

Nisser, Annerose; Malanowski, Norbert

Working Paper

Branchenanalyse chemische und pharmazeutische Industrie: Zukünftige Entwicklungen im Zuge Künstlicher Intelligenz

Working Paper Forschungsförderung, No. 166

Provided in Cooperation with:

The Hans Böckler Foundation

Suggested Citation: Nisser, Annerose; Malanowski, Norbert (2019) : Branchenanalyse chemische und pharmazeutische Industrie: Zukünftige Entwicklungen im Zuge Künstlicher Intelligenz, Working Paper Forschungsförderung, No. 166, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf, <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2020011412152456169081>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/216086>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode>

WORKING PAPER FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Nummer 166, Dezember 2019

Branchenanalyse chemische und pharmazeutische Industrie

**Zukünftige Entwicklungen im Zuge Künstlicher
Intelligenz**

Annerose Nisser und Norbert Malanowski
unter Mitarbeit von Fabian Mertens

© 2019 by Hans-Böckler-Stiftung
Hans-Böckler-Straße 39, 40476 Düsseldorf
www.boeckler.de



„Branchenanalyse chemische und pharmazeutische Industrie“ von Annerose Nisser und Norbert Malanowski ist lizenziert unter

Creative Commons Attribution 4.0 (BY).

Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. (Lizenztext: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode>)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. von Schaubildern, Abbildungen, Fotos und Textauszügen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

ISSN 2509-2359

Inhalt

Zusammenfassung.....	5
Einleitung	6
Ausgangspunkt.....	6
Fragestellungen und Ziele der Branchenanalyse	7
Methodisches Vorgehen	8
Aktuelle Branchenstruktur und Entwicklungen.....	10
Einordnung in die Gesamtwirtschaft.....	10
Aktuelle Kennzahlen und Verteilung nach Sparten	11
Aktuelle Entwicklungen in Umsatz, Beschäftigtenzahlen und Betrieben	14
Wertschöpfung und Arbeitsproduktivität.....	18
Aktuelle Trends in der Beschäftigungsstruktur	20
Löhne und Gehälter	25
Geographische Verteilung innerhalb Deutschlands.....	26
Inlands- und Auslandsumsätze	29
Forschung, Entwicklung und Innovation.....	31
Qualitative Kurzanalyse.....	40
Vier Kurzfallstudien entlang des Produktlebenszyklus	41
Anwendung Künstlicher Intelligenz in Forschung und Entwicklung bei BASF	42
Künstliche Intelligenz für Wartung und Instandhaltung bei Evonik Industries	47
Künstliche Intelligenz für Lieferketten und Logistik bei Merck Healthcare	53
Künstliche Intelligenz in der Arzneimittelsicherheit bei Bayer.....	58
Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	64
Trends in der chemischen und pharmazeutischen Industrie	64
Thesen zur zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie.....	66
Literatur.....	70

Autoren 76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung des Umsatzes nach Sparten 12

Abbildung 2: Verteilung der Beschäftigten nach Sparten 13

Abbildung 3: Umsatzwachstum seit 2008 15

Abbildung 4: Beschäftigtenwachstum seit 2008 17

Abbildung 5: Zunahme der Anzahl Betriebe seit 2008 18

Abbildung 6: Arbeitsproduktivität nach Sparten 20

Abbildung 7: Frauenanteil nach Sparten 21

Abbildung 8: Anteil Hochqualifizierter nach Sparten 24

Abbildung 9: Zunahme des Anteils Hochqualifizierter 25

Abbildung 10: Entwicklung der Tarifverdienste 26

Abbildung 11: Beschäftigte nach Bundesländern 27

Abbildung 12: Beschäftigtenveränderung nach Bundesländern 28

Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Exportquote 30

Abbildung 14: Exportquoten nach Sparten 31

Abbildung 15: Innovationsintensität in ausgewählten Branchen des
erarbeitenden Gewerbes 33

Abbildung 16: Zeitliche Entwicklung der Innovationsintensität 35

Abbildung 17: Innovatorenquote in ausgewählten Branchen des
Verarbeitenden Gewerbes 37

Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der Innovatorenquote 38

Abbildung 19: Vier Kurzfallstudien entlang des
Produktlebenszyklus 42

Abbildung 20: Künstliche Intelligenz in Forschung und Entwicklung 44

Abbildung 21: Künstliche Intelligenz in Wartung und
Instandhaltung 49

Abbildung 22: Künstliche Intelligenz für Lieferketten und Logistik 54

Abbildung 23: Künstliche Intelligenz in der Arzneimittelsicherheit 59

Zusammenfassung

Die vorliegende Branchenanalyse bietet einen evidenzbasierten Überblick zur zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie im Zuge Künstlicher Intelligenzen (KI). Zum einen wird die volkswirtschaftliche Bedeutung der chemischen und pharmazeutischen Branche in Deutschland herausgearbeitet. Auf Grundlage originärer statistischer Datenauswertung bietet die Branchenanalyse eine Übersicht unter anderem zur aktuellen Beschäftigungssituation, zum Innovationsgeschehen und zu Trends in der Wertschöpfung und zur Wettbewerbssituation in der chemischen und pharmazeutischen Industrie in Deutschland.

Zum anderen wird diskutiert, welche Auswirkungen von der Anwendung Künstlicher Intelligenzen aktuell und zukünftig in der chemischen und pharmazeutischen Industrie zu erwarten sind. Auf Grundlage von qualitativen Experteninterviews mit Fachleuten aus den Bereichen Management und Betriebsrat werden vier Kurzanalysen bezüglich der Anwendung Künstlicher Intelligenzen in der chemischen und pharmazeutischen Industrie vorgestellt. Die Kurzanalysen gliedern sich entlang des Produktlebenszyklus: Sie betrachten Anwendungen Künstlicher Intelligenzen in Forschung und Entwicklung, Wartung und Instandhaltung, Lieferketten und Logistik sowie in der Arzneimittelsicherheit.

Die Ergebnisse der vorliegenden Branchenanalyse werden abschließend in Form von zehn Thesen zusammengefasst. Diese betreffen mögliche, plausible Zukunftsentwicklungen sowie innovations- und arbeitspolitische Instrumente, die es Unternehmen, Betriebsräten, Gewerkschaften und Politik ermöglichen sollen, Gestaltungsspielräume bei KI frühzeitig und humangerecht und zum Erhalt der Zukunftsfähigkeit in der chemischen und pharmazeutischen Industrie zu nutzen.

Es wird bereits heute deutlich: Die Beschäftigten und ihre Arbeitnehmervertretungen in der chemischen und pharmazeutischen Industrie stehen im Zuge von KI vor einer anspruchsvollen Mitgestaltungsaufgabe.

Einleitung

Ausgangspunkt

Die chemische und pharmazeutische Industrie nimmt die Rolle einer Schlüsselbranche am Standort Deutschland ein. In der Regel wird die Bedeutung der Branche unter anderem aus der generierten Wertschöpfung und der Beschäftigung abgeleitet. Die Branche hat gegenwärtig fast eine halbe Million sozialversicherungspflichtig Beschäftigte, dies zumeist in Bereichen, die sehr qualifizierte Tätigkeiten mit sich bringen. Technologische Veränderungen können gleichwohl die Bedeutung der Branche maßgeblich verändern. Als Ausgangsthese für die vorliegende Branchenanalyse gilt, dass die Anwendung Künstlicher Intelligenzen (KI, ähnlich in der Ausrichtung: Maschinenlernen, Neuronale Netze oder Lernende Systeme) neben gravierenden technischen Veränderungen auch große sozioökonomischen Veränderungen in der zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie mit sich bringen wird.

Dabei ist sehr umstritten, um was es sich bei Künstlicher Intelligenz eigentlich handelt. Im führenden Lehrbuch *Artificial Intelligence: A Modern Approach* der Autoren Stuart J. Russell¹ und Peter Norvig² werden den 1.200 Seiten Text gleich acht Definitionen für vier verschiedene Ansätze vorangestellt. Im Rahmen der vorliegenden Branchenanalyse wird – pragmatisch vorgehend – eine vereinfachende Beschreibung für KI gewählt, mit der sich KI-Anwendungen empirisch erfassen lassen. Diese lautet:

„Künstliche Intelligenz gilt vereinfacht als eine begriffliche Beschreibung für Computersysteme, die Aufgaben nicht streng nach einprogrammierten Algorithmen, also Regeln und Rechenvorgängen, abarbeiten, sondern die mit großen Datenmengen trainiert wurden und nun ‚Entscheidungen‘ treffen, die sie aus ihren bereits bekannten, smarten Daten ableiten“ (Kaiser/Malanowski 2019).

Das Beratungsunternehmen Accenture (2017) geht z. B. branchenübergreifend von einem zusätzlichen jährlichen Wirtschaftswachstum auf Basis Künstlicher Intelligenzen von 2 Prozent für die USA und 1,6 Prozent für Deutschland aus. Es wird erwartet, dass sich durch den Einsatz von KI die Arbeitsproduktivität in Deutschland bis 2035 um fast 30 Prozent erhöht, so dass bis 2035 rund 1 Billion Euro zusätzliche Wertschöp-

1 Russell ist Professor für Informatik an der University of California, Berkeley, und Mitglied der 1947 gegründeten Association for Computing Machinery sowie der Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI).

2 Norvig ist Forschungsleiter bei Google. Zuvor war er Leiter der Abteilung für Informatik des Ames Research Center der NASA.

fung in Deutschland generiert werden kann. Als Hauptgrund wird für Deutschland insbesondere die intelligente Automatisierung genannt. Diese Zahlen allein sind jedoch noch nicht geeignet, um die Auswirkungen von KI insgesamt oder für die zukünftige chemische und pharmazeutische Industrie in Deutschland abzubilden. So werden dabei z. B. noch nicht die spezifischen ökonomischen Auswirkungen auf Fachkräftebedarfe, Bildungsanforderungen, Beschäftigung oder Arbeitsbedingungen herausgearbeitet.

Fragestellungen und Ziele der Branchenanalyse

Ein zentrales Ziel der vorliegenden Branchenanalyse besteht darin, einen evidenzbasierten Überblick zur zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie zu erhalten. Dafür wird zum einen die volkswirtschaftliche Bedeutung der chemischen und pharmazeutischen Branche in Deutschland mit Hilfe von einschlägigen Indikatoren herausgearbeitet. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf den Beschäftigten, der Beschäftigtenstruktur und dem Innovationsgeschehen. Als Benchmark dient das Verarbeitende Gewerbe insgesamt, teilweise auch – wo sinnvoll – weitere Branchen. Zudem wird nach den Sparten der chemischen und pharmazeutischen Industrie unterschieden. Es werden unter anderem folgende Indikatoren für die Branche betrachtet:

- Beschäftigtenzahlen und Beschäftigtenstruktur
- Umsatz und Wertschöpfung
- Geographische Verteilung der Branche innerhalb Deutschlands
- Ausgaben und Beschäftigte in Forschung und Entwicklung
- Innovationsintensität und Innovatorenquote

Zum anderen wird untersucht, warum KI aktuell so einen „Höhenflug“ auch in Verbindung mit der zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie erlebt. Aufgrund der Vielfältigkeit der Anwendungsfelder ist eine Einordnung für die zukünftige chemische und pharmazeutische Industrie zwingend erforderlich. Es wird analysiert, welche Arten von Künstlicher Intelligenz zu unterscheiden sind und wie Forschungsstand und Reifegrad zu bewerten sind. Im Einzelnen werden innerhalb der Branchenanalyse folgende Fragestellungen behandelt:

- Für welche Bereiche und Geschäftsfelder der chemischen und pharmazeutischen Industrie sind welche KI-Technologien relevant? Welche Entwicklungen können in den einzelnen Bereichen in welchem Zeithorizont erwartet werden? Welche Beispiele von Anwendungen

Künstlicher Intelligenzen finden sich in Unternehmen aus der chemischen und pharmazeutischen Industrie auf nationaler und internationaler Ebene?

- Wie sieht – basierend auf aktuellen Studien – die erwartete Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzentwicklung in der Branche in Deutschland im Zuge von KI aus?
- Welche Bereiche innerhalb von Unternehmen beschäftigen sich aktuell mit KI auf nationaler und internationaler Ebene?
- Welche Anwendungen von KI sind für Unternehmen aktuell sowie in den kommenden Jahren besonders relevant?
- Welche Anwendungen von KI sind in der Branche allgemein besonders relevant?
- In welchen Berufen bzw. Qualifikationsstufen wird der Bedarf aufgrund des Einsatzes von KI abnehmen, in welchen zunehmen?
- Kann der Gewinn/Umsatz des Unternehmens durch den Einsatz von KI gesteigert werden?
- Welche Kompetenzen von Beschäftigten sind in den nächsten 5–7 Jahren im Zuge von KI-Technologien notwendig?
- Wie könnten sich Formate und Inhalte in der beruflichen Bildung durch KI-Technologien verändern?
- Wie wird sich der Arbeitsalltag der Beschäftigten verändern? Sind davon alle Beschäftigten gleichermaßen betroffen?
- Welche Bedeutung haben ausländische Technologieunternehmen als potenzielle Kooperationspartner oder Wettbewerber?
- Wie könnten die sozio-ökonomischen Veränderungen in der zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie durch den Einsatz von KI-Technologien auf der Basis von Zukunftsszenarien aussehen?
- Welche Rolle können Betriebsräte und Gewerkschaften bei der Gestaltung von KI einnehmen? Wo können Sie frühzeitig Einfluss nehmen? Wie können Standorte in Deutschland erhalten bzw. gestärkt werden?

Methodisches Vorgehen

In der vorliegenden Branchenanalyse werden statistische Datenanalyse und qualitative Experteninterviews verbunden. Die statistische Datenanalyse im ersten Teil der Branchenanalyse bietet einen Überblick unter anderem über die aktuelle Beschäftigungssituation, das Innovationsgeschehen und Trends in Wertschöpfung und Wettbewerbssituation in der chemischen und pharmazeutischen Industrie in Deutschland. Entwicklungen in der pharmazeutischen und chemischen Industrie werden – wie

oben erwähnt – auch mit Entwicklungen in angrenzenden Branchen verglichen.

Im zweiten Teil werden auf Grundlage der qualitativen Experteninterviews vier Kurzfallstudien zur Anwendung Künstlicher Intelligenzen in der chemischen und pharmazeutischen Industrie diskutiert. Die Kurzfallstudien gliedern sich entlang des Produktlebenszyklus: Sie betrachten Anwendungen von Künstlicher Intelligenz in Forschung und Entwicklung, in Kontext von Logistik und Lieferketten, in der Produktion und Wartung sowie in der Produktnachverfolgung. Für die Kurzfallstudien wurden Experteninterviews mit Technologen und Betriebsräten geführt. Dies erlaubt es, sowohl technische als auch innovations- und arbeitspolitische Aspekte sowie das Ineinandergreifen von Technik, Organisation und Arbeit zu erörtern.

Aktuelle Branchenstruktur und Entwicklungen

Einordnung in die Gesamtwirtschaft

Die chemische und pharmazeutische Industrie ist ein wichtiger Wirtschaftszweig und Innovationstreiber in Deutschland. Im Jahr 2017 zählte die chemische und pharmazeutische Industrie zusammen knapp 453.000 Beschäftigte. Damit arbeiteten 7,2 Prozent aller im Verarbeitenden Gewerbe Tätigen im Jahr 2017 in diesem Industriezweig.³ Die chemische und pharmazeutische Industrie steht zudem für 10 Prozent des Umsatzes im Verarbeitenden Gewerbe.

Zwischen 2012 und 2017 ist die Anzahl der in der chemischen und pharmazeutischen Industrie Beschäftigten insgesamt um 4,3 Prozent gestiegen.⁴ Dies entspricht über 18.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen. Gleichwohl zeigen sich Unterschiede zwischen Chemie und Pharmazie: Während die Zunahme der Anzahl Beschäftigter in diesem Zeitraum in der pharmazeutischen Industrie bei 6,4 Prozent lag, betrug sie in der chemischen Industrie 3,6 Prozent. Im Verarbeitenden Gewerbe lag die Zunahme bei 5,1 Prozent. In der chemischen Industrie war das Beschäftigtenwachstum damit etwas niedriger, in der pharmazeutischen Industrie etwas höher als im Verarbeitenden Gewerbe insgesamt.

Ebenso sind zwischen 2012 und 2017 die Umsätze gestiegen – besonders stark in der pharmazeutischen Industrie, wo das Umsatzwachstum 16,9 Prozent betrug.⁵ In der chemischen Industrie lag das Umsatzwachstum hingegen nur bei 1,1 Prozent, die Inlandsumsätze waren mit -2,8 Prozent sogar rückläufig. Im Verarbeitenden Gewerbe betrug das Umsatzwachstum im gleichen Zeitraum 8,7 Prozent. Damit lag das Umsatzwachstum in der chemischen Industrie deutlich unter, in der pharmazeutischen Industrie deutlich über dem des Verarbeitenden Gewebes.

3 Gesamtanzahl der im Verarbeitenden Gewerbe Tätigen: 6.226.710 (Statistisches Bundesamt, Jahrbuch für Betriebe 2017). – Nur Betriebe mit mindestens 20 Mitarbeitern werden berücksichtigt.

4 Nur Beschäftigte in Betrieben mit mindestens 20 Mitarbeitern werden berücksichtigt. Eigene Berechnungen auf Basis der Zahlen des Statistischen Bundesamtes (Jahrbuch für Betriebe 2017).

5 Nur Umsätze in Betrieben mit mindestens 20 Mitarbeitern werden berücksichtigt. Umsatzzahlen sind nicht inflationsbereinigt. Eigene Berechnungen auf Basis der Zahlen des Statistischen Bundesamtes (Jahrbuch für Betriebe 2017).

Aktuelle Kennzahlen und Verteilung nach Sparten

Verteilung des Umsatzes nach Sparten

Im Jahr 2017 zählte die chemische und pharmazeutische Industrie in Deutschland 2.020 Betriebe mit einem Gesamtumsatz von knapp 196 Milliarden Euro.⁶ Die chemische Industrie ist somit deutlich größer als die pharmazeutische Industrie: Während der Umsatz in der chemischen Industrie 2017 bei knapp 147 Milliarden Euro lag, betrug er in der pharmazeutischen Industrie 49 Milliarden Euro. Damit beträgt der Umsatz in der chemischen Industrie etwa das Dreifache des Umsatzes in der pharmazeutischen Industrie.

Abbildung 1 zeigt die Verteilung des Umsatzes in der chemischen und pharmazeutischen Industrie nach Sparten. Die *Herstellung chemischer Grundstoffe* steht mit einem Umsatz von über 98 Milliarden Euro für 48 Prozent des Gesamtumsatzes in der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Knapp halb so groß ist der Umsatz in der *Herstellung pharmazeutischer Spezialitäten*, wo er 24 Prozent des Gesamtumsatzes in Chemie und Pharmazie betrug; das entspricht fast 48 Milliarden Euro. Die *Herstellung sonstiger chemischer Erzeugnisse*, die unter anderem die Herstellung von pyrotechnischen Erzeugnissen, Klebstoffen und etherischen Ölen beinhaltet, steht für 12 Prozent des Gesamtumsatzes, und ist mit einem Umsatz von knapp 24 Milliarden Euro damit die drittgrößte Sparte. Die verbleibenden fünf Sparten der chemischen und pharmazeutischen Industrie stehen jeweils für weniger als 10 Prozent des Gesamtumsatzes.

Die Sparten der chemischen und pharmazeutischen Industrie

Die vorliegende Branchenanalyse folgt der amtlichen Statistik, die die chemische Industrie in sechs sowie die pharmazeutische Industrie in zwei Sparten unterteilt. Zwei Sparten der chemischen Industrie verdienen eine genauere Erklärung: Die *Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen* beinhaltet außer den in ihrem Namen bereits erwähnten Teilaspekten unter anderem die Herstellung von Industriegasen, Farbstoffen und Pigmenten. Die *Herstellung von sonsti-*

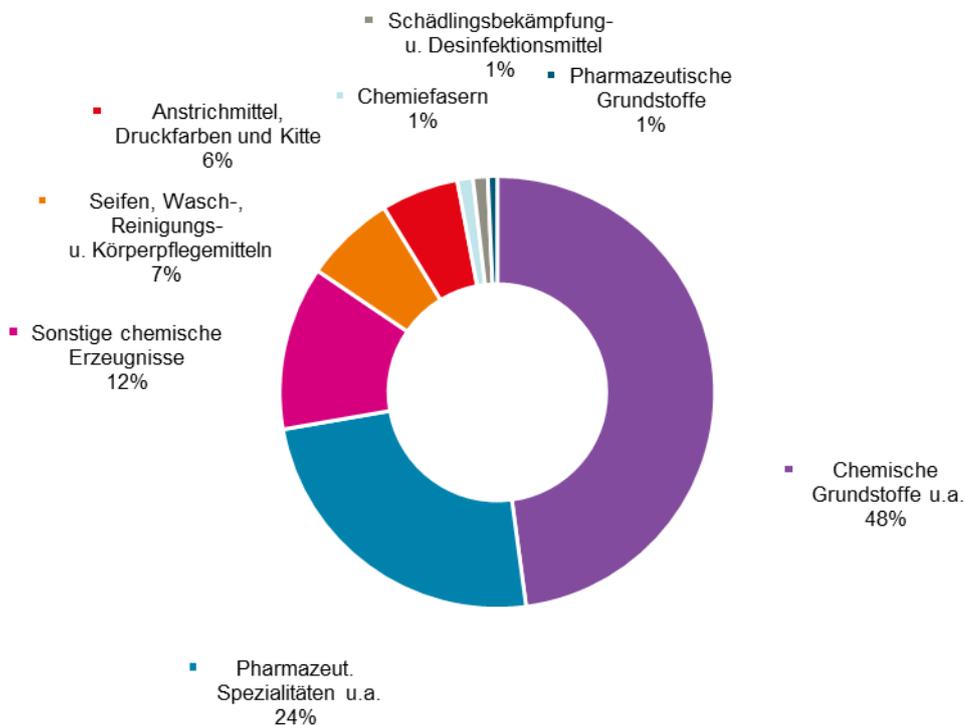
⁶ Zahlen nur für Betriebe ab 20 Beschäftigten (Statistisches Bundesamt, Jahrbuch für Betriebe 2017).

gen chemischen Erzeugnissen beinhaltet unter anderem die Herstellung von pyrotechnischen Erzeugnissen, Klebstoffen und ätherischen Ölen.

Die pharmazeutische Industrie wird in zwei Sparten unterteilt. Die *Herstellung von pharmazeutischen Spezialitäten und sonstigen Erzeugnissen* umfasst unter anderem die Herstellung von Impfstoffen, Arzneimitteln und medizinischem Verbandzeug, während die *Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen* der ersten Sparte vorgelagert ist und insbesondere die Herstellung von aktiven Substanzen für die Herstellung pharmazeutischer Präparate beinhaltet.

Quelle und weitere Informationen: Klassifikationsserver der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (www.klassifikationsserver.de)

Abbildung 1: Verteilung des Umsatzes nach Sparten



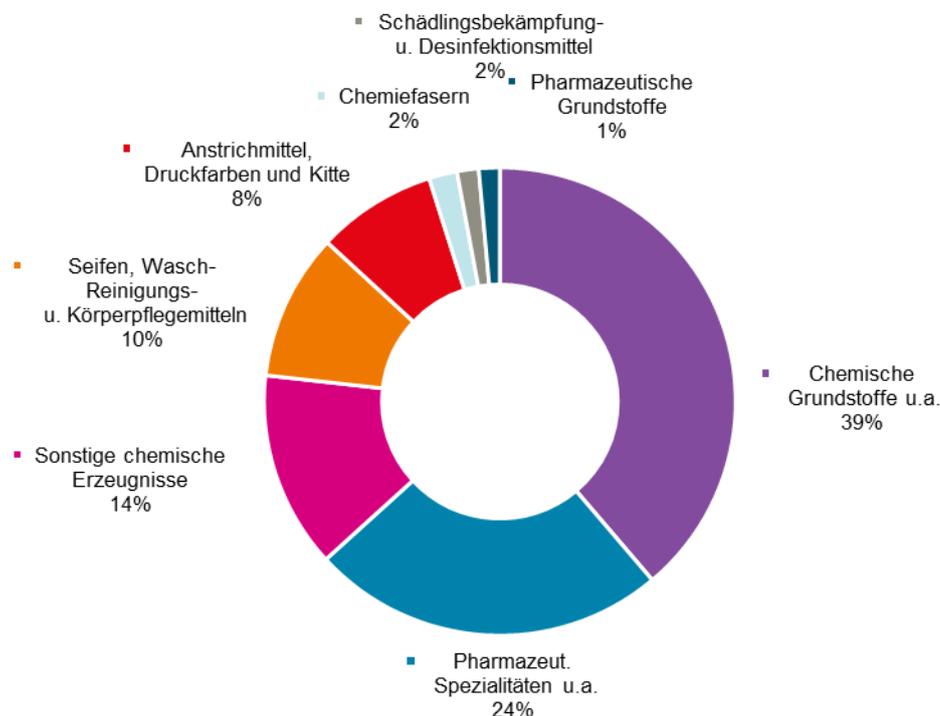
Quelle: Statistisches Bundesamt (Tabelle 42271). Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Verteilung der Beschäftigten nach Sparten

Ein ähnliches Verhältnis zwischen chemischer und pharmazeutischer Industrie zeigt sich in den Beschäftigungszahlen: Die chemische Industrie zählt insgesamt 336.000, die pharmazeutische Industrie 117.000 Beschäftigte. Damit sind in der chemischen Industrie etwa drei Mal so viele Beschäftigte tätig wie in der pharmazeutischen Industrie. Der Umsatz pro Beschäftigtem unterscheidet sich nur geringfügig zwischen chemischer (419.000 Euro) und pharmazeutischer Industrie (436.000 Euro).

Auch in Bezug auf die Beschäftigtenzahl ist die *Herstellung chemischer Grundstoffe* mit knapp 176.000 die deutlich größte Sparte der chemischen und pharmazeutischen Industrie, in der 39 Prozent aller Beschäftigten tätig sind (vgl. Abbildung 2). Die *Herstellung pharmazeutischer Spezialitäten*, wo rund 111.000 Beschäftigte tätig sind, ist mit 24 Prozent die zweitgrößte Sparte, gefolgt von der *Herstellung sonstiger chemischer Erzeugnisse*, wo rund 62.000 oder 14 Prozent aller Beschäftigten tätig sind.

Abbildung 2: Verteilung der Beschäftigten nach Sparten



Quelle: Statistisches Bundesamt (2017; Tabelle 42271). Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Tabelle 1: Anzahl Betriebe, Beschäftigter und Umsatzzahlen nach Sparten

Branche	WZ 2008	Betriebe	Beschäftigte	Umsatz (in Mio.)
Chemie	WZ08-201 Herstellung von chemischen Grundstoffen u.a.	637	175.799	93.639
Pharmazie	WZ08-212 H.v. pharmazeut. Spezialitäten u. sonst. Erzeugn.	293	110.520	47.671
Chemie	WZ08-205 H.v. sonstigen chemischen Erzeugnissen	441	61.513	23.957
Chemie	WZ08-204 H.v. Seifen, Wasch-, Reinigungs- u. Körperpflegemitteln	269	45.849	13.233
Chemie	WZ08-203 H.v. Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten	248	37.287	11.257
Chemie	WZ08-206 Herstellung von Chemiefasern	36	8.747	2.270
Chemie	WZ08-202 H.v. Schädlingsbekämpfungsmitteln u. Desinfektionsmitteln	34	6.742	2.149
Pharmazie	WZ08-211 Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen	62	6.493	1.372
Gesamt Chemie		1.665	335.937	146.505
Gesamt Pharmazie		355	117.013	49.043
Gesamt Chemie und Pharmazie		2.020	452.950	195.549
Gesamt Verarbeitendes Gewerbe		45.308	6.226.710	1.893.382

Anmerkung: Anordnung der Sparten in absteigender Größe der Anzahl Beschäftigter.

Quelle: Statistisches Bundesamt, Jahresbericht für Betriebe 2017. Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Aktuelle Entwicklungen in Umsatz, Beschäftigtenzahlen und Betrieben

Umsatzentwicklung

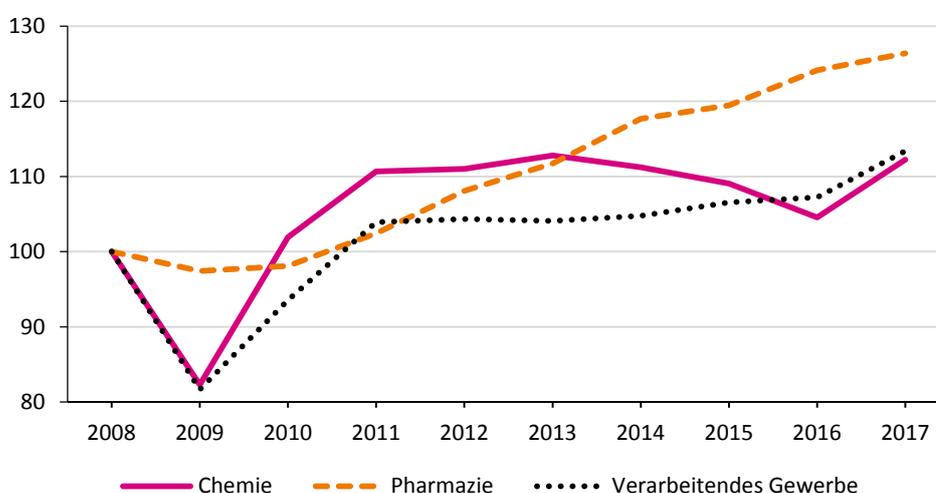
Die chemische Industrie ist bezüglich der Umsatzzahlen deutlich volatiler und konjunkturabhängiger als die pharmazeutische Industrie, was die Umsatzentwicklung der beiden Industrien seit 2008 deutlich macht (Abbildung 3). Während der Umsatz in der pharmazeutischen Industrie seit 2009 stetig gestiegen ist, war der Umsatz in der chemischen Industrie von Rückschlägen insbesondere in den Jahren 2009 und 2016 geprägt. Die Umsatzrückgänge seit 2014 können Großteils durch rückläufige Rohstoffpreise, insbesondere für Mineralöl, erklärt werden (vgl. Gehrke/Weilage 2018, 29; Stephan 2016). Niedrigere Herstellungskosten werden an Abnehmer weitergeleitet, so dass die beobachteten Umsatz-

rückgänge nicht gleichzusetzen sind mit Gewinnrückgängen (vgl. Unterkapitel Wertschöpfung).

Zwischen 2008 und 2017 stieg der Umsatz in der pharmazeutischen Industrie insgesamt um über 26 Prozent, in der chemischen Industrie um über 12 Prozent.

Wie in Abbildung 3 ersichtlich, verläuft die jährliche Fluktuation der Umsatzzahlen in der chemischen Industrie parallel zu jener im gesamten Verarbeitenden Gewerbe, wobei die Fluktuation in der chemischen Industrie etwas ausgeprägter ist.

Abbildung 3: Umsatzwachstum seit 2008 (Index 2008 = 100)



Quelle: Statistisches Bundesamt (Tabelle 42271). Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Beschäftigtenentwicklung

Abbildung 4 zeigt das Beschäftigtenwachstum seit 2008. Im Verarbeitenden Gewerbe ist die Beschäftigtenzahl nach Rückgängen in den Jahren 2009 und 2010 stetig gestiegen; im Jahr 2013 erreichte die Anzahl Beschäftigter wieder den Stand von 2008. Insgesamt stieg die Beschäftigtenzahl im Verarbeitenden Gewerbe zwischen 2008 und 2017 um 5 Prozent.

In der chemischen Industrie gab es im Jahr 2009 einen kurzen Beschäftigtenrückgang sowie zwischen 2015 und 2016 ein Abflachen des sonst stetigen Beschäftigtenwachstums. Dies sind auch die Jahre, die in der chemischen Industrie von stärkeren Umsatzrückgängen geprägt wa-

ren (s. o.). Dieser Zusammenhang bedeutet, dass Umsatzrückgänge in der chemischen Industrie, auch wenn sie zu großen Teilen durch rückläufige Rohstoffpreise zu erklären sind, nicht ohne Einfluss auf die Beschäftigtenzahlen geblieben sind.⁷ Insgesamt stieg die Beschäftigtenzahl in der chemischen Industrie zwischen 2008 und 2017 um fast 8 Prozent.

In der pharmazeutischen Industrie ist die Beschäftigtenzahl zwischen 2008 und 2010 um über 12 Prozent gesunken, um danach wieder stetig zu steigen. Allerdings konnte bis zum Jahr 2017 nicht wieder das Beschäftigtenniveau von 2008 erreicht werden: Es lag im Jahr 2017 noch immer etwa ein halbes Prozent unter dem Niveau von 2008.

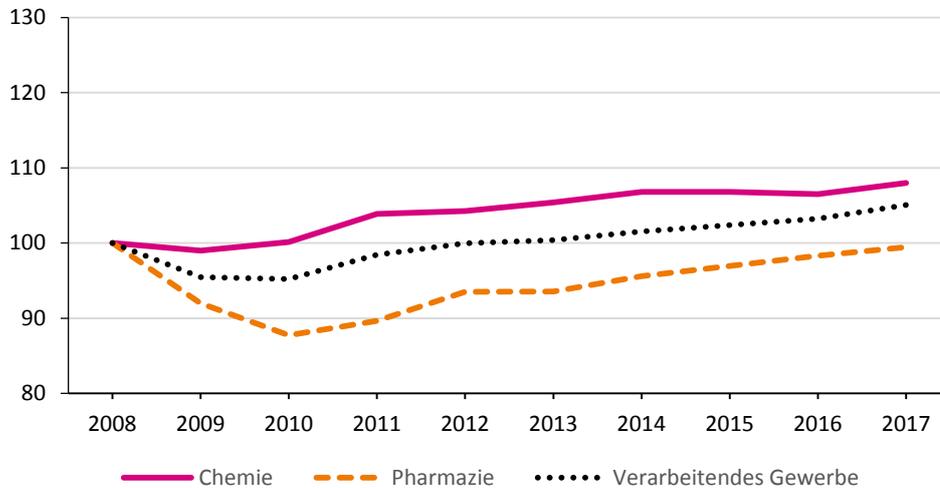
Die Beschäftigtenentwicklung in der pharmazeutischen Industrie steht in Kontrast zur stark positiven Umsatzentwicklung im gleichen Zeitraum (vgl. Abbildung 3). Dies hat zur Folge, dass der Umsatz pro Beschäftigtem zwischen 2008 und 2017 stark gestiegen ist: Lag er im Jahr 2008 noch bei 330.000 Euro, so betrug er im Jahr 2017 419.000 Euro, was einem Anstieg um 27 Prozent, oder einem jährlichen Anstieg von 2,7 Prozent entspricht.⁸

In der chemischen Industrie stieg der Umsatz pro Beschäftigtem von 420.000 Euro im Jahr 2008 auf rund 436.000 Euro im Jahr 2017, was nicht inflationsbereinigt einem jährlichen Anstieg von 0,4 Prozent entspricht.

7 Umsatzrückgänge können nur gesunkene Rohstoffpreise erklärt werden, wenn niedrigere Herstellungskosten an Abnehmer weitergeleitet werden (siehe Umsatzentwicklung).

8 Nicht inflationsbereinigt.

Abbildung 4: Beschäftigtenwachstum seit 2008 (Index 2008 = 100)



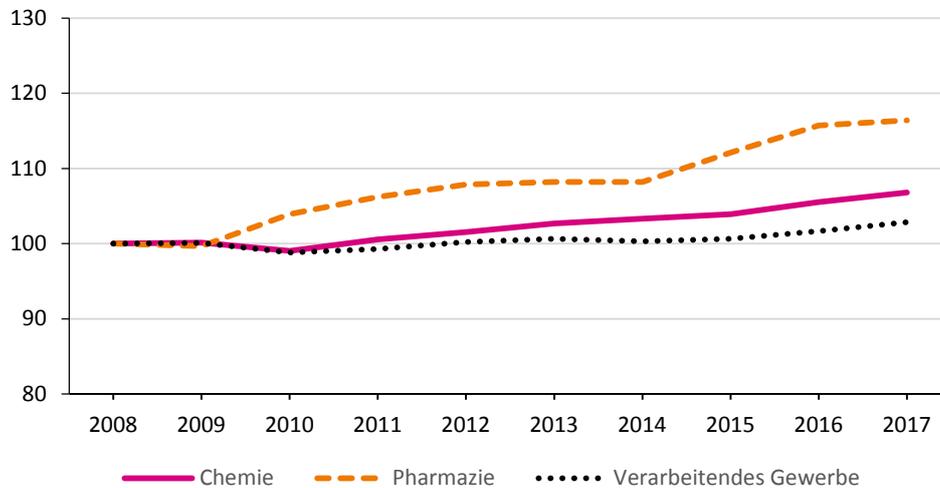
Quelle: Statistisches Bundesamt (Tabelle 42271). Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Entwicklung der Anzahl Betriebe

Im Vergleich zu Umsatz- und Beschäftigtenentwicklung erweist sich die Anzahl der Betriebe als am wenigsten volatil (Abbildung 5). Nach geringfügigen Rückgängen in den Jahren 2009 (Pharmazie) und 2010 (Chemie) ist die Anzahl der Betriebe stetig gestiegen – in der pharmazeutischen Industrie bis 2017 um rund 16 Prozent, in der chemischen Industrie um knapp 7 Prozent. In absoluten Zahl entspricht dies 82 zusätzlichen Betrieben in der chemischen Industrie und 26 zusätzlichen Betrieben in der pharmazeutischen Industrie. Damit lag der Anstieg sowohl in der chemischen als auch in der pharmazeutischen Industrie prozentual über dem Anstieg im Verarbeitenden Gewerbe, wo er knapp 3 Prozent betrug.

In Verbindung mit der Beschäftigtenentwicklung bedeutet die Entwicklung in der Anzahl der Betriebe für die pharmazeutische Industrie, dass kleinere Betriebe mit einer geringeren Anzahl Beschäftigter nachgekommen sind. Betrug die durchschnittliche Anzahl Beschäftigter pro Betrieb im Jahr 2008 knapp 390, so lag sie im Jahr 2017 bei 330. Diese Entwicklung kann auch durch junge, wachstumsstarke Unternehmen in der pharmazeutischen Biotechnologiebranche erklärt werden.

Abbildung 5: Zunahme der Anzahl Betriebe seit 2008 (Index 2008 = 100)



Anmerkung: Nur Betriebe ab 20 Beschäftigten werden berücksichtigt.
 Quelle: Statistisches Bundesamt (Tabelle 42271). Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Wertschöpfung und Arbeitsproduktivität

Bruttowertschöpfung

Die Bruttowertschöpfung ist ein Maß für die wirtschaftliche Leistung und ergibt sich aus den Bruttoerträgen abzüglich Kosten für Materialien, Energie und Personal (vgl. Gehrke/Weilage 2018, 30). Sie steht damit für den im Produktionsprozess geschaffenen Mehrwert. Zusammengekommen betrug die Bruttowertschöpfung in der chemischen und pharmazeutischen Industrie im Jahr 2016 rund 60 Milliarden Euro.⁹ Dabei entfielen 42 Milliarden auf die chemische und 18 Milliarden auf die pharmazeutische Industrie. Im Verhältnis zum Umsatz liegt damit die Bruttowertschöpfung in der pharmazeutischen Industrie leicht höher als in der chemischen Industrie.

Im Verarbeitenden Gewerbe betrug die Bruttowertschöpfung 2016 insgesamt rund 579 Milliarden Euro. Die Bruttowertschöpfung in der chemischen und pharmazeutischen Industrie stand damit für rund

⁹ Die aktuellsten beim Statistischen Bundesamt vorliegenden Daten beziehen sich auf das Jahr 2016.

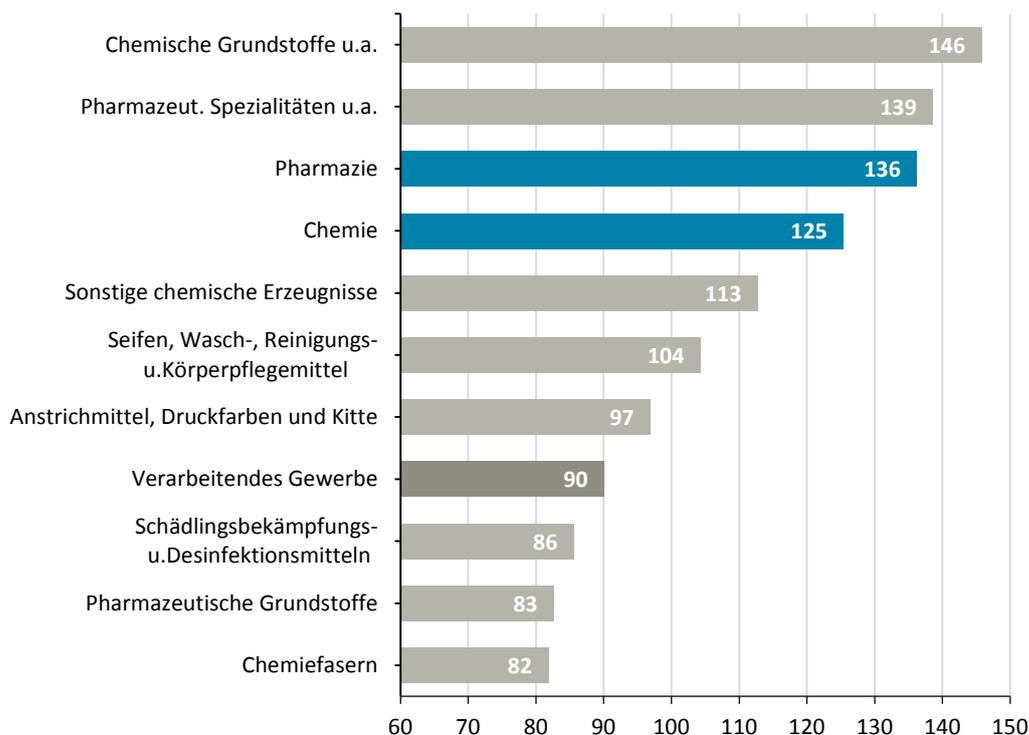
10 Prozent der Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe, was in enger Relation zu ihrem Umsatzanteil liegt.

Arbeitsproduktivität

Die Arbeitsproduktivität setzt die Bruttowertschöpfung in Relation zur Anzahl Beschäftigter: Sie ist ein Maß für die Bruttowertschöpfung pro Erwerbstätigem. Im Jahr 2016 belief sie sich auf 128.000 Euro in der chemischen und 157.000 Euro in der pharmazeutischen Industrie. Damit lag sie deutlich über dem Schnitt von 90.000 Euro im Verarbeitenden Gewerbe.

Abbildung 6 zeigt die Verteilung der Arbeitsproduktivität nach Sparten der chemischen und pharmazeutischen Industrie, sowie als Vergleich die Durchschnittswerte für Chemie, Pharmazie und das Verarbeitende Gewerbe. Am höchsten war die Arbeitsproduktivität in den umsatzmäßig jeweils größten Sparten der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Diese Tatsache ist teilweise durch Skaleneffekte in großen Sparten zu erklären, andererseits ist sie auch Indikator für eine Spezialisierung im Sinne komparativer Vorteile (Ricardo) in der chemischen und pharmazeutischen Industrie in Deutschland (vgl. BMWi 2019). Eine Spezialisierung im Sinne komparativer Vorteile bedeutet hier, dass diejenigen Sparten in Deutschland besonders groß geworden sind, in denen in Deutschland eine hohe Arbeitsproduktivität erreicht werden kann.

Abbildung 6: Arbeitsproduktivität nach Sparten (in Tausend Euro)



Quelle: Statistisches Bundesamt (Tabelle 42251). Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Aktuelle Trends in der Beschäftigungsstruktur

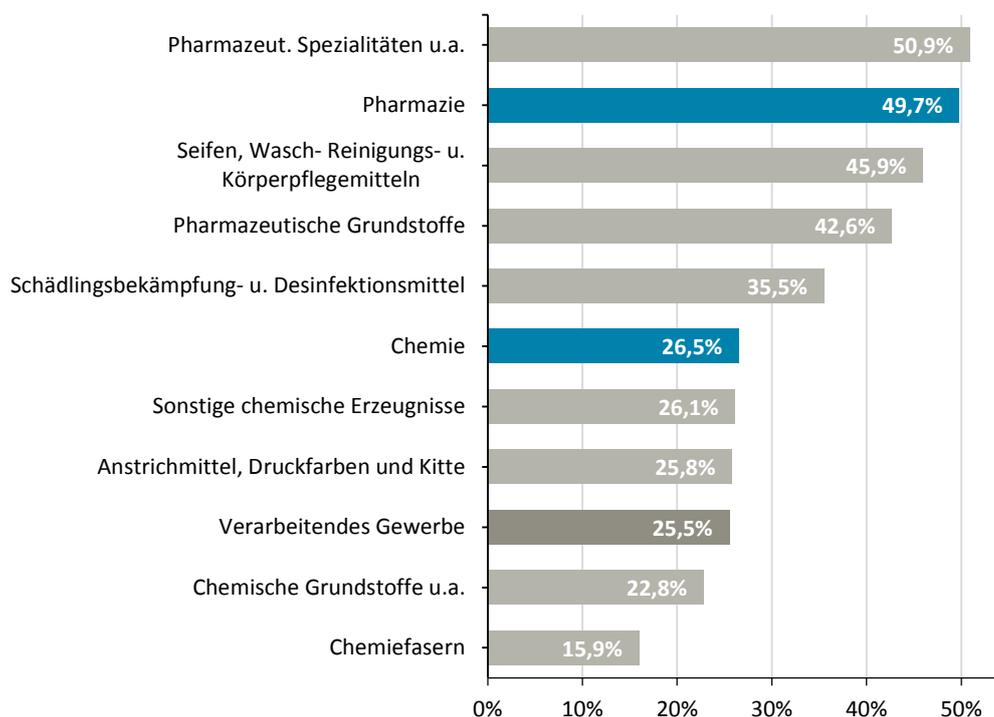
Frauenanteil

Ende 2017 lag der *Frauenanteil* bei den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der chemischen Industrie bei rund 26,5 Prozent – nur knapp jeder vierte Beschäftigte war also eine Frau. Deutlich höher ist der Frauenanteil in der pharmazeutischen Industrie mit 49,7 Prozent, wo also fast jeder zweite Beschäftigte eine Frau ist (ÄrzteZeitung 2018).¹⁰ Der Frauenanteil zeigte sowohl in der chemischen als auch in der pharmazeutischen Industrie in den vergangenen Jahren einen leichten Aufwärtstrend.

¹⁰ Quelle: Bundesagentur für Arbeit; eigene Berechnungen.

Gleichzeitig bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Sparten der chemischen und pharmazeutischen Industrie (vgl. Abbildung 7). Am höchsten ist der Frauenanteil in der Sparte *Herstellung von pharmazeutischen Spezialitäten*, die gleichzeitig die einzige Sparte ist, in der Frauen mit 50,9 Prozent knapp über die Hälfte der Beschäftigten ausmachen. Mit 42,6 Prozent der Beschäftigten ist der Frauenanteil auch in der zweiten Sparten der pharmazeutischen Industrie, der *Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen*, vergleichsweise hoch. In der chemischen Industrie hat die Sparte *Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln* mit 45,9 Prozent den höchsten Frauenanteil. Unter einem Drittel aller Beschäftigten machten Frauen in den Sparten *Sonstige chemische Erzeugnisse* (26,1 Prozent), *Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte* (25,8 Prozent) und *Herstellung von chemischen Grundstoffen* (22,8 Prozent) aus. Einzig in der Sparte *Chemiefasern* – die unter allen Sparten bereits den niedrigsten Frauenanteil hat – war der Frauenanteil in den letzten Jahren rückläufig und lag zuletzt bei 15,9 Prozent.

Abbildung 7: Frauenanteil nach Sparten



Anmerkung: Anteil Frauen an allen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, Stand Dezember 2017.

Quelle: Bundesagentur für Arbeit. Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Altersstruktur

Die *Altersstruktur* hat sich in den vergangenen Jahren etwas zugunsten der über 54-Jährigen verschoben: Seit 2014 ist der Anteil dieser Altersgruppe von 17,9 Prozent auf 20,3 Prozent aller sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten in der chemischen und pharmazeutischen Industrie gestiegen. Dies bedeutet, dass aktuell ein Fünftel aller Beschäftigten in der chemischen und pharmazeutischen Industrie älter als 54 Jahre ist. In der Pharmazie ist der Anteil der über 54-Jährigen mit 16,6 Prozent etwas niedriger als in der Chemie, wo er 21,9 Prozent beträgt.

Qualifikationsniveau

Auch in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Beschäftigten zeigen sich in der quantitativen Analyse deutliche Unterschiede zwischen der chemischen und der pharmazeutischen Industrie. Insgesamt lag der Anteil der hochqualifizierten Spezialisten¹¹ und Experten¹² an allen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der chemischen Industrie 2017 bei 33,0 Prozent, in der pharmazeutischen Industrie über acht Prozentpunkte höher bei 41,2 Prozent.

Zugleich gibt es auch Unterschiede zwischen den Sparten der chemischen und pharmazeutischen Industrie (Abbildung 8). Der Anteil Hochqualifizierter ist in denjenigen Sparten höher, in denen die Arbeitsproduktivität höher ist (siehe Abschnitt zu Arbeitsproduktivität sowie Abbildung 6 oben). So ist der Anteil Hochqualifizierter (Spezialisten und Ex-

11 Als Spezialisten definiert die Bundesagentur für Arbeit Beschäftigte in Berufen, „denen eine Meister- oder Techniker Ausbildung bzw. ein gleichwertiger Fachschul- oder Hochschulabschluss vorausgegangen ist. Häufig kann auch eine entsprechende Berufserfahrung und/oder informelle berufliche Ausbildung ausreichend für die Ausübung des Berufes sein.“ Die Tätigkeit beinhaltet „neben den jeweiligen Spezialistentätigkeiten Planungs- und Kontrolltätigkeiten, wie z. B. Arbeitsvorbereitung, Betriebsmitteleinsatzplanung sowie Qualitätsprüfung und -sicherung.“ (Bundesagentur für Arbeit 2010)

12 Als Experten definiert die Bundesagentur für Arbeit Beschäftigte in Berufen, die „einen sehr hohen Komplexitätsgrad aufweisen bzw. ein entsprechend hohes Kenntnis- und Fertigniveau erfordern. Kennzeichnend für [diese Berufe] sind hoch komplexe Tätigkeiten. Dazu zählen z. B. Entwicklungs-, Forschungs- und Diagnostiktätigkeiten, Wissensvermittlung sowie Leitungs- und Führungsaufgaben innerhalb eines (großen) Unternehmens. In der Regel setzt die Ausübung dieser Berufe eine mindestens vierjährige Hochschulausbildung und/oder eine entsprechende Berufserfahrung voraus. Der typischerweise erforderliche berufliche Bildungsabschluss ist ein Hochschulabschluss (Masterabschluss, Diplom, Staatsexamen o. Ä.). Bei einigen Berufen bzw. Tätigkeiten kann auch die Anforderung einer Promotion bzw. Habilitation bestehen.“ (Bundesagentur für Arbeit 2010)

perten) in der Herstellung pharmazeutischer Spezialitäten mit über 42 Prozent und in der Herstellung chemischer Grundstoffe mit fast 35 Prozent am höchsten. Dies sind gleichzeitig die beiden Sparten mit der höchsten Arbeitsproduktivität. In der Sparte Chemiefasern hingegen liegt der Anteil Hochqualifizierter nur knapp 21 Prozent; sie rangiert auch als Schlusslicht in Bezug auf die Arbeitsproduktivität.

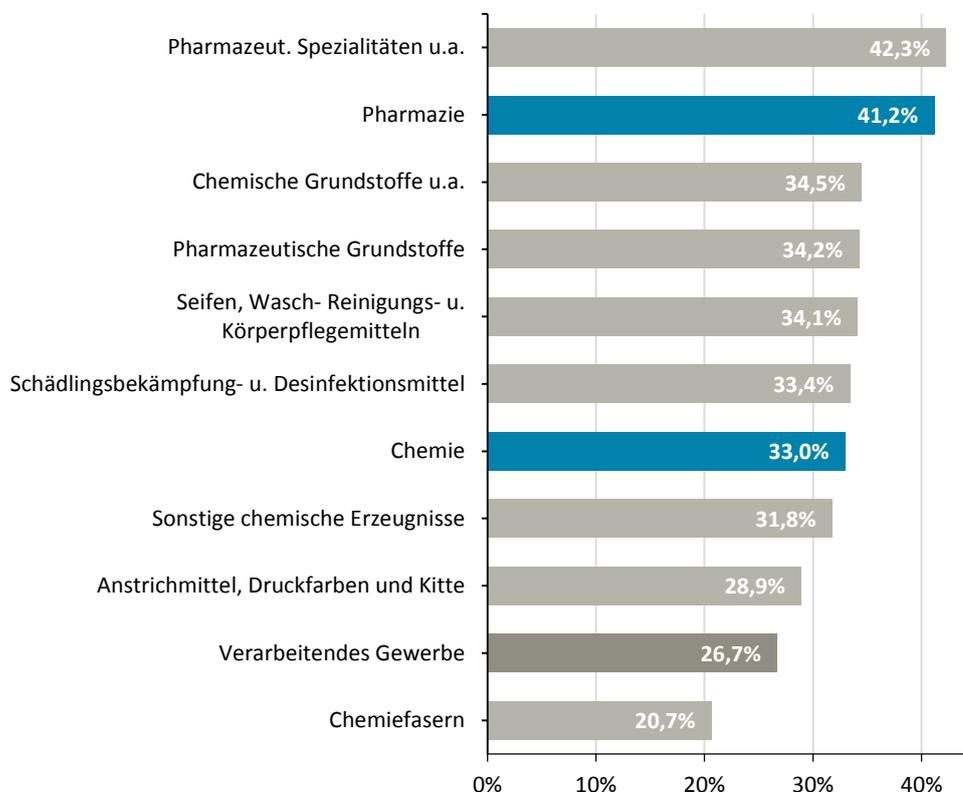
Zugleich sind diejenigen Sparten mit einem hohen Anteil Hochqualifizierter und einer hohen Arbeitsproduktivität auch die Sparten, die in Deutschland besonders groß sind. In der Herstellung chemischer Grundstoffe sowie der Herstellung pharmazeutischer Spezialitäten sind zusammengenommen 63 Prozent aller Beschäftigten in der chemischen und pharmazeutischen Industrie in Deutschland tätig (vgl. Abbildung 2 im Abschnitt zur Verteilung der Beschäftigten nach Sparten). 60 Prozent des Umsatzes in der chemischen und pharmazeutischen Industrie wird in diesen beiden Sparten generiert (vgl. Abbildung 1 im Abschnitt zur Verteilung des Umsatzes nach Sparten).

Dieser Zusammenhang ist ein weiterer Indikator für eine Spezialisierung im Sinne komparativer Vorteile (Ricardo) in der chemischen und pharmazeutischen Industrie in Deutschland (vgl. Abschnitt zur Arbeitsproduktivität). Es bedeutet, dass historisch gesehen diejenigen Sparten in Deutschland besonders groß geworden sind, in denen eine hohe Arbeitsproduktivität mit Hilfe eines höheren Anteils Hochqualifizierter erreicht werden kann.

Spezialisierung in der deutschen Chemie und Pharmazie

In der chemischen und pharmazeutischen Industrie in Deutschland gibt es Hinweise auf eine Spezialisierung im Sinne komparativer Vorteile (Ricardo). Eine solche Spezialisierung beinhaltet, dass historisch diejenigen Sparten in Deutschland besonders wichtig geworden sind, in denen in Deutschland eine hohe Arbeitsproduktivität erreicht werden kann. Dies sind gleichzeitig diejenigen Sparten, in denen der Anteil Hochqualifizierter besonders hoch ist.

Abbildung 8: Anteil Hochqualifizierter nach Sparten



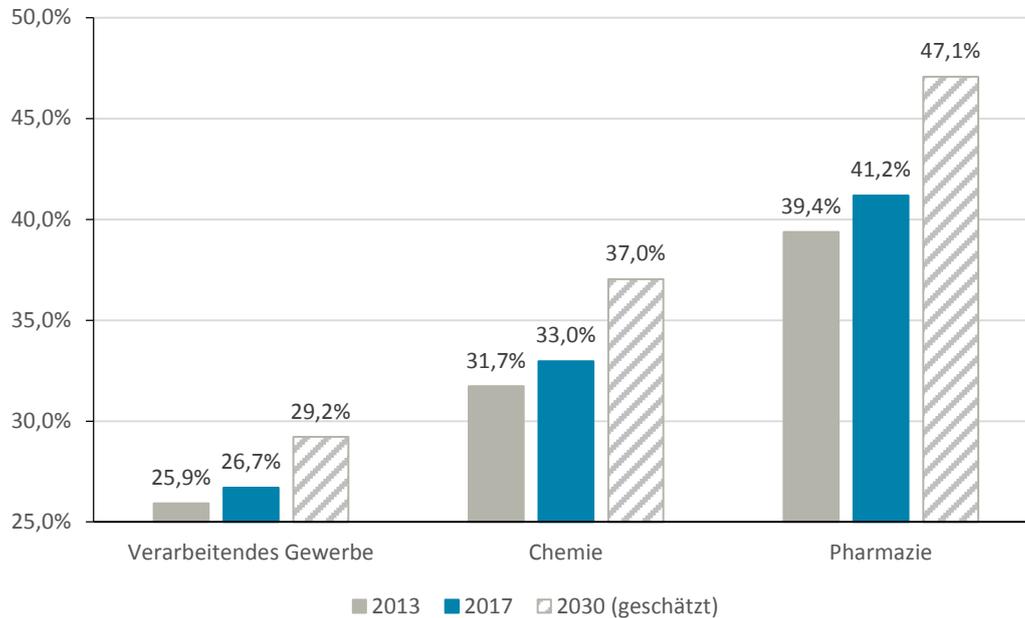
Anmerkung: Hochqualifizierte beinhalten Spezialisten und Experten.
Stand Dezember 2017.

Quelle: Bundesagentur für Arbeit. Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Der Anteil Hochqualifizierter in der Pharmabranche, in der Chemieindustrie und im Verarbeitenden Gewerbe ist zwischen 2013 und 2017 leicht, aber stetig gestiegen (Abbildung 9). Betrug er im Jahr 2013 in der Chemiebranche noch 31,7 Prozent, so lag er im Jahr 2017 bei 33,0 Prozent. In der Pharmabranche stieg er von 39,4 Prozent im Jahr 2013 auf 41,2 Prozent im Jahr 2017. Dies sind Anstiege zwischen 1,3 und 1,8 Prozentpunkten innerhalb von vier Jahren. Sollte sich dieser Trend in den kommenden Jahren kontinuierlich fortsetzen, könnte der Anteil Hochqualifizierter in der chemischen Industrie im Jahr 2030 bei etwa 37 Prozent liegen, in der pharmazeutischen Industrie sogar bei 47 Prozent.¹³

¹³ Unter der Annahme einer Zunahme von jährlich 0,325 Prozentpunkt in der chemischen Industrie und jährlich 0,45 Prozentpunkten in der pharmazeutischen Industrie. Dies entspricht der Zunahme zwischen 2013 und 2017.

Abbildung 9: Zunahme des Anteils Hochqualifizierter



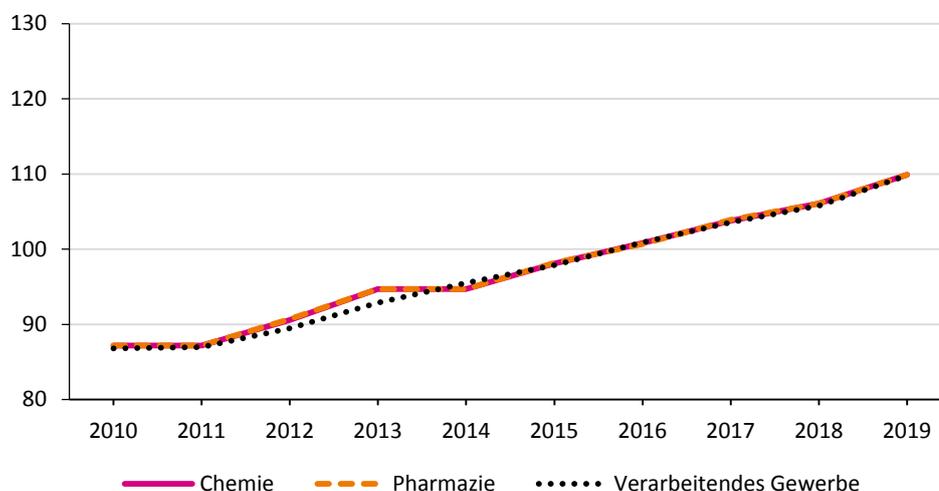
Anmerkung: Anteil Spezialisten und Experten an allen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den Jahren 2013 und 2017 (jeweils Stand Dezember), sowie Hochrechnung für das Jahr 2030.

Quelle: Bundesagentur für Arbeit. Berechnungen, Hochrechnung und Darstellung des VDI TZ.

Löhne und Gehälter

Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der Tarifverdienste in der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Wie in der Abbildung ersichtlich, verlief zwischen 2010 und Januar 2019 die Entwicklung der Tarifverdienste in der chemischen und pharmazeutischen Industrie parallel, was damit erklärt werden kann, dass z. B. die Industriegewerkschaft Bergbau Chemie Energie und der Bundesarbeitgeberverband Chemie für beide Branchen die Tarifverhandlungen führen. Auffällig ist hier, dass die Entwicklung der Tarifverdienste im Verarbeitenden Gewerbe fast parallel verläuft.

Abbildung 10: Entwicklung der Tarifverdienste (Index 2015 = 100)



Anmerkung: Indizes der tariflichen Stundenverdienste ohne Sonderzahlungen, jeweils Januar eines Jahres.

Quelle: Statistisches Bundesamt (Tabelle 62231). Darstellung des VDI TZ.

Geographische Verteilung innerhalb Deutschlands

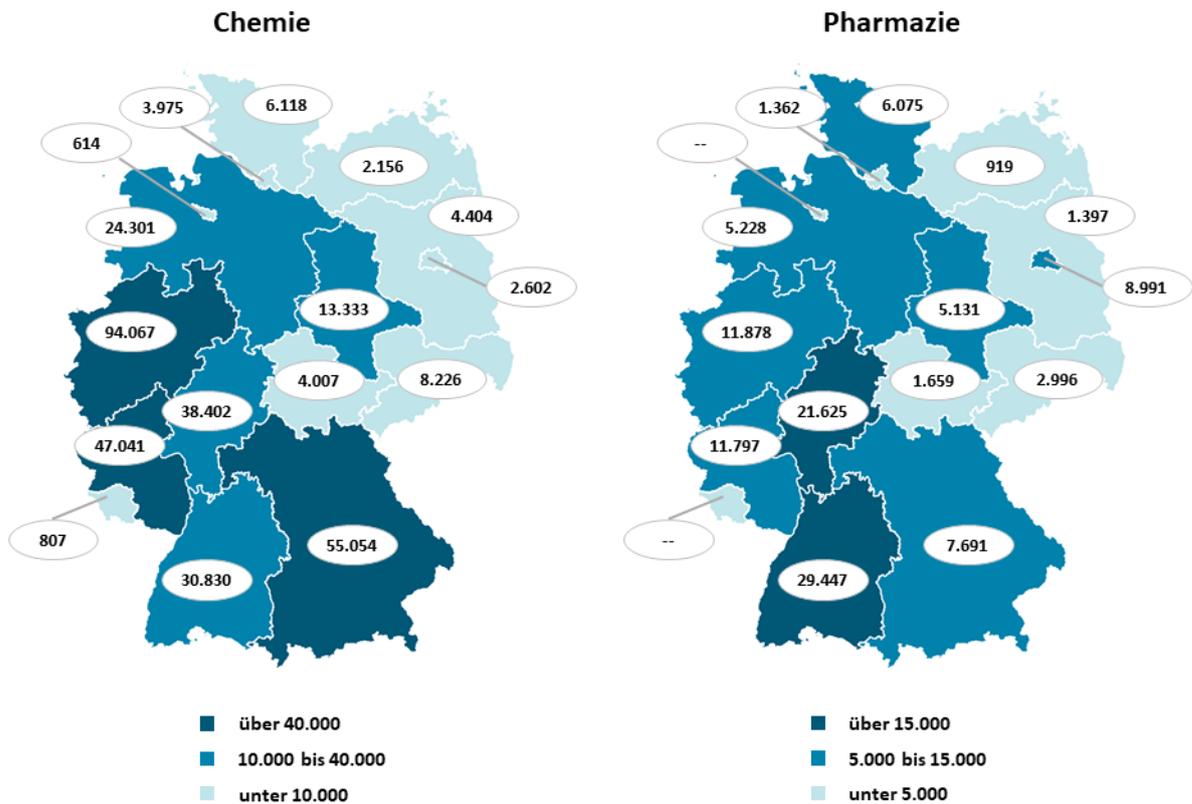
Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Beschäftigten in der chemischen und pharmazeutischen Industrie über die deutschen Bundesländer hinweg.¹⁴ Wie in der Abbildung ersichtlich, gibt es Chemiestandorte in allen deutschen Bundesländern. Allerdings konzentrieren sie sich auf West- und Süddeutschland, dort vor allem auf Nordrhein-Westfalen, Bayern sowie Rheinland-Pfalz. Nordrhein-Westfalen ist das Bundesland mit den meisten Beschäftigten in der chemischen Industrie; im Jahr 2017 lag die Anzahl hier bei über 94.000 Beschäftigten. In Rheinland-Pfalz liegt die Anzahl bei etwa 47.000 und in Bayern bei 55.000. In den neuen Bundesländern ist die chemische Industrie vor allem in Sachsen-Anhalt stark, wo sie ca. 13.000 Beschäftigte zählt.

Die pharmazeutische Industrie weist die höchste Beschäftigtenzahl in Baden-Württemberg mit über 29.000 Beschäftigten und in Hessen mit über 21.000 Beschäftigten auf. Wichtige Standorte im Osten Deutschlands sind Sachsen-Anhalt mit über 2.000 Beschäftigten und Berlin mit

¹⁴ Nur Beschäftigte in Betrieben mit mindestens 20 Beschäftigten.

knapp 9.000 Beschäftigten. Die hohe Anzahl Beschäftigter in Berlin kann zum einen durch den großen Bayer-Pharma Standort und zum anderen durch aufsteigende Biotechnologieunternehmen erklärt werden, die sich in der Berliner Startup-Szene ansiedeln. Keine pharmazeutischen Betriebe mit mindestens 20 Beschäftigten finden sich in Bremen und im Saarland.

Abbildung 11: Beschäftigte nach Bundesländern

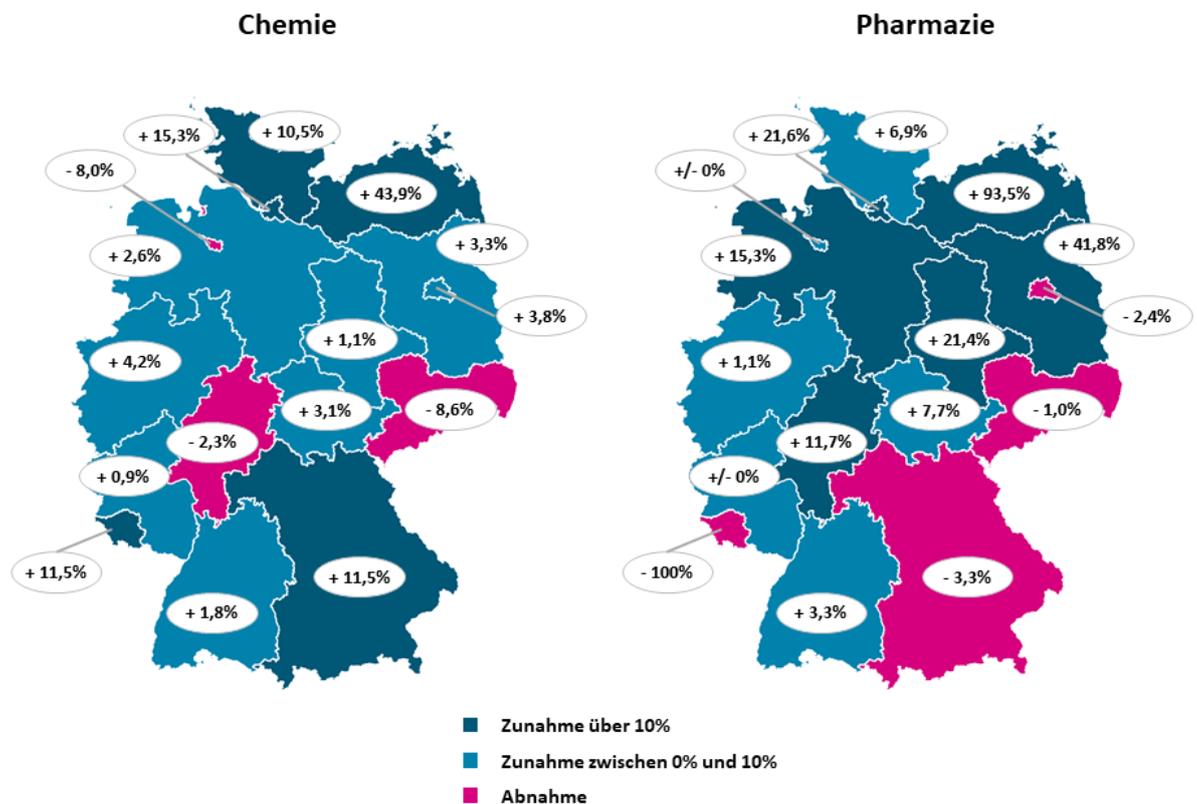


Anmerkung: Nur Betrieben mit mindestens 20 Beschäftigten werden berücksichtigt sowie Betriebe, deren Hauptbranche Chemie bzw. Pharmazie ist. Stand 2017.

Quelle: Statistisches Bundesamt (Tabelle 42271). Darstellung des VDI TZ.

Wie im oberen Abschnitt zur Beschäftigtenentwicklung dargestellt, zeigte die Beschäftigtenzahl in den vergangenen fünf Jahren sowohl in der chemischen als auch in der pharmazeutischen Industrie eine Wachstumstendenz. Im Fünfjahreszeitraum zwischen 2012 und 2017 betrug das Beschäftigtenwachstum in der chemischen Industrie 3,6 Prozent, in der pharmazeutischen Industrie 17,4 Prozent. Damit lag die chemische Industrie unter dem durchschnittlichen Beschäftigtenwachstum im Verarbeitenden Gewerbe von 5,1 Prozent; die pharmazeutische Industrie deutlich darüber.

Abbildung 12: Beschäftigtenveränderung nach Bundesländern



Anmerkung: Prozentuale Veränderung der Anzahl Beschäftigter zwischen 2012 und 2017. Nur Betrieben mit mindestens 20 Beschäftigten werden berücksichtigt sowie Betriebe, deren Hauptbranche Chemie bzw. Pharmazie ist.

Quelle: Statistisches Bundesamt (Tabelle 42271). Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Die Beschäftigtenentwicklung unterschied sich allerdings stark nach Bundesländern (Abbildung 12). In der chemischen Industrie lag sie je nach Bundesland zwischen –8,0 Prozent (Bremen) und +43,9 Prozent (Mecklenburg-Vorpommern), in der pharmazeutischen Industrie lag sie im gleichen Zeitraum zwischen –100 Prozent (Saarland) und +93,5 Prozent (Mecklenburg-Vorpommern).

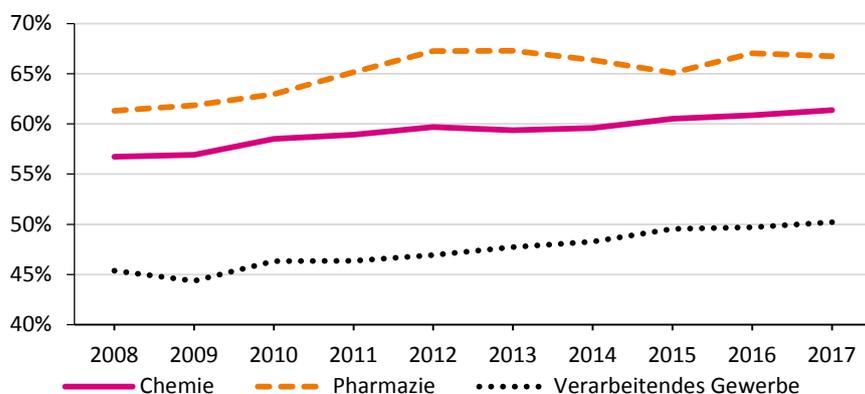
Während die Beschäftigtenentwicklung in Sachsen sowohl in der chemischen als auch in der pharmazeutischen Industrie rückläufig war, nahm die Beschäftigtenzahl in den restlichen ostdeutschen Bundesländern sowohl in der chemischen als auch in der pharmazeutischen Industrie zu. Insbesondere die nord- und mitteldeutschen Bundesländer (Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Hessen und Thüringen) sahen einen Zuwachs in der pharmazeutischen Industrie.

Im Saarland, in Hessen, Bayern und Berlin war die Beschäftigtenentwicklung in der chemischen und pharmazeutischen Industrie gegenläufig: sie stieg in der einen Branche, während sie in der anderen abnahm. In den restlichen Bundesländern verlief die Beschäftigtenentwicklung in der chemischen und pharmazeutischen Industrie parallel; wobei die Entwicklung im Großteil der Bundesländer positiv war.

Inlands- und Auslandsumsätze

Sowohl die chemische als auch die pharmazeutische Industrie generiert den größeren Teil ihres Umsatzes im Ausland. Allerdings war die Exportquote, also der Anteil des Umsatzes, der im Ausland generiert wird, in der Pharmaindustrie mit rund 67 Prozent im Jahr 2017 etwas höher als diejenige in der Chemieindustrie, wo sie rund 61 Prozent betrug. Im Verarbeitenden Gewerbe insgesamt war die Exportquote deutlich niedriger und lag bei rund 50 Prozent.

Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Exportquote



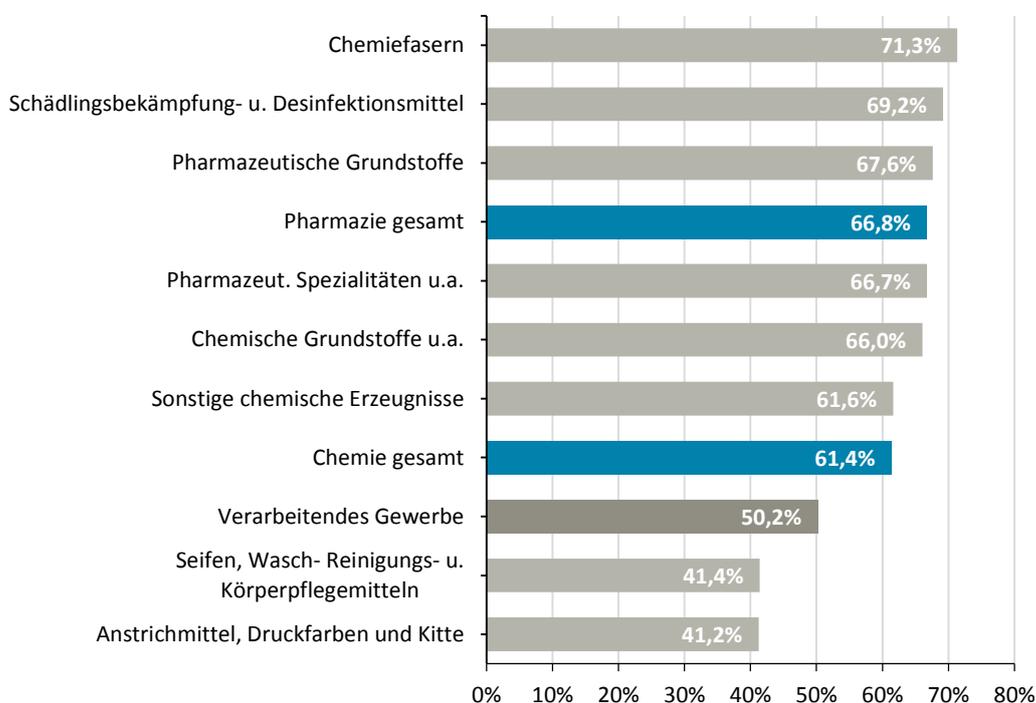
Anmerkung: Die Exportquote bezeichnet den Anteil des Umsatzes, der im Ausland generiert wird.

Quelle: Statistisches Bundesamt. Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Zwischen 2008 und 2017 lässt sich insgesamt ein stetiger Aufwärtstrend in der Exportquote beobachten – dies gilt sowohl für die chemische und pharmazeutische Industrie als auch für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt (Abbildung 13). In diesem Zeitraum stieg die Exportquote in der chemischen Industrie um insgesamt 4,6 Prozentpunkte, in der pharmazeutischen Industrie um 5,4 Prozentpunkte. Im Verarbeitenden Gewerbe lag der Anstieg bei 4,8 Prozentpunkten. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass ein wachsender Teil des Umsatzes im Ausland generiert wird, während der Anteil des Inlandsumsatzes abnimmt. Diese Entwicklung kann teilweise durch den langjährig schwachen Euro erklärt werden; Folgen der Entwicklung sind einerseits Umsatzwachstum, andererseits eine wachsende Abhängigkeit von der weltweiten Konjunktur (vgl. Fricke 2019).

Abbildung 14 zeigt die Exportquoten nach Sparten. Während die Exportquoten der beiden Sparten der pharmazeutischen Industrie fast identisch sind, zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Sparten der chemischen Industrie. Sehr hoch liegt die Exportquote in den Sparten *Chemiefasern* (71,3 Prozent), *Schädlingsbekämpfung- und Desinfektionsmittel* (69,2 Prozent) sowie *chemische Grundstoffe* (66,0 Prozent). Deutlich niedriger liegt die Exportquote in den Sparten *Seifen-, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemittel* (41,4 Prozent) sowie *Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte* (41,2 Prozent). In den letztgenannten beiden Sparten lag die Exportquote unter dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes.

Abbildung 14: Exportquoten nach Sparten



Quelle: Statistisches Bundesamt (Tabelle 42111), Stand 2017. Berechnungen und Darstellung des VDI TZ.

Forschung, Entwicklung und Innovation

Aufwendungen für Forschung und Entwicklung

In der chemischen Industrie waren für das Jahr 2017 3,9 Milliarden Euro interne Forschungs- und Entwicklungs-Aufwendungen (FuE-Aufwendungen) geplant (Stifterverband 2017b).¹⁵ Das entspricht rund 2,9 Prozent des im Jahr 2017 erwirtschafteten Umsatzes in der chemischen Industrie. Interne FuE-Aufwendungen beinhalten nur Ausgaben, die innerhalb von Unternehmen getätigt wurden, also keine Ausgaben, die an Hochschulen oder anderen Forschungseinrichtungen anfielen; sowie nur Aufwendungen, die in Deutschland getätigt wurden (Stifterverband 2017a).

¹⁵ Für 2017 liegt nur die FuE-Budgetplanung vor, nicht die tatsächlich realisierten Zahlen.

In der pharmazeutischen Industrie waren für 2017 4,9 Milliarden Euro interne FuE-Aufwendungen geplant. Obwohl der Umsatz der pharmazeutischen Industrie nur ein Drittel des Umsatzes der chemischen Industrie betrug, waren somit in der pharmazeutischen Industrie höhere FuE-Aufwendungen als in der chemischen Industrie geplant. Die internen FuE-Aufwendungen in der pharmazeutischen Industrie entsprachen demnach etwa 8,6 Prozent des im Jahr 2017 erzielten Umsatzes.¹⁶ Im gesamten Verarbeitenden Gewerbe waren für das Jahr 2017 FuE-Aufwendungen in Höhe von 54,8 Milliarden Euro geplant, was 2,9 Prozent des Umsatzes entspricht.

Somit betragen FuE-Aufwendungen in Relation zum Umsatz in der pharmazeutischen Industrie fast das Dreifache der Aufwendungen in der chemischen Industrie und der durchschnittlichen Aufwendungen im Verarbeitenden Gewerbe. Diese Zahlen verdeutlichen die hohe Forschungsintensität in der pharmazeutischen Industrie.

Beschäftigte in Forschung und Entwicklung

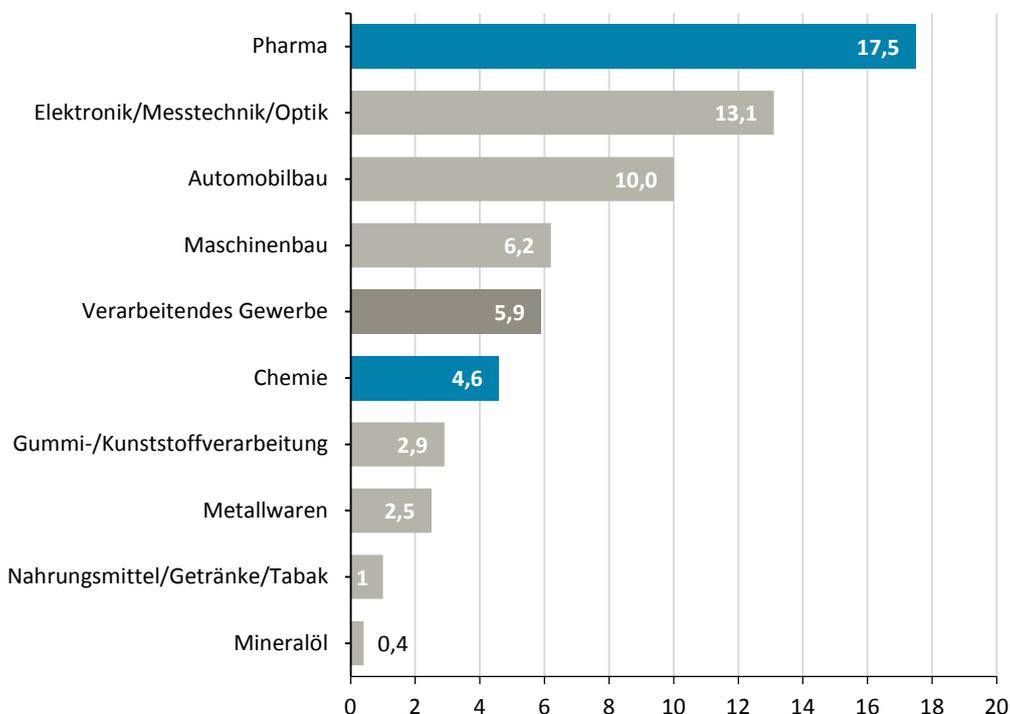
Im Jahr 2015 arbeiteten rund 23.600 Beschäftigte (Vollzeitäquivalente) im Bereich FuE in Wirtschaftsunternehmen in der chemischen Industrie.¹⁷ Das entspricht 7 Prozent der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten. In der pharmazeutischen Industrie waren zum gleichen Zeitpunkt knapp 18.400 Beschäftigte tätig, was 16 Prozent der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten entspricht. Im gesamten Verarbeitenden Gewerbe waren rund 5 Prozent der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Bereich FuE tätig.¹⁸ Damit liegt der Anteil der Beschäftigten, die im Bereich FuE arbeiten, sowohl in der chemischen als auch in der pharmazeutischen Industrie über dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes, was die hohe Innovationsfähigkeit beider Branchen verdeutlicht. Gleichzeitig betrug die Zahl der FuE-Mitarbeiter in Relation zur Gesamtmitarbeiterzahl in der pharmazeutischen Industrie über das Doppelte der Zahl in der chemischen Industrie.

16 Daten des Stifterverbandes (2017b) sowie des Statistischen Bundesamtes; Berechnungen des VDI TZ.

17 Bei den Daten für das Jahr 2015 handelt es sich um die aktuellsten verfügbaren Daten (vgl. Stifterverband 2018b).

18 Der Prozentsatz der Beschäftigten, die im Bereich FuE tätig sind, wird in den vorliegenden Berechnungen leicht überschätzt, da die Daten des Stifterverbandes von Vollzeitäquivalenten ausgehen, die Daten des Statistischen Bundesamtes bezüglich der Gesamtzahl der Beschäftigten in einer Branche dies aber nicht tun. – Berechnungen des VDI TZ auf Grundlagen von Daten des Statistischen Bundesamtes und des Stifterverbandes (2017b).

Abbildung 15: Innovationsintensität in ausgewählten Branchen des erarbeitenden Gewerbes



Anmerkung: Die Innovationsintensität bezeichnet die Innovationsausgaben einer Branche als Prozent ihres Umsatzes (Stand 2016).
 Quelle: BMBF (2018). Darstellung des VDI TZ.

Innovationsintensität im Branchenvergleich und Zeitverlauf

Die Innovationsintensität ist ein Maß dafür, welche Rolle Innovation in einer Branche spielt. Sie ermittelt sich aus den Innovationsausgaben einer Branche in Prozent ihres Umsatzes. Innovationsausgaben beinhalten Ausgaben für laufende, abgeschlossene und abgebrochene Innovationsprojekte und umfassen dabei sowohl firmeninterne als auch firmenexterne Personal- und Sachaufwendungen (ZEW 2018, 14). Auch sämtliche firmeninternen und -externen Ausgaben für Forschung und Entwicklung zählen zu den Innovationsausgaben (ZEW 2018, 14).

Wie Abbildung 15 verdeutlicht, liegen die Innovationsausgaben der Pharmabranche bei 17,5 Prozent des Umsatzes.¹⁹ Fast ein Fünftel des gesamten Umsatzes wird somit in Innovationen investiert. Die Pharmabranche ist damit die innovationsintensivste Branche des gesamten Verarbeitenden Gewerbes und liegt deutlich über deren Durchschnitt (5,9 Prozent). Die hohen Innovationsausgaben erklären sich unter anderem durch die hohen Entwicklungskosten neuer Medikamente und durch die Forschungsintensität der Pharmabranche. Kurz gefasst bedeutet dies, dass ein beachtlicher Teil des Umsatzes in die Entwicklung neuer Produkte und die Verbesserung von Produktionsabläufen fließt.

Andererseits liegt die Chemiebranche leicht unterhalb des Durchschnitts des Verarbeitenden Gewerbes bei 4,6 Prozent. Der geringere Wert ist unter anderem dadurch zu erklären, dass die Entwicklung neuer Produkte in der Chemiebranche sich in der Regel weniger kostenintensiv gestaltet als in der Pharmabranche. Denn obwohl Innovationsausgaben in Relation zum Umsatz in der Chemiebranche geringer sind, ist der Anteil der Unternehmen, die Innovationen betreiben, sogar höher als in der Pharmabranche (siehe Abschnitt zur Innovatorenquote unten).

Abbildung 16 zeigt die zeitliche Entwicklung der Innovationsintensität in der Chemie- und Pharmabranche sowie für das gesamte Verarbeitende Gewerbe seit 2006. Die Abbildung verdeutlicht, wie die Innovationsintensität in der pharmazeutischen Industrie im Betrachtungszeitraum von 14,4 Prozent im Jahr 2006 auf 17,5 Prozent im Jahr 2016 gestiegen ist. Dies entspricht einer jährlichen Zunahme von 0,3 Prozentpunkten. In der chemischen Industrie ist die Innovationsintensität im gleichen Betrachtungszeitraum leicht zurückgegangen. Während sie 2006 bei 5,2 Prozent lag, betrug sie 2016 4,6 Prozent, was einem jährlichen Rückgang von etwa 0,1 Prozentpunkten entspricht. Im Verarbeitenden Gewerbe insgesamt lässt sich eine leichte Zunahme der Innovationsintensität beobachten; sie stieg von 4,9 Prozent im Jahr 2006 auf 5,9 Prozent im Jahr 2016.

Aus dem aktuellen Trend lässt sich für die jeweilige Branche eine Vorhersage für die Zukunft treffen.²⁰ Unter der Annahme, dass der aktuelle Trend in den jeweiligen Branchen weiter anhält, wird die Innovationsintensität in der chemischen Industrie im Jahr 2030 weiter zurückgegangen sein und bei 3,8 Prozent, mit großer Sicherheit jedoch zwischen 1,6 Prozent und 6,0 Prozent liegen. Dies bedeutet, dass der aktuelle Trend in der chemischen Industrie nicht vollkommen eindeutig ist, und

19 Daten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF 2018, Tabelle 1.8.7).

20 Hochrechnung mit Hilfe von Regressionsanalysen auf Basis der jeweiligen Trends zwischen 2006 und 2016.

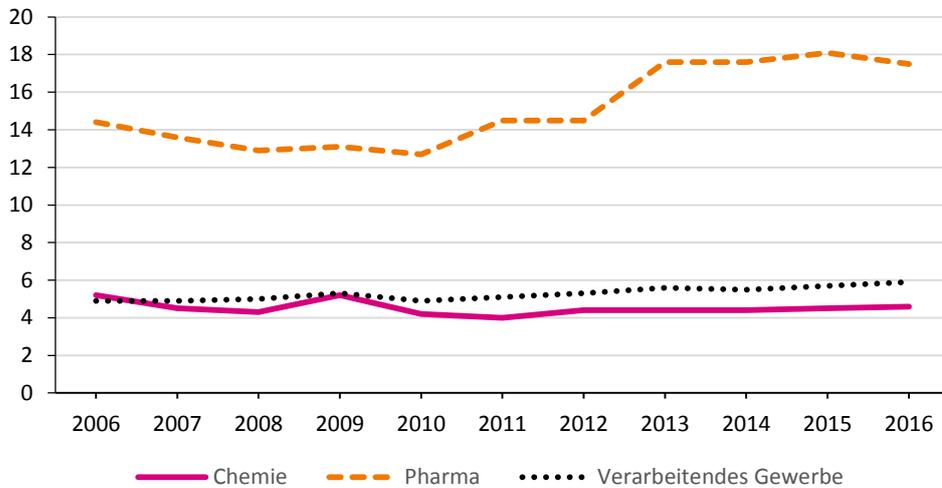
sowohl ein weiterer Rückgang der Innovationsintensität als auch eine Wendung zu einem Aufwärtstrend möglich ist. Wahrscheinlicher erscheint gegenwärtig jedoch ein weiterer Rückgang der Innovationsintensität.

Sollte der Trend der vergangenen Jahre anhalten, kann für die pharmazeutische Industrie im Jahr 2030 eine Innovationsintensität von 25,2 Prozent erwartet werden, bzw. mit großer Sicherheit eine Innovationsintensität zwischen 23,0 Prozent und 27,5 Prozent. Für die pharmazeutische Industrie bedeutet dies also, dass mit sehr großer Wahrscheinlichkeit von einer weiteren Zunahme der Innovationsintensität ausgegangen werden kann. Ein Rückgang der Innovationsintensität bis zum Jahr 2030 erscheint für die pharmazeutische Industrie damit äußerst unwahrscheinlich.

Bei diesen Vorhersagen ist zu berücksichtigen, dass sie auf der Annahme beruhen, dass alle gesamtwirtschaftlichen Trends der letzten zehn Jahre, die die Innovationsintensität beeinflussen, sich bis zum Jahr 2030 fortsetzen. Darunter fällt auch die Annahme, dass der Trend in der Gesamtkonjunktur und im Umsatz der Pharma- und Chemiebranche bis zum Jahr 2030 der gleiche sein wird wie in den letzten zehn Jahren. Dies kann unter den gegenwärtigen wirtschaftlichen Vorzeichen teilweise in Frage gestellt werden, was den Effekt haben kann, dass die oben genannte Innovationsintensität für das Jahr 2030 eher hoch geschätzt ist.

Für die chemische Industrie kann das auch bedeuten, dass die Innovationsintensität noch stärker zurückgehen wird als oben angenommen; für die pharmazeutische Industrie bedeutet dies, dass eine Innovationsintensität von 25,2 Prozent für das Jahr 2030 eher als hoch gelten kann.

Abbildung 16: Zeitliche Entwicklung der Innovationsintensität



Anmerkung: Die Innovationsintensität ermittelt sich aus den Innovationsausgaben einer Branche in Prozent ihres Umsatzes.

Quelle: BMBF (2018). Darstellung des VDI TZ.

Innovatorenquote im Branchenvergleich und Zeitverlauf

Die Innovatorenquote bezeichnet den Anteil Unternehmen, die in einem Jahr neue Produkte und Prozesse einführen. Im Jahr 2016 betrug die Innovatorenquote in der chemischen Industrie 71,6 Prozent, in der pharmazeutischen Industrie 66,2 Prozent.²¹ Damit lag die Innovatorenquote in der chemischen Industrie etwas höher als in der pharmazeutischen Industrie.

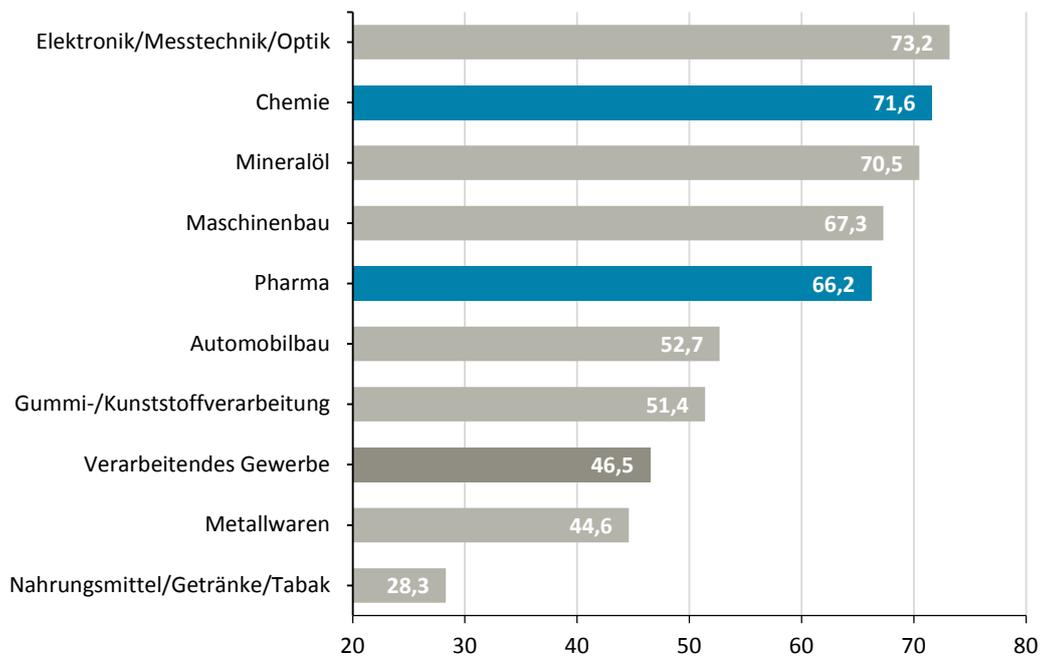
Abbildung 17 veranschaulicht die Verteilung der Innovatorenquote in ausgewählten Branchen des Verarbeitenden Gewerbes. Wie in der Abbildung ersichtlich, lag die Innovatorenquote sowohl in der chemischen als auch in der pharmazeutischen Industrie deutlich über dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes. Über alle Branchen des Verarbeitenden Gewerbes betrachtet lag die Innovatorenquote in der chemischen Industrie auf Platz 3 (hinter Elektronik/Messtechnik/Optik und Sonstigem Fahrzeugbau); die Innovatorenquote in der pharmazeutischen Industrie knapp dahinter auf Platz 5.

Im Schlusssatz bedeutet dies, dass sowohl die chemische als auch die pharmazeutische Industrie in Bezug auf tatsächliche Innovationen

²¹ Daten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Innovatorenquote nach Branchengruppen und Beschäftigtengrößenklassen, Tab 1.8.6 (BuFI 41).

gegenwärtig recht gut aufgestellt ist. Interessant ist dabei der Vergleich zu den Innovationsausgaben wie im vorgehenden Abschnitt (Innovationsintensität) dargestellt. In der Gegenüberstellung fällt auf, dass in der Pharmabranche deutlich mehr Innovationsausgaben als in der Chemiebranche getätigt werden, während gleichzeitig der Anteil Unternehmen, die neue Produkte und Prozesse einführen, in der Chemie etwas höher liegt. Wie bereits oben erwähnt, ist diese Entwicklung dadurch zu erklären, dass Investitionen in der Pharmaindustrie insgesamt deutlich teurer sind – einerseits durch weitreichende gesetzliche und regulative Regelungen wie dem Testen von Medikamenten, andererseits durch lange und komplexe Entwicklungszyklen.

Abbildung 17: Innovatorenquote in ausgewählten Branchen des Verarbeitenden Gewerbes



Anmerkung: Die Innovatorenquote bezeichnet den Anteil Unternehmen einer Branche, die in einem Jahr neue Produkte und Prozesse einführen (Stand 2016).

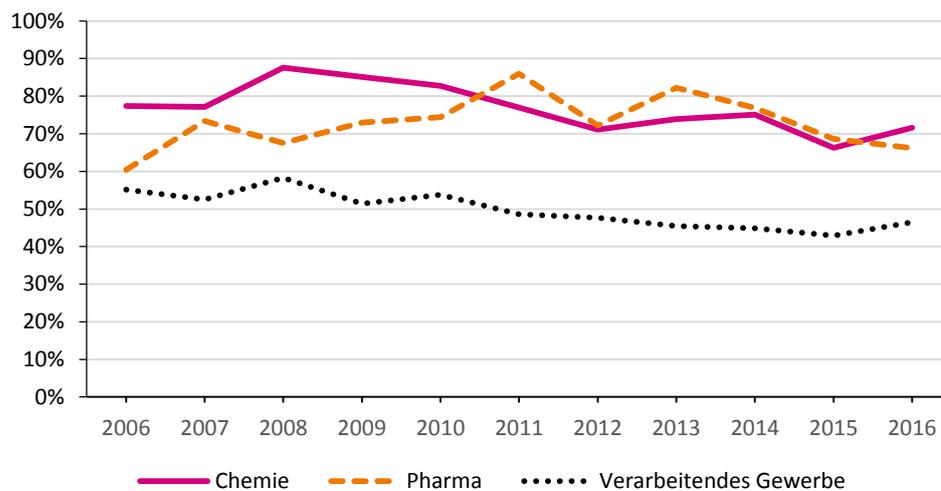
Quelle: ZEW/BMBF (2018). Darstellung des VDI TZ.

Die zeitliche Entwicklung der Innovatorenquote zwischen 2006 und 2016 beleuchtet Abbildung 18. Die Abbildung verdeutlicht, dass die Innovatorenquote zwar von Jahr zu Jahr stark fluktuiert, aber gleichzeitig in der chemischen Industrie und im Verarbeitenden Gewerbe gesamt betrachtet ein gewisser Abwärtstrend besteht. Dies heißt, dass über einen zehnen-

jährigen Betrachtungszeitraum tendenziell immer weniger Unternehmen in der Chemieindustrie und dem Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland neue Produkte oder Prozesse eingeführt haben. In der Pharmaindustrie ist kein Abwärtstrend in der Innovatorenquote zu beobachten – gleichzeitig sind hier die Innovationsausgaben im Betrachtungszeitraum aber auch deutlich gestiegen (siehe Abbildung 16 oben).

Die Tatsache, dass die Innovatorenquote deutlich stärker oszilliert als die Innovationsintensität (vergleiche den vorgehenden Abschnitt zur Innovationsintensität), ist dadurch zu erklären, dass die Innovationsintensität die Innovationsausgaben betrachtet und damit für einen längeren Zeitraum angelegt ist. Die Innovatorenquote dahingegen betrachtet das Ergebnis dieser Innovationsausgaben, und zwar die Einführung neuer Produkte und Prozesse. Diese sind qua Definition punktuell. Da die Entwicklung neuer Produkte und Prozesse häufig länger als ein Jahr braucht, münden Ausgaben für Innovationen nicht in jedem Jahr in die gleiche Menge neuer Produkte und Prozesse.

Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der Innovatorenquote



Anmerkung: Die Innovatorenquote bezeichnet den Anteil Unternehmen, die in einem Jahr neue Produkte oder Prozesse eingeführt haben.

Quelle: ZEW/BMBF (2018). Darstellung des VDI TZ.

Auch in Bezug auf die Innovatorenquote lässt sich eine Vorhersage für die Zukunft treffen. Unter der Annahme gleicher Rahmenbedingungen und Konstellationen wie in den vergangenen zehn Jahren sowie einer Fortführung aktueller Trends würde die Innovatorenquote im Jahr 2030 im Verarbeitenden Gewerbe nur noch bei 26 Prozent liegen. Allerdings ist diese Vorhersage mit einer relativ großen Unsicherheit behaftet –

sehr unwahrscheinlich ist eine Innovatorenquote über 50 Prozent. In der Chemieindustrie wird die Innovatorenquote im Jahr 2030 aller Voraussicht nach unter 76 Prozent liegen; der Erwartungswert wäre hier bei 52 Prozent. In der pharmazeutischen Industrie wird die Innovatorenquote tendenziell weiter steigen und im Jahr 2030 voraussichtlich mindestens 58 Prozent betragen, zu erwarten wäre sogar eine Innovatorenquote von 82 Prozent. Damit würde in Bezug auf den Anteil innovativer Unternehmen die Schere zwischen Chemie- und Pharmabranche in Zukunft stärker auseinander gehen.

Umsatz mit Produktinnovationen

Der Umsatz mit Produktinnovationen, also mit neu eingeführten Produkten, im Verhältnis zum Gesamtumsatz betrug im Jahr 2016 in der chemischen Industrie rund 15 Prozent, in der pharmazeutischen Industrie knapp 22 Prozent. Im Verarbeitenden Gewerbe insgesamt lag er bei rund 23 Prozent, was vor allem durch sehr hohe Werte im Automobilbau (51 Prozent), in der Elektronik, Messtechnik und Optik (36 Prozent) sowie in der Elektrotechnik (29 Prozent) erklärt ist.

Im Vergleich zu 2006 ist der Umsatz mit Produktinnovationen in der chemischen Industrie damit um einen Prozentpunkt gesunken; in der pharmazeutischen Industrie hingegen um 6 Prozentpunkte gestiegen. Gesamt betrachtet ist der Umsatz mit Produktinnovationen im Verarbeitenden Gewerbe seit 2006 um 5,3 Prozentpunkte zurückgegangen. Damit lag der Rückgang in der chemischen Industrie unter dem durchschnittlichen Rückgang des Verarbeitenden Gewerbes; die pharmazeutische Industrie war dagegen eine von nur drei Branchen im Verarbeitenden Gewerbe, in denen der Anteil des Umsatzes mit Produktinnovationen gestiegen ist. Die pharmazeutische Industrie ist darüber hinaus die Branche, in der dieser Anteil eindeutig am stärksten gestiegen ist.

Qualitative Kurzanalyse: Künstliche Intelligenz in der chemischen und pharmazeutischen Industrie

Das Thema Künstliche Intelligenz (KI) (ähnlich: Maschinenlernen, Neuronale Netze oder Lernende Systeme) erfährt derzeit ein bis dato noch nicht erlebtes Momentum. So sondieren schon diverse industrielle Größen in Asien, Nordamerika und Europa auch in der chemischen und pharmazeutischen Industrie intensiv Künstliche Intelligenzen in Bereichen wie Forschung und Entwicklung, Wartung und Instandhaltung, Logistik oder Produktnachverfolgung. Die dazu notwendigen Technologien werden in der Regel permanent weiterentwickelt und erreichen gegenwärtig entweder graduelle oder bereits sprunghafte Verbesserungen.

Medienwirksam in Szene gesetzte Erfolge von Künstlichen Intelligenzen, wie beispielsweise der Sieg einer KI über amtierende GO-Weltmeister, wecken auch das Interesse der Bevölkerung – das Thema rückt mehr und mehr in den öffentlichen Diskurs und dringt in die zukünftigen Innovations- und Arbeitswelten ein (vgl. VDI Nachrichten 2017).

Es drängt sich bei einer Beobachtung der gegenwärtig geführten öffentlichen Debatte der Gedanke auf, dass Künstliche Intelligenz schon in absehbarer Zukunft den Menschen deutlich übertrumpfen könnte. Diese universelle, sogenannte starke KI ist jedoch selbst in Ansätzen nicht existent. Alle praktischen Anwendungen der KI sind heute in der Regel hochspezialisiert und ihre Fähigkeiten nicht verallgemeinerbar („schwache KI“). Jede neue Aufgabe benötigt ein umfassendes Training, das in der Regel in der Nutzungsphase andauert, ein KI-System ist also niemals wirklich fertiggestellt.

Das Vorhandensein smarterer Daten ist eine wichtige Voraussetzung für Künstliche Intelligenz. Durch das Erschließen von sehr großen Datenmengen, die als „Big Data“ bezeichnet werden, sollen in der Regel Geschäftsabläufe und Entscheidungsprozesse in Unternehmen und öffentlichen Organisationen optimiert oder automatisiert werden.

Grundlage für die massenhafte Generierung von Daten sind unter anderem vernetzte Sensoren in der Industrie, das Internet der Dinge, unstrukturierte Daten aus dem World Wide Web oder die Abwicklung digitaler Geschäftsprozesse. In der Industrie werden zudem Maschinenzustände statt wie früher im Viertelstundentakt inzwischen sekundlich gemessen (Henkel 2017). Entscheidend ist damit heute, dass diese Daten nicht nur für die jeweiligen, direkten Prozesse genutzt werden, sondern auch durch Kombination unterschiedlicher Datenquellen neue Erkenntnisse gewonnen werden.

Vereinfacht wird das sogenannte Veredeln von Daten als „Smart Data“ bezeichnet. In unstrukturierten Daten können mittels der inzwischen verfügbaren enormen Rechenleistung durch statistische Analysen verborgene Muster erkannt („Mustererkennung“) und scheinbar kausale Beziehungen hergestellt werden, die Antworten außerhalb des Erwarteten geben können (Jähnichen 2015).

Zusammenfassend gilt Künstliche Intelligenz als eine begriffliche Beschreibung für Computersysteme, die Aufgaben nicht streng nach einprogrammierten Algorithmen, also Regeln und Rechenvorgängen, abarbeiten, sondern die mit großen Datenmengen trainiert wurden und nun „Entscheidungen“ treffen, die sie aus ihren bereits bekannten, smarten Daten ableiten (ausführlicher dazu Kaiser/Malanowski 2019).

Vier Kurzfallstudien entlang des Produktlebenszyklus

Im Folgenden werden vier Fallbeispiele von Anwendungen Künstlicher Intelligenz in deutschen Chemie- und Pharmazieunternehmen im Rahmen einer Kurzanalyse diskutiert, die die Bedeutung von KI für die Unternehmen und ihre Arbeitnehmer bereits in einem frühen Innovationsstadium verdeutlichen. Wie in Abbildung 19 dargestellt, gliedern sich die Fallbeispiele entlang des Produktlebenszyklus und um fassen Forschung und Entwicklung (BASF), Lieferketten und Logistik (Merck), Wartung und Instandhaltung (Evonik Industries) sowie Produktnachverfolgung/Arzneimittelsicherheit (Bayer). Die vorgestellten Ergebnisse beruhen auf leitfaden-gestützten Experteninterviews mit Betriebsräten, Technologen und Vertretern des Managements in den jeweiligen Unternehmen.

Es ist davon auszugehen, dass solche oder vergleichbare – neben ganz neuen – Anwendungen Künstlicher Intelligenz zunehmend in weiteren Unternehmen der chemischen und pharmazeutischen Industrie in Deutschland Einzug in die betriebliche Praxis finden werden. Die vorgestellten Kurzfallstudien skizzieren somit beispielhaft zukünftige Entwicklungen in den Unternehmen der chemischen und pharmazeutischen Industrie im Zuge von KI.

Abbildung 19: Vier Kurzfallstudien entlang des Produktlebenszyklus

Produktlebenszyklus	Projekt	Unternehmen	Branche
Forschung & Entwicklung	Supercomputer Curiosity	BASF	Chemie
Logistik	Self-Driving Supply Chain	Merck	Pharmazie
Wartung & Instandhaltung	Predictive Maintenance	Evonik	Chemie
Produktnachverfolgung	Arzneimittelsicherheit (Pharmakovigilanz)	Bayer	Pharmazie

Quelle: Darstellung des VDI TZ.

Anwendung Künstlicher Intelligenz in Forschung und Entwicklung bei BASF

Kontext – Kurzumriss BASF

Die BASF-Gruppe ist das umsatzstärkste Chemieunternehmen weltweit (Stand 2017). In Deutschland zählte das Unternehmen im Jahr 2018 ca. 56.000 Mitarbeiter, was knapp 46 Prozent der weltweiten Belegschaft (122.000) entspricht. Wichtigster Standort ist der Hauptsitz in Ludwigshafen, wo knapp 40.000 Mitarbeiter, oder ein Drittel der weltweiten Belegschaft, beschäftigt sind. Der Supercomputer Curiosity, der im Folgenden als KI-Anwendung analysiert wird, befindet sich am Standort Ludwigshafen.

Die BASF-Gruppe gliedert sich in sechs Segmente: Chemicals, Materials, Industrial Solutions, Surface Technologies, Nutrition & Care und Agricultural Solutions. Damit ist das Unternehmen Zulieferer für so vielfältige Branchen wie die chemische und kunststoffverarbeitende Industrie, die Automobil-, Bau- und Elektronikindustrie, die Landwirtschaft, Nahrungsmittel- und Futtermittelindustrie, sowie die pharmazeutische, die Kosmetik-, und die Reinigungsmittelindustrie.

Forschung und Entwicklung nehmen bei BASF SE eine wichtige Rolle ein. Mit mehr als 11.000 Mitarbeitern arbeiteten 2018 etwa 9 Prozent der weltweiten Belegschaft im Bereich Forschung und Entwicklung. Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung beliefen sich 2018 auf rund 3 Prozent des weltweiten Umsatzes, was in etwa dem Branchendurchschnitt in der chemischen Industrie entspricht (vgl. Aufwendungen für Forschung und Entwicklung). Wichtige Standorte in Forschung und Entwicklung sind – neben Ludwigshafen – in Deutschland Münster, Lemförde und Trostberg sowie Schanghai (China) und Research Triangle Park/North Carolina (USA), wobei weltweit an rund 70 Standorten Forschungsaktivitäten stattfinden (BASF 2019).

Technischer Hintergrund

Immer häufiger nutzen Wissenschaftler Big Data, Maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz als Unterstützung bei ihrer täglichen Arbeit. Anwendungsfälle sind insbesondere Simulationen, das Erkennen von Zusammenhängen in großen Datenmengen sowie Vorhersagen.

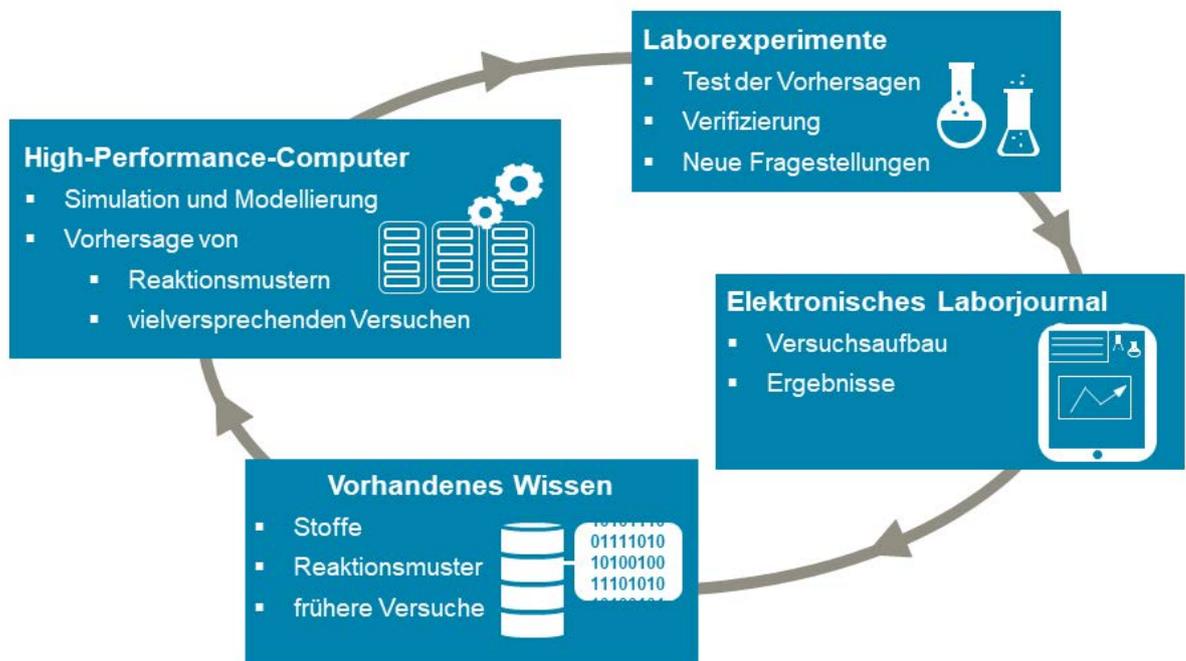
Insbesondere bei großen Datenmengen kann künstliche Intelligenz mittels maschinellem Lernen Zusammenhänge erkennen, die mit herkömmlichen statistischen Methoden deutlich schwerer zu entdecken wären. Gleiches gilt für Simulationen, allerdings werden hier nicht allein Zusammenhänge analysiert, sondern einzelne Parameter oder Größen gezielt so verändert, dass die Auswirkungen dieser Veränderungen auf andere Variablen oder das Gesamtsystem untersucht werden können. Ein Beispiel hierfür ist in der chemischen Industrie die Simulation von Formulierungen. Durch die Einbeziehung des Zufalls in wiederholte Analysen kann ein besseres Verständnis von Wahrscheinlichkeiten generiert werden – als ein Beispiel hierzu ließe sich nennen, wie eine neue Waschmittelformulierung im alltäglichen Gebrauch auf unterschiedliche Formen von Schmutz reagiert (vgl. Dostert 2019). Aus zehntausenden oder auch hunderttausenden möglichen Kombinationen von Waschmittelinhaltsstoffen und Schmutzarten können durch Simulationen diejenigen ausgewählt werden, die am besten mit den jeweiligen Anforderungen der Kunden übereinstimmen.

Gleichwohl werden Laborexperimente weiterhin notwendig sein, allerdings können sie gezielter ausgewählt und durchgeführt werden (vgl. Abbildung 20). Mit Hilfe von statistischer Versuchsplanung, Modellierung, statistischer Analyse, Machine Learning und Künstlicher Intelligenz können Mitarbeiter in Forschung und Entwicklung sich gezielter auf diejenigen Experimente und Versuchsaufbauten konzentrieren, die beson-

ders vielversprechend sind. Dies führt dazu, dass neue Produkte schneller entwickelt oder aber Produkte entwickelt werden können, die außerhalb des bisherigen „Suchradius“ lagen. Künstliche Intelligenz kann auf diese Weise – so die Einschätzung der befragten Experten – die Innovationskraft eines Unternehmens oder ganzer Branchen steigern.

Anwendungsfelder komplexer Simulationen in Forschung und Entwicklung finden sich in nahezu allen Industrien sowie z. B. auch in der Klimaforschung.

Abbildung 20: Künstliche Intelligenz in Forschung und Entwicklung



Quelle: Darstellung des VDI TZ.

Umsetzung bei BASF

Nach einem Jahr Vorlaufzeit wurde der Supercomputer *Curiosity* im Oktober 2017 bei der BASF in Anwendung genommen (BASF 2017b). Er befindet sich zwar am Standort Ludwigshafen, kann aber von Mitarbeitern weltweit genutzt werden. Bis zu 1,75 Billionen Rechenoperationen können pro Sekunde durchgeführt werden, was in etwa der Rechenleistung von 50.000 Notebooks entspricht (Dostert 2019).

Die enorme Rechenleistung ist insbesondere notwendig, um eine große Anzahl möglicher chemischer Formulierungen, inklusive Material- und Systemeigenschaften zu modellieren und zu simulieren. Neue Formulierungen können auf diese Weise zuerst in Simulationen und Modellierungen getestet werden, bevor ein Laborexperiment stattfindet. Damit kann die Anzahl notwendiger Laborexperimente reduziert werden; gleichzeitig können Laborexperimente gezielter aufgebaut werden.

Durch seine große Rechenkapazität kann *Curiosity* deutlich komplexere Modelle simulieren und mehr Parameter variieren, als vor seiner Einführung möglich war. Laut Firmeninformation steht den Mitarbeitern durch die Einführung des Supercomputers eine etwa zehnmals höhere Rechenleistung zur Verfügung als zuvor (BASF 2017b). Zudem führt die Einführung des Supercomputers zu weiterer Unabhängigkeit, da vor seiner Einführung teilweise bedarfsorientiert Rechenkapazitäten gebucht wurden.

Die befragten Interviewpartner betonen, dass gerade beim bisweilen sehr langen, mehrjährigen Forschungsprozess an neuen Formulierungen mit erheblichen Zeiteinsparungen zu rechnen sei. Aufgrund der oft sehr langen Versuchsreihen sind nach Einschätzung der befragten Experten zum aktuellen Zeitpunkt noch keine klaren Auswirkungen auf durchschnittliche Produktentwicklungszeiten zu erkennen. Andererseits werden Erfolge in Versuchsreihen mit Lackklassen genannt. So hat *Curiosity* bei der Entwicklung eines neuen, gegen Verfärbungen resistenteren Möbel-Lackes eine Formulierung vorhergesagt, die allen anderen entwickelten Varianten überlegen war (vgl. Hofmann 2017). Dies kann als Beispiel dafür gelten, wie durch Simulationen bislang verborgene Zusammenhänge erkannt und als neuartige Formulierungen umgesetzt werden können (vgl. BASF 2017b).

In den Interviews wurde weiterhin betont, dass die Arbeit mit dem Supercomputer eng mit anderen Aspekten der Digitalisierung verbunden ist. Insbesondere ist hier das elektronische Labor-Journal zu nennen, in dem Versuchsaufbauten und -ergebnisse in maschinenlesbarer Struktur festgehalten werden (vgl. Abbildung 20). Liegen die Daten in der richtigen Struktur vor, kann in Zukunft der Supercomputer auf das gesamte Wissen vergangener Versuchsreihen zurückgreifen und so seine Vorhersagen und sein Verständnis chemischer Reaktionen und Eigenschaften weiter optimieren. Künstliche Intelligenz kann in diesem Sinne mit jedem durchgeführten Versuch „mitlernen“; eine große Herausforderung bleibt hier aber die Qualität der eingespeisten Daten. In diesem Zusammenhang ist es nach Einschätzung der befragten Fachleute wichtig, Labormitarbeitern ein Verständnis dafür zu vermitteln, warum das Festhalten von Ergebnissen, Versuchsaufbauten und Rahmenbedingungen in

einer exakten Struktur zu erfolgen hat. Zusätzlich könnten in der Zukunft ältere, handgeschriebene Labor-Journale mittels Künstlicher Intelligenz in eine maschinenlesbare Struktur umgewandelt werden – hierbei handelt es sich zum aktuellen Zeitpunkt allerdings noch um Zukunftsvisionen.

Über den Bereich Forschung und Entwicklung hinaus kann der Supercomputer in anderen Bereichen angewendet werden, und zwar generell überall dort, wo große Rechenleistung benötigt wird. Weitere mögliche Anwendungsfälle des Supercomputers sind z. B. die Analyse von Preis- oder Konjunkturentwicklungen, vorausschauende Wartung und die Verbesserung von Lieferketten.

Die KI-Anwendung im Kontext von Arbeit und Qualifizierung

Sämtliche befragte Fachleute bei der BASF betonen, dass dem Supercomputer insbesondere eine Unterstützungsfunktion zukommt. Der Supercomputer soll – wie oben bereits angedeutet – die Mitarbeiter dabei unterstützen, schneller und zielgerichteter Experimente durchzuführen; das eigentliche Durchführen der Experimente bleibt allerdings Domäne des Menschen. Ein Interviewpartner äußerte sich hierzu wie folgt: „Der Supercomputer macht nur Vorschläge. Die Substanzen müssen nach wie vor im Labor hergestellt, charakterisiert und getestet werden.“ Darüber hinaus wurde hervorgehoben, dass Vorschläge des Supercomputers vor ihrer Umsetzung von Mitarbeitern mit langjähriger Erfahrung geprüft werden. Der Supercomputer unterliegt somit gewissermaßen der Supervision erfahrener Mitarbeiter. Zudem wird jeder Vorschlag des Supercomputers vor einer möglichen Anwendung in einer langen Reihe echter, d. h. nicht simulierter Experimente getestet.

Weder von Management- noch von Betriebsratsseite werden gegenwärtig negative Einflüsse des Supercomputers auf die Anzahl vorhandener Arbeitsplätze gesehen. Einfache Tätigkeiten, die durch Automatisierung in den Laboren wegfallen könnten, gäbe es schon seit längerer Zeit nicht mehr. Diese Arbeitsplätze seien in der chemischen Industrie bereits in einer früheren Automatisierungswelle entfallen. Heute verlangten alle Tätigkeiten in Forschung und Entwicklung eine hohe Qualifizierung, die auch Künstliche Intelligenz in absehbarer Zeit nicht ersetzen könne.

Gleichzeitig sehen die befragten Fachleute Veränderungen in Arbeitsinhalten und Anforderungen. Wichtig erscheint den Befragten ein grundsätzliches Verständnis für die Funktionsweise künstlich intelligenter Systeme wie die des Supercomputers. Nur auf diese Weise könnten Mitar-

beiter effizient mit einem System wie dem Supercomputer kooperieren. Als ein Beispiel hierfür gilt, dass Daten zu durchgeführten Laborexperimenten von den Mitarbeitern nach einer speziellen Struktur erfasst werden müssen, damit der Supercomputer die Information „dechiffrieren“ und in seine Berechnungen mit einbeziehen kann. Auch ein Verständnis dafür, dass Berechnungen des Supercomputers in vielen Fällen auf Wahrscheinlichkeiten und Modellannahmen beruhen, kann Mitarbeiter befähigen, eine aufgeklärte und kritische Haltung gegenüber den Vorhersagen des Supercomputers einzunehmen.

Nach Einschätzung aller befragten Fachleute wird in Zukunft die Nachfrage nach Spezialisten wie Data Scientists, Computer Scientists und Modellierern weiter steigen. Obwohl die BASF nach eigenen Angaben in den vergangenen Jahren innerhalb der Digitalisierungseinheit in diesem Bereich bereits stark rekrutiert hat, wird die Nachfrage weiterhin auf hohem Niveau bleiben. Besonders gefragt werden Kombinationen von Qualifikationen sein, so z. B. Mitarbeiter mit einem Hintergrund in Chemie und gleichzeitigen Kenntnissen in Maschinellem Lernen, Künstlicher Intelligenz und Big Data.

Betont wurde von einem Interviewpartner, dass man zwischen Künstlicher Intelligenz und Kreativität unterscheiden müsse. Kreativität äußere sich unter anderem darin, auch einmal von vorgegebenen Pfaden abzuweichen und bewusst „etwas anderes zu tun“. In der Geschichte der BASF gäbe es dafür durchaus erfolgreiche Beispiele. Künstliche Intelligenz hingegen lerne aus der Vergangenheit – und könne dies aufgrund ihrer ausgeprägten Fähigkeit, großen Mengen an Daten gleichzeitig Beachtung zu schenken, häufig besser als der Mensch. Aber insbesondere im Zusammenspiel von Mensch und Künstlicher Intelligenz stecke das größte Potenzial, um neue und kreative Lösungen für die Fragestellungen der Zukunft zu finden.

Künstliche Intelligenz für Wartung und Instandhaltung bei Evonik Industries

Kontext – Kurzumriss Evonik Industries

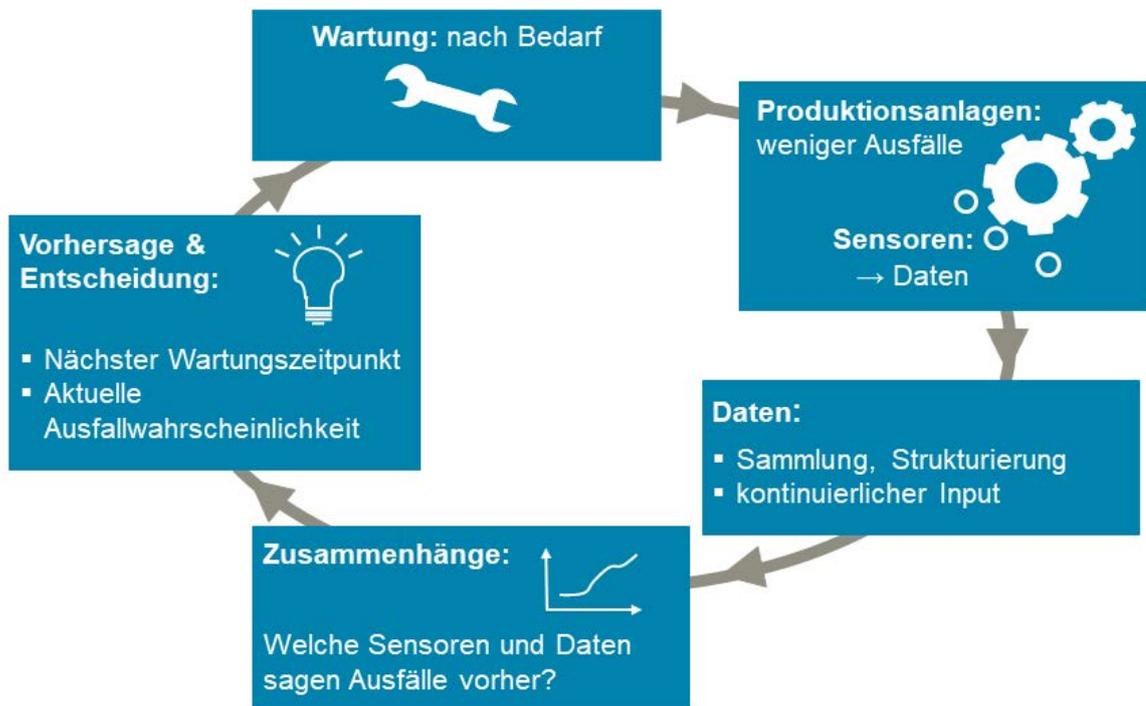
Mit einer langen Geschichte in den Bereichen Chemie, Energie und Immobilien (RAG, Degussa) ist die Evonik Industries AG heute ein reiner Spezialchemiekonzern und befindet sich auf Platz acht der umsatzstärksten deutschen Chemieunternehmen (Evonik 2019; GeVestor 2018). Der Hauptsitz von Evonik Industries befindet sich in Essen; die Zahl der weltweiten Mitarbeiter belief sich zuletzt auf rund 36.500. Rund

60 Prozent der Belegschaft, das entspricht ca. 21.800, sind in Deutschland beschäftigt (Stand 2016). Zu den größten Produktionsstandorten zählen Marl, Wesseling, Rheinfelden (Deutschland), Antwerpen (Belgien), Mobile (Alabama, USA), Schanghai (China) und Singapur.

Als Spezialchemiekonzern produziert Evonik nach eigenen Angaben insbesondere kundenspezifische Spezialprodukte in jeweils vergleichsweise kleinen Chargen. Folglich muss die Produktion flexibel gestaltet sein, da die Produktionsprozesse häufig anzupassen sind. Dies hat auch Konsequenzen für die Anwendung von Künstlicher Intelligenz im Bereich vorausschauende Wartung und Instandhaltung (Predictive Maintenance), wie im Weiteren dargestellt wird. Abnehmer sind unter anderem die Konsumgüterindustrie, die Automobil-, Bau- sowie die Kunststoff- und Agroindustrie. Seit 2017 besteht zudem die Evonik Digital GmbH, die neue digitale Geschäftsmodelle, Prototypen, relevante Netzwerke und Kompetenzen im Bereich Digitalisierung erprobt, entwickelt und aufbaut. Beispielsweise hat die Evonik Digital nach Aussagen der befragten Fachleute maßgeblich zur Entwicklung von diversen Anwendungen Künstlicher Intelligenz beigetragen, unter anderem im Bereich Predictive Maintenance.

Forschung und Entwicklung nehmen bei Evonik Industries eine wichtige Rolle ein; das Unternehmen betont eine „kundennahe Innovationskraft“ (Evonik 2018). Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung betragen zuletzt rund 3,2 Prozent des weltweiten Umsatzes, was in etwa dem oben erwähnten Branchendurchschnitt von 2,9 Prozent in der chemischen Industrie entspricht (Aufwendungen für Forschung und Entwicklung). Rund 2.800, oder 7,7 Prozent der weltweiten Mitarbeiter waren 2017 im Bereich Forschung und Entwicklung tätig. Laut Konzernangaben stammten im Jahr 2016 zehn Prozent des Umsatzes aus Produkten und Anwendungen, die in den fünf vorhergehenden Jahren entwickelt wurden (Evonik 2017).

Abbildung 21: Künstliche Intelligenz in Wartung und Instandhaltung



Quelle: Darstellung des VDI TZ.

Technischer Hintergrund

Vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) ist ein Verfahren, bei dem Sensor- und Produktionsdaten genutzt werden, um mögliche Ausfälle von Maschinen, Apparaten, Aggregaten oder (Teil)anlagen (allgemein: Assets) vorhersagen zu können. Auf Grundlage der Vorhersagen kann die Anlage vorausschauend gewartet werden – bevor es zum Ausfall kommt (vgl. Luber/Litzel 2017). Je nach Instandhaltungsstrategie können Verschleißteile auch bis kurz vor dem physikalischen Lebensende im Einsatz bleiben und müssen nicht präventiv vorzeitig getauscht werden. Dies kann Ausfallzeiten verringern oder eliminieren, Kosten sparen und Planbarkeit und Betriebssicherheit erhöhen (vgl. Luber/Litzel 2017; Schreiner/Moßner 2018).

Predictive Maintenance in Verbindung mit künstlicher Intelligenz setzt sich aus den folgenden Schritten zusammen (vgl. Abbildung 21):

- **Datengenerierung:** An den Anlagen werden durch Sensorik Daten erfasst, in der Regel sowohl Zustands- als auch Nutzungsdaten (Vibra-

tion, Temperatur, aktuelle und vergangene Produktionsprozesse etc.). Eine Herausforderung bei diesem Schritt ist es, sich auf die Erfassung solcher Daten zu konzentrieren, die besonders gut für eine Vorhersage von möglichen Ausfällen geeignet sind. Die Identifikation genau dieser Daten ist ein iterativer Prozess, der mit einer längeren Anwendungsdauer von Predictive Maintenance weiter verfeinert werden kann. Hier ist laut den befragten Experten Prozesswissen („domain knowledge“) gefragt, das die Anbieter kommerzieller Software-Lösungen aus der Fertigungsindustrie oder die Lieferanten von Maschinen und Pumpen in der Regel nur begrenzt mitbringen.

- *Datenstrukturierung*: Maschinelles Lernen ist nur möglich, wenn Daten in einem für die Künstliche Intelligenz „verständlichen“ Format vorliegen. Die Strukturierung der Daten ist deshalb ein zentraler, aber häufig unterschätzter Arbeitsschritt (vgl. Wickham 2014).
- *Erkennen von Zusammenhängen*: Aus einer großen Menge historischer Daten erkennt die Künstliche Intelligenz Zusammenhänge und typische Muster: Welcher Zustand und welche Nutzung der Anlage geht einem Ausfall voraus? Wie verändern sich Zustände der Anlage vor einem Ausfall? Die erkannten Zusammenhänge werden in einem sogenannten Modell abgebildet.
- *Vorhersage*: Die erkannten Zusammenhänge in historischen Daten überträgt die Künstliche Intelligenz auf die aktuelle Situation und generiert so eine Vorhersage: Was ist die aktuelle Ausfallwahrscheinlichkeit? Zu welchem Zeitpunkt wird die Anlage voraussichtlich ausfallen, wenn nicht gewartet wird?
- *Bedarfsorientierte Wartung*: Auf Grundlage dieser Vorhersagen können Wartungstechniker entscheiden, ob und wann eine Wartung sinnvoll ist.

Vorausschauende Wartung lohnt sich besonders dort, wo große und teure Anlagen und Aggregate kontinuierlich im Einsatz sind und wo unvorhergesehene Ausfälle schwer zu beheben sind (Müller 2018). Predictive Maintenance ist nicht auf die chemische Industrie beschränkt, sondern kann in weiten Bereichen der Fertigungsindustrie und z. B. auch bei Kraftwerken und Windturbinen Anwendung finden. Im Idealfall entsteht ein Teil des Mehrwerts auch dadurch, dass die Hintergrundprozesse der Wartung und Instandhaltung (z. B. Ressourceneinsatzplanung, Ersatzteilbeschaffung) automatisiert stattfinden können.

Umsetzung bei Evonik Industries

2016 startete Evonik die Erprobungsphase für Predictive Maintenance in der Anlageninstandhaltung. Schon zuvor wurde die direkte Beobachtung der Produktionsanlagen durch Instandsetzungspersonal nach und nach mit halbautomatisierten Überwachungsmethoden wie Vibrations- oder Ölanalysen ergänzt und teilweise ersetzt. Die daraus gewonnenen Daten werden heute meist offline und in bestimmten Zeitspannen ausgewertet (z. B. wöchentlich). Regelmäßige Wartungen an den Aggregaten und Anlagen finden weiterhin laufzeitbasiert und während der Revisionen, z. B. in einem Ein- oder Zweijahresrhythmus statt. Zu großen Teilen müssen Anlagen dann auseinandergelassen werden; verbaute Teile werden im Zuge dessen basierend auf Erfahrungswerten und Herstellerangaben ausgetauscht.

Für einige ausgewählte Anlagen wird dieser Wartungsprozess aktuell bereits durch vorausschauende Wartung ergänzt. Es handelt sich hierbei um große Anlagen mit teuren Komponenten wie Kompressoren (Hochdruckprozesse) und Package-Units wie z. B. Kühlaggregate. Sequenziell soll nach Aussage der befragten Experten Predictive Maintenance auf weitere Anlagen ausgeweitet werden und bei neuen Anlagen von vornherein mitgedacht werden. Für einen ersten Piloten (Proof-of-Concept) wurde externe Expertise eingeholt. Aufgrund von Datensicherheit und Nutzbarkeit wird Predictive Maintenance aktuell als interne Dienstleistung des internen technischen Bereichs weiterentwickelt.

Eine Herausforderung bei der Umsetzung von Predictive Maintenance im Bereich Spezialchemie ist die Gewinnung einer ausreichend großen Menge an Daten. Die Vorhersagen der Künstlichen Intelligenz werden umso zuverlässiger, je mehr qualitativ hochwertige Daten ihr zugeführt werden. Mit anderen Worten: Je mehr Daten, desto besser die Vorhersage. Allerdings sind aus der Sicht der befragten Fachleute in der Spezialchemie viele teure Produktionsmaschinen zwar baugleich, werden aber oft mit Spezialanfertigungen umgerüstet. Demnach sind die Produktionsbedingungen immer anders und es braucht länger, bis ein entsprechender Datenfundus zusammenkommt.

Trotzdem konnten bereits durch den Einsatz der KI-gestützten Predictive Maintenance während der regelmäßigen Anlagenstillstände teilweise weniger Anlagenteile ausgetauscht werden. Durch die Datenerhebung ist deutlich geworden, dass die betroffenen Anlagenteile noch gut weiterlaufen könnten. Hier sei ein entscheidender Punkt das Vertrauen in die Technologie. Für eine Quantifizierung von Konsequenzen auf Umsatz und Gewinn befindet man sich noch in einer zu frühen Phase.

Als eine weitere, nicht zu unterschätzende positive Folge von Predictive Maintenance nannten die befragten Experten die Tatsache, dass Predictive Maintenance hilft, sich als Unternehmen gegenüber Behörden und Versicherungen abzusichern. Gerade bei Anlagen, die Gefahrstoffe verarbeiten oder produzieren, ist der Betreiber verpflichtet, die Integrität der Anlage und der Assets nachzuweisen. Predictive Maintenance vereinfacht aus der Sicht der Fachleute durch kontinuierliches Monitoring und Analyse diesen Nachweis.

Die KI-Anwendung im Kontext von Arbeit und Qualifizierung

Zum aktuellen Zeitpunkt findet – wie oben erwähnt – KI-basierte Predictive Maintenance bei ausgewählten Assets Anwendung. Mit einer Ausweitung auf weitere Anlagen wird ein wachsender Teil der Belegschaft zumindest indirekt mit vorausschauender Wartung in Berührung kommen. Die befragten Interviewpartner – sowohl von Management- als auch von Betriebsratsseite – betonen, dass aus ihrer Sicht vorausschauende Wartung Anlagentechniker und Wartungsmitarbeiter auch in der Zukunft nicht ersetzen wird, da Maschinen weiterhin gewartet werden müssen – nur eben zielgerichteter und punktgenauer. Vorausschauende Wartung macht das Austauschen von Anlagenteilen nicht obsolet, sondern bewirkt allein ein genaueres Timing der Wartung. Darüber hinaus können Ausfälle von Assets verhindert werden, die in der Gesamtanlage u. U. zu gefährlichen Folgesituationen führen könnten. Gerade in einer Branche, in der schon von Gesetzgeberseite her hohe Auflagen unter anderem zum Umgang mit Gefahrstoffen existieren, würden Algorithmen – so die befragten Fachleute – „auf Herz und Nieren“ getestet, bevor sie Planungsgrundlage für Wartungen werden können.

Gleichzeitig wird vorausschauende Wartung aus der Sicht der Befragten Veränderungen für Arbeitnehmer mit sich bringen. Besonders betont wurde die Fähigkeit der Arbeitnehmer, mit der Künstlichen Intelligenz zu interagieren. Ähnlich wie im Fallbeispiel bei der BASF hinsichtlich der Laborjournale kommt es darauf an, dass Wartungsmitarbeiter Wartungsprotokolle in einem strukturierten, für die Künstliche Intelligenz verständlichen Format einspeisen. Nur auf diese Weise kann die Künstliche Intelligenz Wartungsprotokolle in ihre Vorhersagen mit einbeziehen. Darüber hinaus gehen die befragten Fachleute davon aus, dass Mitarbeiter in Zukunft mit smarten Geräten ausgestattet sein werden, die Störungen melden, bevor sie eintreten. Für die Zukunft ist auch eine Sprachsteuerung dieses Geräts aus der Sicht der Befragten denkbar, so

dass Techniker das Gerät steuern können, ohne ihre Arbeitshandschuhe auszuziehen. Auch Videoassistenzsysteme, Augmented Reality und Fernwartung sind für die Zukunft angedacht.

Als eine weitere zentrale Kompetenz wird von den Interviewpartnern die Fähigkeit des datenbasierten Entscheidens genannt. Dies beinhaltet, dass die Künstliche Intelligenz nicht einfach eine Arbeitsanweisung (Warten oder nicht Warten), die einer Black Box entspringt, „auspuckt“. Vielmehr wird die Künstliche Intelligenz Wahrscheinlichkeiten, inklusive ihrer Unsicherheiten anzeigen. Zudem soll sie anzeigen können, welche Indikatoren sie zu ihrer Vorhersage führen. Dies wäre vergleichbar mit einer smarten Tankanzeige im Auto, die ihre Entscheidungsgrundlage offenlegt: Auf Grundlage des typischen Fahrverhaltens an einem Montagmorgen verbleiben voraussichtlich 43 Kilometer, wahrscheinlich aber zwischen 37 und 49 Kilometern. Nun kann ein Autofahrer selbst entscheiden, ob es sich um einen typischen Montagmorgen handelt, oder ob die heute vor ihm liegende Strecke mit höherer Geschwindigkeit als gewöhnlich gefahren wird. Seine Entscheidungsgrundlage wird also erweitert und verbessert. Die Entscheidung wird ihm aber nicht abgenommen.

Um die Beschäftigten bereits heute auf diese zukünftigen Anforderungen vorzubereiten, bietet Evonik nach eigenen Aussagen seinen Mitarbeitern die Möglichkeit, Zusatzqualifikationen in den Bereichen digitale Instandhaltung und digitale Produktion zu erwerben. Die Zusatzqualifikation „Digitalisierung und vernetzte Produktion“ wurde auf Sozialpartnerebene zwischen dem BAVC und der IG BCE auf den Weg gebracht und kann seit 2018 von allen Unternehmen genutzt werden, die Chemikanten ausbilden (vgl. BAVC 2018).

Künstliche Intelligenz für Lieferketten und Logistik bei Merck Healthcare

Kontext – Kurzumriss Merck

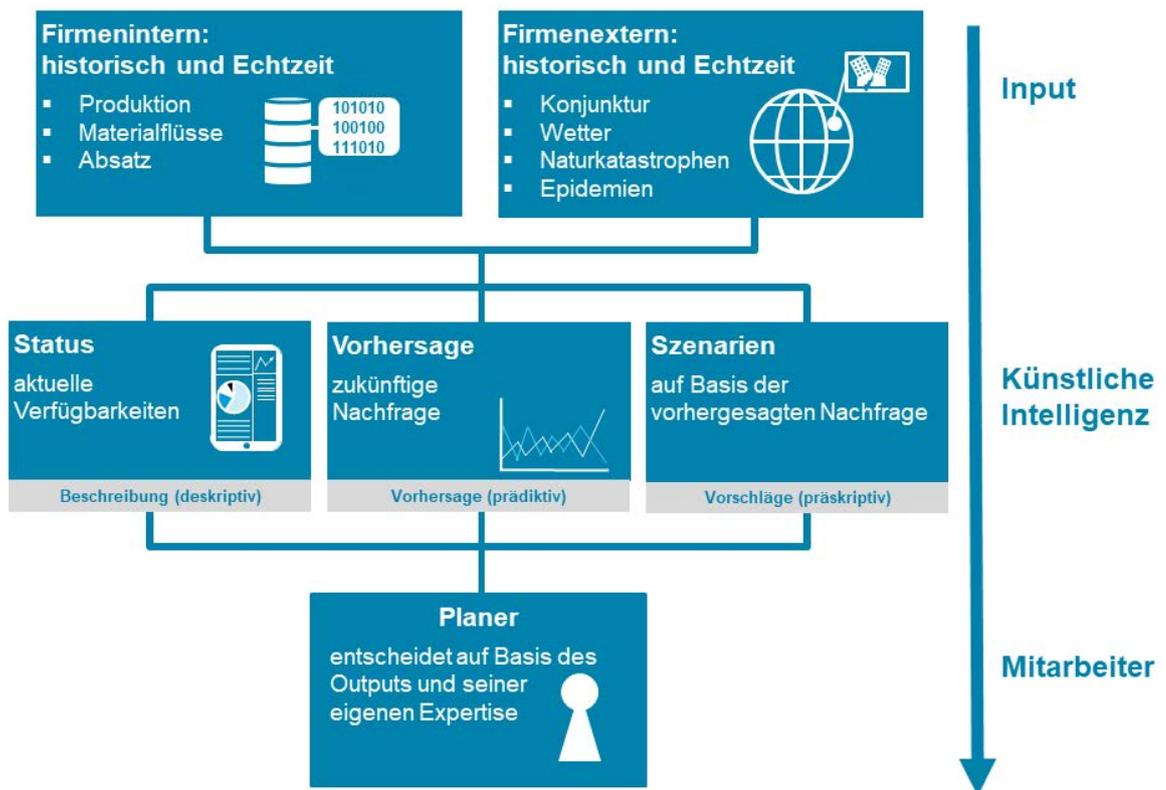
Die Merck KGaA ist ein global tätiges deutsches Unternehmen in der Chemie- und Pharmaindustrie. Knapp 53.000 Mitarbeiter waren 2017 weltweit bei Merck beschäftigt, rund 13.000 davon, das entspricht einem Viertel, in Deutschland (Merck 2018). In Deutschland befindet sich Merck an insgesamt 12 Standorten, wobei der Firmensitz in Darmstadt den mit Abstand größten Standort darstellt.

Bei Merck findet sich eine Aufteilung in die Unternehmensbereiche Healthcare, Life Science und Performance Materials. Merck Healthcare

entwickelt und produziert Arzneimittel unter anderem zur Behandlung von Krebs, Multipler Sklerose und Unfruchtbarkeit. Der Bereich Life Science bietet und erforscht Labormaterialien, Technologien und Dienstleistungen für Forschung und Biotechproduktion an. Performance Materials entwickelt Spezialchemikalien wie Flüssigkristalle, Lacke bis hin zu High-Tech für die Herstellung integrierter Schaltkreise.

Forschung und Entwicklung nehmen eine hervorgehobene Rolle bei Merck ein. 2017 betrug die Ausgaben für Forschung und Entwicklung 14 Prozent des Umsatzes, was deutlich über dem Durchschnitt der Pharmabranche von 8,6 Prozent liegt (Merck 2017, vgl. Aufwendungen für Forschung und Entwicklung). Knapp 13 Prozent der weltweiten Mitarbeiter arbeiteten 2017 im Bereich Forschung und Entwicklung. Wichtigster Forschungsstandort ist dabei Darmstadt, weitere wichtige Standorte sind unter anderem Reinbek bei Hamburg, Molsheim (Frankreich), Japan, Taiwan, die USA und Nantong (China).

Abbildung 22: Künstliche Intelligenz für Lieferketten und Logistik



Quelle: Darstellung des VDI TZ.

Technischer Hintergrund

Logistik und Lieferketten spielen nicht nur bei Merck Healthcare, sondern allgemein bei Industrieunternehmen eine kritische Rolle, denn sie haben einen entscheidenden Einfluss auf Umsatz und Margen. Zwei teilweise widersprüchliche Ziele müssen dabei gleichzeitig verfolgt und ausbalanciert werden. Auf der einen Seite sollen Lager- und Logistikkosten reduziert werden und Weiterverarbeitung bzw. Absatz deshalb möglichst schnell und eng getaktet erfolgen (z. B. Just-in-time-Produktion). Auf der anderen Seite sollen immer ausreichend Waren vorhanden sein, um Produktionsstillstände zu verhindern und die bestehende Nachfrage jederzeit decken zu können.

Um diese widersprüchlichen Ziele optimal miteinander zu verbinden und zeit- und mengengenau zu liefern, sind exakte Analysen und präzise Vorhersagen notwendig. Insbesondere in großen Unternehmen fallen große Datenmengen an, die sinnvoll miteinander verknüpft und den Planern zur Verfügung zu stellen sind. Künstliche Intelligenz kann hier eine wichtige Hilfe darstellen.

In einem ersten Schritt sind unterschiedliche Daten miteinander zu verknüpfen. Hierzu gehören Daten zu aktueller Produktion, aktuell stattfindenden Materialflüssen und aktueller Nachfrage (vgl. Abbildung 22). Von großer Bedeutung für die Künstliche Intelligenz sind auch historische Daten, d. h. frühere Produktion, Materialflüsse und Nachfrage, denn die Künstliche Intelligenz kann in der Vergangenheit Muster erkennen und diese auf die Gegenwart übertragen. Vergangenheitsbezogene Informationen sind somit das Wissen, aus dem die Künstliche Intelligenz lernt. Zusätzlich zu firmeninternen Informationen wie Materialflüssen und Produktion können auch globale, firmenexterne Informationen integriert werden, wie Konjunkturdaten für verschiedene Länder, Wetterdaten, aber auch Informationen zu Epidemien und Naturkatastrophen. All dies sind Aspekte, die die aktuelle und zukünftige Nachfrage hinreichend beeinflussen können.

Aus diesem Input kann die Künstliche Intelligenz dreierlei generieren (vgl. Abbildung 22). Ein wichtiger erster Aspekt liegt in der Visualisierung und Verfügbarmachung des aktuellen Status in Nachfrage, Produktion und Materialflüssen. Hier ist es wichtig, aus einer überaus großen Menge an Informationen diejenigen zusammenzufassen und darzustellen, die für die jeweilige Fragestellung und für den jeweiligen Planer von Bedeutung sind. In einem zweiten Schritt kann die Künstliche Intelligenz auf Basis der ihr zur Verfügung gestellten Daten die zukünftige Nachfrage „vorhersagen“. Ein Beispiel des Lernens aus historischen Daten liegt darin, dass bestimmte Pharmazeutika zu einer gewissen Jahreszeit in

bestimmten Ländern besonders nachgefragt sind. Grund dafür können jährlich wiederkehrende Grippewellen oder jahreszeitlich höhere Risiken einer Malariaerkrankung sein (vgl. Greenwood et al. 2017). In einem dritten Schritt kann die Künstliche Intelligenz verschiedene Szenarien simulieren: Wie würde sich z. B. der Umsatz entwickeln, wenn eine größere Menge als in vergangenen Jahren produziert und geliefert wird?

Auf Basis der Statusanzeige, der Vorhersagen und Szenariensimulation kann der Planer über Produktion und passende Materialflüsse entscheiden. Die Entscheider bleiben also gegenwärtig die Mitarbeiter; die notwendigen Informationen und Entscheidungsgrundlagen liefert die Künstliche Intelligenz.

Umsetzung bei Merck Healthcare

Seit 2017 unterstützt eine Künstliche Intelligenz Lieferketten und Logistik bei Merck Healthcare. Das Ziel liegt darin, die Synchronisierung von Nachfrage und Angebot zu erreichen. Vor Implementierung des aktuellen Systems wurde ein Benchmarking durchgeführt. Hierbei wurden Servicegrad und Fehlmengen drei verschiedener Planer miteinander verglichen: eines menschlichen Planers mit langjähriger Erfahrung, der Planungssoftware eines externen Anbieters sowie einer Künstlichen Intelligenz. In der Mehrzahl der Fälle erwies sich die eingesetzte Künstliche Intelligenz als überlegen. Der Anteil rechtzeitiger Lieferungen (Servicegrad) war am größten, zu viel gelieferte Mengen (Fehlmengen) am niedrigsten. Allerdings stellte sich bei den Tests auch heraus, dass die Kombination aus erfahrenen menschlichen Planern und Künstlicher Intelligenz der „puren“ Künstlichen Intelligenz überlegen war.

Aus diesem Grund basiert das aktuelle Planungssystem auf der Kooperation zwischen erfahrenen menschlichen Planern und Künstlicher Intelligenz – und dies, obwohl Merck seinem System in Anlehnung auf selbstfahrende Autos den Namen „Self-Driving Operations“ gegeben hat, also selbstfahrende Lieferketten. Auf Grundlage des Systems werden Lieferketten für 58 Länder geplant. Die Angebotsplanung wird von der Schweiz aus koordiniert, die Nachfrageplanung operiert in unterschiedlichen Ländern. Durch die dezentrale Nachfrageplanung kann auch die regionale Expertise der jeweiligen Planer mit einfließen.

Mit der aktuell implementierten Kombination aus erfahrenen menschlichen Planern und Künstlicher Intelligenz konnten zu viel gelieferte Mengen (Fehlmengen) laut Einschätzung eines befragten Experten um 5 bis 10 Prozent reduziert werden. Lag der Anteil rechtzeitiger Lieferungen (Servicegrad) vorher bei 96 bis 97 Prozent, liegt er heute bei

99 Prozent. Hierdurch konnte auch der Lagerumschlag erhöht werden, was Lagerkosten reduziert und den Kapitalfluss erhöht hat.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt machen historische Daten etwa 80 bis 90 Prozent der Daten aus, mit denen die Künstliche Intelligenz „gefüttert wird“; externe Echtzeitdaten wie Konjunktur und Wetter belaufen sich auf etwa 10 bis 15 Prozent. Grund hierfür ist nach Aussagen der befragten Fachleute, dass die größten Verbesserungen der Lagerhaltung durch eine Analyse historischer Entwicklungen erzielt werden können.

Bei der Kooperation zwischen Künstlicher Intelligenz und menschlichen Planern seien – so eine Befragter – Weiterentwicklung und Training der Mitarbeiter besonders wichtig. 50 Prozent der Kosten würden bei der Einführung des neuen Planungssystems in die technische Entwicklung investiert, weitere 50 Prozent in Change Management und Training der Mitarbeiter.

Die KI-Anwendung im Kontext von Arbeit und Qualifizierung²²

Trotz des Begriffs „selbstfahrende Lieferketten“, wie Merck das System nennt, handelt es sich zum aktuellen Zeitpunkt um keine Vollautomatisierung. Ein Befragter unterstreicht, dass durch die Kooperation zwischen Künstlicher Intelligenz und menschlichen Planern bessere Ergebnisse erzielt werden als durch die reine Künstliche Intelligenz. Menschliche Planungstätigkeiten seien demnach weiterhin wichtig. Gleichzeitig wird die Bedeutung einfacher Tätigkeiten, wie das Übertragen von Bestandsdaten oder auch routinemäßig durchgeführte Analysen wie das Erstellen von Excelcharts, durch die zunehmende KI-basierte Automatisierung weiter abnehmen.

Als besonders wichtige Fähigkeiten für die Zukunft werden Lernbereitschaft und kommunikative Fähigkeiten genannt. Lernbereitschaft sei notwendig, um sich in neue Formen des Arbeitens, wie die Kooperation mit einem künstlich intelligenten System, hineinfinden zu können. Diese Formen des Arbeitens seien neu für alle Mitarbeiter. Man könne nicht voraussetzen, dass die Mitarbeiter dies alles gegenwärtig bereits beherrschten, nötig wäre aber eine ausgeprägte Lernbereitschaft. Kommunikative Fähigkeiten seien nötig, um vorliegende Informationen in „Business Insight“ zu verwandeln. Die Künstliche Intelligenz würde Daten in Informationen umwandeln, allerdings müssten die Mitarbeiter weiterhin

²² Nach eigenen Angaben ist der Betriebsrat in das laufende Projekt bisher nicht involviert. Dem Betriebsrat ist darüber informiert, dass kleinere, sogenannte Proof of Concepts laufen, die evaluieren, ob Machine Learning die Prozesse verbessern kann.

diese Informationen in gewinnbringende Erkenntnisse und Entscheidungen transformieren.

Künstliche Intelligenz in der Arzneimittelsicherheit bei Bayer

Kontext – Kurzumriss Bayer

Die Bayer AG beschäftigte im Jahr 2018 rund 100.000 Mitarbeiter weltweit, davon etwa ein Viertel in Deutschland (Stand 2018, Bayer 2019). Das Unternehmen gehört zu den umsatzstärksten deutschen Unternehmen im Bereich Life Sciences. Wichtigster Standort und Sitz der Konzernzentrale ist Leverkusen. Darüber hinaus finden sich 18 weitere Standorte von Bayer in Deutschland.

Im Geschäftsbereich *Pharmaceuticals* entwickelt Bayer verschreibungspflichtige Produkte insbesondere auf den Gebieten Herz-Kreislauf und Frauengesundheit sowie auf Spezialtherapeutika in den Bereichen Onkologie, Hämatologie und Augenheilkunde. Zu der Division zählt auch das Geschäftsfeld Radiologie mit Medizingeräten zum Einsatz in der diagnostischen Bildgebung sowie mit hierfür benötigten Kontrastmitteln.

Forschung und Entwicklung spielen bei Bayer eine herausgestellte Rolle. Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung betragen im Jahr 2018 in der *Pharmaceuticals*-Sparte des Unternehmens 15,5 Prozent bezogen auf den Umsatz. In diesem Bereich arbeiten rund ein Drittel der Mitarbeiter.

Wichtige Forschungs- und Entwicklungszentren im Pharmabereich des Unternehmens sind Berlin, Wuppertal und Köln, San Francisco und Berkeley in den USA, Turku in Finnland, Basel in der Schweiz, Tokio und Osaka in Japan, Peking in China, Oslo in Norwegen sowie Singapur (Bayer 2019). Zudem wird ein weltweites Netzwerk aus Wissenschafts- und Innovationszentren gepflegt. So werden z. B. durch Science Hubs in Amerika und Asien Forschungspartnerschaften koordiniert und pharmazeutische Startup-Unternehmen gefördert.

Abbildung 23: Künstliche Intelligenz in der Arzneimittelsicherheit



Quelle: Darstellung des VDI TZ.

Technischer Hintergrund

Gemäß dem Arzneimittelgesetz in Deutschland müssen Erfahrungen über Fertigarzneimittel auch nach ihrer Zulassung fortlaufend und systematisch gesammelt und ausgewertet werden. Zwar finden bereits vor der Zulassung eines Medikamentes klinische Tests statt, diese werden jedoch mitunter an Patienten durchgeführt, die spezielle Kriterien erfüllen und nur bedingt repräsentativ für spätere Nutzer der Medikamente sind. Um fortlaufend die Sicherheit eines Medikamentes zu gewährleisten, muss nach dem Gesetz fortwährend überwacht und evaluiert werden, ob mögliche negative Ereignisse aufgetreten sind.

Pharmakovigilanz umfasst in der Definition der Weltgesundheitsorganisation das Analysieren und Abwehren von möglichen Arzneimittelrisiken, die Beurteilung und Vorbeugung von unerwünschten Nebenwirkungen, sowie Risikomanagement und Verhindern von Therapiefehlern (AVP 2005).

Informationen über unerwünschte Arzneimittelnebenwirkungen, Therapiefehler und andere Risiken erreichen die zuständigen Abteilungen der Pharmaunternehmen über unterschiedlichste Wege. Der Input reicht

von klinischen Studien und Fachliteratur über telefonische und postalische Meldungen bis hin zu digitalen Kanälen wie Email und sozialen Medien.

Die Anwendung von Künstlicher Intelligenz spielt insbesondere bei der Strukturierung und übergreifenden Analyse dieser großen Datenmengen eine Rolle (siehe Abbildung 23, Genpact 2019). Darüber hinaus können Anwendungen Künstlicher Intelligenz auch dafür genutzt werden, um soziale Medien und das Internet nach potentiellen Nebenwirkungen zu durchforsten.

Ein künstlich intelligentes System kann z. B. aus einer Email direkt den Namen des betroffenen Medikamentes herauslesen und in der Datenbank für die Weiterverarbeitung abspeichern. Ein ähnliches Vorgehen ist vielen Anwendern bereits aus Emailprogrammen bekannt: Das Emailprogramm erkennt automatisch, wenn im Text Uhrzeit und Ort erwähnt werden; das Abspeichern als Termin ist dann nur noch die Sache eines Klicks. Das Erkennen möglicher Nebenwirkungen und betroffener Medikamente in einem Telefonanruf ist für eine Künstliche Intelligenz deutlich komplizierter, denn es setzt das Verständnis von gesprochener Sprache voraus. Zusätzlich kann die eingesetzte Künstliche Intelligenz direkt neuste wissenschaftliche Artikel zum relevanten Thema recherchieren und den Sachbearbeitern zur Verfügung stellen.

Sind die Daten von der eingesetzten Künstlichen Intelligenz gespeichert und strukturiert, können qualifizierte Mitarbeiter die Weiterverarbeitung und Einzelfallbetrachtung vornehmen.

Umsetzung bei Bayer

Die Anwendungsphase von Künstlicher Intelligenz in der Pharmakovigilanz startete bei Bayer mit dem Testen auf prinzipielle Durchführbarkeit, wobei Anwendungen verschiedener Anbieter miteinander verglichen wurden. Dabei wurde auch die Genauigkeit und Fehlerfreiheit der Künstlichen Intelligenz evaluiert. Bayer ist daraufhin im Jahr 2018 eine Kooperation mit Genpact eingegangen, einem US-amerikanischen Unternehmen, das auf Anwendungen Künstlicher Intelligenz in der Arzneimittelsicherheit spezialisiert ist (Genpact 2018b).

Aktuell befindet sich das System in der Implementierungsphase. Das System erhält Zugang zur Arzneimittelsicherheitsdatenbank sowie zu den IT-Systemen von Bayer und damit zu den ankommenden Nebenwirkungsmeldungen (*adverse events*) aus beispielsweise Social Media, wissenschaftlicher Literatur oder direkt von Patienten und Ärzten. Das Go-live bzw. die breite Umsetzung weltweit ist für Mitte 2020 geplant;

Künstliche Intelligenz soll dann die global agierenden Mitarbeiter in der Einzelfallerfassung der Pharmakovigilanz unterstützen. Die KI-Lösung wird sich auf englischsprachige Texte fokussieren, was aber auch ins Englische übersetzte Nebenwirkungsmeldungen sein können. Diese werden von der „globalen Organisation“ (insbesondere in Brasilien, USA, Deutschland und Indien) bearbeitet.

Die geplante breite Einführung soll vor allem die sehr arbeitsintensiven Schritte der Datenstrukturierung und Datenverarbeitung vereinfachen. Genpact, Kooperationspartner von Bayer, stellt in einer Veröffentlichung dar, dass sich durch das von ihm angebotene künstlich intelligente System Fallbearbeitungszeiten prinzipiell um 50 Prozent verringern ließen (Genpact 2018a). Da sich das System bei Bayer aber noch in der ersten Implementierungsphase befindet, konnten von den Interviewpartnern noch keine exakten Angaben zu Effizienzgewinnen gemacht werden.

Einzelfallbetrachtungen, die auf die Datenstrukturierung und Datenverarbeitung folgen, werden nach Einschätzung der befragten Fachleute weiterhin Experten vornehmen, da es sich um deutlich komplexere Prozesse handelt, für die menschliche Intelligenz notwendig ist. So beinhaltet die Einzelfallbetrachtung unter anderem Rückfragen bei behandelnden Ärzten und das Sichten medizinischer Fachliteratur und mündet in eine qualifizierte Beurteilung des Einzelfalls. Gutachterliche Fragen danach, inwiefern es sich in einzelnen Fällen um Anwenderfehler oder Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten handelt, wird nach Einschätzung der Interviewpartner ein künstlich intelligentes System auch mittelfristig nicht beantworten können.

Die KI-Anwendung im Kontext von Arbeit und Qualifizierung

Wie auch bei anderen Anwendungen Künstlicher Intelligenz kommt der Anwendung in der Arzneimittelsicherheit vor allem eine unterstützende Funktion bei. Dennoch bringt die Einführung Veränderungen für die Mitarbeiter mit sich. Sachbearbeiter, deren Aufgaben aktuell zu großen Teilen noch darin bestehen, Daten, die das Unternehmen erreichen, zu erfassen und zu systematisieren, werden sich in Zukunft vor allem darauf konzentrieren, die Arbeit der eingesetzten Künstlichen Intelligenz zu überwachen, d. h. zu bestätigen, zu korrigieren und zu ergänzen. Die eingesetzte Künstliche Intelligenz macht Vorschläge, z. B. indem sie betroffene Arzneimittel und gemeldete Nebenwirkungen in einer Email farblich markiert. Die Mitarbeiter können dann entscheiden, den Vor-

schlag der eingesetzten Künstlichen Intelligenz zu übernehmen oder zu korrigieren. Somit müssen Texte nicht mehr nach relevanten Textpassagen durchsucht werden; diese Arbeit übernimmt die eingesetzte Künstliche Intelligenz.

Die befragten Fachleute betonen, dass die Komplexität des regulativen Umfelds, in dem sich Arzneimittelsicherheit bewegt, kontinuierlich zunimmt und die Fälle von Meldungen über Nebenwirkungen steigen. Grund dafür seien eine Sensibilisierung der Patienten sowie die verstärkte Nutzung des Internets und sozialer Medien sowie die steigende Popularität von Gerichtsprozessen. Für die Pharmakovigilanz sei diese Steigerung Wachstum. Effizienzgewinne, die durch den Einsatz Künstlicher Intelligenz entstünden, könnten verwendet werden, um den steigenden Anforderungen des regulatorischen Umfelds sowie dem steigenden Volumen an Nebenwirkungsmeldungen gerecht zu werden.

Sachbearbeiter für die Datenerfassung und -strukturierung werden weiterhin benötigt, um die Arbeit der Künstlichen Intelligenz zu kontrollieren und so kontinuierlich zu verbessern. Gleichzeitig verschieben sich die Anforderungen hin zu höher qualifizierten Tätigkeiten wie der Einzelfallbetrachtungen. Auch wird nach Einschätzung der Befragten der Bedarf an KI- und Datenanalyseexperten zunehmen – allerdings nicht allein im Bereich Pharmakovigilanz, sondern in allen Teilen des Unternehmens. Auch anderweitige Experten, wie Betriebswirte, mit Zusatzqualifikationen im Bereich Datenanalyse werden zunehmend nachgefragt werden, um in einen effizienten Dialog mit Datenanalysten treten zu können (Business Professionals, die Data Science „sprechen“).

In Bezug auf Weiterbildungsmaßnahmen setzt Bayer nach eigenen Angaben auf fortwährende Schulung und Qualifikation der Mitarbeiter z. B. durch Online-Kurse über künstliche Intelligenz und Machine Learning oder dem in den USA entwickelten *R&D Boston Tech Immersion Program*, in dem Data-Science-Kompetenzen für Forschungs- und Entwicklungsbeschäftigte angeboten werden. Außerdem werden Manager mit Coaching-Tools ausgestattet, um ihre Mitarbeiter durch den technologischen Wandel zu führen.

Nach Aussagen der befragten Fachleute wurde im Rahmen mit der sogenannten Zukunftssicherung 2025 ein strategischer Dialog zum Thema Digitalisierung bei Bayer etabliert. Abteilungs- und Divisionsleitungen, sowie die Geschäftsführung sind dazu verpflichtet, bei der geplanten Einführung von neuen digitalen Innovationen/Technologien (wozu auch KI gehört) diese den HR-Leitungen und Betriebsratsvorsitzenden vorzustellen. Anhand eines eigens dafür entwickelten Fragenkatalogs sind geplante Einführungen bzw. Ideen vorzustellen. Im Anschluss daran werden dann etwaige Herausforderungen der Innovati-

on/Technologie geklärt: Wird dazu eine weitere Bewertung benötigt? Gibt es dazu bereits eine existierende Kommission? Sind neue Arbeitsorganisationen zu etablieren? Werden neue Qualifizierungsinitiativen oder Personalstrategien benötigt?

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Trends in der chemischen und pharmazeutischen Industrie

- In der abschließenden Betrachtung der vorliegenden Branchenanalyse zur zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie im Zuge Künstlicher Intelligenz wird zunächst eine Übersicht über die wichtigsten Erkenntnisse aus dem quantitativen Teil der Studie in Form einer kurzen Zusammenfassung gegeben. Hyperlinks in Klammern verweisen jeweils auf den Abschnitt, in dem sich die entsprechende Analyse findet.
- Die Zahl der Beschäftigten in der chemischen und pharmazeutischen Industrie verzeichnete seit 2011 einen deutlichen Aufwärtstrend.
- Die Umsätze in der chemischen und pharmazeutischen Industrie sind seit 2008 deutlich gestiegen, wobei die Umsätze in der Chemie deutlich konjunkturabhängiger sind als in der Pharmazie.
- Die Zahl der Betriebe verzeichnet in der Chemiebranche einen Aufwärtstrend; in der Pharmaziebranche noch deutlicher. In der Pharmazieindustrie gibt es eine gewisse Verschiebung hin zu kleineren Betrieben (unter anderem Start-Ups).
- Der Frauenanteil ist in der Pharmaziebranche fast doppelt so hoch wie in der Chemiebranche. In beiden Branchen gibt es einen Aufwärtstrend.
- Die Bruttowertschöpfung pro Erwerbstätigem ist in der pharmazeutischen Industrie etwas höher als in der chemischen Industrie, liegt in beiden Industrien aber deutlich über dem Durchschnitt der Verarbeitenden Gewerbes.
- Der Anteil Hochqualifizierter ist in den vergangenen Jahren sowohl in der Chemie- als auch in der Pharmabranche leicht, aber kontinuierlich gestiegen und könnte in den kommenden Jahren noch deutlich zunehmen.
- Sparten mit einer hohen Arbeitsproduktivität sind gleichzeitig die umsatzmäßig großen Sparten sowie die Sparten, in der ein hoher Anteil Hochqualifizierter beschäftigt ist. Dies spricht für eine historische Entwicklung im Sinne komparativer Vorteile.
- Der Anteil älterer Beschäftigter hat in den vergangenen Jahren weiter zugenommen und wird voraussichtlich in Zukunft weiter zunehmen.
- Besonders viele Beschäftigte sind in der chemischen Industrie in NRW, Rheinland-Pfalz und Bayern tätig. In der pharmazeutischen In-

dustrie sind besonders viele Beschäftigte in Baden-Württemberg und Hessen tätig.

- Prozentual besonders stark gewachsen ist die Chemieindustrie in den vergangenen fünf Jahren in Bayern, im Saarland, in Mecklenburg-Vorpommern und Hamburg. Die Pharmaindustrie ist in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Hamburg und Sachsen-Anhalt besonders stark gewachsen.
- Die Exportquote ist seit 2008 sowohl in der chemischen als auch in der pharmazeutischen Industrie kontinuierlich gestiegen: ein wachsender Anteil Umsätze deutscher Chemie- und Pharmaunternehmen wird im Ausland generiert.
- In Bezug auf Ausgaben für Innovation in Relation zum Umsatz ist die Pharmabranche die innovationsintensivste Branche des Verarbeitenden Gewerbes. Die Ausgaben liegen in der Pharmabranche deutlich über dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes, in der Chemiebranche liegen sie leicht darunter.
- Der Anteil Unternehmen, die Innovationen einführen, ist in der Chemiebranche höher als in der Pharmabranche, und dies, obwohl Ausgaben für Innovation in Relation zum Umsatz in der Chemiebranche niedriger sind. In beiden Branchen liegt der Anteil über dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes.
- Die Ausgaben für Innovation werden in der Pharmabranche voraussichtlich weiter steigen; in der Chemiebranche voraussichtlich auf gleichem Niveau verbleiben oder abnehmen.
- Der Anteil der Unternehmen, die neue Produkte auf den Markt bringen (Innovatorenquote) wird in der Chemie eher abnehmen, in der Pharmazie eher zunehmen oder auf ähnlichem Niveau verbleiben.

Diese quantitativen Ergebnisse allein reichen jedoch aus, um die wirtschaftlichen, organisatorischen und sozialen Auswirkungen von Künstlicher Intelligenz für die zukünftige chemische und pharmazeutische Industrie abzubilden. Insbesondere die seit Kurzem eingeleiteten Veränderungen im Zuge des Einsatzes Künstlicher Intelligenz sind mit aggregierten quantitativen Daten, die bis zum Jahr 2017 erhoben worden sind, nicht zu analysieren. Aus diesem Grund hat sich für die vorliegende Branchenanalyse die zusätzliche Erhebung qualitativer Daten im Rahmen von Kurzfallstudien zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz in Unternehmen der Branche angeboten.

Thesen zur zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie

Im folgenden Abschnitt werden die quantitativen Ergebnisse mit den qualitativen Ergebnissen der Kurzfallstudien in Form von Thesen miteinander verbunden. Beschrieben werden dabei mögliche, plausible Entwicklungslinien sowie innovations- und arbeitspolitische Instrumente, die es Unternehmen, Betriebsräten, Gewerkschaften und Politik ermöglichen sollen, Gestaltungsspielräume bei KI frühzeitig und humangerecht und zum Erhalt der Zukunftsfähigkeit in der chemischen und pharmazeutischen Industrie zu nutzen.

These 1: Ein Großteil zukünftiger Innovationen in der chemischen und pharmazeutischen Industrie wird von KI getrieben sein.

Neue Produkte, Prozesse, Dienstleistungen und soziale Innovationen werden zunehmend mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz und smarterer Datenanalyse entwickelt. Forschung und Entwicklung wird z. B. noch stärker datengetrieben sein als in der Vergangenheit. Auch Prozessinnovationen, wie z. B. die Organisation von Logistik und Lieferketten (siehe KI-basierte Self-Driving-Supply-Chain), werden zunehmend in Anwendungen Künstlicher Intelligenz bestehen und führen zu einer weiteren Aufwertung höherqualifizierter menschlicher Arbeit.

These 2: Künstliche Intelligenz wird in der pharmazeutischen Industrie deutlich schneller eine wichtige Rolle spielen als in der chemischen Industrie.

Die Innovatorenquote entwickelt sich in der chemischen Industrie rückläufig, nicht aber in der pharmazeutischen Industrie. Der Anteil Hochqualifizierter liegt in der pharmazeutischen Industrie deutlich höher; die Hochqualifizierten können in der Regel leichter für sogenannte Data-Science- oder andere mit KI verbundene Tätigkeiten weiterqualifiziert werden. Ältere Produktionsanlagen (z. B. aus den sechziger und siebziger Jahren) in der chemischen Industrie können weniger einfach nachgerüstet werden (siehe das Fallbeispiel KI-basierte vorausschauende Wartung) als das Laborequipment, das in der pharmazeutischen Industrie regelmäßig neu angeschafft wird.

These 3: Durch Globalisierung, Automatisierung und KI wird es in Deutschland zukünftig verstärkt Arbeitsplätze für Höherqualifizierte geben.

Der Anteil Höherqualifizierter ist in den vergangenen Jahren in der chemischen und pharmazeutischen Industrie stetig gestiegen. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend in den kommenden Jahren fortsetzen

wird. Durch die verstärkte Einführung von Anwendungen Künstlicher Intelligenz steigen die Anforderungen an die Beschäftigten weiter (siehe das Beispiel der KI-basierten Pharmakovigilanz), so dass sich der Trend zu immer höherer Qualifizierung weiter fortsetzen wird.

These 4: Die Einführung von KI führt zu einem Upgrading- und Re-Skilling-Prozess bei den Beschäftigten.

Kurz- und mittelfristig kommt es bei den Beschäftigten durch den Einsatz von KI vor allem zu einem sogenannten Upgrading im Rahmen ihrer kooperativen Tätigkeiten mit der KI (siehe sämtliche Kurzfallstudien). Allerdings müssen Arbeitnehmer auf neue Aufgaben und Anforderungen wie die Interpretation von „Vorschlägen“ durch die KI vorbereitet werden („re-skilling“). Eine offene Frage dabei bleibt, wie alle Beschäftigten bei diesem Upgrading- und Re-Skilling-Prozess „mitgenommen“ werden können.

These 5: Die Beschäftigungseffekte im Zuge von KI sind nicht eindeutig bestimmbar.

Die Beschäftigungseffekte im Zuge von KI sind für die chemische und pharmazeutische Industrie in Deutschland zurzeit nicht eindeutig bestimmbar (siehe Kurzfallstudien). Einerseits werden eher qualitative Verschiebungen bei höherqualifizierten Beschäftigten „nach oben“ erwartet. Andererseits bleiben die Rollen und Entwicklungen für Mittelqualifizierte unklar, zumal bestimmte bestehende Berufsbilder, z. B. in der Logistik, weniger nachgefragt werden.

These 6: Zunehmend alternde Belegschaften sowie stetig steigende Anforderungen an die Kompetenzen in Verbindung mit KI werden das Personalmanagement vor enorme Herausforderungen stellen.

Ein wichtiger Teil der Beschäftigten in der chemischen und pharmazeutischen Industrie gehört gegenwärtig der Gruppe der über 54-Jährigen an. Dieser Trend wird sich aller Voraussicht nach in den kommenden Jahren verstärken. Gleichzeitig steigen die Anforderungen in Verbindung mit dem zunehmenden Einsatz von Künstlicher Intelligenz (z. B. wächst die Notwendigkeit eines Grundverständnisses von der Funktionsweise und der Interpretation sich weiterentwickelnder komplexer Algorithmen). Die im Rahmen der vorliegenden Studie befragten Fachleute nennen „die Fähigkeit zu lernen“ als eine der wichtigsten Fähigkeiten für die Beschäftigten in der zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie. Im Zuge der sich verändernden Altersstruktur werden so auch immer mehr ältere Beschäftigte weitere neue Kompetenzen erlernen müssen (Stichwort „lebenslanges Lernen“). Zudem wird sich die Rekru-

tierung neuer Mitarbeiter mit Kompetenzen im Bereich Datenanalyse, Data Science und KI in kommenden Jahren nicht leichter gestalten, da es schon heute an Nachwuchs und den notwendigen Ausbildungs- und Weiterbildungsstrukturen fehlt.

These 7: Die Auswirkungen von KI auf die Mitbestimmungsakteure an deutschen Standorten sind gegenwärtig unklar.

Der Einsatz von KI in der chemischen und pharmazeutischen Industrie wird sowohl an ausländischen als auch an inländischen Standortorten vorbereitet. Wie zwei Kurzfallstudien zeigen (Pharmakovigilanz, Self-Driving Supply Chain), besteht das Experimentierfeld allerdings teilweise im Ausland, etwa in den USA, Frankreich und der Schweiz, wo Arbeitnehmervertretungen nicht an der Vorbereitungsphase beteiligt sind.

These 8: Eine humanzentrierte Künstliche Intelligenz macht Computer nicht autonom, sondern ermöglicht Menschen bessere Arbeit.

Die Unternehmen aus der chemischen und pharmazeutischen Industrie, die KI-basierte Anwendungen bereits einsetzen, erkennen in der Regel, dass auch KI-Systeme Fehler machen können und sie durch ihre Trainingsdaten womöglich falsche Grundannahmen formulieren. Die finale Urteilskraft wird folglich beim Menschen liegen (siehe das Beispiel Pharmakovigilanz). Eine humanzentrierte Künstliche Intelligenz, die bereits auf wissenschaftlicher Ebene angegangen wird, ist nicht darauf fokussiert, Computern Autonomie beizubringen. Vielmehr geht es darum, Computer dafür zu nutzen, dass Menschen im Einsatz mit KI besser und klüger werden.

These 9: Die Sozialpartner benötigen eine insgesamt offene Haltung gegenüber der Einführung einer humanzentrierten KI.

Die Sozialpartner der chemischen und pharmazeutischen Industrie werden Innovationsinstrumente erkunden müssen, die es einerseits ermöglichen, eine humangerechte KI einzusetzen. Andererseits werden sie lernen müssen, Kontrolle an KI-basierte Anwendungen abzugeben, wenn die prinzipielle Funktionsweise der KI und die Funktionsweise ihres Lernprozesses bekannt sind.

These 10: Die Einführung von KI wird in einem partizipativen Prozess gemeinsam von den Sozialpartnern zu gestalten sein.

Ein innovations-, industrie- und arbeitspolitischer Dialog kann einen sachlichen und zielführenden Austausch zwischen Vertretern von Arbeitnehmern und Unternehmen aus der chemischen und pharmazeutischen Industrie sowie Wissenschaft und anderen, thematisch relevanten Akteuren forcieren. Der Dialog der Sozialpartner ist für eine frühzeitige

Gestaltung zukünftiger Anwendungen von humanzentrierter Künstlicher Intelligenz unabdingbar. Eine Option dafür bietet die innovationspolitische Plattform „Lernende Systeme – Die Plattform für Künstliche Intelligenz“. Eine weitere Option bietet die Ausgestaltung und Umsetzung der „Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung“, die unter anderem die Schwerpunkte „Arbeitswelt und Arbeitsmarkt“ und „Ausbildung und Gewinnen von Fachkräften/Experten“ thematisiert.

Die vorliegende Branchenanalyse hat skizzenhaft aufgezeigt, dass die Anwendung Künstlicher Intelligenzen (KI) auch mit großen sozioökonomischen Veränderungen in der zukünftigen chemischen und pharmazeutischen Industrie einhergehen wird. Sie bietet zudem erste Antworten auf die in dieser Studie thematisierten Forschungsfragen. Es bedarf jedoch deutlich vertiefender interdisziplinärer Forschung, um einen klaren Blick auf gegenwärtige und zukünftige Veränderungen in der Branche im Zuge von KI zu ermöglichen.

Literatur

- Arntz, Melanie/Gregory, Terry/Zierhahn, Ulrich (2016): The Risk of Automation for Jobs in OECD countries. A Comparative Analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189, Paris: Paris: OECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en> (Abruf am 21.03.2019).
- ÄrzteZeitung (2018): Pharmabranche setzt auf Frauenpower, 08.03.2018, www.aerztezeitung.de/politik_gesellschaft/gesundheitspolitik_international/article/958633/weltfrauentag-pharmabranche-setzt-frauenpower.html (Abruf am 21.03.2019).
- AVP (2005): AVP Sonderheft „Pharmakovigilanz“ der Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft.
- BASF (2017a): BASF Bericht 2016. Ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Leistung, <https://bericht.basf.com/2016/de/serviceseiten/downloads.html> (Abruf am 21.03.2019).
- BASF (2017b): BASF-Supercomputer in Ludwigshafen gestartet, www.basf.com/global/de/media/news-releases/2017/10/p-17-332.html (Abruf am 21.03.2019).
- BASF (2018): BASF Bericht 2017. Ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Leistung, https://bericht.basf.com/2017/de/serviceseiten/downloads.html?pk_campaign=lp-downloadteaser-button (Abruf am 21.03.2019).
- BASF (2019): Forschen für die Zukunft, www.basf.com/de/company/innovation/our-research.html (Abruf am 21.03.2019).
- BAVC (2018): Neue Wahlqualifikation für Chemikanten: Digitalisierung und vernetzte Produktion, www.bavc.de/aktuelles/1683-neue-wahlqualifikation-fuer-chemikanten-digitalisierung-und-vernetzte-produktion (Abruf am 28.11.2019).
- Bayer (2019): Geschäftsbericht 2018: Erweiterte Fassung, www.bayer.de/de/integrierte-geschaeftsberichte.aspx (Abruf am 21.03.2019).
- Bayer (2019): Pharmaceuticals, www.bayer.de/de/pharmaceuticals-division.aspx (Abruf am 21.03.2019).
- Bertelsmann Stiftung (Hrsg.) (2018): Gütekriterien für algorithmische Prozesse. Eine Stärken- und Schwächenanalyse ausgewählter Forderungskataloge, Bertelsmann Stiftung, Gütersloh. <https://doi.org/10.11586/2018027> (Abruf am 21.03.2019).
- BMAS (2013): Arbeitsmarktprognose 2030. Eine strategische Vorausschau auf die Entwicklung von Angebot und Nachfrage in Deutschland

- BMAS (2016): Monitor. Digitalisierung am Arbeitsplatz. Aktuelle Ergebnisse einer Betriebs- und Beschäftigtenbefragung, www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/a875-monitor-digitalisierung-am-arbeitsplatz.html (Abruf am 21.03.2019).
- BMBF (2018): Bundesbericht Forschung und Innovation 2018 – Forschungs- und innovationspolitische Ziele und Maßnahmen, www.datenportal.bmbf.de/portal/de/bufi.html (Abruf am 21.03.2019).
- BMWi (2019): Nationale Industriestrategie 2030: Strategische Leitlinien für eine deutsche und europäische Industriepolitik, www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/nationale-industriestrategie-2030.html (Abruf am 21.03.2019).
- Breschi, Stefano/Lassébie, Julie/Menon, Carlo (2018): A Portrait of Innovative Start-Ups across Countries. OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2018/02, Paris: OECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/f9ff02f4-en> (Abruf am 21.03.2019).
- Brzeski, Carsten/Burk, Inga (2015): Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt. ING-Diba, www.ing-diba.de/binaries/content/assets/pdf/ueber-uns/presse/publikationen/ing-diba-economic-analysis-die-roboter-kommen.pdf (Abruf am 21.03.2019).
- Bundesagentur für Arbeit (2010): Klassifikation der Berufe 2010, <http://statistik.arbeitsagentur.de/Statistischer-Content/Grundlagen/Methodik-Qualitaet/Methodenberichte/Uebergreifend/Generische-Publikationen/Methodenbericht-Klassifikation-Berufe-2010.pdf> (Abruf am 28.11.2019).
- Bundesagentur für Arbeit (2017): Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008) – Deutschland, West/Ost und Länder (Quartalszahlen, Dezember 2017), <https://statistik.arbeitsagentur.de/Navigation/Statistik/Statistik-nach-Themen/Statistik-nach-Wirtschaftszweigen/Statistik-nach-Wirtschaftszweigen-Nav.html> (Abruf am 21.03.2019).
- Bundesregierung (2018): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung, www.ki-strategie-deutschland.de/home.html?file=files/downloads/Nationale_KI-Strategie.pdf (Abruf am 21.03.2019).
- Delponte, Laura (2018): European Artificial Intelligence (AI) Leadership, the Path for an Integrated Vision, [www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=IPOL_STU\(2018\)626074](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=IPOL_STU(2018)626074) (Abruf am 21.03.2019).

- Deutscher Bundestag (2018): Künstliche Intelligenz und die Folgen für Wirtschaft, Forschung und Arbeit. Veröffentlichung der Enquete-Kommission für künstliche Intelligenz, www.bundestag.de/ausschuesse/weitere_gremien/enquete_ki?url=L2Rva3VtZW50ZS90ZXh0YXJjaGl2LzlwMTgva3c1MC1wYS1lbnF1ZXRILWt1ZW5zdGxpY2hllLWludGVsbGlhZW56LzU4MTQyNg==&mod=mod569768 (Abruf am 21.03.2019).
- Dostert, Elisabeth (2019): Neue Formellehre, Süddeutsche Zeitung, 22.01.2019, www.sueddeutsche.de/wirtschaft/chemiebranche-neue-formellehre-1.4297982 (Abruf am 21.03.2019).
- Evonik (2017): Geschäftsbericht 2016. Ungewöhnlich kreativ, www.corporate.evonik.de/de/presse/publikationen/geschaeftsbericht/ (Abruf am 21.03.2019).
- Evonik (2018): Finanzbericht 2017, <https://corporate.evonik.de/de/presse/publikationen/geschaeftsbericht/> (Abruf am 21.03.2019).
- Evonik (2019): Die Entstehung von Evonik Industries, <https://history.evonik.com/sites/geschichte/de/gesellschaften/evonik-industries/> (Abruf am 21.03.2019).
- Fricke, Thomas. (2019): Ende des Booms. 2019 droht die Zeitenwende für die Konjunktur, Spiegel Online, 04.01.2019, www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/deutschland-wie-immun-ist-die-konjunktur-bei-einer-krise-a-1245619.html (Abruf am 21.03.2019).
- Gehrke, Birgit/Rammer, Christian (2018): Innovationsindikatoren Chemie 2018. Schwerpunktthema: Digitalisierung, Verband der Chemischen Industrie, Mannheim und Hannover, http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/InnoIndi_Chemie_2018.pdf (Abruf am 21.03.2019).
- Gehrke, Birgit/Weilage, Insa (2018): Branchenbericht Chemieindustrie. Der Chemiestandort Deutschland im Spannungsfeld globaler Verschiebungen nach Nachfragestrukturen und Wertschöpfungsketten. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, Study Nr. 395, Düsseldorf, www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_395.pdf (Abruf am 21.03.2019).
- Genpact (2018a). Casestudy: Taking AI to the Heart of Drug Safety. www.genpact.com/downloadable-content/insight/transforming-drug-safety-through-ai.pdf (Abruf am 21.03.2019).
- Genpact (2018b). Genpact and Bayer to Co-innovate to Leverage Artificial Intelligence Capabilities for Patient Safety. www.prnewswire.com/news-releases/genpact-and-bayer-to-co-innovate-to-leverage-artificial-intelligence-capabilities-for-patient-safety-300741980.html (Abruf am 21.03.2019).
- Genpact (2019): Cora Pharmacovigilance, www.genpact.com/cora/pharmacovigilance-pvai (Abruf am 21.03.2019).

- GeVestor (2018): Die 10 größten Chemieunternehmen Deutschlands, www.gevestor.de/details/die-10-groessten-chemieunternehmen-deutschlands-710191.html (Abruf am 21.03.2019).
- Greenwood, Brian/Dicko, Alassane/Sagara, Issaka/Zongo, Issaka/Tinto, Halidou/Cairns, Matthew/Kuepfer, Irene/Milligan, Paul/Ouedraogo, Jean-Bosco/Doumbo, Ogobara/Chandramohan, Daniel (2017): Seasonal vaccination against malaria: a potential use for an imperfect malaria vaccine. In: Malaria journal 16, S. 182 Greenwood, Brian et al. (2017). Seasonal Vaccination against Malaria: A Potential Use for an Imperfect Malaria Vaccine. Malaria Journal 16, <https://doi.org/10.1186/s12936-017-1841-9> (Abruf am 21.03.2019).
- Henkel, Markus (2017): Big Data, Smart Data: die wichtigsten Keywords erklärt, www.techtag.de/digitalisierung/industrie-4-0/big-data-smart-data-die-wichtigsten-keywords-erklart/ (Abruf am 21.03.2019).
- Hofmann, Siegfried (2017): BASF und die Forschung: Chemie aus dem Supercomputer, Handelsblatt, 29.06, www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/basf-und-die-forschung-chemie-aus-dem-supercomputer/19999978.html (Abruf am 21.03.2019).
- Jähnichen, Stefan (2015): Von Big Data zu Smart Data – Herausforderungen für die Wirtschaft. In: Smart Data 1. Jähnichen, Stefan (2015): Von Big Data zu Smart Data – Herausforderungen für die Wirtschaft, Smart Data Newsletter, www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/SmartData_NL1.pdf (Abruf am 21.03.2019).
- Keller, Wolfram (2018): Berufe 4.0 – Wie Chemiker und Ingenieure in der digitalen Chemie arbeiten. Whitepaper der Vereinigung für Chemie und Wirtschaft, www.chemanager-online.com/whitepaper/berufe-40-arbeiten-der-digitalen-chemie (Abruf am 21.03.2019).
- Luber, Stefan/Litzel, Nico (2017): Was ist Predictive Maintenance?, www.bigdata-insider.de/was-ist-predictive-maintenance-a-640755/ (Abruf am 21.03.2019).
- McKinsey (2017): Künstliche Intelligenz wird zum Wachstumsmotor für deutsche Industrie, www.mckinsey.com/de/news/presse/kunstliche-intelligenz-wird-zum-wachstumsmotor-fur-deutsche-industrie (Abruf am 21.03.2019).
- Menn, Andreas (2018): Künstliche Intelligenz. Fitness-Tracker für Maschinen sparen bares Geld. Wirtschaftswoche, 10.04.2018, www.wiwo.de/unternehmen/mittelstand/hannovermesse/kuenstliche-intelligenz-fitness-tracker-fuer-maschinen-sparen-bares-geld/21099294.html (Abruf am 21.03.2019).

- Merck (2018): Geschäftsbericht 2017. 350, www.merckgroup.com/de/geschaeftsbericht/2017/downloads/index.html (Abruf am 21.03.2019).
- Müller, Bernd (2018): Vorausschauende Wartung in der Industrie 4.0. Der größte Störfaktor ist der Mensch. Wirtschaftswoche, 13.04., www.wiwo.de/unternehmen/mittelstand/hannovermesse/vorausschauende-wartung-in-der-industrie-4-0-der-groesste-stoerfaktor-ist-der-mensch/21166908-all.html (Abruf am 21.03.2019).
- OECD (2018a): Private Equity Investment in Artificial Intelligence. OECD Going Digital Policy Note, Paris: OECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/f9ff02f4-en> (Abruf am 21.03.2019).
- OECD (2018b): Putting faces to the jobs at risk of automation. Policy Brief on the future of Work. Paris: OECD Publishing Putting Faces to Jobs at Risk of Automation. Policy Brief on the Future of Work, OECD Publishing, www.oecd.org/els/emp/future-of-work/Automation-policy-brief-2018.pdf (Abruf am 21.03.2019).
- Purdy, Mark/Daugherty, Paul (2018): How AI Boosts Industry Profits and Innovation, Accenture Industry Report, www.accenture.com/us-en/insight-ai-industry-growth (Abruf am 21.03.2019).
- PwC (2017): Sizing the Prize. – What’s the Real Value of AI for Your Business and How Can You Capitalise? www.pwc.com/gx/en/issues/data-and-analytics/publications/artificial-intelligence-study.html (Abruf am 21.03.2019).
- Schreiner, Jakob/Moßner, Julia (2018): IoT-Basics: Was ist Predictive Maintenance?, www.industry-of-things.de/iot-basics-was-ist-predictive-maintenance-a-693842/ (Abruf am 21.03.2019).
- Shook, Ellyn/Knickrehm, Mark (2018): Reworking the Revolution. Are You Ready to Compete as Intelligent Technology Meets Human Ingenuity to Create the Future Workforce? Accenture Strategy Report, www.accenture.com/us-en/company-reworking-the-revolution-future-workforce (Abruf am 21.03.2019).
- Statistisches Bundesamt (2018): Jahresbericht für Betriebe 2017.
- Stephan, Dominik (2016): Chemie in schwierigem Fahrwasser: Umsatzrückgang trotz gestiegener Produktion. Process, 16.12, www.process.vogel.de/chemie-in-schwierigem-fahrwasser-umsatzrueckgang-trotz-gestiegener-produktion-a-566429/ (Abruf am 21.03.2019).
- Stifterverband (2017a): Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft. Arendi Analysen 2017, www.stifterverband.org/arendi-zahlenwerk_2017 (Abruf am 21.03.2019).
- Stifterverband (2017b): Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft. Arendi Zahlenwerk 2017, www.stifterverband.org/arendi-analysen_2017 (Abruf am 21.03.2019).

- VCI (2017): Die deutsche chemische Industrie 2030 – Update 2015/2016 mit Alternativszenarien. VCI-Prognos-Studie, www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/vci-prognos-studie-die-deutsche-chemische-industrie-2030-update-2015-2016.jsp (Abruf am 21.03.2019).
- VDI Nachrichten (2017): „Wer nicht in KI investiert, wird abgehängt“, 22.12.2017, www.vdi-nachrichten.com/Gesellschaft/Wer-in-KI-investiert-abgehaengt (Abruf am 21.03.2019), S. 10–11.
- Vogler-Ludwig, Kurt/Düll, Nicola/Kriechel, Ben (2016): Arbeitsmarkt 2030. – Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter. Prognose 2016. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, <https://doi.org/10.3278/6004556w> (Abruf am 21.03.2019).
- Wickham, Hadley (2014): Tidy Data, Journal of Statistical Software 59, 10, [dx.doi.org/10.18637/jss.v059.i10](https://doi.org/10.18637/jss.v059.i10)
- World Economic Forum (2018): The Future of Jobs Report 2018, www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf (Abruf am 21.03.2019).
- ZEW (2018): Innovationen in der deutschen Wirtschaft – Indikatorenbericht zur Innovationserhebung 2018, www.zew.de/de/publikationen/zew-gutachten-und-forschungsberichte/forschungsberichte/innovationen/innovationserhebung/ (Abruf am 21.03.2019).

Autoren

Dr. Norbert Malanowski ist als Senior-Technologieberater und Projektleiter in der VDI Technologiezentrum GmbH seit 1999 vor allem in den Bereichen Innovations- und Arbeitspolitik, Technikfolgenabschätzung sowie Digitale Transformation von Wirtschaft und Arbeit tätig. Von 2005 bis 2007 hat er für die Europäische Kommission in Sevilla als Senior Scientific Fellow gearbeitet. Ergebnisse seiner Arbeit finden sich unter anderem in den Publikationen „Digitalisierung und Industrie 4.0 – Technik allein reicht nicht?“ (2017, IG BCE, Hannover), „Digitalisierung in der chemischen Industrie“ in: „Grand Challenges meistern – der Beitrag der Technikfolgenabschätzung“ (2018, Edition Sigma, Berlin) und „Information and Communication Technologies for Active Ageing“ (2009, IOS Press, Amsterdam). Zudem ist Norbert Malanowski seit 2009 als Gastdozent im Bereich Innovations- und Arbeitspolitik an der Universität Witten/Herdecke aktiv. Vor seinem Studium der Politikwissenschaft/Politischen Ökonomie an den Universitäten Duisburg und Toronto hat er als Werkzeugmacher gearbeitet.

Fabian Mertens ist seit 2018 als Werksstudent bei der VDI Technologiezentrum GmbH tätig. In seiner Arbeit beschäftigt er sich schwerpunktmäßig mit den Themen Digitale Bildung und Künstliche Intelligenz. Zurzeit studiert er im Masterstudiengang Sozialwissenschaften an der Ruhr-Universität Bochum. Das Bachelor-Studium der Soziologie schloss er 2016 an der Universität Duisburg-Essen ab.

Dr. Annerose Nisser ist seit 2018 Technologieberaterin der VDI Technologiezentrum GmbH. Vor ihrer Tätigkeit bei der VDI Technologiezentrum GmbH hat sie als Analytics Consultant bei einer internationalen Strategieberatung für mittelständische Unternehmen und Konzerne aus großen Datenmengen und mit Hilfe Künstlicher Intelligenz strategische Erkenntnisse abgeleitet. In ihrer Arbeit verbindet sie Sozialwissenschaft mit Data Science und ist Spezialistin für Methoden der quantitativen Sozialwissenschaft. Sie hat an der Universität Konstanz zu interethnischen Beziehungen bosnischer Blogger promoviert und hält einen Master in Konfliktforschung der Universität Uppsala, Schweden, einen Bachelor in Politikwissenschaft der Freien Universität Brüssel, Belgien, sowie einen Bachelor in Psychologie der FernUniversität Hagen.

Die chemische und pharmazeutische Industrie gilt als eine der Schlüsselbranchen für den Standort Deutschland. Die Branchen können durch technologische Entwicklungen eine maßgebliche Veränderung erfahren. Es wird bereits deutlich, dass die Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) große sozioökonomische Umwälzungen zur Folge haben werden. Unternehmen, Betriebsräte und Gewerkschaften stehen vor der großen Gestaltungsaufgabe, KI frühzeitig und humangerecht und zum Erhalt des Wohlstands von Gesellschaft und Wirtschaft in der chemischen und pharmazeutischen Industrie zu konzipieren und einzusetzen.
