

# Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie?

Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co.

Norbert Malanowski und  
Jan Christopher Brandt



## Impressum

Herausgeber: VDI Technologiezentrum GmbH  
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf  
Tel. +49 (0) 211 62 14 - 511  
Fax: +49 (0) 211 62 14 - 168  
E-Mail: malanowski@vdi.de  
© VDI Technologiezentrum GmbH, Juli 2014

Autoren:  
Dr. Norbert Malanowski  
Dr. Jan Christopher Brandt

Bilder:  
INVITE GmbH (Titelbild)  
VDI e.V. (Seite 7)

Druck:  
Druckerei Bonifatius, Paderborn

Finanzielle Unterstützung:  
Hans-Böckler-Stiftung  
Projektnummer: S-2014-685-1

Dr. Norbert Malanowski  
Dr. Jan Christopher Brandt

Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie?  
Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co.

Kurzexpertise auf Grundlage gegenwärtiger schriftlicher Quellen  
und explorativer Experteninterviews

# Inhalt

	Vorwort	3
1	Einführung	5
2	Leitende Fragestellungen und methodische Vorgehensweise	10
3	Strukturen und Herausforderungen der chemischen Industrie im Überblick	14
4	Ergebnisse zur Bedeutung von Prozessinnovationen in der zukünftigen chemischen Industrie	19
5	Ergebnisse zu Arbeit, Arbeitsorganisation und Qualifizierung in der zukünftigen chemischen Industrie	33
6	Zusammenfassung der Ergebnisse	43
7	Literatur	46
8	Leitfaden für die Experteninterviews	52
	Endnoten	57



## Vorwort

Der schillernde Begriff „Industrie 4.0“ bestimmt zurzeit eine breite Diskussion über die Perspektiven der Industrie in Deutschland. Es wird ein flächendeckender Einzug von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie deren Vernetzung mit dem Internet der Dinge, Dienste und Daten prognostiziert.

Die Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE) hat diese Situation zum Anlass genommen, einmal genauer hinzuschauen, wie sich diese Prozesse in der chemischen Industrie entwickeln. Wie zeigen sich Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie im Kontext von Industrie 4.0 und Co? Welche Wirkungen und Herausforderungen sind zu erwarten? In der vorliegenden Kurzexpertise konnten zunächst lediglich erste Erkenntnisse ermittelt werden. Eines jedoch wird schon deutlich: Die chemische Industrie geht bei dieser Thematik ihren eigenen Weg.

Die anvisierten Prozessinnovationen laufen eher unter Begriffen wie „Optimierung der Produktion“ oder „Digitalisierung der Produktion“. Die Konzepte umfassen die gesamte Wertschöpfungskette, die Arbeitsorganisation, die Geschäftsmodelle und die nachgelagerten Dienstleistungsbereiche.

Der arbeitende Mensch wird weiterhin im Mittelpunkt stehen. Aber dennoch bedeuten die neuen Technologien veränderte Anforderungen an die Mitarbeiter sowohl in Bezug auf die Arbeitsorganisation als auch auf die Kompetenzentwicklung. Ob und wann die angesprochenen Technologien und Konzepte Anwendung finden, ist bisher noch nicht ganz eindeutig. Die IG BCE wird die Entwicklungen und Veränderungsprozesse in den Unternehmen gemeinsam mit den Betriebsräten und Vertrauensleuten aufmerksam beobachten. Sie werden sich nachhaltig an der Entwicklung von innovativen Arbeitsorganisationskonzepten sowie innovativen Wegen der Kompetenzentwicklung der Mitarbeiter beteiligen.

An dieser Stelle gilt unser Dank der Hans-Böckler-Stiftung, die diese Kurzexpertise finanziert hat. Des Weiteren gilt unsere Anerkennung

Dr. Norbert Malanowski und Dr. Jan Brandt von der VDI Technologiezentrum GmbH in Düsseldorf. Sie haben im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung und in Kooperation mit der IG BCE eine Vielzahl von Daten und Informationen zusammengetragen und ansprechend aufbereitet.

Iris Wolf  
Bereichsleiterin Innovation, Forschung, Technologie  
Abteilung Wirtschafts- und Industriepolitik  
Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie

# 1 Einführung

Die Diskussion über die zukünftige Produktion bzw. die Industrie der Zukunft findet gegenwärtig in Deutschland nicht nur in der Fachöffentlichkeit sondern auch in der breiteren Öffentlichkeit viel Beachtung. Sie wird in Deutschland sehr häufig verbunden mit dem Begriff „Industrie 4.0“. In Ländern wie China, Japan und den USA oder auch auf der Ebene der Europäischen Union wird die Thematik ebenfalls erörtert (vgl. Braun et al. 2013), doch wird hier meist von „Advanced Manufacturing“, „Smart Manufacturing“ oder „Factory of the Future“ gesprochen. Die Suchfunktion von Google zeigt unter dem Suchbegriff Industrie 4.0 mittlerweile deutlich mehr als 5 Mio. Suchergebnisse an. Noch vor 2 bis 3 Jahren war Industrie 4.0 in Deutschland ein Konzept, mit dem nur besonders interessierte Fachleute mit ingenieur- oder naturwissenschaftlicher Ausbildung mehr oder weniger vertraut waren und eine Einschätzung darüber hatten, was sich dahinter für Inhalte verbargen.

Mittlerweile ist Industrie 4.0 ein vieldiskutiertes Thema in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Die Bundesregierung hat das Thema im aktuellen Koalitionsvertrag verankert. Sie will für „eine strategische Innovationspolitik“ eintreten, „die von Deutschlands traditionellen industriellen Kernkompetenzen ausgeht“ (CDU, CSU und SPD, 2013, S. 19) und plant „das Feld Industrie 4.0 aktiv (zu) besetzen“ (S. 20). Seit April 2013 betreiben die Branchenverbände VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau), BITKOM (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien) und ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie) die gemeinsame „Plattform Industrie 4.0“<sup>1</sup>. Mit dieser Initiative knüpfen Teile der Wirtschaft an das „Zukunftsprojekt Industrie 4.0“<sup>2</sup> an, für das die Bundesregierung bis zu 200 Mio. EUR Fördermittel bereitstellen will. „Ziel der Plattform Industrie 4.0 ist es, die vierte industrielle Revolution aktiv mitzugestalten und so den Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken. Im branchenübergreifenden Austausch sollen Technologien, Standards, Geschäfts- und Organisationsmodelle entwickelt und die praktische Umsetzung vorangetrieben werden“. Deutlich wird, dass mit Industrie 4.0 hohe Erwartungen am Standort Deutschland verbunden sind, die sich in einem erhofften Zuwachs an wirtschaftlichem Wohlstand ausdrücken.



In einer ersten Annäherung kann Industrie 4.0 als Szenario bzw. Vision für die Produktion der Zukunft bzw. Zukunft der Industrie beschrieben werden. Ziel ist es u. a., dass Produktions- und Informationstechnologien sehr viel enger zusammengeführt, d. h. reale und digitale (virtuelle) Welt miteinander verschmolzen werden. Damit verbunden ist eine systematische Erhöhung der Flexibilität von Produkten und Produktionsprozessen durch Automatisierung, umfassende Vernetzung und dezentrale Steuerungsmechanismen sowie durch eine Datenaufnahme und Integration über moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (VDI 2014). Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat das Konzept „Industrie 4.0“ als „Industrie 4.0-Haus“ (Abbildung 1) visualisiert: Industrie 4.0 im Sinne der zukünftigen Produktion basiert auf dem Konzept „Internet der Dinge und Dienste“. Es bezieht sich darüber hinaus auf alle Ebenen des Unternehmens und seiner Wertschöpfungsketten. Damit wäre die „intelligente und digitale Fabrik“ horizontal als auch vertikal integriert. Für die horizontale Integration einer Wertschöpfungskette werden alle Maschinen, Geräte und Mitarbeiter auf einer Unternehmensebene und zwischen Unternehmen vollständig vernetzt. Die vertikale Integration bezeichnet die vollständige Vernetzung zwischen allen Unternehmensebenen.

Nach dieser Betrachtungsweise handelt es sich bei Industrie 4.0 um eine Evolution im Sinne einer stetigen Entwicklung hin zur zukünftigen Produktion und nicht um eine Revolution im Sinne eines schnellen Umbruchs.



Abbildung 1: Das Industrie 4.0-Haus (Quelle: VDI e.V.)

Gegenwärtig dominiert die Einschätzung, dass Industrie 4.0 „allein im engen Austausch zwischen Elektrotechnik, Maschinenbau und Informationstechnologien vorankommen wird“ (Deutsche Bank Research 2014, S. 1). Außerdem hält Deutsche Bank Research in seiner Studie fest, dass gegenwärtig noch offene Fragen zu Kontrollhoheit, Sicherheit, Vertraulichkeit, Standardisierung, Rechtsrahmen und Infrastrukturausstattung im Sinne des Ausbaus moderner Strom- bzw. Kommunikationsnetze vor allem international zu klären sind, „um das Potenzial rund um Industrie 4.0 in Deutschland umfassend heben zu können“ (Deutsche Bank Research 2014, S. 1).

Die Vorteile für Anwenderunternehmen werden darin gesehen, dass sie mit Industrie 4.0 ihre Produktion energie-, ressourcen- und kosteneffizienter gestalten können. Zudem soll die Produktion flexibler auf Änderungen oder Ausfälle reagieren können. Ferner sollen Vorlaufzeiten reduziert werden können. Überdies wird eine Anpassung an den Kundenbedarf mit kleinen Losgrößen anvisiert. Im Zuge einer solchen Innovation würden zukünftige Produkte nach individuellen Kundenwünschen ihren Fabrikationsprozess sowie die Qualitätskontrolle quasi

selbst und flexibel steuern.<sup>3</sup> Für die umfangreich erhobenen Daten (Stichwort „Big Data“) entstehen dann wiederum neue leistungsfähige Dienste für eine zeitnahe Auswertung.

Im Bericht der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (2013) zu Industrie 4.0, einer häufig zitierten Studie mit Umsetzungsempfehlungen, die helfen sollen „Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort (zu) sichern“, wird die Bedeutung von Industrie 4.0 speziell für die chemische Industrie, die am Standort Deutschland einen sehr bedeutenden Industriesektor darstellt, nicht erörtert.

In der chemischen Industrie, dem für die vorliegende Kurzexpertise ausgewählten Untersuchungsfeld, findet jedoch durchaus eine rege Diskussion über die Produktion in der zukünftigen chemischen Industrie statt. In der Regel wird dabei weniger der Begriff Industrie 4.0 als die grundsätzliche Idee dahinter verwendet. In der chemischen Industrie geht es vor allem darum, dass die Prozesse von der Bestellung und Lieferung der Rohstoffe über die Fertigstellung bis hin zur Auslieferung kontinuierlich und möglichst störungsfrei gefahren werden. Überdies sollen für wechselnde Kundenaufträge und Mengen die Produktionsanlagen optimal genutzt werden können. Hier werden für die anvisierten Prozessinnovationen Bezeichnungen wie „Intelligente Fabrik“, „Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion“, „Modularisierung der Produktion“, „Digitalisierung der Produktion“, „Verteilte Produktion“, „Fast and Flexible Factory“ und „Integriertes Engineering“ benutzt.

Nach Hauschildt soll mit Prozessinnovationen erreicht werden, dass „die Produktion eines bestimmten Gutes kostengünstiger, qualitativ hochwertiger, sicherer und schneller erfolgen kann“ (2004, S. 11). Somit geht es bei diesen Innovationen, die im Rahmen der vorliegenden Kurzexpertise auch als „techno-ökonomische“ Innovationen bezeichnet werden, vor allem um eine Steigerung der Effizienz. Meist sind Prozessinnovationen mit Produktinnovationen verbunden, z. B. wenn es darum geht, neue Materialien als sogenannte Produktinnovationen, effizient und wettbewerbsfähig zu produzieren. Darüber hinaus gehen mit techno-ökonomischen Veränderungen Erneuerungen bei Arbeit, Arbeitsorganisation, Qualifizierung usw. einher. Somit ist auch die „sozio-technische“ Perspektive bei Prozessinnovationen zu berücksichtigen, die das Zusammenwirken von Mensch und Technik beinhaltet (Hirsch-Kreinsen 2013).

Im Rahmen der hier vorliegenden Transparenzstudie im Sinne einer Kurzexpertise zum Thema „Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co.“ hat das Team der VDI Technologiezentrum GmbH zum einen die gegenwärtige Diskussion über die Produktion der Zukunft strukturiert und mit der chemischen Industrie eine Anwenderbranche in den Fokus gestellt. Zum anderen war es das Ziel, frühzeitig Forschungslücken mittels einer interdisziplinären Perspektive aus technischer, wirtschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Sichtweisen (Malanowski, Zweck 2013) zu identifizieren. Für die Kurzexpertise wurden veröffentlichte schriftliche Quellen ausgewertet und durch Experteninterviews ergänzt.

In Kapitel 2 werden die Fragestellungen der Kurzexpertise und das methodische Vorgehen näher beschrieben. Kapitel 3 liefert einen Überblick zu den Strukturen und Herausforderungen der chemischen Industrie in Deutschland. Anschließend werden die Ergebnisse zur Bedeutung von Prozessinnovationen in der zukünftigen chemischen Industrie erörtert (Kapitel 4). Es folgt die Diskussion der Ergebnisse zur Arbeit, Arbeitsorganisation und Qualifizierung in der zukünftigen chemischen Industrie in Kapitel 5. Kapitel 6 beinhaltet eine Zusammenfassung der Ergebnisse und eine Erläuterung des zukünftigen Forschungsbedarfs.

## 2 Leitende Fragestellungen und methodische Vorgehensweise

Im Rahmen der vorliegenden Kurzexpertise werden mögliche kurz-, mittel- sowie langfristig angelegte Skizzen und Umsetzungsansätze zur Produktion der Zukunft aufbereitet und die damit verbundenen Wirkungen und Herausforderungen für das Untersuchungsfeld chemische Industrie insbesondere in Deutschland sondiert. Mit der Auswahl der chemischen Industrie als Untersuchungsfeld wird ein sehr bedeutender Industriesektor des Standortes Deutschland in den Mittelpunkt gestellt, zu dem es in Verbindung mit dem Thema zukünftige Produktion – so ein erstes Ergebnis der Studie – ein Forschungsdefizit gibt. Die Kurzexpertise geht von der Forschungshypothese aus, dass Ansätze wie Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion und Co. – neben anvisierten techno-ökonomischen Innovationen – für die chemische Industrie auch sozio-technische Innovationen in Bezug auf Arbeit, Organisation und Qualifizierung hervorbringen. In der Kurzexpertise werden vor allem folgende Leitfragen aufgegriffen, die sich zwei Themenfeldern zuordnen lassen:

### Techno-ökonomische Innovationen (Prozessinnovationen)

- Welche Akteure lassen sich für das Themenfeld Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. mit Schwerpunkt auf die chemische Industrie in Deutschland identifizieren? Welche Akteure lassen sich auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene identifizieren? Welche Themen werden bisher nicht bearbeitet?
- Gibt es zu Teil- und Subthemen von Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion oder ähnlichen Themen mit Schwerpunkt auf die chemische Industrie in Deutschland bereits öffentlich finanzierte Projekte? Wenn ja, welche? Liegen diesbezüglich bereits zugängliche Ergebnisse vor? Wenn ja, welche? Sind ggf. weitere Projekte in Vorbereitung auf regionaler, nationaler, europäischer oder internationaler Ebene (Ausschreibungen etc.)?

- Welche kurz-, mittel- und langfristigen technologischen Trends sind gegenwärtig in Entwicklung und Anwendung zu erkennen, die unter Schlagworten wie Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. zusammengefasst werden können? Welche neuen material- und energieeffizienten Produktionstechnologien können sich in den nächsten 5 Jahren etablieren? Welche Trends in Entwicklung und Anwendung sind für die nächsten 5 bis 10 Jahre in Unternehmen und Forschungseinrichtungen zu erkennen, die für die chemische Industrie von Bedeutung sein können? Mit welcher Umsetzungsdynamik, mit welchen Effizienz- und Innovationsprüngen wird gerechnet?
- Gibt es erste Einschätzungen bezüglich des wirtschaftlichen Potenzials von Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. mit Schwerpunkt auf die chemische Industrie? Wenn ja, auf welcher Grundlage basieren diese Einschätzungen?

### Sozio-technische Innovationen (Arbeit, Arbeitsorganisation, Qualifizierung)

- Welche sozialen, organisatorischen und wirtschaftlichen Entwicklungen werden in einem Zeithorizont von bis zu 5 Jahren in der chemischen Industrie im Rahmen von Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion, Industrie 4.0 etc. erwartet? Welche Entwicklungen werden mittel- bzw. langfristig erwartet, d. h. in 5 bis 10 Jahren? Mit welcher Umsetzungsdynamik wird gerechnet?
- Resultieren aus den möglichen Entwicklungen im Zuge von Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion tatsächlich neue Anforderungen an Arbeit, Arbeitsorganisation und Aus- und Weiterbildung von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern in der chemischen Industrie in den nächsten 5 Jahren? Wenn ja, in welcher Form und für welche Beschäftigtengruppen?
- Wenn sich neue Anforderungen identifizieren lassen, sind dann die

heute angebotenen Bildungsangebote an Hochschulen oder Berufsschulen in der Lage, möglichen veränderten Qualifizierungsanforderungen auf betrieblicher Ebene in Verbindung mit Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. gerecht zu werden? Oder kommt der betriebsinternen Aus- und Weiterbildung eine zunehmend größere Rolle zu? Welche Inhalte und Lern- bzw. Lehrformen müssten verändert werden?

Im Rahmen der Kurzexpertise kamen zwei Datenerhebungsmethoden zum Einsatz. Zum einen wurde eine Literatur- und Quellenanalyse durchgeführt, für die zuvor z. B. Konferenzbände, Aufsätze, Arbeitspapiere, Stellungnahmen etc. durch eine Internetrecherche (Desk Research) identifiziert wurden. Zum anderen fand die Methode explorativer Experteninterviews Anwendung, da im Untersuchungszeitraum von Februar bis April 2014 relativ wenige schriftliche Informationen zu dieser Thematik in Verbindung mit der chemischen Industrie zu recherchieren waren. Insofern dienten die Experteninterviews der Primärerhebung, um relevante Trends frühzeitig zu erkennen. Die Ergebnisse der explorativen Experteninterviews liefern keine „harten“ Daten, sondern eher gegenwärtige Einschätzungen und Erwartungen der Befragten. Der Wert der Ergebnisse liegt somit vor allem in Einsichten in gegenwärtige Diskussionen in Fachkreisen. Sie bieten wertvolle Hinweise auf die hier zentrale Frage, ob eine vertiefende Bearbeitung des Themas zukünftig notwendig werden wird.

Die Experteninterviews wurden sowohl mit Wissenschaftlern im Themenfeld als auch mit Expertinnen und Experten aus Betrieben, Verbänden und Gewerkschaften geführt (siehe Abbildung 2). Die leitfadengestützten Interviews, die per Telefon geführt wurden, dauerten in der Regel zwischen 30 und 60 Minuten.

Prof. Dr. Thomas Bauernhansl Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (Fraunhofer IPA)	Dr. Hans-Jürgen Klockner Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI)
Dr. Andreas Förster Dechema e. V.	Iris Wolf Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE)
Dr. Thomas Steckenreiter Bayer Technology Services GmbH	Michael Pelz Clariant SE
Dr. Georg Oenbrink Evonik Industries AG	Dr. Thomas Bieringer INVITE GmbH
Prof. Dr. Hirsch-Kreinsen Technische Universität Dortmund LS Wirtschafts- und Industrie-soziologie	Wolfgang Daniel Betriebsrat BASF SE
Prof. Dr. Jürgen Kädtler Soziologisches Forschungsinstitut Göttingen (SOFI)	Dr. Wilhelm Otten Evonik Industries AG

Abbildung 2: Befragte Expertinnen und Experten  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Expertinnen und Experten wurden auf der Basis von Ergebnissen einer Vorrecherche ausgewählt. In der Regel hatten die Befragten im durchgeführten telefonischen Interview entweder das Themenfeld „Prozessinnovationen“ oder das Themenfeld „Arbeit, Organisation und Qualifizierung“ stärker im Fokus. Zur Vorbereitung auf das Interview erhielten sie eine kurze Projektinformation.



### 3 Strukturen und Herausforderungen der chemischen Industrie im Überblick

Zum besseren Verständnis der vorliegenden Kurzexpertise ist es notwendig, die Strukturen und Herausforderungen der chemischen Industrie in Deutschland auf der Basis aktueller Fachliteratur kurz zu beschreiben.

Nach einer empirischen Studie des Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung (Gehrke, v. Haaren 2013) zählt die chemische Industrie zu den bedeutendsten Branchen in Deutschland. Gemessen am Umsatz (2012: 144,9 Mrd. EUR) liegt sie auf Platz 4, gemessen an den Beschäftigten auf Platz 5. Im Jahr 2012 hatte sie ca. 325.000 Beschäftigte (davon ca. 25% Frauen) in fast 1600 Betrieben.<sup>4</sup> Gemäß der Studie sind die Beschäftigten in der chemischen Industrie höher qualifiziert als die Beschäftigten in anderen Bereichen des verarbeitenden Gewerbes. Der Anteil der Beschäftigten ohne Berufsausbildung fällt vergleichsweise niedrig aus. Der Anteil der höher qualifizierten Arbeitnehmer ist im Laufe der Zeit deutlich gestiegen. Im Vergleich zu den anderen Bereichen des verarbeitenden Gewerbes hat die chemische Industrie deutlich weniger Beschäftigte, die jünger als 35 Jahre sind. Nach einer Publikation des VCI (2013a) werden in den nächsten 10 Jahren viele Fachkräfte in den Ruhestand gehen.

Die Branche produziert vor allem sogenannte Vorleistungsgüter. Ihre Produkte werden in fast allen anderen Produktionszweigen, wie z. B. im Fahrzeugbau, Bekleidungsindustrie, Baugewerbe oder auch in der chemischen Industrie selbst eingesetzt. Darüber hinaus finden sich ihre Produkte in privaten Haushalten, wo z. B. Pflege- und Reinigungsmittel benutzt werden. Die Branche gilt als von Großbetrieben geprägt. Laut Statista (2013) erwirtschafteten 4,3% der Unternehmen fast 83% des Branchenumsatzes im Jahr 2012; der Branchenumsatz soll nach Angaben von Statista bis 2015 weiter wachsen.

Das Wachstum in der chemischen Industrie wird vor allem durch die Nachfrage auf den Auslandsmärkten getragen (VCI 2013b). Gehrke,

v. Haaren (2013) haben errechnet, dass die Exportquote von 51% im Jahr 2000 auf 57% im Jahr 2012 gestiegen ist. International betrachtet bildet Deutschland nach dieser Studie den mit Abstand stärksten Chemiestandort in Europa; gemessen an den globalen Gesamtumsätzen steht die deutsche chemische Industrie weltweit hinter China, den USA und knapp hinter Japan an vierter Stelle. Ferner wird in der Studie des Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung festgehalten, dass die USA und Deutschland gegenwärtig die größten Exporteure von Chemiewaren sind.

Gehrke, v. Haaren (2013) ermitteln für die chemische Industrie in Deutschland eine eher durchschnittliche Forschungs- und Entwicklungsintensität (FuE-Ausgaben) gemessen am Umsatz in unterschiedlichen Branchen. Wird jedoch der „Anteil des FuE-Personals an den Beschäftigten (berücksichtigt), zählt die Chemieindustrie klar zu den überdurchschnittlich forschungsintensiven Branchen“ (S. 52). Im internationalen Vergleich steht Deutschland, gemessen an der FuE-Intensität hinter Japan auf Platz 2. Nach einer Untersuchung des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW 2014) wird für die nahe Zukunft eine kräftige Zunahme der Innovationsausgaben (z. B. bei neuen Materialien) in der deutschen chemischen Industrie erwartet. Der Anteil der innovativ tätigen Unternehmen soll zudem steigen.

Nach Kleiber, Gmehling (2012) lässt sich die chemische Industrie im Wesentlichen in fünf Bereiche unterteilen:

- Basischemikalien, die in großen, spezialisierten Anlagen mit sehr großen Kapazitäten hergestellt werden (300.000 Tonnen pro Jahr oder mehr).
- Polymere, die ebenfalls in sehr großen Mengen meist als Granulat in großen Anlagen hergestellt werden.
- Pharmazeutika, die in wesentlich geringeren Kapazitäten (z. B. wenige Kilogramm) und in kleinen Anlagen hergestellt werden.
- Fein- und Spezialchemikalien, die in mittleren oder geringen Kapazitäten hergestellt und chargenweise produziert werden. Dazu wird z. B. ein vorhandener Apparatepark zusammengeschaltet.

- Agrochemikalien, die sehr ähnlich wie Fein- und Spezialchemikalien und ebenfalls in mittleren oder geringen Mengen hergestellt werden.

Kleiber, Gmehling (2012) zufolge ist eine Vielzahl von Einzelaktivitäten notwendig, um Chemieprodukte im industriellen Maßstab herstellen zu können. In den Chemie- bzw. Industrieparks, die als eigenständige Unternehmen betrieben werden, wird die gesamte Infrastruktur (z. B. Versorgung mit Strom, Abfallentsorgung, Analytiklabor, Logistik) für den Betrieb chemischer Anlagen unterschiedlicher Firmen zentral und effektiv zur Verfügung gestellt. Unterstützt werden die Betreiber von Chemieanlagen noch von einer Vielzahl von Spezialisten, wie z. B. Anlagenbauer, Forschungs- und Entwicklungsfirmen. Dem Anlagenbau kommt in der chemischen Industrie eine besondere Rolle zu.

Am Bau einer großen Anlage, für deren Fertigstellung in der Regel ca. 3 Jahre benötigt werden, sind meist mehrere Tausend Menschen beteiligt. Die Kosten solcher Anlagen betragen häufig mehrere Hundert Mio. EUR. „Das Know-how liegt bei einigen meist auf bestimmte Anlagentypen spezialisierten Anlagenbau-Unternehmen und bei den entsprechenden Fachabteilungen der Großkonzerne in der chemischen Industrie“ (Kleiber, Gmehling, 2012, S. 279). Ferner halten die Autoren fest: „Allein der immense Investitionsaufwand für eine Chemieanlage macht deutlich, dass sowohl auf der Betreiberseite als auch auf der Anlagenbauerseite unbedingte Sachkompetenz auf allen Gebieten erforderlich ist“ (S. 280).

Die chemische Industrie mit ihren zumeist großen Produktionsanlagen gilt als rohstoff-, energie- und ressourcenintensive Branche. Gegenwärtig werden in Deutschland mehrere zentrale Herausforderungen für die chemische Industrie in Deutschland thematisiert (VCI 2013a):

- Ein erfolgreiches Bestehen im internationalen Wettbewerb benötigt weiterhin Innovationen sowohl bei Produkten als auch bei Prozessen.
- Um dem prognostizierten Fach- und Arbeitskräftemangel in der Branche hinreichend begegnen zu können, müssen themenspezifische Innovationsstrategien entwickelt werden.
- Eine eingeschränktere Verfügbarkeit und Verteuerung von Rohstoff-

fen wird zu noch stärkerer Ressourceneffizienz mittels Produkt- und Prozessinnovationen notwendig machen, wenn der zunehmende Bedarf an Konsumgütern (basierend vor allem auf Basischemikalien) in Lateinamerika und Asien und an höherwertigen Lösungen (basierend insbesondere auf forschungsintensiven hochpreisigen Spezialchemikalien) in den traditionellen Industrieländern gedeckt werden soll.

Der VCI geht in seiner Studie davon aus, dass die deutsche chemische Industrie zukünftig aufgrund ihrer derzeitigen Stärken, diese Herausforderungen positiv nutzen kann. „Der Produktionsverbund innerhalb der Branche und der starke industrielle Kern der deutschen Volkswirtschaft mit seinen vernetzten Wertschöpfungsketten sind dabei Garant für ein solides Wirtschaftswachstum bis 2030“ (VCI 2013a, S. 6). Diese besondere Integration an deutschen Standorten in Verbindung mit gewachsenen Verbundstrukturen, Chemieparks, Forschungsstandorten und enger Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Chemiesparten wird auch in anderen Studien betont (Gehrke, v. Haaren 2013, Statista 2013).

Die Steigerung von Energie- und Ressourceneffizienz spielt eine besondere Rolle bei Investitionen und Innovationen in der deutschen chemischen Industrie (Statista 2013), um den o. g. Herausforderungen zu begegnen. Die Unternehmen der chemischen Industrie sind in Bezug auf eine effiziente Produktion seit vielen Jahren bereits in Bereichen wie der Prozessautomation aktiv.<sup>5</sup> Allerdings gilt das Potenzial, durch eine weitere Optimierung der Prozesse in der Basischemie eine höhere Effizienz zu erreichen, mittlerweile als recht begrenzt (VCI 2013a).

Aufgrund der größeren Möglichkeiten bezüglich der Prozesse und Produkte (z. B. neue Materialien basierend auf nachwachsenden Rohstoffen) in der wachstumsträchtigen Spezialchemie wird hier bis 2030 eine deutliche Effizienzsteigerung prognostiziert. Die zunehmende Diversifizierung verlangt daher auch veränderte Strukturen in Unternehmen, die in immer komplexeren internationalen Wertschöpfungsketten agieren. Als eine gegenwärtige Schwäche werden nach einer Studie von Statista (2013) die weiter optimierbaren Geschäftsprozesse (Produktionsbereich weitgehend von sonstigen Geschäftsabläufen, wie Vertrieb und Marketing abgekoppelt) in deutschen Chemieunternehmen betrachtet.

Unter diesen Rahmenbedingungen können Prozessinnovationen, wie

„Digitalisierung der Produktion“, „Verteilte Produktion“, „Optimierte und flexible Produktion“ etc., für die chemische Industrie in Deutschland zukunftssträchtige und ressourcenschonende Lösungen im internationalen Wettbewerb bieten.

Das PPP SPIRE als Teil des Horizon 2020 Programmes der Europäischen Union wird von der chemischen Industrie mit vorangetrieben; das branchenübergreifende PPP wird von 12 Verbänden und Verbänden unterstützt (Axelera, CLIB 2021, DECHEMA, EURMETAUX, EUnited, IMA Europe, CEMBUREAU, Cerame-Unie, Cefic, EUROFER, WssTP). Aus der deutschen chemischen Industrie sind BASF, Bayer, Evonik, Lanxess Mitglieder, weitere Beteiligte sind Clariant, Dow und INEOS. SPIRE zielt auf die Reduzierung fossiler Energieintensität durch neue energiesparende Prozesse, Energierückgewinnung und alternative, erneuerbare Energiequellen im Prozesskreislauf sowie auf die Reduzierung von nicht-nachwachsenden Primärrohstoffen durch Erhöhung der Produktionsausbeute und durch die Nutzung von Sekundärrohstoffen oder nachwachsenden Rohstoffen (SPIRE 2013).

## 4 Ergebnisse zur Bedeutung von Prozessinnovationen in der zukünftigen chemischen Industrie

Mit Industrie 4.0 sind – wie in Kapitel 1 bereits angedeutet – Innovationen für Fertigungstechnologien, Prozesse und Prozesssteuerung verbunden. Anlagen, Maschinen und Geräte werden zu Cyber-physischen Systemen, die sich in Abstimmung mit anderen cyber-physischen Systemen selbst steuern. Fertigungsprozesse werden selbstorganisiert und Fabriken werden intelligent.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) haben seit der Vorstellung der Umsetzungsempfehlungen der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft (2013) zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0 mehrere Bekanntmachungen zur Förderung von Forschungsprojekten in diesem Themenfeld veröffentlicht. Die aufgrund der Bekanntmachungen ausgewählten Projekte sind in den Abbildungen 3-5 aufgeführt, Projekte mit der chemischen Industrie als Untersuchungsfeld, sind nicht darunter. Die Projekte zielen alle auf die Erforschung von Technologien und Produktionssystematiken einer Industrie 4.0, drei der Projekte beschäftigen sich auch mit Aspekten der Arbeitsorganisation und Qualifizierung und werden in Kapitel 5 aufgegriffen.

Auch auf der Ebene der europäischen Union sind Aktivitäten zu beobachten: Die Europäische Kommission zielt mit Horizon 2020 (European Commission 2013) unter anderem in „Pillar 2“ auf eine Innovationsführerschaft in industriellen Technologien und in „Pillar 3“ auf Ressourceneffizienz. Darunter fallen Arbeitsprogramme zu Informations- und Kommunikationstechnologien sowie zu „Advanced Manufacturing and Processing“ sowie zur Aufbereitung und Wiederverwertung von Ressourcen auf dem Weg zur industriellen Symbiose und einer Kreislaufwirtschaft. Das Arbeitsprogramm sieht in 2014 und 2015 vierzehn Ausschreibungen zu „Factory of the Future“ vor; der Schwerpunkt liegt dabei insbesondere auf der Fertigungsindustrie, sowie sieben Calls zur Ressourceneffizienz (European Commission 2013a). Außerdem sind acht Ausschreibungen zur „Public Private Partnership“(PPP) SPIRE<sup>6</sup> vorgesehen.

BaZMod	Bauteilgerechte Maschinenkonfiguration in der Fertigung durch Cyber-Physische Zusatzmodule
CSC	CyberSystemConnector - Maschinendokumentation intelligent erstellen und nutzen
CyProS	Cyber-Physische Produktionssysteme - Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik
eApps4Production	Flexible Vernetzung intelligenter Engineering Apps (eApps) zur Maximierung der Maschinen- und Anlagenperformance
ERANET-MANUNET-DeLas	Development and Ramp up of automated Laser Assembly
ERANET-MANUNET-MANUbuilding	Energy efficient building for industrial environment
ERANET-MANUNET-Sim4SurfT	Integrated Simulation System for Laser Surface Treatment of Complex Parts
INBENZHAP	Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung
IWEPRO	Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion
KapaflexCy	Selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität in Human-Cyber-Physical-Systems
KARISPRO	Kleinskaliges Autonomes Redundantes Intralogistik-System in der Produktion
mecPro2	Modellbasierter Entwicklungsprozess cybertronischer Produkte und Produktionssysteme
MetamoFAB	Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik
netkoPs	Vernetzte, kognitive Produktionssysteme
piCASSO	Industrielle CloudbASierte Steuerungsplattform für eine Produktion mit cyber-physischen Systemen

ProSense	Hochauflösende Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und intelligenter Sensorik
RobIN 4.0	Robustheit durch Integration, Interaktion, Interpretation & Intelligenz
S-CPS	Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme
SecurePLU-GandWORK	Intelligente Inbetriebnahme von Maschinen und verketteten Anlagen
SmartTool	Intelligente Werkzeuge für die vernetzte Fertigung von morgen
ToolCloud	Unternehmensübergreifendes Lebenszyklusmanagement für Werkzeuge in der Cloud mittels eindeutiger Kennzeichnung und Identifikation

Abbildung 3: BMBF-Förderung Produktionsforschung für Industrie 4.0

it's OWL - Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe
EffizienzCluster LogistikRuhr
MicroTEC Südwest
Software-Cluster

Abbildung 4: BMBF-Förderung Spitzencluster im Bereich Industrie 4.0

APPSIST	Mobile Assistenzsysteme und Internetdienste in der intelligenten Produktion
CoCos	Plug&Play-Vernetzung in der Produktion
CultLab3D	Mobiles Labor für 3D-Digitalisierung von Kulturschätzen
FTF OutOfTheBox	Autonom handelnde fahrerlose Transportfahrzeuge mit Sprach- und Gestensteuerung
InnoCyFer	Bionisch gesteuerte Fertigungssysteme für die Herstellung kundenindividueller Produkte



InSA	Schutz- und Sicherheitskonzepte für die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter in gemeinsamen Arbeitsbereichen
InventAIRy	Inventur von Lagerbeständen mit autonomen Flugrobotern
GUIDED AB	Energieeffizienz, Komfort und Sicherheit durch vernetzte und selbstlernende Gebäude- und Heimtechnik
MANUSERV	Planungs- und Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl industrieller Serviceroboter
motionEAP	Autonome Echtzeitassistenz für Fertigungsmitarbeiter für bessere Ergonomie und höhere Effizienz am Arbeitsplatz
OPAK	3D-gestützte Engineering-Plattform für die intuitive Entwicklung und effiziente Inbetriebnahme von Produktionsanlagen
ProShape	Hard- und Softwarelösungen zur flexiblen Energieversorgung und -kostenminimierung
ReApp	Plug&Play-Integration von Robotern in der Industrieautomatisierung
Smart Face	Dezentrale Produktionssteuerung für die Automobilindustrie
Smart Home + Building Zertifizierungsprogramm	Zertifizierungsprogramm für das Smart Home
SmartSite	Autonome und vernetzte Baumaschinen im Straßenbau
SPEEDFACTORY	Automatische Einzelstückfertigung von Sportschuhen und Textilien
UHCI	Intuitive Bedienkonzepte für moderne Interaktionstechnologien im Smart Home

Abbildung 5: BMWi-Förderung Autonomik 4.0

Relevante Aktivitäten zur Zukunft der Produktion gibt es ebenfalls in den USA. Hier ist allerdings der Schwerpunkt etwas anders gelagert als bei der Diskussion zur Industrie 4.0 in Deutschland. Ausgangspunkt ist das Ziel der Reindustrialisierung, das durch Innovationsführerschaft im „Advanced Manufacturing“<sup>7</sup>, d. h. bei neuen Produktionstechnologien, Werkstoffen und neuen Produkten erreicht werden soll (President’s Council of Advisors on Science and Technology 2011; National Science and Technology Council 2012). „Advanced Manufacturing“ beinhaltet fünf Aspekte: Additiv-generative Fertigungstechnologien (3D-Druck), Neue Werkstoffe, Innovative Robotik, Internet der Dinge und neue Sensorik sowie (tiefgreifende) Automatisierung von Wissensarbeit<sup>8</sup>. In den USA geht es somit neben der Digitalisierung der Produktion und neuen Produktionstechnologien um die Industrialisierung von Management und Engineering.

Wettbewerbsfähigkeit in der zukünftigen chemischen Industrie (in Deutschland) wird unter anderem bestimmt durch die Energie- und Ressourceneffizienz der Prozesse, durch die Länge der Innovationszyklen („Time-To-Market“) und durch ein durchgängiges Lifecycle-Management für die betriebenen Anlagen (Becker, Franke, Stenger 2013; Lorenz 2013). Insbesondere für den Bereich der Spezial- und Feinchemie, der nach einer VCI-Studie der wesentliche Wachstumsbereich der deutschen chemischen Industrie bis 2030 sein wird (VCI 2013a), ist die Verkürzung von „Time-To-Market“ wichtig (Becker, Franke, Stenger 2013; Mühlkamp 2012). Die zahlreichen genannten Begrifflichkeiten für Prozessinnovationen sind Antworten darauf. Sie beschreiben letztendlich Aspekte des Konzepts einer Industrie 4.0 (Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft 2013).

Nach Meinung der meisten, für die Kurzexpertise befragten Experten sind Modularisierung und Flexibilisierung der Produktion sowie eine durchgehende sensorische Überwachung der Produktion und Echtzeit-Optimierung, die auch Aspekte einer Industrie 4.0 sind, in der chemischen Industrie schon lange auf der Agenda; aufgrund des kontinuierlichen Materialflusses ist in der Prozessindustrie bereits eine Vernetzung gegeben und steuerungstechnisch erforderlich. Modularisierung und Flexibilisierung betreffen vor allem zwei Bereiche: Betriebsintern in Batch-Prozessen<sup>9</sup>/Nicht-Kontinuierlicher Produktion kleiner Mengen und internationale Wertschöpfungsnetze. Die betriebs-

übergreifende und internationale Vernetzung von Anlagen ermöglicht eine Flexibilisierung und Automatisierung der Wertschöpfungsnetze. Sie wird insbesondere durch die wachsenden Möglichkeiten der IKT-Technologien getrieben und die Digitalisierung der Automatisierung wird weiter voranschreiten. Betriebsintern sollen hochintegrierte, flexible Anlagen und Prozessabläufe erreicht werden, wie das beispielsweise bei Verpackungen von Produkten heute bereits der Fall ist. Die Umrüstung von Anlagen zwischen Produkten soll vereinfacht werden und schneller erfolgen können. Das verbessert die Flexibilität und verringert Kosten bei der Umstellung von Anlagen zwischen verschiedenen Produkten.

Technologien zur Digitalisierung und Automatisierung der Produktion können auch dazu beitragen, die Arbeitsorganisation zu flexibilisieren und Betriebsabläufe zu optimieren sowie die Komplexität eines Arbeitsumfeldes zu reduzieren. Sie bieten die Grundlage, um einheitliche, betriebsübergreifende kontinuierliche Verbesserungsprozesse zu etablieren. Ein Beispiel dafür ist OPAL 21<sup>10</sup> bei BASF (Heinze 2010, Chemie-Stiftung Sozialpartner-Akademie).

Ein besonders wichtiges aktorsübergreifendes Projekt zur Modularisierung von Produktionsanlagen war F3-Factory. Im F3-Factory-Projekt hat die europäische chemische Industrie bis 2013 an der Modularisierung von Chemieanlagen und Container-Modulen mit Mikroreaktoren<sup>11</sup> als Bausteine von Kleinproduktionsanlagen insbesondere für die Fein- und Spezialchemie gearbeitet (F3 Factory Konsortium 2013; Becker, Franke, Stenger 2013). Dabei wurden Design-Richtlinien für „Process Equipment Container“<sup>12</sup> und „Process Equipment Assemblies“<sup>13</sup> festgelegt und eine Demonstrationsanlage mit einer Backbone-Infrastruktur zum Andocken von Container-Modulen errichtet<sup>14</sup>.

Mit einem Container können mehrere 1000 kg/y eines Produkts hergestellt werden (Experteninterviews, siehe auch Becker, Franke, Stenger 2013). Das entspricht Container-Durchsätzen von etwa 10-100 kg/h. Reststoffe und Abfallprodukte können bei diesen Volumina noch mit Abfallbehältern aufgefangen werden, die dann per Lkw abtransportiert werden. Bei einer Fehlfunktion eines Moduls in einem Container bzw. innerhalb eines Moduls, beispielsweise einem Dichtungsleck, wird das gesamte Modul ausgetauscht. Der Austausch dauert etwa 10-30

Minuten, was einem Ausfall an Produkt von 5 l bei einer stündlichen Produktion von 10 l entspricht. Durch die Modularisierung können also Ausschuss und Stillstandszeiten und damit Kosten verringert werden. Nach Aussagen der meisten Experten sind die Container-Module damit grundsätzlich als Technologie erarbeitet. Die modularen Anlagen sind robuster als eine Produktion von Kleinstmengen im Labor.

Modulare Produktionsanlagen für die Fein- und Spezialchemie und den Pharma-Bereich, wie Speziallacke, Kosmetika, Feinlacke, sind beispielsweise für die Einführung neuer Produkte in den Markt interessant. Mit bisherigen Konzepten waren Anlagen für neue Produkte anfangs nicht ausgelastet, mit den Containern kann in einer Anschubphase der Marktbedarf befriedigt werden. Durch Erhöhung oder Verringerung der Anzahl der Container für ein Produkt kann flexibel auf die Nachfrage reagiert werden ohne bei der Investition das Risiko einer schlecht ausgelasteten Großanlage einzugehen. Durch das Baukastensystem modularer Produktionsanlagen können Skalierungseffekte bereits bei kleinen Anlagengrößen erzielt werden. Skaleneffekte können dabei auch durch die kontinuierliche Laufzeit für bisherige Batch-Prozesse erreicht werden.

Technologien zur Modularisierung und Flexibilisierung werden nach Aussagen der meisten befragten Experten bereits heute bei Planung und Bau neuer Batch-Betriebe eingesetzt. Batch-Betriebe haben üblicherweise eine Lebensdauer von 30 Jahren, entsprechend lange werden neue, modulare und alte Anlagen nebeneinander betrieben. Modulare Word-Scale-Anlagen für Kunststoffe wie PET wären nach Aussagen einzelner Experten zu teuer und werden weiterhin in Großanlagen und großen Tonnen hergestellt<sup>15</sup>. Die Großanlagen mit kontinuierlich laufenden Prozessen werden weiterhin als Einzelanlagen geplant und gebaut.

Einige der befragten Experten benannten darüber hinaus zwei Szenarien, wie modulare Produktionsanlagen zukünftig eingesetzt werden können.

I. Die Chemieparcs werden bestehen bleiben.

- In großen Chemieparcs kann die wechselseitige Bereitstellung von Stoffströmen die Ressourceneffizienz steigern, der Abfall des

einen Prozesses kann das Edukt des anderen sein. Module werden in Chemieparcs zu sehr großen Anlagen zusammengefügt. Für die Sicherheit gerade auch bei der Lagerung von Gefahrstoffen sind große Chemieparcs geeigneter als dezentrale Lösungen. Die Stoffströme, insbesondere die Abfälle sind in einer verteilten Produktion beim Kunden und außerhalb von Chemieparcs schwierig bereitzustellen und zu handhaben.

- Die Chemieparcs und -anlagen werden kleiner. Die Module werden zu Chemieverbänden von der Größe beispielsweise einer Turnhalle zusammengefügt und können ressourceneffizient gemeinsame Stoffströme bereitstellen und nutzen.

## II. Die verteilte Produktion wird realisiert.

- Die industrielle Symbiose wird in Zukunft nicht nur zwischen Betrieben und Branchen erfolgen, sondern in und zusammen mit den Städten. Die verteilte Produktion kann auch in Wohn- oder Gewerbegebieten erfolgen<sup>16</sup>, wobei die Bereitstellung des Stoffstroms dann gelöst werden muss.
- Die verteilte Produktion erfolgt nah beim Kunden und auf kurzfristige Nachfrage. Einzelne wurden als Beispiele die Herstellung von Feinlacken in der Nähe eines Automobilherstellers und die Herstellung von PET direkt beim Flaschenhersteller genannt.<sup>17</sup>
- Die großen Chemieparcs werden bleiben, jedoch erfolgt die finale Produktveredelung durch kleine, modulare Anlagen. Damit können die Anforderungen von Zielländern nach lokaler Produktion erfüllt werden.
- Die Produktionsanlage befindet sich auf einem Schiff, das auf dem Weg zum Zielland produziert. Das Produkt wird am Zielort entladen. Lokalen, saisonalen oder wetterbedingten Nachfrageschwankungen beispielsweise nach Produkten für den Agrarwirtschaftssektor kann damit womöglich besser entsprochen werden.
- Container werden in kleinen Ländern aufgestellt und betrieben, um damit den lokalen Markt zu bedienen.

Da in einer verteilten Produktion keine Einbindung in einen klassischen Stoffstrom gegeben ist, sind für Umsetzung dieser Modularisierungskonzepte neue Logistik-Konzepte für Edukte und Stoffströme und womöglich auch Produkte notwendig. Einzelne Experten sehen dafür bisher wenige und rudimentäre Ansätze. Bei kleinen Anlagen, die aus wenigen Containern bestehen, könnte beispielsweise das Auffangen von Abfallprodukten und Reststoffen in einfachen Behältern erfolgen, die mit Lkw abgefahren werden.

Durch Hybridisierung von Produktionsprozessen, d. h. Verkürzung von Prozessketten oder Kombination von Prozessen, können deren Komplexität verringert und Effizienzpotenziale gehoben werden, insbesondere bei einem Ausbau der industriellen Symbiose. Allerdings könnten dadurch Mehrfachverwendungsmöglichkeiten von Modulen reduziert oder verhindert werden. Die Auflösung dieses Widerspruchs kann durch formalisierte Ansätze für die systematische Hybridisierung von Produktionsprozessen möglich sein. Erst durch Integration, Verschaltung und Hybridisierung von Prozessen können modular aufgebaute Anlagenkonzepte vollständig realisiert werden.

Ziel weiterer Entwicklungen ist das Erreichen einer „Plug&Produce“-Fähigkeit der Container und Module, die wesentlich für die flexible und kosteneffiziente Nutzung der Modularisierung ist. Von einigen befragten Experten wurden zwei wesentliche Schwierigkeiten auf dem Weg dorthin genannt. (i) Es fehlen Standards beziehungsweise Vereinbarungen für die Schnittstellen zur Integration von Modulen in ein Prozessleitsystem. Um Module flexibel miteinander zu verbinden, werden offene Schnittstellen zu den Prozessleitsystemen benötigt. (ii) Die Zusammenarbeit zwischen den Bereichen Prozessautomatisierung und IKT insbesondere IT-Security ist unzureichend. Es bestehen demnach keine gemeinsamen Arbeitsgruppen von Mitarbeitern aus der Automatisierung und der Informations- und Kommunikationstechnologie, weder auf Unternehmensebene noch in Forschungseinrichtungen. Damit sind für „Plug&Produce“ in der chemischen Industrie zwei wesentliche Handlungsfelder – Standards und IT-Sicherheit – benannt wie sie in gleicher Weise für die Industrie 4.0 im Allgemeinen bestehen.

Vom modularen Produktionskonzept sind die befragten Experten aus den Industrieunternehmen überzeugt. Trotz der Schwierigkeiten ist

nach Meinung der meisten Experten davon auszugehen, dass in 5-15 Jahren erste „Plug&Produce“-fähige Module anlagenreif sind und für Entwicklung und Aufbau von Produktionsanlagen zum Realbetrieb eingesetzt werden (siehe auch Abbildung 6). Aus „Insellösungen“ in einzelnen Unternehmen werden durch Vereinbarung von Mindeststandards in der Kommunikation und Integration in Prozessleitsysteme interoperable Module und Architekturen. Derzeit sind die Prozessleitsysteme herstellerabhängig, die Integration einer Anlage oder eines Moduls in eine Anlage bedeuten aufwendige Programmierarbeit (Obst, Hahn, & Urbas, 2014), Module werden nach den Expertenaussagen im Extremfall bitweise an ein Leitsystem angebunden. Für die Entwicklung der Schnittstellenstandards zu einem Prozessleitsystem ist die Einbindung und Zusammenarbeit mit der Automatisierungsindustrie erforderlich, die Entwicklung kann nur gemeinsam erfolgen. Die Unternehmen der chemischen Industrie sind hier abhängig von den Prozessleitsystem-Herstellern. Das Ziel „Plug&Produce“ bedeutet nach Aussagen einiger der befragten Experten einen Paradigmen-Wechsel. Dieser Paradigmenwechsel ist möglicherweise mit einer emotionalen Schwelle verbunden. Insbesondere bedeutet er Veränderungen im Geschäftsmodell der Leitsystemanbieter wie ABB, Emerson oder Siemens, die dadurch bisherige Differenzierungsmerkmale im Wettbewerb verlieren würden. Entsprechend scheinen die Anbieter diese Entwicklung bisher nicht mit vorantreiben wollen, sondern ihre Anwendungen nach Aussagen der Experten derzeit weiterhin kapseln.

Dazu bestehen unter dem Begriff „Integriertes Engineering“<sup>18</sup> Aktivitäten von Akteuren wie NAMUR<sup>19</sup> oder VDI/VDE GMA<sup>20</sup> (Tauchnitz 2013, Tauchnitz 2014, NAMUR 2013 und weitere, VDI/VDE GMA 2013, VDI/VDE Richtlinien 2014), die darauf abzielen, Standards beispielsweise für Datenmodelle zu vereinbaren, die eine schnelle Integration von Modulen in ein Prozessleitsystem ermöglichen und Wege aufzeigen, wie die weltweiten Daten aller Anlagen eines Unternehmens in den genutzten Software-Werkzeugen kohärent gehalten werden können.<sup>21</sup>

Mit einer weltweiten Vernetzung von Anlagen und der Echtzeit-Überwachung der Prozesse und Anlagen können deren Betriebsdaten ausgelesen und in der Cloud<sup>22</sup> in Echtzeit analysiert werden (bezeichnet als „Big Data“). Solche IT-Services<sup>23</sup> zur Prozess- und Anlagenoptimierung können beispielsweise Betriebsdaten gleichartiger Module in einer

Cloud-Anwendung vergleichen und Auffälligkeiten in einzelnen Anlagen und Modulen in Echtzeit identifizieren, so dass Ausfallrisiken eines Elements wie eines Pumpenmoduls frühzeitig erkannt werden. So kann die entsprechende Pumpe rechtzeitig ausgetauscht oder eine Ersatzpumpe für den erwarteten Ausfall bereitgestellt werden und Stillstandszeiten können minimiert werden. Neben der (automatisierten) Ferndiagnose ergeben sich für umfassend vernetzte Anlagen auch neue Möglichkeiten zur Fernwartung. Einzelne der für die vorliegende Kurzexpertise befragten Experten benannten die Ferndiagnose und Fernwartung als besonders bedeutend für Anlagen außerhalb der Europäischen Union, da es insbesondere in asiatischen Ländern besonders schwierig sei, entsprechende Fachleute zu gewinnen, auszubilden und langfristig zu halten. Durch die neuen Möglichkeiten bei Ferndiagnose und -wartung können sich auch neue Geschäftsmodelle und -felder in der chemischen Industrie entwickeln. Die Unternehmen der chemischen Industrie können die gekauften Module entweder selbst vollständig beherrschen und technische Wartungen, Austausch von Komponenten usw. selbst durchführen oder die notwendigen Fähigkeiten auslagern und durch Service-Verträge einkaufen.

„Plug&Produce“-Produktionsmodule und verstärkte IT-Automation können zur Folge haben, dass regelmäßig Software-Updates notwendig werden, um sich beispielsweise vor neuen Bedrohungen der IT-Sicherheit zu schützen. Das ist grundsätzlich für die chemische Industrie nicht ungewohnt; bei der Software der Anlagen- und Steuerungstechnik vor allem im Verpackungsbereich erfolgen bereits heute regelmäßige Produkterneuerungen/Updates und Downloads von Software. Die Bereitschaft, für Effizienzgewinne in den Produktionsprozessen auch derartige Zyklen zu akzeptieren, ist nach Expertenaussagen vorhanden, schnelllebige Produktzyklen aus dem IKT-Bereich erzeugen hier keine Konflikte.

Eine umfassende Vernetzung erfordert einen Netzwerk-Standard mit gesteigerter Bandbreite gegenüber dem derzeitigen Feldbus. Erste Lösungen für Ethernet-in-the-Field erfüllen die Anforderungen an einen Feldbus nur teilweise, insbesondere der EX-Schutz kann bisher nicht gewährleistet werden (NAMUR 2003; Scheuermann 2013). Die Mehrzahl der befragten Experten erwartet, dass sich eine standardisierte technische Lösung, welche diese Anforderungen erfüllt, schnell verbreiten wird.



Additiv-generative Fertigungsverfahren (3D-Druck) werden in der Stückgutfertigung als ein Aspekt der zukünftigen Produktion kundenspezifischer Produkte diskutiert, für 2025 erwartet McKinsey einen weltweiten Markt von 550 Mrd. EUR für 3D-gedruckte Produkte (Cohen, Sargeant, & Somers, 2014). Schon heute können 3D-Drucker komplexe Produkte wie Batterien herstellen. Für chemische Prozesse wird 3D-Druck als Labortechnik genutzt, um kostengünstig, automatisiert und reproduzierbar neue Reaktionsprodukte zu synthetisieren (Symes, et al., 2012). Damit könnten beispielsweise kundenspezifisch pharmazeutische Produkte hergestellt werden. Für die chemische Industrie sehen die meisten Experten eine Bedeutung als zukünftigem Absatzmarkt für die Produkte, verfahrenstechnisch wird für 3D-Druck in der chemischen Industrie keine Bedeutung erwartet.

Die diskutierten Technologien und Konzepte sind in Abbildung 6 zusammenfassend aufgeführt. Anhand der Quellenanalyse und der Einschätzungen der befragten Experten sind diese in einen zeitlichen Horizont gebracht worden. Der Ausblick, ob und wann Demonstrationen der Anwendung und Markteinführungen zu erwarten sind, ist bisher unscharf, so dass die Abbildung sowohl die Synthese dieses Kapitels als auch eine Hypothese für zukünftige Untersuchungen darstellt, die zu überprüfen wäre.

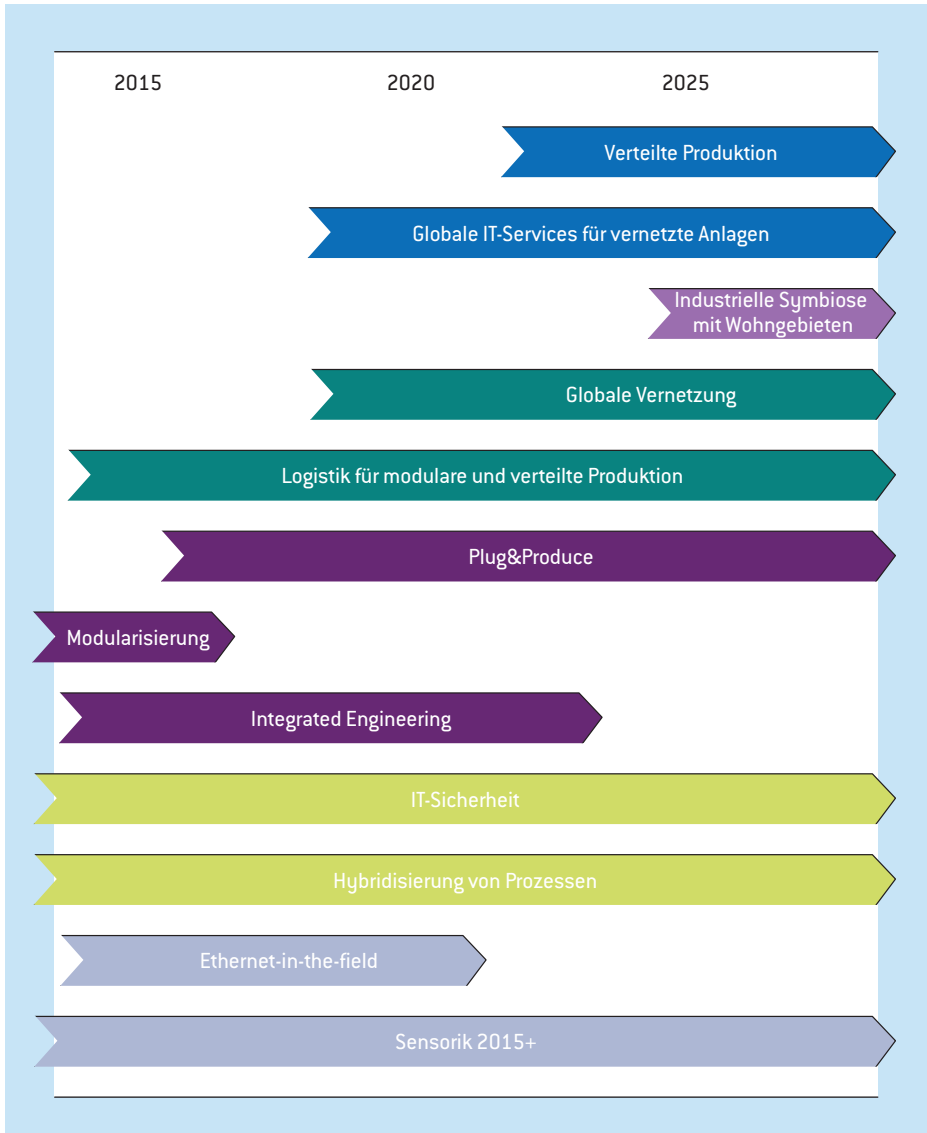


Abbildung 6: Schematischer Vorschlag einer Agenda von zukünftigen Technologien und Anwendungen in der chemischen Industrie. Eigene Einschätzung aufgrund der Experteninterviews und Literaturanalyse.

## Zusammenfassung Kapitel 4

Die Modularisierung und Flexibilisierung von Produktionsanlagen der chemischen Industrie wurde von einem europäischen Konsortium im Projekt F3 Factory wesentlich vorangetrieben. Das Projekt wurde im 7. Forschungsrahmenprogramm von der Europäischen Kommission gefördert.

Durch die Modularisierung können Anlagen flexibel an Markt- und Nachfragetrends angepasst werden und diese so besser bedient werden. Damit entstehen beispielsweise für eine Produkteinführung mit kleiner Nachfrage zunächst geringe Investitionskosten, Überkapazitäten werden vermieden.

Aus der Vernetzung von Anlagen und Modulen sowie der Datenanalyse in Echtzeit können neue Methoden entstehen, um Prozesse und Anlagen zu optimieren, beispielsweise Stillstandszeiten zu reduzieren und so Betriebskosten von Anlagen zu verringern.

Die Vernetzung von Anlagen und „Plug&Produce“ ermöglichen für die chemische Industrie neue Standortkonzepte; Produktionsanlagen können verteilt aufgestellt werden, und sich in der Nähe von Kunden und Rohstoffen befinden, oder auch mobil sein. Das bietet das Potential für neue Geschäftsmodelle bei Installation, Betrieb und Wartung von Anlagen.

In einer verteilten Produktion kann die industrielle Symbiose, die Bereitstellung und Nutzung von Stoffströmen mit anderen Industrien oder auch mit Wohnsiedlungen erfolgen. Es eröffnen sich neue Chancen für die Entwicklung zu einer nachhaltigen Industrie.

Die ermittelten Trends deuten darauf hin, dass die zukünftige chemische Industrie integriert, modular, verteilt, global vernetzt und in Symbiose mit anderen Industrien und Siedlungsgebieten sein kann. Daraus entstehen Veränderungen in der Arbeitsorganisation und neue Anforderungen an die Qualifizierung. Das wirtschaftliche Potential dieser Trends ist bisher allerdings nicht abschätzbar, und es bleibt noch offen, welche technologischen Trends sich tatsächlich auch wirtschaftlich durchsetzen werden.

## 5 Ergebnisse zu Arbeit, Arbeitsorganisation und Qualifizierung in der zukünftigen chemischen Industrie

Die wirtschafts-, sozial- und arbeitswissenschaftliche Forschung zu Ansätzen wie Industrie 4.0, Intelligente Fabrik, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion steht noch ganz am Anfang, auch wenn es Vorläuferkonzepte wie „Computer Integrated Manufacturing“ (CIM) aus den 1980er und 1990er Jahren gibt, die intensiv erforscht worden sind (Hirsch-Kreinsen 2014).

Ein ausgewiesener Experte für Produktionstechnik und Automatisierung hat in einem veröffentlichten Interview in der Zeitschrift Open Automation den anvisierten Unterschied von CIM und Industrie pointiert dargestellt: „CIM ist davon ausgegangen, dass wir keine Menschen mehr in der Fabrik haben werden. CIM hat das Konzept, dass alles hochintegriert ist und zentral über einen Leitrechner gesteuert wird. Industrie 4.0 setzt auf neue Themen, nämlich auf Kommunikation statt auf Integration. Das heißt, wir haben dezentrale autonome Systeme, die miteinander kommunizieren können. ... Der Mensch steht weiterhin im Mittelpunkt der Fabrik, aber seine Rolle ändert sich“ (Bauernhansl 2013).

In der jüngeren Vergangenheit sind Forschungsprojekte im Themenfeld „Ganzheitliche Produktionssysteme“ angestoßen worden. Der Grundgedanke bei einem Ganzheitlichen Produktionssystem (GPS) liegt – vereinfacht dargestellt – darin, die Teilsysteme der industriellen Produktion, von der Produktionsplanung bis zum Versand der Produkte, aufeinander abzustimmen. Ziele eines GPS sind die Reduzierung der Kosten, Erhöhung der Produktivität und damit die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. Ob sich die Forschungsergebnisse aus laufenden Projekten zu GPS, die Branchen wie die Automobil- und Elektroindustrie im Fokus haben, für die Analyse der zukünftigen Produktion in der chemischen Industrie nutzen lassen, wird zu prüfen sein, wenn die Forschungsergebnisse der Öffentlichkeit vorliegen. Beispielhaft sind hier zwei Forschungsprojekte genannt, die von der Hans-Böckler-Stiftung gefördert und im Laufe des Jahres 2014 abgeschlossen werden:

- Am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) werden der Verbreitungsstand und die Verbreitungsdynamik von Ganzheitlichen Produktionssystemen untersucht. Ziel ist es – so in der Selbstdarstellung des Projekts –, „die Diskussion über GPS um belastbare Daten zur Verbreitung im deutschen Verarbeitenden Gewerbe und um eine empirische Typologie zu ergänzen, sowie die Folgewirkung solcher Ansätze, insbesondere für die Beschäftigten, in den Blick zu nehmen.“<sup>24</sup> Das Projekt läuft noch bis Dezember 2014.
- Am Lehrstuhl Wirtschafts- und Industriesoziologie der TU Dortmund läuft gegenwärtig das Projekt „Neue Formen von Industriearbeit – Herausforderungen und Folgen neuer Produktionssysteme“. In diesem wird insbesondere die Frage nach dem Wandel von Industriearbeit untersucht. Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass mit der Einführung von GPS „ein grundlegender Konzeptionswandel von Arbeit einhergeht, der mit den derzeit diskutierten Kategorien der Arbeitsanalyse kaum zureichend erfasst wird.“<sup>25</sup> Als Untersuchungsfeld fungieren hier die Automobil- und Elektroindustrie. Die Abschlussergebnisse dieses Forschungsprojektes sollen im Frühjahr/Sommer 2014 veröffentlicht werden.<sup>26</sup>

Die Einschränkung bezüglich der Nicht-Berücksichtigung der chemischen Industrie als Untersuchungsfeld gilt auch für die Forschungsarbeit „Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0“ des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (Fraunhofer IAO). Hier wurden Branchen wie die Elektroindustrie, der Maschinen- und Anlagenbau, die Medizintechnik und der Automobilbau berücksichtigt. Die Studie soll „eine Arbeitsgrundlage für die aktive Gestaltung der vierten industriellen Revolution (schaffen, d. V.) und somit Unternehmen auf ihrem Weg in die Industrie 4.0 (unterstützen, d. V.)“ (Spath 2013, S. 4).<sup>27</sup> Im Rahmen dieser Studie wurde eine quantitative Umfrage bei produzierenden Unternehmen (661 Teilnehmer) durchgeführt und ergänzt „durch Meinungen und Visionen führender Experten“ (Spath 2013, S. 27). Als zentrale Ergebnisse der Studie, die die „vorhandene Erwartungshaltung in Theorie und Praxis widerspiegeln“, lassen sich bezüglich Arbeit, Organisation und Qualifizierung zusammengefasst festhalten (Spath 2013, S. 6):

- Menschliche Arbeit bleibt weiterhin ein wichtiger Bestandteil der Produktion.
- Die Aufgaben traditioneller Produktions- und Wissensarbeiter wachsen weiter zusammen. Produktionsarbeiter übernehmen vermehrt Aufgaben für die Produktentwicklung.
- Mitarbeiter müssen für kurzfristigere, weniger planbare Arbeitstätigkeiten On-the-Job qualifiziert werden.
- Flexibilität muss zielgerichtet und systematisch organisiert werden.

Seit dem Winter 2013/2014 sind drei vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ geförderte Projekte angelaufen, die im Jahr 2016 abgeschlossen werden sollen. Diese Projekte berücksichtigen die Themen Arbeit, Organisation und Qualifizierung in der zukünftigen Produktion:

- IWEPRO: Das Verbundforschungsvorhaben IWEPRO (Intelligente selbst-organisierende Werkstattproduktion)<sup>28</sup> zielt nach eigenen Angaben auf die Erschließung innovativer Produktionskonzepte ab. „Neue Lösungen für die Produktion setzen auf Ebene der Werkstattfertigung an, da hier durch flexible Produktionsstrukturen mit autonom agierenden Komponenten erhebliche Vorteile gegenüber zentral gesteuerten starren Strukturen geschaffen werden können. Für eine zukünftige ‚smarte‘ Werkstattfertigung werden Lösungen entwickelt, mit denen es möglich sein wird, dass intelligent vernetzte Produkte, Produktionsmaschinen, Transportsysteme und Fertigungsressourcen untereinander Auftrags- und Fertigungsinformationen austauschen und aufgaben- und situationsorientiert mit den Werkern kooperieren. Eine solche ‚smarte‘ Werkstattfertigung besteht aus dezentralen Strukturen mit kleinen Regelkreisen und basiert auf effizienter, ergebnisorientierter Kommunikation sowie vernetzter Kooperation aller am Produktionsprozess beteiligten Ressourcen und Mitarbeiter. Im Zentrum des Projekts steht die Synchronisation von zentralen und dezentralen Steuerungs- und Überwachungsfunktionen durch die Anbindung der realen Objekte an die virtuelle IuK-Welt mithilfe eines Cyber-Physischen Produktionssystems.“ Das Verbundprojekt wird

von der Adam Opel AG koordiniert. Die Projektpartner stammen u. a. aus der Automobilindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Informations- und Kommunikationstechnologie. Darüber hinaus ist das Soziologische Forschungsinstitut Göttingen (SOFI) am Projekt beteiligt. Ein Schwerpunkt des Projektes liegt u. a. auf der Beteiligung von Management und Mitarbeitern im Umfeld von Industrie 4.0.

- **MetamoFab:** Das Ziel des Verbundprojekts MetamoFab (Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik) ist es gemäß Selbstdarstellung<sup>29</sup>, „bestehenden Unternehmen die Metamorphose zu intelligenten und vernetzten Fabriken zu ermöglichen. Gemäß der Vision von cyber-physischen Systemen (CPS) können dadurch signifikante Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerungen erreicht werden. Um den Transfer in die Industrie zu gewährleisten, werden Vorgehensweisen, Modelle, Methoden und Werkzeuge sowie notwendige Qualifizierungsprozesse für die Planung, Begleitung und Durchführung der Transformation zur zukünftigen CPS-Fabrik anwendungs- und branchenübergreifend entwickelt, in virtuellen und realen Labor-demonstratoren erprobt und nach erfolgreicher Absicherung in drei realen Produktionsumgebungen der Industriepartner demonstriert.“ Das Verbundprojekt wird von der Siemens AG koordiniert. Die Projektpartner stammen u. a. aus der Informations- und Kommunikationstechnologie, dem Anlagenbau, der Automatisierung. Darüber hinaus ist das Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart am Projekt beteiligt. Ein Schwerpunkt des Projektes liegt u. a. auf der Wandlung konventioneller Fabriken zu smart factories unter Beteiligung der Mitarbeiter.
- **S-CPS:** Das Verbundprojekt S-CPS (Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme)<sup>30</sup> entwickelt – so seine Selbstdarstellung – ein sogenanntes Ressourcen-Cockpit, „das für die Instandhaltung und Fernwartung relevante Datenströme der Produkte und Produktionsressourcen zusammenführt und dem mobilen Mitarbeiter zur Verfügung stellt. Das Ressourcen-Cockpit erstellt automatisiert und dynamisch eine Übersicht der anstehenden Aufgaben, notwendigen und freien Ressourcen, Maschinenzustände und Termine und ist an verschiedene Nutzerrollen anpassbar (z. B. Instandhalter, Disponent, Entscheider). Ressourcen-Cockpit-Demonstratoren werden für die intelligente Instandhaltung in der Automobilproduktion bzw. Auto-

mobilizuliefererindustrie sowie für die effiziente Instandhaltung von Windkraftanlagen pilotiert und validiert. Begleitende Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung, Qualifizierung sowie zur unternehmens- und herstellerübergreifenden Standardisierung unterstützen die Verbreitung von SCPS in der Praxis.“ Das Verbundprojekt wird von der CBS Computer Beratung koordiniert. Unter den Industriepartnern finden sich Unternehmen wie die Audi AG und die Continental AG.

Darüber hinaus fördert das BMBF im Rahmen des Programms „Arbeiten – Lernen – Kompetenzen entwickeln. Innovationsfähigkeit in einer modernen Arbeitswelt“ das Verbundprojekt ELIAS (Engineering und Mainstreaming lernförderlicher industrieller Arbeitssysteme)<sup>31</sup>, das im Jahr 2016 abgeschlossen werden soll. Laut Selbstbeschreibung ist es die Zielsetzung des Projektes, „unter Berücksichtigung des beschleunigten technologischen und demografischen Wandels neue Ansätze und Konzepte zu entwickeln, um moderne Arbeits- und Produktionssysteme bereits im Entstehungsprozess lernförderlich zu gestalten oder bestehende Systeme entsprechend zu verändern.“ Mit ELIAS soll u. a. ein Konzept erreicht werden, dass

- „eine lernförderliche Konfiguration bereits im Entwicklungsprozess planbar macht
- neue Formen des Lernens im Prozess der Arbeit berücksichtigt
- das Potenzial neuester Informations- und Kommunikationstechnologien ausschöpft,
- Kompetenzerwerb und –erhalt stärker auf die gesamte Erwerbsbiografie der Beschäftigten ausweitet
- neue Zielgruppen für die berufliche Bildung erschließt und
- Mitarbeiterqualifikationen bei gleichzeitig steigender Produktivität erreichbar macht.“

Das Verbundprojekt wird koordiniert durch die RWTH Aachen und Xervon, einem Unternehmen aus der Prozessindustrie. Beteiligt ist außerdem das Unternehmen Hella.



Die von den Branchenverbänden VDMA, BITKOM und ZVEI betriebene gemeinsame „Plattform Industrie 4.0“ hat auch eine Arbeitsgruppe zu „Mensch & Arbeit“<sup>32</sup> eingerichtet, an der u. a. die Industriegewerkschaft Metall beteiligt ist.<sup>33</sup> In der Selbstdarstellung der Arbeitsgruppe wird festgehalten: „Industrie 4.0 kann nur erfolgreich sein, wenn die Beschäftigten von Beginn an in dem Entwicklungsprozess mitgenommen werden. Sie spielen eine entscheidende Rolle, wenn es darum geht, Innovationen in ihren Arbeitsalltag zu integrieren und zu nutzen. Denn Aufgaben und Prozesse werden sich durch die Interaktion mit intelligenten Maschinen und die zunehmende Automation deutlich verändern. Das bietet Chancen für die Organisation der Arbeit, zum Beispiel für Flexibilisierung, neue Arbeitszeitregelungen oder das Thema Gesundheit am Arbeitsplatz. Gleichzeitig muss sich aber auch die Aus- und Weiterbildung auf die neuen Anforderungen einstellen. ... Auf dem Weg zur Industrie 4.0 gilt es deshalb, alle Beschäftigten fit zu machen. Es bedarf unter anderem vielfältiger Weiterbildungsmöglichkeiten und einer Arbeitsorganisation, die das Lernen fördert. Die berufliche wie auch die akademische Aus- und Weiterbildung muss sich im Dialog mit der Industrie weiterentwickeln, um Antworten auf die Anforderungen in der neuen Arbeitswelt zu bieten. Hier sind zum Beispiel Partnerschaften zwischen Unternehmen und Hochschulen sowie mehr Praxiseinsätze denkbar.“

Im April 2014 hat die „Plattform Industrie 4.0“ ein sogenanntes Whitepaper zu FuE-Themen in Verbindung mit Industrie 4.0 erarbeitet, das in naher Zukunft zu einer Roadmap weiterentwickelt werden soll. Unter der Kategorie „Mensch“ finden sich folgende Thesen:

1. „Vielfältige Möglichkeiten für eine humanorientierte Gestaltung der Arbeitsorganisation werden entstehen, auch im Sinne von Selbstorganisation und Autonomie. Insbesondere eröffnen sich Chancen für eine alters- und altersgerechte Arbeitsgestaltung.
2. Industrie 4.0 als sozio-technisches System bietet die Chance, das Aufgabenspektrum der Mitarbeiter zu erweitern, ihre Qualifikationen und Handlungsspielräume zu erhöhen und ihren Zugang zu Wissen deutlich zu verbessern.
3. Lernförderliche Arbeitsmittel (Learnstruments) und kommunizier-

bare Arbeitsformen (Community of Practice) erhöhen die Lehr- und Lernproduktivität, neue Ausbildungsinhalte mit einem zunehmend hohen Anteil an IT-Kompetenzen entstehen.

4. Lernzeuge – gebrauchstaugliche, lernförderliche Artefakte – vermitteln dem Nutzer ihre Funktionalität automatisch“ (Plattform Industrie 4.0, S. 4)

Die Frage, ob die Ergebnisse dieser Forschungsprojekte und Aktivitäten, die bis in das Jahr 2016 erarbeitet und veröffentlicht werden, von Relevanz für die zukünftige Produktion in der chemischen Industrie sein können, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

In der hier vorliegenden Kurzexpertise werden erstmals Fragen zu Arbeit, Arbeitsorganisation und Qualifizierung in der zukünftigen Produktion der chemischen Industrie im Rahmen der durchgeführten Experteninterviews thematisiert. Die Umwandlung der Produktion in Richtung zukünftige chemische Industrie ist aus der Sicht der befragten Experten ein Prozess, der bereits begonnen hat und der über die nächsten Jahre und möglicherweise Jahrzehnte andauern wird.

Der durch den technologischen Wandel im Zuge von „Intelligente Fabrik“, „Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion“, „Modularisierung der Produktion“ beginnende Strukturwandel kann aus der Sicht der befragten Experten neue, aufgewertete Formen der Arbeit und der Arbeitsorganisation sowie veränderte Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten vor allem in der Produktion mit sich bringen. Ein Experte brachte für diese mögliche Aufwertung der Facharbeiter den Begriff „Dirigenten der Wertschöpfung“ ein. Diese werden aus seiner Sicht dann in der Lage sein, die verschiedensten Maschinen zu bedienen und anhand der Daten sehr kompetent und flexibel erkennen, was zu tun ist. Dieser Experte betonte auch, dass in der Produktion der Zukunft und ihrer Arbeitswelt die Mensch-Maschine-Kooperation einen wichtigen Teil ausmachen wird. In dieser Arbeitswelt – so eine weiterer Experte – wird die Bedienung der Geräte und Systeme einfacher sein. Aus seiner Sicht werden die „Interfaces“ intuitiv und mit „Touch-Elementen“ gestaltet sein. Für den globalen Einsatz von gleichen Modulen oder Geräten sei dann bei der Bedienung auch eine einheitliche Sprache (Englisch) konsequent.

Eine menschenleere Fabrik erwartet für die chemische Industrie auf absehbare Zeit keiner der Befragten. Hier wurde von mehreren der befragten Experten darauf hingewiesen, dass u. a. aus Sicherheitsgründen keine Reduktion des Personals in der Produktion möglich sein. Eine weitere Reduzierung von Einfacharbeit, die allerdings bereits heute keine besondere Rolle mehr spielt, wird eher erwartet. Der technologische Wandel im Zuge dieser Veränderungen kann – so die Einschätzung einiger Experten – zu einer Reduzierung von Arbeitsplätzen für bestimmte Beschäftigtengruppen, z. B. bei Dienstleistungen wie Betriebsbuchhaltung, Einkauf und Vertrieb, aber auch bei der Instandhaltung und Betreuung von Anlagen, führen. Ferner gehen einige der befragten Experten davon aus, dass es eine größere Dienstleistungsnachfrage in Bezug auf externe Spezialisten geben wird, die die Hardware, Software und Module neuer Produktionsanlagen im Blick behalten.

Die Mitarbeiter in der chemischen Industrie sind heute – anders als z. B. in den 1990er Jahren – gut qualifiziert (siehe Berufsfeld des Chemikanten). Die befragten Experten gehen jedoch davon aus, dass im Zuge der neuen Produktionskonzepte die Berufsfelder weiter angepasst werden müssen. Ein Experte betonte, dass entsprechende Module in die Berufsbildungsordnungen einzubringen sind, damit das notwendige „Wissensrüstzeug“ zukünftig vorhanden sein. Z. B. seien gute Englischkenntnisse und zusätzlich ein solide Basis im technischen Englisch sowie profunde Informatikkenntnisse, Systemwissen- und -verständnis von großer Bedeutung in der zukünftigen Produktion. Insbesondere die mangelnden Informatikkenntnisse seien heute, insbesondere bei den älteren Mitarbeitern schon eine große Herausforderung. Die Branche könne bei diesem Punkt jedoch vom Generationenwechsel profitieren, da eine wachsende Zahl der jüngeren Mitarbeiter zu den „Digital Natives“ gehört, die bereits seit ihrem Kindesalter mit (mobilen) Computern und dem Internet vertraut sind. Ein befragter Experte betonte besonders, dass die zusätzlich zu erwerbenden Kenntnisse auf mehreren Ebenen, d. h. in den Schulen, in der Ausbildung, an den Hochschulen und in der Fort- und Weiterbildung anzugehen seien. Ein weiterer Experte machte auf ein geplantes Modell in Südbayern aufmerksam. Hier soll in einer Kooperation zwischen Unternehmen aus der chemischen Industrie und der Technischen Universität München ein Aus- und Weiterbildungszentrum für Akademiker und Schichtarbeiter aufgebaut werden. Die befragten Experten gehen davon aus, dass bei der zukünftigen Wissensver-

mittlung Fallbeispiele und Objekte eine wichtige Rolle spielen werden. Eine „Frontalvermittlung“ von Wissen würde dann zunehmend keine Rolle mehr spielen.

Einige der Befragten weisen auf die Notwendigkeit spezieller Lernmöglichkeiten für einzelne Berufsgruppen und Beschäftigte unterschiedlichen Alters hin. Neue Formen der Produktion können zu einer möglichen Überforderung der Beschäftigten führen, z. B. bei kontinuierlichen Verbesserungsprozessen (KVP). Es könnte sich aus einer zu schnellen Veränderungsgeschwindigkeit verbunden mit einer Vielzahl von Maßnahmen zur Mitarbeiterqualifizierung ein „Belastungstreiber“ entwickeln. Dies solle frühzeitig berücksichtigt werden, insbesondere auch bei internen Qualifizierungsmaßnahmen in den Unternehmen. Zum Teil sind die Betriebsräte und gewerkschaftlichen Vertrauensleute an der Begleitung solcher Maßnahmen mit viel Aufwand beteiligt.

Einige der befragten Experten wiesen darauf hin, dass Produktionskonzepte und Prozessinnovationen bisher das Know-how der Unternehmen seien, aber die Mitarbeiter in diesen Bereichen eine wichtigere Rolle mit ihrem speziellen Wissen einnehmen könnten. Zudem wiesen Sie darauf hin, dass der Umgang mit komplexen Systemen für Mitarbeiter, Betriebsräte und auch für die Gewerkschaft immer wichtiger wird und diese zukünftig die passenden Kompetenzen einbringen müssen, um qualifiziert mitgestalten zu können.

Diese ersten empirischen Ergebnisse zu sozio-technischen Innovationen (Arbeit, Arbeitsorganisation, Qualifizierung) in der Produktion der zukünftigen chemischen Industrie weisen auf große Lücken hin und zeigen den deutlichen Forschungsbedarf – sowohl im Hinblick auf disziplinäre als auch auf interdisziplinäre Aspekte der Thematik.

## Zusammenfassung Kapitel 5

Gegenwärtig laufende Forschungsprojekte zur zukünftigen Produktion, in denen Prozessinnovationen und sozio-technische Innovationen Berücksichtigung finden, haben nicht die chemische Industrie mit ihren Besonderheiten als Untersuchungsfeld im Blick. Ob die in ihnen ermittelten Ergebnisse von Bedeutung für die chemische Industrie sein werden bedarf der Überprüfung.

Derzeitig werden im Themenfeld „Arbeit, Arbeitsorganisation und Qualifizierung“ in Verbindung mit der zukünftigen Produktion in der chemischen Industrie mehr Fragen aufgeworfen, als belastbare Antworten gefunden.

Momentan gibt es Anzeichen dafür, dass statt Innovationssprüngen eher tiefgreifende inkrementelle Innovationen im Themenfeld Arbeit, Arbeitsorganisation und Qualifizierung in Verbindung mit der zukünftigen Produktion in der chemischen Industrie zu erwarten sind, die sich über mehrere Jahre bzw. Jahrzehnte entwickeln werden.

Es ist notwendig, die ersten identifizierten technologischen Ansätze in Verbindung mit der zukünftigen Produktion in der chemischen Industrie, wie in Kapitel 4 dargestellt, intensiver wissenschaftlich zu beleuchten und vor allem die damit verbundenen Wirkungen und Herausforderungen für Arbeit, Arbeitsorganisation und Qualifizierung frühzeitig zu erörtern.

## 6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vorliegende Kurzexpertise hatte zum einen das Ziel, die gegenwärtige Diskussion über die Produktion der Zukunft in der chemischen Industrie zu strukturieren. Zum anderen war es das Ziel, frühzeitig Forschungslücken mittels einer interdisziplinären Perspektive zu identifizieren.

Die Kurzexpertise zeigt sehr deutlich, dass in der chemischen Industrie bereits heute eine vielgestaltige Diskussion über die zukünftige Produktion begonnen hat. Im Rahmen der Kurzexpertise war es nicht möglich, zu allen Leitfragen heute schon hinreichende Antworten zu erarbeiten, da an vielen Stellen bisher noch eine solide Empirie fehlt, auch wenn die Einschätzungen und Erwartungen der befragten Experten einige wichtige Anhaltspunkte für die weitere Forschung liefern. Die gegenwärtig laufenden Forschungsprojekte zur zukünftigen Produktion haben nicht die chemische Industrie mit ihren Besonderheiten als Untersuchungsfeld im Blick. Ob die in ihnen ermittelten Ergebnisse von Bedeutung für die chemische Industrie sein werden, wird erst in den kommenden zwei bis drei Jahren zu klären sein, wenn diese Forschungsarbeiten abgeschlossen sind.

Der Begriff Industrie 4.0 spielt in der chemischen Industrie weniger eine Rolle als in anderen Branchen, wie z. B. dem Maschinenbau, der Informations- und Kommunikationstechnik oder der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. In der chemischen Industrie geht es – wie dargestellt – darum, die Prozesse von der Bestellung und Lieferung der Rohstoffe über die Fertigstellung und Auslieferung kontinuierlich und möglichst störungsfrei zu fahren. Zudem sollen die Produktionsanlagen bei wechselnden Kundenaufträgen und Mengen optimal und effizient genutzt werden. Die anvisierten Prozessinnovationen laufen in der chemischen Industrie unter Begriffen wie z. B. „Intelligente Fabrik“, „Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion“, „Modularisierung der Produktion“ oder „Digitalisierung der Produktion“. Solche Konzepte zur zukünftigen Produktion in der chemischen Industrie sollen im Laufe des Jahres 2014 noch intensiver diskutiert werden, z. B. wird es bei der ProcessNet-Jahrestagung von Dechema/VDI im Herbst 2014 einen thematischen Schwerpunkt zur „Webbasierten industriellen Produktion“ in

der chemischen Industrie geben.

Nach Einschätzung der im Rahmen der vorliegenden Kurzexpertise befragten Experten sind in der chemischen Industrie keine Innovationsprünge sondern tiefgreifende inkrementelle Prozessinnovationen und sozio-technische Innovationen zu erwarten, die sich über mehrere Jahre bzw. Jahrzehnte entwickeln werden. Somit wird sich das Thema „Zukünftige Produktion in der chemischen Industrie“ mit seinen identifizierten technologischen Ansätzen in Verbindung mit den Wirkungen und Herausforderungen für Arbeit, Arbeitsorganisation und Qualifizierung sehr wahrscheinlich zu einem dauerhaften Thema für Unternehmen, Verbände, Gewerkschaft und Betriebsräte der chemischen Industrie entwickeln.

Ein möglicher Anknüpfungspunkt für ein Zusammenwirken dieser Akteure in diesem neuen Themenfeld kann die Initiative „Chemie3“ (VCI, IG BCE, BAVC 2013) bieten. „In einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess haben (die Unternehmen, d. V.) ihre eigenen Prozesse und den gesamten Lebenszyklus ihrer Produkte im Blick. Dabei räumen sie der Produkt- und Anlagensicherheit sowie der kontinuierlichen Prozessoptimierung einen hohen Stellenwert ein ...“ (VCI, IG BCE, BAVC 2013, S. 2). Ein weiterer möglicher Anknüpfungspunkt können die Überlegungen der VCI zur chemischen Industrie im Jahre 2030 sein (VCI 2013).

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Die hier diskutierten Konzepte zur zukünftigen Produktion bieten gegenwärtig ausgeprägte Chancen, aber große Herausforderungen für die chemische Industrie und ihre Akteure in Deutschland.
- Es ist ein ausgeprägter Forschungsbedarf sowohl im Hinblick auf die weitere Realisierbarkeit technologischer Anwendungen im Zuge dieser Konzepte als auch bezüglich der Wirkungen und Herausforderungen für Beschäftigte, Qualifizierung und Arbeitsorganisation zu konstatieren.
- Derartige Fragestellungen sind im Rahmen umfangreicherer empirischer Untersuchungen verbunden mit Primärerhebungen anzugehen.

- Solche Forschungsergebnisse wiederum lassen sich für eine „fortschrittliche Industriepolitik“ (Vassiliadis 2013, S. 30) bzw. Innovationspolitik nutzen, die „sowohl technologische als auch soziale Innovationsprozesse als Voraussetzung für gesellschaftlichen Fortschritt“ betrachtet.



## 7 Literatur

Accenture (2011): Made in America: Rethinking the Future of US Manufacturing, o. O.

Becker, M., Franke, R., Stenger, F. (2013): Smarte Chemie im Kleinformat. elements , 43 (2), S. 29-33.

Bertelsmann Stiftung (2014): Flexible Arbeitswelten, Bericht an die Expertenkommission „Arbeits- und Lebensperspektiven in Deutschland“, Gütersloh.

BITKOM, Fraunhofer IAO (2014): Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Berlin.

Boston Consulting Group (2011): Made in America, Again - Why Manufacturing will return to the U.S., o. O.

Braun, A., Holtmannspötter, D., Korte, S., Rijkers-Defrasne, S., Zweck, A. (2013): Technologieprognosen - Internationaler Vergleich 2013, Zukünftige Technologien Bd. 97, VDI Technologiezentrum, Düsseldorf.

Brynjolfsson, E., McAfee, A. (2014): Second Machine Age - Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies, New York, London (MIT Center for Digital Business).

Bauernhansl, Th. (2013): Industrie 4.0: Die schöne neue Produktionswelt, in: Open Automation, Nr. 4, S. 2 ff.

CDU, CSU und SPD (2013): Deutschlands Zukunft gestalten, Koalitionsvertrag, 18. Legislaturperiode, Berlin.

Cohen, D., Sargeant, M., Somers, K. (2014): 3-D printing takes shape. (McKinsey&Company, Hrsg.) McKinsey Quarterly (1), S. 40-45.

Deutsche Bank Research (2014): Industrie 4.0 - Upgrade des Industriestandortes Deutschland steht bevor, Frankfurt a. M.

DLR (Projekträger des BMBF) (2014): Arbeiten - Lernen - Kompetenzen entwickeln. Innovationsfähigkeit in einer modernen Arbeitswelt, Liste der Vorhaben, Bonn.

European Commission (2010): Factories of the Future PPP, Brussels.

European Commission (2013): Horizon 2020. Abgerufen am 25. 04 2014 von Horizon 2020: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>.

European Commission (2013a): Calls. Abgerufen am 25. 04 2014 von Research&Innovation - Participant Portal: <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/index.html>.

European Commission (2014): For a European Industrial Renaissance, Brussels.

F3 Factory Konsortium (2013): Fast, flexible, modular production technology provides platform for future European growth. Abgerufen am 28. 04 2014 von [http://www.f3factory.com/scripts/pages/en/newsevents/F%C2%B3\\_Factory\\_Achievements\\_and\\_CaseStudy\\_Summaries.pdf](http://www.f3factory.com/scripts/pages/en/newsevents/F%C2%B3_Factory_Achievements_and_CaseStudy_Summaries.pdf).

Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Berlin.

Fraunhofer IAO (2013): Arbeit der Zukunft. Wie wir sie verändern. Wie sie uns verändert, Stuttgart.

Gehrke, B., v, Haaren, F. (2013): Die chemische Industrie, in: Vassiliadis, M., S. 33 ff.

Handelsblatt-Beilage (2014): Industrie 4.0 - Die vierte industrielle Revolution, Düsseldorf.

Hauschildt, J. (2004): Innovationsmanagement, 3. Auflage, München.

Heinze, R. (2010): NAMUR: Funktionale Sicherheit und Einfachheit im Fokus, etz Elektrotechnik & Automation, Jg. 2010, Heft 12, S. 22-25.

Hirsch-Kreinsen, H. (2014): Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“, Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014, TU Dortmund.

Hirsch-Kreinsen, H. (2013): Innovation, in: Hirsch-Kreinsen, Minssen, S. 295 ff.

Hirsch-Kreinsen, H., Minssen, H. (Hrsg.) (2013): Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie, Berlin.

Joint Economic Committee (2013): Manufacturing Jobs for the Future, Washington DC.

Kädtler, J., Sperling, H.-J. (2002): Jenseits von Globalisierung und Finanzialisierung. Aushandlungsbeziehungen in der deutschen Chemie- und Automobilindustrie, in: Industrielle Beziehungen, 9. Jg., Heft 2, S. 133 ff.

Kinkel, S., Friedewald, M., Hüsing, B., Lay, G., Lindner, R. (2007): Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit, Arbeitsbericht Nr. 113, Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin.

Kleiber, M., Gmehling, J. (2012): Funktionen und Nutzen der Chemischen Industrie, in: Priddat, B., West. K. W., S. 249 ff.

Lind, M., Freedman, J. (2012): Value Added: America's Manufacturing Future, New America Foundation, Washington DC.

Lorenz, A. (April 2013). 7 Fragen an Axel Lorenz. P&A (4), S. 44-46.

Malanowski, N., Zweck, A. (2013): Monitoring in der Innovations- und Technikanalyse, in: Wissenschaftsmanagement – Zeitschrift für Innovation, Nr. 1, S. ff.

Mühlenkamp, S. (2012): 50-Prozent-Idee, F3 Factory und Small Scale als Wundermittel der Zukunft? PROCESS.

McCormack, A. (2013): MIT: America's Manufacturing Sector Has Lost The Ability To Turn Innovative Products Into Volume Production, in: Manufacturing & Technology News, Vol. 20, No. 3.

McKinsey (2014): Shaping the future of manufacturing, o. O.

Mieke, C., Wikarski D. (2011): Prozessinnovation und Prozessmanagement, in: Wissenschaftsmanagement – Zeitschrift für Innovation, Nr. 5, S. 38 ff.

NAMUR (2003): NE 74 – NAMUR-Anforderungen an einen Feldbus.

NAMUR (2013): NE 148 – Anforderungen an die Automatisierungstechnik durch die Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen.

NAMUR (o.J.): NE 150 – Standardisierte Namur-Schnittstelle zum Austausch von Engineering-Daten zwischen CAE-System und PCS-Engineering-Werkzeugen (bisher nicht erschienen).

National Science and Technology Council (2012): A national strategic plan for advanced manufacturing. Washington, DC.

National Science Foundation (o. J.): Manufacturing – the form of things unknown, o. O.

Netopia (2013): 3D Printing: Technology and Beyond, Stockholm.

Obst, M., Hahn, A., Urbas, L. (2014): Package-Unit-Integration in der Prozessindustrie. atp edition , 56, S. 56-65.

Plattform Industrie 4.0 (2014): Industrie 4.0 – Whitepaper FuE-Themen (Stand 3. April), o.O.

Potente, T., Jasinski, T., Wolff, B. (2013): Productivity Increase through Industrialization of Overhead in Cyber-Physical Production Systems. Advanced Materials Research , 769, S. 359-366.

President’s Council of Advisors on Science and Technology. (2011). Report to the President on ensuring American leadership in advanced manufacturing. Washington, DC.

Priddat, B., West. K. W. (Hrsg.) (2012): Die Modernität der Industrie, Marburg.

PWC (2011): Growth Reimagined Chemicals Industry, o. O.

Roland Berger Strategy Consultants (2014): Industry 4.0 – The new industrial revolution: How Europe will succeed, Munich.

Scherwietes, T. (2012): Neues CAE/PLS-Interface vereinfacht den Austausch von Automatisierungsdaten, atp edition, 54, S. 24-26.

Scheuermann, A. (2010): BASF krepelt mit OPAL 21 die Standorte Ludwigshafen und Antwerpen um, Chemie Technik, S2/2010 Kompendium Prozessautomatisierung, URL: <http://www.chemietechnik.de/texte/anzeigen/113795/Automatisieren/PLS-Steuerungen-Regler/BASF-krepelt-mit-Opal-21-die-Standorte-Ludwigshafen-und-Antwerpen-um>.

Scheuermann, A. (2013): Konzeptstudie: Ethernet für die Feldinstrumentierung. Chemie Technik , 42, S. 17.

Statista, Handelsblatt (2014): Branchenreport 2013 – Herstellung von chemischen Erzeugnissen, Hamburg.

Spath, D. (Hrsg.) (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart.

SPIRE (Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency) (2013): SPIRE Roadmap, Brussels.

Symes, M. D., Kitson, P. J., Yan, J., Richmond, C. J., Cooper, G. J., Bowman, R. W., et al. (2012). Integrated 3D-printed reactionware for chemical synthesis and analysis. Nature Chemistry , 4, S. 349-354.

Tauchnitz, T. (2013): Integriertes Engineering – wann, wenn nicht jetzt! atp edition , 55, S. 46-53.

Tauchnitz, T. (2014): Schnittstellen für das integrierte Engineering. atp edition , 56, S. 30-36.

The Economist (2012): Special Report: Manufacturing and Innovation, 21 April.

Vassiliadis, M. (Hrsg.) (2013): Industriepolitik für den Fortschritt, Hannover.

VCI (Verband der Chemischen Industrie) (2013a): Die deutsche chemische Industrie 2030, VCI-Prognos-Studie, Frankfurt a. M.

VCI (2013b): Chemiewirtschaft in Zahlen 2013, Frankfurt a. M.

VCI, IG BCE (Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie) BAVC (Bundesarbeitgeberverband Chemie) (2013): Ambitionen. Leistungen. Lösungen – Nachhaltigkeit in der deutschen Chemie, Chemie3, Die Nachhaltigkeitsinitiative der deutschen Chemie, Frankfurt a. M., Hannover, Wiesbaden.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (2014): Industrie 4.0: Statusreport Wertschöpfungsketten, Düsseldorf.

VDI/VDE GMA. (2013): Leitsysteme für die industrielle Produktion in Industrie 4.0 – Entwurf. [http://www.vdi.de/fileadmin/vdi\\_de/redakteur\\_dateien/gma\\_dateien/VDI\\_Fokusprojekt\\_Industrie\\_4\\_0\\_Leitsysteme\\_fuer\\_I40.pdf](http://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/VDI_Fokusprojekt_Industrie_4_0_Leitsysteme_fuer_I40.pdf).

VDI/VDE GMA, NAMUR (2009): Prozess-Sensoren 2015+.

VDI/VDE-Richtlinien (2014): VDI/VDE 3694 – Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen.

ZEW (Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung) (2014): Chemie- und Pharmaindustrie, in: Innovationen Branchenreport, Jg. 20, Nr. 4.

## 8 Leitfaden für die Experteninterviews

Die Strukturierung des Interviewleitfadens für die explorativen Experteninterviews erfolgt durch zwei Module:

Modul 1: Techno-ökonomische Innovationen (Prozessinnovationen)

Modul 2: Sozio-technische Innovationen (Arbeit, Arbeitsorganisation, Qualifizierung). Der Leitfaden wird flexibel eingesetzt, so dass auf Anmerkungen und zusätzliche Kenntnisse und Erfahrungen der Experten im Interview per Telefon eingegangen werden kann.

### Strukturdaten

Datum des Gesprächs:

Interviewpartner:

Organisation/Institution:

### Gesprächseinstieg

Mit Ansätzen wie Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. wird in der Regel anvisiert, Potenziale einer neuen Form der Industrialisierung und Produktion zu erschließen. Ziel der genannten Ansätze ist es u. a., dass Produktions- und Informationstechnologien sehr viel enger zusammengeführt, d. h. reale und digitale Welt miteinander verschmolzen und Objekte durch sogenannte eingebettete Systeme intelligent werden.

Notwendig: Klären von Begriffen (Industrie 4.0, Optimierung der Produktion (z. B. bei BASF: OPAL). Hinweis auf die Diskussion in der chemischen Industrie in Verbindung mit Automatisierung und dem Ansatz, durchgängige Prozesse ohne Medienbrüche über die ganze Wertschöpfungskette in der zukünftigen chemischen Industrie organisieren zu wollen.

## Modul 1: Techno-ökonomische Innovationen (Prozessinnovationen)

Über den Zeithorizont der technischen Anwendungen in Verbindung mit Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. gibt es gegenwärtig von Technologieexperten sehr unterschiedliche Einschätzungen: Sie reichen von mehreren Jahren (bis zum Jahr 2025) bis hin zu mehreren Jahrzehnten. Im Rahmen des Experteninterviews sollen technologische Trends für die Produktions- und Prozesstechnik der chemischen Industrie nach kurz-, mittel- sowie langfristig (5, 10 oder 15 Jahre) angelegten Anwendungen unterschieden werden.

### Fragen

1. Was sind aus Ihrer Sicht die Zukunftsthemen/technologische Trends für die Produktionstechnik der Unternehmen der chemischen Industrie?
  - Biomasse als Chemierohstoff: Sind neue, veränderte Produktionstechnologien für die Nutzung von Biomasse als Chemierohstoff erforderlich? Wenn ja, welche?
  - Mikroreaktionstechnik: Welche Anwendungsgebiete für die Nutzung von Mikroreaktionstechnik sehen Sie? Ergeben sich daraus neue Trends/Zukunftsthemen für die Produktionstechnologie in der chemischen Industrie? Wird eine kosteneffiziente, flexible, kundenindividuelle Produktion damit möglich?
  - Neue Lösungsmittel für die Katalyse: Welche Entwicklungen gibt es? Können neue Lösungsmittel neue Produktionstechnologie erfordern?
  - IKT: Welche Trends sind beim Einsatz von IKT und Sensorik erkennbar?
  - Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion, Industrie 4.0 etc.: Gibt es erkennbare Ent-



wicklungsansätze für die selbstorganisierte Produktion?

2. Wo sehen Sie die größten Potenziale für die Produktionstechnik der chemischen Industrie? Wo sehen Sie die größten derzeitigen Knackpunkte (z. B. shop-floor-Ebene: unterschiedliche Standards bei sehr vielen Geräten von unterschiedlichen Herstellern)?
3. Auf welchen Zeitskalen werden sich aus Ihrer Sicht die Trends/Innovationen im Markt etablieren? Kurz-, Mittel-, Langfristig? 5, 10, 15 Jahre?
4. Können Sie nähere Angaben zu den wirtschaftlichen Perspektiven der Zukunftsthemen machen (Wachstum von Umsatz, Beschäftigung, Wertschöpfung)?
5. Mit welcher Umsetzungsdynamik, mit welchen Effizienz- und Innovationssprüngen rechnen Sie?
6. Wer sind die führenden Akteure bei den technologischen Trends/ im Themenfeld in Deutschland in der chemischen Industrie? Welche anderen Akteure sind beteiligt?
7. Welche Akteure lassen sich auf europäischer und internationaler Ebene identifizieren?

## Modul 2: Sozio-technische Innovationen (Arbeit, Arbeitsorganisation, Qualifizierung)

Die wirtschafts-, sozial- und arbeitswissenschaftliche Forschung zu Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. steht noch am Anfang. Es ist aus unserer Sicht notwendig, neben den technologischen Trends im Zuge von Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion und Co. die möglichen Wirkungen und Herausforderungen für Beschäftigte, Qualifizierung und Arbeitsorganisation in der chemischen Industrie zu beleuchten. Gegenwärtig gehen die ersten allgemeinen Einschätzungen von Expertinnen und Experten bezüglich der Entwicklung von Arbeit und Qualifizierung im Zuge von Industrie

4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion Optimierung der Produktion etc. eher auseinander:

1. Eine deutliche Aufwertung von Beschäftigung und Qualifizierung und keine menschenleere Fabrik auf absehbare Zeit
2. Eine vertiefte Polarisierung von Arbeit im Sinne von noch anspruchsvollerer Arbeit und einem weiterhin hohen Anteil manueller einfacher Arbeit
3. Auf lange Sicht eine deutliche Reduzierung von Einfacharbeit

## Fragen

1. Wie schätzen Sie die möglichen Entwicklungen im Zuge von Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion oder ähnlichen Ansätzen in Bezug auf neue Anforderungen an die Beschäftigten in der chemischen Industrie ein? Von welchem Zeithorizont gehen Sie aus (5, 10 oder 15 Jahre)? Was kann das für die unterschiedlichen Beschäftigtengruppen bedeuten?
2. Was bedeutet das aus Ihrer Sicht für die Anforderungen an die Aus- und Weiterbildung von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern in der chemischen Industrie? Von welchem Zeithorizont gehen Sie aus (5, 10 oder 15 Jahre)? Was kann das für die unterschiedlichen Beschäftigtengruppen bedeuten?
3. Können die angebotenen Bildungsangebote an Hochschule und Berufsschulen den veränderten Qualifizierungsanforderungen auf betrieblicher Ebene in Verbindung mit Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. gerecht werden? Oder kommt der betriebsinternen Aus- und Weiterbildung eine deutlich größere Rolle zu?
4. Welche Inhalte und Lern- bzw. Lehrformen müssten aus Ihrer Sicht verändert werden?
5. Welche sozialen Entwicklungen werden aus Ihrer Sicht in einem

Zeithorizont von bis zu 5 Jahren im Rahmen von Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. erwartet (z. B. auch in Verbindung mit der Nutzung von bisher noch sehr langsamen 3-D-Druckern, für die die chemische Industrie [neue] Materialien herstellt)?

6. Welche wirtschaftlichen Entwicklungen im Rahmen von Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc. erwarten Sie in den nächsten 5 Jahren (z. B. auch in Verbindung mit 3-D-Druckern)?
7. Welche arbeitsorganisatorischen Entwicklungen erwarten Sie in den nächsten 5 Jahren im Rahmen von Industrie 4.0, Optimierung bzw. Flexibilisierung der Produktion, Modularisierung der Produktion etc.?
8. Welche Entwicklungen erwarten Sie mittel- bzw. langfristig (10 oder 15 Jahre)? Mit welcher Umsetzungsdynamik?

### Noch nicht berücksichtigte Aspekte

Welche Fragen sind noch zu ergänzen?

Welche Experten bieten sich für zusätzliche Interviews an?

Weitere Anmerkungen zum Themenfeld?

## Endnoten

1. Siehe auch <http://www.plattform-i40.de>.
2. Siehe <http://www.bmbf.de/de/19955.php>.
3. Vgl. VDI-Nachrichten, 5. April 2013: Die Feinarbeit an der Fabrik der Zukunft hat bereits begonnen.
4. In der chemischen Industrie wurde bereits in den 1990er Jahren eine Rationalisierungswelle eingeleitet, die in den folgenden Jahren zu einem Beschäftigungsabbau führte. Im Jahr 2000 hatte die Industrie beispielsweise ca. 340.000 Beschäftigte (ohne Pharmaindustrie). Die Beschäftigtenzahl sank dann bis 2009 auf ca. 308.000 ab. Seitdem ist die Beschäftigtenzahl wieder bis auf 325.000 gestiegen. Nach Gehrke, v. Haaren (S. 47) ging der Arbeitsplatzabbau „im Wesentlichen zulasten ungelerner und angelernter Tätigkeiten“.
5. Mit der NAMUR haben die Experten aus der chemischen Industrie einen eigenen internationalen Verband der Anwender von Automatisierungstechnik der Prozessindustrie. Ausführlich dazu: <http://www.namur.de/start/>. Dieser Verband hat sich im Rahmen seiner Hauptsitzung im November 2013 mit dem Thema „Vorteile durch Integriertes Engineering“ beschäftigt und dabei auch die Potenziale von Industrie 4.0 für die chemische Industrie diskutiert. Siehe [http://www.namur.de/nc/publikationen-und-news/news/news/article/namur-hauptsitzung-2013br-vorteile-durch-integriertes-engineeringbr-br-namur-annual-ge/?tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=156](http://www.namur.de/nc/publikationen-und-news/news/news/article/namur-hauptsitzung-2013br-vorteile-durch-integriertes-engineeringbr-br-namur-annual-ge/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=156)
6. Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency, <http://www.spire2030.eu/>
7. <http://www.manufacturing.gov>
8. <http://www.nacfam.org/>

9. Ein Batch-Prozess ist ein diskontinuierliches, chargenweises Produktionsverfahren zur Herstellung abgegrenzter Stoffmengen. Die beinhalteten Reaktionsschritte werden streng nacheinander ausgeführt, die gesamte Stoffmenge verbleibt im Reaktor bis die Reaktion abgelaufen ist, erst dann wird der nächste Prozessschritt durchgeführt.
10. „Optimierung der Produktion in Antwerpen und Ludwigshafen für das 21. Jahrhundert“ ist ein in 2009 gestartetes Projekt der BASF zur Etablierung eines einheitlichen Produktionssystems in allen Betrieben an den beiden Standorten. Ziel ist die Schaffung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses in den Betriebsstrukturen, Aufgabenbereichen und Verfahren sowie die Einführung eines Lean Management. Automatisierung ist eines der eingesetzten Instrumente.
11. Mikroreaktionstechnik ist in der chemischen Produktion heute eine verbreitete Technologie und wird fallbezogen eingesetzt, es gibt keinen Widerspruch mehr zwischen Mikroreaktionstechnik und makroskopischen Produktionsvolumen. Sie ist nach Expertenaussagen attraktiv und sinnvoll einsetzbar bis Losgrößen von etwa 10 t.
12. PEC: ISO-Container mit Festlegungen für Docking an eine Backbone-Infrastruktur (bspw. INVITE in Leverkusen) und Strom-Schnittstellen zum Einbau der Module in den Container.
13. PEA: Module zur Installation in einem Container mit jeweils einer verfahrenstechnischen Funktion, bspw. Pumpen, Filtern, Heizen.
14. Die Backbone-Anlage wird heute von der INVITE GmbH, einem Joint Venture von BTS und der TU Dortmund, betrieben.
15. Die getroffenen Aussagen verschiedener Experten zur Eignung von PET für eine modulare, verteilte Produktion stehen hier im Widerspruch.

16. Vergleiche WITTENSTEIN Bastian GmbH in Fellenbach, Urbane Produktion und Industrie 4.0, [http://www.wittenstein.de/de\\_DE/unternehmen/produktion-der-zukunft/urbane-produktion-industrie-40.html](http://www.wittenstein.de/de_DE/unternehmen/produktion-der-zukunft/urbane-produktion-industrie-40.html)
17. Zur Widersprüchlichkeit der Aussagen siehe Fußnote 15.
18. In der Plattform Industrie 4.0 wird dazu von durchgängigem Engineering über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes gesprochen (Plattform Industrie 4.0 2014).
19. NAMUR – Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie – ist ein internationaler Verband der Anwender von Automatisierungstechnik der Prozessindustrie.
20. VDI/VDE Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik ist eine gemeinsame Fachgesellschaft von VDI und VDE. Akteure der GMA sind unter anderem in den VDI Fachausschüssen zu Industrie 4.0.
21. Die Aachener Perspektive zur zukünftigen Produktion sieht die Zusammenführung der Engineering-Daten zu einem kohärenten Bestand, zu einer „Single Source of Truth“, als einen von vier Trends zu einer zukünftigen Kollaborationsproduktivität (Schuh, 2014; Potente, Jasinski, & Wolff, 2013).
22. Beim Cloud-Computing werden IT-Elemente wie Rechenkapazität oder Software dynamisch und bedarfsangepasst zur Verfügung gestellt.
23. IT-Services sind informationstechnische Leistungen zur Unterstützung der Geschäftsprozesse.
24. <http://www.boeckler.de/11145.htm?projekt=S-2011-449-1#projektbeschreibung>.
25. <http://www.neue-industriearbeit.de/index.php?id=6>.

26. Im Rahmen eines Experteninterviews für die vorliegende Kurzex-  
pertise wurde darauf hingewiesen, dass ein Forschungsprojekt zum  
Thema „Industrie 4.0“ am Lehrstuhl in Planung ist. Als Diskussions-  
grundlage für ein solches Projekt kann ein aktuelles Arbeitspapier  
zum Thema „Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0““ gese-  
hen werden (Hirsch-Kreinsen 2014).
27. Fraunhofer IAO (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie  
4.0, Stuttgart.
28. <http://www.projekt-iwepro.de/de/projekt.html>.
29. <http://metamofab.de/>.
30. [http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.  
htm?TF\\_ID=121&VP\\_ID=3591](http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.htm?TF_ID=121&VP_ID=3591).
31. <http://projekte.fir.de/elias/das-projekt>.
32. Siehe unter: <http://www.plattform-i40.de/themen/mensch-arbeit>.
33. Akteure der chemischen Industrie, wie z. B. die Industriegewerk-  
schaft Bergbau, Chemie, Energie, der VCI und die Dechema, sind  
nicht Mitglied in dieser Arbeitsgruppe.