

Chemische Industrie

Ausführliches Branchenbild aus dem Risikoobservatorium der DGUV

1 Hintergrund

Die chemische Industrie ist einer der bedeutendsten Industriezweige Deutschlands: Rund 462 500 Beschäftigte arbeiteten 2018 in deutschen Chemie- und Pharmaunternehmen. Sie erwirtschafteten 203 Milliarden Euro. Damit liegt die Branche hinter Fahrzeug- und Maschinenbau auf Platz 3 [1]. Die Chemieunternehmen tragen mit rund 10 % zum gesamten Industrieumsatz bei und stellen fast ein Zehntel aller Industriearbeitsplätze [2]. Mit 5,4 % aller Beschäftigten ist die Chemiebranche der fünftgrößte Arbeitgeber innerhalb des verarbeitenden Gewerbes und belegt gemessen am Umsatz mit 7,6 % Rang vier [3].

Im ersten Halbjahr 2019 sank allerdings die Produktion der chemisch-pharmazeutischen Industrie angesichts schwieriger globaler Rahmenbedingungen im Vergleich zum Vorjahreszeitraum um 6,5 %. Nahezu alle Produktbereiche waren von der schwächeren Nachfrage betroffen. Trotz der verhaltenen Chemiekonjunktur stieg die Zahl der Beschäftigten in diesem Zeitraum leicht auf 464 800 an [4].

Mehr als 90 % der knapp 2 200 branchenzugehörigen Unternehmen sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit weniger als 500 Beschäftigten (2017). Sie erwirtschaften rund 28 % des Umsatzes der chemischen und pharmazeutischen Industrie und beschäftigen über ein Drittel der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der gesamten Branche [5]. Der Frauenanteil in der Chemie- und Pharmabranche lag im Jahr 2017 bei 33 %, das Durchschnittsalter der Beschäftigten betrug 43 Jahre [2].

Chemiewaren werden in nahezu allen Produktionszweigen eingesetzt und weiterverarbeitet. So weist die chemische Industrie eine breite Kundenstruktur und enge Lieferbeziehungen zu anderen Industrien auf. Die größten Abnehmer sind – neben der Chemieindustrie selbst – die gummi- und kunststoffverarbeitende Industrie, private Haushalte (vor allem über die Nachfrage nach Reinigungs- und Pflegemitteln), das Textil-, Bekleidungs- und Ledergewerbe, der Automobilbau, das Baugewerbe, die Papier- und Druckindustrie, die Metallerzeugung und die Pharmaindustrie. Deutschland verfügt sowohl über eine starke Basischemie als auch eine große Spezialchemie. Gut funktionierende Verbundstrukturen und integrierte Wertschöpfungsketten werden durch große Chemieparcs begünstigt [6].

Die Sparte der Grundstoffchemie, die großvolumig Ausgangsstoffe für die Folgechemie und nachfolgende Branchen produziert, dominiert mit über 50 % aller Beschäftigten und 60 % des Umsatzes noch immer. Große Chemieunternehmen setzen jedoch zunehmend auch auf die Herstellung von Spezialchemikalien, um sich vom preisbestimmten Massengeschäft absetzen zu können [3]. Die Branche sieht sich als Innovationsmotor der deutschen Wirtschaft, der nachhaltiges Wirtschaften und eine hohe Lebensqualität ermöglichen soll. 2018 gab die Branche rund 11,8 Milliarden Euro für Forschung und Entwicklung aus [1].

Die Chemiebranche ist für ihre Beschäftigten einer der sichersten Industriezweige. Die Zahlen zum Unfallgeschehen in der chemischen Industrie liegen auf unterdurchschnittlichem Niveau. Im Jahr 2018 gab es 14,7 meldepflichtige Arbeitsunfälle je 1 000 Vollarbeitende (gewerbliche Wirtschaft

24,91, insgesamt 23,1). Die Branche verzeichnete 3,5 meldepflichtige Wegeunfälle je 1 000 gewichtete Versicherungsverhältnisse (gewerbliche Wirtschaft 3,66, insgesamt 3,64). Es gab fünf tödliche Arbeitsunfälle und acht tödliche Wegeunfälle [7; 8]. Auffällig ist, dass es in der Chemiebranche insgesamt kaum branchenspezifische Unfälle mit Chemikalienkontakt gibt, bei den meisten Unfällen handelt es sich um Stolper- oder Sturzunfälle [9].

Im Zeitraum von 2013 bis 2017 wurde im Wirtschaftszweig „Herstellung von chemischen Erzeugnissen“ in insgesamt 3 525 Fällen der Verdacht auf eine Berufskrankheit bestätigt. Am häufigsten traten die BK „Hautkrankheiten“ mit 1 315 bestätigten Fällen (darunter 62 Anerkennungen) und die BK „Lärm“ mit 812 bestätigten Fällen auf [10].

Die Zahlen zum Arbeitsunfähigkeitsgeschehen in der Branche sind unauffällig. Der Krankenstand lag im Dezember 2018 bei den Betriebskrankenkassen (BKK) bei 4,89 %, der Durchschnitt betrug 4,47 % [11]. Von der AOK, bei der ein Großteil der Beschäftigten der Branche versichert ist, liegen keine aktuellen Daten für die chemische Industrie vor.

Eine Untersuchung von AOK-versicherten Beschäftigten liefert Daten zum Arbeitsunfähigkeitsgeschehen aufgrund des Konsums psychoaktiver Stimulanzien. Eine Arbeitsunfähigkeit infolge psychoaktiver Substanzen wie Alkohol und Tabak ist ein überwiegend männliches Phänomen. Dies zeigt sich auch in der Chemiebranche mit ihren knapp zwei Dritteln männlicher Beschäftigter. Im Jahr 2016 lag die chemische Industrie mit 6,86 AU-Fällen je 1 000 Versichertenjahre(VJ) aufgrund von Alkoholkonsum auf Platz 3 aller Branchen, mit 208 AU-Tagen (je 1 000 VJ) aufgrund von Alkoholkonsum belegt sie Platz 5. Die Arbeitsunfähigkeit durch den Konsum von Cannabis spielt kaum eine Rolle (0,51 AU-Tage je 1 000 VJ), und auch bei Sedativa und Hypnotika – typischerweise häufig von Frauen konsumiert – liegen die Werte im Mittelfeld (0,28 AU-Tage je 1 000 VJ) [12].

Tabelle 1 zeigt, welche aktuellen Trends und Entwicklungen die Branche „Chemische Industrie“ hinsichtlich der Sicherheit und Gesundheit in der nahen Zukunft beeinflussen werden. Diese Einschätzungen wurden im Rahmen des Risikoobservatoriums der DGUV erhoben und stammen von Aufsichtspersonen und anderen Präventionsfachleuten der gesetzlichen Unfallversicherung. Die einzelnen Entwicklungen werden im Folgenden detaillierter erläutert. Als Schwerpunkte genannt wurden eine erhöhte Arbeitsbelastung, der Mangel an Fachkräften, die Digitalisierung und ihre Risiken, hohe Mobilitätsanforderungen sowie Nanomaterialien.

Tabelle 1: Rangreihung der bedeutsamsten Entwicklungen im Hinblick auf den Arbeitsschutz der nahen Zukunft in der Branche „Chemische Industrie“ als Ergebnis der Befragungsstufe 2 des Risikoobservatoriums der DGUV¹ 2018

Rang	Entwicklung
1	Arbeitsverdichtung, längere Arbeitszeiten und Verantwortungsausweitung
2	Fachkräftemangel
3	Demografischer Wandel und unausgewogene Altersstruktur

¹ Es gibt zwei Befragungsstufen. Die Präventionsfachleute bewerten in Stufe 1 die Bedeutung von circa 40 Entwicklungen ihrer Branche auf einer Skala von 1 bis 9. Durch statistische Berechnungen (Bildung von Konfidenzintervallen um die Mittelwerte), die berücksichtigen, wie eng die Bewertungen einzelner Entwicklungen beieinanderliegen, werden die bedeutendsten Entwicklungen extrahiert. Ihre Anzahl kann je nach Branche (deutlich) variieren. In Stufe 2 bilden die Präventionsfachleute aus diesen wichtigsten Entwicklungen eine endgültige Rangreihe.

Rang	Entwicklung
4	Komplexität von Mensch-Maschine-Schnittstellen
5	IKT und vernetzte Automatisierung, auch für mobile Arbeit
	Zentralisierung und Verdichtung von Überwachungstätigkeit
6	Mobilitätsanforderungen/Verkehrsdichte
7	Nanomaterialien

Besonders die Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sind wichtige Treiber für Innovationen und die künftige Entwicklung der Branche mit sehr unterschiedlichen – positiven und negativen – Auswirkungen auf die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten. Eine Umfrage der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE) unter knapp 10 000 Beschäftigten der Chemiebranche im Jahr 2019 hat ergeben, dass die Einschätzungen der Beschäftigten zum Thema Digitalisierung ambivalent sind. 69 % der Befragten sind zuversichtlich hinsichtlich der Bewältigung digitaler Anforderungen, 61 % erwarten Unterstützung und Erleichterung durch die Digitalisierung hinsichtlich Aufgabenplanung und Informationsfluss und der Vereinbarkeit von Beruf und Familie. Etwa die Hälfte der Beschäftigten erwartet eine Zunahme der Anforderungen und spricht von Zeitdruck, zu viel Arbeit und der Notwendigkeit von Multitasking [13].

Dass das Thema Nanomaterialien von den befragten Fachleuten als sehr relevant für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten der Chemieindustrie in den kommenden Jahren eingestuft wurde, scheint auf den ersten Blick nicht unbedingt offensichtlich. Allerdings ist der Umgang mit Nanomaterialien, besonders auch in geschlossenen Anlagen, nur dann sicher, wenn auch die untypischen Betriebszustände wie Wartung, Reinigung und Havarien berücksichtigt werden. Zudem ist bei weiterverarbeitenden Betrieben auch im Normalbetrieb bei unsachgemäßem Umgang eine Exposition möglich. Nicht zuletzt sehen viele Fachleute bei der Nanotechnologie seitens der Industrie eine gewisse Verpflichtung, die eigenen Produkte im Hinblick auf ihre potenziellen Gesundheitsrisiken zu bewerten.

2 Hohe Arbeitsbelastung

Die Chemieindustrie muss sich aktuell und zukünftig erheblichen Herausforderungen stellen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern. Hierzu gehören unter anderem eine wachsende internationale Konkurrenz – auch aus Schwellenländern –, konjunkturelle Schwankungen und Planungsunsicherheiten, der demografische Wandel, steigende Regulierungsanforderungen, grundlegende Änderungen der Energie- und Umweltpolitik und ambitionierte Klimaziele [3]. Diese Faktoren erhöhen den Druck auf die Unternehmen der Branche und wirken damit auch unmittelbar auf die Arbeitslast der Beschäftigten. Zu den Konsequenzen – besonders auch durch neue digitale Technologien – zählen eine erhöhte Aufgabenvielfalt und Multitasking, Zeitdruck, mehr Verantwortung und hoher Entscheidungsdruck; hinzu kommen gläserne Prozesse und mehr Überwachungsmöglichkeiten. Wie Beschäftigte individuell mit den Belastungen umgehen, hängt von ihrer Qualifikation, ihrem Arbeitsbereich und ihrer Erfahrung im Umgang mit digitaler Technik sowie von ihrer Einschätzung ab, inwiefern die neuen Technologien sinnvoll erscheinen [14].

Laut DGB-Index Gute Arbeit 2017 bewerten die Beschäftigten der Chemie- und Pharmabranche die Arbeitszeitlage schlechter als im Durchschnitt des produzierenden Gewerbes. Gleiches gilt für die

Arbeitsintensität, die zudem auch schlechter als im Durchschnitt der Gesamtwirtschaft bewertet wird. Die Digitalisierung spielt dabei eine wichtige Rolle: 50 % der befragten Beschäftigten in der Chemie- und Pharmabranche – und damit sieben Prozentpunkte mehr als im Durchschnitt des produzierenden Gewerbes und der Gesamtwirtschaft – berichten, dass die Arbeitsbelastung durch die Digitalisierung insgesamt größer geworden sei [15].

Eine Delphi-Befragung hat im Jahr 2018 branchenspezifische Trends der Chemie- und Pharmabranche – auch aus dem DGB-Index Gute Arbeit – durch Expertinnen und Experten bewerten lassen. Darin gehen 80 % der Fachleute von einer Zunahme bzw. starken Zunahme der psychischen Belastungen in der Produktion aus. Die Befragten erachten eine Ausdehnung der Betriebszeiten über die Normalarbeitszeit hinaus als den am stärksten belastenden Faktor. Insbesondere die Schichtarbeitssysteme zur Auslastung der Produktionsanlagen stellen eine Herausforderung dar. Darüber hinaus erschweren hohe Arbeitsintensität und Stress sowie regelmäßige Störungen und Unterbrechungen im Arbeitsprozess die Produktionsarbeit [15].

Auch in der Forschung und Entwicklung erwarten 72 % der Befragten einen Anstieg der psychischen Belastungen, davon 28 % sogar eine starke Zunahme. Als wesentliche Einflussfaktoren gelten der herausfordernde Umgang mit einem breiteren Entscheidungs- und Handlungsspielraum sowie die Aufgabenvielfalt und -variabilität. Diese Aspekte wurden von 58 % der Befragten genannt. Das Abweichen von Normalarbeitszeiten und die hohe Arbeitsintensität wurden zudem von einem Drittel der Befragten als Einflussfaktoren in der Forschung und Entwicklung angegeben [15].

Auch die Verantwortungslast der Beschäftigten wird voraussichtlich steigen. Fachleute in der Chemie- und Pharmabranche erwarten eine stärkere Fokussierung auf projektbasierte Arbeitszusammenhänge – und damit eine Überschreitung organisationaler (und nationaler) Grenzen sowie veränderte Führungs- und Kontrollstrukturen in Unternehmen. Dabei verfestigen sich in Hierarchiestufen unterhalb der Führungsebene zunehmend Arbeitsstrukturen, die eine verstärkte Selbstkontrolle und -verantwortung der Beschäftigten erfordern. Auch eine Untersuchung zur Chemie- und Pharmabranche in Baden-Württemberg kommt zu dem Ergebnis, dass die Verantwortungsbereiche der Beschäftigten künftig größer werden und damit die Handlungsspielräume und Anforderungen an die Entscheidungskompetenzen zunehmen [15]. Dies kann einerseits die Fähigkeiten der Beschäftigten weiterentwickeln und ihre Motivation fördern, andererseits kann eine (zu) hohe Verantwortungslast Verunsicherung, chronischen Stress und Versagensängste verursachen und auch zu körperlichen Symptomen wie Herzrasen, Magen-Darm-Beschwerden oder Schlafstörungen führen.

Die hohe Arbeitsbelastung und die gestiegene Verantwortungslast können auch die Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben erschweren. So geben im DGB-Report 2017 mehr als ein Drittel (36 %) der befragten Personen in der Chemiebranche an, sehr häufig oder oft nach der Arbeit zu erschöpft zu sein, um sich noch um private oder familiäre Angelegenheiten kümmern zu können. Jede oder jeder Vierte in der Branche bestätigt, sehr häufig oder oft Schwierigkeiten zu haben, private Interessen mit der Arbeit zeitlich in Einklang zu bringen [16].

Auch die Gewerkschaft IG BCE spricht von einer erhöhten Arbeitsbelastung quer über alle Unternehmensbereiche [14], die zu einer Überforderung führen kann. Über längere Zeiträume kann Überforderung Stresszustände verursachen. Ein dauerhaft erhöhtes Stressniveau beeinträchtigt die Gesundheit und kann langfristig sogar in psychische Erkrankungen wie Burnout und Depressionen münden. In diesem Zusammenhang kann auch der zunehmende Anteil älterer Menschen bei den Erwerbstätigen eine wichtige Rolle spielen. Ältere Beschäftigte verfügen über einen hohen Erfahrungsschatz, sind aber oft durch ein erhöhtes Arbeitsaufkommen stärker belastet. Gerade Mehrfachbelastungen durch die Übernahme neuartiger und anspruchsvoller Aufgaben können bei

ihnen einen erhöhten Stresslevel zur Folge haben, auch wenn ihnen aufgrund ihres Erfahrungsschatzes eine generell höher entwickelte Stressresistenz attestiert wird [17].

Unternehmen versuchen zunehmend, die Belastungen u. a. durch die Einführung innovativer Schichtmodelle zu verbessern. Doch die Einführung von flexiblen Arbeitszeiten und Teilzeitmodellen gestaltet sich aufgrund des Schichtbetriebs in der chemischen Industrie häufig als problematisch (lediglich 8,1 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten arbeiten in Teilzeit). Grundsätzlich scheint die Umsetzung solcher Maßnahmen für größere Unternehmen einfacher zu sein als für kleine. Auch Lebensarbeitszeitkonten können Beschäftigten mehr Flexibilität in der Lebensplanung bieten und Unternehmen eine flexible Produktion ermöglichen, ohne in großem Umfang auf extern zu rekrutierendes Personal zurückzugreifen oder hohe Überstundenzuschläge zu zahlen. Nicht zuletzt kann Leiharbeit die Flexibilität erhöhen und das Beschäftigungsniveau dem anfallenden Auftragsumfang anpassen. In Spitzenzeiten steigt daher der Einsatz von Leiharbeitenden auch in der Chemiebranche – allerdings vor allem bei einfacheren Tätigkeiten in der Produktion sowie in Logistik, Wartung und Service [6].

3 Demografischer Wandel und Fachkräftemangel

Wie viele andere Branchen auch hat die chemische Industrie mit einem Fachkräftemangel zu kämpfen, weil einerseits der demografische Wandel und die Alterung der Belegschaft die Zahl der verfügbaren Arbeitskräfte reduzieren und andererseits die Branche vor allem aufgrund der Globalisierung unter hohem Innovationsdruck steht. Personelle Engpässe haben nicht nur wirtschaftliche Auswirkungen, sondern bedeuten für die vorhandene Belegschaft eine zusätzliche Arbeitsbelastung, die das Risiko für Fehler und Unfälle erhöhen kann. Auch die Einarbeitung ungelernter Kräfte – als Ersatz für fehlendes qualifiziertes Personal – bedeutet für die Mitarbeitenden einen erhöhten zusätzlichen Aufwand. Überdies können unzureichend qualifizierte Beschäftigte generell eine erhöhte Gefahr für sich und andere darstellen und das Unfallrisiko steigern.

Der Mangel an Fachkräften ist in der Branche nicht neu, scheint sich aber zu verschärfen. 2017 zählte schon mehr als die Hälfte der Chemieberufe zu den Engpassberufen [18]. Im Gutachten des Instituts der deutschen Wirtschaft (IW) aus dem Jahr 2018 wurde ermittelt, dass es in jedem dritten Beruf, der für die Chemiebranche besonders wichtig ist, bereits seit Jahren an Fachkräften mangelt. Im Jahr 2019 nennen bei der Umfrage „DigiChem Survey“ 53 % der Unternehmen als größte Barriere für die Umsetzung der Digitalisierung, dass sie zu wenig qualifiziertes Personal finden [19].

Bei 18 von 35 der durch das IW untersuchten Berufe mit besonderer Relevanz für die Chemiebranche waren im Jahresdurchschnitt im Zeitraum von Juli 2016 bis Juni 2017 Engpässe festzustellen. Während nur zwei kaufmännische und drei naturwissenschaftliche Berufe betroffen waren, machen technische Berufe den größten Teil der aktuellen Engpassberufe aus. Bei diesen steht die Chemiebranche überdies in einem starken Wettbewerb mit anderen Branchen – beispielsweise der Metall- und Elektroindustrie. Dagegen zeigt sich für die naturwissenschaftlichen Kernberufe der Chemiebranche eine etwas weniger angespannte Situation. Zwar sind bei Chemikantinnen und Chemikanten bzw. Pharmakantinnen und Pharmakanten, bei Fachkräften im Lacklaboratorium und im chemisch-technischen Laboratorium Fachkräftengpässe zu verzeichnen, aber lediglich in der Chemie- und Pharmatechnik zeigt sich ein anhaltender Engpass über die letzten fünf Jahre [18].

Die Alterung der Belegschaft in der Chemieindustrie hat deutlich zugenommen: Waren 2007 noch 13,7 % aller Beschäftigten über 55 Jahre, sind es 2017 bereits 20,5 %. Im Vergleich mit dem verarbeitenden Gewerbe insgesamt weist die Chemieindustrie durchweg einen höheren Anteil an älteren Beschäftigten und einen niedrigeren an jüngeren Beschäftigten unter 25 Jahren aus. Der Anteil Jüngerer stieg seit 2007 kaum merklich und lag 2016 bei unter 8 %. Auf diese Entwicklung reagieren die Unternehmen jedoch bereits seit mehreren Jahren: In der Chemieindustrie ist die Zahl

der Auszubildenden in Chemieberufen je 100 beschäftigte Fachkräfte von 5,9 (2012) auf 8,8 (2016) deutlich und überproportional gegenüber der entsprechenden Relation zwischen allen Auszubildenden und allen beschäftigten Fachkräften – von 6,9 (2012) auf 8,0 (2016) – gewachsen [3]. So wurde die bereits hohe Anzahl der Ausbildungsstellen, die der 2014 neu gefasste Tarifvertrag „Zukunft durch Ausbildung und Berufseinstieg“ festschreibt, in den vergangenen Jahren sogar regelmäßig überschritten [3].

Die Mehrheit der Unternehmen der Branche bildet ihre zukünftigen Fachkräfte im dualen System selbst aus. Spezifische Kenntnisse im Wettbewerbsprozess werden immer wichtiger, und auf diese Weise können die Betriebe die Ausbildungsinhalte gezielt auf ihre Bedürfnisse zuschneiden [20]. Da aus Arbeitgebersicht viele Bewerberinnen und Bewerber über nicht ausreichende Qualifikationen verfügen, ist es für die meisten selbstverständlich geworden, auch schulische und gesellschaftliche Defizite ihrer Auszubildenden selbst auszugleichen [3]. Auch werden nach erfolgreichem Ausbildungsabschluss über 90 % der Ausgebildeten übernommen [20]. So gelingt den Betrieben – zumindest für einen gewissen Zeitraum – eine verstärkte Fachkräftebindung und eine erhöhte Kontinuität bezüglich der unternehmensinternen Strukturen, Arbeitsabläufe und Sicherheitsaspekte. Gleichzeitig bedeutet die Betreuung einer hohen Zahl an Auszubildenden – ebenso wie die Einarbeitung neuer Beschäftigter – einen erhöhten Aufwand für die Beschäftigten und kann eine zusätzliche Belastung darstellen. Zudem kann die fehlende Erfahrung von Auszubildenden oder neuen Beschäftigten – besonders beim Umgang mit komplexen Maschinen und Anlagen oder chemischen Stoffen – das Risiko für Fehler und Unfälle erhöhen.

Ebenso wichtig wie die Ausbildungsförderung ist die Entwicklung geeigneter Nachqualifizierungsangebote für ältere Beschäftigte, damit die wachsenden und sich ständig ändernden (digitalen) Anforderungen nicht zu einer Überforderung und einer zu hohen psychischen Belastung werden. Gleichzeitig können flexiblere Arbeitszeitmodelle und zusätzliche Gesundheitsangebote helfen, die Beschäftigten möglichst lange im Beruf halten und den Übergang des Wissens von altersbedingt ausscheidenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an Jüngere zu gewährleisten [3].

Problematisch ist überdies für Beschäftigte höheren Alters, dass viele Tätigkeiten in der Produktion trotz der zunehmenden Digitalisierung noch immer mit anstrengender körperlicher Arbeit verbunden sind. Mit höherem Alter steigt die Wahrscheinlichkeit von Muskel-Skelett-Erkrankungen, etwa infolge von Zwangshaltungen, dem Heben von schweren Lasten oder repetitiven Tätigkeiten. Körperliche Belastungen können sich verschärfen, wenn Beschäftigte ausscheiden und neue Kräfte wegen des verbreiteten Mangels nicht mit fließendem Übergang gefunden oder eingestellt werden können.

Für älteres Personal stellen Schichtsysteme – besonders mit Nachtdiensten – eine größere Belastung dar. Menschen, die viele Jahre in einem ungünstigen Schichtmodell gearbeitet haben, verfügen im Alter über weniger Ressourcen zur Erholung. Regelmäßige Überstunden in erheblichem Umfang können sich ebenfalls negativ auswirken [21]. Auch hier können Modelle der Lebensarbeitszeit oder andere Formen von Flexibilisierung dazu beitragen, die Leistungsfähigkeit Älterer zu erhalten. Maßnahmen wie Teilzeitarbeit, Jobsharing, Sabbaticals oder Homeoffice machen die Arbeitszeiten variabler und gestalten dadurch die geleistete Arbeitszeit angenehmer und effektiver. Allerdings ist es für kleine Unternehmen oft schwierig, diese Maßnahmen umfassend umzusetzen oder sogar eigene Demografieprogramme zu etablieren. [3].

Generell ändern sich die Anforderungen in der Chemiebranche permanent und die in der Erstausbildung erworbenen Qualifikationen veralten immer schneller. Daher ist es zunehmend wichtig, dass sich der Lernprozess über das gesamte Erwerbsleben erstreckt (lebenslanges Lernen). Betriebliche Weiterbildung hilft nicht nur, dem Personal gezielt spezifische Qualifikationen zu

vermitteln und Überforderungen zu vermeiden, sondern fördert ebenso die Bindung von Nachwuchskräften an das Unternehmen und stellt zudem einen Wettbewerbsvorteil bei der Rekrutierung von Fachkräften dar [6].

4 Digitalisierung

In der Chemiebranche arbeitet fast jede oder jeder zweite Beschäftigte mit computergesteuerten Maschinen oder Robotern – deutlich häufiger als in anderen Bereichen [22]. Meist spielt die Digitalisierung für Unternehmen der Feinchemie eine größere Rolle als für Unternehmen der Grundindustrie, z. B. der Mineralölindustrie [23]. Digitale Anwendungen im Produktions- und Vertriebsprozess setzen bereits mehr als 80 % der Unternehmen in der Chemie ein, etwa in Form einer digitalen Vernetzung innerhalb der Produktion, zwischen Produktion und Logistik sowie an den Schnittstellen zu Kundschaft und Lieferunternehmen [24].

Digitale Technologien – etwa zur Anlagenüberwachung oder um Ausfallzeiten zu minieren [3] – versprechen wesentliche Produktivitätsgewinne in einer Branche, die auf Basis der etablierten Fertigungstechnik bei bereits hochoptimierten Anlagen kaum noch weitere Effizienzsteigerungen erzielen kann [24]. Zentrale Ansätze sind dabei u. a. ein digitales Supply-Chain-Management, modulare Anlagen sowie ein digitales Anlagenmanagementsystem [24].

Auch im Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) sind die Einsatzmöglichkeiten in der Chemieindustrie vielfältig, z. B. setzt man KI ein, um unstrukturierte Daten oder Bilder zur Qualitätskontrolle zu analysieren oder Materialeigenschaften zu erkennen [25]. Die immer größeren Datenmengen („Big Data“) können etwa für die Simulation von Experimenten genutzt werden [15]. Machine-Learning-Technologien können die Produktivität in der Forschung und Entwicklung deutlich steigern. So integrieren kognitive Systeme vorhandenes Wissen und verschaffen eine schnelle und zuverlässige Übersicht. Modellierung und Simulationen reduzieren die Anzahl von Experimenten. Mit Machine Learning kann man beispielsweise vorhersagen, wie hoch die Leistung eines Katalysators sein wird [25].

Künftig steigt in der Branche die Bedeutung von Virtual- und Augmented-Reality-Systemen. Diese können etwa Zusatzinformationen zu eingesetzten Chemikalien einblenden, Arbeitsanweisungen darstellen oder das Lernen in virtuellen Räumen ermöglichen [15]. Schon jetzt versprechen Augmented-Reality-Brillen (Datenbrillen) in der Produktion Vorteile, auch wenn sie in vielen Fällen noch nicht ausgereift sind. Sie können beispielsweise Beschäftigte durch einen Prozess mit verschiedenen Arbeitsschritten lenken oder Informationen über einen exakten Fertigungsstatus in Echtzeit erfassen und dokumentieren. So können Unternehmen Stillstände in der Produktion reduzieren [25]. Durch die Prozessdigitalisierung wird die Produktion darüber hinaus künftig enger mit produktionsfernen Leistungen verzahnt sein. Langfristig ist auch ein stärkerer Einsatz robotischer Systeme im Labor denkbar [15].

Trotz der offensichtlich großen Vorteile und Chancen der Digitalisierung für die Branche empfinden die Beschäftigten den Umgang mit digitalen Technologien – ob in Verwaltung oder Produktion – oft als psychische Herausforderung und Stressfaktor. In Gesprächen mit Betriebsräten im Projekt „Arbeit 2020 in NRW – Digitaler Wandel in der Chemischen Industrie“ wurden besonders die Informationsflut und die Geschwindigkeit durch die digitalen Veränderungen als große Belastung bezeichnet. Auch die zunehmende Komplexität bei neuen digitalen Anforderungen ist ein wichtiger Stressor – vor allem in der Einführungsphase. Weitere in den Gesprächen genannte Aspekte waren u. a. eine nicht funktionierende EDV und fehlende Vorerfahrungen [14]. Systeme und Maschinen, die ergonomische Aspekte im Zusammenhang mit Bedienteilen, Benutzeroberflächen, Leitständen, Bildschirmen u. ä. nicht ausreichend berücksichtigen, können neben den genannten psychischen Herausforderungen auch eine zusätzliche physische Belastung darstellen und Muskel-Skelett-

Erkrankungen Vorschub leisten. Hierzu zählen beispielsweise Zwangs- und Fehlhaltungen aufgrund unzureichender Sicht- und Erkennbarkeit von Anzeigen. Nicht variabel gestaltete und individuell auf die Körpergröße anpassbare Systeme können zusätzlich problematisch sein.

Sicherheitsfunktionen an industriellen Maschinen und Anlagen werden oft mithilfe programmierbarer elektronischer Systeme realisiert. Zufälliges oder absichtlich herbeigeführtes fehlerhaftes Verhalten solcher Systeme kann zu massiven Gefährdungen am Arbeitsplatz führen. Besonders die in hohem Maß digital vernetzten Systeme in der chemischen Produktion sind verwundbar. Der jährliche Lagebericht des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) beschreibt beispielsweise Angriffe auf Industriesteuerungen, die in der Lage sind, eine Sicherheitssteuerung in einem Chemiewerk feindlich zu übernehmen. Die sicherheitsrelevanten Komponenten müssen daher an ihre technische Umgebung (Netzwerke, Schnittstellen, Kommunikationsprotokolle) angepasst, gegen Manipulation abgesichert und vor Angriffen geschützt sein („Industrial Security“) [26].

4.1 Prozessorientierte Arbeit und Komplexität von Mensch-Maschine-Schnittstellen

Die zunehmende systematische Erhebung digitaler Massendaten durch Sensoren und Aktoren ermöglicht es, Produktionsprozesse weiter zu automatisieren. Intelligente Sensorik kann mittels integrierter Datenauswertung weitreichende Selbstüberwachungs- und -diagnosefunktionen der Produktion in Echtzeit übernehmen [15]. Viele Firmen der chemischen Industrie investieren bereits in digitale Technologien für die vorausschauende Wartung. Dazu gehören z. B. Sensoren zur Ermittlung des Maschinenzustandes, Ticketsysteme für automatische Fehlermeldungen und die Entwicklung speziell zugeschnittener Algorithmen zur Vorhersage des Wartungsbedarfs. Per Fernüberwachung lassen sich die Richtigkeit der Daten kontrollieren und technisches Personal automatisch zuteilen [27]. Was auf den ersten Blick ausschließlich Vorteile zu bringen scheint, birgt allerdings auch potenzielle Risiken: Die umfassende Vernetzung und digitale Überwachung von Anlagen wird bei Cyber-Angriffen schnell zu einer Gefahr für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten. Aspekte der Industrial Security spielen für den Arbeitsschutz folglich eine immer wichtigere Rolle.

Die Tendenz zur Fernüberwachung von Anlagen und Maschinen muss nicht auf das eigene Unternehmen beschränkt sein, denn auch die Steuerung und Fernwartung von Produktionsanlagen der Kundschaft sind möglich. Dabei können in Echtzeit Daten eingesehen, mit Algorithmen ausgewertet und Vorschläge zur Optimierung der Prozesse gemacht werden [27]. Wenn Störungen durch Mitarbeitende des betreuten Unternehmens vor Ort behoben werden, sind gut gestaltete, intelligente Schnittstellen und eine gelingende Kommunikation zwischen Mensch und Maschine besonders wichtig, um Unsicherheiten oder Fehler und damit Unfälle zu vermeiden.

Während eine steigende Zahl an Laborinstrumenten wie Gaschromatographie-Massenspektrometer (GC-MS, Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer (FT-IR), Waagen und Rotationsverdampfer über Cloud-Computing-Strukturen verfügen und via Fernbedienung (Remote Control) gesteuert und beaufsichtigt werden können, scheinen positive Anwendererfahrungen noch selten zu sein. Eine Schätzung geht davon aus, dass 80 % der Anbietenden entsprechender Technik zwar technologisch auf dem neuesten Stand sind, aber erst langsam erkennen, dass sich mit gut abgestimmten „User Interfaces“ die Zufriedenheit der Benutzerinnen und Benutzer noch deutlich verbessern lässt. Unergonomisch gestaltete Benutzerschnittstellen oder -oberflächen können Frustration und Stress erzeugen, den Aufwand zur Einarbeitung erhöhen und Fehlbedienungen fördern. So stellen sie nicht nur eine Belastung, sondern auch ein Sicherheitsrisiko dar und können die Unfallgefahr erhöhen [28].

Die Anforderungen an Beschäftigte durch moderne Prozesstechnik sind hoch: In stark automatisierten Bereichen müssen Beschäftigte die gesamten Produktionsabläufe kennen und bewerten

können. Sie sind für die Überwachung und Kontrolle von Anlagen – die eventuell nicht vor Ort sind – und für adäquate Reaktionen auf atypische Situationen verantwortlich und müssen daher systemisch über den eigenen Arbeitsplatz hinausdenken. Automatisierte Prozesse können aufgrund ihres hohen Routinecharakters bei Störungen schwierige Arbeitssituationen erzeugen – insbesondere, wenn Routine und Monotonie durch mangelnde Systemtransparenz und ein geringes Systemverständnis ergänzt werden. Im Fall unerwarteter und kritischer Systemzustände kommt es dann gewissermaßen zu einem Kontrollentzug durch Technik. Störungen verlangen spontane, aber dennoch angemessene Reaktionen und ein umfassendes Verständnis für komplexe Systeme. Die Fähigkeit, auf Unvorhergesehenes richtig reagieren zu können, ist eine Kompetenz, die im Umgang mit neuen Technologien immer wichtiger wird [23]. Hier sind nicht zuletzt Verbesserungen und Weiterentwicklungen von Ausbildungs- und Weiterbildungsinhalten gefragt, um Menschen zu befähigen, mit der immer komplexer werdenden Verfahrenstechnik mitzuhalten und den psychischen Anforderungen gewachsen zu sein.

Nicht zuletzt sind auch die Hersteller von Prozesstechnik in der Pflicht, präventiv zu agieren. Schon bei der Planung und Entwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen können sie darauf achten, dass die Software-Benutzeroberflächen nicht nur prozessorientierten Anforderungen genügen, sondern auch die Gefährdungssituation entsprechend der Gefährdungsbeurteilung abbilden und zwar im Idealfall auf eine genormte Weise, ähnlich wie dies beispielsweise bereits im GHS-System (Global harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien) für die Gefährdungen durch chemische Stoffe umgesetzt ist. Damit stellen sicherheitsrelevante Funktionalitäten von Beginn an eine systeminhärente Eigenschaft in Anlagen dar und müssen nicht unter erhöhtem Aufwand und mit eventuell eingeschränkter Leistungsfähigkeit als "Add-On" im Nachhinein in eine vorhandene Prozesssteuerung integriert werden.

4.2 Arbeitsplatzunsicherheit

Eine Umfrage der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE) unter knapp 10 000 Beschäftigten der Chemiebranche im Jahr 2019 hat ergeben, dass zwar nur 19 % der Beschäftigten eine Überwachung und Leistungskontrolle durch das vermehrte Sammeln von Daten befürchten, aber die Sorgen um den Arbeitsplatz mit 39 % relativ ausgeprägt sind [13].

Tatsächlich ist die Angst um den Arbeitsplatz im Chemiesektor nicht unbegründet. Insgesamt gesehen bestimmen zwei Trends die Branche: der Abbau eher einfacher Tätigkeiten einerseits und die Aufwertung von Facharbeit andererseits. Der technologische Wandel im Zuge der Digitalisierung und Automatisierung kann zu einer Reduzierung von Arbeitsplätzen für bestimmte Beschäftigtengruppen führen, z. B. bei der Instandhaltung und Betreuung von Anlagen, aber auch bei einfachen Dienstleistungen im Bereich Betriebsbuchhaltung, Einkauf und Vertrieb. Auf der anderen Seite gehen Fachleute davon aus, dass es in der Branche eine größere Dienstleistungsnachfrage in Bezug auf externe (IT-)Spezialistinnen und Spezialisten geben wird, die die Hardware, Software und Module neuer Produktionsanlagen betreuen [23].

Darüber hinaus bringt die Digitalisierung in vielen Fällen auch den Umbau von Arbeitsprozessen und damit der Organisation mit sich. Zum Beispiel sind Labore der chemischen Industrie in einem starken Wandel begriffen: Laborarbeiten finden zunehmend direkt im laufenden Prozess der Produktion statt und werden von Produktionsmitarbeiterinnen und -mitarbeitern übernommen. Gleichzeitig zeichnet sich eine Zentralisierung der Labore in den Unternehmen ab. Kleinere Labore werden aufgelöst oder Laboraufgaben extern vergeben. [14]. Derartige Entwicklungen können Ängste der Beschäftigten um ihren Arbeitsplatz schüren.

4.3 Qualifizierung

Eine der wichtigen Erfordernisse des digitalen Wandels ist die Vermittlung der benötigten (digitalen) Kompetenzen in der Aus- und Weiterbildung. Grundlegend wichtige Fähigkeiten betreffen den sicheren Umgang mit einer steigenden Zahl an Messdaten und aggregierten Informationen, systematisches und kreatives Denken, kommunikative Kompetenzen, schnelle und bedarfsorientierte Lernfähigkeit, Eigeninitiative etc. [24]. Die tatsächlichen Rahmenbedingungen für Weiterbildung sehen viele aber kritisch: Laut Digitalisierungsmonitor sprechen 38 % der Beschäftigten von schlechten betrieblichen Voraussetzungen [13]. Eine ungenügende Vereinbarkeit mit den üblichen Arbeitsanforderungen kann für die Betroffenen angesichts der ohnehin hohen Arbeitsbelastung einen erheblichen Stressor darstellen. Auch steigt das Risiko für Unfälle infolge von Fehlbedienungen.

Der Mehrheit der Beschäftigten ist sich der Bedeutung beruflicher Qualifizierung sehr bewusst. Die Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) hat im Jahr 2016 eine Mitgliederumfrage durchgeführt: Knapp 75 % der Teilnehmenden stammen aus der Industrie mit den Branchenschwerpunkten Chemie sowie Maschinen- und Anlagenbau. Drei Viertel der Befragten gaben an, direkt oder indirekt, aktuell oder zukünftig mit dem Thema Industrie 4.0 in Berührung zu kommen. Über 65 % erkennen einen erhöhten Qualifizierungsbedarf. Grundsätzlich sehen über 70 % der Befragten die Notwendigkeit für lebenslanges Lernen und einen hohen Bedarf an Angeboten [29].

Auch das Thema Führung hat sich infolge der Digitalisierung grundlegend verändert. Zum einen ist denkbar, dass Leitungsebenen im unteren und mittleren Produktionsmanagement wegfallen – infolge von Dezentralisierung oder auch infolge der Automatisierung von Entscheidungsprozessen durch Algorithmen. Zum anderen entstehen neue Aufgaben für Führungskräfte. Angesichts einer Vielzahl an hochkomplexen Technologien sind Führungskräfte in der Verantwortung, Aufgaben und Wege zur Lösungsfindung bestmöglich im Team zu organisieren [23]. Hierbei sind echtes Interesse an den Mitarbeitenden und deren Fähigkeiten und exzellente Kommunikationsfähigkeiten grundlegende Kompetenzen für Vorgesetzte. Auch müssen sie ihrem Team Vertrauen entgegenbringen, Kontrolle begrenzen und stattdessen flexibel leiten und dirigieren. Gleichzeitig erweitern sich so die Entscheidungsspielräume der Beschäftigten und ihr selbstverantwortliches Arbeiten wird gefördert. Um diesen neuen Anforderungen gewachsen zu sein, sollten sich Qualifizierungsmaßnahmen zu Kooperations- und Kommunikationskompetenzen gezielt auch an Führungskräfte richten.

5 Mobilität und Flexibilität

In der Chemiebranche stellt der Trend hin zur Zentralisierung [30] – besonders in den großen Chemieparks in den Rhein- und Main-Regionen – steigende Anforderungen an die Mobilität der Beschäftigten. Hinzu kommt der hohe Anteil an Außendiensttätigkeiten vor allem im Pharmasektor und im Bereich Farben- und Lacke. Andererseits ist der zunehmende Einsatz digitaler Arbeitsmittel ein zentraler Treiber für eine weitere Flexibilisierung der Arbeit – zeitlich und örtlich [15]. Mobiles Arbeiten kann die Beschäftigten entlasten, indem es die Präsenzkultur eingrenzt, die Wegezeiten reduziert und zeitliche Freiräume schafft. So können die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter innerhalb bestimmter Grenzen in kurzer Taktung berufliche und private Aufgaben erledigen.

Allerdings stellt das produktionsgetriebene Kerngeschäft in Kombination mit vielen rechtlichen und sicherheitstechnischen Vorschriften die chemisch-pharmazeutischen Unternehmen vor besondere Herausforderungen. Die Flexibilisierungsmöglichkeiten in der chemischen Produktion sowie den damit verbundenen Tätigkeitsfeldern sind aufgrund vollkontinuierlicher Prozessabfolgen bei den meisten Anlagen begrenzt, da sie eine sehr weitgehende Präsenz des Personals erfordern [15]. Trotzdem gibt es Strategien für vermehrte Heimarbeit: Beschäftigte können beispielsweise ihre

Versuche weiterhin im Labor durchführen, die Auswertung und Dokumentation aber Zuhause erledigen, ebenso wie Kundengespräche [31].

Fachleute bestätigen in einer Studie zu branchenspezifischen Trends der Chemie- und Pharmabranche, dass auch in Zukunft die Flexibilisierung in den einzelnen Bereichen der Chemieindustrie heterogen verlaufen wird. Sie erwarten, dass die zeitliche und räumliche Flexibilität der Beschäftigten in der Forschung und Entwicklung zunimmt, die Flexibilisierungspotenziale in der Produktion jedoch begrenzt bleiben. Jeweils 85 % der Befragten gehen davon aus, dass die Möglichkeiten für eine flexible Arbeitszeitgestaltung sowie für mobile Arbeitsformen in der Forschung und Entwicklung stark steigen oder steigen. Eine zunehmende zeitliche Flexibilisierung in der Produktion erwarten immerhin noch 55 %. Von einer Zunahme bzw. starken Zunahme der Möglichkeiten zum mobilen Arbeiten in der Produktion geht hingegen nur ein Drittel der Befragten aus [15].

Daten des DGB-Index Gute Arbeit für das Jahr 2016 deuten bereits heute eine überdurchschnittliche Ausweitung der örtlichen Flexibilität unter Beschäftigten der chemisch-pharmazeutischen Industrie an. So gaben 41 % der Befragten aus der Chemie- und Pharmabranche an, dass der Anteil der Arbeit, den sie mobil erledigen können, durch die Digitalisierung eher größer geworden ist. Entsprechende Vergleichswerte für das produzierende Gewerbe sowie die Gesamtwirtschaft liegen bei 25 bis 28 %. Allerdings geben nur 7 % der befragten Schichtarbeitenden aus der Chemie- und Pharmabranche an, dass sie durch die Digitalisierung häufiger mobil arbeiten. Dagegen lag der entsprechende Branchenwert für Nicht-Schichtarbeitende bei 50 % [15].

Auch Schichtarbeit lässt sich flexibler gestalten: Mögliche Ansätze sind Schicht-Doodle (Mitarbeitende stimmen über ihre kurzfristigen Arbeitseinsätze zu einem vorgegebenen Termin eigenverantwortlich ab) [32], Schicht-Planungsapps, Schichttausch, asymmetrische Dauer (zeitliche Kürzung der belastenden Frühschichten bei Wechselschichtarbeit), asymmetrische Besetzung (Reduzierung der Tätigkeiten der Nachtschichten), Flexibilisierung der Schichtmodelle durch Teilzeit, Freischichten und Altersfreizeit [15; 33].

In der Chemiebranche ist eine E-Mail-Kommunikation nach Dienstschluss oder am Wochenende sehr oft unabdingbar, um reibungslose Produktions- und Arbeitsabläufe zu gewährleisten. Oft verschärfen globale Aktivitäten den E-Mail-Verkehr außerhalb der normalen Arbeitszeiten. Die Einführung von Regeln für Vorgesetzte und Beschäftigte zur mobilen Erreichbarkeit nach Dienstschluss („E-Mail-Bremse“) kann die negativen Auswirkungen der ständigen Erreichbarkeit auf Privatleben und Gesundheit der Beschäftigten reduzieren und einen bewussteren Umgang mit mobilen Endgeräten fördern. [34].

Mobile Arbeit und eine erhöhte Flexibilität bei der Arbeit stellen nicht per se eine Erleichterung für die Beschäftigten dar. Eine Steigerung der Arbeitszeit- und Arbeitsortsouveränität kann auf der einen Seite einen Beitrag zur besseren Vereinbarkeit von Beruf und Familie leisten, birgt auf der anderen Seite aber auch die Gefahr einer Entgrenzung von Arbeit. Dies gilt besonders für Menschen, die zur sogenannten interessierten Selbstgefährdung neigen und freiwillig von Pausen und Erholungsphasen absehen. Sie arbeiten über ihre Belastungsgrenzen hinaus und setzen dabei ihre Gesundheit aufs Spiel. Auch ein sehr hohes Arbeitstempo kann schaden. Intensiv und temporeich arbeitende Menschen verzichten – auch aus Zeitgründen – auf den Austausch und die gegenseitige Unterstützung im Team. Besonders mobiles Arbeiten birgt bei fehlender Vernetzung mit Kolleginnen und Kollegen das Risiko, ein solches Verhalten zu fördern.

Nicht zuletzt kann mobile Bildschirmarbeit eine körperliche Belastung darstellen und sich bei langandauernder Tätigkeit negativ auf das Muskel-Skelett-System auswirken. Dies ist zum Beispiel in einer ungeeigneten häuslichen Umgebung der Fall, wenn der Bildschirm zu klein, die Sitzposition ungünstig oder die Beleuchtung nicht ausreichend ist. Noch größer ist das Risiko bei mobiler Arbeit

unterwegs (im Auto) bei Außendiensttätigkeiten. Hier kann man kaum von ergonomisch günstigen Arbeitsbedingungen ausgehen. Angesichts flexibler werdender Arbeitsmodelle, der steigenden Tendenz zur Zentralisierung und zu verstärkter Außendiensttätigkeit in der Branche wird die Relevanz des Themas künftig noch zunehmen.

6 Nanomaterialien

Nanomaterialien sind feinteilige oder feinstrukturierte chemische Stoffe mit besonderen technischen Eigenschaften. Die Dimensionen der Teilchen oder Strukturen liegen typischerweise zwischen 1 und 100 Nanometern. Die chemische Industrie stellt eine Vielzahl an Nanomaterialien her: Metalloxide und Metalle, z. B. in Gummimischungen, Kunststoffen, Kompositmaterialien, Beschichtungen und Folien; nanoporöse Materialien, z. B. in Dämm- oder Füllstoffen und als Trägermaterialien in der Elektrotechnik und für Katalysatoren; organische Halbleiter, z. B. in OLEDs (Organische Licht Emittierende Dioden) und in der organischen Photovoltaik; Kohlenstoff-Nanoröhrchen, z. B. für leitfähige Polymere und für Kompositmaterialien; Nanofasern, z. B. in Dämm- oder Füllstoffen und als Trägermaterialien [35].

Deutschland ist europaweit führend im Bereich der Nanotechnologien und im internationalen Vergleich auf Platz drei hinter den USA und Japan [36]. Nanotechnologien haben in Deutschland mehr als 70 000 Arbeitsplätze geschaffen [37]. Im Jahr 2020 sind 209 Großunternehmen und 690 kleine und mittlere Unternehmen (KMU) im Bereich Nanotechnologie tätig, dabei werden 1 370 Anwendungsfelder genannt, die im Bereich Chemie/Werkstoffe liegen (Mehrfachnennungen möglich) [38].

Das Wissen um die Risiken von Nanomaterialien weist trotz weltweit intensiver Forschung immer noch Lücken auf, sodass eine abschließende Bewertung der Gefährdungen zurzeit nicht möglich ist. Die Größe spielt bei der Sicherheitsbewertung der kleinststrukturierten Materialien zwar eine Rolle, doch geht die sehr geringe Größe von Nanomaterialien keinesfalls mit einer per se erhöhten Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt einher. Spezifische „Nanoeffekte“, das heißt neue toxikologische Mechanismen mit generell erhöhten Wirkungen auf die menschliche Gesundheit, hat die Wissenschaft bislang nicht aufgezeigt [39].

Auch sind beim Menschen derzeit keine berufsbedingten Erkrankungen durch gezielt hergestellte Nanomaterialien bekannt [40]. Vermutungen über eine besondere Toxizität von Nanomaterialien konnten in umfangreichen Untersuchungen nicht bestätigt werden. Vielmehr lassen sich die gesundheitsgefährdenden Eigenschaften von Nanomaterialien am Arbeitsplatz mit den klassischen Grundlagen der Stoff- und Partikeltoxikologie beschreiben [41]. Auch wenn Nanopartikel (über Lunge oder Mund) in den Körper gelangen, erreicht meist nur ein sehr kleiner Teil der verabreichten Dosis das Blut und nachfolgend die Organe. Eine systemische Wirkung auf innere Organe wurde in nur wenigen der ausgewerteten Studien beobachtet, jedoch nicht als spezifische Wirkung der Nanomaterialien nachgewiesen. In den meisten Fällen liegt in Studien keine „Nanotoxizität“ vor, sondern eine allgemeine stofflich begründete Toxizität [42].

An fast allen Arbeitsplätzen stehen die inhalative und die dermale Belastung im Vordergrund. Die Höhe der Exposition wird durch die Freisetzungswahrscheinlichkeit, die Emissionsrate, das Staubungsverhalten und durch die eingesetzten technischen Schutzmaßnahmen beeinflusst. So lässt sich eine inhalative Exposition durch Herstellung von Nanomaterialien in geschlossenen Systemen, durch die Weiterverarbeitung und Verwendung in einer nichtstaubenden Form oder in einer flüssigen Suspension sowie durch den Einschluss der Nanoobjekte in eine feste Matrix minimieren. Eine dermale Exposition kann unter anderem bei manuellen Tätigkeiten mit staubförmigen oder dispergierten Nanoobjekten auftreten. Sind die Nanoobjekte hingegen in einer Feststoffmatrix gebunden, so ist keine Hautbelastung zu erwarten [43].

Die Produktion von Nanomaterialien findet in der Industrie meist in geschlossenen Anlagen statt. Eine Exposition von Beschäftigten kann allerdings insbesondere an Schnittstellen zwischen geschlossenen und offenen Verfahrensschritten stattfinden, wie bei der Abfüllung, bei der Probenahme, bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten oder bei Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs. Zusätzlich zu kommerziell in größerem Maßstab produzierten herkömmlichen Nanomaterialien wird bedingt durch das hohe Innovationspotenzial eine große Bandbreite unterschiedlicher neuer Nanomaterialien im Labormaßstab in Start-up-Unternehmen, KMU oder Forschungseinrichtungen eingesetzt. Hier werden zwar geringere Mengen verwendet, jedoch ist eine Exposition von Beschäftigten wahrscheinlicher, da nicht alle Tätigkeiten im geschlossenen System durchgeführt werden können [43]. Eventuell können auch nicht uneingeschränkt funktionierende Abzüge oder (aus Unkenntnis) nicht geschlossene Frontschieber in diesen Bereichen zu einer Exposition der Beschäftigten führen.

Die bisher vorliegenden Untersuchungen und Erfahrungen weisen darauf hin, dass die gegen Staubexpositionen getroffenen Maßnahmen grundsätzlich auch gegen Nanopartikeleinwirkungen wirksam sind. Insbesondere gilt dies für die Abscheidung von Nanopartikelaerosolen an Filtern. Einfache Kontrollmessungen in der Raumluft können die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen überprüfen [44]. Ebenso hat die Forschung die prinzipielle Wirksamkeit gängiger personenbezogener Schutzmaßnahmen gegenüber bestimmten Nanopartikeln nachgewiesen [45; 46].

Besondere Aufmerksamkeit ist bei Materialien erforderlich, die in ihrem Lebenszyklus lungengängige, biobeständige Faserstäube („WHO-Fasern“) freisetzen. Diese rigiden Fasern können von den Lungenfresszellen vielfach nicht aus der Lunge abtransportiert werden, reichern sich an und können auch in das Lungen- und Bauchfell wandern. Spätere Krebserkrankungen können die Folge sein. Die auf die eingeatmete Materialmasse bezogene toxische Wirkstärke von WHO-Fasern ist hoch und weist eine große, von der Biobeständigkeit abhängige Spannbreite auf. Hinzu kommen extreme Unterschiede bei der Staubigkeit verschiedener Materialien. Bei der Ableitung von Schutzmaßnahmen ist daher eine sehr große Risikospanne zu berücksichtigen. Im ungünstigen Fall (wie bei Asbest) muss der Gesetzgeber die Verwendung für bestimmte Bereiche gesetzlich einschränken [41].

Da es außer für Kosmetika und Lebensmittel keine Kennzeichnungspflicht gibt, ist es möglich, dass Beschäftigte ohne ihr Wissen Nanomaterialien ausgesetzt sind. Denkbar ist auch, dass Betriebe den Einsatz entsprechender Produkte gezielt verschleiern, etwa um Betriebsgeheimnisse zu hüten. Dies erschwert den Einsatz von Schutzmaßnahmen. Nanoverbundstoffe können unter Umständen eingebundene Nanoobjekte freisetzen und auf lange Sicht bislang unbekannte Auswirkungen auf die Gesundheit von Arbeitskräften haben [47].

In der Bevölkerung bestehen erhebliche Wissens- und Bewusstseinslücken in Bezug auf Nanotechnologien. Zusätzlich werden die Ängste oft durch die Medien geschürt. So kann auch am Arbeitsplatz bei den Beschäftigten Unsicherheit entstehen und der Umgang mit Nanomaterialien zu erhöhtem Stress führen, besonders wenn die spezifischen Risiken am Arbeitsplatz nicht ausreichend kommuniziert werden. Eine unzulängliche Risikokommunikation kann einerseits dazu führen, dass Ängste unbegründet geschürt werden oder andererseits Risiken unterschätzt werden. Beides kann zur Folge haben, dass die Risikoprävention und -kontrolle nicht so erfolgt, wie es notwendig ist.

Mit der Anpassung der REACH-Verordnung (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) für Nanomaterialien gibt es eine rechtlich verbindliche Definition des Begriffs Nanomaterial. Seit Januar 2020 müssen Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Nutzende von Chemikalien schon bei der Registrierung von Stoffen detaillierte Informationen darüber liefern, ob es sich um Nanomaterialien handelt. Auf diese Weise sollen Basisdatensätze entstehen, die die Nanomaterialien eindeutig charakterisieren. Die Registranten von Nanomaterialien werden zudem

verpflichtet, toxikologische und ökotoxikologische Daten zu diesen Stoffen vorzulegen. Mögliche Risiken lassen sich damit besser bewerten und minimieren [48].

Die Literaturrecherche hat keine Hinweise auf besondere Probleme in der Branche im Hinblick auf Nanomaterialien ergeben. Daher lässt sich – wie eingangs erwähnt – annehmen, dass die befragten Expertinnen und Experten das Thema angesichts seiner grundlegenden Relevanz für die Chemiebranche (vorsorglich) in den Fokus gerückt haben. Die chemische Industrie ist sicher unter den wichtigsten Treibern von Nanotechnologien, die für sie einen wichtigen wirtschaftlichen Nutzen darstellen und für deren Sicherheit sie gleichzeitig Verantwortung übernehmen muss. Sie steht daher unter besonderer Beobachtung durch die Öffentlichkeit.

7 Fazit

Die deutsche Chemieindustrie gilt als eine innovative Schlüsselbranche mit Schnittstellen zu nahezu allen anderen Wirtschaftszweigen. Trotzdem steigt der Wettbewerbsdruck insbesondere durch die zunehmende Konkurrenz aus den asiatischen Ländern [49]. Im Zusammenspiel mit anderen globalen Trends wie der zunehmenden Digitalisierung und dem demografischen Wandel ergibt sich damit für die Beschäftigten der Branche ein Belastungsprofil, das durch hohe zeitliche und inhaltliche Arbeitsanforderungen gekennzeichnet ist.

Die gesamtgesellschaftlichen Entwicklungen – demografischer Wandel, Überalterung der Belegschaften und Mangel an Fachkräften – und deren Folgen für Sicherheit und Gesundheit der Belegschaften treffen in zunehmendem Maß auch die Chemiebranche. Vielen Unternehmen ist dies schon bewusst und sie versuchen gegenzusteuern, indem sie in den Chemieberufen – erfolgreich – verstärkt ausbilden und die Übernahmequoten erhöhen.

Die Digitalisierung ist der grundlegende Treiber für die künftige Entwicklung der Branche. Technologien wie künstliche Intelligenz, virtuelle Realität oder Robotik versprechen Produktivitätsgewinne, stellen aber gleichzeitig hohe Anforderungen an die Beschäftigten: Zum einen ist ein Abbau von Stellen in Arbeitsfeldern mit einfacher und/oder schwerer körperlicher Tätigkeit infolge der Digitalisierung und Automatisierung denkbar und möglich. In allen bisher untersuchten Unternehmen wurden deshalb Ängste vor der Einführung neuer digitaler Technologien geäußert, die vor allem mit der Sorge um die eigene Arbeitsplatzperspektive verknüpft waren [14]. Zum anderen bestimmen komplexer werdende Mensch-Maschine-Schnittstellen und ein zunehmendes Maß an zentralisierten Überwachungstätigkeiten die Arbeit. Für die Unternehmen der Branche heißt das, deutlich mehr in die betriebliche Bildung zu investieren, um auch personell mit der technologischen Entwicklung mithalten zu können, Unsicherheit und Zukunftsängsten bei Beschäftigten vorzubeugen und Fehler und Produktionsverluste durch mangelndes Knowhow zu vermeiden.

Im Zuge der Digitalisierung und Automatisierung werden zukünftig vor allem Berufe an der Schnittstelle zu IT-Themen an Bedeutung gewinnen, und auch Beschäftigte der technisch-naturwissenschaftlichen Fachgebiete werden erweiterte IT-Kompetenzen vorweisen müssen. Insgesamt werden die Anforderungen an alle Beschäftigten komplexer und die Bereitschaft zu lebenslangem Lernen immer wichtiger. Angesichts des hohen Vernetzungsgrades industrieller Systeme erfordert die IT-Sicherheit von Steuerungen (Industrial Security) ein besonderes Augenmerk.

Aus dem zunehmenden Einsatz digitaler Arbeitsmittel ergibt sich zeitliches und örtliches Flexibilisierungspotenzial. Dies kann die Beschäftigten entlasten, aber zum Beispiel auch zu einer Entgrenzung von Arbeit führen. Mobiles Arbeiten gewinnt in den meisten Bereichen an Bedeutung, in der Produktion sind der Flexibilisierung allerdings – aufgrund der Präsenzansforderungen – trotz neuer Arbeitsmodelle Grenzen gesetzt.

Nanomaterialien sind ein wesentlicher wirtschaftlicher Faktor in der chemischen Industrie. Vielleicht deshalb wurden sie in der Befragung zum Risikoobservatorium als eine besondere Herausforderung für die Prävention in der Branche identifiziert. Ihre Produktion in der chemischen Industrie findet jedoch in der Regel in geschlossenen Systemen statt, sodass grundsätzlich keine erhöhten Risiken bestehen. Auch wirken die bewährten Schutzmaßnahmen für den Umgang mit Stäuben auch bei Tätigkeiten mit Nanopartikeln. Allerdings sind Nanomaterialien noch längst nicht umfassend erforscht und es gibt nach wie vor Unsicherheiten hinsichtlich ihrer Gesundheits- und Sicherheitsrisiken. Seit 2020 ist die systematische Erfassung und Bewertung von Nanomaterialien gesetzlich vorgeschrieben, sodass Risiken weiter eingedämmt werden.

Literatur

- [1] Daten und Fakten – Industriepolitik: Industriepolitische Strategie der Bundesregierung begleiten. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt 2019
<https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/daten-fakten-industriepolitik-chancen-chemie-4-0-fuer-starken-standort.pdf> (abgerufen am 6.8.2019)
- [2] Daten und Fakten – Die chemische Industrie. Hrsg.: Bundesarbeitgeberverband Chemie e.V., Wiesbaden 2019
<https://bavc.de/service/daten-fakten> (abgerufen am 26.8.2019)
- [3] Gehrke, B.; Weilage, I.: Branchenanalyse Chemieindustrie. Hrsg.: Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf 2018
https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_395.pdf (abgerufen am 12.8.2019)
- [4] Schwieriges erstes Halbjahr für die Branche. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt 2019
<https://www.vci.de/die-branche/wirtschaftliche-lage/schwieriges-erstes-halb-jahr-fuer-die-branche-wirtschaftliche-lage-chemisch-pharmazeutische-industrie.jsp> (abgerufen am 30.7.2019)
- [5] Chemische Industrie 2018. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e. V., Frankfurt 2018
<https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/chemische-industrie-auf-einen-blick.jsp> (abgerufen am 23.8.2019)
- [6] Die Chemische Industrie – Eine Branchenanalyse. Hrsg.: Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, Hannover 2014
<https://www.igbce.de/vanity/renderDownloadLink/9034/70864> (abgerufen am 9.8.2019)
- [7] Jahresbericht 2018 der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Heidelberg 2020
<https://www.bgrci.de/presse-medien/publikationen/> (abgerufen am 24.9.2019)
- [8] DGUV Statistiken für die Praxis 2018. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2017
<https://publikationen.dguv.de/zahlen-fakten/ueberblick/3673/dguv-statistiken-fuer-die-praxis-2018?c=27> (abgerufen am 12.2.2020)
- [9] Umwelt, Gesundheit, Sicherheit – Daten der chemischen Industrie 2019. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt 2019
<https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/umwelt-gesundheit-sicherheit-auf-einen-blick.jsp> (abgerufen am 18.9.2019)
- [10] *Persönliche Mitteilung: Berufskrankheitengeschehen in der chemischen Industrie.* Schneider, S. (2019)

- [11] AU-Kennzahlen nach Wirtschaftsgruppen, Bundesländern, Altersgruppen, Berufsgruppen und Diagnosehauptgruppen. Hrsg.: BKK Dachverband e.V., Berlin 2018
https://www.bkk-dachverband.de/fileadmin/gesundheit/monatsauswertungen/Summen_Gesamtergebnis_12_Dezember_2018.pdf (abgerufen am 20.8.2019)
- [12] Suchtbericht 2016. Hrsg.: Institut für Betriebliche Gesundheitsförderung BGF GmbH, Köln 2016
https://www.bgf-institut.de/fileadmin/redaktion/downloads/gesundheitsberichte/aktuelle_Gesundheitsberichte/Suchtbericht-2017.pdf (abgerufen am 20.8.2019)
- [13] Ergebnisse einer Beschäftigten-Umfrage in den Industriebranchen der IG BCE. Hrsg.: Stiftung Arbeit und Umwelt der Industrie-gewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, Berlin 2019
<https://www.arbeit-umwelt.de/ergebnisse-einer-beschaeftigen-umfrage-in-den-industriebranchen-der-ig-bce/> (abgerufen am 15.8.2019)
- [14] Digitaler Wandel in der Chemischen Industrie. Hrsg.: IG BCE Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, Hannover 2017
<https://www.igbce.de/digitaler-wandel-in-der-chemischen-industrie/157486> (abgerufen am 2.8.2019)
- [15] Priesack, K.; Apt, W.; Glock, G.; Goluchowicz, K.; Bovenschulte, M.: QuaTOQ – Qualität der Arbeit, Beschäftigung und Beschäftigungsfähigkeit im Wechselspiel von Technologie, Organisation und Qualifikation – Branchenbericht: Chemie- und Pharmaindustrie. Hrsg.: Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin 2019
https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/fb522-4-quatoq.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (abgerufen am 26.8.2019)
- [16] DGB-Index Gute Arbeit – Der Report 2017. Hrsg.: Institut DGB-Index Gute Arbeit, Berlin 2017
<https://index-gute-arbeit.dgb.de/veroeffentlichungen/jahresreports/++co++614dfeaa-bee1-11e7-98bf-52540088cada> (abgerufen am 15.8.2019)
- [17] Ältere Arbeitnehmer können besser mit Stress umgehen. Hrsg.: Wolters Kluwer Deutschland GmbH, Köln 2015
<https://www.personalwirtschaft.de/der-job-hr/arbeitswelt/artikel/aeltere-arbeitnehmer-koennen-besser-mit-stress-umgehen.html> (abgerufen am 24.3.2020)
- [18] Fachkräftecheck Chemie – Verfügbarkeit von Fachkräften in ausgewählten Berufen am deutschen Arbeitsmarkt am Beispiel der chemischen Industrie. Hrsg.: Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V., Köln 2018
<https://www.iwkoeln.de/studien/gutachten/beitrag/dirk-werner-verfuegbarkeit-von-fachkraeften-in-ausgewaehlten-berufen-am-deutschen-arbeitsmarkt-am-beispiel-der-chemischen-industrie.html> (abgerufen am 31.7.2019)
- [19] Fachkräftemangel bremst Digitalisierung in der Chemie. Hrsg.: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2019
<https://www.chemanager-online.com/themen/strategie/fachkraeftemangel-bremst-digitalisierung-der-chemie> (abgerufen am 31.7.2019)
- [20] Die deutsche chemische Industrie 2030 – Update 2015/2016 mit Alternativszenarien. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt 2017
<https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/vci-prognos-studie-die-deutsche-chemische-industrie-2030-update-2015-2016.jsp> (abgerufen am 12.2.2020)
- [21] Arbeitszeit und alternde Beschäftigte. Hrsg.: RKW Hessen GmbH, Kelsterbach 2020
<https://www.arbeitszeit-klug-gestalten.de/alles-zu-arbeitszeitgestaltung/arbeitszeit-in-lebenslagen/arbeitszeit-und-alter/> (abgerufen am 25.3.2020)

- [22] Reupke, A.: So sehen Beschäftigte die Digitalisierung. Hrsg.: IG BCE Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, Hannover 2018
<https://www.igbce.de/themen/industrie-4-0/dgb-index-digitalisierung/161168?back=&highlightTerms=> (abgerufen am 15.8.2019)
- [23] Priddat, B. P.; West, K.-W.: Digitale Wirtschaft. Mit besonderem Blick auf die chemische Industrie. Hrsg.: Chemie-Stiftung Sozialpartner-Akademie, Wiesbaden 2016
https://www.cssa-wiesbaden.de/fileadmin/Bilder/B%C3%BCcher_Brosch%C3%BCren/Papers-cssa/cssa-paper_digitale_Wirtschaft_1_2016.pdf (abgerufen am 14.8.2019)
- [24] Innovationsindikatoren Chemie 2018. Hrsg.: Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW), Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS), Mannheim, Hannover 2018
<https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/zew-cws-vci-studie-innovationsindikatoren-chemie-2018.pdf> (abgerufen am 7.8.2019)
- [25] Was Digitalisierung konkret bringt. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt 2019
<https://www.vci.de/themen/wirtschaft-handel/industrie-40/was-digitalisierung-konkret-bringt-chemie-report-serie-chemie-4-0-im-detail-teil-11.jsp> (abgerufen am 7.8.2019)
- [26] Industrial Security. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2020
<https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/arbeiten-4.0/industrie-4.0/industrial-security/index.jsp> (abgerufen am 24.3.2020)
- [27] Chemie 4.0 – Wachstum durch Innovation in einer Welt im Umbruch. Hrsg.: Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft und Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), München und Frankfurt 2017
<https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/vci-deloitte-studie-chemie-4-punkt-0-langfassung.pdf> (abgerufen am 25.11.2019)
- [28] Keller, W.: Berufe 4.0 – Wie Chemiker und Ingenieure in der digitalen Chemie arbeiten - Whitepaper. Hrsg.: Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh), Frankfurt 2018
https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Netzwerk_und_Strukturen/Fachgruppen/Vereinigung_fuer_Chemie_und_Wirtschaft/whitepaper_initiative_berufe_4.0_2018.pdf (abgerufen am 14.2.2020)
- [29] Bedeutung der digitalen Transformation für die chemische Industrie. Hrsg.: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2017
https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details?tx_vdipublications_publicationdetails%5Bpublication%5D=89&cHash=735a1cb5bbf90e391c1aed713576b1ae (abgerufen am 7.8.2019)
- [30] Chemische Industrie braucht nicht nur physische Infrastrukturen. Hrsg.: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2017
https://www.chemanager-online.com/themen/logistik/chemische-industrie-braucht-nicht-nur-physische-infrastrukturen?remove_param=true (abgerufen am 18.2.2020)
- [31] Scheppe, M.: Diese Erfahrungen machen Firmen mit Arbeit im Homeoffice. Hrsg.: Handelsblatt GmbH Düsseldorf 2019
<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/management/karriere-diese-erfahrungen-machen-firmen-mit-arbeit-im-homeoffice/24390398.html> (abgerufen am 15.8.2019)
- [32] BAVC entwickelt Toolbox Arbeiten 4.0. Hrsg.: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2018
<https://www.chemanager-online.com/themen/personal/bavc-entwickelt-toolbox-arbeiten-40> (abgerufen am 2.10.2019)
- [33] Flexible Arbeitszeit in der Produktion. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e.V. Landesverband Nord Laatzen 2019
https://www.vci-nord.de/fileadmin/vci-nord/Bilder/Innovationen/BAVC_Zeit-_und_ortsflexibles_Arbeiten_4.0.pdf (abgerufen am 11.10.2019)

- [34] Zeit- und ortsflexibles Arbeiten in Betrieben. Hrsg.: Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Berlin 2015
<https://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/a874.html> (abgerufen am 16.8.2019)
- [35] Daten und Fakten zum Thema: Nanomaterialien. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt 2014
<https://www.bayerische-chemieverbaende.de/wp-content/uploads/2014/08/13b-daten-fakten-nanomaterialien.pdf> (abgerufen am 28.8.2019)
- [36] Wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologien. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2019
<http://nano.dguv.de/grundlagen/wirtschaft/wirtschaftliche-bedeutung/> (abgerufen am 16.10.2019)
- [37] nano.DE-Report 2013 Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn 2014
http://nanofutures.eu/sites/default/files/nano.DE-Report_2013_bf.pdf (abgerufen am 16.10.2019)
- [38] Nanokarte: Forschung und Innovation (nano-map). Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn 2019
<https://www.werkstofftechnologien.de/service/kompetenzkarten/nanokarte-forschung-und-innovation-nano-map#/?se=u27uzmqc2yde> (abgerufen am 16.10.2019)
- [39] Schlussfolgerungen und Empfehlungen des VCI zur gesundheitlichen Bewertung, Exposition und zu Umwelteffekten von Nanomaterialien. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt 2016
<https://www.vci.de/themen/chemikaliensicherheit/nanomaterialien/schlussfolgerungen-und-empfehlungen-des-vci-aus-literaturstudie-zur-sicherheitsforschung-von-nanomaterialien.jsp> (abgerufen am 17.10.2019)
- [40] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt: Nanotechnologien – Arbeits- und Gesundheitsschutz. In: Sicherheit Kompakt, 2010
<http://www.auva.at/portal27/portal/auvaportal/content/contentWindow?contentid=10008.544597&action=b&cacheability=PAGE&version=1391167505> (abgerufen am 20.1.2015)
- [41] Nanomaterialien und Arbeitsschutz. Hrsg.: Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN), Sankt Augustin 2019
<https://www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/KAN-Brief/de-en-fr/19-3.pdf> (abgerufen am 17.10.2019)
- [42] Krug, H. F.: Nanosicherheitsforschung – sind wir auf dem richtigen Weg? Hrsg.: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2014
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ange.201403367> (abgerufen am 30.8.2019)
- [43] Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Verband der Chemischen Industrie e.V. , Dortmund, Frankfurt 2012
<https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/nanoleitfaden-2012.pdf> (abgerufen am 30.8.2019)
- [44] Nanopartikel an Arbeitsplätzen. Hrsg.: Suva – Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern 2009
https://nanotech.law.asu.edu/Documents/2011/06/nanopartikel_an_arbeitsplaetzen_530_5104.pdf

- [45] DGUV Information 213-021 – Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2010
<https://publikationen.dguv.de/regelwerk/regelwerk-nach-fachbereich/rohstoffe-und-chemische-industrie/gefahrstoffe/780/nanomaterialien-am-arbeitsplatz>, 16.1.2015 (abgerufen am 17.10.2019)
- [46] Safe handling of nano materials and other advanced materials at workplaces. Hrsg.: Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA), Dortmund 2015
http://www.nanovalid.eu/nanoToGo/Brochure/Safe%20handling%20of%20nanomaterials%20and%20other%20advanced%20materials%20at%20workplaces_v1-0.pdf (abgerufen am 17.10.2019)
- [47] Krug, H. F.; Wick, P.; Hirsch, C.; Kühnel, D.; Marquardt, C.; Nau, K.; Mathes, B.; Steinbach, C.: Im Gleichgewicht? Risikoforschung zu Nanomaterialien Arbeitsmedizin – Sozialmedizin – Umweltmedizin 01/2014 (2014), S. 6-18
- [48] Sicherer Umgang mit Nanotechnologie: Nano – eine neue Technologie oder ein alter Hut? Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2019
http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Faltblatt/Certo/VBG-Spezial_GlasKeramik_4-2019.pdf;jsessionid=983E06D55D4B8B9F487062698C0F378B.live1?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 11.11.2019)
- [49] Chemiemärkte weltweit – Regionen im Fokus. Hrsg.: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt 2019
<https://www.vci.de/die-branche/zahlen-berichte/chemiemaerkte-weltweit-deutsche-chemie-weltweit-vci-analyse.jsp> (abgerufen am 19.2.2020)

Autorinnen:

Dr. Ruth Klüser und Ina Neitzner

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin