.450.
- ▶ Die Zahlen für den Forschungsbereich wurden zuletzt 2011 (Bericht 2012) erfasst: In 215 im Bereich Biotechnologie aktiven Forschungseinrichtungen waren 30.640 Mitarbeiter/-innen mit biotechnologischen Themen beschäftigt.

## 4.8.2 Empirie: Datengrundlage

Insgesamt wurden neun Interviews, zum Teil mit mehreren Personen geführt.

Bei einer Herstellerfirma von Biopharmaka wurde ein Gruppeninterview mit Betriebsleiter, Bereichsleiter und Ausbildungsverantwortlichen geführt. In einer weiteren wurde ein Mitarbeiter aus dem Bereich Human Resources (HR) interviewt.

Bei einer Herstellerfirma von Impfstoffen wurden zwei leitende Mitarbeiter eines Bildungsdienstleisters (überbetriebliche Ausbildung) interviewt.

In einer Herstellerfirma von Zellseparatoren, Diagnostika und Reagenzien wurden der Ausbildungsverantwortliche sowie eine Mitarbeiterin HR interviewt.

In einer Bioraffinerie wurde ein leitender Mitarbeiter Forschung interviewt, und in einer weiteren Bioraffinerie wurde ein Gruppeninterview mit einem Mitarbeiter der überbetrieblichen Ausbildung sowie einem Mitarbeiter des Forschungsverbundes durchgeführt. Daneben wurde ein Interview mit einem Geschäftsführer eines Unternehmens der Lebensmittelbranche und dem Vertreter eines Berufsverbandes geführt.

## 4.8.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette

Da in der Branche sehr heterogene Ausprägungen zu beobachten sind, erfolgt die Ergebnisdarstellung an dieser Stelle in drei Gruppen:

- a) In drei der vier betrachteten Unternehmen werden Pharmazeutika hergestellt. In einem Fall reicht die Prozesskette von der Zelllinienentwicklung bis zur Formulierung des Wirkstoffs, in zwei Fällen von der Zelllinienentwicklung bis zur Herstellung des Fertigarzneimittels. Ein weiterer Unterschied in dieser Gruppe besteht darin, dass zwei Unternehmen auch naturwissenschaftlich-technische Berufe ausbilden, der dritte ausschließlich kaufmännische und logistische Berufe.
- b) Das vierte Unternehmen betreibt integrierte Forschung, Entwicklung und Herstellung von Instrumenten und Reagenzien u. a. zur Probenvorbereitung, Zellseparation, Durchflusszytometrie, Zellkultur. Das Interview wurde nicht entlang betrieblicher Prozessketten, sondern themenbezogen durchgeführt.
- c) Die Bioraffinerien werden ebenfalls gesondert dargestellt. Hier wurden zwei Betriebe untersucht, die noch den Status von Testanlagen haben.

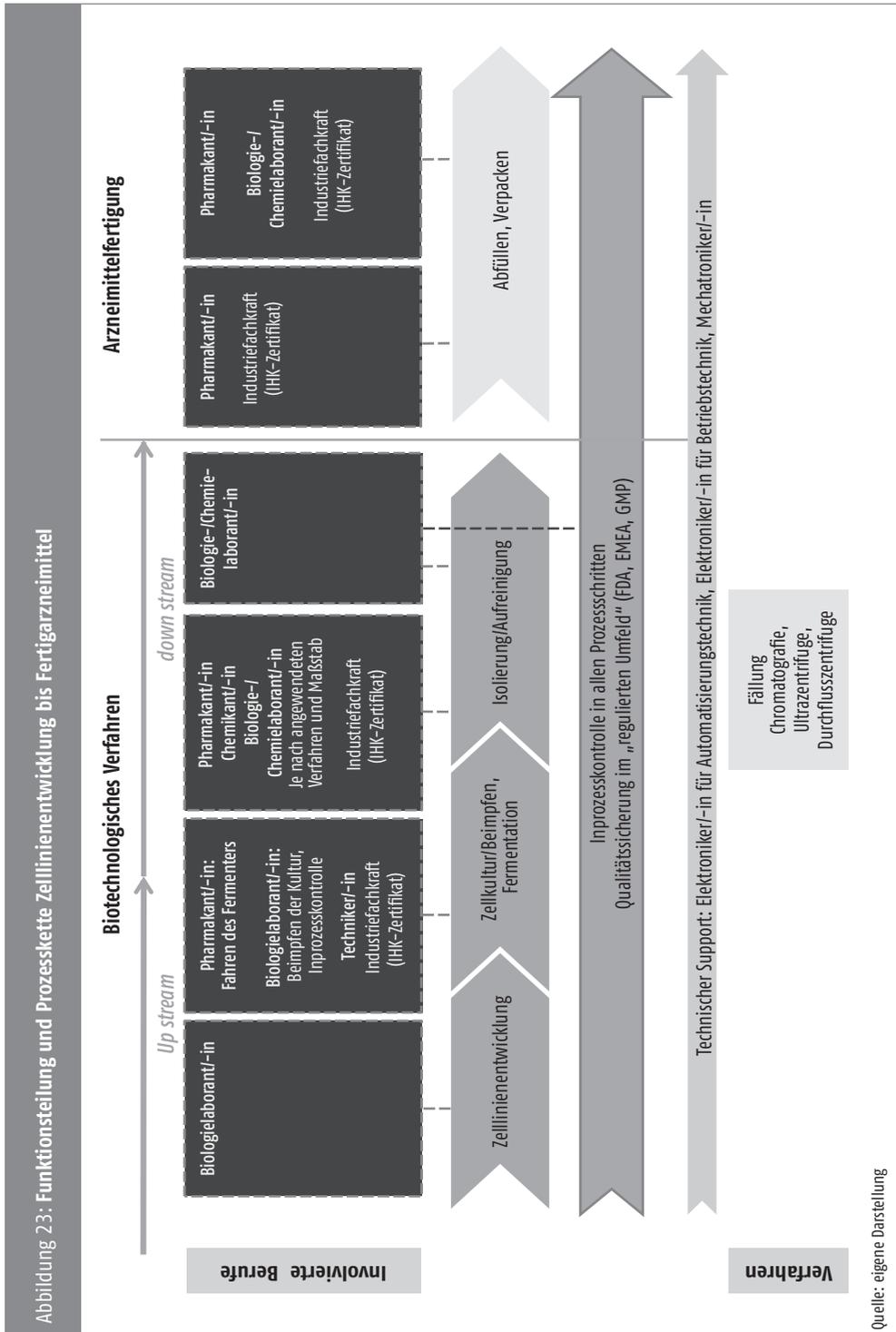
### Zu a) Funktionsteilung und Prozesskette Zelllinienentwicklung bis Fertigarzneimittel:

**Fallbeispiel Herstellung von Impfstoffen (ausbildender Betrieb):** Das Interview wurde mit Ausbildungsverantwortlichen eines Bildungsdienstleisters geführt, der an mehreren

Standorten tätig ist. Produktgruppen aus dem Bereich der „roten“ Biotechnologie sind hier u. a. Impfstoffe, Blutplasma-Proteine, Biopharmazeutika, Diagnostika und Reagenzien. Am Standort werden ca. zehn verschiedene bakterielle und virale Impfstoffe hergestellt. Die Produktionsmengen sind – produktspezifisch – vergleichsweise klein und liegen im Bereich von einigen Litern/Woche, bei Fermentervolumen von  $\sim 2 \times 2500$  l. Im Rahmen des Interviews wurde die Prozesskette für die Herstellung von viralen Impfstoffen einschließlich der eingesetzten Berufe betrachtet. Die Prozesskette reicht von der Zelllinienentwicklung bis zur „Fertigung“ (Formulierung, Abfüllung, Konfektionierung und Verpackung der Impfstoffe).

**Zelllinienentwicklung:** Gewinnung und Kultivierung primärer Zellen, Herstellen und Kultivieren von Zelllinien; Herstellen von Zellkonserven, Lagerung und Konservierung in Lagersystemen mit flüssigem Stickstoff

- ▶ Zellvermehrung: Ein kleines Volumen (ml) der in flüssigem Stickstoff gelagerten Zellen wird zu Beginn der Produktion aufgetaut und in einer Nährlösung schrittweise unter Einhaltung der optimalen Wachstumsbedingungen bis zur optimalen Wachstumsdichte im gewünschten Volumen vermehrt. Die stufenweise Vermehrung der Zellen wird in einem geschlossenen System im Reinraum durchgeführt und ist automatisiert, Parameter wie z. B. Temperatur, Ph-Wert, Sauerstoffsättigung, Konzentration der Nährlösung werden kontinuierlich überwacht und dokumentiert. Vorbereitende Tätigkeiten sind die Nährmedienherstellung (Einwaage, Formulierung, Sterilisation (Autoklavieren und Filtern), Lagerung und Freigabe von Material und Medien.
- ▶ Virusvermehrung: Wenn die optimale Wachstumsdichte der Zellen im Endvolumen (Produktionsfermenter  $\sim 2500$  l) erreicht ist, werden die Viren zur Infektion der Zellen hinzugegeben und vermehren sich im Laufe mehrerer Tage innerhalb der Zellen. Ein großer Teil der Zellen stirbt während dieses Vervielfältigungsvorganges ab. Die Viren werden dabei in das Medium freigesetzt, können aber auch in Zellen verbleiben.
- ▶ Aufreinigung: Der erste Schritt ist die Separation, die Trennung der virushaltigen Lösung von den Zellresten bzw. die Abtrennung der virushaltigen Zellen und deren Abschluss. Im Folgenden wird das Virus von der Medienlösung getrennt und das Volumen reduziert. Verfahren zur Aufreinigung sind z. B. Chromatografie, Zentrifugation, Fällung. Abschließend werden die Viren durch einen chemischen Prozess inaktiviert und ggf. gespalten. Nach Durchführung der Aufreinigung liegt das Antigenkonzentrat vor.
- ▶ Formulieren, Abfüllen und Verpacken: Am Ende des Prozesses wird das Arzneimittel formuliert, abgefüllt, konfektioniert und verpackt.
- ▶ Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle: Produktionsbegleitend und zum Abschluss der Produktion finden fortlaufend zahlreiche Qualitätskontrollen statt.



Die bakterielle Impfstoffproduktion verläuft nach einem vergleichbaren Schema ab, allerdings benötigen Bakterien keinen Wirtsorganismus, sondern können sich eigenständig vermehren. Die Teilschritte sind dann: Herstellung von Vorkulturen des Bakteriums, Vor- und Hauptfermentation, Aufarbeitungsprozesse zur Gewinnung von Zellen, bakteriellen Toxinen oder Membranproteinen.

Eingesetzte Fachkräfte in der Produktion der Impfstoffe sind vor allem Biologielaborant/-in und Pharmakant/-in, z. T. auch Chemikant/-in. Hinzu kommen Berufe im technischen Support wie Elektroniker/-in für Betriebstechnik, Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik und Mechatroniker/-in. In fast allen Prozessschritten werden auch Angelernte eingesetzt („Industriefachkraft“, IHK-Zertifikat).

Eine relativ deutliche Funktionsteilung besteht zwischen Laborant/-in und Pharmakant/-in sowie Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen im technischen Support, wobei allerdings die Befähigung zur fachlichen Kommunikation über die Berufsgrenzen hinweg notwendig ist. Laborleiter bzw. -leiterinnen sind in der Regel Hochschulabsolventen/-absolventinnen (Bachelor, Ingenieursabschluss). Als Betriebsassistenten und -assistentinnen sowie Schichtführer/-innen werden erfahrene Laboranten/Laborantinnen oder Pharmakanten/Pharmakantinnen, Hochschulabsolventen/Hochschulabsolventinnen (Bc., Ing.) und Techniker/-innen eingesetzt.

Am betrachteten Standort spielt die Ausbildung als Rekrutierungsweg für Fachkräfte eine wesentliche Rolle. Es werden die Berufe Biologielaborant/-in und Pharmakant/-in ausgebildet.

Biologielaboranten und -laborantinnen sowie Pharmakanten und Pharmakantinnen arbeiten in der Produktion von Impfstoffen als Team, wobei sich ihre beruflichen Kompetenzen ergänzen bzw. in Grundlagen z. T. überlappen. Domäne der Biologielaboranten und -laborantinnen sind die Zelllinienentwicklung/Zellkultur, im Rahmen von FuE in Kooperation mit akademischen Berufen, das Beimpfen des Fermenters und die Inprozess- und abschließende Qualitätskontrolle, wobei Probenahmen z. T. auch von Pharmakanten und Pharmakantinnen vorgenommen werden. Domäne der Pharmakanten und Pharmakantinnen ist das Steuern und Überwachen der Fermentation mit Prozessleitsystemen, die „Fertigung“ (Formulieren, Abfüllen, Konfektionieren und Verpacken des Impfstoffs) sowie die Wartung der Anlagen. Die Fermentation läuft kontinuierlich im Schichtbetrieb. Auch die Fertigung ist automatisiert bzw. im Fall kleiner Chargengrößen teilautomatisiert und erfolgt im Reinraum.

Anstelle der Pharmakanten und Pharmakantinnen können, abhängig vom jeweiligen Aufreinigungsverfahren und Produktionsvolumen, nach Auffassung der Interviewpartner auch Chemikanten und Chemikantinnen eingesetzt werden. Praktiziert wird dies an einem anderen Standort des Bildungsdienstleisters in der großtechnischen biotechnologischen Insulinherstellung mithilfe von gentechnisch veränderten Bakterien. Im Upstream-Prozess erfolgt die Anzucht des Produktionsstammes aus Zellbanken und seine sukzessive Kultivierung bis zum Volumen des industriellen Produktionsfermenters (60 Kubikmeter = 60000 l). Im

Downstream-Prozess werden folgende Schritte durchlaufen: Inaktivierung der Bakterien, Extraktion der Insulinvorstufe, Faltung des Proteins und Aufreinigung. In einem komplexen technischen Prozess mit etwa 130 Einzelschritten werden zunächst die Zellwände der etwa sechs Tonnen Bakterien zerstört, die biologisch inaktive Insulinvorstufe wird aus dem Gemisch aus Nährflüssigkeit und Bakterientrümmern isoliert und in wirksames Insulin umgewandelt. Jeder Prozessschritt wird kontinuierlich bioanalytisch überwacht und dokumentiert; wesentliche Produktionsparameter sind z. B. Temperatur, pH-Wert, Sauerstoff- und Kohlendioxidsättigung, Nährstoffkonzentration- und -verteilung, Rührgeschwindigkeit, Zeit u. a. Abschließender Schritt in der Herstellung des Wirkstoffs Insulin sind die chromatografische (Hoch-)Reinigung, Kristallisation und Gefriertrocknung.

### **Fallbeispiel Herstellung von Biopharmazeutika und deren Weiterverarbeitung zum Fertigarzneimittel (im naturwissenschaftlich-technischen Bereich nicht ausbildend):**

Mitarbeiter/-innen in den Labors und in der Produktion sowie Adressaten von Stellenausschreibungen sind in hohem Maß biologische, chemische, medizinische und umwelttechnische Assistenten und Assistentinnen. (BTA, CTA, MTA, UTA), die ihre Ausbildung an einer Vollzeitschule nach Landesrecht durchlaufen haben

Die Mitarbeiter/-innen in der Produktion arbeiten im Team mit definierten Verantwortlichkeiten. Berufsbezogene Funktionsteilungen gibt es innerhalb der Prozessabschnitte nicht.

- ▶ In der Zelllinienentwicklung arbeiten Biologielaboranten und -laborantinnen, BTA, UTA, Akademiker/-innen.
- ▶ In der Bioprozessentwicklung arbeiten Biologielaboranten und -laborantinnen, BTA, UTA, Akademiker/-innen.
- ▶ In der Wirkstoffproduktion (Fermentation und Aufreinigung) werden Pharmakanten und Pharmakantinnen, Biologielaboranten und -laborantinnen, BTA, UTA; auch CTA, MTA, Meister/-innen und Techniker/-innen eingesetzt.
- ▶ Bei der Herstellung des Fertigarzneimittels werden angelernte Kräfte, Pharmakanten und Pharmakantinnen, Techniker/-innen, Industriemeister/-innen Fachrichtung Pharmazie beschäftigt.
- ▶ In der Qualitätssicherung, -kontrolle werden Chemie- und Biologielaboranten und -laborantinnen, Pharmakanten und Pharmakantinnen, technische Assistenten/Assistentinnen (TA) eingesetzt.
- ▶ Weiteres technisches Personal wird in der zentralen Technik eingesetzt.

Einarbeitungsbedarf für (TA) besteht vor allem in der Bioprozessentwicklung und Wirkstoffherstellung, da die schulische Ausbildung keine Berufserfahrung im Produktionsbereich vermitteln kann. Bei der Einstellung von Biologielaboranten und -laborantinnen ist der Einarbeitungsbedarf vor allem vom Geschäftsfeld des ausbildenden Betriebes und der individuellen Berufserfahrung abhängig. Unabhängig von Einarbeitungen spielen Schulungen aufgrund

rechtlicher Vorgaben für die Arzneimittelherstellung eine große Rolle, da Methoden nur dann angewendet werden dürfen, wenn eine Schulung durchgeführt wurde und durch eine Dokumentation belegt ist. Die Einstellung von Angelernten im Bereich der Arzneimittelfertigung ist auch dadurch bedingt, dass sich Pharmakanten und Pharmakantinnen in diesem Arbeitsbereich recht häufig unterfordert fühlen. Aus diesem Grund werden in diesem Bereich eingesetzte Pharmakanten und Pharmakantinnen z. T. mit besonderen Aufgaben betraut. Die Teamleitung liegt bei Technikern und Technikerinnen oder bei Meistern/Meisterinnen.

**zu b) Prozesskette Zelllinienentwicklung bis Wirkstoffproduktion:** Das Interview wurde in einem Pharma-Unternehmen geführt, welches am betrachteten Standort parallel biotechnologische Forschung, Entwicklung und Produktion von Biopharmazeutika sowie Diagnostika betreibt. Interviewpartner waren zwei leitende Mitarbeiter aus der Produktion (Leiter des Bereichs Fermentation mit 150 Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen sowie der Leiter eines Produktionsbetriebes), der Leiter der betrieblichen Ausbildung mit insgesamt 250 Auszubildenden sowie der für Chemikanten und Chemikantinnen und technische Berufe verantwortliche Ausbilder.

Im Interview wird exemplarisch die Herstellung von Biopharmazeutika (therapeutische Proteine) betrachtet mit der Prozesskette Zelllinienentwicklung – Bioprozessentwicklung – Wirkstoffproduktion. Die Weiterverarbeitung zu Fertigarzneimitteln erfolgt an einem anderen Standort. Während die Zelllinienentwicklung ausschließlich im Labor erfolgt, findet bei der Bioprozessentwicklung ein gleitender Übergang statt vom Labor über das Technikum bis zum Pilotmaßstab mit Fermentervolumen bis ca. 1000 Litern. In der großtechnischen, vollautomatisierten Wirkstoffproduktion mit Fermentervolumen bis ca. 50000 Litern werden Wirkstoffmengen im Kilobereich hergestellt.

Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle spielen entlang der gesamten Prozesskette eine Rolle, wobei in den verschiedenen Prozessschritten jeweils unterschiedliche Aspekte im Vordergrund stehen. Die Qualitätssicherung in der Wirkstoffproduktion erfolgt in Laborbereichen vor Ort, also integriert im Produktionsbetrieb, durch Inprozesskontrollen. Die Qualitätskontrolle der Einsatzstoffe und des Wirkstoffs zur Freigabe wird in speziellen Laboren durchgeführt.

Entlang der gesamten Prozesskette werden Biologie- und Chemielaboranten und -laborantinnen, Chemikanten und Chemikantinnen sowie Lebensmittelberufe, v. a. Brauer und Milchtechnologen (frühere Berufsbezeichnung Molkereifachmann/-frau), und technische Assistenten und Assistentinnen (TA) eingesetzt. Akademische Berufe sind v. a. Biologen, Biotechnologen, Ing./Bc. Verfahrenstechnik. Hinzu kommen im technischen Support Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik sowie Betriebstechnik. Die Instandhaltung wird überwiegend extern vergeben.

Wenngleich Biologie- und Chemielaboranten und -laborantinnen sowie TA eher in den Laborbereichen innerhalb der Produktion bzw. den Speziallaboren und Chemikanten und Chemikantinnen sowie Lebensmittelberufe eher in den „technischen Bereichen“ der Wirkstoffproduktion arbeiten, sind zwischen diesen Einsatzbereichen und beruflichen Tätigkei-

ten keine berufsscharfen Abgrenzungen, sondern fließende Übergänge gegeben. Deutlich ausgeprägt sind geschlechtsspezifische Unterschiede: Bei denselben Berufen sind Mitarbeiterinnen in den Speziallaboren in der Überzahl, Mitarbeiter in den technischen Bereichen einschließlich Inprozesskontrolle. Das Verhältnis von Biologielaboranten/-laborantinnen und Chemielaboranten/-laborantinnen in den Laboren der Qualitätskontrolle liegt bei ca. 30 Prozent zu 70 Prozent. Arbeitsschwerpunkte sind hier die Anwendung instrumenteller Analytik und z. T. auch nasschemische Methoden.

Hinsichtlich besonderer Qualifikationsanforderungen in einzelnen Prozessschritten kann folgende grobe Zuordnung getroffen werden:

- ▶ Zelllinienentwicklung: Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten aus den Bereichen Zellkulturtechnik, Molekularbiologie
- ▶ Fermentation: Der Prozess steht im Mittelpunkt: Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten aus den Bereichen Bioverfahrenstechnik, Biologie, Mikrobiologie
- ▶ Aufreinigung: Das Produkt steht im Mittelpunkt: Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten aus den Bereichen Biochemie (Struktur und Eigenschaften von Proteinen), Trenn- und Reinigungsverfahren für Proteine
- ▶ Eine zentrale Qualifikationsanforderung über alle Prozessschritte hinweg ist es, alle Arbeiten gemäß GMP Richtlinien (Good Manufacturing Practice) durchzuführen und zu dokumentieren.

Stellenausschreibungen zur Besetzung vakanter Stellen werden an alle der o. g. Berufe adressiert, da sich die Teamlösung bewährt hat und Diversität gewollt ist. Mit der Öffnung für Lebensmittelberufe kommen Kompetenzen hinzu, zum Beispiel die umfangreiche Erfahrung von Milchtechnologe/-technologinnen mit Separatoren. Für die Lebensmittelberufe spricht weiterhin die berufliche Erfahrung mit Hygienestandards, die den GMP-Richtlinien für pharmazeutische Betriebe nahekommen.

Bei externer Rekrutierung von Beschäftigten besteht in der Regel je nach Beruf und vor allem beruflicher Erfahrung der neuen Mitarbeiter/-innen Einarbeitungs-/Schulungsbedarf in folgenden Bereichen:

- ▶ Grundlagen Biologie, Mikrobiologie, Biochemie
- ▶ Mikrobiologisches Arbeiten
- ▶ Steriles Arbeiten
- ▶ GMP im pharmazeutischen Betrieb, auch im Zusammenhang mit Wartungsarbeiten und mechanischer Instandhaltung
- ▶ Spezielle Aufreinigungsverfahren für Proteine, wie z. B. Ultrafiltration, Diafiltration, Affinitätschromatografie.

Um die betrieblichen Qualifikationsanforderungen umfassend zu beschreiben, legten die Interviewpartner exemplarische Stellenausschreibungen vor:

**Abbildung 24: Stellenbeschreibung Fermentation****Stellenbeschreibung*****Produktionsangestellter Fermentation***

Arbeiten für den Betrieb von Fermentations- und Ernteanlagen gemäß cGMP-Richtlinien. Bearbeitung von Produktionsaufträgen zur biotechnologischen Herstellung von pharmazeutischen Wirkstoffen durch Kultivierung von genetisch modifizierten Zellen.

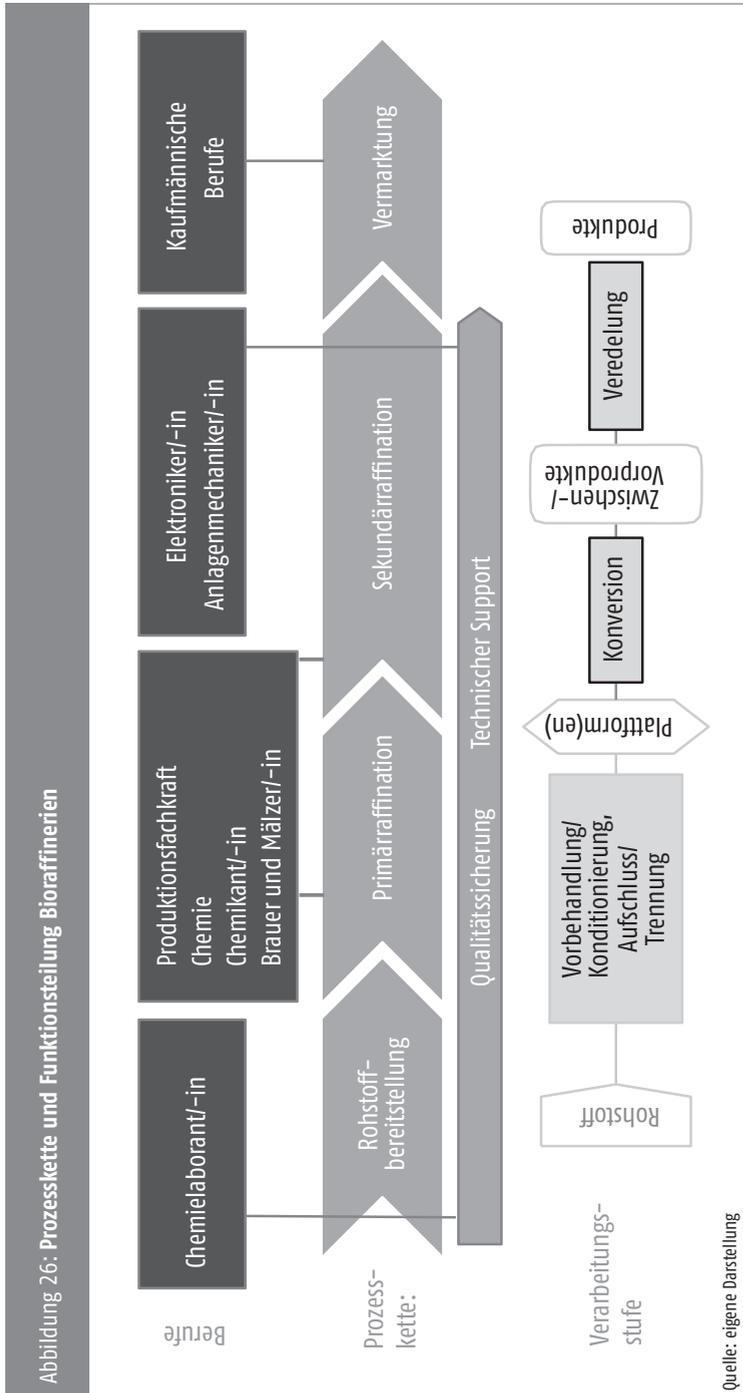
- ▶ Ausführung von Arbeiten im Fermentationsbetrieb inklusive Wartungsarbeiten an Anlagen und Geräten. Reinhaltung von Arbeitsräumen und Anlagen.
- ▶ GMP-gerechte Durchführung der betrieblichen Dokumentation, z. B. in Herstellvorschriften, Betriebsbüchern und Arbeitsvorschriften und in Vertretung des/der Schichtführers/-in auch deren Überwachung. Mitarbeit bei der Erstellung bzw. Aktualisierung von Arbeits- und Herstellvorschriften.
- ▶ Betreuung von zugewiesenen Arbeitsfeldern z. B. Wahrnehmung von Geräteverantwortung, Anlagenqualifizierung, Requalifizierung nach Umbauten, Mitarbeit bei der Erstellung von R+I-Schemata sowie Anlagenfunktionsbeschreibungen. Mitarbeit bei der Erstellung von automatisierten Produktionsrezepten.
- ▶ Durchführung analytischer Arbeiten im Rahmen allgemeiner Richtlinien.

**Abbildung 25: Stellenbeschreibung Aufreinigung****Stellenbeschreibung*****Produktionsangestellter Downstream Processing (Aufreinigung)***

Arbeiten für den Betrieb von Produktionsanlagen gemäß cGMP-Richtlinien. Bearbeitung von Produktionsaufträgen zur biotechnologischen Herstellung von pharmazeutischen Wirkstoffen. Umgang mit Material pflanzlichen, tierischen und mikrobiellen Ursprungs sowie einfache Laborarbeiten wie Reinigung/Instandhaltung von Gebrauchsgegenständen wie Prozess- und Laborequipment.

- ▶ Produktion von therapeutisch wirksamen Proteinen und Peptiden unter GMP-gerechten Bedingungen sowie ggf. Optimierung und „scale up“ dieser Verfahren: Steuern und Überwachen von Anlagen sowie Durchführung der zugehörigen Analytik im Rahmen allgemeiner Richtlinien.
- ▶ GMP-gerechte Durchführung der betrieblichen Dokumentation, z. B. in Betriebsbüchern und Arbeitsvorschriften sowie vollständige Dokumentation in Herstellvorschriften. Mitarbeit bei der Erstellung bzw. Aktualisierung von Arbeitsvorschriften. Mitarbeit bei Ursachenanalyse und Unterstützung bei der Erstellung der erforderlichen Berichte im Rahmen des Deviationhandlings.
- ▶ Betreuung von zugewiesenen Arbeitsfeldern, z. B.: Wahrnehmung von Geräteverantwortung. Ausführung von Arbeiten im Produktionsbetrieb inklusive Wartungsarbeiten an Anlagen und Geräten. Reinhaltung von Arbeitsräumen und Anlagen.

**Zu c) Prozesskette und Funktionsteilung Bioraffinerien:**



In der Primär- und Sekundärraffination werden Produktionsfachkräfte Chemie, Chemikanten/Chemikantinnen und – v. a. in der Fermentation – auch Brauer/-innen eingesetzt. Sie bringen die notwendigen Erfahrungen in der Prozessführung und im monoseptischen Arbeiten mit. Die Qualitätssicherung wird von Chemielaboranten und -laborantinnen ausgeführt. Im technischen Support arbeiten Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik und Betriebstechnik sowie Anlagenmechanikerinnen und -mechaniker.

#### **4.8.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung**

**Ausbildung:** Auch die Ergebnisse zu Qualifikationsanforderungen in der Ausbildung werden wieder entlang der im letzten Abschnitt eingeführten Unterscheidungen nach Anwendungsfeldern a–c) aufgegliedert.

**Zu a) Unternehmen mit Prozesskette Zelllinienentwicklung bis Wirkstoffherstellung:** Zur Deckung des Fachkräftebedarfs spielt die Ausbildung eine wesentliche Rolle. Das Unternehmen beschäftigt insgesamt rund 250 Auszubildende in sieben Berufen einschließlich Studenten und Studentinnen in dualen Studiengängen. Im Jahr 2015 werden für den Beruf Chemikant/-in 12 Ausbildungsstellen ausgeschrieben, für Biologielaborant/-in 20 und für Chemielaborant/-in 32. Die Ausbildungsplätze für Chemikanten/Chemikantinnen sind durch die Kapazität des Technikums limitiert. Die Ausbildungsordnungen für die Berufe Biologie- und Chemielaborant/-in erlauben von der Struktur und den Ausbildungsinhalten her eine passgenaue Ausbildung von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen für die Zelllinienentwicklung, Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle (und die weiteren Einsatzbereiche im Betrieb, z. B. in der Forschung).

Die Wahl des Ausbildungsberufs Chemikant/-in ist demgegenüber in gewisser Weise ein Kompromiss: Der für den Pharmabereich konzipierte Produktionsberuf Pharmakant/-in ist keine Option, da am Standort keine Herstellung, Konfektionierung und Verpackung von Fertigarzneimitteln erfolgt. Demzufolge hat ein sehr hoher Anteil der Ausbildungsinhalte, die gesamte pharmazeutische Verfahrenstechnik und Galenik, keine Entsprechung in den betrieblichen Qualifikationsbedarfen und könnte im Betrieb auch nicht vermittelt werden. Dieser negative Aspekt kann durch eine zeitlich und inhaltlich umfangreichere Wahlqualifikation zur biotechnologischen Wirkstoffherstellung (Pharmakant/-in 24 Wochen, Chemikant/-in zehn Wochen) und die umfassenden Ausbildungsinhalte zur GMP in der pharmazeutischen Produktion nicht annähernd aufgewogen werden. Die Übereinstimmungen zwischen Qualifikationsbedarfen in der biotechnologischen Produktion und der Ausbildungsordnung Chemikant/-in sind demgegenüber höher. Als Problembereiche der Ausbildungsordnung Chemikant/-in gegenüber den biotechnologischen Qualifikationsbedarfen werden aber folgende Aspekte gesehen, die z. T. einen erhöhten Ausbildungsaufwand verursachen:

- ▶ Biotechnologische Verfahren einschließlich der theoretischen Grundlagen aus Biologie, Mikrobiologie und Biochemie fehlen in der Pflichtqualifikation.

- ▶ GMP in der pharmazeutischen Produktion, auch im Zusammenhang mit Wartung und mechanischer Instandhaltung.
- ▶ Beschulung: Das „Fehlen“ biotechnologischer Inhalte in der Pflichtqualifikation führt dazu, dass schulische und betriebliche Ausbildung nicht den wünschenswerten Bezug zueinander haben, da sich Anwendungsbeispiele und Lernsituationen entsprechend Ausbildungsordnung und Rahmenlehrplan und je nach Zusammensetzung der Berufsschulklasse eher an der chemischen Produktion (Verfahren, Prozessparameter, Messgeräte, etc.) orientieren (müssen).
- ▶ Die thermische Verfahrenstechnik ist für die Qualifikationsbedarfe in der biotechnologischen Herstellung von therapeutischen Proteinen nicht relevant. Die übrigen Inhalte sind passend, müssen z. T. aber auf die besonderen Gegebenheiten biotechnologischer Anlagen und Verfahren übertragen werden.
- ▶ Als nicht optimal werden im Weiteren die Prüfungsregelungen eingestuft: Aufgrund o. g. Defizite im Ausbildungsrahmenlehrplan (ARP) wird in den schriftlichen Aufgaben in Teil 1 kein Bezug zu biotechnologischen Grundlagen und Verfahren hergestellt. Die Wahlqualifikationen in Teil 2 der gestreckten Abschlussprüfung werden nicht schriftlich geprüft. Die Prüfungsdauer (sie wurde 2009 auf sieben Stunden reduziert) für die praktische Aufgabe lässt de facto nicht zu, mehr als eine Wahlqualifikation einzubeziehen. Damit können nicht alle vermittelten, für die biotechnologische Produktion relevanten Wahlqualifikationen einbezogen werden. In der Folge geben Prüfungsergebnis und Zeugnis kaum wieder, ob und in welchem Maße der Prüfling über Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten verfügt, um biotechnologische Verfahren zur Herstellung pharmazeutischer Wirkstoffe durchzuführen.

Die Defizite werden aufgefangen, indem die betriebliche Ausbildung im 1. Ausbildungsabschnitt über die Mindestanforderungen der Ausbildungsordnung hinausgeht. Inhalte der Wahlqualifikation Mikrobiologie werden ins erste Ausbildungsjahr vorgezogen und im Ausbildungslabor/-technikum vermittelt. Im 2. Ausbildungsabschnitt erfolgt eine Vertiefung. Weiterhin werden die Ausbildungsinhalte zu chemischen Reaktionen um enzymatische Reaktionen ergänzt. Insbesondere in der Pflichtqualifikation spielt die Vermittlung theoretischer Grundlagen in der betrieblichen Ausbildung beim Beruf Chemikant/-in eine größere Rolle als bei den Laborberufen.

In der Gesamtschau wird die Ausbildungsordnung Chemikant/-in für biotechnologische Unternehmen als praktikabel, aber nicht optimal eingestuft. Eine Modifizierung der bestehenden Ausbildungsordnung oder Schaffung eines neuen Ausbildungsberufes würde, sofern überregional ein entsprechender Bedarf vorhanden wäre, ausdrücklich begrüßt.

### **Zu b) Unternehmen mit einer Prozesskette Zelllinienentwicklung bis Herstellung von Fertigarzneimitteln:**

Die Entscheidung, Pharmakanten und Pharmakantinnen auszubilden, hängt mit ihrem breiten Einsatzbereich in der Prozesskette zusammen. Sie können nicht nur im Kernbereich ih-

rer beruflichen Kompetenzen, in der Arzneimittelfertigung, sondern auch in der biotechnologischen Wirkstoffherstellung eingesetzt werden, da in der Ausbildung eine entsprechende Wahlqualifikation im zeitlichen Umfang von 24 Wochen zur Verfügung steht. Neben arbeitsorganisatorischen Vorteilen, die sich aus der breiten Einsetzbarkeit ergeben, spielt bei der Entscheidung für Pharmakanten und Pharmakantinnen auch die Identifikation der Unternehmen mit „ihrem“ Branchenberuf eine Rolle.

Zur Deckung der Qualifikationsanforderungen im biotechnologischen Produktionsabschnitt könnten nach Auffassung der Interviewpartner auch Chemikanten/Chemikantinnen ausgebildet werden. Die Ausbildungsordnung bietet eine entsprechende Wahlqualifikation im Umfang von zehn Wochen an. Die Qualifikationsanforderungen im Bereich der Fertigung werden demgegenüber durch die Ausbildungsordnung nicht abgedeckt.

Das im naturwissenschaftlich-technischen und gewerblich-technischen Bereich nicht ausbildende Unternehmen sieht die hohen Anforderungen im Bereich der Pflichtqualifikation Zoologie/Pharmakologie in der Ausbildungsordnung für Biologielaboranten/-laborantinnen als Ausbildungshemmnis an. Vor einigen Jahren (ca. 2006) wurde das Unternehmen initiativ, um für die Schaffung eines biotechnologischen Laboranten/einer Laborantin zu werben. Die Unterstützung vonseiten anderer Unternehmen und Verbände war gering. Unternehmen, insbesondere solche, die Biologielaboranten und -laborantinnen mit umfassenden Qualifikationen im Bereich Zoologie/Pharmakologie benötigen, bewerteten die Schaffung eines zusätzlichen Berufes als nicht sinnvoll. Im gewerblich-technischen Bereich wird aufgrund des geringen Bedarfs nicht ausgebildet. Ausgebildet werden kaufmännische und logistische Berufe.

Das Unternehmen mit Forschung, Entwicklung und Produktion von Instrumenten und Reagenzien merkt bei insgesamt positiver Bewertung der Ausbildungsordnung Biologielaborant/-in an, dass der Bereich Immunologie bei Gelegenheit gestärkt werden sollte. Die zunehmende Bedeutung wird nicht als betriebsspezifische, sondern als allgemeine Entwicklung gesehen.

Der Berufsschulunterricht wird – gemessen an betrieblichen Bedarfen in verschiedenen Bereichen – als nicht tiefgehend genug eingestuft. Die Ursache wird aber vor allem in der forschungsnahen Tätigkeit gesehen. Alternativen zum Tierversuch sollten im Berufsschulunterricht ein Thema sein. Der Stellenwert des Bereichs Zoologie/Pharmakologie in der Pflichtqualifikation wird aber nicht infrage gestellt.

**Zu c) Bioraffinerien:** In beiden Interviews wurde die Auffassung vertreten, dass keine rundum geeigneten Fachkräfte vorhanden sind. Chemikanten und Chemikantinnen verfügen häufig nicht über ausreichende Kenntnisse, Fertigkeiten und Fähigkeiten im Hinblick auf mikrobielle Herstellungsverfahren, es sei denn, sie wurden in einem entsprechenden Betrieb mit der Wahlqualifikation Mikrobiologie ausgebildet. An einem der Standorte werden Che-

mikanten/Chemikantinnen beschäftigt und ausgebildet. Die Ausbildungsordnung wird als nicht optimal eingestuft, wobei die auf S. 134 f. genannten Aspekte angesprochen werden. Weiterhin wird auf verfahrenstechnische Besonderheiten hingewiesen, wie die hohe Anzahl von Prozessparametern (u. a. Sauerstoffsättigung und -partialdruck, Nährstoffgehalt, enger Temperaturbereich, Rührgeschwindigkeit, Schaumstandkontrolle) und den Einsatz spezieller Messgeräte wie z. B. Biosensoren. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Beachtung von Hygienestandards (monoseptisches Arbeiten). Es wird die Auffassung vertreten, dass im Interesse der Fachkräftesicherung ein spezifisches Ausbildungsprofil für die biotechnologische Produktion notwendig ist.

**Weiterbildung:** Wesentliches Element zur Ermittlung von individuellen Qualifikationsbedarfen sind Mitarbeitergespräche. Mitarbeiter/-innen haben in diesem Rahmen auch die Möglichkeit, ganz gezielt zu sagen, ob es Bereiche gibt, in denen sie sich weiterbilden oder fortbilden möchten (oder sogar müssen). Die Einarbeitung erfolgt im Wesentlichen durch Mentoren.

Eine zentrale Rolle für Fort- und Weiterbildung spielt in einem Unternehmen die unternehmenseigene Akademie. Sie bietet Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern die Möglichkeit, individuelle Lernpfade zu gestalten. Es gibt allerdings auch Pflichtmodule, wie z. B. die Sicherheitsunterweisungen einschließlich Prüfung für Labormitarbeiter/-innen. Es werden sowohl fachliche als auch überfachliche Schulungen angeboten. Schulungen werden von externen Kräften und von eigenen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen durchgeführt: Mitarbeiter/-innen aus dem technischen Support für Kunden schulen z. B. Mitarbeiter/-innen aus dem Vertrieb. Der technische Support hat eine eigene Trainingsabteilung, die auch Kunden offensteht (Herstellerschulung). Fortbildung wird gefördert, wobei es keine standardisierten Programme gibt, sondern einzelfallbezogen nach Lösungen gesucht wird. Formale Abschlüsse werden nicht grundsätzlich höher bewertet als betriebsinterne Weiterbildungen. Bei Vollzeitweiterbildungen besteht die Möglichkeit, das Arbeitsverhältnis ruhen zu lassen.

Folgende Inhalte und Abschlüsse wurden in Bezug auf Anpassungsweiterbildung und Fortbildung genannt:

- ▶ Anpassungsweiterbildung
  - ▶ Deutlicher Schwerpunkt bei den GMP-Anforderungen
  - ▶ Weiterbildungsprogramme zielen auf Schlüsselqualifikationen, Methodenkompetenz, persönliche Kompetenzen und Führungskompetenzen ab.
  - ▶ Fachliche Weiterbildungen erfolgen nach Abstimmung mit dem Fachvorgesetzten, in der Regel außer Haus.
  - ▶ Berufsfremde Mitarbeiter/-innen – „Angelernte“ – werden durch Schulung zur Industriefachkraft (Zertifikat IHK) auf ihren Einsatz in der Produktion vorbereitet, z. T. erfolgt im Weiteren berufsbegleitend eine Vorbereitung auf die Externenprüfung zum/r Pharmakant/-in bzw. Biologielaborant/-in.

- ▶ Anpassungsweiterbildung im Forschungsbereich findet abteilungsintern statt. Im Bereich klinischer Anwendungen besteht hoher Schulungsbedarf (GMP-Richtlinien, GMP-Dokumentation, Reinraum).
- ▶ Relevante Fortbildungen:
  - ▶ firmeninterne Fortbildungsangebote wie z. B. zum/zur „Rezeptierer/-in“ (Erstellung automatisierter Produktionsrezepte), Spezialisierung in der Qualitätssicherung, Dokumentation,
  - ▶ Industriemeister/-in Fachrichtung Chemie; das Fortbildungsprofil hat einen Wahlbereich Biotechnologie
  - ▶ Techniker/-in – Fachrichtung Biologie/Chemie, staatlich geprüft
  - ▶ Labortechniker/-in – Fachrichtung Biotechnologie (IHK) Bachelorstudiengang Bioprozessinformatik.

#### 4.8.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer

Bei der Entwicklung neuer Geräte werden nicht akademische Berufe einbezogen, sobald es um die konkrete technische Umsetzung, und nicht mehr um die Idee an sich geht. Naturwissenschaftliche und technische Entwicklung verlaufen zunächst seriell, dann parallel. In interdisziplinären Teams sind in der Regel Ingenieurinnen und Ingenieure, Mechatroniker/-innen, verschiedene technische Mitarbeiter/-innen sowie Mitarbeiter/-innen aus Marketing und Vertrieb beteiligt.

Das spezialisierte, forschungsnahe Unternehmen bietet sowohl für Studenten und Studentinnen mehrmals jährlich Exkursionen an, um die speziellen Geräte kennenzulernen. Für die Auszubildenden der eigenen Berufsschule wird eine vergleichbare Veranstaltung durchgeführt. Auch andere Firmen bieten diese Möglichkeit an.

#### 4.8.6 Sonstige Ergebnisse

**Automatisierung:** Der hohe Automatisierungsgrad kann das (manuelle) Tätigkeitsspektrum von Pharmakanten und Pharmakantinnen einschränken, z. B. auf die Überwachung und Dokumentation von Prozessschritten. Nach Auffassung der Interviewten geht mit der Automatisierung eine Änderung, nicht aber Herabsetzung der Anforderungen einher:

*„Automatisierung heißt, es ist eine andere Belastung in der Beobachtungsfunktion. (...) Zu kontrollieren, ist eine ganz andere Herausforderung als operativ, händisch etwas noch selbst machen. Das heißt, an die Pharmakantinnen, jetzt in diesem Beispiel, werden andere Herausforderungen gestellt, wobei man aber trotzdem gewisse Grundlagen für die Prozesssteuerung, die Prozessabläufe verstanden haben muss.“*

So legen die Firmen grundsätzlich Wert auf Mitarbeiter/-innen, die breit ausgebildet sind, die gesamte Prozesskette und v. a. die GMP-Anforderungen kennen und verstehen und an verschiedenen Arbeitsplätzen einsetzbar sind. Z. T. wird Job Rotation praktiziert, um eine breite Einsatzfähigkeit entlang der Prozesskette und ggf. in verschiedenen Produktionslinien aufrechtzuerhalten und weiterzuentwickeln.

Sowohl bei der Herstellung von Reagenzien im Labormaßstab als auch im sonstigen Laborbereich werden zunehmend Roboter (z. B. Pipettierroboter) eingesetzt. Sie werden in diesen Bereichen als Unterstützung und Reduzierung von Routinearbeiten gesehen, nicht als Ersatz von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen. In der Ausbildung sollte hierauf größeres Augenmerk gelegt werden, auch damit man „technische Affinität entwickeln kann“.

**Dynamik von Veränderungen:** In den Interviews wurden einige Aussagen zu Umfang und Tiefe der Veränderungen gemacht:

- ▶ Bei Biopharmazeutika ist ein im Detail definierter Herstellungsprozess Teil der Zulassung nach dem Arzneimittelgesetz. Dies, Entwicklungszeiten von acht bis zehn Jahren und die begrenzte Dauer des Patentschutzes (zwölf bis 15 Jahre) bedingen, dass der Prozess konstant betrieben wird. Auch perspektivisch sind keine grundsätzlichen Änderungen der Prozessschritte zu erwarten. Veränderungen betreffen die begleitende Analytik, Sensorik und Handhabung von Automatisierungssystemen.
- ▶ In der Qualitätssicherung sind recht häufig Änderungen der Systeme und Regularien umzusetzen. Der Umfang der notwendigen Qualifizierung nimmt zu.
- ▶ Die Einführung von Single-Use-Materialien erfordert die Umstellung von Handlungsabläufen, weniger von theoretischem Wissen.
- ▶ Entwicklungen werden kontinuierlich verfolgt, um die Ausbildung ggf. anzupassen. Diese Beobachtung und Bewertung wird als konstante Weiterentwicklung beschrieben. Es gibt aber keinen permanenten Veränderungsdruck oder Ad-hoc-Änderungen. Veränderungen in den verschiedenen Disziplinen kommen in der Produktion zeitversetzt an.

### **Fachkräfterekrutierung/Fachkräfteangebot:**

Es ist zunehmend schwerer, vakante Stellen mit Laboranten und Laborantinnen oder technischen Assistenten und Assistentinnen zu besetzen. Es kann drei bis vier Monate dauern, bis Stellen nachbesetzt sind, im Fall von einzuhaltenden Kündigungsfristen bis zu einem halben Jahr.

Der „Laboranten-Arbeitsmarkt“ ist durch hohe Loyalität zum ausbildenden Betrieb und geringe Mobilität geprägt. Auch die beruflichen und einkommensmäßigen Entwicklungsmöglichkeiten von Laboranten und Laborantinnen innerhalb eines Unternehmens tragen dazu bei. Die Einstellung Angelernter ist in einem der befragten Unternehmen kein Problem, da die Firma in der Region einen guten Ruf als Arbeitgeber hat. Auch Stellen für Akademiker/-innen sind bei realistischen Anforderungen, insbesondere bei Berufsanfängern, gut zu besetzen, auch aufgrund ihrer Mobilität.

Stellenausschreibungen (Beispiele siehe Abbildung 24 und 25) zur Besetzung vakanter Stellen werden an Biologielaborant/-in, Chemielaborant/-in, Chemikant/-in, TA und Lebensmittelberufe (Milchtechnologe/-technologin, Brauer/-in) adressiert, da sich die Teamlösung bewährt hat und Diversität gewollt ist. Mit der Öffnung für Lebensmittelberufe kommen Kompetenzen hinzu, zum Beispiel die umfangreiche Erfahrung von Milchtechnologen und -technologinnen mit Separatoren. Für die Lebensmittelberufe spricht weiterhin die berufliche Erfahrung mit Hygienestandards, die den GMP-Richtlinien für pharmazeutische Betriebe nahekommen. Die breite, berufsübergreifende Ausschreibung ist aber auch dem geringen Fachkräfteangebot in nicht akademischen Berufen geschuldet. So gab es in einem Unternehmen Ende 2014 auf eine Ausschreibung für Produktionsmitarbeiter/-innen zehn Bewerbungen. Für eine zeitgleich an akademische Berufe adressierte Ausschreibung gingen 90 Bewerbungen ein. Ob vergleichbare Erfahrungen auch überregional gemacht werden, ist nicht bekannt. Unter Bezugnahme auf die Entwicklung im akademischen Bereich in den letzten 20 Jahren – die Thematisierung eines Mangels an spezialisierten akademischen Fachkräften hatte die Etablierung von einschlägigen Studiengängen zur Folge und führte zu einem befriedigendem Angebot – wird die Frage aufgeworfen, ob ein Ausbildungsberuf für die biotechnologische Produktion ggf. einem Fachkräfteengpass entgegenwirken könnte.

Von wesentlicher Bedeutung sind die konkreten Anforderungen des zu besetzenden Arbeitsplatzes (Spezialisierung, einzuhaltende Regelwerke etc.) und vorherige berufliche Erfahrungen bzw. Arbeitsgebiete der Bewerber/-innen. Eine besondere Anforderung ist z. B. Erfahrung im GMP-gerechten Arbeiten. Einarbeitungszeiten sind ebenfalls weniger berufsbezogen, sondern abhängig von individuellen Voraussetzungen, wie z. B. vorherige Arbeitsgebiete.

Vakante oder neue Stellen werden zunächst intern angeboten und bei externer Ausschreibung ausdrücklich an Laboranten/Laborantinnen und technische Assistenten/Assistentinnen adressiert. Es ist eine bewusste Entscheidung, nicht den gesamten Nachwuchsbedarf durch eigene Ausbildung zu decken, um nicht betriebsblind zu werden und neue Ideen ins Unternehmen zu holen. Angesichts des hohen Personalbedarfes ist es aber auch eine Frage der Ausbildungskapazität.

Im Interview mit dem Berufsverband wurde auch der besondere Stellenwert der beruflichen Vollzeitschulen zur Fachkräftesicherung im Bereich der Laborberufe deutlich. Ziel des befragten Verbandes ist die Vertretung biowissenschaftlicher und biomedizinischer Disziplinen (u. a. Bildung, Ausbildung und Beruf fördern und die Übergänge zwischen ihnen optimieren, Berufsfelder erschließen, erhalten und Qualitätsstandards sichern sowie Fort- und Weiterbildung stärken). Im Bereich der beruflichen nicht akademischen Bildung hat der Verband vor allem die schulischen Ausbildungen im Fokus. Gründe hierfür sind die strukturell bedingt geringen Ausbildungsquoten im Forschungsbereich und die weite Verbreitung und damit Bekanntheit der Assistentenberufe in Forschungsinstituten. Die Bedeutung, die schulischen Ausbildungsberufen im Bereich der biotechnologischen Laborarbeit zugewiesen wird, macht auch folgendes Zitat deutlich:

*„In Deutschland wird die Bedeutung des Bachelors als berufsqualifizierender Abschluss im Bereich Biotechnologie eng begrenzt bleiben, weil die Wirtschaft dieses Berufsfeld durch gut ausgebildete technische Assistenten (BTA, CTA, PTA), durch Chemie- und Biologielaboranten/-innen sowie Chemikanten/-innen weithin abgedeckt sieht“ (BIOÖKONOMIERAT 2010).*

### 4.8.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens

Anhand des Fallbeispiels Biotechnologie können die Grenzen qualitativer Analysemethoden in Bezug auf die Ordnungsrelevanz von beobachteten Qualifikationsanforderungen durch neue Technologien aufgezeigt werden. Auf der einzelbetrieblichen Ebene wurden durchaus Veränderungsbedarfe vor allem in Bezug auf die Strukturierung und praktische Durchführung des Ausbildungsberufs Chemikant/-in genannt und der Bedarf eines biotechnologischen Produktionsberufes formuliert. Die Frage, ob jedoch bundesweit wirklich ein Bedarf vorhanden ist, der hier eine Neuorientierung des Berufsbildes notwendig macht, konnte auf der Grundlage dieser Datenbasis nicht beantwortet werden. Hierfür sind weiterführende quantitative Analysen und eine vertiefte Diskussion seitens der Sozialparteien notwendig.

### 4.8.8 Fazit

In Bezug auf Qualifizierungsbedarfe und im Hinblick auf die Ordnungsarbeit muss zwischen den Laborberufen und den Fachkräften in der biotechnologischen Produktion unterschieden werden:

- ▶ Die Interviews liefern keine Hinweise, dass die Qualifikationsbedarfe im Bereich der Laborarbeit nicht durch die dualen Ausbildungsberufe Biologie- und Chemielaborant/-in oder die schulischen ausgebildeten naturwissenschaftlich-technischen Assistentenberufe gedeckt werden könnten. Zur quantitativen Deckung der Bedarfe sind beide Bildungswege unverzichtbar, wie die Arbeitslosenquote von ca. drei Prozent für die Gruppe der „biologisch-technischen Sonderfachkräfte“ zeigt. Im Jahr 2012 lag die Anzahl der erfolgreich abgeschlossenen Ausbildungen zum/zur Biologielaborant/-in bei 474 gegenüber 1.055 Absolventen und Absolventinnen der schulischen Ausbildung zu biologisch-technischen Assistenten und Assistentinnen. Das Verhältnis von Chemielaboranten und -laborantinnen zu chemisch-technischen Assistenten/Assistentinnen lag bei 1.632 zu 1.031.
- ▶ Im Hinblick auf Fachkräfte für die Produktion zeigt sich demgegenüber Klärungsbedarf, ob die von den Interviewten getroffenen Bewertungen zur Berufsausbildung Chemikant/-in überbetriebliche und überregionale Bedeutung haben. Um dies zu klären, sollte zunächst ermittelt werden, welcher Anteil von Chemikanten und Chemikantinnen in welchem Umfang mit biotechnologischen Produktionsverfahren befasst ist.

## 4.9 Themenfeld IKT: Fallbeispiel AR/VR – Augmented und Virtual Reality

Das Fallbeispiel wurde als Beispiel für eine Schrittmachertechnologie an der Schwelle zur Schlüsseltechnologie ausgewählt. Es handelt sich um eine Querschnittstechnologie, die in heterogenen Ausprägungen in unterschiedlichsten Feldern zu finden ist und die Arbeitsprozesse in diesen Feldern verändert. Auch weist das Fallbeispiel auf die Bedeutung von ergonomischen Fragestellungen (Human Computer Interaction) im Bereich der IKT hin und zeigt auf, wie Erfahrungswissen aus beruflicher Facharbeit zur innovativen Weiterentwicklung von Technologien beiträgt.

### 4.9.1 Technologiebeschreibung

Unter Virtual Reality versteht man die computergenerierte Simulation einer dreidimensionalen Ansicht, mit der Nutzer in einer real erscheinenden oder physikalisch realistischen Weise interagieren können (z. B. mithilfe von speziellem technischem Equipment wie Datenbrillen oder -handschuhen).

Der Begriff Augmented Reality bezeichnet die Überlagerung der natürlichen Sicht durch computersimulierte Animationen mithilfe von Head-mounted-Displays oder Projektionen.

Die Technologie wird im produzierenden Gewerbe verwendet, um der Nutzerin und dem Nutzer eine erweiterte Sicht auf ihr/sein Arbeitsgebiet zu ermöglichen und hat somit Werkzeugcharakter. Sie wird immer dort eingesetzt, wo durch den Einsatz Qualitätsverbesserungen erreicht und Kosten durch aufwendigen Prototypenbau vermieden werden können. Eine interessante Entwicklung stellt auch die Diffusion von FuE über Montagetätigkeiten bis hin zu kaufmännischen Anwendungen im Marketing oder berufspädagogischen Anwendungen in der Aus- und Weiterbildung dar. Grundvoraussetzung ist eine vorhandene Datenbasis im 3D-CAD-Bereich, die sich in den vergangenen Jahren in der Produktentwicklung wie auch im Bereich der Bauzeichnungen durchgesetzt haben. Somit können die hier beschriebenen virtuellen Techniken als eine inkrementelle Weiterentwicklung dieser Innovationen gelten. Anwendungsfelder finden sich im produzierenden Gewerbe branchenübergreifend, wobei der Diffusionsgrad sehr unterschiedlich ausgeprägt ist und von serienreifen Lösungen der Simulation von Gießereiprozessen bis hin zu prototypischen Entwicklungen in der angewandten Forschung, wie z. B. der Animation von unterputzverlegten Stromleitungen auf dem Bau durch „Augmented Reality“, reichen.

Seit Anfang der 1990er-Jahre haben diese unterschiedlichen virtuellen Techniken an Bedeutung gewonnen. Projekte in der angewandten Forschung wurden in enger Kooperation von Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus der Industrie durchgeführt und durch Forschungsgelder gefördert (einen Überblick bieten „virtuelle Techniken im industriellen Umfeld/VDC“). Dabei entstanden sowohl innovative prototypische Einzellösungen für bestimmte Anwenderfirmen als auch Serienprodukte, die auf andere Felder übertragen werden

konnten. Die CoP ist branchenübergreifend und sehr heterogen aufgestellt. Erfolgreiche Anwendungen entstehen aus der engen Zusammenarbeit erfahrener Expertinnen und Experten eines Anwendungsfeldes mit denen aus der IT-Branche.

#### **4.9.2 Empirie: Datengrundlage**

Die empirischen Daten des Fallbeispiels wurden auf der Grundlage von fünf Interviews gewonnen. Dabei wurden zwei Interviews geführt (jeweils mit einem Schlüsselexperten aus einer Forschungseinrichtung sowie aus dem Technologienetzwerk). Die betriebliche Seite wurde durch Befragungen zweier Arbeitsgruppen auf Hersteller- und Anwenderseite abgedeckt. In diesen Interviews waren jeweils zwei bis vier Personen in die Befragung und die begleitende Demonstration der Technologien involviert. Daneben flossen noch Interviewdaten aus einer Befragung des Entwicklungsleiters im Fallbeispiel des hybriden Leichtbaus in die Auswertung mit ein, soweit sich diese auf virtuelle Simulation in der Gießereitechnik bezogen. Die Interviews wurden, wo dies möglich war, als Audiodatei aufgezeichnet und anschließend transkribiert. Wo dies aufgrund der sicherheitstechnischen Policy des Unternehmens nicht der Fall war, wurde die Mitschrift dem Interviewpartner vorgelegt und so validiert.

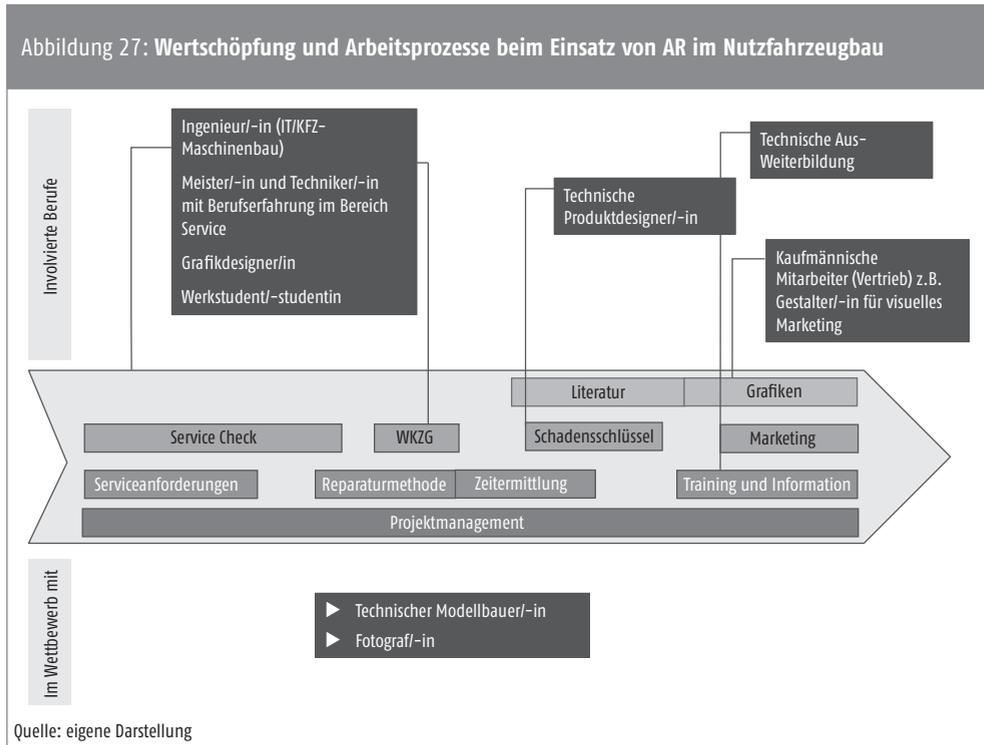
#### **4.9.3 Ergebnisse der Funktionsteilung entlang der Prozessschritte/ Wertschöpfungskette**

Abbildung 27 zeigt den skizzierten Verlauf in der betrieblichen Prozesskette einer Augmented-Reality-Anwendung im Serviceengineering des Nutzfahrzeugbaus.

Unter Serviceengineering wird die systematische Planung und Vorbereitung von Servicedienstleistungen wie z. B. der Ein- und Ausbau von Ersatzteilen unter Verwendung spezifischer Werkzeuge verstanden. Somit stellt dieses Feld im Nutzfahrzeugbau einen Bereich dar, an dem sich Einsatz und Nutzen der Technologie für Tätigkeiten der mittleren Qualifikationsebene darstellen lässt.

Die in der Fahrzeugentwicklung generierten Konstruktionsdaten werden in der Abteilung Serviceengineering weiterbearbeitet. Im Mittelpunkt stehen die Ermittlung von Serviceanforderungen wie Zugänglichkeit von Verschleißteilen, Ein- und Ausbauuntersuchungen, Ergonomie etc. Durch die Optimierung von Serviceleistungen sollen Reparatur- und Liegezeiten optimiert werden. Auch der Einsatz preisgünstiger Werkzeuge wird geprüft. Dies gilt als wichtiges Verkaufsargument in der Logistikbranche. Die so aufbereiteten Daten werden in Servicehandbüchern, Schulungsmaterialien für den Einsatz ansprechender Marketingunterlagen und Präsentationen im dreidimensionalen Raum auf Messen weiterverwendet. Daneben können durch den Einsatz der Technologie Zeit und Kosten sowohl im Bereich des Prototypenbaus als auch im Bereich der Produktfotografie eingespart werden. Abbildung 27 macht ersichtlich,

dass aufgrund der Prozesskette, die die Technologie im Unternehmen durchläuft, sehr unterschiedliche Akteure und Berufsgruppen mit der Technologie befasst sind und diese als Werkzeug gestalten und nutzen. Entlang der Prozesskette sind so auch Nutzerinnen und Nutzer, z. B. aus dem kaufmännischen Bereich, mit der Technologie konfrontiert, die zunächst nicht mit ihr in Verbindung gebracht werden. In den Interviews wurde erörtert, inwieweit dies auch eine Veränderung der Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen nach sich zieht.



#### 4.9.4 Ergebnisse – Qualifikationsanforderungen in Aus- und Weiterbildung

Zu unterscheiden sind Qualifikationsanforderungen bei der Erstellung von Augmented und Virtual Reality-Anwendungen und Qualifikationsanforderungen, die bei der Anwendung dieser Technologien entstehen.

**Erstellung:** In der IT-Branche haben sich einige Hersteller auf die Erstellung von Augmented und Virtual Reality- Anwendungen spezialisiert. Hier sind vor allem Beschäftigte mit einem akademischen IT- bzw. Elektrotechnik-/Maschinenbau-Hintergrund zu finden sowie Grafikdesignerinnen und Grafikdesigner. Die Technologie stellt an diese Gruppen keine außerge-

wöhnlichen Anforderungen; benötigt werden Programmierkenntnisse und Erfahrungen im Bereich 3D-CAD. Hinzu kommen spezifische Branchenkenntnisse für den jeweiligen Anwendungsbereich. Hier werden in enger Kooperation mit den jeweiligen Anwenderfirmen Bedarfe erhoben. Dem Themenkomplex Usability und den Vorerfahrungen im Anwendungsfeld kommt somit eine besondere Bedeutung zu.

**Anwendung:** In den unterschiedlichen Anwendungsfeldern kommt bei der Erstellung von industriellen Augmented und Virtual Reality-Anwendungen den berufserfahrenen Meisterinnen und Meistern sowie Technikerinnen und Technikern eine besondere Bedeutung zu. Nur wenn es gelingt, ihr Erfahrungswissen in die Anwendung einfließen zu lassen, kann eine hochwertige Lösung für die jeweilige Domäne entstehen. Beispiele sind im Serviceengineering oder in der Gießereitechnik, aber auch im Maschinenbau zu finden. Anwenderinnen und Anwender finden sich vor allem im Engineering. Hier sind auf der mittleren Qualifikationsebene die konstruktionstechnischen Berufe (technische Produktdesignerinnen und Produktdesigner sowie technische Systemplanerinnen und Systemplaner) involviert. Die Technologie wird hier als Werkzeug bei der Konfiguration von Konstruktionsdaten sowie bei der Erstellung technischer Dokumentationen genutzt. In der im Jahr 2011 novellierten Ausbildungsordnung sind die benötigten 3D-CAD-Anwenderkenntnisse bereits implementiert. Anwendungsfelder finden sich aber auch in weiteren Berufsfeldern, z. B. im kaufmännischen Bereich. Hier steht die Diffusion noch am Anfang. Produktpräsentationen, wie z. B. auf Messen oder bei der Erstellung von Marketingmaterialien, können durch die Aufbereitung der bestehenden Daten ansprechend und preiswert erstellt werden. Im Bereich der kaufmännischen Berufe fehlt bislang eine Schulung in 3D-CAD-Anwendungen. Lediglich im Berufsbild Gestalterin und Gestalter für visuelles Marketing finden sich Anknüpfungspunkte, die dementsprechend interpretierbar wären.

**Konkurrenzen:** Neben dem Bedarf nach der Integration neuer Qualifikationsanforderungen kann eine Technologie auch zu einer (partiellen) Verdrängung bisheriger Berufe führen. Gerade im Feld IKT gibt es hierfür zahlreiche Beispiele (z. B. die starke Veränderung in den drucktechnischen Berufen). Wie im Beispiel Nutzfahrzeugbau aufgezeigt, könnten durch Augmented und Virtual Reality-Anwendungen ebenfalls Verdrängungsprozesse stattfinden. Hier sind vor allem die Berufe Technische Modellbauerin und Technischer Modellbauer sowie Fotografin und Fotograf zu nennen. Hierauf soll weiter unten genauer eingegangen werden.

#### 4.9.5 Ergebnisse übergreifender Fragestellungen: Innovationstransfer

Kennzeichnend für die IKT-Technologien Augmented und Virtual Reality (AR/VR) ist der sehr heterogene Branchenbezug. Es handelt sich somit wie bei anderen IKT-Technologien

um eine Querschnittstechnologie. Die CoP ist ebenfalls über die unterschiedlichsten Branchen verteilt. Es finden sich in Deutschland mehrere Anlaufstellen, die sich verstärkt mit der Thematik beschäftigen und den Praxistransfer von der Wissenschaft zu den Anwenderfirmen gestalten. Hierbei handelt es sich um verschiedene Hochschulen, ein Fraunhofer-Institut und ein überregional agierendes Netzwerk, das verstärkt in Baden-Württemberg agiert, aber auch darüber hinaus als Kompetenzzentrum anerkannt ist. Im Rahmen der Netzwerkarbeit wurden zahlreiche Präsentationen erstellt, die auch in diese Arbeit eingeflossen sind (VIRTUAL DIMENSION CENTER 2013). Unter anderem hat das Netzwerk einen Weiterbildungsatlas für Augmented und Virtual Reality erstellt. Die Analyse der aufgelisteten Angebote macht Folgendes deutlich:

- ▶ Spezifische Qualifizierungsangebote zur VR/AR-Technologie sind selten und finden sich vereinzelt im universitären Bereich. Weiterbildungsangebote richten sich vor allem an Ingenieurinnen und Ingenieure oder konstruktiv tätige Berufsguppen.
- ▶ Angebote zu 3D-CAD werden demgegenüber spezifisch für unterschiedliche Programme flächendeckend von kommerziellen Weiterbildungsträgern, Kammern und auch von den Volkshochschulen angeboten. Hierbei sind weit verbreitete Programme von spezifischen Branchenlösungen zu unterscheiden. Zielgruppen sind auf allen Qualifikationsebenen zu finden.
- ▶ Durch die sehr spezifische Produktlogik und die Unterschiedlichkeit einzelner Programme spielen Herstellerschulungen eine besondere Rolle. Bei der Einführung von VR/AR im Unternehmen werden von den Herstellern unternehmensspezifische Inhouse-Schulungen angeboten.

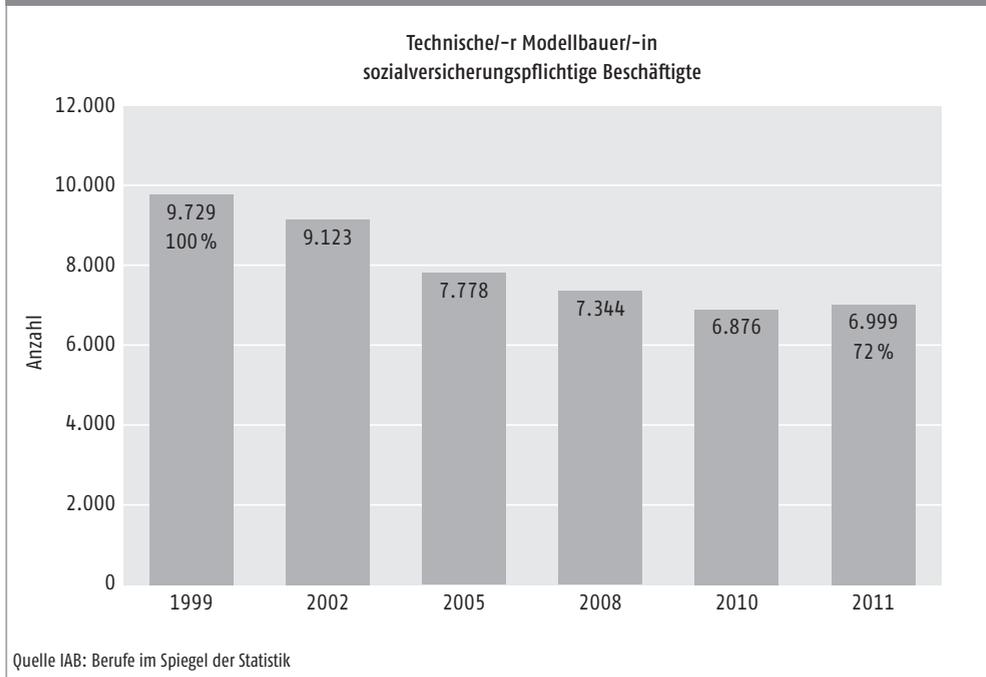
#### 4.9.6 Sonstige Ergebnisse: Hypothesengenerierung

Aus den Interviews lassen sich Konkurrenzbeziehungen zwischen der Technologie und etablierten Berufen herleiten. Hieraus wurden drei Hypothesen generiert:

**Hypothese 1:** Die zunehmende Verbreitung von AR/VR-Technologie führt zu einem Rückgang der Beschäftigtenzahlen im Beruf Technische Modellbauerin und Technischer Modellbauer (vgl. Abbildung 28).

Diese Hypothese wurde augenscheinlich anhand der Entwicklung der Zahlen der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten im Beruf Technische Modellbauerin und Technischer Modellbauer überprüft. Diese gehen tatsächlich seit dem Jahr 1999 kontinuierlich zurück, um bislang 28 Prozent. Ob sich dieser Rückgang jedoch ursächlich im Zusammenhang mit der Diffusion virtueller Techniken im Prototypenbau begründen lässt oder auch andere Ursachen haben könnte, müsste in weiterführenden Studien verifiziert werden.

Abbildung 28: Beschäftigtenzahlen Technische Modellbauerin und Technischer Modellbauer



Eine ähnliche Hypothese könnte für den Beruf der Fotografin und des Fotografen in der Fachrichtung Produktfotografie aufgestellt werden. Auch hier könnte es bei einer stärkeren Anwendung virtueller Techniken im Grafikdesign und im Marketing zu einem Rückgang der Beschäftigtenzahlen kommen.

**Hypothese 2:** Die zunehmende Verbreitung von AR/VR-Technologie führt zu einem Rückgang der Beschäftigtenzahlen im Beruf Fotografin und Fotograf in der Fachrichtung Produktfotografie.

Denkbar wäre aber auch eine Veränderung des Berufsbildes in Richtung digitaler Bildbearbeitung auf der Grundlage der 3D-CAD-Daten. Dies würde eine Veränderung der beruflichen Inhalte im Berufsbild notwendig machen. Interessant für die Weiterentwicklung der Technologie ist in diesem Zusammenhang aber auch die Frage, inwieweit durch die spezifischen Handlungsanforderungen aus dem Beruf der Fotografin und des Fotografen, der aufgrund seiner künstlerisch-gestalterischen Ausrichtung weit von den Ursprüngen der Technologie in der IKT-Branche und im konstruktiven Bereich des produzierenden Gewerbe entfernt ist, auch gestalterische Anregungen für die Weiterentwicklung der Technologie fruchtbar genutzt werden können. Eine Alternative wäre daher:

**Hypothese 3:** Durch die Diffusion von AR/VR in künstlerisch gestalterische Berufsbilder ergeben sich Impulse für eine innovative Weiterentwicklung von Technologie.

Auf der Grundlage entsprechender Hypothesen könnten nun weiterführende Untersuchungen angestoßen werden.

#### 4.9.7 Ergebnisse des methodischen Vorgehens

Das Fallbeispiel steht für eine Technologie mit Werkzeugcharakter, die in überaus heterogener Form für die unterschiedlichen Diffusionsfelder adaptiert wird. Es sind sehr unterschiedliche Produktausprägungen auf dem Markt vorhanden. Qualifizierungsstrategien für Anwender beruhen zumeist auf bereits bestehenden und in der Ausbildung integrierten Grundlagen des 3D-CAD. Produktspezifika werden in Form von Herstellerschulungen vermittelt. Diese werden häufig als Inhouse-Schulung auf die Bedürfnisse der Anwenderfirmen zugeschnitten. Andere Inhalte sind durch Training-on-the-job einfach zu vermitteln, weil die Produkte bestehende betriebliche und berufliche Vorerfahrung aufgreifen.

Als Sättigungskriterien wurden daher definiert:

- ▶ heterogene firmenspezifische Lösungen,
- ▶ Schulungsbedarf gering,
- ▶ Grundlagen in bisherigen Ausbildungsberufen bereits vermittelt,
- ▶ Schulungsbedarf durch notwendige Herstellerschulungen/Produktschulungen abgedeckt,
- ▶ Schulungsbedarf auf der Grundlage der bisherigen Ausbildung durch Training-on-the-job kurzfristig zu decken.

Auf der Grundlage dieser Überlegung und der Diskussion in der Projektgruppe wurde beschlossen, das Fallbeispiel innerhalb des Projektes an dieser Stelle abzuschließen und keine weiteren betrieblichen Fälle zu untersuchen. Aufgrund der eher geringen Zahl verallgemeinerbarer Aussagen zur Qualifizierung wurde auch auf eine Diskussion in der heterogenen CoP verzichtet, sodass dieses Fallbeispiel nicht das ausführliche Methodensetting abbildet. Dies ist ein Beispiel dafür, dass durch die vorgeschlagene methodische Annäherung an einen Technologiediffusionsprozess auch mit geringem Forschungsaufwand schon ein guter Überblick über ein Technologiefeld gewonnen werden kann. Ergebnisse, die auf Verdrängungseffekte hinweisen, können in die weitere berufsspezifische Dauerbeobachtung einfließen, indem Zeitreihen verfolgt oder weitere berufsspezifische Evaluationsprojekte angestoßen werden. Werden in den ersten Methodenschritten Herausforderungen z. B. im Sinne eines Double Binds festgestellt, können die weiteren Methodenschritte folgen.

### 4.9.8 Fazit

Am Fallbeispiel lassen sich besonders die folgenden Aspekte veranschaulichen:

- ▶ Spezifische Ausprägungen einer Technologie in heterogenen Einsatzgebieten oder firmenspezifischen Lösungen rufen spezifische Qualifizierungsbedarfe hervor, die nicht bundesweit aufgegriffen werden müssen.
- ▶ Qualifizierung wird über Herstellerschulungen und Training-on-the-job gedeckt.
- ▶ Die Kommunikation der branchenübergreifenden Praxisgemeinschaft ist für den erfolgreichen Innovationstransfer von Bedeutung.
- ▶ Einfluss von Facharbeit auf die Weiterentwicklung und Adaption von Technologien in einem spezifischen Anwendungsfeld.
- ▶ Verdrängung von Berufsbildern durch Technologien.



## ► 5 Fallbeispielübergreifende Ergebnisse

Nachdem die Ergebnisse der Fallbeispiele im Detail in Kapitel 4 dokumentiert sind, werden im folgenden Kapitel die zentralen Ergebnisse des Forschungsprojektes zusammenfassend aufgezeigt. Der Zusammenhang von Technologie und Berufsbildung vor dem Hintergrund der Begriffe und Modelle der Innovationsforschung und der Tätigkeitstheorie beleuchtet Abschnitt 5.1. Dabei wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, die gesamte Wertschöpfungskette von Technologien zu analysieren, um Qualifikationsveränderungen zu erfassen. Ordnungsrelevante Veränderungen werden zumeist erst zu einem späten Diffusionszeitpunkt deutlich. Der Analysezeitpunkt spielt somit eine wichtige Rolle für die Technologiedauerbeobachtung. Je weiter der Diffusionsprozess fortgeschritten ist, umso konkretere Aussagen können in Bezug auf Bedarfe in Aus- und Weiterbildung getroffen werden. Erste Prognosen zu einem sehr frühen Diffusionszeitpunkt sind mit großen Unsicherheiten behaftet und bedürfen in jedem Fall einer späteren Überprüfung.

Die verallgemeinerbaren technologieübergreifenden Ergebnisse werden in Abschnitt 5.2 beschrieben. So konnten im Projekt durch die Beschreibung und den Vergleich unterschiedlicher Technologien Gemeinsamkeiten in Bezug auf die Automatisierungstechnik festgestellt werden, die sich in die Diskussion um digitalisierte und automatisierte Arbeitsprozesse einordnen lassen (5.2.1). In diesem Zusammenhang werden spezifische Qualifizierungsbedarfe genannt. So wird der Bedarf an einer einheitlichen Zusatzqualifikation nach Berufsbildungsgesetz (BBiG) „Steuerungstechnik und Fehlerbehebung in automatisierten Fertigungsprozessen“ für unterschiedliche industrielle Produktionsberufe aufgezeigt. Es wird auf die Bedeutung von Lese- und Schreibfähigkeit im Zusammenhang mit der Dokumentation technologischer Daten hingewiesen und ein Weiterbildungsbedarf im Hinblick auf fachspezifische Informationsrecherche in technologischen Feldern aufgezeigt. Des Weiteren wird auf die Bedeutung von Erfahrungswissen aus qualifizierter Facharbeit für die Weiterentwicklung von Technologien und die gestiegene Bedeutung von Kommunikation und Kooperation in unternehmensweiten und unternehmensübergreifenden Netzwerken hingewiesen. Ein weiteres technologiefeldübergreifendes Ergebnis befasst sich mit der Bedeutung der Arbeitsorganisation auf die Gestaltung von Arbeitsprozessen und die Auswahl von Ausbildungsberufen. Unterschiedliche betriebliche Strategien werden erläutert und Konsequenzen für die Gestaltung des dualen Systems aufgezeigt (5.2.2). Die Bedeutung von Qualifizierung für den Innovationstransfer in kleine und mittlere Unternehmen (KMU) wird ebenfalls thematisiert (5.2.3).

Technologiedauerbeobachtung ist eine Netzwerkaufgabe aller Akteure des Berufsbildungssystems. Aus diesem Grund befasst sich Abschnitt 5.3 mit der Bedeutung der Berufsbildungsakteure für gelungene Technologiediffusionsprozesse und zeigt Schnittstellen für eine systematische Vernetzung der Akteure im Prozess der Dauerbeobachtung auf. Hier wird zum einen erläutert, warum eine systematische Verknüpfung von Bildungsfragen an die Technologieförde-

rung in anwendungsnahen Forschungsbereichen sinnvoll wäre, um eine frühzeitige Integration von technologischen Veränderungen in Bildungsprozesse zu fördern. Zum anderen wird auf die besondere Schlüsselposition von Weiterbildung in der Technologiediffusion hingewiesen.

Im Zentrum der Ergebnispräsentation steht die Reflexion des im Projekt erprobten qualitativen methodischen Vorgehens (5.4). Kategorien und Indikatoren für die Dauerbeobachtung werden genannt, Abbruchkriterien für eine ressourceneffektive Dauerbeobachtung erläutert und auf Vor- und Nachteile des methodischen Vorgehens eingegangen. Zwei Aspekte können hierbei hervorgehoben werden: Die hier vorgestellte Dauerbeobachtung vom Ausgangspunkt der Technologie an erweitert die Perspektive der klassischen Dauerbeobachtung, die eher aus einer berufsspezifischen Perspektive auf Technologie schaut und daher einen engeren Beobachtungsraum umfasst. Gleichzeitig muss eine an der Technologie orientierte Dauerbeobachtung durch Analysen auf der Ebene von Einzelberufen und Berufsfeldern konkretisiert werden. Zudem ist eine Anbindung an quantitative Methoden der Dauerbeobachtung notwendig, um Aussagen zu Qualifikationsbedarfen treffen zu können, die durch bundesweite Regelungen aufgegriffen werden sollten.

## 5.1 Technologie und Berufsbildung

Im Projekt wurde eine Bestimmung der Begriffe Technologie, Innovation und Diffusion vorgenommen (Abschnitt 2.1). Durch die Identifikation der für Berufsbildungsprozesse besonders relevanten Aspekte auf der Grundlage der empirischen Analyse können Aussagen zur Klassifizierung und Einordnung von Technologien getroffen und Handlungsempfehlungen für die Dauerbeobachtung abgeleitet werden (zentrale Forschungsfrage). Hierzu werden zunächst notwendige Definitionen in Erinnerung gerufen und ihre Relevanz für eine berufsbildungsspezifische Betrachtung aufgezeigt.

### 5.1.1 Die Begriffe Technologie, Innovation und Diffusion im Kontext von Dauerbeobachtung

Ausgangspunkt für die Begriffsdefinition der Technologiediffusion war eine tätigkeitstheoretische Annäherung an den Diffusionsbegriff, der folgendermaßen eingeführt wurde (HACKEL u. a. 2011):

*„In Anlehnung an Bodrožić (2008) (wurde) das Strukturmodell menschlicher Tätigkeit nach Engeström erweitert. Bodrožić fasst die Diffusion technischer Innovationen als einen gesellschaftlichen Problemlöseprozess auf und bezieht sich hier auf die Ausführungen von Seidel (1976: 117–119). Der Diffusionsprozess wird dabei unter zwei Gesichtspunkten betrachtet. Problemlösungen aus dem Ursprungsfeld einer Technologie durchlaufen einen Transformationsprozess und werden als konzeptionelle Lösungen in andere Tätigkeitsfelder transferiert. Die Diffusion neuer Lösungen wird somit*



Zunächst wurde der Technologiebegriff im Rückgriff auf ROPOHL (1999) und WOLFFGRAMM (1994) konkretisiert. Im Projekt hat sich die Orientierung an Werkstoffen, Verfahren und Prozessen sowie Werkzeugen und Hilfsmitteln als hilfreich für die Beschreibung und das Verständnis von technologischen Prozessen erwiesen.

Eine Spezifizierung der Begriffe Innovation und Diffusion ist hilfreich, um Entscheidungen bezüglich einer Dauerbeobachtung herbeizuführen. Hierbei konnten Bezüge zu folgenden Spezifizierungen im Projektkontext festgestellt werden:

Der Begriff der Innovation wird, wie oben bereits eingeführt, häufig ganz allgemein für Neuerungen und Veränderungen in wirtschaftlichen Zusammenhängen verwendet. In der Literatur wird der Innovationsbegriff unterschiedlich definiert. Am geläufigsten ist dabei die Unterscheidung zwischen Produkt- und Prozessinnovationen. Daneben sind aber weitere Systematisierungen (SPUR 2002) zu finden. Ausgewählte Beispiele werden im Folgenden erläutert.

Bei Produktinnovationen sind Markt- oder Unternehmensneuheiten zu unterscheiden. Ein Produkt ist grundsätzlich jede materielle oder immaterielle Unternehmensleistung, die am Markt angeboten wird. Ob eine Produktinnovation Auswirkungen auf Arbeitsaufgaben von Facharbeit nach sich zieht, ist besonders davon abhängig, inwieweit sie neue, nicht etablierte Arbeitsweisen erforderlich macht. Häufig werden Produktneuheiten auch mit den etablierten Produktionsprozessen umgesetzt. Basisinnovationen lösen richtungweisende Änderungen in Bezug auf neue Technologien und Organisationsprinzipien aus.

Prozessinnovationen zielen auf die Neugestaltung von Unternehmensprozessen ab. Neben der Verbesserung der Prozesse aus einer betriebswirtschaftlichen Motivation heraus ist es auch möglich, dass Prozessinnovationen an Produktinnovationen geknüpft sind. Dies ist dann der Fall, wenn neue Produkte nur durch stark veränderte oder gar neue Prozesse hergestellt werden können. ESSER, SPUR und HARMS (2011) untergliedern Prozessinnovationen im Bereich der Produktion noch einmal unter dem Oberbegriff Produktionsinnovationen in Produktionstechnikinnovation, Produktionsplanungsinnovationen und Produktionsmanagementinnovationen. In diesem Zusammenhang weisen sie darauf hin, dass Prozessinnovationen in der Gruppe der Produktionstechnik- und Produktionsplanungsinnovationen häufig mit Produktinnovationen von Lieferanten gekoppelt sind (Mess-, Fertigungs-, Automatisierungstechnik). Andere Autoren (VAHS und BURMESTER 2005, S. 77) bezeichnen solche Produktionsinnovationen auch mit dem Begriff Verfahrensinnovation. Solche Veränderungen werden in Betrieben meist durch Anpassungsqualifizierung der Belegschaft und durch Herstellerschulungen aufgefangen. Hierfür finden sich in den Fallbeispielen zahlreiche Exempel. Bei den Fallbeispielen Lasertechnik handelt es sich um eine Produktionstechnikinnovation, beim Fallbeispiel AR/VR um eine Produktionsplanungsinnovation, die in die unterschiedlichsten Bereiche hineindiffundiert. Herstellerschulungen spielen hier eine bedeutende Rolle. Auch der Fall KWK ist ein solches Beispiel. Dieses Fallbeispiel beinhaltet eine weitere Fragestellung für die Dauerbeobachtungen: Besteht der Bedarf nach einer allgemeinen, über die Herstellerschulung hinausgehenden Qualifizierung? Im Fall AR/VR konnte dies verneint und

ein Sättigungskriterium formuliert werden. Im Fall KWK wurde diese Frage bejaht, und es wurden weitere Analyseschritte durchgeführt.

Scheininnovationen und Imitationen bezeichnen Neuerungen, die bereits in anderen Unternehmen vorhanden sind und dort erfolgreich eingesetzt werden. Diese Klassifizierungen von Innovationen haben begriffliche Überschneidungen mit dem Technologiediffusionsbegriff. Im Projekt wurden folgende berufspädagogische Bezüge zu diesen Begriffen hergestellt:

- ▶ Auf einzelbetrieblicher Ebene können hiermit veränderte Qualifizierungsbedarfe verbunden sein. Dies ist vor allen Dingen dann der Fall, wenn in einem Betrieb ein bis dahin noch nicht etabliertes Verfahren eingesetzt wird und Fachkräfte durch Weiterbildung geschult werden müssen bzw. die Entscheidung für ein passendes Ausbildungsprofil zu treffen ist. Auf bildungspolitischer Ebene sind hier zwei Aspekte relevant: Zum einen besteht bei Unternehmen, die solche Innovationen aufgreifen, ein erhöhter Beratungsbedarf. Selbst wenn ein Ausbildungsberuf für diese Technologie bereits vorhanden ist, kann es sein, dass dieser Beruf dem Betrieb nicht bekannt ist und darüber hinaus auch in der Region nicht etabliert ist. Beispielhaft kann hier ein untersuchter Betrieb im Fallbeispiel CFK angeführt werden, der außerhalb der Clusterregion mit der Einführung der Fertigung von CFK-Teilen in der Automobilzulieferindustrie befasst war und im Rahmen des Interviews eine Beratung zu den Qualifizierungsmöglichkeiten für Facharbeiterinnen und Facharbeiter im Themenfeld CFK suchte. Hieran wird die Notwendigkeit deutlich, die regionalen Ausbildungsberater der IHK kontinuierlich über neuere technologische Entwicklungen in Berufsfeldern zu informieren und Konzepte für deren überregionale Ausbildung zu finden.
- ▶ Scheininnovationen oder Imitationen können auch in Betrieben eingeführt werden, deren Facharbeiterstruktur nicht grundsätzlich auf diese Innovation umgestellt werden muss, da auch weiterhin die etablierten Tätigkeiten überwiegen. Beispiele hierfür fanden sich im Fallbeispiel CFK im Automobilbau. Je nach Verbreitungsgrad in der Branche kann dies eine Überprüfung des etablierten Branchenberufs erforderlich machen oder Anlass sein, über die Normierung von Zusatzqualifikationen nachzudenken. Hier besteht ein Anknüpfungspunkt zur quantitativen Forschung des BIBB.

Neben diesen Differenzierungen wird auch noch nach dem Auslöser von Innovation unterschieden. Ob eine Innovation aufgrund einer spezifischen Nachfrage entwickelt wurde (Pull-Innovation) oder auf der Grundlage der Möglichkeiten neuer Technologien entsteht und sich am Markt gegenüber etablierten Technologien erst durchsetzen muss (Push-Innovation), ist vor allem im Hinblick auf die Energiewende interessant. Die Fallbeispiele Kraft-Wärme-Kopplung und Smart Grid weisen auf die Bedeutung von Berufsbildung für die Marktdurchdringung einer Technologie hin.

Phasenmodelle zum Innovationsprozess technologischer Neuerungen gliedern den Innovationsprozess in drei Phasen. Die Phase der Invention beschreibt das Stadium der frühen Forschung und Entwicklung (FuE), in der eine neuartige technologische Idee entsteht. Fasst

man den Begriff Innovation im engeren Sinne, so ist die Phase gemeint, in der neue Technologien in Form von Produkten von der Marktreife bis zur Markteinführung gebracht werden. Der Prozessschritt der Diffusion bezeichnet demgegenüber die späte Phase im Innovationsprozess, in der der Markt mit der Innovation durchdrungen wird. HOLWEGLER (2000) führt an, dass trotz unterschiedlicher theoretischer und methodischer Herangehensweise empirische Analysen der Diffusionsforschung überraschend zu gleichartigen Ergebnissen kommen. Zeit und Verlauf von Diffusionsprozessen sind hierbei für die berufspädagogische Betrachtung von besonderem Interesse (siehe 5.1.2).

HOLWEGLER (2000) stellt weiter in einem Vergleich unterschiedlicher diffusionstheoretischer Modelle die Einflussgrößen der Technologiediffusion dar. Neben dem Technologieangebot und den Eigenschaften der Technologie im Vergleich zu Konkurrenztechnologien sind Informationsflüsse und der Wissensaustausch wichtige Determinanten. Ein Wissens-Spill-Over-Effekt meint in diesem Zusammenhang eine verbesserte Ausgangslage bei der Imitation einer Technologie. Das Wissen ist bereits verfügbar und erprobt, und es sind weniger eigene Forschungsanstrengungen notwendig, um die Technologie umzusetzen. Nicht zuletzt unterliegt der Diffusionsprozess strategischen Bewertungen sowohl in einzelnen Unternehmen als auch innerhalb von Netzwerken. Durch Festlegungen innerhalb von Branchen oder Netzwerkbeziehungen von Unternehmen kann es zu einer Technologiefestlegung kommen. Diese verhindert, dass sich eine neue vielversprechende Technologie auf dem Markt durchsetzen kann. Ein Beispiel hierfür findet sich im Bereich der Batterieproduktion. Durch die Vielfalt dieser Einflussgrößen sind Vorhersagen von Diffusionsprozessen unsicher.

Wie aus den vorstehenden Erörterungen zur Technologiediffusion deutlich wird, ist die Verbreitung von Innovationen systemabhängig. Hieraus ergibt sich ein weiterer wichtiger Aspekt für die hier formulierte Fragestellung. Innovationssysteme können geographisch oder sektoral aufgestellt sein. Hierbei sind sowohl die historisch gewachsene Wirtschaftsstruktur mit ihren industriellen Beziehungen als auch die organisatorisch institutionelle Struktur der Staaten und Regionen (die sich zum Beispiel in der Forschungsförderung niederschlagen) prägend. Am Beispiel der Forschungsförderung von Bund und Ländern kann dieser Zusammenhang illustriert werden. Es werden Technologiecluster zu unterschiedlichen Innovationssystemen gefördert, um regionale und sektorale Netzwerke zu etablieren und die Technologieentwicklung und -diffusion zu unterstützen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Aspekt der Förderung der Kommunikation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Fragen der beruflichen Aus- und Weiterbildung werden in diesem Zusammenhang gelegentlich angestoßen, aber selten systematisch bearbeitet. Wird Bildungs- oder Qualifizierungsbedarf thematisiert, bezieht er sich zumeist auf die Ebene der akademischen Bildung und selten auf die Ebene der Facharbeit. Durch eine systematische Vernetzung der Bildungsakteure in den vorhandenen Förderstrukturen könnte der Informationsfluss bezüglich veränderter Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen auf der Ebene der Facharbeit unterstützt werden (HARTMANN 2012; HARTMANN 2013). Aus der Perspektive der Gestaltungsorientierung (RAUNER 1988)

stellt sich die Frage, durch welche Vernetzungsstrategien zwischen den Akteuren der beruflichen Bildung, Politik, Wissenschaft und Wirtschaft Innovationen so gefördert werden können, dass neben der Entwicklung auch die Verbreitung und wirtschaftliche Umsetzung stärker als bisher unterstützt wird. Neben der staatlichen Forschungs- und Gründerförderung ist hier auch das Engagement der Akteure in Personalentwicklung sowie Aus- und Weiterbildung von besonderer Bedeutung. In Abschnitt 5.3 werden daher die Informationswege im Hinblick auf den Diffusionsprozess des technologischen Know-hows und die daran beteiligten Akteure untersucht.

### 5.1.2 Analysezeitpunkt und Qualität der Aussagen

HOLWEGLER (2000) gibt einen Überblick der Diffusionsforschung zur Beschreibung von Diffusionsprozessen im Hinblick auf Einflussgrößen, Strukturen, Zeit und Verlauf. Diese sind auch für eine berufspädagogische Analyse von Innovationen von großer Aussagekraft: Durch die Einordnung von Technologien entlang der Verlaufskurve von Technologiediffusion lassen sich bereits erste Einschätzungen zum Nutzen von Dauerbeobachtung und zur notwendigen methodischen Herangehensweise treffen.

Die von HOLWEGLER angeführten Einflussgrößen sollen durch zwei Zitate veranschaulicht werden:

*„Die Diffusion neuer Technologien benötigt Zeit. Diese wichtigste Erkenntnis über den Verlauf der Ausbreitung neuer Technologien hat für alle Aggregationsebenen Gültigkeit. Sowohl innerhalb der einzelnen Unternehmung als auch auf sektoraler, gesamtwirtschaftlicher und internationaler Ebene ist die Diffusion eine steigende Funktion in der Zeit.“ (HOLWEGLER 2000, S. 6)*

*„Die Diffusionskurve besitzt typischerweise einen s-förmigen Verlauf. In einem ersten, konvexen Teil nutzen nur einige wenige Anwender die neue Technologie. Der relative Anteil der Innovation am Output, am Kapitalstock bzw. an der Zahl der Anwender wächst jedoch mit zunehmender Geschwindigkeit. Ein Wendepunkt markiert die maximale Diffusionsrate. Im anschließenden konkaven Kurvenabschnitt nimmt zwar die Nutzung der neuen Technologie weiter zu, die Rate der Übernahme nimmt jedoch immer mehr ab, so dass sich die Diffusionskurve asymptotisch ihrer Sättigungsgrenze nähert. Der Wendepunkt der Diffusionskurve wird im Allgemeinen erreicht, bevor die Hälfte der potentiellen Anwender die Technologie nutzt. Dies kann durch das Übernahmeverhalten der potentiellen Anwender verursacht sein. Die Technologieanwender lassen sich entsprechend ihrer Übernahmezeitpunkte in fünf Gruppen der Innovatoren, frühen Anwender (Meinungsführer), frühen Mehrheit, späten Mehrheit und der Nachzügler zusammenfassen.“ (ebd.)*

Ähnlich unterscheiden Modelle zum Technologielebenszyklus Technologien anhand ihres Innovationsgrades im Zeitverlauf. Die Klassifizierung nach Arthur D. LITTLE zum Lebenszyklus

lus von Technologien (SPECHT u. a. 2002, S. 70) wurde zunächst zur Fallauswahl eingesetzt. Abbildung 30 ordnet die ausgewählten Technologien in die Technologielebenszykluscurve ein. Dabei ist zu beachten, dass die Zuordnung zu einer Technologielebenszyklusphase derselben Technologie je nach Anwendungsfeld durchaus unterschiedlich ausfallen kann. Diese Untergliederung betrachtet Technologie in Relation zu ihrem Marktpotenzial (siehe Kasten 1). Besonders Schrittmachertechnologien und Schlüsseltechnologien sind für die Dauerbeobachtung interessant.

#### Definition der Stufen im Technologielebenszyklus von A. D. LITTLE

**Neue Technologien:** Technologien, deren wirtschaftliche Realisierung noch nicht erkennbar oder sehr unsicher ist. Technologien befinden sich noch im Stadium von Forschung und Entwicklung.

**Schrittmachertechnologien:** Erste Auswirkungen der Nutzung auf das Marktpotenzial und die Wettbewerbsdynamik sind bereits erkennbar. Erste Anwender (Early Adaptors) nutzen die Technologie bereits.

**Schlüsseltechnologien:** Sie beeinflussen signifikant die gegenwärtige Wettbewerbsfähigkeit. Erfolgreiche Firmen haben auf die Technologie umgestellt.

**Basistechnologien:** Diese werden von den Wettbewerbern in etwa gleichem Maße beherrscht.

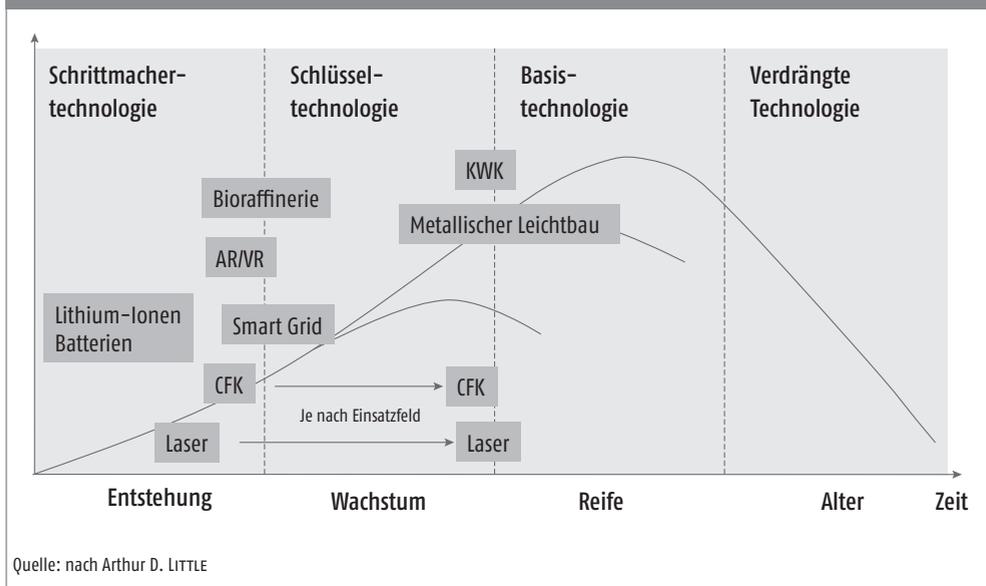
**Verdrängte Technologien:** Diese Technologien sind bereits durch neue verdrängt worden.

Die Beobachtung von neuen Technologien nach der Definition von LITTLE ist in Bezug auf die Dauerbeobachtung wenig aussagekräftig. Eine vertiefte berufspädagogische Tätigkeitsanalyse ist nicht sinnvoll, da noch nicht abschätzbar ist, ob und in welchen Ausprägungen die Technologie in die unterschiedlichen Produktionssysteme adaptiert wird. In der frühen Phase des Projektes wurden einige Gespräche mit Technologieexperten geführt (z. B. zum Thema Nanoschweißen), die diese Aussagen bestätigten.

Die Dauerbeobachtung von Technologien in der Lebensphase der Schrittmachertechnologie stellt demgegenüber ein interessantes Forschungsfeld für die Dauerbeobachtung dar. Eine vertiefte berufspädagogische Tätigkeitsanalyse ist dann sinnvoll, wenn aufgrund ökonomischer und/oder politischer Weichenstellungen eine weitere Verbreitung der Technologie zu erwarten ist. Allerdings wird in der vergleichenden Analyse deutlich, dass Aussagen zu diesem Zeitpunkt der Technologiediffusion noch allgemeiner bleiben müssen als in der Phase der Schlüsseltechnologien. Auch können zu diesem Zeitpunkt aufgrund des geringen Verbreitungsgrades noch keine konkreten Aussagen zum Umfang von Qualifikationsbedarfen gemacht werden. Die in den Betrieben der Early Adaptors vorgefundenen Strukturen und eingesetzten Berufsbilder können von denjenigen abweichen, die zu einem späteren Zeitpunkt die Technologie aufgreifen (Fallbeispiele CFK Flugzeugbau/Automobilbau/Laser). So lässt sich am Fallbeispiel Lasertechnik veranschaulichen, wie die Anwendung einer Technologie durch die Weiterentwicklung von unterstützenden Werkzeugen wie z. B. Techno-

logietabellen im Zeitverlauf vereinfacht und standardisiert wird; das ermöglicht auch die Handhabung für An- und Ungelernte auf der reinen Produktionsebene, während zu Beginn der Verbreitung auch diese Aufgabe zum Teil von akademisch gebildeten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, aber besonders von Fachkräften mit beruflicher Erfahrung wahrgenommen wird.

Abbildung 30: Einordnung der untersuchten Fallbeispiele in den Technologielebenszyklus nach Arthur D. LITTLE



Bei Technologien im Stadium einer Schlüsseltechnologie finden nach unseren Beobachtungen bereits seitens der Sozialpartner Aktivitäten zur Entwicklung und Umsetzung von Qualifizierungsstrategien auf lokaler Ebene statt. In etablierten Branchen sind zu diesem Zeitpunkt bereits lokale Aktivitäten im Bereich der Berufsbildung zu finden, die erste Qualifikationsbedarfe vor Ort, vor allem im Bereich der Weiterbildung decken. Hier ist zu erwarten, dass die Ergebnisse einer vertieften berufspädagogischen Tätigkeitsanalyse zeitnah in Empfehlungen zur Gestaltung des Berufsbildungssystems einfließen können.

In Bezug auf Basistechnologien ist zu erwarten, dass die Technologie aufgrund der Breite ihrer Anwendung bereits ihren Weg in das Berufsbildungssystem gefunden hat. Als Beispiel kann hier die computergestützte numerische Steuerung (CNC-)Bearbeitung angeführt werden. Sie ist mittlerweile eine Basistechnologie, die in breitem Umfang bundesweit geschult wird (siehe auch Fallbeispiel AR/VR) und Eingang in unterschiedliche Berufsbilder gefunden hat. Durch die technikoffenen Formulierungen in Ausbildungsordnungen werden die meisten Technologieausprägungen nicht präzise bezeichnet, sondern nur allgemein um-

geschrieben. Dies ermöglicht einerseits die Integration inkrementeller Veränderungen und unterschiedlicher firmenspezifischer Ausprägungen von Technologien, verhindert aber auch den gezielten Transfer von Technologie-Know-how in die Betriebe durch die Ordnungsmittel. Da Ausbildungsordnungen Mindeststandards definieren, die in unterschiedlichen betrieblichen Kontexten Anwendung finden können, bleibt die technikoffene Formulierung auch weiterhin wünschenswert. So wurde im abschließenden Projektworkshop mit Akteuren der Berufsbildungspraxis darüber diskutiert, wie die Verbreitung von Technologie-Know-how durch Kompetenzzentren, Lehrmaterialien, Angebote der Berufsschullehrerbildung und Umsetzungshilfen für die Praxis unterstützt werden kann. Hier bestehen sowohl Bedarf wie auch Potenzial.

Im betrieblichen Innovationsmanagement werden Innovationen bezüglich ihres Potenzials und hinsichtlich der mit ihnen verbundenen Herausforderungen für den Betrieb eingeordnet. Hierfür kommen spezifische Instrumente zur Einschätzung von Innovationen zum Einsatz (HAUSCHILDT 2004, S. 21). Ähnliche Instrumente fehlen bislang noch für die berufspädagogische Betrachtung.

## 5.2 Technologiefeldübergreifende Analyse

Technologiespezifische Fragen nach der Funktionsteilung zwischen Gewerken, der Bedeutung unterschiedlicher Bildungsniveaus und nach Qualifizierungsbedarfen im Zusammenhang mit den untersuchten Technologien (Forschungsfragen 1–3) werden detailliert in der Einzelanalyse der Fallbeispiele (siehe 4.2–4.9) betrachtet. Hier wird der Einfluss historisch gewachsener Strukturen in bestimmten Domänen deutlich. Dort, wo eine lange Aus- und Fortbildungstradition herrscht (z. B. in der Gießereitechnik oder im Heizungs-Sanitär-Klimahandwerk) und betriebliche Arbeitsorganisation an diese anknüpft, werden neue Technologien entsprechend dieser Tradition auch in der beruflichen Erstausbildung vermittelt und hierzu die Handlungsspielräume der technikoffenen Formulierungen der Ordnungsmittel genutzt. Weiter lässt sich beobachten, dass technologische Veränderungen durch die Betriebe zunächst von der betrieblichen Weiterbildung in Form von Anpassungsqualifizierung aufgegriffen werden. Ausgehend von bestehenden Personalstrukturen werden Qualifikationsbedarfe identifiziert und ggf. aus den Erfahrungen in der Weiterbildung Anforderungen an die duale Erstausbildung abgeleitet.

An dieser Stelle werden die in den Fallbeispielen erhobenen technologiefeldübergreifenden Aussagen erläutert. Sie betreffen das Spannungsfeld von Facharbeit in der automatisierten Fertigung (HACKEL 2015) und den Einfluss betrieblicher Arbeitsorganisation auf Qualifizierungsbedarfe und die Auswahl von Ausbildungsberufen im Zusammenhang mit neuen Technologien. Es wird zudem beschrieben, in welcher Weise Qualifizierung als Vehikel des Innovationstransfers in der letzten Innovationsphase dienen kann.

## 5.2.1 Automatisierung

In den Technologiefeldern Informations- und Kommunikationstechnik (AR und VR), Lasermaterialbearbeitung und Leichtbau (metallischer Leichtbau und industrielle Fertigung von CFK) wird die zunehmende Bedeutung von Automatisierungstechnik deutlich. Diese kann als inkrementelle Weiterentwicklung der Automatisierungsdebatte (BRIGHT 1958; SIEBEL 1964; SPUR 1993) aufgefasst werden und lässt zusätzliche Aspekte erkennen, die im Zusammenhang mit dem aktuellen förderpolitischen Schlagwort „Industrie 4.0“ von Interesse sind.

Folgende allgemeine Anforderungen für die Aus- und Weiterbildung von Facharbeiterinnen und Facharbeitern in der automatisierten Fertigung können abgeleitet werden:

1. Qualifizierte Fehlersuche und Störungsbehebung an Steuerungsanlagen sind die Basisqualifikation bei der Überwachung hochautomatisierter Fertigungsprozesse. Eine gesteigerte Automatisierung zieht den Bedarf nach steuerungstechnischem Know-how nach sich. Diese Anforderung betrifft nicht ausschließlich die Berufsgruppe der industriellen Elektroberufe, sondern auch weitere Produktionsberufe, in denen bislang nur ein geringer Anteil solcher Kenntnisse und Fähigkeiten zu den Mindestanforderungen gehört.
2. Materialkenntnisse, Prozess- und Systemzusammenhänge sowie die Auswirkungen der eigenen Tätigkeit im Hinblick auf den Fertigungsprozess stellen vor dem Hintergrund hoher Qualitätsanforderungen nach wie vor eine wesentliche Dimension qualifizierter Facharbeit dar. Dies wird in den Fallbeispielen Biotechnologie, Lasermaterialbearbeitung und Leichtbau besonders deutlich. Da der Fertigungsprozess in der Blackbox der Anlage stattfindet, wurden im Fallbeispiel metallischer Leichtbau vor- und nachgelagerte Prozesse sowie die Qualitätssicherung stärker als bisher in die Ausbildung einbezogen, um Erfahrungswissen zum Prozess zu generieren. Auch die Berufsschule hat eine besondere Bedeutung und Verantwortung als Lernort zur handlungsorientierten Vermittlung dieser Zusammenhänge.
3. Grundlage der Automatisierung ist eine sorgfältige Dokumentation (z. B. von Messdaten, Prozessvariablen etc.). Lese- und Schreibfähigkeit im Sinne einer berufsspezifischen Form von (scientific) literacy muss daher im Hinblick auf die besonderen Anforderungen digitalisierter Prozesse vermittelt werden. Aussagen zu diesen Qualifikationsanforderungen fanden sich vor allem in den Fallbeispielen Laserbearbeitung und Leichtbau (CFK/metallisch).
4. Wenn Technologien in ein neues Anwendungsfeld diffundieren (z. B. im Fallbeispiel CFK in die Automobilindustrie) oder wenn technologische Veränderungen als Wettbewerbsvorteil in der Produktion aufgegriffen werden (Fallbeispiel Laser), entsteht die Anforderung an qualifizierte Facharbeit, dieses technologische Wissen (System, Prozess- und Materialwissen) zu erschließen und mit dem in der Facharbeit erworbenen Handlungswissen zu verknüpfen. Informationsbeschaffung und Erschließung ist dabei eine notwendige Vo-

raussetzung für den Umgang mit technischem Wandel, damit Prozesse adaptiert und neue Prozesse erschlossen werden können. Im Fallbeispiel Laser äußerten Facharbeiter und Meister einen entsprechenden Qualifikationsbedarf, der auf der Weiterbildungsebene aufgegriffen werden könnte. Hier scheint ein entscheidender Vorteil akademischer Bildungsprozesse zu liegen, in denen die Recherche und Erschließung aktueller wissenschaftlicher Literatur eine Kernkompetenz darstellt.

5. Besonders im Fallbeispiel Augmented Reality (AR) im Serviceengineering des Nutzfahrzeugbaus, aber auch in den Fallbeispielen metallischer Leichtbau und Biotechnologie konnte dargestellt werden, wie wesentlich die berufliche Handlungskompetenz erfahrener Facharbeiterinnen und Facharbeiter sowie Meisterinnen und Meister zur Weiterentwicklung und Adaption der Technologie in einem spezifischen Anwendungsfeld beiträgt. Die Qualität digitaler und automatisierter Lösungen hängt im entscheidenden Maße davon ab, inwieweit es gelingt, den Anwendungskontext zu erfassen und in das digitale Produkt zu integrieren.
6. Diese Fallbeispiele zeigen, dass die Zusammenarbeit und Kooperation in unternehmensinternen (Beispiel Leichtbau) oder unternehmensübergreifenden Netzwerken (Beispiel AR/VR) zunimmt. Team- und Kommunikationsfähigkeit in der Facharbeit gewinnen daher an Bedeutung.

### **5.2.2 Der Einfluss betrieblicher Arbeitsorganisation auf Qualifizierungsbedarfe und die Auswahl von Ausbildungsberufen**

Ein weiteres Ergebnis der technologiefeldübergreifenden Analyse ist der Einfluss betrieblicher Arbeitsorganisation auf Qualifizierungsbedarfe und die Auswahl von Ausbildungsberufen. Dies soll an dieser Stelle anhand unterschiedlicher Beispiele aus den Technologiefeldern erläutert werden.

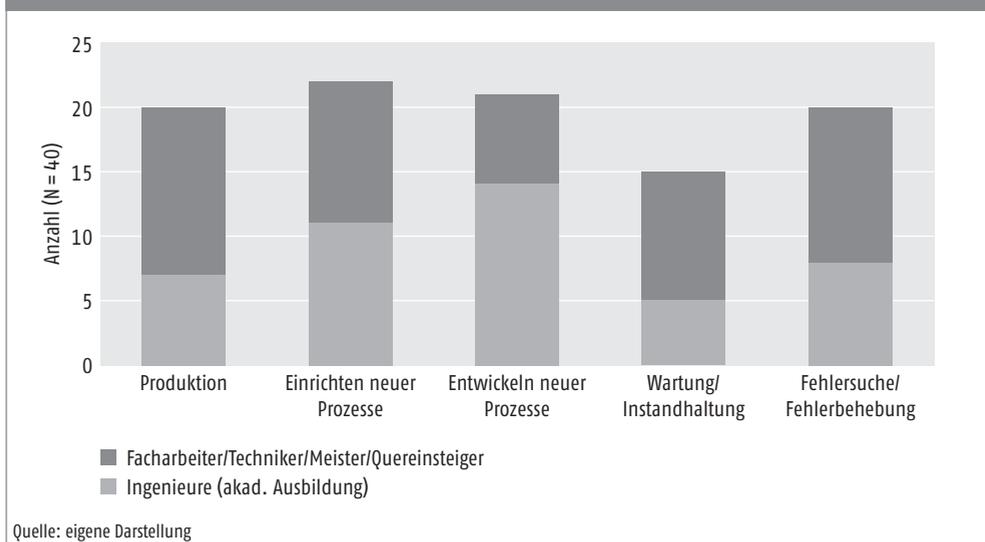
Qualifikationsanforderungen an Facharbeit im Feld der Laserbearbeitung sind heterogen. Einsatzfelder sind die Entwicklung neuer Prozesse, das Einrichten neuer Prozesse, das Einrichten und Bedienen der Anlage in der Produktion sowie Wartung und Instandhaltung, Fehlersuche und Fehlerbehebung. Neben dem jeweils eingesetzten Fertigungsverfahren sind die Struktur und die Einordnung des umgesetzten Prozessschrittes in den betrieblichen Ablauf entscheidend dafür, welche Aufgaben in diesem Zusammenhang von Facharbeiterinnen und Facharbeitern wahrgenommen werden.

Je nach Betriebsgröße und Organisationsstruktur ist die Betreuung der Lasermaterialbearbeitung z. B. Aufgabe des (technischen) Geschäftsführenden, der die Prozesse mit einem unterstützenden Mitarbeiter/einer unterstützenden Mitarbeiterin entwickelt und einrichtet. Diese fungieren dann in der Regel als Bedienpersonal, welches bei ungewöhnlichen Abläufen oder Ergebnissen bzw. neuen Aufgaben auf die Kompetenz ihres/ihrer Vorgesetzten zurückgreift. In der weitgehend automatisierten Massenfertigung werden die Anlagen

von Maschinenführerinnen und Maschinenführern bedient, die keine Zuständigkeit für die Prozessführung haben, sondern neue Aufgaben stets zugewiesen bekommen. Die Anforderungen an die Tätigkeit variieren dabei beträchtlich zwischen der Einknopfbedienung und der komplexen Gestaltung von Prozessen bzw. verantwortlichen Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben.

Das jeweils benötigte Know-how wird in Schulungsmaßnahmen der Hersteller erworben und hierauf aufbauend ein entsprechendes Erfahrungswissen aufgebaut. Je nach Stand des Erfahrungswissens sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Lage, den Prozess zu führen und in Grenzen zu optimieren oder sogar neue Bauteile zu produzieren. Alternativ wird hier auch Expertise der Herstellerfirma konsultiert. Dies geschieht vor allem dann, wenn der Prozess nicht das gewünschte Prozessergebnis in Hinblick auf Bauteilqualität oder Prozesssicherheit zeigt und eine qualifizierte Fehlersuche oder auch nur die Nachjustierung des Prozesses notwendig wird. In diesem Fall ist Wissen um die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge und die möglichen Stellparameter und deren Auswirkung erforderlich, das weit über das Wissen von Herstellerschulungen hinausgeht. Hier ist ein hohes Maß an Prozessverständnis gefordert, um Abhängigkeiten vom Hersteller der Anlagentechnik zu vermeiden. Die Definition dessen, was qualifiziert werden muss/soll und welche Zielgruppe dabei im Vordergrund steht, hängt also in ganz entscheidendem Maß von der organisatorischen Gestaltung der Arbeitsteilung ab. Die folgende Grafik belegt anhand der Daten aus der schriftlichen Nachbefragung zum untersuchten Fall, dass beruflich Qualifizierte in hohem Maß auch in die wissensintensiven und anspruchsvollen Tätigkeiten in der Laserbearbeitung einbezogen sind.

Abbildung 31: Arbeitsteilung im Bereich der Laserfertigung



Auch im Themenfeld Leichtbau hat die Organisation der Arbeitsteilung vergleichbare Auswirkungen auf die Qualifikationsanforderungen. An Aufgaben sind hier die Programmierung von Schnittstellen unterschiedlicher Maschinen, Anlagen und Industrierobotern sowie die Fehlersuche und Störungsbehebung und Umrüstprozesse an der Anlage zu unterscheiden. Während die erstgenannte Aufgabe Elektronikerinnen und Elektronikern oder Mechatronikerinnen und Mechatronikern zugedacht wird, soll die zweitgenannte von den Prozessbedienern (Verfahrensmechanikerinnen und Verfahrensmechanikern bzw. Gießereimechanikerinnen und Gießereimechanikern) erfüllt werden. Die Arbeitsteilung innerhalb der industriellen Elektroberufe wird in einer aktuellen Studie von Zinke noch einmal differenzierter untersucht. Das folgende Zitat daraus veranschaulicht, wie auch hier Unterschiede in den Zuständigkeiten zu beobachten sind, die zwar nicht für alle Betriebe Gültigkeit haben, aber in der Tendenz zu beobachten sind.

*„Im Umgang mit Automatisierungssystemen führen Elektroniker für Automatisierungstechnik im Gegensatz zu Mechatronikern Tätigkeiten auf einer höheren Hierarchieebene des Systems aus. So greifen Elektroniker für Automatisierungstechnik auch in die unternehmensweite Leitebene ein. Dieser Tätigkeitsbereich sowie der Umgang mit Regelungssystemen erfordern von den Elektronikern für Automatisierungstechnik einen höheren Kompetenzstand bei der Analyse von komplexen, dynamischen technischen Systemen.“ (ZINKE u. a. 2014, S. 20–21)*

Die Auswahl der einzusetzenden Berufe richtet sich nach der Organisation der Arbeitsteilung im Betrieb. So werden je nach Organisation gleiche Tätigkeiten von unterschiedlichen Berufsgruppen wahrgenommen. Dies spiegelt sich auch in der Organisation der Ausbildung wider. So fällt die Entscheidung für bestimmte Ausbildungsberufe vor dem Hintergrund betriebsspezifischer Organisationsanforderungen, wie ein Zitat aus einem Interview des hier beschriebenen Projektes belegt:

*„... was ein Unternehmen nicht leisten kann, ist, dass für all diese Spezifika ein besonderer Ausbildungsberuf gesucht wird. Das ist von der Ausbildungsorganisation her nicht möglich. Wir müssen also immer Grundberufe suchen, wo wir sagen, da haben wir ne große Abdeckung von dem, was die Kollegen brauchen und den Rest machen wir, wie gesagt, vorrangig im dritten Lehrjahr in ner Fachstelle. Dort wird dann von den Fachleuten das Wissen vermittelt, was für die spätere berufliche Tätigkeit, bezogen auf einen relativ engen Arbeitsraum oder Arbeitsumfang benötigt wird.“*

Dabei ist die Organisation der Arbeitsteilung darauf ausgerichtet, den Fertigungsprozess zu optimieren. Grundsätzlich sollen Zeiten des Anlagenstillstands dadurch verringert werden, dass auch die mit dem Fertigungsprozess direkt betrauten Facharbeiterinnen und Facharbeiter über eine Basisqualifikation im Bereich Steuerungstechnik verfügen. Es gibt jedoch unterschiedliche Einschätzungen über den notwendigen Umfang und die Ausgestaltung von Berufsbildern. Einige der Interviewten forderten Berufsbilder wie die eines „Kunststofftronikers“ oder

eines „Gießereimechatronikers“, während in den Gruppendiskussionen eher die Möglichkeit einer zertifizierten Zusatzqualifikation „Steuerungstechnik in automatisierten Fertigungsprozessen“ oder eine moderate Erhöhung der steuerungstechnischen Anteile in der Ausbildungsordnung favorisiert wurde (beispielsweise wurde dies in der laufenden Neuordnung des Ausbildungsberufes Gießereimechanikerin und Gießereimechaniker so aufgegriffen).

Auch im Fallbeispiel Smart Grid wurde eine hohe Flexibilität der Betriebe bei der Auswahl von Berufsbildern deutlich. So bildeten Energieversorger für ähnliche Tätigkeiten Elektronikerinnen und Elektroniker für Geräte und Systeme, Elektronikerinnen und Elektroniker für Informations- und Systemtechnik oder Fachinformatikerinnen und Fachinformatiker aus. Die branchenübergreifende Flexibilität und inhaltliche Breite der Berufsbilder bietet für die Betriebe den Vorteil, dass sie die für sie passenden Berufe auswählen können und dennoch nur jeweils eine möglichst geringe Anzahl an Berufen ausbilden müssen. Dabei spielt bei der Auswahl der Berufe auch das regionale Angebot der Berufsschule eine Rolle.

### 5.2.3 Qualifizierung als innovationsfördernder Faktor in KMU

Das Fallbeispiel Kraft-Wärme-Kopplung verdeutlicht die Bedeutung von Qualifizierung und Information für den Innovationstransfer. Das folgende Zitat des Fallbeispiels beleuchtet diese Wechselwirkung:

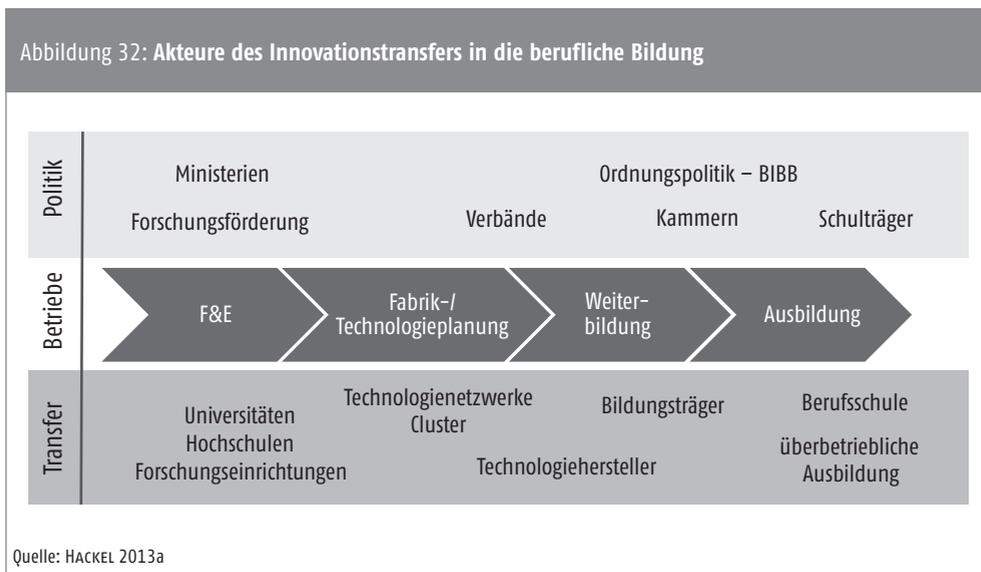
*„Und die (Hersteller) machen letztlich vor allen Dingen eine Erfahrung, wir haben da ein Produkt (...), ein Markt dafür ist da. Warum läuft das nicht? Vor diesem Hintergrund stellt sich immer wieder die Frage, wie kann man dieses Produkt wirklich auch noch mal mehr ins Bewusstsein bringen? Wie kann man darüber aufklären, wo es sinnvoll eingesetzt werden kann? Und alle diese Punkte laufen immer wieder an einer Stelle da aus, wo es heißt, das Handwerk ist letztlich das Nadelöhr, durch das die Kraft-Wärme-Kopplung kommen muss. Aus der Perspektive heraus erfahren wir eine breite Unterstützung, weil überall die Notwendigkeit gesehen wird, dass Handwerker auch Botschafter der Kraft-Wärme-Kopplung sind. Und das sind sie nur, wenn sie davon überzeugt sind. Und davon überzeugt sind sie nur, wenn sie Informationen haben.“*

In diesem Feld wurden von Bildungsträgern in Modellprojekten mit Herstellerfirmen proaktiv Qualifizierungsmaßnahmen erarbeitet, um den Diffusionsprozess ins Handwerk zu unterstützen. Hier stellt sich die Frage, ob Kompetenzzentren und überbetriebliche Ausbildungsstätten zukünftig stärker zum Innovationstransfer genutzt werden könnten, um eine Verbreitung von Technologien durch gezielte Bildungsangebote zu unterstützen und so eine über die reine Forschungsförderung hinausgehende Förderung von Technologiediffusion durch Bundesmittel anzubieten, die den Weg von Technologien aus der Forschung in die Anwendung auch in KMU unterstützt.

Im nächsten Abschnitt wird nun auf der Basis der in den Fallbeispielen generierten Daten zum Innovationstransfer in die berufliche Bildung genauer erörtert, wie technologisches Know-how seinen Weg in die Berufsbildung findet und wo Ansatzpunkte für eine vernetzte Technologiedauerbeobachtung der Akteure liegen.

### 5.3 Bedeutung der Berufsbildungsakteure für gelungene Technologiediffusionsprozesse

Wie in den Ausführungen zur Technologiediffusion dargestellt wurde, sind Informationsflüsse, Netzwerke und Interessengruppen von besonderer Bedeutung für die Verbreitung von Technologien. Dies gilt in gleicher Weise für die Verbreitung von technologischem Handlungswissen. Daher wurde im Projekt der Verlauf des Wissenstransfers über neue Technologien in den Betrieb hinein, innerhalb des Betriebs und in die duale Aus- und Weiterbildung nachgezeichnet (Abbildung 32). Der folgende Abschnitt beschreibt diesen Know-how-Transfer in Bezug auf die drei genannten Aspekte.



Es wird erläutert, wie diese drei Aspekte durch Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure unterstützt werden, um die frühzeitige Integration von Erfahrungswissen über neue Technologien in die Aus- und Weiterbildung zu gewährleisten. Einige dieser Ausführungen wurden bereits in Auszügen veröffentlicht (HACKEL 2013a; HACKEL 2014). Aus tätigkeitstheoretischer Perspektive wird an dieser Stelle eine vertiefte Analyse des Elements Gemeinschaft vorgenommen.

### 5.3.1 Schnittstellen und Akteure beim Transfer technologischen Know-hows

Schnittstellen und Akteure beim Innovationstransfer in die Unternehmen: Innovationen im Bereich neuer Technologien entstehen in Forschung und Entwicklung (FuE) und werden häufig von Forschungsförderungsprogrammen des Bundes und der Länder sowie in Kooperationsprojekten der Industrie mit Universitäten, Hochschulen und industrienahen Forschungseinrichtungen angetrieben. Dabei zeichnen sich viele Innovationen der letzten Jahre durch die Kombination unterschiedlicher disziplinärer Ansätze aus und machen interdisziplinäre Zusammenarbeit und Kommunikation erforderlich. Die erfolgreiche Diffusion einer Technologie in neue Branchen und Anwendungskontexte ist zudem häufig vom Einbezug betrieblicher Praktiker/-innen in den Entwicklungsprozess abhängig. Beispiele hierfür finden sich bei der Entwicklung von Augmented-Reality-Anwendungen im Bereich des Serviceengineerings (siehe auch 5.2.1).

Wissenschaftliche Qualifizierungsarbeiten werden auf breiter Basis zum Transfer von innovativem Technologiewissen aus der Wissenschaft in die Firmen genutzt, indem Forschungs- und Entwicklungsthemen der Unternehmen an Werkstudenten und Doktoranden vergeben werden. Wie bereits beschrieben, werden im Vergleich dazu öffentlich geförderte Projekte nur in geringem Umfang genutzt, um Erfahrungswissen für die Aus- und Weiterbildung zu generieren. Hier liegen Potenziale für die berufswissenschaftliche Dauerbeobachtung im Rahmen der Ordnungsarbeit. Technologienetzwerke und Cluster haben dabei eine besondere Aufgabe, die sehr unterschiedlich wahrgenommen wird. So wurde z. B. vom Virtual Dimension Center in Fellbach (2013), einem Netzwerk im Bereich der virtuellen Simulation, ein Weiterbildungsatlas für Baden-Württemberg erstellt, der vielfältige Aktivitäten der Weiterbildung in diesem Technologiefeld aufzeigt.

Andere Netzwerke konzipieren eigene Weiterbildungsangebote für ihre Mitgliedsunternehmen. Weitere Akteure in diesem Zusammenhang sind Hersteller von Werkzeugen und Produktionsanlagen, die in einem frühen Technologiestadium eigene produktspezifische Schulungen anbieten und auch entwicklungsbegleitende kundenspezifische Produktschulungen durchführen. Bei einem hohen Verbreitungsgrad der Technologie sind Hersteller durchaus auch an einem Transfer in die geregelte Aus- und Weiterbildung interessiert und stellen z. B. Berufsschulen Schulungslizenzen für ihre Produkte zur Verfügung. Hier sind Berufsschulen und auch Kompetenzzentren der überbetrieblichen Ausbildung vor die Aufgabe gestellt, mit Herstellern in Kontakt zu treten und aktuelle Schulungsmittel und Lizenzen zu akquirieren.

Bei der Finanzierung dieser oft kostspieligen Investitionen können auch die Schulträger unterstützend Einfluss nehmen. Hier unterscheiden sich die einzelnen Bundesländer sehr stark in ihrem Engagement und in der Ausstattung von beruflichen Schulen. Durch den gezielten Ausbau von Schwerpunktschulen und Kompetenzzentren kann die regionale Wirtschaft intensiv gefördert werden. Beispiele im Sinne von „Best Practice“ zeigen erfolgreiche Koope-

rationen in Form von öffentlich-privater Partnerschaft zwischen Berufsschulen und Betrieben sowie im Besonderen auch bei der technologischen Ausstattung von Berufsschulen. Hiermit gehen leider auch große Unterschiede von berufsschulischen Möglichkeiten bei der Vermittlung von Technologie-Know-how einher.

In kleinen und mittelständischen Unternehmen sind Technologieauswahl und Strategien zur Förderung von Innovationen häufig Aufgabe des Firmeninhabers. Es sind innovative mittelständische Unternehmen zu beobachten, die jungen Hochschulabsolventinnen und -absolventen oder Doktorandinnen und Doktoranden Spielräume für Experimente und Versuche abseits von konkreten Verwertungsinteressen eröffnen und diese Aktivitäten interessiert fördern und begleiten. Münden diese Aktivitäten in konkrete betriebliche Projekte, werden die benötigten Qualifizierungsschritte zeitnah sowohl in die betriebliche Weiterbildung als auch in die Ausbildung transferiert. Solche Unternehmen berücksichtigen bei aller Notwendigkeit von Qualitätskennzahlen und Kostenoptimierungsbestrebungen, dass Kreativität auch einer Freiheit des Improvisierens, Scheiterns und der Um- und Neugestaltung bedarf und dass kreative Ideen auch scheinbar unproduktive Zeiten der Reifung und eine breite Wissensbasis benötigen (vgl. GÖTLICH und KURT 2012; PREISER 2011). Die Gestaltung kreativitätsförderlicher Arbeitsbedingungen sowie ein Schulungsangebot zur Vermittlung geeigneter Kreativitätstechniken ist eine wichtige Aufgabe für Organisations- und Personalentwickler/-innen.

Schnittstellen im innerbetrieblichen Innovationstransfer: Die Notwendigkeit eines innerbetrieblichen Innovationstransfers in die Aus- und Weiterbildung ist den meisten Betrieben bei größeren Neuerungen bewusst. Dieser wird häufig über informelle Kommunikationskanäle zwischen FuE, aber auch über Fabrik- und Technologieplanung bzw. Produktionsplanung ermöglicht. Mit der Einführung und Ausgestaltung neuer Produktlinien, Produktionskonzepten oder gar der Planung neuer Werke oder Werkteile stehen häufig zunächst kurzzeitige Qualifizierungen in der Weiterbildung im Vordergrund, um den aktuellen Bedarf kurzfristig zu decken. Standortentscheidungen für innovative Produktionslinien werden auch vor dem Hintergrund der vor Ort verfügbaren Fachkräfte getroffen oder es wird Erfahrungswissen aus anderen Standorten hinzugezogen, um eine neue Produktlinie einzuführen und dafür zu schulen. Der Innovationstransfer in die innerbetriebliche Ausbildung erfolgt zeitlich etwas verzögert ebenfalls über diesen Weg. Der intensive Austausch zwischen Aus- und Weiterbildung spielt eine wichtige Rolle für den innerbetrieblichen Innovationstransfer. In einigen Betrieben werden – z. B. durch Befragung nach einem Einsatz in einer innovativen Abteilung – auch die Auszubildenden selbst als Informationsquelle zur Identifikation neuer Anforderungen herangezogen. Die Gestaltung dieses Kommunikationsprozesses ist eine wichtige Aufgabe des betrieblichen Bildungspersonals. Aus diesem Grund sind Methoden und Instrumente aus dem Innovationsmanagement (wie z. B. Technologieradar, Benchmarking, Stärken-Schwächen-Analyse, Zukunftskonferenz) hilfreich, um zu einer systematischeren Erfassung des Qualifizierungsbedarfs zu gelangen. Die Vermittlung solcher Ansätze ist z. B. bereits in der Fortbildung zum Geprüften Berufspädagogen/zur Geprüften Berufspädagogin vorgesehen.

Schnittstellen und Akteure beim Innovationstransfer ins duale System der Berufsbildung: Schließlich ist noch der Innovationstransfer in das Bildungssystem zu nennen. Die Betriebe als Akteure des Berufsbildungssystems nehmen eine wichtige berufsbildungspolitische Funktion wahr, indem sie über die Kammern, Verbände und Gewerkschaften ihre Erfahrungen und Informationen bündeln und an die Politik weitergeben, um auf diesem Weg den Erarbeitungsprozess bzw. Neuordnungsprozess von Aus- und Fortbildungsordnungen zu initiieren. Diese Form des Innovationstransfers in die Ausbildung hat sich in Deutschland vor allem in Branchen und Gewerken bewährt, die sich durch eine intensive Vernetzung und eine starke Ausbildungstradition (wie an den Fallbeispielen in den Feldern Gießereitechnik, Elektrotechnik oder SHK-Handwerk) auszeichnen. Sie funktioniert vor allem dort sehr gut, wo der Know-how-Transfer nicht in einen Konflikt mit einem wettbewerbsrelevanten Know-how-Schutz tritt (wie z. B. in der additiven Laserfertigung). Dort, wo technologisches Know-how auf der Facharbeiterebene als proprietär schützenswertes Wissen eingestuft wird, gerät der oben geschilderte Prozess so lange ins Stocken, bis ein eklatanter Facharbeitermangel auftritt, der nicht mehr mit eigenen Weiterqualifizierungsbemühungen oder der Abwerbung von qualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von Mitbewerbern gedeckt werden kann.

Kammern haben beim Innovationstransfer ebenfalls eine wichtige Funktion. Sie koordinieren regionale Qualifizierungsangebote über ihre Bildungsträger und Kompetenzzentren, indem sie auf aktuelle Bedarfslagen kurzfristig in Form von Lehrgängen oder Fortbildungen auf der Grundlage einer Kammerregelung reagieren. Die Nutzung der Erfahrungen aus diesen regionalen Angeboten können durch einen stärkeren bundesweiten Austausch in der Ordnungsarbeit noch intensiviert werden. Wichtig ist auch der kontinuierliche Innovationstransfer in die Berufsschule, um auch hier aktuelle Entwicklungen frühzeitig aufzugreifen. Erfolgversprechende Maßnahmen scheinen hier Hospitationen und eine Kopplung der Lehrerfortbildung an regionale Technologienetzwerke, Kammer- und Clusteraktivitäten zu sein. Solche Aktivitäten sind allerdings bislang selten und auf einzelne Schwerpunktschulen begrenzt. Bei der Investition in eine technologische Infrastruktur von Berufsschulen können auch die Schulträger unterstützend Einfluss nehmen. Durch den gezielten Ausbau von Schwerpunktschulen und Kompetenzzentren kann die regionale Wirtschaft intensiv gefördert werden. Durch den Know-how-Transfer über Berufsschule und überbetriebliche Ausbildung (ÜBS) können auch kleine Betriebe mit eher traditionellem Aufgabenzuschnitt über ihre Auszubildenden neue Entwicklungen in ihrem Gewerk aufnehmen. Als Beispiel sei hier der Ausbau erneuerbarer Technologien im Rahmen der Energiewende genannt. Die Qualifizierung der Handwerksbetriebe im Sanitär-Heizung -Klima-Handwerk und im Elektro-Handwerk kann als ein kritischer Faktor für die erfolgreiche Verbreitung dieser Technologie angesehen werden. Überbetriebliche Ausbildung kann hier einen Beitrag zum Innovationstransfer leisten.

Die Klärung ordnungsrelevanter Fragen, z. B. nach branchenübergreifenden Zuschnitten von Aus- und Fortbildungsregelungen (ZINKE u. a. 2014), bedarf ebenfalls zusätzlicher Qualifikationsforschung. Da hier die Interessen unterschiedlicher Akteure und Gruppen berücksich-

tigt werden müssen, sind partizipative Methoden wie Fokusgruppen, Zukunftskonferenzen oder Methodensettings im Sinne der expansiven Arbeitsforschung (ENGSTRÖM 2008a; HACKEL 2013b) zielführend. Diese Ansätze setzen sich in der Regel aus Phasen der empirischen Datenerhebung und der Rückkopplung und Diskussion dieser Daten mit der involvierten Praxisgemeinschaft zusammen. Dabei sind die Identifikation der jeweiligen Praxisgemeinschaft und der Einbezug der relevanten Akteure ein erfolgskritisches Element.

### 5.3.2 Konsequenzen für die Technologiedauerbeobachtung

Wie die Fallbeispiele zeigen, findet das technologische Know-how bereits heute zumeist erfolgreich seinen Weg in die berufliche Bildung. Allerdings gibt es einige Punkte, an denen der Prozess verbessert und stärker systematisiert werden könnte. Dabei ist die Vernetzung und Zusammenarbeit aller Akteure notwendig. In der Diskussion des abschließenden Workshops mit Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Berufsbildungs- und Technologieförderpolitik sowie aus der Praxis wurden folgende Empfehlungen erarbeitet:

- ▶ Es sollte sichergestellt werden, dass Neuerungen nicht nur regional und branchenspezifisch betrachtet werden, sondern dass der Informationsfluss auch die Systemebene des dualen Systems erreicht. Auch Aktivitäten der Forschungsförderung und Berufsbildungsaktivitäten in Zusammenhang mit Clustern sollten in diese Richtung kanalisiert werden. Wünschenswert wäre es nach Ansicht der Workshopteilnehmerinnen und -teilnehmer, wenn im Rahmen der Förderpolitik des Bundes eine stärkere Steuerung dieses Prozesses durch verbindliche Förderrichtlinien vorgenommen würde. Es könnten erfolgreiche Beispiele angeführt werden, in denen Bildungsfragen eng mit Technologieforschungsförderung verknüpft bearbeitet wurden. Hier wurden Bildungsmedien für alle Bildungsbereiche durch die Begleitforschung von Technologieprojekten entwickelt. Vor allem im Bereich der anwendungsnahen Forschung könnte durch eine verbindliche Verankerung in Förderrichtlinien oder auch in der parallelen Begleitforschung der Clusterförderung mit relativ geringem Kostenaufwand bildungspolitischer Mehrwert erzielt werden (z. B. durch die Erarbeitung von Materialien und Weiterbildungsangeboten). Eine systematische Verknüpfung mit der Ordnungsarbeit im BIBB würde zudem gewährleisten, dass solche Angebote nicht nur regional, sondern auch überregional Verbreitung finden, wenn der Bedarf dafür vorhanden ist.
- ▶ Für eine Verbesserung der Zusammenarbeit aller Akteure an diesem Themenfeld müssen Netzwerkstrukturen und Systemstrukturen geschaffen werden, die den frühzeitigen Austausch über technologische Einflüsse auf das Berufsbildungssystem unterstützen. Das Bundesinstitut für Berufsbildung könnte der zentrale Ort für eine solche Systemgestaltung sein; es sind aber auch andere Verantwortlichkeiten denkbar. Unseres Erachtens sprengt eine umfassende qualitative technologische Dauerbeobachtung die Personalressourcen der Ordnungsabteilung im BIBB. Die koordinierte Zusammenarbeit und eine klar definier-

te Arbeitsteilung zwischen den oben genannten Akteuren unter Einbeziehung bzw. Moderation des BIBB wären aus unserer Sicht zielführender.

- Die Ordnungsabteilung des BIBB sollte besonders dann Forschungsaufträge übernehmen, wenn in der jeweiligen CoP keine eigenen Technologiefrüherkennungsstrukturen vorhanden sind oder in Querschnittberufen in sehr unterschiedlichen Feldern eingesetzt werden und sichergestellt werden muss, dass die Bedarfe dieser Felder und Branchen auch weiterhin bei der Gestaltung der Berufe berücksichtigt werden. Weitere Aufgaben des BIBB liegen unseres Erachtens darin, Ergebnisse der Qualifikationsforschung aus unterschiedlichen Diffusionsfeldern zu sichten und an bestehenden Ordnungsmitteln zu spiegeln. Hierfür wäre es wünschenswert, wenn Ergebnisse der Früherkennungsforschung von berufspädagogischen Lehrstühlen, Clusterbegleitforschung und Auftragsforschung der Sozialpartner regelmäßig an die Ordnungsabteilung des BIBB übermittelt würden. Durch eine noch stärkere Vernetzung in dieser Form könnten Synergieeffekte erzielt und zukunftsweisende Impulse in Ordnungsverfahren gesetzt werden.

## 5.4 Methodenreflexion

Da die Erarbeitung von Indikatoren für die qualitative Technologiedauerbeobachtung Ziel des Projektes ist, wird die Methodenreflexion auch in der Ergebnispräsentation aufgegriffen. Die methodische Herangehensweise im Projekt erweist sich als zielführend, wenn auch zeitaufwendig und komplex. Vor allem die Akquise potenzieller Interviewpartnerinnen und -partner wurde als sehr zeitaufwendig erlebt. Zunächst wurde eine umfangreiche Sekundärdatenanalyse durchgeführt, um eine Technologieauswahl herbeizuführen. Dieser Arbeitsschritt ist ausführlich im Zwischenbericht (HACKEL u. a. 2012) dokumentiert. In der anschließenden empirischen Phase wurden die Fallbeispiele, ausgehend von Interviews mit Schlüsselpersonen, die Zugang zum Feld hatten und Interviewpartnerinnen und -partner vermitteln konnten, bearbeitet. Dabei wurden sowohl Ausbildungspersonal als auch Technologieexperten in den Unternehmen befragt. In einigen Fallbeispielen konnten auch die beschäftigten Fachkräfte selbst interviewt werden. Besonders in Technologiebereichen mit Schichtarbeit war dies aber häufig nicht zu realisieren. Die Gruppendiskussionen kamen nur dort zustande, wo ein breites Interesse der CoP zu verzeichnen war. Im Fallbeispiel Lasertechnik und -bearbeitung konnte trotz zweimaliger Terminierung und breit gestreuter Einladung in der CoP kein Workshop realisiert werden. Hier wurde eine schriftliche Befragung zur Validierung der Interviewdaten vorgenommen. Im abschließenden Workshop mit den Akteuren der Berufsbildungspraxis folgten 28 Personen der Aufforderung, sich mit dem Thema Diffusion neuer Technologien – Herausforderung für die Berufsbildungspraxis – auseinanderzusetzen. Die Teilnehmenden kamen aus der Berufsbildungspolitik (Ministerien), aus der Berufsbildungspraxis (Verbänden, Gewerkschaften, Hochschulen, Betrieben und Berufsschulen) sowie aus dem Bereich der Technologieförderung. Im Workshop wurden die übergreifenden Themenstellungen und

methodischen Ergebnisse des Projektes vorgestellt und diskutiert sowie Empfehlungen für die Technologiedauerbeobachtung erarbeitet, die in diesen Abschlussbericht eingeflossen sind.

Tabelle 6 stellt die sich im Projekt ergebenden Fragestellungen in Bezug auf die einzelnen notwendigen Methodenschritte zur berufswissenschaftlichen Analyse von Technologien dar und zeigt Informationsquellen sowie Ansprechpartner für die einzelnen Schritte auf. Die spezifische Definition der Experten hat sich im Rahmen der empirischen Analyse als hilfreich herausgestellt. Die folgenden Ausführungen sind zum großen Teil auch im Sammelband von BECKER und SPÖTTL (HACKEL 2014) veröffentlicht.

Methodenschritte	Fragestellungen	Informationsquellen
Identifikation relevanter Technologien Recherche von Hintergrundinfos Einordnung des Technologielebenszyklus und Diffusion in Branchen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Auswertungskriterien</li> <li>▶ Einheitliches Raster</li> <li>▶ Verfügbarkeit und Qualität der Informationen</li> <li>▶ Ziel: Konkretisierung von Fragen, Relevanz/Priorisierung von Informationen, Finden von Experten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Sekundärdaten,</li> <li>▶ Projektträger</li> <li>▶ Technologieroadmaps</li> <li>▶ Wissenschaftsjournalistische Onlineangebote und Publikationen</li> </ul>
Identifikation von Anwendern, Branchen, Wertschöpfungskette	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Wertschöpfungskette,</li> <li>▶ Unternehmen, Ansprechpartner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Schlüsselpersonen:</li> <li>▶ Clustermanager, Forscher,</li> <li>▶ Verbände, Bildungsträger</li> </ul>
Arbeitsplatzanalyse, Identifikation von Prozessen, Arbeitsaufgaben Funktionsstrukturen, betriebliche Qualifizierungsformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Prozesskette, Tätigkeiten, Funktionsteilung, Qualifizierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Frühe Anwender, Produktionsplanung, Facharbeiter, Meister, Ausbilder/HR</li> </ul>
Bewertung der Relevanz für die Branche/das Bildungssystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Relevanz</li> <li>▶ Gewichtung</li> <li>▶ Konsequenzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Sozialpartner</li> <li>▶ Unternehmen, Kammern, Verbände, Cluster, Bildungsträger, Berufsschulen</li> </ul>

Quelle: HACKEL 2013a

Für die Identifikation innovativer Technologien stehen grundsätzlich zwei Informationsquellen zur Verfügung: Sekundärdaten und Projektträger der Forschungsförderung. Im Hinblick auf den Zeitpunkt im Technologielebenszyklus, zu dem sich qualifikatorische Fragen stellen, sind hier vor allem Sekundärdaten sowie Projektträger aus der angewandten Forschung mit Industriekooperationen interessant.

Hintergrundinformationen und Aussagen zum Technologielebenszyklus mit Branchenbezug sowie Aussagen zu Anwenderfirmen und dem Verlauf der Wertschöpfungsketten von

Technologie können vor allem von Schlüsselpersonen wie Clustermanagern und Forschern im Technologiefeld getroffen werden. Diese sind auch häufig im Feld gut vernetzt und können Hilfestellung bei der Kontaktaufnahme zu Unternehmen bieten. Daneben sind vor allem zu einem späten Zeitpunkt im Technologielebenszyklus auch Verbände und regionale Bildungsträger wichtige Informationsträger zu neuen Technologien.

Aussagen zur Struktur der Tätigkeitssysteme, zu Arbeitsaufgaben, Funktionsteilung in der Prozesskette der Technologie und zu betrieblichen Qualifizierungsstrategien im Technologiefeld können nur in den Betrieben selbst erhoben werden. Der Identifizierung der sogenannten Early Adopters kommt damit eine besondere Bedeutung zu. Auch hier sind nicht alle Informationen in einer Hand zu finden. Während Aussagen zur Prozesskette am besten von Führungskräften aus der Produktionsplanung getroffen werden können, sind Facharbeiterinnen und Facharbeiter sowie Meisterinnen und Meister Fachleute für die jeweiligen Arbeitsaufgaben. Ausbilderinnen und Ausbilder sowie Personalverantwortliche können demgegenüber Aussagen zu Qualifizierungsangeboten in Aus- und Weiterbildung zu den jeweiligen Ausbildungsprofilen im Betrieb sowie zu betrieblichen Qualifizierungs- und Rekrutierungsstrategien im Zusammenhang mit der Technologie machen. Manchmal sind diese Informationen aber nur durch die Zusammenführung und Diskussion dieser unterschiedlichen Akteure zu generieren. Als hilfreich und ressourcenschonend hat sich erwiesen, einen Teil der Interviews in Form von Telefoninterviews durchzuführen. Hier war zum einen eine höhere Teilnahmebereitschaft der angefragten Personen zu verzeichnen, zum anderen erwiesen sich die Telefoninterviews als durchaus informativ und klärend. Bei Face-to-Face-Interviews war unserer Beobachtung nach nur dann ein Mehrwert gegeben, wenn mit den Interviews auch eine Begehung der betreffenden Werksteile und Arbeitsplätze verbunden werden konnte. Dies war jedoch nur in wenigen Fällen möglich.

Die Bewertung der Relevanz von Qualifikationsveränderungen für Aus- und Weiterbildung in verschiedenen Branchen kann nur auf der Basis einer Diskussion in der relevanten Community of Practice getroffen werden. Hier sind neben den Unternehmen, Bildungsträgern und Clustern auch Kammern, Gewerkschaften und Verbände als Diskussionspartner hinzuzuziehen, um den Transfer von Ergebnissen ins Berufsbildungssystem zu gewährleisten.

### 5.4.1 Indikatoren

Im Themenfeld Beruf und Technologie sind unterschiedliche Aspekte von Bedeutung, die Einfluss auf die Auswahl von Indikatoren für die Dauerbeobachtung haben. Hierbei stehen neben einer reinen Auflistung von Qualifikationsbündeln vor allem Fragen nach der Einordnung dieser Qualifizierungsbedarfe in die Strukturen des dualen Systems im Vordergrund. Es ist also zu klären,

- ▶ ob diese Bedarfe eher auf der Ebene der Ausbildung oder auf der Ebene der Weiterbildung anzusiedeln sind;
- ▶ ob es einen bundesweiten Qualifizierungsbedarf gibt oder dieser regional begrenzt ist;

- ▶ ob bestehende Ausbildungsberufe existieren, an denen die Technologie anschlussfähig ist oder bereits durch technikoffene Formulierungen der Ordnungsmittel integriert werden kann;
- ▶ ob bei der Integration in einen bestehenden Ausbildungsberuf alle ausbildenden Betriebe in der Lage wären, die Erweiterung aufzunehmen, oder ob das erweiterte Qualifizierungsangebot eher als Zusatzqualifikation vermittelt werden sollte.

Folgende Indikatoren wurden als wesentlich für die Identifikation von Qualifikationsanforderungen und die Beantwortung dieser Fragen durch Technologiedauerbeobachtung identifiziert. In Klammern wird jeweils eine Einordnung der Indikatoren in das CHAT-Systemmodell der Tätigkeit der bzw. im erweiterten theoretischen Rahmen (siehe Abschnitt 2.1) vorgenommen:

#### ▶ **Kategorie Technologiebeschreibung**

Anhand einer detaillierten Technologiebeschreibung kann der technologische Kontext im Hinblick auf folgende Unterkategorien analysiert und in Bezug auf die Arbeitsorganisation und Tätigkeiten/Berufe in der Wertschöpfungskette reflektiert werden. Codes sind:

- ▶ Werkstoffe (CHAT-Element: Objekt)
- ▶ Prozessketten (CHAT-Prozess: Produktion)
- ▶ Ausrüstung/Werkzeuge (CHAT-Element: Instrumente)

#### ▶ **Kategorie Diffusion**

In Bezug auf Technologiediffusion sind Aussagen zur Verbreitung der Technologie, der Einordnung in den Technologielebenszyklus und zu den involvierten Akteuren zu berücksichtigen. Diese beziehen sich auf folgende Codes:

- ▶ Zeitpunkte im Technologielebenszyklus (CHAT-Prinzip: Historizität)
- ▶ Diffusionsprozess, Stand der Verbreitung in unterschiedlichen Branchenkontexten (Technologielebenszyklus)
- ▶ Communities of Practice, z. B. Cluster, Lehrstühle, Projekte (CHAT-Element: Gemeinschaft, CHAT-Prinzip: Vielstimmigkeit)

#### ▶ **Kategorie Arbeitsteilung/Kooperation**

In Bezug auf die Identifikation von Qualifizierungsbedarfen ist besonders von Interesse, welche Tätigkeiten von welchen Gewerken wahrgenommen werden bzw. welche Qualifikationsebenen von den Veränderungen in welcher Weise betroffen sind. Dies wird durch die folgenden Codes kategorisiert:

- ▶ Funktionsteilung (CHAT-Element: Arbeitsteilung, CHAT-Prozess Distribution)
- ▶ Funktionsteilung nach Bildungsniveaus (CHAT-Element: Arbeitsteilung, CHAT-Prozess Distribution)

### ► **Kategorie Qualifizierung in Aus- und Weiterbildung**

Qualifizierungsbedarfe können auf der Grundlage von herausfordernden Tätigkeiten im Arbeitsprozess identifiziert werden oder sind bereits von den Interviewten als Bedarfe identifiziert. Auch im Umfeld innovativer Unternehmen angesiedelte firmenspezifische oder regionale Bildungsangebote können Hinweise auf Qualifizierungsbedarfe in Aus- und Weiterbildung geben (CHAT-Element: Subjekt).

- ▶ Herausforderungen (CHAT-Prinzip: Berücksichtigung von Widerständen)
- ▶ Bedarfe (CHAT-Prinzip: Berücksichtigung von Widerständen)
- ▶ bestehende Angebote (CHAT-Prinzip: Historizität)

### ► **Übergreifende Themen (offene Codierung)**

Die Arbeit an innovativen Themen macht eine Offenheit für überraschende Themen oder Querschnittsthemen erforderlich. Deshalb wurde in der Datenanalyse auch die Möglichkeit zur offenen Codierung genutzt. Auf diese Weise wurden die Themenfelder Automatisierungstechnik und hybride Aufgabenzuschnitte identifiziert, die oben in den Ergebnissen der übergreifenden Analyse dokumentiert sind (4.2).

## **5.4.2 Abbruchkriterien**

Eine Methode zur kontinuierlichen Technologiebeobachtung muss auch vor dem Hintergrund der vorhandenen Ressourcen reflektiert werden. In der übergreifenden Analyse wurden folgende Kriterien als inhaltliche oder methodische Kriterien identifiziert, die den vorzeitigen Abbruch der strukturierten methodischen Bearbeitung einer Technologie rechtfertigen.

Inhaltliche Abbruchkriterien:

- ▶ Technologie hat sehr heterogene firmenspezifische Ausprägungen;
- ▶ Es entsteht geringer Schulungsbedarf;
- ▶ Die technologischen Grundlagen werden bereits in Ausbildungsberufen vermittelt;
- ▶ Schulungsbedarfe werden durch spezifische Hersteller- oder Produktschulungen abgedeckt;
- ▶ Schulungsbedarf ist auf der Grundlage der bisherigen Ausbildung durch Anlernen kurzfristig zu beheben;
- ▶ Nur wenige Betriebe in Deutschland sind mit der Technologie befasst (z. B. aufgrund patentierter Verfahren).

Methodische Abbruchkriterien:

- ▶ wenig Bereitschaft zur Teilnahme am Interview (Gründe hierfür: Know-how-Schutz, zeitliche Auslastung des Betriebes, grundsätzliche Ablehnung externer Erhebungen);
- ▶ wenig Bereitschaft zur Teilnahme an einer Gruppendiskussion oder einem Workshop (Gründe hierfür: zeitliche Auslastung der Betriebe, in der CoP wird kein Handlungsbedarf gesehen, starkes Bewusstsein für Eigenverantwortung in der CoP).

### 5.4.3 Vor- und Nachteile des methodischen Vorgehens

In der Umsetzung der Methodik treten einige Herausforderungen auf, die hier geschildert und vor dem Hintergrund möglicher Lösungsansätze und Konsequenzen für die Dauerbeobachtung diskutiert werden sollen (siehe auch HACKEL 2014).

- a) Herausforderung Feldzugang: Da das Projekt nicht in einem unmittelbaren Zusammenhang mit einer möglichen Neuordnung oder der Entwicklung von Lehrmaterialien für eine bestimmte Community steht, war es nicht einfach, die Bereitschaft zur Teilnahme an einem Fallbeispiel zu erwirken. Die Notwendigkeit, unterschiedliche Akteure entlang der Wertschöpfungs- und Prozesskette der Technologie zu befragen, um die Fragestellung umfassend beantworten zu können, erforderte einen erheblichen Akquise- und Koordinierungsaufwand. Ein Mehrwert für teilnehmende Unternehmen war nicht direkt ersichtlich. Dies steht in Übereinstimmung mit der tätigkeitstheoretischen Prämisse, die besagt, dass kollektive Lernprozesse eine Initialzündung im Sinne einer Double-Bind-Situation benötigen: ENGESTRÖM definiert den Begriff folgendermaßen:

*„Ein Double Bind kann nun verstanden werden als ein soziales, gesellschaftlich wesentliches Dilemma, welches nicht durch voneinander getrennte individuelle Handlungen allein gelöst werden kann – in dem aber gemeinsame kooperative Handlungen eine historische neue Form der Tätigkeit hervorbringen können.“* (ENGESTRÖM 1999, S. 162)

Herausforderung für die Dauerbeobachtung des BIBB ist es somit, potenzielle Dilemmata auf der Grundlage technologischer Entwicklungen in unterschiedlichen Branchen zu identifizieren und in der Community of Practice zu kommunizieren.

- b) Politische Rahmenbedingungen: Gerade bei Technologien in der Übergangsphase von der Schrittmacher- zur Schlüsseltechnologie sind die Akteure noch nicht bereit, belastbare Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der Technologie in ihrem Unternehmen zu tätigen. Im Technologiefeld Smart Grid sind die diesbezüglichen Aussagen zu betrieblichen Strategien häufig an politische Entscheidungen im Zusammenhang mit der Technologie geknüpft, die zum Zeitpunkt der empirischen Untersuchung noch ausstanden. Dies schränkt die Aussagekraft der Ergebnisse im Hinblick auf die zukünftige Gestaltung von Qualifizierungsmaßnahmen erheblich ein. Es kann hieraus geschlossen werden, dass die Phase der Schlüsseltechnologien im Sinne A. D. LITTLES (1985) der früheste sinnvolle Zeitpunkt für die Untersuchung von Qualifikationsbedarfen ist. Eine Untersuchung der Technologie im Stadium einer Schrittmachertechnologie ist demgegenüber mit zu vielen Unsicherheiten bezüglich der Ausprägung von Qualifikationsbedarfen, z. B. auch durch möglicherweise unterschiedliche Automatisierungs- und Fertigungsprozesse, behaftet.
- c) Eine weitere Herausforderung in diesem Zusammenhang ist die Informationspolitik der Unternehmen: Hier gibt es aufgrund der gestiegenen Anzahl an wissenschaftlichen Untersuchungen oft allgemeine Restriktionen, die die Teilnahme verhindern. Im Fall

innovativer strategischer Felder kommt zudem auch der Know-how-Schutz hinzu. Early Adopters haben oft kein Interesse, ihren Wettbewerbsvorsprung mit anderen Marktteilnehmern zu teilen und sind daher auch beim Thema Qualifizierung im Zusammenhang mit neuen Technologien eher zurückhaltend.

- d) Eine positive Geschäftsentwicklung und hohe Auslastungen in der Produktion sind ebenfalls Argumente gegen eine Beteiligung an empirischen Untersuchungen der Qualifikationsforschung. In Zeiten wirtschaftlichen Aufschwungs sehen sich Betriebe nicht in der Lage, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für die Teilnahme an Interviews oder Gruppendiskussionen freizustellen. Dies trifft insbesondere auf Facharbeiterinnen und Facharbeiter sowie Meisterinnen und Meister in der Produktion zu.
- e) Heterogenität der Interviews: Die Interviews sind trotz einheitlichem Interviewleitfaden sehr heterogen. Der Leitfaden wurde in jedem Gespräch flexibel abgearbeitet. Dabei haben die Befragten das Gespräch oft stark gesteuert. Auffallend ist eine sehr unterschiedliche Detailtiefe in den Aussagen der Interviewpartner und -partnerinnen. Ein deutliches Beispiel sind die Interviews im Fallbeispiel CFK zum Automobilbau im Vergleich zu den sehr konkreten Schilderungen aus dem Fallbeispiel hybrider Leichtbau in der Gießereitechnik. Das Berufsbild Gießereimechanikerin und Gießereimechaniker stand zu diesem Zeitpunkt im Neuordnungsverfahren, so dass die Bereitschaft vorhanden war, inhaltlich intensiv auf das Berufsbild Bezug zu nehmen. Hier wird deutlich, dass Qualifikationsforschung sehr stark von der Auskunftsbereitschaft der Betriebe und diese wiederum von wahrgenommenen Einflussmöglichkeiten bei der Ausgestaltung von Ausbildungsberufen beeinflusst wird.
- f) Interpretations- und Analysebedarf: Es gilt zu beachten, dass manchen Aussagen zum Qualifizierungsbedarf keine systemische Kenntnis zu den vorhandenen Berufsbildern zugrunde liegt. Aussagen zu qualitativen und quantitativen Bedarfen müssen immer wieder anhand bestehender Berufsbilder und Qualifizierungsangebote gespiegelt werden, um belastbare Aussagen zum Veränderungsbedarf in der Ordnungsarbeit treffen zu können. Hier kommt den Berufsbildungsexpertinnen und Berufsbildungsexperten im BIBB eine beratende Funktion zu. Dies macht ein Forschungsparadigma erforderlich, das Intervention und Beratung nicht aus Gründen mangelnder Objektivität ablehnt. ENGSTRÖM nimmt hierzu bei der Formulierung seines Ansatzes explizit Stellung und zeigt auf, wie durch die Spiegelung der Analysedaten, durch die Offenlegung von Methoden, durch kommunikative Validierung der Forschungsergebnisse sowie durch die Spiegelung der Analysedaten und die darauffolgende Erarbeitung von Interpretationen und Handlungsempfehlungen in Auseinandersetzung mit der CoP eine solche Vorgehensweise wissenschaftsbasiert verankert werden kann (ENGSTRÖM 2008b, HACKEL 2010).
- g) Begrenzte Aussagekraft qualitativer Methoden: Um Aussagen zum quantitativen Umfang von Qualifizierungsbedarfen zu treffen, bedarf es der sinnvollen Verschränkung qualitativer Methoden mit den quantitativen Ansätzen der Qualifikationsforschung im

BIBB. Im abschließenden Workshop wurden daher die Möglichkeiten, Schnittstellen zu quantitativen Ansätzen herzustellen, diskutiert. Hierzu wurden folgende Aussagen getroffen:

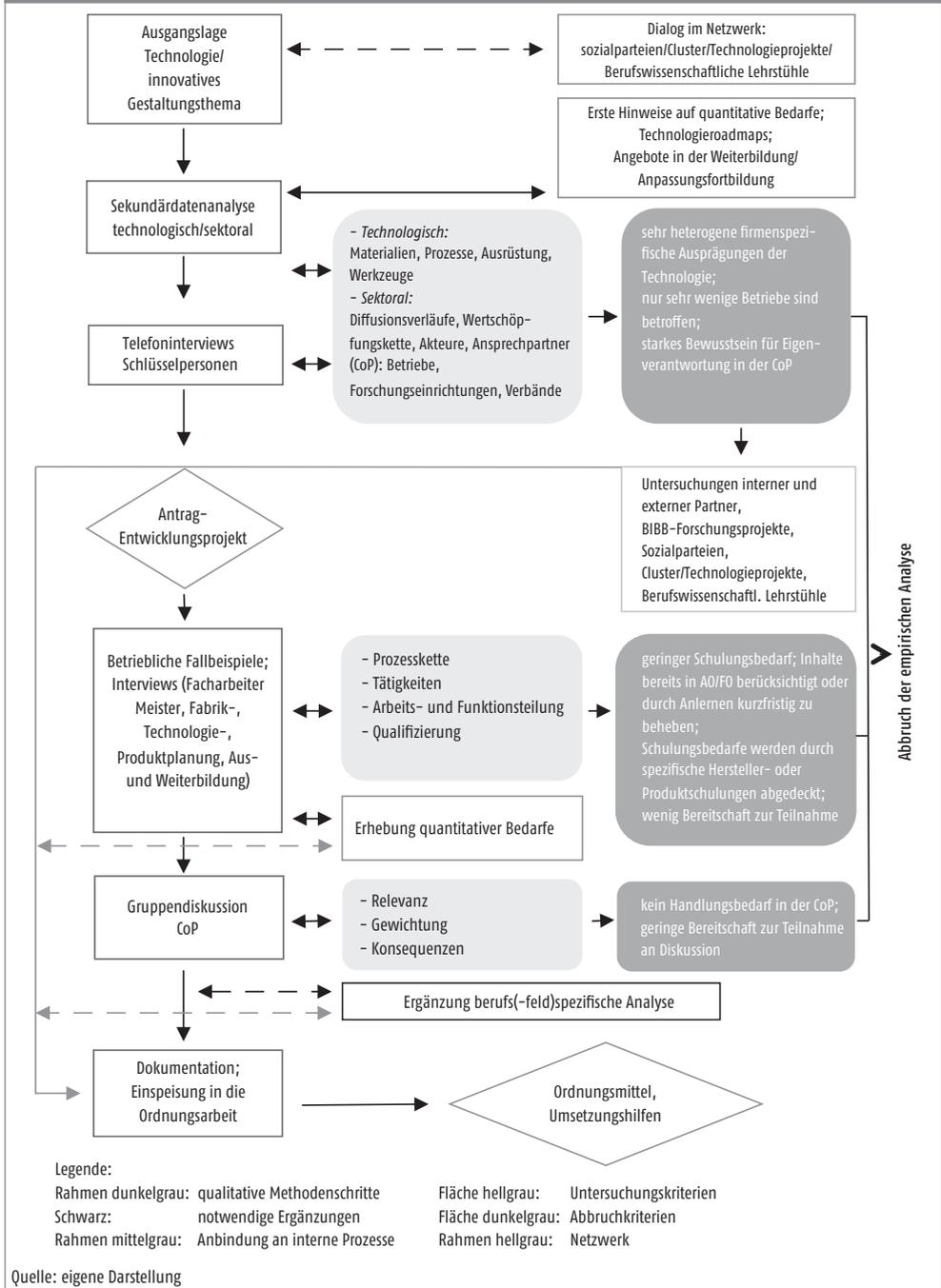
- ▶ Eine quantitative Annäherung an qualifikatorische Bedarfe ist schrittweise und mit wachsendem Präzisionsgrad möglich.
- ▶ In einem frühen Stadium der Technologieanalyse mittels Sekundärdaten können Zahlen zur Verbreitung der Technologie innerhalb eines Wirtschaftszweigs, wie sie beispielsweise in Technologie-Roadmaps zu finden sind, Anhaltspunkte über mögliche quantitative Bedarfe liefern, die jedoch prognostisch noch sehr unscharf sein können.
- ▶ Ferner sollten zu späteren Zeitpunkten Betriebsbefragungen zu konkreten Bedarfen im Rahmen des Referenzbetriebssystems vorgenommen werden. Alternativ kann auch eine Auswertung von Stellenanzeigen zu einem späteren Diffusionszeitpunkt Hinweise auf quantitative Bedarfe liefern. Durch ein solches iteratives Vorgehen können sowohl qualitative als auch quantitative Bedarfe erhoben und den Akteuren der Ordnungsarbeit zur Verfügung gestellt werden.

#### 5.4.4 Fazit

Das methodische Vorgehen hat sich insgesamt als zielführend erwiesen, um einen informativen Überblick über den Technologiediffusionsprozess in unterschiedlichen Feldern herbeizuführen. Die Basis ist eine sorgfältige Technologiebeschreibung auf der Grundlage von Sekundärdaten. Die angeführten Quellen sind je nach Umsetzungsstand und involvierter Praxisgemeinschaft von unterschiedlicher Qualität. Sehr gut geeignet und leicht zugänglich sind Technologie-Roadmaps und wissenschaftsjournalistische Aufarbeitungen bzw. Internet-Informationen von Clustern und Industrieverbänden. Ergänzt man diese durch Interviews mit Schlüsselpersonen, lässt sich bereits abschätzen, ob weiterführende empirische Untersuchungen sinnvoll und notwendig sind.

Eine sorgfältige Definition und Auswahl der relevanten Expertise ist eine maßgebliche Qualitätsgrundlage qualitativer Qualifikationsforschung. Bereits wenige gut ausgewählte Interviewpartner können ein Bild der Arbeitsrealität zeichnen, das in Gruppendiskussionen mit der relevanten CoP validiert werden kann und so eine hohe Aussagekraft erreicht. Ein maßgeblicher Unterstützungsfaktor für eine gelingende Akquise ist dabei die Vermittlung über Schlüsselpersonen aus Clustern und Verbänden. Die folgende Abbildung zeigt den aus der Methodenreflexion abgeleiteten Entscheidungsbaum zum Vorgehen in der Dauerbeobachtung, der den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Ordnungsabteilung als Unterstützung für die Annäherung an technologische Fragestellungen dienen kann.

Abbildung 33: Entscheidungsbaum zum Vorgehen in der qualitativen Technologiedauerbeobachtung



Werden qualifikatorische Veränderungen vom Ausgangspunkt der Technologie beobachtet, können berufsfeldübergreifende Aussagen zu Qualifizierungsbedarfen und Veränderungen in der Arbeitswelt getroffen werden. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass Technologie nur ein Baustein von Berufsprofilen darstellt, der zudem durch die bewusst technikoffene Formulierung der Ordnungsmittel nur allgemein Eingang in diese findet. Die Analyse von Technologien bildet damit nur einen Teilbereich der Einsatzfelder eines Berufes im Detail ab. Die Überbetonung einer Technologie kann Berufsprofile verzerren. Um konkrete Aussagen zur möglichen Ausgestaltung von Berufsbildern zu treffen, sind somit ergänzende berufsfeldspezifische Analysen notwendig (z. B. ZINKE u. a. 2014), in die das ganze Tätigkeitsspektrum der Berufe einbezogen wird. Eine solche berufsfeldspezifische Betrachtung kann jedoch in Bezug auf Technologien Blindstellen aufweisen: So treten z. B. durch die Analyse im Themenfeld Smart Grid kaufmännische Qualifikationsanforderungen und der Bedarf eines kaufmännischen IT-Hybridberufes im Bereich des Energiedatenmanagements zutage, die bei der Analyse der industriellen Elektroberufe keine Rolle spielten, da hier nur das gewerblich-technische Know-how in Bezug auf die Technologie berücksichtigt wurde.

Aus den Herausforderungen beim Feldzugang und den damit verbundenen Schwierigkeiten, die Akteure für Interviews und Gruppendiskussionen zu gewinnen, lässt sich die Empfehlung ableiten, vorhandene Netzwerke noch stärker als im Projekt bereits geschehen in die Technologiebeobachtung einzubeziehen. Auch muss nicht jedes Technologiethema vom BIBB bearbeitet werden. Gut vernetzte Praxisgemeinschaften mit starkem Bezug zur Berufsbildung streben in der Regel auch eigene Expertisen an, die durch das BIBB genutzt werden können. Die Technologiebeobachtung durch das BIBB wäre vor allem dort angezeigt, wo es sich um übergreifende Technologien in Bezug auf Gewerke/Branchen/Einsatzfelder handelt oder wo durch die involvierte Praxisgemeinschaft keine eigenen Untersuchungen vorliegen. In jedem Fall sollte vor empirischen Untersuchungen eine begründete Abwägung hinsichtlich der Auswahl der zu untersuchenden Technologiefelder vorgenommen werden. Diese sollte aus einer Sekundärdatenanalyse abgeleitet werden.

Als Vorteile, respektive Erfordernisse der Technologiedauerbeobachtung durch das BIBB können folgende Aspekte genannt werden: Durch eine solche Arbeit werden Informationen über Berufsgrenzen hinaus generiert, die eine gesamtsystemische Betrachtung unterstützen. Zugleich können die Projektleiterinnen und Projektleiter Expertise in zukunftssträchtigen Feldern aufbauen und diese in die Ordnungsverfahren einspeisen. Weiter gelingt es durch die wissenschaftliche Annäherung an förderpolitische Schlagworte, diese auf ihre Relevanz in Bezug auf berufsbildungspolitische Fragestellungen einzuordnen. Nicht zuletzt kann durch eine strukturierte Technologiedauerbeobachtung, die an den Kommunikationsprozessen der beteiligten Akteure ansetzt, die stetige Anpassung des Gesamtsystems an den technologischen Wandel durch Information unterstützt werden.

Aus diffusionstheoretischer Sicht würde dies zu einer marktwirtschaftlichen Verbreitung von Technologien beitragen und damit den Wettbewerbsvorteil des Standorts Deutschland auch zukünftig sichern helfen. Förderpolitisch könnte die Unterstützung eines solchen Dialogs als ein Baustein zur nachhaltigen Transfersicherung der technologieförderpolitischen Investitionen der Bundesregierung angesehen werden.



## ► 6 Ausblick und Transfer

Das Forschungsprojekt beschreibt den technologischen Diffusionsprozess in unterschiedlichen Technologiefeldern, um hieraus Rückschlüsse für die qualitative Technologiedauerbeobachtung zu ermitteln. Die im Projekt angewendete Methodik erweist sich als zielführend und zeigt durch Technologiediffusion hervorgerufene qualitative Bildungsbedarfe auf. Durch das abgestufte Vorgehen von Technologie- und Sektoranalyse über Befragung von Schlüsselpersonen, Analyse betrieblicher Fälle und Gruppendiskussion können Themen je nach Relevanz und Aussagekraft in Bezug auf Qualifikationsveränderungen in unterschiedlicher Detailtiefe analysiert werden. Die Definition von Abbruchkriterien macht dabei eine ressourceneffiziente Annäherung an technologische Fragestellungen möglich. Grundlage einer solchen Annäherung an eine Technologie ist eine detaillierte Technologieanalyse anhand von Sekundärdaten, aus der sich bereits viele Anhaltspunkte im Hinblick auf etwaige Untersuchungsfelder und die Entscheidung darüber, ob weitere empirische Analysen notwendig sind, ableiten lassen. Eine solche Analyse ist im Rahmen der zeitlichen Ressourcen der wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Ordnungsabteilung umsetzbar. In Abhängigkeit von den jeweiligen Dauer- und Projektaufgaben und der Prioritätensetzung in der Abteilung sind detailliertere empirische Analysen im Rahmen von Einzelprojekten möglich. Vor dem Hintergrund der aktuellen Personalressourcen erscheint es jedoch unrealistisch, davon auszugehen, dass zukünftig umfassend und bedarfsdeckend empirische Technologieanalysen in allen Technologiebereichen durchgeführt werden können. Aus diesem Grund wurden im abschließenden Expertenworkshop schwerpunktmäßig auch Vernetzungsstrategien zwischen den unterschiedlichen Akteuren der Berufsbildungs- und Technologieförderlandschaft diskutiert.

Eine stärkere Vernetzung der einzelnen Früherkennungsaktivitäten der Akteure wird empfohlen. Wünschenswert wäre zudem eine stärkere Berücksichtigung von Bildungsfragen bei der Technologieförderung des Bundes (in anwendungsnahen Technologiefeldern) und der Clusterförderung. Durch die Einbindung von berufspädagogischen Lehrstühlen in diese Strukturen könnten zeitnah aktuelle Bildungskonzepte für Lehrerbildung und Berufsschulunterricht entwickelt werden. Hierfür besteht ein großer Bedarf. Durch einen verbesserten Informationsfluss werden regionale Konzepte frühzeitig im Hinblick auf bundesweite Bedarfe überprüft. Als nationales Kompetenzzentrum des dualen Systems ist das BIBB der geeignete Partner zur Übernahme einer Moderatorenrolle im Netzwerk. Denkbar wären unterschiedliche Formen der Vernetzung, wie z. B. die Selbstverpflichtung der Netzwerkakteure (Kammern, Verbände, Lehrstühle etc.) zu verbindlicher Information des BIBB oder eine geschützte Internetplattform, in der die jeweiligen Akteure Informationen bereitstellen.

Die Anbindung der BIBB-Projektleiterinnen und -leiter an die institutionellen Strukturen in spezifischen Berufsfeldern ist bereits gelebte Praxis und sollte intensiviert werden. Neue Projektleiterinnen und Projektleiter werden ermutigt, solche Kontakte aktiv zu suchen und sollten dabei neben den Berufsbildungsakteuren (Kammern, Verbänden, Gewerkschaften, Lehrstühlen) auch Technologienetzwerke und Cluster in ihrem Verantwortungsbereich berücksichtigen. Vor allem bei branchenübergreifenden Technologien wären umfangreichere Projekte der Technologiedauerbeobachtung durch das BIBB eine notwendige Ergänzung zu den Dauerbeobachtungsaktivitäten der anderen Akteure. Identifizierte Bildungsbedarfe müssen an bestehenden Berufsbildern und Strukturen im Berufsbildungssystem analysiert werden sowie durch Bedarfsabschätzungen quantifiziert werden. Hierzu sind quantitative Analysen zu einem späten Diffusionszeitpunkt und berufsspezifische Qualifikationsforschung im Vorfeld von Neuordnungsverfahren notwendig.

Die Vorteile der Dauerbeobachtung durch das BIBB wurden oben bereits genannt: Durch eine solche Arbeit werden Informationen über Berufsgrenzen hinaus generiert, die eine gesamtsystemische Betrachtung unterstützen. Zugleich können die Projektleiterinnen und Projektleiter Expertise in zukunftssträchtigen Feldern aufbauen und diese in die Ordnungsverfahren einspeisen. Durch die wissenschaftliche Annäherung an förderpolitische Schlagworte gelingt es, diese auf ihre Relevanz in Bezug auf berufsbildungspolitische Fragestellungen einzuordnen. Durch eine strukturierte Technologiedauerbeobachtung, die an den Kommunikationsprozessen der beteiligten Akteure ansetzt, kann die stetige Anpassung des Gesamtsystems an den technologischen Wandel durch Informationen unterstützt werden. Aus diffusionstheoretischer Sicht würde dies zu einer marktwirtschaftlichen Verbreitung von Technologien beitragen und damit helfen, den Wettbewerbsvorteil des Standortes Deutschland auch zukünftig zu sichern. Förderpolitisch könnte die Unterstützung eines solchen Dialogs als ein Baustein zur nachhaltigen Transfersicherung der technologieförderpolitischen Investitionen der Bundesregierung angesehen werden, der im Vergleich dazu eher geringe finanzielle Ressourcen beanspruchen würde.

Die im Projekt gestellten Forschungsfragen werden detailliert und konkret in den einzelnen Fallbeispielen (Kapitel 4) beantwortet. An dieser Stelle wird daher aus einer allgemeinen Betrachtung aller Fallbeispiele ein Resümee zu den Forschungsfragen gezogen:

## **1 Wie kann die Diffusion technischer Innovationen möglichst frühzeitig kategorisiert und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Qualifikationsbedarfe klassifiziert werden?**

Die im Projekt erarbeiteten Kategorien und Indikatoren lehnen sich an die Tätigkeitstheorie und Diffusionstheorie an und erwiesen sich als hilfreich zur Analyse technischer Innovationen. Die tätigkeitstheoretische Einordnung von Innovationen entweder als Werkzeug oder als Objekt/Produkt der Tätigkeit hat Auswirkung auf die Gestaltung des Forschungsprozesses, da auf der Produktebene die gesamte Wertschöpfungskette als Analyseeinheit relevant

ist, während sich die Analyse einer Innovation auf der Werkzeugebene stärker auf einzelne Arbeitsschritte und Arbeitsplätze eingrenzen lässt. Die Wahl des Diffusionszeitpunktes hat entscheidenden Einfluss auf die Aussagekraft und Prognosefähigkeit von Dauerbeobachtung. Zu einem frühen Diffusionsstadium sind nur ungenaue Aussagen bezüglich der benötigten Qualifikationsprofile und des quantitativen Bedarfs zu erwarten, die zu einem späteren Zeitpunkt überprüft und spezifiziert werden müssen. Für eine Anpassung der Ordnungsmittel sind Analysen zu einem relativ späten Diffusionszeitpunkt (Schlüsseltechnologie nach A. D. LITTLE) am aussagekräftigsten.

Die folgenden Analysekatoren haben sich bewährt:

- ▶ Technologiebeschreibung (Codes: Werkstoffe, Prozessketten, Ausrüstung/Werkzeuge)
- ▶ Diffusion (Codes: Zeitpunkte im Technologielebenszyklus, Diffusionsprozess, Communities of Practice)
- ▶ Arbeitsteilung/Kooperation (Codes: Funktionsteilung Gewerke, Funktionsteilung nach Bildungsniveaus)
- ▶ Qualifizierung in Aus- und Weiterbildung (Codes: Herausforderungen der Tätigkeit, Qualifizierungsbedarfe, bestehende Angebote).

Die Beantwortung der Forschungsfragen 1 bis 5 hängt noch stärker vom Bezug auf die jeweilige Technologie, aber auch vom Bezug zum Diffusionsfeld ab:

- 2 Wie verändern sich Tätigkeiten und Aufgaben aufgrund der Diffusion neuer Technologien in Beschäftigungsfeldern des produzierenden Gewerbes, die einen hohen Anteil an Beschäftigten auf der mittleren Qualifikationsebene aufweisen?**
- 3 Welche Anforderungen in Breite (Zuschnitt und Reichweite) und Tiefe (Kompetenzfacetten und -inhalte) ergeben sich für neue (oder veränderte) Tätigkeiten in solchen Tätigkeitssystemen?**

Die übergreifende Analyse zeigt, dass für diese Fragen keine einheitliche Antwort über alle Fallbeispiele gegeben werden kann. Es lassen sich jedoch einige übergreifende Trends aufzeigen, wie z. B. die Veränderung durch einen erhöhten Automatisierungsgrad in der Produktion. Hier steigt der Bedarf an steuerungstechnischem Anwenderwissen. Es wird daher der Bedarf an hybriden Qualifikationsprofilen geäußert, welche sowohl vertiefte Kenntnisse im Bereich der Störungsbehebung an der automatisierten Anlage als auch Materialkenntnisse, Prozessverständnis und Handlungswissen für die jeweils spezifischen Produktionsprozesse beinhalten. Die untersuchten Firmen verfolgen jedoch unterschiedliche Strategien bezüglich der Arbeitsteilung. Hier könnte die Entwicklung einer übergreifenden Zusatzqualifikation im Bereich der Steuerungstechnik nach BBiG für alle industriellen Fertigungsberufe eine interessante Option sein, um die Anforderungen, die aus einem höheren Automatisierungsgrad in der Fertigung entstehen, aufzugreifen.

#### **4 Welche Veränderungen in den Funktionsteilungen zwischen operativen (z. B. Facharbeiter/-innen), planend-organisierenden (z. B. Meister/-innen bzw. Techniker/-innen) und forschend-entwickelnden Einheiten (z. B. Ingenieurinnen und Ingenieure) sind in solchen Tätigkeitssystemen zu beobachten?**

Bei dieser Forschungsfrage ist zwischen der Funktionsteilung zwischen Gewerken und der Funktionsteilung zwischen unterschiedlichen Hierarchie- oder Funktionsebenen zu unterscheiden.

Die Arbeitsteilung zwischen den Gewerken und die Auswahl spezifischer Berufsbilder wird stark von den historisch gewachsenen Strukturen vor Ort bestimmt. Der Abgleich veränderter Qualifikationsanforderungen erfolgt in den Betrieben auf der Grundlage der bestehenden Personalstruktur und wird durch Weiterbildung im Sinne von Anpassungsfortbildung aufgegriffen. Hierdurch wird die Einführung neuer oder alternativer Berufsbilder in etablierten Branchen erschwert (wie das Beispiel des Produktionstechnologen/der Produktionstechnologin zeigt). Es entsteht der Wunsch, die Veränderungen in die bewährten Berufsbilder zu integrieren. In anderen Diffusionsfeldern mit einer starken Community of Practice wird demgegenüber der Bedarf nach einem eigenen Branchenberuf formuliert, auch wenn ein Abgleich mit etablierten Berufsbildern zeigt, dass dies nicht zwingend erforderlich und aus der Perspektive des Gesamtsystems nicht wünschenswert ist. Hier hat die BIBB-Dauerbeobachtung auch die Aufgabe, einzelberufliche Analysen der Qualifikationsforschung aus spezifischen Projekt- und Förderzusammenhängen auf der Grundlage einer systemischen Gesamtbetrachtung kritisch zu reflektieren.

Die Frage nach der Veränderung der Arbeitsteilung zwischen den Funktionsebenen ist ebenfalls nicht eindeutig zu beantworten. Im Laser-Fallbeispiel wird deutlich, dass zwar der Anteil an Ingenieurinnen und Ingenieuren sowie akademisch gebildeten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bei der Einrichtung, Anpassung und Gestaltung von Laserbearbeitungsprozessen höher ist als der Anteil der Facharbeiterinnen und Facharbeiter. Letztere sind aber durchaus auch an diesen Prozessen beteiligt und bringen hier Erfahrungswissen ein. Dieses Fallbeispiel zeigt Unterschiede im Bereich der Selbstlernkompetenz auf, die sich auf die Informationsbeschaffung und -erschließung zu weiterführenden technischen Verfahren und Prozessen beziehen. Aus berufspädagogisch-didaktischer Perspektive eröffnet daher das Themenfeld (scientific-)literacy vielversprechende Ansatzpunkte für weiterführende Arbeiten.

In weiteren Fallbeispielen wurde die Bedeutung beruflicher Handlungskompetenz erfahrener Facharbeiterinnen und Facharbeiter sowie Meisterinnen und Meister zur Weiterentwicklung und Adaption der Technologie in einem spezifischen Anwendungsfeld deutlich. Die Qualität digitaler und automatisierter Lösungen hängt im entscheidenden Maße davon ab, inwieweit es gelingt, den Anwendungskontext zu erfassen und in das digitale Produkt zu integrieren. Hierbei arbeiten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verstärkt auch in unternehmensweiten oder unternehmensübergreifenden Netzwerken mit, was hohe Anforderungen an die Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit stellt.

## **5 Welche Entwicklungswege und Aufstiegsmöglichkeiten für Facharbeiterinnen und Facharbeiter existieren in solchen Tätigkeitssystemen?**

Diese Frage kann auf der Grundlage qualitativer Forschung nur unzureichend beantwortet werden. In den untersuchten Produktionsbetrieben wurde die etablierte Funktionsteilung zwischen Facharbeiterinnen und Facharbeitern, Meisterinnen und Meistern, Technikerinnen und Technikern sowie Ingenieurinnen und Ingenieuren nicht infrage gestellt. Es gab jedoch Hinweise darauf, dass in Zeiten voller Auftragsbücher in der automatisierten Fertigung gerne auf Zeitarbeiterinnen und Zeitarbeiter und ungelernete Kräfte zurückgegriffen wird. Facharbeiterinnen und Facharbeitern kommt dann eine überwachende und anleitende Teamleiterfunktion zu, die neue Anforderungen an die Facharbeit stellt. Daneben ist in etablierten Branchen wie der Gießereitechnik auch eine Fach- oder Spezialistenkarriere bei erfahrenen Facharbeiterinnen und Facharbeitern zu beobachten. Erfahrungswissen in Bezug auf Material, Prozesse und Produkte stellt in den Betrieben eine anerkannte Expertise dar, die neben dem Aufstieg in eine Führungsposition zusätzliche Weiterentwicklungsmöglichkeiten bietet. Das benötigte Erfahrungswissen und Know-how hierfür wird zumeist informell und nonformal erworben. Im Sinne von Transparenz und beruflicher Mobilität dieser Facharbeiterinnen und Facharbeiter wäre zu diskutieren, welche Zertifizierungsmöglichkeiten hierfür geeignet wären. Hierzu äußerten sich die befragten Akteure allerdings eher zurückhaltend (z. B. im Fallbeispiel Lasertechnik).

## **6 Welche Konsequenzen ergeben sich für die Berufsordnung aus den empirischen Daten?**

Im vorliegenden Abschlussbericht werden verschiedene Empfehlungen für die Ordnungsarbeit abgeleitet. Zahlreiche konkrete Hinweise für mögliche Weiterentwicklungspotenziale einzelner Berufsbilder werden in den Fallbeispielen aufgezeigt. Hierzu zählen:

- ▶ Es wird empfohlen, eine Zusatzqualifikation nach BBiG „Steuerungstechnik und Fehlerbehebung in automatisierten Fertigungsprozessen“ für unterschiedliche gewerblich-technische Berufe in der industriellen Fertigung zu erarbeiten.
- ▶ Scientific literacy als spezielle Form der Lese- und Schreibfähigkeit in gewerblich-technischen Berufen sollte geschult werden.
- ▶ Informationsbeschaffung und Auswertung wissenschaftlicher Daten der Fachdomäne sollte als Weiterbildungsthema gewerblich-technischer Berufsfelder aufgegriffen werden. Dies ist umso mehr eine Anforderung, wenn über eine durchlässige Gestaltung der beruflichen Bildung gegenüber der Hochschulbildung diskutiert wird.
- ▶ Es ist notwendig, systemisches Denken in der Berufsbildung konsequent zu vermitteln. Hierbei sind sowohl das technische System zu betrachten als auch die Funktionszusammenhänge und Abhängigkeiten im Arbeitsprozess. Eine solche Anforderung wird in den unterschiedlichen Fallbeispielen (Smart Grid, KWK, Batterietechnik, CFK) formuliert.

- ▶ Die gestiegene Bedeutung von Kommunikation und Kooperation in gemischten Teams als erhöhte Anforderung an die Sozialkompetenz zeigt sich in den Fallbeispielen CFK, KWK, Smart Grid, AR/VR, Biotechnologie.
- ▶ Im Fallbeispiel KWK werden Weiterbildungsbedarfe im Bereich des SHK-Handwerks aufgezeigt. Es sollte im anstehenden Ordnungsverfahren geprüft werden, inwieweit Herstellerzertifikate und einzelne Spezialisierungen bereits in die Erstausbildung integriert oder Hinweise zur Umsetzung in begleitenden Materialien gegeben werden könnten.
- ▶ Im Fallbeispiel Smart Grid wird die Notwendigkeit der Integration von Energiedatenmanagement in das Berufsbild des IT-Kaufmanns oder die Schaffung eines alternativen dualen Bildungsangebots im Feld der Energiewirtschaft aufgezeigt.
- ▶ Es werden Gestaltungsmöglichkeiten der Weiterbildung im Feld Faserverbundtechnologie aufgezeigt und die Empfehlung zur Prüfung des Bedarfs für die Entwicklung einer gestuften Fortbildung ggf. bis zum strategischen Professional gegeben.
- ▶ Es wird empfohlen, eine gewerkeübergreifende bundesweite Fortbildungsregelung zum Energieberater/zur Energieberaterin zu prüfen.
- ▶ Es wird empfohlen, den Bedarf nach einer Bundesregelung analog zur Kammerregelung des Netzmeisters/der Netzmeisterin oder der Gestaltung von Berufslaufbahnkonzepten in der Energiewirtschaft im Zusammenhang mit der Energiewende zu prüfen.
- ▶ Im Fallbeispiel Biotechnologie zeigte sich, dass die Ausbildungsberufe im Bereich der chemischen Industrie geeignet sind, die Bedarfe der Biotechnologieunternehmen aufzugreifen, auch wenn eine stärkere Schwerpunktsetzung (noch stärkere Berücksichtigung biotechnologischer Inhalte im Berufsschulunterricht und in Prüfungen) aus Sicht der Interviewten durchaus wünschenswert wäre. Es wird empfohlen, durch quantitative Analysen zu prüfen, welcher Anteil von Chemikant/-innen in welchem Umfang mit biotechnologischen Produktionsverfahren befasst ist.

Neben diesen sehr konkreten Empfehlungen sind einige Aspekte zu nennen, die in weiterführenden Arbeiten oder im politischen Diskurs aufgegriffen werden sollten.

- ▶ In den Fallbeispielen wurde die Bedeutung von Weiterbildung für den Innovationstransfer und auch als Informationsquelle zur Identifizierung von Weiterbildung deutlich. Hier könnte das BIBB durch ein detaillierteres Weiterbildungs-Monitoring Hinweise zu quantitativen Qualifizierungsbedarfen erzielen. Dabei ist das Bild durchaus heterogen. Die Firmen nutzen sowohl individuelle Weiterbildungskonzepte, Anpassungsqualifizierungen für An- und Ungelernte sowie für Facharbeiterinnen und Facharbeiter als auch Zertifizierungslehrgänge. In diesen Themenfeldern ist noch ein umfangreicher Forschungsbedarf für Forschungsarbeiten mit konkretem Ordnungsbezug zu verzeichnen.
- ▶ In den Interviews wurde der hohe Stellenwert deutlich, den die betrieblichen Experten und Expertinnen einer breiten beruflichen Grundbildung im Sinne eines kompetenz- und prozessorientierten beruflichen Fundaments zumessen. Hierbei steht aus Sicht der Be-

fragten besonders die Auseinandersetzung mit den jeweiligen Materialien, Prozessen und Werkzeugen im Vordergrund.

- ▶ Damit einher geht die Notwendigkeit, ein solches Fundament auch durch schulische Inhalte zu stärken. Der Lernort Berufsschule erfüllt hier eine wichtige Aufgabe, da dort sowohl Selbstlernkompetenz als auch Fach- und Materialkenntnisse vermittelt werden. Je nach personeller und räumlicher Ausstattung kann die Schule besser oder weniger gut zum Innovationstransfer und zur Gleichwertigkeit eines Berufsabschlusses unabhängig vom Ausbildungsbetrieb beitragen. Im abschließenden Workshop wurde deutlich, dass durch die technikoffene Formulierung von Ausbildungsordnung und Rahmenlehrplänen die konkrete didaktische Ausgestaltung der Lernfelder mit Technologiebezug sehr stark an die Schulen delegiert wird. Zur Unterstützung der Schulen sind Umsetzungsimpulse aus der Qualifikationsforschung und regionale Lernortpartnerschaften notwendig, um einen qualitativ hochwertigen Berufsschulunterricht sicherzustellen. Ein weiterer wichtiger Lernort sind die überbetrieblichen Ausbildungsstätten, die durch eine Schwerpunktsetzung und technische Ausstattung zum Innovationstransfer in KMU beitragen können. Auch hier ist eine Kooperation mit den Berufsschulen sinnvoll.
- ▶ In den Fallbeispielen CFK, Biotechnologie und Smart Grid wurde deutlich, dass von den Betrieben für ähnliche Tätigkeiten, abhängig vom regionalen Angebot und arbeitsorganisatorischen Anforderungen der Betriebe, unterschiedliche Ausbildungsberufe gewählt werden (siehe 2.2.2). Dies spricht dafür, ein breites Angebot an Berufen bereitzustellen, das durchaus Überschneidungen in den Tätigkeitszuschnitten unterschiedlicher Berufe zulässt. Bei der Gestaltung von Berufsgruppen sollten diese Aspekte berücksichtigt werden.

Die theoretische Einordnung des Projektes auf der Basis von Tätigkeitstheorie und Diffusionstheorie war hilfreich und hat die Analyse immer wieder über die reine Tätigkeitsanalyse hinweg auf die übergreifende Systemebene geführt. Dies wurde als Bereicherung gegenüber den mehr methodenorientierten Ansätzen der Qualifikationsforschung (z. B. BECKER und SPÖTTL 2008) erfahren. Einzelne Projektergebnisse wurden auf internationalen Tagungen, wie der Konferenz der International Society for Cultural and Activity Research (ISCAR) oder der European Group for Organisational Studies (EGOS), präsentiert und diskutiert und konnten damit zur Weiterentwicklung der Theorie beitragen. Hier wurde vor allem die Verknüpfung der Tätigkeitstheorie mit diffusionstheoretischen Ansätzen mit Interesse verfolgt.

Weiterführende Forschungsfragen stellen sich vor allem im Kontext quantitativer Forschungen des BIBB. So wären z. B. Längsschnittstudien im Rahmen der BIBB-BAuA-Erhebung im Themenfeld der Automatisierung interessant, in denen die Veränderungen der Facharbeit im Hinblick auf einen gestiegenen Automatisierungsgrad analysiert werden könnten. Ebenfalls wäre zu klären, inwieweit Überwachungstätigkeiten (Umgang mit Störfällen) in automatisierten Prozessen in übergreifenden quantitativen Studien als wissensintensive Tätigkeiten eingestuft werden. Eine interessante Frage in Bezug auf die Vermittlung von Know-how in

diesem Zusammenhang ist auch, wie Störfälle und Fehlersuche in automatisierten Prozessen vermittelt und eingeübt werden können. Hier können durch die Entwicklung von simulierten und animierten Szenarien hilfreiche Lernumgebungen bereitgestellt werden. Die berufspädagogische und didaktische Gestaltung solcher Lernumgebungen ist ebenfalls ein weites Feld für zukünftige Forschung.

# Anhang

## Leitfragebogen Interview Schlüsselexperte

1. Können Sie die Wertschöpfungskette im Zusammenhang mit Technologie X beschreiben?  
wenn ja: weiter mit 3, wenn nein weiter mit 2
2. Wen können Sie mir als Interviewpartner empfehlen, der diese Prozessschritte kennt und auch einen Überblick über betriebliche Anwendungen der Technologie hat?
3. Welche Prozessschritte gibt es in dieser Wertschöpfungskette? (Wertschöpfungskette aufmalen, Schritte benennen lassen)
  - a. Welche dieser Schritte sind besonders herausfordernd? Wo gibt es Prozessschritte, die bislang in der Branche nicht üblich waren? (farbig markieren)
  - b. Gibt es unterschiedliche Varianten dieses Prozesses? (aufmalen, Schritte benennen lassen, Herausforderungen farbig markieren)
4. Werden in diesem Bereich mehr Dienstleistungen angeboten (als früher üblich)?
  - a. Weisen die Teile ein höheres Fertigungsniveau auf?
  - b. Welche Arbeitsschritte werden als Dienstleistung angeboten?
5. Welche Arbeitstätigkeiten sind neu oder verändert?
  - a. Welche Funktionsteilung gibt es in diesen Bereichen?
  - b. Wäre hier evtl. die Durchführung eines betrieblichen Fallbeispiels möglich?
6. Kennen Sie Qualifizierungsstrategien im Bereich Technologie X?
  - a. Sind diese Qualifizierungsstrategien regional, überregional, betriebsspezifisch?
  - b. Kennen Sie Anbieter für Qualifizierungsmaßnahmen?
  - c. Für welche Zielgruppen gibt es Angebote?
  - d. Welche Inhalte werden dabei vermittelt?
7. Welche besonderen Aspekte im Zusammenhang des Themas sollten wir Ihrer Meinung nach noch berücksichtigen?

## Leitfragebogen Interviews Mitarbeiter/-in

Vor dem Interview:

- ▶ Zur Vorbereitung auf das Interview werden die dazugehörigen Prozessschritte wenn möglich visualisiert.
- ▶ Einleitend ist die Einwilligung zur Weiterbearbeitung des Interviews einzuholen; dies bezieht sich sowohl auf die Vorstellung in der Gruppendiskussion als auch auf die Weiterbearbeitung in anonymisierter Form im Forschungsprojekt.

### Leitfragen

Herr/Frau X, vielen Dank für ihre Bereitschaft, uns zu unterstützen. Sie arbeiten hier im Bereich X als X). Wir würden gerne wissen, wie Ihre Tätigkeit hier aussieht, um daraus abzuleiten, was jemand lernen muss, der diese Aufgaben wahrnimmt.

1. Wie lange sind Sie schon in diesem Betrieb X beschäftigt?
2. Wie war Ihr beruflicher Werdegang bis hierher? (Welche Einsatzgebiete haben Sie dabei durchlaufen?)
3. Welche Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen haben Sie absolviert?
4. Was hat Ihnen Ihrer Meinung nach besonders geholfen, sich in diesen Bereich einzuarbeiten?

Wir haben hier die Prozessschritte, die bei der Fertigung des Produktes X durchlaufen werden. (Bei Telefoninterviews die Prozessschritte rekapitulieren.)

5. An welchen Schritten sind Sie direkt beteiligt? Welche Tätigkeiten fallen in Prozessschritt X an, welche Tätigkeiten fallen im Prozessschritt Y an? [Hinweis: Aufmalen der Prozessschritte und Teiltätigkeiten]
6. Was tun Sie, wenn es Probleme im Prozessverlauf gibt?
7. Wer ist Ihr Ansprechpartner für den Fall, dass es Probleme gibt?
8. Welche Aufgaben fallen in diesem Prozessschritt an, die nicht von Ihnen bearbeitet werden?
9. Mit wem müssen Sie sich abstimmen?
10. Wie ist die Zusammenarbeit zu diesen Mitarbeitern geregelt?

Schauen wir nun die Tätigkeiten im Einzelnen an. Worauf müssen Sie bei diesen Arbeitsaufgaben besonders achten?

11. Welche Werkzeuge/Maschinen müssen Sie bedienen, um diese Arbeitsaufgabe zu erledigen? Haben Sie die Beherrschung dieser Werkzeuge/Maschinen/Programme in Aus- oder Weiterbildung gelernt?
12. Verläuft diese Aufgabe immer gleich, oder gibt es Unterschiede, die Sie beachten müssen (umrüsten, unterschiedliche Losgrößen, Materialien, Parameter etc.)?

13. Welche Fehler können bei dieser Arbeitsaufgabe auftreten? Welche Fehlermeldungen müssen Sie beachten?
14. Wie wichtig sind die Erfahrungen, die sie in Ihrer täglichen Arbeit machen, für die Erledigung der Arbeitsaufgabe?
15. Welche Inhalte ihrer eigenen Ausbildung konnten Sie wiederfinden, weiterverwenden?
16. Welche Qualitätssicherungsmaßnahmen werden in der Firma getroffen, welche führen Sie davon vor Ort durch? Wie wird der Prozess von Ihnen (maschinell unterstützt) überwacht?

Wir möchten gerne wissen, ob Sie für die Übernahme dieser Arbeitsaufgaben besonders vorbereitet, eingearbeitet oder geschult wurden.

17. Wurden Sie intern auf diese Tätigkeit vorbereitet? (Wenn ja weiter mit a, wenn nein weiter mit 18)
  - a. Welche Ansprechpartner hatten Sie zu Beginn der Tätigkeit? Gab es einen betrieblichen Ansprechpartner?
  - b. Wurden Sie betriebsintern für diese Arbeitsaufgabe geschult? (Wenn beide Fragen [a. + b.] mit ja beantwortet werden, bitte die folgenden Fragen differenziert für beide Bereiche erfragen.)
  - c. Was haben Sie dadurch gelernt (praktisch/theoretisch)?
  - d. Bezog sich das Gelernte auf spezielle Anwendungsfelder innerhalb Ihrer Arbeitsaufgaben?
  - e. Inwieweit wurden auch theoretische Hintergründe für x (Inhalt der Schulung) behandelt?
  - f. Was war besonders hilfreich?
  - g. Können Sie das Gelernte in der Tätigkeit anwenden?
18. Haben Sie externe Schulungen besucht? (wenn ja, weiter mit a, wenn nein weiter mit 19)
  - a. Welche Schulung wurde besucht?
  - b. Welche Zertifizierung haben Sie damit nachgewiesen?
  - c. Was haben Sie dort gelernt?
  - d. Bezog sich das Gelernte auf spezielle Anwendungsfelder innerhalb Ihrer Arbeitsaufgaben?
  - e. Inwieweit wurden auch theoretische Hintergründe für x (Inhalt der Schulung) behandelt?
  - f. Was war besonders hilfreich?
  - g. Können Sie das Gelernte in der Tätigkeit anwenden?
19. Schauen wir uns noch einmal das Schaubild an. Wird Ihre Tätigkeit im Bereich X dadurch zutreffend beschrieben? Was fehlt hier Ihrer Meinung nach noch? (Bei Telefoninterviews die Prozessschritte rekapitulieren.)

## Strukturierung und Diskussionsleitfaden Gruppendiskussion

Die Ergebnisse aus den Interviews werden in drei Schritten erläutert und diskutiert.

1. Validierung des Flussbilds zum Tätigkeitsprozess:
  - a. Sind die Prozessschritte und Teiltätigkeiten vollständig erfasst?
  - b. Wo gibt es Ergänzungen?
  - c. Welche Schnittstellen wurden nicht aufgenommen?
2. Qualifikation und Schulung:
  - a. Welche Qualifikationsstrategien bestehen vor Ort bezüglich der Einführung und Verbreitung innovativer Verfahren und Produkte?
  - b. Wie fließen Erfahrungen aus innovativen Produktionsverfahren in die Erstausbildung ein?
  - c. Wie finden Sie auf dem internen und externen Arbeitsmarkt die Mitarbeiter, die für die „neuen Anforderungen“ geeignet sind?
3. Erwartung an staatlich geregelte Berufsbildung:
  - a. Welche Unterstützung würden Sie sich vom Berufsbildungssystem wünschen?
  - b. Welche Erwartung an überbetriebliche Regelungen haben Sie?

# Literaturverzeichnis

- ABICHT, Lothar: Qualifizierungsbedarf KMU Optische Technologien. Empirische Studie. Düsseldorf 2004
- ABICHT, Lothar: Weiterbildungsbedarf in Unternehmen der Nanotechnologie. Studie auf der Basis einer quantitativen Unternehmensbefragung. Düsseldorf 2008
- ABICHT, Lothar u. a.: Trends und Qualifikationsprofile durch das Internet der Dinge im Bereich „Smart House“. In: ABICHT, Lothar; SPÖTTL, Georg (Hrsg.): Qualifikationsentwicklungen durch das Internet der Dinge. Bielefeld 2012, S. 25–102
- ABICHT, Lothar; FREIKAMP, Henriette: Ermittlung von Trendqualifikationen als Basis zur Früherkennung von Qualifikationserfordernissen. Schlussbericht zum Projekt. Halle 2007
- ABICHT, Lothar; FREIKAMP, Henriette; SCHUMANN, Uwe: Ermittlung von Qualifikationserfordernissen in der Nanotechnologie. In: Cedefop panorama series 129 (2006)
- ABICHT, Lothar; LEHNER, Franz: Verbundprojekt „Identifizierung von Tätigkeiten der mittleren Ebenen. Eine exemplarische Untersuchung am Beispiel ausgewählter Wirtschaftsbereiche“. Gelsenkirchen o. J.
- ABICHT, Lothar; SCHLICHT, Eckkehard; SCHUMANN, Uwe: Abschlussbericht Trendqualifikationen im Bereich der Nanotechnologie. Halle 2005
- AGEMAR, Thorsten; LENTGE, Henning; HARTMANN, Hans-Jürgen: Weiterbildungsangebote Optische Technologien, Bestandsaufnahme und Analyse. Düsseldorf 2003
- ANTRANIKIAN, Garabed: Nachwachsende Rohstoffe als Ausgangsstoffe für chemische Synthesen. In: DUBBERT, Wolfgang; HEINE, Tina (Hrsg.): Weiße Biotechnologie, Ökonomische und ökologische Chancen. Frankfurt/Main 2006, S. 32
- BARON, Waldemar; HEYBROCK, Eckhard; KORTE, Sabine: Aus-/Weiterbildung-Berufsausbildung in innovativen Technologiefeldern. In: VDI Z-Integrierte Produktion, 147 (2005) 6, S. 64
- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GIESSEREI-INDUSTRIE: Druckgießen – Serienverfahren für hochkomplexe dünnwandige Leichtmetallgussteile. 2013 – URL: [http://www.kug.bdguss.de/giessverfahren\\_inhalte/druckguss/](http://www.kug.bdguss.de/giessverfahren_inhalte/druckguss/) (Stand: 22.05.2013)
- BECKER, Matthias; SPÖTTL, Georg: Berufswissenschaftliche Forschung. Frankfurt am Main 2008
- BECKER, Matthias; SPÖTTL, Georg: Qualifizierungsinitiativen für die Elektromobilität im Kfz-Sektor (QuEle). Bonn 2012
- BEYER, Jürgen: Pfadabhängigkeit. Über institutionelle Kontinuität, anfällige Stabilität und fundamentalen Wandel. Frankfurt/New York 2006
- BIOÖKONOMIERAT: Positionspapier der Arbeitsgruppe Biotechnologie. Berlin 2010 – URL: <http://www.biooekonomie-rat.de/fileadmin/templates/publikationen/berichte/Berichte04-Biotechnologie.pdf> (Stand: 4.11.2015)
- BIOTECHNOLOGIE.DE – URL: <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Hintergrund/studien-statistiken,did=163892.html> (Stand: 19.02.2015)
- BMBF: Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands. Bonn, Berlin 2006
- BMBF: Forschung und Innovation für Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Bonn, Berlin 2009

- BMBF (Hrsg.): Duale Berufsausbildung in innovativen Technologiefeldern. Hochqualifizierte Fachkräfte für unsere Zukunft. Bonn, Berlin 2007
- BODROŽIĆ, Zlatko: Post-Industrial Intervention. An Activity-Theoretical Expedition Tracing the Proximal. Development of Forms of Conducting Interventions. Department of Education. Helsinki 2008
- BRANDT, Martin; VOLKERT, Bernd: Regionales Monitoring zur Wissensökonomie – Ansatzpunkte, Anforderungen, Grenzen. Arbeitsbericht. Stuttgart 2003
- BRELLOCHS, Andreas; SCHMOLKE, Anja; WOLFF, Heimfrid: Substitution chemisch-technischer Prozesse durch biotechnische Verfahren am Beispiel ausgewählter Grund- und Feinchemikalien. UBA Texte 16/01, 2001
- BRIGHT, James R.: Automation and Management. Boston 1958
- BROEKMANS, Volker; KRÄMER, Luis-Martín: Kurzstudie. Beitrag von zentralen und dezentralen KWK-Anlagen zur Netzstützung. Berlin 2014
- BULLINGER, Hans-Jörg: Einführung in das Technologiemanagement. Stuttgart 1994
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMELV), Roadmap Biotechnologie, 2012
- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GIESSEREIINDUSTRIE: Mittelstand mit Schlüsselfunktion. 2011. – URL: [http://www.bdguss.de/de/rolle\\_\\_\\_bedeutung.html](http://www.bdguss.de/de/rolle___bedeutung.html) (Stand: 20.11.2011)
- CEDEFOP: Skills need in Europe. Cedefop Panorama series 160. Luxembourg 2008
- CUHLS, Kerstin; GANZ, Walter; WARNKE, Philine (Hrsg.): Foresight-Prozess im Auftrag des BMBF. Etablierte Zukunftsfelder und ihre Zukunftsthemen. Karlsruhe, Stuttgart 2009
- DEUTSCHE INDUSTRIEVEREINIGUNG BIOTECHNOLOGIE: DIB, Statistik 2013/2014, – URL: <https://www.vci.de/dib/die-branche/statistik/statistik-1.jsp> (Stand: Juni 2014)
- DOSI, Giovanni: The Research on Innovation Diffusion: An Assessment. In: NAKICENOVIC, Nebojsa; GRÜBLER, Arnulf (Hrsg.): Diffusion of Technologies and Social Behavior. Berlin 1991, S. 179–208
- DUBBERT, Wolfgang; HEINE, Tina (Hrsg.): Weiße Biotechnologie. Ökonomische und ökologische Chancen. Dessau: Umweltbundesamt; Frankfurt am Main 2006
- ENGSTRÖM, Yrjö: Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research. Helsinki 1987
- ENGSTRÖM, Yrjö: Lernen durch Expansion. Marburg 1999
- ENGSTRÖM, Yrjö: Expansive Learning at Work: toward an activity theoretical reconceptualisation. In: Journal of Education and Work, 14 (2001) 1, S. 133–156
- ENGSTRÖM, Yrjö: Entwickelnde Arbeitsforschung. Die Tätigkeitstheorie in der Praxis. Berlin 2008a
- ENGSTRÖM, Yrjö: From Design Experiments to formative Intervention. Helsinki 2008b
- ENGSTRÖM, Yrjö; KEROSUO, Hannele; KAJAMAA, Anu: Beyond Discontinuity. Expansive Organizational Learning Remembered. In: Management Learning, 38 (2007) 3, S. 319–336
- ESSER, Gerd; SPUR, Günter; HARMS, Robert: Ergebnisse einer Expertenbefragung zum Management von Produktionsinnovationen. Berichte aus der INPRO-Innovationsakademie. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, (2011) 3, S. 105–110
- FANTAPIÉ ALTOBELLI, CLAUDIA: Die Diffusion neuer Kommunikationstechniken in der Bundesrepublik Deutschland. Heidelberg 1991

- FESTEL, Gunter: Vortrag Chemiewirtschafts-Seminar 2004 des Verbandes der chemischen Industrie am 26.05.2004. Frankfurt/Main 2004
- FISCHER, Friedhelm u. a.: Optische Technologien im Handwerk – Qualifizierungsangebot und Bedarf – Einschätzung aus Sicht von Anwenderbetrieben, Herstellerunternehmen, Bildungsträgern und Technologietransferstellen des Handwerks. Düsseldorf 2005
- FRANKE, Guido: Komplexität und Kompetenz: Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung. Bielefeld 2001
- GABLER VERLAG (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: sekundärer Sektor. 2011. – URL: <<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/71517/sekundaerer-sektor-v5.html>> (Stand: 4.11.2015)
- GESAMTMETALL: Betriebe und Beschäftigte nach Branchen 2010. 2011. – URL: <http://www.gesamtmetall.de/gesamtmetall/meonline.nsf/Graph/cfbc170e048c5284c1256bba005165b5?OpenDocument&popup=1Gesamtmetall> (Stand: 05.07.2011)
- GÖTTLICH, Udo; KURT, Ronald (Hrsg.): Improvisation und Kreativität. Soziologische Positionen. Wiesbaden 2012
- HACKEL, Monika: Forschung als Beratung – eine tätigkeitstheoretische Analyse. In: GÖHLICH, Michael u. a. (Hrsg.): Organisation und Beratung. Beiträge der AG Organisationspädagogik. Wiesbaden 2010, S. 59–68
- HACKEL, Monika: Diffusion neuer Technologien für eine nachhaltige Entwicklung. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (2013a) 6, S. 10–13
- HACKEL, Monika: Expansives Lernen in der Arbeitswelt: Gemeinsam Herausforderungen am Arbeitsplatz begegnen und Zukunft gestalten. In: NIEDERMAIR, Gerhard (Hrsg.): Facetten berufs-, und betriebspädagogischer Forschung. Grundlagen – Herausforderungen – Perspektiven. Linz 2013b, S. 139–157
- HACKEL, MONIKA: Auf dem Weg zum interdisziplinären mechatronischen Konstruktionsprozess. Entwickelnde Arbeitsforschung im Maschinen- und Anlagenbau. Frankfurt am Main 2011
- HACKEL, Monika: Innovationstransfer in berufliche Bildungsprozesse. In: KREKLAU, Carsten; SIEGERS, Josef (Hrsg.): Handbuch für Aus- und Weiterbildung: Politik, Praxis, finanzielle Förderung. Loseblt. Ausg (2010ff). Köln 2014a
- HACKEL, Monika: Startpunkte für die Analyse technologischer Veränderungen aus berufspädagogischer Perspektive. In: SEVERING, Eckart; WEISS, Reinhold (Hrsg.): Weiterentwicklung von Berufen – Herausforderungen für die Berufsbildungsforschung. Bielefeld 2014b, S. 59–78
- HACKEL, Monika: Das Spannungsfeld qualifizierter Facharbeit in automatisierten Fertigungsprozessen. Beitrag A.4.3. In: Buch-Nr.: 26 Dokumentation des 61. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses Karlsruhe 25.02.–27.02.2015. Dortmund 2015
- HACKEL, Monika; KLEBL, Michael: The Double Path of Expansive Learning in Complex Socio-Technical Change Processes. In: Outlines – Critical Practise Studies 15 (2014) 1, S. 4–27
- HACKEL, Monika u. a.: Projektbeschreibung: Diffusion von neuen Technologien – Veränderungen von Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen im produzierenden Gewerbe. 2011 – URL: [https://www2.bibb.de/bibbtools/tools/dapro/data/documents/pdf/at\\_41301.pdf](https://www2.bibb.de/bibbtools/tools/dapro/data/documents/pdf/at_41301.pdf) (Stand 13.11.15)
- HACKEL, Monika u. a.: Zwischenbericht: Diffusion von neuen Technologien – Veränderungen von Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen im produzierenden Gewerbe. 2012 – URL: [www.bibb.de/de/wlk58472.htm](http://www.bibb.de/de/wlk58472.htm) (Stand: 4.11.2015)

- HARTMANN, Ernst Andreas: Bildung, Lernen und Innovation in Clustern. In: GLOBISCH, Sabine u. a. (Hrsg.): Bildung für Innovationen – Innovationen in der Bildung. Die Rolle durchlässiger Bildungsangebote in Clusterstrukturen. Münster 2012, S. 18–40
- HARTMANN, Ernst Andreas: Technologiecluster – Chancen für innovative Bildungsangebote. Interview mit dem Leiter des Instituts für Innovation und Technik der VDI/VDE-IT. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis 42 (2013) 6, S. 6–9
- HAUSCHILDT, Jürgen: Innovationsmanagement. München 2004
- HAUSCHILDT, JÜRGEN; SALOMO, SÖREN: Innovationsmanagement. 4. Auflage München 2007
- HOLWEGLER, Bernhard: Implikationen der Technologiediffusion für technologische Arbeitslosigkeit. Stuttgart 2000
- HOLZKAMP, KLAUS: Lernen: subjektwissenschaftliche Grundlegung. Frankfurt am Main 1995
- IAB (Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung). Berufe im Spiegel der Statistik – URL: <http://bisds.infosys.iab.de/> (Stand: 15.12.2012)
- INNTEX INNOVATION NETZWERK TEXTIL e.V.: Innovationsreport Textil 2011. Chemnitz 2011.
- IW CONSULT GMBH: Branchenranking. Deutschlands Zukunftsbranchen. Empirische Bestandsaufnahme und Ableitung eines Rankings. Köln 2009
- JAHN, Bernhard; KARL, Doris; WITTEN, Elmar: Composites Marktbericht 2012. Marktentwicklungen, Trends, Ausblicke und Herausforderungen. 2012 – URL: [http://www.avk-tv.de/files/20121009\\_gesamt\\_marktbericht\\_2012\\_2.pdf](http://www.avk-tv.de/files/20121009_gesamt_marktbericht_2012_2.pdf) (Stand: 4.11.2015)
- KRAMAR, Hans: Innovation durch Agglomeration. Zu den Standortfaktoren der Wissensproduktion. Wien 2005
- KRAUS, Thomas; KÜHNEL, Michael; WITTEN, Elmar: Composites-Marktbericht 2014. Marktentwicklungen, Trends, Ausblicke und Herausforderungen. 2014. – URL: [http://www.avk-tv.de/files/20141008\\_marktbericht\\_gfkcfk.pdf](http://www.avk-tv.de/files/20141008_marktbericht_gfkcfk.pdf) (Stand: 4.11.2015)
- KUTSCHA, GÜNTHER: Beruflichkeit als regulatives Prinzip flexibler Kompetenzentwicklung – Thesen aus berufsbildungstheoretischer Sicht. In: bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik-online, 14 (2008)
- LITTLE, Arthur D. (Hrsg.): Management im Zeitalter strategischer Führung. Wiesbaden 1985
- LUDWIG, Joachim u. a. (Hrsg.): Arbeitsforschung und Innovationsfähigkeit in Deutschland. München und Mering 2007
- LUTHER, Wolfgang; MALANOWSKI, Norbert: Das wirtschaftliche Potential der Nanotechnologie. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Karlsruhe 13 (2004) 2, S. 26–33
- MANSFIELD, Bob; MITCHELL, Lindsay: Towards a Competent Workforce. Hampshire 1996
- MÜLLER, Johannes: Grundlagen der Systematischen Heuristik. Berlin 1970
- NORTON, Robert E.: DACUM handbook. Columbus 1985
- OECD: Second OECD Ad Hoc Meeting on Biotechnology Statistics, OECD, May 2001 – URL: <http://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=219>. (Stand: 19.02.2015)
- OECD: Workshop on "Outlook on Industrial Biotechnology". Discussion Paper – Session II "Industry Structure and Business Models for Industrial Biotechnology", Vienna, 13–15 January 2010 – URL: <http://www.oecd.org/sti/biotech/44777057.pdf> (Stand: 4.11.2015)
- ÖKOINSTITUT e.V.: Zukunft Elektromobilität? Potenziale und Umweltauswirkungen. Berlin 2012. – URL: <http://www.oeko.de/oekodoc/1348/2012-001-de.pdf> (Stand: 01.02.2012)

- PAHL, G.: Praxis Forschung Wissenschaft – Konstruktionsmethodik – VADEMECUM. Ein kurzer Leitfaden beim Entwickeln und Anwenden von Konstruktionsmethoden. In: *Konstruktion: Zeitschrift für Produktentwicklung* 57 (2005) 5, S. 64–69
- PAHL, Jörg Peter; RAUNER, Felix: *Betrifft: Berufswissenschaften. Beiträge zur Forschung und Lehre in den gewerblich-technischen Fachrichtungen*. Bremen 1998
- PARSONS, Talcott: *The professions and social structure*. In: *Social Forces* 17 (1939) 4, S. 457–467
- PREISER, Siegfried: *Gestaltung eines kreativitätsfreundlichen Lernklimas. Befragungsinstrument und Trainingskonzept für pädagogische Fachkräfte*. In: KOOP, Christine; STEENBUCK, Olaf (Hrsg.): *Kreativität: Zufall oder harte Arbeit? Karg-Hefte. Beiträge zur Begabtenförderung und Begabungsforschung* 2, Frankfurt am Main 2011, S. 28–35
- PRZYGODDA, Karin; BAUER, Waldemar: *Ansätze berufswissenschaftlicher Qualifikationsforschung im BLK-Programm „Neue Lernkonzepte in der dualen Berufsausbildung“*. In: RAUNER, FELIX (Hrsg.): *Qualifikationsforschung und Curriculum*. Bielefeld 2004, S. 61–80
- RAMMER, Christian u. a.: *Innovationsverhalten der deutschen Wirtschaft 2010, Indikatorenbericht*. Mannheim 2011
- RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: *Tagung vom 13./14. März 2008 in Brüssel. Schlussfolgerungen des Vorsitzes*. 7652/1/08 REV1. Brüssel 2008 – URL: [http://www.consilium.europa.eu/ueDocs/cms\\_Data/docs/pressData/de/ec/99429.pdf](http://www.consilium.europa.eu/ueDocs/cms_Data/docs/pressData/de/ec/99429.pdf) (Stand: 5.11.2015)
- RAUNER, Felix: *Qualifikationsforschung und Curriculum*. Bielefeld 2004
- RAUNER, Felix: *Der berufswissenschaftliche Beitrag zur Qualifikationsforschung und zur Curriculumentwicklung*. In: PAHL, Jörg Peter; RAUNER, Felix; SPÖTTL, Georg (Hrsg.): *Berufliches Arbeitsprozesswissen. Ein Forschungsgegenstand der Berufswissenschaften*. Baden-Baden 2000, S. 329–352
- RAUNER, Felix: *Qualifikationsforschung und Curriculumentwicklung*. In: FISCHER, Martin; RAUNER, Felix (Hrsg.): *Lernfeld: Arbeitsprozess*. Baden-Baden 2002, S. 317–339
- RAUNER, Felix: *Die Befähigung zur (Mit-)Gestaltung von Arbeit und Technik als Leitidee beruflicher Bildung*. In: HEIDEGGER, Gerald; GERDS, Peter; WEISENBACH, Klaus (Hrsg.): *Gestaltung von Arbeit und Technik. Ein Ziel beruflicher Bildung*. Frankfurt am Main 1988, S. 32–51
- RAUNER, Felix (Hrsg.): *Handbuch der Berufsbildungsforschung*. Bielefeld 2005
- ROGERS, Everett M.: *Diffusion of Innovations*. New York 1995
- ROTHER, Franz W.; SEIWER, Martin; REES, Jürgen: *Elektromobilität. Energiewirtschaft hadert mit Umstellung auf Elektroautos*. 2010. – URL: <http://www.wiwo.de/unternehmen/auto/elektromobilitaet-energiewirtschaft-hadert-mit-umstellung-auf-elektroautos/5639790.html> (Stand: 26.11.2011)
- ROPOHL, Günter: *Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik*. Wien, München 1999
- SANNINO, Annalisa; DANIELS, Harry; GUTIÉRREZ, Kris D. (Hrsg.): *Learning and expanding with activity theory*. Cambridge 2009
- SCHMAYL, Winfried: *Arbeits- und Techniklehre auf der Basis einer allgemeinen Technologie. Eine Auseinandersetzung mit den fachdidaktischen Vorstellungen Günter Ropohls*. *Zeitschrift für Technik im Unterricht* 29 (2004) 114, S. 5–10
- SCHÖNMANN, Klaus (Hrsg.): *Qualifikationen von morgen. Ein deutsch-französischer Dialog*. Bielefeld 2001
- SEIDEL, Rainer: *Denken – Psychologische Analyse der Entstehung und Lösung von Problemen*. Frankfurt am Main 1976

- SIEBEL, Wigand: Berufsqualifikationen im automatisierten Industriebetrieb. In: Soziale Welt, 15 (1964) 4, S. 300–306
- SOMMERLATTE, Tom; DESCHAMPS, Jean-Philippe: Der strategische Einsatz von Technologien. – Konzepte und Methoden zur Einbeziehung von Technologien in die Strategieentwicklung des Unternehmens. In: LITTLE, Arthur D. (Hrsg.): Management im Zeitalter strategischer Führung. Wiesbaden 1985, S. 9–78
- SPECHT, Günter; BECKMANN, Christoph; AMELINGMEYER, Jenny: F&E-Management. Kompetenz im Innovationsmanagement. Stuttgart 2002
- SPÖTTL, Georg: Sektoranalysen. In: RAUNER, Felix (Hrsg.): Handbuch der Berufsbildungsforschung. Bielefeld 2005, S. 112–118
- SPRANGER, Eduard: Allgemeinbildung und Berufsschule. In: STRATMANN, Karlwilhelm; BARTEL, Werner (Hrsg.): Berufspädagogik. Köln 1975, S. 42–57
- SPUR, Günter: Automatisierung und Wandel der betrieblichen Arbeitswelt. Berlin 1993
- SPUR, Günter (Hrsg.): Innovation als Begriff. Wiesbaden 2002
- STAHL-ONLINE: Stahl in Zahlen. 2011. – URL: [http://www.stahl-online.de/Deutsch/Linke\\_Navigation/Stahl\\_in\\_Zahlen/index.php?highmain=4&highsub=0&highsubsub=0](http://www.stahl-online.de/Deutsch/Linke_Navigation/Stahl_in_Zahlen/index.php?highmain=4&highsub=0&highsubsub=0) (Stand: 20.11.2011)
- SUCHMANN, Lucy A: Plans and situated actions. The problem of human-machine communication. Cambridge 1987
- TEICHLER, Ulrich: Qualifikationsforschung. In: ARNOLD, Rolf; LIPSMEIER, Antonius (Hrsg.): Handbuch der Berufsbildung. Opladen 1995, S. 501–508
- T-SYSTEMS: Mehr Intelligenz im Stromnetz. 2011 – URL: <http://www.t-systems.de/tsip/de/144076/startseite/loesungen/branchen/uebersichtutilities/smartmetering-homemanagement> (Stand: 20.11.2011)
- VAHS, Dietmar; BURMESTER, Ralf: Innovationsmanagement. Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung. 3. Auflage. Stuttgart 2005
- VARGAS ZUNIGA, Fernando: 40 questions on labour competency. Montevideo 2004
- VCI: Die deutsche chemische Industrie 2030, Kurzfassung der VCI-Prognos-Studie, 2012 – URL: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/2012-10-05-vci-prognos-studie-chemie-2030-kurzfassung.pdf> (Stand: 5.11.2015)
- VIRTUAL DIMENSION CENTER: Bildungsatlas Virtual Engineering Baden-Württemberg 2013. Fellbach 2013 – URL: <http://www.vdc-fellbach.de/wissen/virtual-engineering-bildungsatlas> (Stand: 5.11.2015)
- VOLZ, Andreas: Modellregionen Elektromobilität Bayern. Statusseminar zum Förderprogramm des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, 06.–07. Dezember 2012, Kempten, Jülich 2012
- WINDELBAND, Lars; SPÖTTL, Georg: Entwicklung von berufswissenschaftlichen Forschungsinstrumenten zur Früherkennung von Qualifikationsbedarf – Leonardo Projekt „EarlyBird“. In: WINDELBAND, Lars; DWORSCHAK, Bernd; SCHMIDT, Susanne L. (Hrsg.): Qualifikationen für die Arbeit von morgen erkennen – 13. Hochschultage berufliche Bildung 2004. Bielefeld 2004, S. 39–62
- WOLFFGRAMM, Horst: Allgemeine Technologie Teil 1. Hildesheim 1994
- ZÄH, Michael F.; REINHARD, Gunther (Hrsg.): Batterieproduktion. Vom Rohstoff bis zum Hochvoltpeicher. München 2012
- ZINKE, Gert; SCHENK, Harald; WASILJEW, Elke: Berufsfeldanalyse zu industriellen Elektroberufen als Voruntersuchung zur Bildung einer möglichen Berufsgruppe. Bonn 2014

The book describes qualification changes at the shopfloor level which are caused by the diffusion process of technologies and derives methodological consequences for the permanent observation of technologies from this description. The cultural-historical activity theory as described by Engeström is used as the scientific basis. The exemplary analyses in the topic areas of lightweight construction, energy transition, biotechnology, laser machining and information and communications technology provide clues as to which concrete changes are needed in different occupational fields. In addition, statements concerning the transition of skilled labour in automated production processes, the organisation of work and the transfer of innovation into vocational education and training are derived from the comparison of technologies.



Dieser Bericht beschreibt Qualifikationsveränderungen auf der Facharbeiterebene, welche durch den Diffusionsprozess von Technologien hervorgerufen werden und leitet hieraus methodische Konsequenzen für die Technologiedauerbeobachtung ab. Wissenschaftliche Grundlage ist die kulturhistorische Tätigkeitstheorie nach Engeström. Die exemplarischen Analysen zu den Themenfeldern Leichtbau, Energiewende, Biotechnologie, Laserbearbeitung sowie Informations- und Kommunikationstechnik geben Hinweise zu konkreten Veränderungsbedarfen in unterschiedlichen Berufsfeldern. Daneben werden aus dem Technologievergleich Aussagen zur Veränderung der Facharbeit in automatisierten Produktionsprozessen, zur Arbeitsorganisation und zum Innovationstransfer in die berufliche Bildung abgeleitet.

Bundesinstitut für Berufsbildung  
Robert-Schuman-Platz 3  
53175 Bonn

Telefon: (0228) 107-0  
Telefax: (0228) 107 2976/77

Internet: [www.bibb.de](http://www.bibb.de)  
E-Mail: [zentrale@bibb.de](mailto:zentrale@bibb.de)

