

VII. Technischer und organisatorischer Arbeitsschutz in der digitalisierten Arbeitswelt

Swantje Robelski, Silvia Vock, Andreas Richter, Marlies Kittelmann, Martin Westhoven, Stephan Gabriel, Stefan Voß, Sabine Sommer

Digitale Technologien bestimmen zunehmend den Arbeitsprozess und verändern nicht nur Arbeitstätigkeiten, sondern beeinflussen auch regulative Aspekte und organisationsbezogene Faktoren der menschengerechten Arbeitssystemgestaltung. Damit verändern sich auch die Bedingungen, unter denen vorhandene Instrumente und Maßnahmen des technischen und organisatorischen Arbeitsschutzes anwendbar und wirksam sind.

Ausgehend von einer Beschreibung eines Rahmenmodells des technischen und organisatorischen Arbeitsschutzes in Deutschland und dessen bestehenden Umsetzungs Herausforderungen und Umsetzungslücken werden in diesem Kapitel durch die Digitalisierung vorangetriebene technische und organisatorische Entwicklungslinien beleuchtet und deren Auswirkungen auf das Rahmenmodell reflektiert. Als besonders bedeutsam für den technischen und organisatorischen Arbeitsschutz werden dabei Entwicklungen in den Bereichen KI und ortsflexibler Arbeit eingeschätzt. Auf der Grundlage systematischer Analysen betrieblicher Fallbeispiele und Anwendungsprojekte ließen sich Anknüpfungspunkte für die Weiterentwicklung von Regelungen und der betrieblichen Umsetzung im Arbeitsschutz identifizieren, die ein Zukunftsbild von Arbeit und Arbeitsschutz illustriert.

1. Das Rahmenmodell des technischen und organisatorischen Arbeitsschutzes in Deutschland

Der Rahmen für die Gewährleistung menschengerechter, gesundheitsförderlicher und sicherer Arbeitsbedingungen ist in Deutschland durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet. Dabei stehen eine Vielzahl von Institutionen und Akteuren mit verteilten Verantwortlichkeiten und Kooperationsverpflichtungen sowie nebeneinanderstehende Rechtsbereiche gegenüber. Auch konfigrieren eher an einzelnen Gegenstandsbereichen bzw. einzelnen Arbeitsbedingungsfaktoren orientierte Regeln und Vorschriften

mit der betrieblichen Aufgabe, Technischeinführung, Techniknutzung und Organisation von Arbeit ganzheitlich, unter Beteiligung der Beschäftigten, als soziotechnisches System zu gestalten (**Abbildung 1**).



Abbildung 1: Rahmenmodell technischer und organisatorischer Arbeitsschutz.

Politik/Strategie

Kennzeichnend für die Ziele und die Ausgestaltung von Instrumenten und Maßnahmen zur Gewährleistung von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit ist in Deutschland der Werte- und Ordnungsrahmen des Grundgesetzes.

Aus den Grundrechten auf Unantastbarkeit der Menschenwürde, auf körperliche Unversehrtheit und auf Freiheit der Person sowie des Sozialstaatsprinzips leitet sich die Grundverpflichtung des Staates ab, für menschenwürdige, gesundheitsförderliche und sichere Arbeitsbedingungen zu sorgen.

Kern des staatlichen Handelns und Ziel entsprechender nationaler Politiken und Strategien ist die Förderung der Qualität des betrieblichen Arbeitsschutzes (vom Stein et al., 2021). Für die Umsetzung dieses Ziels besteht ein Rahmen/System aus verschiedenen Institutionen, Akteuren sowie Regeln und Vorschriften.

Institutionen und Akteure des Arbeitsschutzes

Institutionen im deutschen Arbeitsschutz sind der Bund, die Bundesländer und die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung. Zu den Aufgaben des Bundes gehören in erster Linie die Gesetzgebung, die Erarbeitung und Bekanntmachung des Technischen Regelwerks, die Arbeitsschutzforschung sowie die Berichterstattung über den Stand von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit.

In der Verantwortung der 16 Bundesländer liegt die vollständige Ausübung des Aufsichtshandelns. Sie sind zuständig für den Vollzug von Rechtsvorschriften in ihrem jeweiligen Bundesland, d. h., sie überwachen die Einhaltung gesetzlicher Regelungen, beraten Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen bezüglich der Erfüllung ihrer Pflichten, setzen Anforderungen des staatlichen Rechts durch und sanktionieren – soweit notwendig – Verstöße. Die Länder üben ihre Überwachungs- und Beratungsaufgaben durch eigene Arbeitsschutzbehörden und Marktüberwachungsbehörden aus. Zum Verwaltungsaufbau und Umfang der Zuständigkeitsgebiete der Behörden hat jedes Bundesland eigene Regelungen getroffen. Neben dem Arbeitsschutz kann eine Landesbehörde auch gleichzeitig zuständig für die Marktüberwachung oder den Immissionsschutz sein (vom Stein et al., 2021).

Aufgabe der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung ist es, mit allen geeigneten Mitteln für die Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten, arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und für eine wirksame Erste Hilfe in den Unternehmen zu sorgen. Im Rahmen ihres umfassenden Präventionsauftrags haben sie auch eine gesetzlich zugewiesene Aufgabe bei der Beratung und Überwachung von Unternehmen. Darüber hinaus können die Unfallversicherungsträger unter Beachtung staatlicher Regelungen eigene Unfallverhütungsvorschriften erlassen. Unternehmen sind per Gesetz Mitglieder des für ihre Branche zuständigen Unfallversicherungsträgers.

Bei den Aufgaben von Bund, Ländern und Unfallversicherungsträgern gibt es Überschneidungsbereiche. Über die im Arbeitsschutzgesetz verankerte gemeinsame deutsche Arbeitsschutzstrategie (GDA) besteht eine Verpflichtung zum Zusammenwirken und zur Abstimmung bei der Entwicklung nationaler Arbeitsschutzziele, bei der Festlegung eines abgestimmten Vorgehens bei der Überwachung und Beratung von Betrieben sowie bei der Herstellung eines verständlichen, überschaubaren und abgestimmten Vorschriften- und Regelwerks im Arbeitsschutz.

Vorschriften und Regeln

Wesentliche Grundlagen von Vorschriften und Regeln zur Gewährleistung von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit beruhen in Deutschland auf der Umsetzung europäischer Verordnungen und Richtlinien.

Dies betrifft zum einen den Rechtsbereich der Produktsicherheit, der produktbezogene Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen sowie formale Anforderungen für das Inverkehrbringen von Produkten, die von Herstellern bzw. Inverkehrbringern von Produkten zu erfüllen sind, regelt. In diesem Bereich sind EU-Richtlinien 1:1 in nationales Recht umzusetzen. D. h., es sind auch keine weiterreichenden Regelungen im nationalen Recht möglich, da das vorrangige Ziel der EU-Vorschriften in diesem Rechtsbereich der freie Warenverkehr von Produkten in Europa auf Grundlage einheitlicher Anforderungen ist. Die produktbezogenen EU-Richtlinien sind überwiegend durch Verordnungen zum Produktsicherheitsgesetz umgesetzt. Die Anforderungen der EU-Richtlinien und Verordnungen werden durch europäische Normen (EN-Normen) konkretisiert. Die Anwendung von Normen ist freiwillig. Die Anwendung harmonisierter europäischer Normen löst jedoch die Vermutungswirkung aus, dass die betreffenden Anforderungen der entsprechenden Richtlinien/Verordnungen erfüllt sind. Darüber hinaus gibt es internationale Normen (ISO-Normen oder IEC-Normen). Zunehmend werden internationale Normen in Kooperation mit der EU entwickelt, als Ergebnis entstehen EN ISO-Normen oder EN IEC-Normen.

Zum anderen stellt der Rechtsbereich des betrieblichen Arbeitsschutzes die Grundlage für die Gewährleistung von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Hier sind die im Rahmen der europäischen Sozialpolitik entwickelten Verordnungen und Richtlinien prägend. EU-Richtlinien in diesem Rechtsbereich definieren regelmäßig nur Mindeststandards, von denen die nationalen Umsetzungen zugunsten strengerer Regeln abweichen dürfen.

Zentrale EU-Richtlinie für das nationale Handeln im betrieblichen Arbeitsschutz ist die Rahmenrichtlinie über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit (EU 1989) sowie die auf deren Basis erlassenen Einzelrichtlinien. Die Umsetzung der EU-Arbeitsschutzvorgaben in deutsches Recht erfolgte vorwiegend im Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG 1996) und in entsprechenden Verordnungen zum Arbeitsschutzgesetz (z. B. Arbeitsstättenverordnung).

Die nationalen Gesetze und Verordnungen im Arbeitsschutz werden regelmäßig durch das sog. Technische Regelwerk weiter präzisiert. Sie konkretisieren die jeweiligen Gesetze und Verordnungen und geben Hinweise hinsichtlich der Umsetzung des Arbeitsschutzes im Betrieb. Die Regeln entfalten dabei eine Vermutungswirkung zugunsten des Arbeitgebers in Hinblick auf die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften, wenn dieser die in den Technischen Regeln genannten Maßnahmen umsetzt.

Die Technischen Regeln werden von sogenannten Arbeitsschutzausschüssen erarbeitet. Die Ausschüsse sind mit Vertretern der Länder, der Unfallversicherungsträger und der Sozialpartner besetzt und werden zudem durch Vertreter der Wissenschaft beraten, wodurch sowohl die fachliche Unabhängigkeit als auch die Praxisnähe gewährleistet werden soll.

Umsetzung

Nach dem Arbeitsschutzgesetz tragen Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen die Gesamtverantwortung für eine sichere und gesunde Gestaltung von Arbeit im Betrieb. Dabei haben diese sich durch von ihnen gemäß Arbeitssicherheitsgesetz zu bestellende Fachkräfte für Arbeitssicherheit und Betriebsärztinnen sowie Betriebsärzte unterstützen zu lassen. Beschäftigte haben definierte Mitwirkungspflichten und Beteiligungsrechte bei der Ausgestaltung des betrieblichen Arbeitsschutzes. Aus dem Betriebsverfassungsgesetz leiten sich formalisierte Beteiligungsrechte von Beschäftigtenvertretungen ab.

Grundpflicht der Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber ist das Treffen von Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen bei der Arbeit und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren einschließlich Maßnahmen der menschengerechten Gestaltung der Arbeit. Zur Planung und Durchführung entsprechender Maßnahmen des Arbeitsschutzes ist für eine geeignete Organisation zu sorgen. Dabei ist sicherzustellen, dass Arbeitsschutz in betriebliche Führungsstrukturen eingebunden ist und die Beschäftigten bei allen Tätigkeiten Arbeitsschutzmaßnahmen beachten und sie ihren Mitwirkungspflichten nachkommen können.

Arbeitsschutzmaßnahmen lassen sich grundsätzlich untergliedern in technische Maßnahmen, z. B. der Einrichtung von Schutzvorrichtungen an beweglichen Maschinenteilen, organisatorische Maßnahmen wie Bildschirmpausen und personenbezogene Maßnahmen wie die Verwendung persönlicher Schutzkleidung (Schlick et al., 2018). Bei der Umsetzung betrieblicher Arbeitsschutzmaßnahmen ist stets das TOP Prinzip zu beachten (Pieper & Vorath, 2005), d. h., es sind zunächst technische Vorkehrungen zu treffen, um die Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit zu gewährleisten. Sind technische Möglichkeiten ausgeschöpft, sind organisatorische in Betracht zu ziehen. Individuelle Schutzmaßnahmen kommen dementsprechend nur nachrangig infrage.

Grundsätzlich sind Arbeitsschutzmaßnahmen gemäß Arbeitsschutzgesetz mit dem Ziel zu planen, Technik, Arbeitsorganisation, sonstige Arbeitsbedingungen, soziale Beziehungen und Einfluss der Umwelt auf den Arbeitsplatz sachgerecht zu verknüpfen. Grundlage für das Ableiten von geeigneten Arbeitsschutzmaßnahmen ist die nach Arbeitsschutzgesetz geforderte Gefährdungsbeurteilung. Bei Beschaffung und Einsatz von Arbeitsmitteln müssen Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen auch die Vorgaben des Produktsicherheitsrechts berücksichtigen. Nach dessen Vorgaben müssen zunächst die Hersteller die z. B. von einer Maschine ausgehenden Risiken beurteilen und auf ein akzeptables Maß verringern. Beim Einsatz der Maschine im Betrieb sind dann die Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz durchzuführen.

2. *Technischer und organisatorischer Arbeitsschutz heute – Umsetzungsherausforderungen und Umsetzungslücken*

Die gegebenen Strukturen und Regelungen zum technischen und organisatorischen Arbeitsschutz sollen dafür sorgen, dass Arbeitsmittel und Arbeitstätigkeiten sicher und menschengerecht gestaltet werden. Empirische Daten zeigen, dass eine ganzheitliche Betrachtung von Technikeinführung, Techniknutzung und Organisation von Arbeit bisher noch nicht vollständig bzw. flächendeckend erreicht ist. Welche Herausforderungen und Lücken bei der betrieblichen Umsetzung bestehen, wird nachfolgend exemplarisch an der Regelungsschnittstelle zwischen Risikobeurteilung und Gefährdungsbeurteilung sowie anhand von Daten zur betrieblichen Arbeitsschutzorganisation aufgezeigt.

2.1 Regelungsschnittstelle Risikobeurteilung und Gefährdungsbeurteilung von Maschinen und Arbeitsmitteln

Die Verantwortlichkeiten für die Risikobeurteilung und die Gefährdungsbeurteilung sind in den Rechtsbereichen der Produktsicherheit und des betrieblichen Arbeitsschutzes geregelt (**Abbildung 2**). Das Inverkehrbringen von sicheren Maschinen in Europa regelt die europäische Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (EU 2006). Die Hersteller werden darin verpflichtet, die von einer Maschine ausgehenden Risiken zu beurteilen und auf der Grundlage des Standes der Technik auf ein akzeptables Maß zu vermindern. Während der gesamten voraussichtlichen Lebensdauer darf von der Maschine kein höheres Risiko ausgehen, als das vor dem Inverkehrbringen im Rahmen der Risikobeurteilung als akzeptabel ermittelte. Um diese Anforderung erfüllen zu können, steht den Konstrukteuren und Entwicklern eine in der DIN EN ISO 12100 (DIN, 2011) beschriebene iterative Vorgehensweise zur Risikobeurteilung und -minderung zur Verfügung. Diese Methodik beinhaltet u. a. eine sogenannte Risikoeinschätzung, die zur möglichst präzisen Berechnung der von einem technischen System (einschließlich der zugehörigen Softwarekomponenten) ausgehenden Gefahren und Risiken dient. Verbleibende Restrisiken und erforderliche Schutzmaßnahmen, die vom Benutzer zu treffen sind, werden dokumentiert und zusammen mit der Betriebsanleitung für einen bestimmungsgemäßen Gebrauch an den Betreiber weitergegeben. Betreiber und Betreiberinnen bzw. Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen sind vor der Inbetriebnahme verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung nach Betriebsicherheitsverordnung durchzuführen, um daraus erforderliche zusätzliche Schutzmaßnahmen für die Verwendung der Maschinen und Anlagen abzuleiten. Eine besondere Herausforderung an diese Form der getrennten Risiko- und Gefährdungsbeurteilung ergibt sich für vernetzbare Maschinen und Anlagen mit zunehmender Komplexität, Modularität und Wandelbarkeit sowie stark erhöhtem Softwareanteil. Eine Risikobeurteilung der Maschinen und Anlagen steht vor der Herausforderung, alle möglichen Risiken, die während der Laufzeit auftreten können, bereits in der Konstruktionsphase berücksichtigen zu müssen. Dabei sind die bestimmungsgemäße Verwendung und vorhersehbare Fehlanwendungen sowie Spezifikationen zur Integration einzelner Produkte hinreichend zu berücksichtigen. Veränderliche Softwarekomponenten müssen hierbei ebenso berücksichtigt werden wie eine mögliche Vernetzung und das Zusammenspiel mit anderen Maschinen. Darüber hinaus muss die Methodik der Gefährdungsbeurteilung auf Betreibendenseite in der Lage sein, auftretende Gefährdungen bei der Verwendung von Arbeitsmitteln richtig und präzise einzuschätzen. Hier-

für ist die Weiterentwicklung bestehender und möglicherweise die Einführung neuer Methoden notwendig. Die Ergebnisse sind in die Vorschriften- und Regelungsetzungen und in die Normung einzubringen.

Wie dargestellt sind die Verantwortlichkeiten für die Risikobeurteilung und die Gefährdungsbeurteilung in unterschiedlichen Rechtsbereichen geregelt, jedoch gewinnen Zusammenarbeit, Abstimmung und Informationsaustausch zwischen Herstellern und Betreibern von vernetzbaren und wandelbaren, ggf. sich selbst rekonfigurierenden Maschinen und Anlagen an Bedeutung.

Zusätzliche Schnittstelle: IT-Sicherheit

Bei vernetzbaren Produkten bzw. vernetzten Arbeitsmitteln sind neben den Rechtsvorschriften mit Anforderungen an die Produktsicherheit und an die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten bzw. Nutzer und Nutzerinnen auch Schnittstellen zu Vorschriften aus dem Bereich der IT-Sicherheit zu berücksichtigen, die insbesondere in Bezug auf die Cybersicherheit und mögliche Einflüsse auf die funktionale Sicherheit zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die aktuell vorliegenden Vorschriften, insbesondere Normen, betrachten diese Schnittstellen nur unzureichend und müssen weiterentwickelt werden.

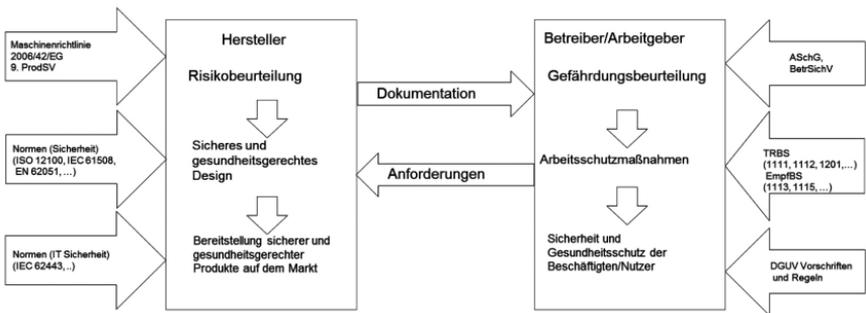


Abbildung 2: Zusammenarbeit von Herstellern und Betreibern von Maschinen und Anlagen.

2.2 Betriebliche Arbeitsschutzorganisation – ausgewählte Daten

Während im Bereich der Produktsicherheit Produkte, die als Arbeitsmittel verwendet werden, nur eine kleine Anzahl und einen vergleichsweise geringen Anteil an den Meldungen von gefährlichen Produkten ausmachen – von den im Jahr 2019 in Deutschland erfassten 454 Meldungen betrafen

3 Maschinen (Bentz et al., 2020) – sind Abweichungen von Vorschriften und Regeln zum betrieblichen Arbeitsschutz bzw. bei der Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes in weit größerem Ausmaß festzustellen.

Nach den Ergebnissen der GDA-Betriebsbefragung 2015 (Hägele, 2019) führt nur etwas mehr als die Hälfte der Betriebe die gesetzlich vorgeschriebene Gefährdungsbeurteilung durch und nur in jedem achten Betrieb ist der Prozess der Gefährdungsbeurteilung – von der Ermittlung über die Umsetzung von Maßnahmen bis hin zur Wirksamkeitskontrolle – vollständig. Sofern Betriebe Gefährdungsbeurteilungen durchführen, werden materiell-stoffliche Gefährdungsarten v. a. Gefährdungen durch schwere körperliche Belastungen sowie durch den Umgang mit Maschinen und Arbeitsgeräten weit häufiger berücksichtigt als Arbeitsabläufe und Arbeitsverfahren oder psychische Gefährdungen, wie etwa durch die Arbeitszeitgestaltung oder die sozialen Beziehungen zu Vorgesetzten, Kolleginnen und Kollegen sowie Kundinnen und Kunden (Sommer et al., 2018).

Aspekte des Arbeitsschutzes werden bei der Planung von Anlagen, Gebäuden und Fertigungsstraßen in 37 Prozent der Betriebe berücksichtigt; in etwas mehr als zwei Dritteln der Betriebe werden Arbeitsschutzbelange bei der Beschaffung von Maschinen, Geräten und Material berücksichtigt (NAKGS, 2017).

Insgesamt basiert die Organisation des Arbeitsschutzes in einem Großteil der Betriebe eher auf Einzellösungen und erfolgt wenig integrativ im Zusammenhang mit der betrieblichen Organisation. Sind Führungskräfte speziell zu Fragen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes geschult, wirkt sich dies positiv auf die Qualität/das Niveau des betrieblichen Arbeitsschutzes aus (Hägele, 2019). Nach den Ergebnissen der GDA-Betriebsbefragung (s. o.) schulen rund 60 Prozent der Betriebe ihre Führungskräfte nicht speziell zum Arbeitsschutz.

Auswertungen der GDA-Betriebsbefragung zeigen auch, dass Besuche der Aufsicht sich positiv auf die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes auswirken. In besuchten Betrieben sind die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und das Vorhandensein einer betrieblichen Arbeitsschutzorganisation wahrscheinlicher als in nicht besuchten Betrieben. Eine länderbezogene Auswertung der GDA-Daten zeigt auf, dass ein proaktives Überwachungskonzept der staatlichen Arbeitsschutzbehörden (und damit eine höhere Anzahl besuchter Betriebe) einen nachweisbaren positiven Effekt auf das Niveau des betrieblichen Arbeitsschutzes hat (BMAS/BAuA, 2017). Allerdings können mit den aktuellen Ressourcen und Vorgehensweisen der Arbeitsschutzbehörden nicht sämtliche Betriebe in Deutschland überwacht bzw. durch Betriebsbesichtigungen erreicht werden.

Neben Aufsichtsbesuchen kann es zu Veränderungen des betrieblichen Arbeitsschutzes auch durch ein „externes Ereignis“ oder einen „externen Schock“, wie z. B. tödliche Arbeitsunfälle, neue Arbeitsschutzbestimmungen oder, wie im Fall der Corona-Pandemie, mit weitreichenden Auswirkungen auf den Gesundheitsschutz von Beschäftigten und die betriebliche Existenz kommen (Robson et al., 2016).

Während der Corona-Pandemie hat der Arbeitsschutz deutlich an Aufmerksamkeit gewonnen. Ergebnisse der repräsentativen Befragung von privatwirtschaftlichen Betrieben in Deutschland „Betriebe in der Covid-19-Krise (BeCovid)“ im August 2020 zeigen, dass in 98 Prozent der Betriebe die Geschäftsführung an der Erstellung und Umsetzung von Arbeitsschutzmaßnahmen in der Pandemie beteiligt war (Robelski et al., 2020). Bei der nochmaligen Befragung zum Arbeitsschutzhandeln im Rahmen der BeCovid-Studie im Sommer 2021 gaben über 60 Prozent der Betriebe an, Arbeitsschutz zukünftig stärker bei betrieblichen Entscheidungen zu berücksichtigen (Tisch & Sommer, 2022).

Wie nachhaltig der Bedeutungszuwachs von Arbeitsschutz sein wird, bleibt abzuwarten und wird nicht nur allein vom betrieblichen Handlungswillen abhängen, sondern auch davon, wie und inwieweit Politik/Strategien, Institutionen/Akteure und Regelungen im Arbeitsschutz zukünftig vorhandene und neue Gestaltungsbedarfe passgenauer und mit größerer Reichweite adressieren können.

Erste Ansatzpunkte hierzu finden sich z. B. durch die Ende 2020 im Arbeitsschutzgesetz erfolgte Einführung einer jährlichen Mindestquote von Betriebsbesichtigungen durch die staatlichen Arbeitsschutzbehörden sowie auch bei der Art und Weise der Erarbeitung der Corona-Arbeitsschutzregel. Anders als bisherige technische Regeln wurde die Corona-Arbeitsschutzregel inhaltlich nicht nur durch einen Ausschuss erarbeitet, sondern durch das Zusammenwirken von fachlich beteiligten Ausschüssen unter der fachlichen und administrativen Koordinierung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin entwickelt. Inhaltlich deckt diese Regel das gesamte Spektrum von im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie zu treffenden betrieblichen Maßnahmen ab und hat insoweit im Unterschied zu anderen Regeln eine stärkere Orientierung auf das gesamte Arbeitssystem bzw. die betriebliche Umsetzungspraxis.

3. Technische und organisatorische Entwicklungslinien in der digitalen Arbeitswelt

Arbeitstätigkeiten und die betriebliche Organisation von Arbeit werden zunehmend durch digitale Technologien verändert. Nachfolgend werden einige technische und organisatorische Entwicklungslinien in der digitalen Arbeitswelt skizziert und deren Anknüpfungspunkte zu Regelungen und der Umsetzung im Arbeitsschutz reflektiert.

3.1 Technische Entwicklungslinien

Im industriellen Anwendungsbereich ist der Begriff der Digitalisierung eng mit dem Schlagwort „Industrie 4.0“ verknüpft. Es können hierbei vier zentrale Entwicklungslinien ausgemacht werden: Vernetzung, Informationstransparenz, dezentrale Entscheidungen und technische Assistenzsysteme. Die Auswahl dieser Entwicklungslinien folgt den von Hermann et al. abgeleiteten „Industrie 4.0 – Design-Prinzipien“ (Hermann et al., 2016). Diese wurden abgeleitet aus einer umfassenden, quantitativen Literaturstudie mit dem Ziel, „zentrale Aspekte von Industrie 4.0 und deren Design-Prinzipien, die sowohl in der Forschung als auch in der Anwendung Akzeptanz finden, zu identifizieren“ (Hermann et al., 2016). Damit führt die Studie Konzepte aus einer Vielzahl von Quellen zusammen, die sowohl die akademische als auch die angewandte Welt repräsentieren. Für einen zusätzlichen Abgleich mit weiteren anerkannten Quellen wurden die „4 Design-Prinzipien“ mit den „5 Industrie 4.0 – Paradigmen“ nach Siepmann (2016), den „Industrie 4.0 – Dimensionen“ nach Lichtblau et al. (Lichtblau et al., 2015) und einer Definition der Plattform Industrie 4.0 übereinandergelegt. Das Ergebnis ist in **Abbildung 3** schematisch dargestellt. Es zeigt sich, dass sich die Paradigmen, Dimensionen und Definitionen sehr gut in die „4 Design-Prinzipien“ von Hermann et al. (2016) einordnen lassen. Es erscheint somit gerechtfertigt, die technologischen Entwicklungslinien, aus denen die Anforderungen an einen technischen und organisatorischen Arbeitsschutz abgeleitet werden sollen, an diesen „4 Design-Prinzipien“ zu orientieren.

Vier zentrale Entwicklungslinien: I Vernetzung

Unter Vernetzung werden hier Technologien verstanden, die das „Zusammenschalten“ und die Kommunikation ermöglichen. Einheitliche Kommunikationsstandards ermöglichen die flexible Vernetzung von modula-

ren Maschinen unterschiedlicher Hersteller (Hermann et al., 2016). Somit entstehen Smart Factories (Lichtblau et al., 2015), die sich flexibel an einen dynamischen Markt anpassen oder individualisierte Produkte (sog. „Losgröße 1“) liefern können (Hermann et al., 2016). Durch die Vernetzung können Maschinen, Geräte, Sensoren und Menschen über das Internet of Things (IoT) und Internet of People (IoP) in Form eines Internet of Everything (IoE) vernetzt werden (Hermann et al., 2016). Daraus ergibt sich eine neue Intensität sozio-technischer Interaktionen (Heidel et al., 2017). Gleichzeitig gewinnen Safety und Security an Bedeutung, da die Verletzlichkeit von Systemen durch die zunehmende Vernetzung steigt. Unter Safety werden alle Aspekte der funktionalen Sicherheit verstanden, während Security sich auf die Angriffs- und Manipulationssicherheit bezieht.

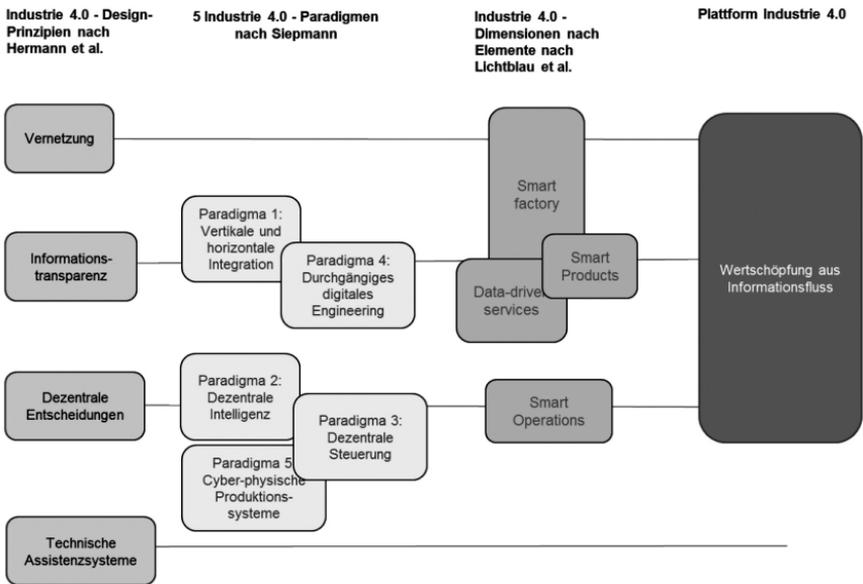


Abbildung 3: Gegenüberstellung von Industrie 4.0-Beschreibungsansätzen ausgewählter Autoren.

Vier zentrale Entwicklungslinien: II Informationstransparenz

Informationstransparenz kann als ein weiteres Design-Prinzip im Kontext von Industrie 4.0 verstanden werden. Dabei geht es besonders um die (sinnhafte) Zusammenführung von Daten sowie die Informationsaufberei-

tung und Generierung von neuem Wissen. Vernetzung stellt somit eine Voraussetzung für Informationstransparenz dar. In der konkreten Umsetzung beinhaltet Informationstransparenz beispielsweise die Fusion der virtuellen und physischen Welt, indem Sensordaten mit digitalen Fabrikmodellen gekoppelt werden und so eine virtuelle Kopie der physischen Welt entsteht, in der kontextbasierte Informationen verarbeitet werden. Dieses Prinzip wird auch als digitaler Zwilling bezeichnet (Hermann et al., 2016). Heidel et al. (2017) beschreiben dies als die Symbiose von technischem Gegenstand und seiner maschinell verwertbaren Beschreibung. In diesem Kontext findet sich auch der Begriff des „digital engineering“, das ebenfalls von einer digitalen Abbildung eines kompletten physischen Produktionsprozesses ausgeht und bei dem alle Prozesse von der Entwicklung bis zur Produktionsplanung als Gesamtprozess in Echtzeit visualisiert werden (Siepmann, 2016). In diesem Zusammenhang werden auch „smart products“ diskutiert, die eindeutig identifizierbar und jederzeit lokalisierbar sind. Smarte Produkte verfügen zudem bereits während ihrer Produktion über das Wissen ihres Herstellungsprozesses (Heidel et al., 2017 und Lichtblau et al., 2015). Somit kennt das fertige Produkt seine optimalen Einsatzbedingungen und Verschleißerscheinungen, die sodann „predictive maintenance“ ermöglichen. In ähnlicher Weise finden sich smarte Fabriken eingebettet in firmenübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich durch ein durchgängiges Engineering auszeichnen, welches sowohl die Produktion als auch die produzierten Produkte umfasst (Heidel et al., 2017). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass einheitliche und branchenneutrale Standards für Dienste und Semantik erforderlich sind, um den Informationsfluss zwischen Wertschöpfungs-Partnern und neue Geschäftsmodelle und Anwendungen zu ermöglichen (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0). In diesem Zuge spielt die horizontale Integration – also die Einbindung von Systemen von Kunden, Lieferanten, verteilten Unternehmensstandorten sowie externen Dienstleistern und Produzenten, zwischen denen ein Material-, Energie- und Informationsfluss verläuft, eine wichtige Rolle. Darüber hinaus verbindet und ordnet die Informationstransparenz alle unternehmensinternen Systeme in einer Hierarchie ein, was auch als vertikale Integration bezeichnet wird. Es existieren Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen den Hierarchieebenen, wodurch ein einheitliches und durchgängiges System entsteht, in dem sich die Richtung von Datenflüssen an der Hierarchieordnung orientiert. Für die Umsetzung ist der Einsatz einheitlicher Schnittstellen und Standards zur „Maschine zu Maschine (M2M)“-Kommunikation notwendig.

Informationstransparenz kann erreicht werden, indem Sensordaten zu hochwertigen Kontextinformationen aggregiert und interpretiert werden

(BigData), wobei lernende Algorithmen oder Künstliche Intelligenz zum Einsatz kommen.

Vier zentrale Entwicklungslinien: III dezentrale Entscheidungen

Ein weiteres Design-Prinzip von Industrie 4.0 sind dezentrale Entscheidungen. Diese werden erst durch die Vernetzung von Dingen und Personen sowie durch die somit entstehende Informationstransparenz möglich. Dezentrale Entscheidungen meint, dass die gewonnenen Informationen für Entscheidungen genutzt werden – auch unabhängig vom Ort: Lokale und globale Informationen können gleichzeitig verwendet werden, was bessere Entscheidungen und Gesamtproduktivität ermöglicht (Herman et al., 2016). Durch dezentrale Systeme wird die autonome und geografisch verteilte Steuerung von Prozessen und Produktionsanlagen möglich (Siepmann, 2016). Cyber-physische Systeme erlauben die autonome Überwachung und Kontrolle der physischen Welt (Hermann et al., 2016 und Heidel et al., 2017). Sie zeichnen sich durch Komplexität, Heterogenität, verteilte Systeme, Adaptierbarkeit und autonome Entscheidungen aus (Morozov, 2019). Dezentrale Intelligenz beschreibt die Fähigkeit von Produktionsmitteln und -anlagen individuell und ortsunabhängig für den Produktionsprozess, relevante Informationen an ein dezentrales Steuerungssystem weitergeben zu können (Roth, 2016).

Vier zentrale Entwicklungslinien: IV technische Assistenzsysteme



Das vierte Design-Prinzip im Rahmen von Industrie 4.0-Anwendungen sind Assistenzsysteme. Diese dienen besonders der Unterstützung des Menschen im Umgang mit den Herausforderungen, die sich aus zunehmender Komplexität und Informationsdichte ergeben. Assistenzsysteme können Informationen aggregieren oder darstellen, wobei neben stationären Geräten auch zunehmend mobile Geräte wie Smartphones, Tablet oder Wearables Einsatz finden (Hermann et al., 2016). Es ist davon auszugehen, dass die Rolle des Menschen sich zunehmend vom Maschinenbediener zum strategischen Entscheider und flexiblen Problemlöser verschiebt (Hermann et al., 2016). In diesem Sinne können viele Systeme Entlastung bei Routinetätigkeiten bieten, sodass Beschäftigte mehr Raum für wertschöpfende oder kreative Tätigkeiten erhalten (Heidel et al., 2017). Neben dieser vornehmlich kognitiven Assistenz können Assistenzsysteme jedoch auch physische Unterstützung bereitstellen, beispielsweise durch Robotik (Hermann et al., 2016).

Viele der technologischen Trends weisen neben den Anforderungen an Produktsicherheit (sowie Safety und Security) auch eine Schnittstelle

zur Arbeitsorganisation und zum organisatorischen Arbeitsschutz auf. So ist zu berücksichtigen, welche Gefährdungen sich beispielsweise aus einer zunehmend möglichen Überwachung und Kontrolle durch Technologien ergeben. Weiterhin sind Möglichkeiten und Grenzen der menschlichen Informationsverarbeitung zu beachten, wenn komplexe Systeme gesteuert und mobile Geräte verwendet werden. Neue Technologien erfordern zudem häufig neue Qualifikationen bei den Nutzenden oder führen gar dazu, dass gewisse Fertigkeiten gezielt erhalten werden müssen.

3.2 Organisation von Arbeit im Wandel

Eine Vielzahl von Faktoren nimmt Einfluss darauf, wie Arbeit organisiert wird. Mit den Möglichkeiten derzeit verfügbarer Informations- und Kommunikationstechnologien, Arbeitsmittel, Produkte, Leistungen, Menschen und soziale Beziehungen auf Grundlage eigenständig handelnder Software zu verknüpfen, werden Veränderungen von Beschäftigungsformen, Arbeitsorganisationsformen und Tätigkeiten stark vorangetrieben. Entsprechende Digitalisierungsprozesse begünstigen bzw. führen vielfach auch zu einer Flexibilisierung der Arbeit (u. a. HSE Foresight Centre, 2018). Flexibilität hat dabei sowohl eine interne/innerbetriebliche als auch eine externe Dimension (Eichhorst & Tobsch, 2014).

Maschinen und Anlagen sind aufgrund ihrer Vernetzung immer häufiger von mobilen Endgeräten aus steuerbar. Überall dort, wo Rechner plus Netz vorhanden sind, um auf Firmendaten zurückzugreifen, ist prinzipiell mobiles Arbeiten möglich und können neue Formen orts- und zeitflexibler Arbeit entstehen. Beim Einsatz digitaler Informations- und Kommunikationstechnik ist auch in kooperativen Arbeitssituationen die gemeinsame vor-Ort-Präsenz der Beschäftigten nicht immer Voraussetzung bzw. notwendig für die Aufgabenerledigung. Agile(re) Organisationskonzepte gewinnen an Bedeutung. Beschäftigte aus mehreren Bereichen und/oder Unternehmen arbeiten vermehrt in Netzwerken und projektbezogen zusammen. Führungskräfte nutzen zur Koordinierung entsprechender Arbeitsprozesse und bei ihren Führungsaufgaben immer häufiger digitale Medien (Ribbat et al., 2021).

Neue Arbeits- und Beschäftigungsformen

Zunehmende räumliche Flexibilität hat Folgen für die Organisation von Maßnahmen des Arbeitsschutzes, da Probleme, arbeitsbedingte Belastungen und Gefährdungen der Beschäftigten für Führungskräfte und Arbeits-



schutzakteure nur begrenzt sichtbar sind (Janda & Guhle-
mann, 2019). Der Einsatz digitaler Anwendungen, über die
mittels kommunikativer Vernetzung und/oder Video- und Au-
dioanwendungen auch außerhalb einer Arbeitsstätte tätige Per-
sonen in die betrieblichen Arbeitsschutzprozesse einbezogen
werden, kann einerseits zur Überwindung der „Unsichtbar-
keit“ von Fürsorgemöglichkeiten der Betriebe und Führungs-
kräfte und zur Verfügbarkeit und Erreichbarkeit für Maßnah-
men des betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutzes bei-
tragen. Andererseits können die digitalen Lösungen selbst
auch wieder zu Belastungen für die Beschäftigten und Füh-
rungskräfte beitragen, z. B. durch Technikunzuverlässigkeit
oder auch Möglichkeiten der Leistungskontrolle (Rat der Arbeitswelt,
2021 und Sommer et al., 2021).

Neben innerbetrieblichen Veränderungen können die digitalen Trans-
formationsprozesse auch externe Flexibilitätsformen mit sich bringen bzw.
verstärken. Unter externen Flexibilitätsformen werden Arbeitsplätze, die
außerhalb der sogenannten Normalarbeitsverhältnisse, d. h. der unbefristeten
Vollzeitarbeit, entstanden sind, verstanden, wie z. B. Minijobs, Leihar-
beit oder Solo-Selbstständigkeit. Darüber hinaus äußert sich externe Flexi-
bilität auch in Outsourcing, Plattformen und einer wachsenden Zergliederung
und Diversifizierung von Lieferketten (Eichhorst & Tobsch, 2014).
Externe Flexibilität verändert die Grenzen von Unternehmen und zieht somit
auch Fragen nach Verantwortlichkeiten und geeigneten Instrumenten
bei der Organisation von Maßnahmen des Arbeitsschutzes mit sich.

Die oben skizzierten Arbeitsorganisations- und Beschäftigungsformen
sind je nach Wirtschaftszweig und Tätigkeiten unterschiedlich weit aber
bisher insgesamt nicht flächendeckend verbreitet.

So haben z. B. vor dem Ausbruch der Corona-Pandemie 2020 in
Deutschland etwa 12 Prozent der Beschäftigten regelmäßig und vertraglich
vereinbart von zu Hause gearbeitet (Backhaus et al., 2020), in der Regel
maximal einen festen Tag in der Woche. Darüber hinaus haben etwa ein
Drittel aller Beschäftigten mindestens gelegentlich Arbeit auch von zu
Hause aus erledigt.

Der Crowdfunding Monitor des BMAS aus dem Jahr 2018 (BMAS,
2018) schätzt, dass rund 3 Mio. Personen in Deutschland als Crowdfunder
tätig sind. Der Anteil von Unternehmen mit Einsatzmöglichkeiten für
Crowdfunding variiert dabei laut einer Betriebsbefragung von September
2018 von rund 10 Prozent bei wissensintensiven Dienstleistern über etwas
mehr als 18 Prozent im Maschinenbau, 20 Prozent im Bereich IKT und bis
zu 23,4 Prozent bei Mediendienstleistern.

Unabhängig vom aktuellen Verbreitungsgrad ist davon auszugehen, dass veränderte Arbeitsorganisations- und Beschäftigungsformen (wie das hybride Arbeiten oder das Crowdworking) einen festen Platz in der Arbeitswelt einnehmen und bei der Organisation von Arbeitsschutz zu berücksichtigen sein werden. Dies zeigen u. a. auch Policy- und Strategiepapiere bzw. Gesetzgebungen der zentralen Arbeitsschutzinstitutionen auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene.

Im Bericht „Work for a brighter future“ der ILO Global Commission of Work (ILO, 2019) wird vor dem Hintergrund der digitalen Transformationsprozesse und der damit verbundenen Flexibilisierung von Arbeit die Etablierung einer „Universal Labour Guarantee“ empfohlen. Danach sollen alle Arbeitspersonen unabhängig von ihrem Beschäftigungsstatus und Vertragsverhältnis einen Anspruch auf die Gewährleistung und Durchsetzung von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit haben.

Ein zentrales Ziel des strategischen Rahmens der EU für Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz 2021–2027 ist die Antizipation und Bewältigung des Wandels in der neuen Arbeitswelt. Im Zusammenhang mit dem digitalen Wandel werden hier u. a. mobile Arbeitsformen, wie Telearbeit und Homeoffice, adressiert (EU KOMM, 2021).

Auf nationaler Ebene beschreibt das Weißbuch Arbeiten 4.0 verschiedene Spannungsfelder, zu denen auch flexibles Arbeiten sowie digitale Plattformen und entsprechend neue Arbeits- und Beschäftigungsformen gehören. In diesem Sinne werden auch Gestaltungsaufgaben im Bereich der flexiblen Arbeitsformen, der Selbstständigkeit und des Arbeitsschutzes gesehen (BMAS, 2016). Ein Baustein dazu findet sich im Betriebsrätemodernisierungsgesetz aus dem Jahr 2021. Mit diesem Gesetz sollen in den Betrieben u. a. Mitbestimmungsrechte bei der Ausgestaltung mobiler Arbeit und beim Einsatz (BMAS, 2021a) gestärkt werden. Ebenfalls im Jahr 2021 wurde das Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten in Lieferketten verabschiedet. Über dieses Gesetz werden in Deutschland ansässige Unternehmen ab einer Größe von 3.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern dazu verpflichtet, ihrer menschenrechtlichen Verantwortung und Sorgfaltspflicht in ihren Lieferketten besser nachzukommen und so menschenrechtlichen Risiken vorzubeugen oder sie zu minimieren. Zu den menschenrechtlichen Risiken im Sinne des Gesetzes zählt u. a. ein Verstoß gegen das Verbot der Missachtung der nach dem Recht des Beschäftigungsortes geltenden Pflichten des Arbeitsschutzes, wenn hierdurch die Gefahr von Unfällen bei der Arbeit oder arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren entstehen (BMAS, 2021b).

Eine besondere Aufmerksamkeit auf der betrieblichen Ebene erfährt vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie das ortsflexible Arbeiten, hier speziell das Arbeiten von zu Hause (Homeoffice).

Während der Pandemie durchgeführte Befragungen von Betrieben und Beschäftigten zeigen, dass phasenweise mehr als 40 Prozent der Beschäftigten im Homeoffice gearbeitet haben und für rund die Hälfte von Tätigkeiten das Arbeiten von zu Hause als prinzipiell möglich eingeschätzt wird. Vor allem größere Betriebe wollen auch nach der Krise die Möglichkeiten von Homeoffice weiter nutzen oder auch ausbauen (Backhaus et al., 2020).

Vonseiten der Politik wurde 2020 eine Gesetzesinitiative zur Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen zur Förderung und Erleichterung mobiler Arbeit gestartet (BMAS, 2020).

4. Technischer und organisatorischer Arbeitsschutz in der digitalen Arbeitswelt – Weiterentwicklungsanforderungen und Entwicklungsmöglichkeiten

Für den Arbeitsschutz wird absehbar, dass im Kontext digitalisierter, zeitlich und räumlich flexibler Arbeit neue Wirkweisen entwickelt werden müssen (Beermann et al., 2020). Damit technischer und organisatorischer Arbeitsschutz wirksam bleibt, ist eine Weiterentwicklung des Rahmens aus Politik/Strategie, Akteuren, Regelungen und Umsetzung sinnvoll und notwendig. Eine wichtige Herausforderung ist der Erhalt der Sichtbarkeit von Arbeit und Arbeitsschutzakteuren und -maßnahmen, insbesondere dort, wo Arbeit zeitlich und räumlich flexibel wird und in den digitalen Prozessen schwerer zu greifen ist. Auch der Zugang von Arbeitsschutzakteuren zu Betrieben muss mit der Zunahme flexibler Arbeit sichergestellt werden, um wirksam zu bleiben. Flexibilisierung von Arbeit kann zudem nach bisherigen Beobachtungen in der Verlagerung von Verantwortung hin zu den Beschäftigten resultieren. Mit der Zunahme von Elementen wie KI ist daneben auch die verwendete Technologie selbst als Akteur des Arbeitsschutzes denkbar. Aus allen Aspekten lässt sich eine weitere Zunahme der Komplexität von Arbeit und Arbeitsschutz ableiten.

Die vor diesem Hintergrund identifizierten Kriterien einer menschengerechten Gestaltung von Arbeit in der digitalisierten Arbeitswelt, wie klare Verantwortlichkeiten, Technikzuverlässigkeit sowie menschenzentrierte technische Innovation, müssen dementsprechend Eingang in die Weiterentwicklung des Rahmens für den technischen und organisatorischen Arbeitsschutz finden.

Weiterentwicklung des Vorschriften- und Regelwerks

Auf der Ebene von Politik und Strategie müssen dabei zunächst ethische Aspekte formuliert werden. Von Akteuren und Institutionen muss der Arbeitsschutz getragen werden, dessen Maßnahmen in Regeln und Vorschriften verständlich und rechtssicher formuliert sein müssen. Von besonderer Bedeutung wird für die Weiterentwicklung des Vorschriften- und Regelwerks und v. a. die Ausgestaltung der Regelungsschnittstelle von Produktsicherheit und betrieblichem Arbeitsschutz der KI-Rechtsakt der EU sein. Dieser ist horizontal angelegt, d. h., er trifft Regelungen für verschiedene Rechtsgüter und definiert sehr weitgehende Schutzziele.

Horizontaler KI-Rechtsakt der EU-Kommission

Der seit April 2021 vorliegende Entwurf der EU-Kommission zu einem KI-Rechtsakt ist ein Rechtsakt im Bereich des Binnenmarktrechts nach Artikel 114 EU-Vertrag und enthält Anforderungen und Schutzziele für die Entwicklung, das Inverkehrbringen und den Einsatz von Produkten und Diensten, die KI-Systeme anwenden oder von eigenständigen KI-Systemen.

Der KI-Rechtsakt formuliert sehr weite Schutzziele, die z. T. außerhalb des Bereiches der Produktsicherheit und des Arbeitsschutzes liegen. Ebenso ist die Definition von KI-Systemen, für die Anforderungen in diesem Rechtsakt festgelegt werden, sehr breit gefasst. Hier besteht erheblicher Klärungsbedarf. Der KI-Rechtsakt folgt einem risikobasierten Ansatz. Für KI-Systeme mit hohem Risiko werden Anforderungen in Bezug auf qualitativ hochwertige Datensätze, Dokumentation und Aufzeichnung, ausreichende Transparenz und Bereitstellung von Informationen, menschliche Aufsicht sowie Robustheit, Genauigkeit und Sicherheit während des gesamten Lebenszyklus festgelegt. Diese Anforderungen werden auch im vorliegenden Entwurf einer neuen Maschinenprodukteverordnung aufgegriffen und sind Bestandteil der Konformitätsbewertung. Es ist eine inhaltliche und methodische Untersetzung dieser Kriterien im Rahmen der Risikobeurteilung erforderlich. Die Ergebnisse sind in die Normung einzubringen. Des Weiteren sind neue Anforderungen für die betriebliche Gefährdungsbeurteilung von KI-Systemen zu prüfen, die ggf. in das Technische Regelwerk einfließen müssen. Neben den genannten materiellen Anforderungen werden im KI-Rechtsakt auch Regelungen an die Marktüberwachung getroffen, z. B. zur Registrierung von bestimmten Produkten mit hohem Risiko

in einer öffentlichen EU-Datenbank sowie zur Berichterstattung bei schwerwiegenden Vorfällen oder Funktionsstörungen, die Grundrechte verletzen und deren Untersuchung. Es ist zu prüfen, welche neuen Anforderungen an die Überwachung und den Vollzug in Deutschland damit verbunden sind.

4.1 Weiterentwicklungsansätze aus KI-Anwendungsprojekten und der Normung

KI-Anwendungsprojekte

Über die von acatech betriebene und vom BMBF geförderte Plattform Lernende Systeme (PLS) werden Expertise und Informationen zu KI-Projekten gebündelt.

In einer systematischen Analyse, ob und inwieweit die in der PLS-Projektdatebank enthaltenen rund 600 KI-Projekte KI-Anwendungen, aus denen Gefahren hervorgehen können, oder KI-Anwendungen, die das Ziel oder das Potenzial haben, Gefahren zu vermeiden, thematisieren, zeigten 37 eine direkte Relevanz auf und thematisierten explizit Sicherheit oder sicherheitskritische Anwendungen. Für 169 Projekte wurde die Thematisierung von Sicherheitsaspekten als indirekt klassifiziert, d. h., die Projekte lassen Potenziale für sicherheitstechnische Anwendungen erkennen oder zeigen eher von der jeweiligen Anwendung ausgehende Gefahren auf. Die Bewertung erfolgte durch zwei Experten, die in ihrer Einschätzung eine moderate Übereinstimmung aufwiesen (Cohen's Kappa = 0.422) (Westhoven et al., 2021).



Zusätzlich zur Bewertung der thematischen Relevanz für die Produkt- und Betriebssicherheit wurden die Projekte vordefinierten Kernthemen zugeordnet. Eine grafische Darstellung findet sich in **Abbildung 4**. Inhaltlich findet sich ein KI-Schwerpunkt im Bereich der Betriebssicherheit, wobei insbesondere Assistenzfunktionen angesprochen werden (z. B. Entscheidungsunterstützung, Wissensmanagement). Die PLS-Projekte verweisen zudem häufig auf KI-Anwendungen, die ein Gefahrenpotenzial im betrieblichen Kontext mit sich bringen könnten, wodurch eine enge Schnittstelle zur Produktsicherheit besteht. Dabei handelt es sich besonders um Anwendungen, die zur Zustandsüberwachung oder Anomaliedetektion eingesetzt werden. Auch anwendungsunabhängige KI-Funktionen, wie beispielsweise die Analyse von ergonomischen/biologischen oder umweltbezogenen Daten, können im Zusammenspiel mit der Betriebssicherheit arbeitsschutzrelevant wer-

den und sind sehr häufig Gegenstand der Forschung. Nur sehr wenige, zu- meist Robotik-Anwendungen, adressieren hingegen das Thema Sicherheit explizit, indem Sicherheitskonzepte oder Sicherheitsbewertungen ange- sprochen werden. Da die Zuverlässigkeitsbewertung von KI-Anwendun- gen kaum betrachtet wird, bleibt es fraglich, ob in Zukunft eine umfassen- de Risikobeurteilung von KI möglich sein wird und ob sie somit als sicher- heitsrelevante Funktion in Zukunft in Betracht gezogen werden kann. Analog wird auch das Thema Cybersicherheit nur in wenigen KI-Projekten angesprochen.

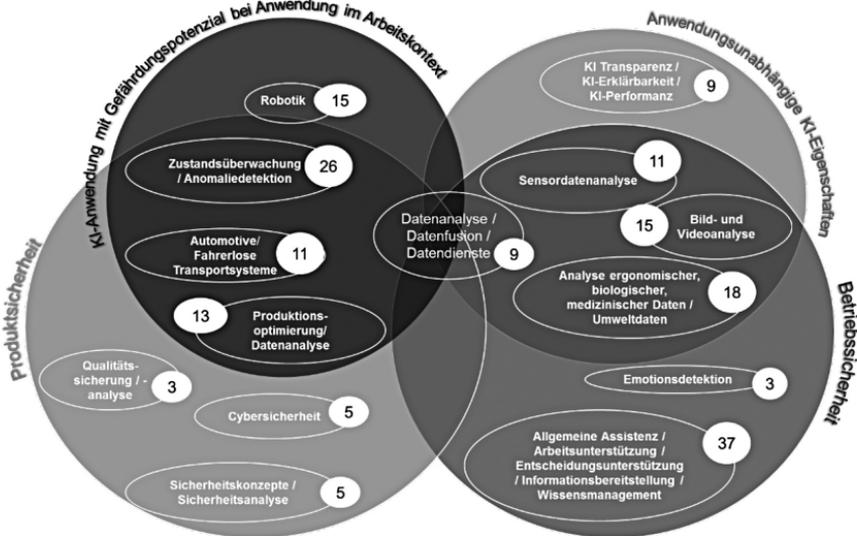


Abbildung 4: Zuordnung der KI-Projekte zu den vordefinierten Kernthemen.

Normung

Neben der Rechtssetzung spielt auch die Normung eine wichtige Rolle für die Bereitstellung sicherer Arbeitsmittel. Besonders im Bereich der KI-Technologien, die als Software verstanden werden können, finden sich in der Normung zahlreiche Aktivitäten. Allgemeine, branchenunabhängige Normen behandeln dabei Aspekte wie Software- und Datenqualitäts- anforderungen. Doch auch Normen zur Produktsicherheit und speziell zur funktionalen Sicherheit lassen sich finden. Des Weiteren existieren Normen beispielsweise zu Big Data, IT-Risiko und Software-Validierung. Ein Rückgriff auf diese Software-Normen sollte bei der Neuentwicklung

von Normen und technischen Regeln erfolgen, wobei die KI-bedingten Herausforderungen zu ergänzen sind.

Darüber hinaus befinden sich jedoch auch aktuelle Normungsdokumente in der Entwicklung, die einen direkten Bezug zu KI aufweisen. Thematisiert werden hier allgemeine Eigenschaften von KI, wie Robustheit und Vertrauenswürdigkeit, aber auch branchenspezifische KI-Aspekte. Die KI-Normungslandschaft ist derzeit von stetigem Zuwachs geprägt, der sich auch in umfangreichen Gremienaktivitäten abbildet.



Die im Herbst 2020 erschienene Normungsroadmap KI (Wahlster & Winterhalter, 2020) formuliert konkrete Anforderungen an die zukünftige Normung von KI. Unter anderem fordert sie ein nationales Umsetzungsprogramm, welches die Grundlage für standardisierte Prüfverfahren legen soll. Damit sollen Eigenschaften der KI, wie Verlässlichkeit, Robustheit und funktionale Sicherheit, einer Prüfung zugänglich gemacht werden. Die Anforderungen an diese Eigenschaften sollen in Normen beschrieben werden und so ein international anerkanntes Zertifizierungsprogramm ermöglicht werden. Außerdem empfiehlt sie die Entwicklung einer horizontalen KI Basis-Sicherheitsnorm, um einerseits eine Bündelung der vielfältigen IT-Sicherheitsaspekte (Security, Privacy, Safety) zu erreichen und andererseits aufgrund der Vielfalt der Akteure (Hersteller, Betreiber, Regulierer) Inkonsistenzen zu vermeiden. Vertikale Subnormen sollen diese Basis-Norm themen- und branchenspezifisch ergänzen.

Eine aktuelle Übersicht über wichtige Richtlinien, Technische Regeln, Normen, Standards und offizielle Strategiepapiere mit Bezug zu Produkten, Arbeitsmitteln und Arbeitsstätten wurde auf der Webseite der BAuA veröffentlicht¹. Dort wird außerdem aufgezeigt, welche Normungsgremien auf nationaler und europäischer Ebene aktuell aktiv sind.

4.2 Weiterentwicklungsansätze aus Anwendungsprojekten zu ortsflexibler Arbeit

Im Rahmen einer systematischen Analyse von Forschungsprojekten aus dem Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Zukunft der Arbeit“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) konnten unter 278 Projekten aus der Programmdatenbank (Stand

1 <https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Forschung/Schwerpunkt-Digitale-Arbeit/Arbeitschutz-und-Digitalisierung/uebersicht.html>

15. Juli 2020) 11 Projekte zu ortsflexibler Arbeit identifiziert werden, bei denen auch Aspekte der Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit berücksichtigt werden (Robelski & Sommer, 2020).

Die in den Projekten aufgezeigten Impulse und Gestaltungsmaßnahmen ortsflexibler Arbeit beziehen sich vornehmlich auf die soziale Ebene – also die Gestaltung des Miteinanders und der Kommunikation im Betrieb. Adressiert werden die Bereitstellung von Plattformen, anhand derer der Austausch von Informationen und die Zusammenarbeit bei einer räumlich getrennten Belegschaft erleichtert werden soll, die Aufrechterhaltung und Gestaltung von Zugängen zu Mitbestimmung und Partizipation, die individuelle Kompetenzentwicklung der Beschäftigten sowie die Rolle und die Kompetenzentwicklung von Führungskräften bei der Steuerung von virtuellen Teams. Als weiterer Aspekt wird die Gestaltung von betrieblichen Arbeitsräumen betrachtet. Infolge der Einführung ortsflexibler Arbeit werden betriebliche Büros ggf. nicht mehr in dem Umfang oder auf die Art und Weise wie beim ortsfesten Arbeiten genutzt. Bei der Umsetzung von z. B. shared-desk-policy Konzepten sind für die je verschiedenen Nutzergruppen und Nutzungsformen/-arten Maßnahmen für sicher und gesundheitsgerecht gestaltete Arbeitsbedingungen zu gewährleisten



4.3 Weiterentwicklungsansätze im Bereich digitaler Arbeitsschutzanwendungen

Eine im Jahr 2020 durchgeführte internetgestützte Recherche zur Verfügbarkeit von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)-basierten Arbeitsschutzinstrumenten zeigt, dass digital unterstützter Arbeitsschutz die Chance hat, betriebliche Arbeitsschutzprozesse mit weiteren organisationalen Prozessen ganzheitlich zu verknüpfen (Sommer & Robelski, 2021).

Die Einsatzmöglichkeiten IKT-basierter Arbeitsschutzanwendungen sind breit gefächert und betreffen beispielsweise Dokumentation, Training, Risikobeurteilung und Gefährdungsbeurteilung, Überwachung der Arbeitsumgebung oder Informationsbereitstellung. Als eines der größten Potenziale der IKT-basierten Arbeitsschutzanwendungen wird die Abkehr von „one-fits-all-Lösungen“ und somit die Möglichkeit des Zuschnitts auf spezifische Bedingungen der betrieblichen Prozesse und Tätigkeiten gesehen (EU OSHA, 2020).

In der Analyse der in der vorgenannten Marktrecherche identifizierten 202 IKT-gestützten Anwendungen zeigt sich, dass insbesondere Unterweisungen, elektronische Managementsysteme und Produkte zur Unterstüt-

zung von Gefährdungsbeurteilungen Anwendungen darstellen, die – häufig in Form von Webanwendungen – einen ständigen Austausch von Daten zwischen Anwendenden und Anwendung ermöglichen und somit die Informations- und Entscheidungsgrundlage für die Ableitung tätigkeits-spezifischer Arbeitsschutzmaßnahmen erweitern. In der Marktrecherche konnten im Bereich von elektronischen Managementsystemen und Unterweisungen auch Produkte identifiziert werden, mit denen Aufgaben und Prozesse, die bisher eine physische Präsenz vor Ort erforderten, mittels technischer Optionen, wie z. B. Chat- und Videofunktionen, umgesetzt werden und die somit die Gewährleistung von Arbeitsschutz bei ortsflexiblen Arbeitsformen unterstützen können (Schenke, 2020).

Fast die Hälfte der am Markt befindlichen IKT-gestützten Arbeitsschutzanwendungen wird von Softwareentwicklern angeboten. Diese sind auch Hauptanbieter von elektronischen Managementsystemen.

Wie oben ausgeführt, beabsichtigen 60 Prozent der Betriebe, Arbeitsschutz zukünftig stärker bei betrieblichen Entscheidungen zu berücksichtigen (Tisch et al., 2021). In derselben Befragung stimmten auch rund 43 Prozent der Betriebe der Aussage zu, künftig stärker digital unterstützte Instrumente des Arbeitsschutzes nutzen zu wollen. Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz digitaler Arbeitsschutzanwendungen ist Akzeptanz durch die Beschäftigten. Umfragen zeigen, dass rund 61 Prozent der Beschäftigten durch digitale Technologien und Arbeitsweisen mehr positive als negative Veränderungen sehen und 65 Prozent der Befragten bestätigten, dass ihr Arbeitsumwelt gegenüber einem entsprechenden Einsatz aufgeschlossen ist (Gryzmek & Wintermann, 2020). Insoweit besteht für die Umsetzung von betrieblichen Arbeitsschutzaufgaben ein Potenzial für IKT-gestützte Anwendungen. Ein Zusammenwirken von Arbeitsschutzakteuren und Softwareentwicklern bei der Entwicklung und Ausgestaltung entsprechender Anwendungen könnte förderlich auf die Qualität der Inhalte und Funktionalitäten sein.

Einsatzmöglichkeiten digitaler Anwendungen bestehen nicht nur auf der betrieblichen Ebene, sondern auch bei der Umsetzung von Aufgaben bei der Beratung zu und der Überwachung von Compliance im Arbeitsschutz. So hat z. B. die Norwegian Labour Inspection Authority (NLIA) mithilfe eines Algorithmus für maschinelles Lernen ein Instrument für die Prognose von Risikogruppen entwickelt, das das Aufsichtspersonal bei der risikoorientierten Betriebsauswahl für Betriebsbesichtigungen unterstützt (EU OSHA, 2019).

Die vorgenannten Beispiele zeigen, dass Entwicklungen wie KI und mobile Arbeitstätigkeiten neben Herausforderungen auch Gestaltungsmöglichkeiten für den Arbeitsschutz eröffnen. Wie der technische und organi-

satorische Arbeitsschutz weiterentwickelt werden kann und die Kriterien einer menschengerechten Gestaltung von Arbeit in der digitalisierten Arbeitswelt umsetzbar sein können, verdeutlicht das nachfolgende Zukunftsbild von Arbeit und Arbeitsschutz in einer digitalisierten Welt.

4.4 Ein Blick in die Zukunft

Unter Berücksichtigung der im Vorfeld dargestellten Kriterien menschengerechter Gestaltung einer digitalen Arbeitswelt wird eine Vision entwickelt, wie der Arbeitsschutz in absehbarer Zukunft umgesetzt werden könnte. Der folgende Abschnitt wagt daher einen potenziellen Blick in die Zukunft. Um die Potenziale der Digitalisierung für eine positive Entwicklung der Arbeitswelt abzubilden, wird eine womöglich erstrebenswerte Fiktion geschaffen. Zwar beinhaltet diese Vision auch prognostische Anteile, sie ist aber vor allem normativ zu verstehen. Das Zukunftsbild stellt eine bewusst überzeichnete, aus Sicht der Beschäftigten wünschenswerte, wenngleich zum aktuellen Zeitpunkt noch hypothetische Situationsbeschreibung dar.

Arbeitsschutz dank Digitalisierung auf neuem Level

Von der Fortschrittsbremse zum Wirtschaftsturbo – seit die Digitalisierung viele Bereiche des Arbeitsschutzes miteinander vernetzt hat, sind Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit keine bloßen Ideale mehr. „Zink Glas-Keramik“ gewährt Einblicke in die neue Ära des Arbeitsschutzes. Montagmorgen, 08:00 Uhr. Gabi Zink betritt ihr zweites Zuhause: „Zink Glas-Keramik“ – ihre Firma zur Herstellung von Spezialglas und Glaskeramik, die sie seit nunmehr 20 Jahren leitet. Ein Hidden Champion: Weltklasse mit starker regionaler Verbundenheit. Sie begrüßt im Vorbeigehen ihre Kolleginnen und Kollegen aus dem Verwaltungsbereich. Heute stehen nur noch 10 Arbeitsplätze in dem großzügigen Büro zur Verfügung und ein Bereich für Besprechungen ist abgetrennt. Bei der Gründung gab es hier noch 20 Arbeitsplätze, dicht an dicht. Doch bereits seit einigen Jahren können die in der Verwaltung beschäftigten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter überwiegend selbst entscheiden, ob sie ihre Aufgaben im Büro oder an einem anderen Ort erfüllen wollen. Frau Zink war zu Beginn skeptisch, aber viele Gespräche mit dem Betriebsrat und erste, positive Erfahrungen haben sie schließlich von dem Modell überzeugt.

So wie Frau Zink ging es zunächst vielen Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern, als digitale Technologien es zunehmend erlaubten, bestimmte Aufgaben ortsunabhängig durchzuführen. Zwar wurde das Potenzial gesehen, doch es blieben gewisse Vorbehalte bestehen. Erst nachdem Kollaborationstools ihren Kinderschuhen entwachsen waren und einen zunehmenden Funktionsumfang bei hoher Stabilität ermöglichten, fand eine immer größere Verbreitung des ortsflexiblen Arbeitens statt. Eine zentrale Voraussetzung dafür war der Netzausbau, mit dem nahezu unbegrenzter, sicherer Datenaustausch möglich wurde. Auch Arbeitsplätze in der Produktion oder Maschinensteuerung, von denen man lange glaubte, sie seien an den Betrieb gebunden, können heute ortsflexibel gestaltet werden, weil intelligente Systeme in die Prozesse integriert wurden. Dadurch liegt der Anteil an Tätigkeiten, die die Beschäftigten regelmäßig außerhalb der Betriebsstätte umsetzen können, heute bei 80 Prozent.

08:30 Uhr. Frau Zink loggt sich mit einem frischen Kaffee an ihrem Arbeitsplatz in das System ein und verschafft sich mit der Arbeitsschutzmanagementsoftware einen Überblick darüber, wer heute wo arbeitet. Im gemeinsamen Austausch mit dem Betriebsrat und den Beschäftigten war vereinbart worden, dass die Beschäftigten bei jedem Log-in kurze Angaben dazu machen, wo und auf welchem Gerät sie gerade arbeiten. Die Auseinandersetzungen um dieses Vorgehen liefen nicht konfliktlos ab, aber Frau Zink war es schon immer wichtig, ihren Schutzpflichten als Arbeitgeberin nachzukommen. Unbewusst zieht sie die Schultern hoch und nimmt die Haltung ein, in der sie selbst viele Stunden über ihr Smartphone gebeugt im Zug verbracht hat. Zunächst war diese Transparenz über das wo und wie des Arbeitens einigen Beschäftigten unangenehm, aber sie ging mit gutem Beispiel voran und die Vorteile wurden schnell sichtbar. Die Daten fließen nun in Echtzeit in die Arbeitsschutzmanagementsoftware ein und Frau Zink kann detaillierte Auswertungen erstellen lassen, die Gefährdungen an den verschiedenen Arbeitsplätzen beurteilen und entsprechende Maßnahmen ableiten.

Trotz schwieriger Auseinandersetzungen zwischen den Sozialpartnern und umfangreicher Diskussionen mit dem Gesetzgeber liegt die letztlich Arbeitsschutzverantwortung beim Arbeitgeber. Es sind sogar noch neue Verantwortungen hinzugekommen, beispielsweise im Rahmen von Lieferketten oder der Beauftragung Dritter. Gleichzeitig unterstützen digitale Tools Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber bei der Wahrnehmung dieser Verantwortung sehr umfangreich. Außerdem gibt es viele Expertennetzwerke, deren Fachkunde unkompliziert und schnell

hinzugezogen werden kann. Jüngere Beschäftigte bringen darüber hinaus viele neue Fähigkeiten und Kenntnisse mit, seit das Thema Gesundheit ein fester Bestandteil der betrieblichen und universitären Ausbildung ist. Dieses Zusammenspiel hat dazu geführt, dass Unfallraten und auch Frühverrentungen aufgrund von Erwerbsunfähigkeit auf einen Tiefstand gesunken sind.

09:30 Uhr. Frau Zink geht hinüber in den Produktionsbereich, wo sie gemeinsam mit ihrem Kollegen Oleg Vollmer eine Gruppe von Ausbildungsinteressenten durch die Anlage führen will. Oleg, der seit Firmengründung dabei ist und die Prüfung von Glasampullen für Impfstoffe verantwortet, erwartet sie bereits mit der Gruppe.

„Auf einer Videoplattform habe ich gesehen, wie die fertigen Ampullen ursprünglich mal von Hand geprüft wurden,“ weiß Max aus der Gruppe der Ausbildungsinteressenten. „So eine anstrengende Tätigkeit für Leute mit Adleraugen.“ „Ja,“ sagt Herr Vollmer, „ich war unter den ersten hier an Bord und habe das noch selbst gelernt“.

Eine Maschine hat auch damals schon die Ausformung der Glasbehälter aus der Glasschmelze übernommen. Die fertig geformten, noch warmen Glasbehälter mussten jedoch anschließend einzeln qualitätsgeprüft werden, bevor sie an die Hersteller von Impfstoffen ausgeliefert werden konnten. Diese Qualitätsprüfung präzise durchzuführen, erfordert einen erfahrenen Blick, wie den von Herrn Vollmer.

„Und seit einiger Zeit läuft selbst die Qualitätsprüfung vollautomatisch ab.“ Frau Zink macht eine ausladende Geste auf die Anlage. „ARTIE, unser Artificial Intelligence Camera Evaluation System“, erläutert Herr Vollmer, „ist da doch schneller als ich. Und weil meine Adleraugen mittlerweile auch eine Lesebrille benötigen, könnte ich die Qualität von so vielen Behältern auch gar nicht mehr im Detail erfassen. Denn auch die Menge der produzierten Ampullen ist gestiegen. Spätestens seit den kombinierten Corona- und Grippe-Impfungen ab dem Jahr 2022“, sagt Herr Vollmer.

Frau Zink erinnert sich an die damit verbundenen Umstellungen und den Weg dahin, dass die Arbeit von Herrn Vollmer heute vor allem daraus besteht, die Daten der KI-basierten optischen Qualitätskontrolle zu prüfen und mit den Einrichtern der Prüf-Tools die Änderungen an Algorithmen und Modellen zu organisieren.

„Hier musste ich ganz schön dazu lernen. Ist ja doch was Anderes als das, was ich in meiner Ausbildung als Chemisch-technischer Assistent gelernt habe. Aber die Firma hat mich gut unterstützt.“ Er tippt auf sein Tablet. „Hier habe ich immer alle Informationen zur Verwendung

der Anlage dabei. Die Grundlage ist die mitgelieferte Betriebsanleitung für das Auswertungssystem.“ „Na klar, Oleg. Das muss doch auch so sein. Und denk nur an die vielen Weiterbildungen, die wir alle gemacht haben,“ sagt Frau Zink.

Neben den technischen Möglichkeiten haben die veränderten EU-Richtlinien einen klaren Rahmen für die Nutzung von KI-Systemen geschaffen. Nachdem es größere Angriffe auf industrielle Anlagen gab, ist auch das Thema Cybersicherheit in den Fokus gerückt. Insgesamt geben mittlerweile 68 % der Betriebe an, KI einzusetzen. Diese Umstellungsprozesse, die in vielen Betrieben abliefen, haben einen enormen Qualifizierungsschiff bewirkt. Aus- und Weiterbildung zum Thema Künstliche Intelligenz hat über lange Zeit die Listen der betrieblichen Fortbildung angeführt und zahlreiche neue Ausbildungsberufe und Studiengänge fokussieren KI. Das Lernen „on the job“ spielt aber weiterhin eine wichtige Rolle.

Herr Vollmer führt die Gruppe weiter durch die Anlage und erklärt: „Durch die aufgabenbedingte Nähe zu den Glasschmelzöfen ist man bei der Qualitätsprüfung großer Hitze ausgesetzt, und ganz ungefährlich ist die Umgebung auch nicht, sollte mal eine Apparatur zur Glasformung defekt sein.“ Dabei zeigt er den Ausbildungsinteressenten die dicke, schwere Schutzkleidung, die lange Zeit bei den Aufgaben getragen werden musste. Seit ein Umweltmonitoring stattfindet, also Messungen der Umgebungsbedingungen durch ein umfangreiches Sensorsystem gestützt werden und auch die Anlagen Auskunft „über sich selbst“ erteilen, ist es jedoch sicherer geworden. Auf seinem Tablet zeigt er den jungen Leuten ein virtuelles Abbild des Anlagenparks.

„Sieht ja aus wie der Factory Manager Pro!“ freut sich Max aus der Gruppe der Interessenten. „Ja, den spielt mein Sohn auch immer! Allerdings steuern wir hiermit eine echte Anlage und simulieren nicht mehr nur“, antwortet Vollmer.

Die Besuchergruppe ist an der Glasmachine angekommen, in der aus den flüssigen Glastropfen Glasampullen geformt werden. Im schnellen Takt der Maschine entstehen hier die genormten Behälter für Impfstoffe, einzeln kaum sichtbar für die Besucher in der Bewegung des Transportbandes. Allen fällt auf, dass kaum ein Mitarbeiter in dem zischenden, fauchenden und heißen Dampf ausstoßenden Maschinen- und Anlagenpark zu sehen ist.

„Die Mehrzahl der Maschinen ist vernetzt und organisiert Logistik und Herstellung auf Basis ihrer Programmierung“, sagt Herr Vollmer. „Da haben Menschen vor allem am Rechner Einfluss auf die Produktion. Lange Zeit waren wir selbst für die Funktionsfähigkeit und die sichere

Verwendung der Maschinen und Anlagen zuständig. Dafür mussten wir entsprechende Prüfungen und Wartungen in Eigenverantwortung durchführen.“

Wir machen uns auf den Weg: menschenzentrierter Einsatz technischer Innovationen

Finden technische Innovationen im Arbeitskontext Einsatz, sollte eine sinnhafte Aufgabenbearbeitung für den Menschen verbleiben.

Zudem sollte die Individuelle Anpassbarkeit sowohl bei der Gestaltung von Technologien als auch bei ihrem Einsatz in einem organisationalen Rahmen berücksichtigt werden.

Arbeitsaufgaben wurden so gestaltet, dass bei ihrer Erledigung ein Gefühl eines betrieblichen und auch eines gesellschaftlichen Nutzens vermittelt wurde.

Frau Zink ergänzt: „Heute arbeiten Hersteller und Betreiber über den gesamten Lebenszyklus von Maschinen und Anlagen zusammen, denn die Hersteller haben eine Pflicht zur Produktbeobachtung auch nach Inbetriebnahme. Dies wird über die Verwendung von Plattformen vereinfacht.“

„Wenn alles nur noch über das Netzwerk gesteuert wird, muss man ja gar nichts mehr machen?!“ Max blickt Herrn Vollmer erwartungsvoll an.

„Nun ...“ sagt dieser. „Wenn mal wieder eines der Hardware-Module nicht richtig in seinem Sockel steckt oder ein Rad der selbstfahrenden Transporter im Produktionsraum einen Riss hat, muss ich auch mal das Werkzeug direkt vor Ort anlegen. Das schafft Abwechslung und so ein bisschen Bewegung tut mir auch in meinem Alter ganz gut,“ sagt er und sieht über die Ränder seiner Lesebrille zu, wie ein Roboter einen LKW mit einer Palette geprüfter Kisten Glasampullen belädt. Mittlerweile ist er den Anblick gewohnt, dass Roboter ohne sichtbare Schutzmaßnahmen in für Menschen zugänglichen Bereichen arbeiten.

13:00 Uhr. „Das hätte nicht passieren dürfen!“ Frau Zink und Herr Vollmer befinden sich in einer Videokonferenz mit dem Hersteller einer ihrer Anlagen. Vor Kurzem hatte sich Herr Vollmer bei der Instandhaltung der Glasmaschine im Gefahrenbereich nahe der heißen Glasmelze aufgehalten, wo sicherheitstechnische Maßnahmen auch mal unwirksam sein können. Obwohl die Anlage entsprechend ihres vorhergesehenen Verwendungszwecks eingesetzt wurde und Herr Vollmer alle Verfahrensschritte der Betriebsanleitung des Herstellers befolgt hatte, war es beinahe zu einem Unfall gekommen, als plötzlich Glasampullen zersplitterten. Im Gespräch stellt sich heraus, dass ein Fehler in den technischen Unterlagen steckt, den der Hersteller nun schnell korrigieren muss. Frau Zink und Herr Vollmer sind froh, denn dank der tagesaktu-

ellen Dokumente werden nun auch die Informationen für bauähnliche Systeme in anderen Unternehmen aktualisiert und so ein Fehler wird sich hoffentlich nicht noch einmal wiederholen.

Maschinen und Anlagen und auch die enthaltenen Softwarekomponenten müssen für ihren vorgesehenen Verwendungszweck geeignet sein, worauf Arbeitgeber bei der Beschaffung achten müssen. Die Hersteller der Maschinen und Anlagen sind zuständig für die erforderlichen technischen Unterlagen einschließlich Betriebsanleitung sowie Angaben zur Montage und Instandhaltung. Auch eine CE-Konformitätserklärung wird erstellt: mit dieser erklärt der Hersteller die Erfüllung der grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen bezogen auf Konstruktion und Bau der Maschinen. Der Hersteller der Maschine ist für die sichere Integration des KI-Systems auf Grundlage einer Risikobeurteilung verantwortlich. Die bereits etablierten Strukturen von Prüforganisationen sind dafür ausgebaut worden, neue Geschäftsfelder sind entstanden. Die Zuständigkeiten zwischen Hersteller und Betreiber waren lange unklar. Dank der neuen Regelsetzung zur KI und zu softwaregesteuerten Anlagen stehen Hersteller und Betreiber im engen Austausch und können separate Vereinbarungen für Teile der Anlage treffen. Schwierig wird es immer dann, wenn nicht ganz klar ist, wer für konkrete Aufgaben verantwortlich ist, denn nicht immer lassen sich bestimmungsgemäße Verwendung, vorhersehbare Fehlanwendung sowie unvorhergesehene Aspekte der Cybersicherheit, wie kriminelle Cyberattacken, klar trennen. Cyberattacken fallen nicht in die Verantwortung der Hersteller, alle anderen Aspekte jedoch schon.

Wir machen uns auf den Weg: Technikzuverlässigkeit gewährleisten
Arbeitsunterstützende Technik hat im Einsatz eine vorab definierte und mittels geeigneter Analysemethoden abschätzbare Zuverlässigkeit und Sicherheit. Das heißt auch, dass Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz vor Manipulation eine vorab definierte Zuverlässigkeit aufwiesen und einer geeigneten Risikobeurteilung zugänglich waren. Dabei wurden neben der Art der digitalen Anwendung auch der Nutzungskontext wie die Arbeitsaufgabe und Anforderungen berücksichtigt.

Für lernende Systeme liegen Prüfmechanismen vor, die eine Verifizierung und Validierung des zugrunde liegenden Algorithmus erlauben. Auch solche Mechanismen, welche die Plausibilität der Daten und korrekte Ergebnisse sicherstellen, sind vorhanden.

Für Trainingsdaten wurden Qualitätskriterien definiert, die einen späteren Einsatz des gelernten Modells mit einer definierten Zuverlässigkeit erlauben. Ein begleitendes Monitoring für einen festgelegten Zeitraum nach Inbetriebnahme lernender Systeme wurde vorgesehen, um die Zuverlässigkeit im Nut-

zungskontext analysieren, bewerten und gegebenenfalls nachbessern zu können.

Es findet eine gute Kommunikation zwischen Herstellern und Betreibern insbesondere in Bezug auf Aspekte der Cybersicherheit sowohl für den sicheren Betrieb von Maschinen und Anlagen als auch für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten statt.

Es ist 14:30 Uhr und Frau Zink wählt sich in eine Videokonferenz mit Selima Kaya ein. Frau Kaya ist die verantwortliche Planerin für das neue Bürogebäude der Zink Glas-Keramik in Bayern. Gemeinsam gehen sie die Pläne für das neue kombinierte Hotel- und Bürogebäude durch. Das Projekt nimmt immer mehr Gestalt an und Selima Kaya ist für die Entwürfe und die Koordinierung mit den Bauunternehmen zuständig. Ein Diskussionspunkt zu den Fluchtwegbreiten kann direkt im Gespräch aufgelöst werden, denn ihre Planungssoftware „BIMensional“ hat Frau Kaya und Frau Zink gleich die notwendigen Mindestmaße für die Fluchtwege angezeigt.

Flexibel können mit Planungstools wie „BIMensional“ bereits in der ersten Konzeption verschiedene Nutzungen von Gebäuden bedacht werden – egal, ob nun eine Etage später als Hotel oder vielleicht doch als Co-Working-Space genutzt wird. Die Normen und technischen Regeln, in denen notwendige Daten wie Fluchtwegbreiten beschrieben werden, sind dafür in den Algorithmen der Software hinterlegt. „Kann sich ja kein Mensch merken, all die Mindestmaße und die Bedingungen für ihre Anwendung!“, hat Frau Kaya gerade erläutert. „Bei Bedarf lässt sich jedoch auch eine manuelle Anpassung ausführen.“

Maschinenlesbare und maschinenausführbare Vorschriften, Regeln und Normen

Die zunehmende Digitalisierung von Anwendungsfällen erfordert auch die Aufbereitung und Bereitstellung anwendungsbezogener, digital verarbeitbarer, granularer Informationen aus Vorschriften, Regeln und Normen und deren Integration in die Anwendungen. Dies erfolgt bislang meist noch unter Beteiligung von Experten. Im Bereich der Normung wurden Konzepte zur Digitalisierung der Normen und Normeninhalte entwickelt, z. B. beim DIN und der DKE, mit stufenweisen Weiterentwicklungen beim Content Creation, Content Management, Content Delivery und Content Usage. Im Level 1 können digitale Dokumente (WORD, PDF) maschinell verwaltet und angezeigt werden. Im Level 2 werden maschinenlesbare Dokumente (XML) erstellt, bei denen die Struktur maschinell erfasst wird und granulare Inhalte (z. B. Begriffe, Grafiken, Tabellen) ausgelesen werden können. Im Level 3 werden ma-

schinenlesbare und ausführbare Inhalte aus den Dokumenten erschlossen und können anwendungsbezogen zusammengestellt werden. Im Level 4 werden die Informationseinheiten weiter ergänzt und vernetzt und sollen die Bereitstellung maschineninterpretierbarer Inhalte ermöglichen. Darüber hinaus wird ein Level 5 diskutiert, in dem der Prozess der Normung weiter automatisiert wird.

Anforderungen des Arbeitsschutzes an die Gestaltung von Produkten, Organisationsstrukturen und Prozessen sind ebenfalls in Vorschriften und Regeln festgelegt und nehmen teilweise auch Normen in Bezug. Die konkreten Umsetzungen basieren bisher überwiegend auf Dokumenten und der Expertise von Personen. Eine umfassende, korrekte Umsetzung durch Recherchieren und Wahrnehmen, Lesen und Verstehen, Selektieren und Berücksichtigen aller maßgeblichen Anforderungen – einschließlich Arbeitsschutz – in einem Anwendungsfall war häufig aufwändig und teilweise fehleranfällig. Auch im Arbeitsschutzsystem muss deshalb diskutiert werden, wie Inhalte aus Arbeitsschutzvorschriften und -regeln zukünftig aufbereitet und bereitgestellt werden können.

Das war eine lange Entwicklung. Ursprünglich wurden Gebäudezeichnungen einzeln für jeden Gebäudeabschnitt und jede Fachplanung separat erstellt – beispielsweise einmal für die Hochbau-Unternehmen, weitere für die Heizungs- und Sanitätsinstallateure, und wieder andere Zeichnungen für die Elektroplanung – je nachdem, welcher Aspekt der Planung relevant war. Planerinnen und Planer wie Selima Kaya mussten viel Hintergrundwissen zu Normen und technischen Regeln bei der Erstellung von Entwürfen parat halten und von Hand Modifikationen von Geometrien in den Plänen vornehmen. In großen Projekten mussten die Zeichnungen zwischen verschiedenen Rechnern und Planungsbüros ausgetauscht und koordiniert werden. Dies führte oft zu Wartezeiten oder gar unterschiedlichen Planungsständen, die zeitaufwändig anzugleichen waren. Nach Fertigstellung eines Gebäudes musste dann der tatsächlich gebaute Zustand separat erfasst und gezeichnet werden.

„Building Information Modeling“ oder kurz „BIM“ nennt sich die technische Basis von „BIMensional“. Darüber funktioniert die digitale Zusammenarbeit aller an einem Gebäude beteiligten Fachleute, Planer und Nutzer. Mit dem System werden Bauten nicht nur gezeichnet, sondern auch alle relevanten Bauwerksdaten digital modelliert, kombiniert und erfasst. Jedes Gebäude durchläuft in seiner Entstehung verschiedene Phasen: Bedarfsplanung, Entwurf, Ausführungsplanung, Ausschreibung, Bauphase, Inbetriebnahme, Nutzung, Renovierung, Umnutzung und Rückbau. Durch BIM mit seiner zentralen Datengrundlage ist es mög-

lich, dass jederzeit die relevanten Bauwerksdaten verfügbar sind, auch für zukünftige Eigentümer und Nutzer.

Selima Kaya prüft die vorgenommenen Änderungen mit erfahreinem Blick. Sofort nach Änderung der Nutzungszahlen hat die Software die als Fluchtwege geeigneten Flure identifiziert. Die Türbreiten werden vor ihren Augen angepasst. So stellt sie sicher, dass die Nutzung beispielsweise auch für diejenigen, die auf einen Rollstuhl angewiesen sind, möglich ist. Und die schönen Panoramafenster sind auch sofort ausreichend groß dimensioniert, damit die zukünftigen Nutzer von Büroflächen ein Mindestmaß an Tageslicht bei ihrer Arbeit zur Verfügung haben werden. Blitzschnell lädt sie die neuen Pläne gleich in den Cloud-Speicher, wo sie für die Anfragen bei den potenziellen Bauunternehmen verwendet werden.

Wer im fertigen Gebäude neben den Mitarbeitern der Zink Glas-Keramik einziehen wird, ist noch nicht ganz klar. Selima Kaya weiß jedoch, dass das Arbeiten und auch das Wohnen in ihrem Planungsprojekt den Anforderungen an moderne Gebäude und Arbeitsstätten entsprechen wird, denn das ist die Grundlage von „BIMensional“. Kann sein, dass manche Büroräume direkt an eine der Windenergie-Firmen vermietet werden, die ihre Zentralen vor ein paar Jahren in die Stadt verlegt haben. Oder es wird einer dieser Open Spaces geschaffen, in dem die Mitarbeiter verschiedener Arbeitgeber sich zeitweise einmieten, um gemeinsam, zum Beispiel mit Zink Glas-Keramik an Projekten zu arbeiten. Da stecken dann schon einmal Vertreter von fünf Arbeitgebern in derselben Etage die Köpfe zusammen.

Und jeder einzelne Arbeitgeber ist für die Sicherheit und die Gesundheit seiner Mitarbeiter verantwortlich, egal, ob er nun auf dem eigenen Firmengelände tätig ist oder nicht. Daran hat sich nichts geändert. Sie alle müssen sich jedoch um die sichere Einrichtung „ihres“ Arbeitsplatzes wenig Gedanken machen – das hat Selima Kaya bereits in der Planung getan. Zusammen mit „BIMensional“ versteht sich.

15:00 Uhr. „Herr Nowack, wir haben neue Trainingsdaten für Sie!“ Frau Zink ist im Gespräch mit dem Kundenbetreuer des großen Maschinenherstellers, mit dem sie zuletzt ihre Anlagen erweitert haben. „Hervorragend, damit können wir die Zuverlässigkeit sicher noch mal steigern“, sagt dieser. Er ist stolz, dass seine Firma so sichere Produkte für den Verkauf anbietet. Das gilt nicht nur für schwere Maschinen wie Schmelzöfen oder Gießanlagen, die lange robust bleiben, sondern auch für Überwachungssysteme, wie die zur Qualitätskontrolle genutzten Kamerasysteme mit KI-Bildauswertung. Früher hatte man nach dem

Verkauf wenig Kontakt mit den Betreibern der Anlagen. Heute ist das anders geworden und Herr Nowack steht im regelmäßigen Austausch mit den Kundinnen und Kunden, was ihm viel Freude bereitet. Frau Zink versorgt ihn regelmäßig mit Echtdateien, anhand derer weitere Verbesserungen und Anpassungen vorgenommen werden können.

Die Rolle der Hersteller hat sich über die Jahre gewandelt. Gerade für KI-Systeme bestehen gesonderte Anforderungen, wie beispielsweise eine Bewertung der Konformität mit den gesetzlich formulierten Grundlagen für KI. Hier muss der Hersteller einiges an Aufwand leisten: die zum Training der Modelle verwendeten Datensätze müssen qualitativ hochwertig sein, der Systemzustand muss dokumentiert werden, Informationen transparent bereitgestellt und die menschliche Aufsicht jederzeit sichergestellt sein.

Diskussionen gibt es immer einmal zu den Zuständigkeiten bei wichtigen Details: Einerseits müssen Hersteller ein System zur Überwachung nach dem Inverkehrbringen gewährleisten, andererseits muss ein Betreiber über die Produkte nach der Inbetriebnahme selbst verfügen können.

*Wir machen uns auf den Weg: Klare Verantwortung für den Arbeitsschutz
Die Verantwortung für die Sicherheit und Gesundheit von Beschäftigten liegt bei ihren jeweiligen Arbeitgebern und muss als solche wahrgenommen werden.
Durch umfangreiche Qualifizierungsmaßnahmen kennt jeder Arbeitgeber seine Verpflichtungen im Rahmen des Arbeitsschutzes. Gut ausgebildete Fachkräfte mit umfangreicher Expertise unterstützen im Betrieb oder werden über Netzwerke bei allen Fragen zu Sicherheit und Gesundheit hinzugezogen.*

Innerbetriebliche Aushandlungsprozesse gewinnen an Bedeutung, nachdem gesetzliche Weichen für neue Formen der Beteiligung und Mitbestimmung gestellt wurden.

Gleichzeitig existiert ein klarer gesetzlicher Rahmen, der Rechte und Pflichten in der digitalisierten Arbeitswelt definiert.

Basierend auf neuen Technologien wurden auch die Instrumente weiterentwickelt, die die Überwachung der Einhaltung des gesetzlichen Rahmens erleichtert.

„Ich schalte Ihnen die Schnittstelle zum Safety Information System frei, dann kann alles in die Cloud geladen werden“, sagt Herr Nowack und seine Finger rauschen über das Display.

Gleich darauf ertönt das leise „Ping“ am Computer von Frau Zink.

Safety Information Management Systeme (SIM) stellen eine gemeinsame Informationsbasis zwischen Planern, Entwicklern und Betreibern von Anlagen und Maschinen her. Ihre Nutzung ist verpflichtend, da sich gezeigt hat, dass sie die Kommunikation maßgeblich erleichtern und mit Ihnen auch die verschiedenen Zuständigkeiten und Pflichten nachgehal-

ten werden können. Bei KI-Systemen werden im SIM auch der Trainingsvorgang sowie die genutzten Datengrundlagen festgehalten. Dadurch kann die Nachvollziehbarkeit der Systeme deutlich gesteigert werden. Mit der verbindlichen Nutzung von Safety Information Systemen wird auf betrieblicher Seite sichergestellt, dass Erhebung und Bereitstellung von für das Arbeitsschutzsystem essentiellen Daten vom Planungsbeginn an mitgedacht werden.

16:00 Uhr. Frau Zink ist wieder in ihrem Büro und bereitet sich auf ihren Termin mit der Arbeitsschutzaufsicht vor. Die monatliche Datenübertragung hatte sie noch am Freitag abgeschlossen. Dank des umfangreichen Arbeitsschutzmanagementsystems und der Schnittstelle zur Behörde stellt die Übermittlung der Kennzahlen kein Problem mehr dar. Obwohl sie mittlerweile regelmäßig Kontakt zu den Aufsichtskräften hat, blickt Frau Zink dem Termin erwartungsvoll entgegen. Das rote Warndreieck leuchtet ihr entgegen: Die Analysen des Arbeitsschutzmanagementsystems haben ergeben, dass die Beschäftigten häufig lange an ihren mobilen Geräten gearbeitet haben. In diesem Fall geben die Geräte zwar Hinweise und Empfehlungen heraus und auch die Teamleitungen sind angehalten, dann Gespräche zu führen, aber darüber hinaus bleiben die Handlungsmöglichkeiten von Frau Zink gering. Sicher, die Systeme könnten sich selbst abschalten, aber dies scheint auch keine zielführende Option.

Das Arbeitsschutzsystem stützt sich stark auf große Datensätze, die mittels KI-Systemen ausgewertet werden, sowie den regelmäßigen Austausch zwischen den beteiligten Akteuren. Neue Technologien ermöglichen dabei eine sichere und einfache Verknüpfung von Betriebs- und Behörden Daten, wodurch Probleme oder Ungereimtheiten in den Betrieben schnell aufgedeckt werden können. Doch auch ein neues Selbstverständnis und neue Strukturen in den verschiedenen öffentlichen Verwaltungsbereichen haben dazu geführt, dass betriebliche Daten besser aufbereitet und genutzt werden. Die Arbeitsschutzaufsicht ist beweglicher geworden und verfügt aufgrund der veränderten Gesetzgebung über mehr Ressourcen sowie neue Möglichkeiten der Aufgabenwahrnehmung wie die Systemkontrolle per Telepräsenz. Während Betriebsleiter wie Frau Zink früher rein rechnerisch höchstens alle 20 Jahre besucht wurden, zeigen die Statistiken heute, dass tatsächlich jeder Betrieb einmal im Jahr Kontakt mit seiner Arbeitsschutzbehörde hat. 70 % der Betriebe berichten von zwei Terminen.

17:00 Uhr: Mit einem leisen Summen schalten sich die Geräte am Arbeitsplatz von Frau Zink aus. Die Bildschirme werden schwarz. Sie seufzt zufrieden. Wie Herr Vollmer ihr berichtete, haben von den Ausbildungsinteressenten gleich fünf ein kurzes Lebenslaufvideo hinterlegt, das von der Personalabteilung für die weiteren Schritte im Rekrutierungsprozess genutzt werden kann. Auch die Gespräche am Nachmittag waren erfolgreich. Im Büro bereiten sich die Kolleginnen und Kollegen auf ihren Feierabend vor. Frau Zink wirft einen letzten Blick auf ihr Tablet, das sie immer bei sich trägt. Sieben kleine Gesichter leuchten noch grün; neben allen ist ein kleines Haus zu sehen. Hier sind die Eulen am Werk, die lieber später arbeiten oder zwischendurch private Dinge erledigt haben. Sie weiß, dass auch diese Icons zu gegebener Zeit ausgrauen, weil die Arbeitszeit klar geregelt ist. Mit einem Knopfdruck wird auch das Display des Tablets schwarz. Bis morgen – wenn ein neuer Tag bei Zink Glas-Keramik beginnt.

Literatur

- ArbSchG (1996).** Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit. <https://www.gesetze-im-internet.de/arbSchG/> Zugriffen 23.11.2021
- Backhaus N., Wöhrmann A.M., Tisch A. (2020).** BAuA-Arbeitszeitbefragung: Telearbeit in Deutschland. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Backhaus N., Tisch A., Kagerl C., Pohlan L. (2020).** Arbeit von zuhause in der Corona-Krise: Wie geht es weiter? Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Beermann B., Backhaus N., Hünefeld L., Janda V., Schmitt-Howe B., Sommer S. (2020).** Veränderungen in der Arbeitswelt – Reflexion des Arbeitsschutzsystems. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- BMAS (2016).** Weißbuch Arbeiten 4.0. https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/a883-weissbuch.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Zugriffen 1.11.2021
- BMAS/BAuA (2017).** Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Berichtsjahr 2016. Unfallverhütungsbericht. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
- BMAS (2018).** Crowdfunding Monitor https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Meldungen/2018/crowdfunding-monitor.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Zugriffen 1.11.2021

- BMAS (2020).** Gesetzesinitiative zur mobilen Arbeit. <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/mobile-arbeit-gesetz.html> Zugegriffen: 29.10.2021
- BMAS (2021a).** Betriebsrätemodernisierungsgesetz. <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/betriebsraetemodernisierungsgesetz.html>. Zugegriffen 1.11.2021
- BMAS (2021b).** Sorgfaltpflichtengesetz. <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/gesetz-unternehmerische-sorgfaltpflichten-lieferketten.html>. Zugegriffen 1.11.2021
- Bentz I., Bleyer T., Blume J., Pendzich M., Potthoff S. (2020).** Gefährliche Produkte 2020. Informationen zur Produktsicherheit/Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
- DIN (2011).** DIN ISO 12100 DIN EN ISO 12100. Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-12100/128264334> Zugegriffen 23.11.2021
- DIN, DKE (2021).** Whitepaper Szenarien zur Digitalisierung der Normung und Normen. Herausgeber: DIN, DKE. Berlin, Frankfurt: 2021 <https://www.dke.de/resource/blob/2034796/9d9aa2bace962492a200d34489bdb8f5/idis-whitepaper-de--download-data.pdf>. Zugegriffen 22.09.2021
- DKE (2021).** DiTraNo Präsentation Abschlussworkshop 29.04.2021. <https://www.dke.de/resource/blob/2068826/a72d60604187cd94f80ec53c40062b26/presentierte-r-foliensatz--download-data.pdf>. Zugegriffen: 30.09.2021
- Eichhorst W., Tobsch V. (2014).** Flexible Arbeitswelten. Bericht an die Expertenkommission “Arbeits- und Lebensperspektiven in Deutschland. Bertelsmann. https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/GP_Flexible_Arbeitswelten.pdf. Zugegriffen: 29.10.2021
- EU (1989).** Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A31989L0391>. Zugegriffen 23.11.2021
- EU (2006).** Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0042>. Zugegriffen 23.11.2021
- EU OSHA (2019).** Die künftige Rolle von Big Data und maschinellem Lernen im Hinblick auf die Wirksamkeit von Aufsichtstätigkeiten für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz <https://osha.europa.eu/de/publications/future-role-big-data-and-machine-learning-health-and-safety-inspection-efficiency/view> Zugegriffen 29.10.2021
- EU OSHA (2020).** E-Tools für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. <https://osha.europa.eu/de/themes/osh-e-tools> Zugegriffen: 29.10.2021
- EU Komm (2021).** Strategischer Rahmen der EU für Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz 2021–2027. Arbeitsschutz in einer sich wandelnden Arbeitswelt. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0323&from=EN>. Zugegriffen 1.11.2021

- Gryzmek V., Wintermann O. (2020).** Wie digital sind die Unternehmen in Deutschland? Bertelsmann Stiftung. DOI: 10.11586/2020001
- Hägele H., Fertig M. (2019).** 1. Zwischenbericht – Auswertung der Betriebs- und Beschäftigtenbefragung. https://www.gda-portal.de/DE/Downloads/pdf/1-Zwischenbericht-Evaluation.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugegriffen: 29.10.2021
- Hermann M., Pentek T., Otto B. (2016).** Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. Proceedings of 49th Hawaii International Conference on System Sciences HICSS, Koloa, 5–8 January 2016, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Heidel R.H.M., Hankel M., Döbrich U. (2017).** Industrie 4.0 Basiswissen RAMI 4.0 – Referenzarchitekturmodell mit Industrie 4.0-Komponente. Beuth Verlag.
- HSE Foresight Centre (2018).** The future world of work and workplace health. <https://www.hse.gov.uk/horizons/assets/documents/foresight-report-2018.pdf>. Zugegriffen: 29.10.2021
- Hünefeld L. (2019).** Belastungsfaktoren, Ressourcen und Beanspruchungen bei So-loselbstständigen. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- ILO (2019).** Global Commission on the Future of Work. Work for a brighter future. Web PDF: ISBN 978-92-2-132796-7.
- Janda V., Guhlemann K. (2019).** Sichtbarkeit und Umsetzung – die Digitalisierung verstärkt bekannte und erzeugt neue Herausforderungen für den Arbeitsschutz. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Lichtblau K., Stich V., Bertenrath R., Blum M., Bleider M., Millack A., Schmitt K., Schmitz E., Schröter M. (2015).** Industrie 4.0-Readiness. Aachen: VDMA.
- Morozov A., Vock S., Ding K., Voss S., Janschek K. (2019).** Industry 4.0: Emerging challenges for dependability analysis. Industry 4.0 Vol. 4, Issue 5: 206–209.
- NAKGS (2017).** Grundausswertung der Betriebsbefragung 2015 und 2011 – betriebsproportional gewichtet. https://www.gda-portal.de/DE/Downloads/pdf/Grundausswertung-betriebsprop-Evaluation.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugegriffen 1.11.2021
- Oztemel E., Gursev S. (2018).** Literature review of Industry 4.0 and related technologies. Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 31, No. 1: 127–82.
- Pieper R., Vorath B. (2005).** Handbuch Arbeitsschutz – Sicherheit und Gesundheitsschutz im Betrieb (Bd. 2). Frankfurt: Bund-Verlag.
- Rat der Arbeitswelt (2021).** Vielfältige Ressourcen stärken – Zukunft gestalten. Arbeitsweltbericht 2021.
- Ribbat M., Weber C., Tisch A., Steinmann B. (2021).** Führen und Managen im digitalen Wandel: Anforderungen und Ressourcen. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Robelski S., Sommer S. (2020).** ICT-Enabled Mobile Work: Challenges and Opportunities for Occupational Health and Safety Systems. International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 17, No. 20.

- Robelski S., Steidelmüller C., Pohlan L. (2020).** Betrieblicher Arbeitsschutz in der Corona-Krise, Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Robson L.S., Amick B.C., Moser C. (2016).** Important factors in common among organizations making large improvement in OHS performance: Results of an exploratory multiple case study. *Safety Science* 86: 211–227.
- Roth, A. (2016).** Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Springer Gabler.
- Schenke T., Blank H., Becker G. (2020).** Marktrecherche zu deutschsprachigen internetgestützten Anwendungen zur Umsetzung von organisatorischen Regelungen des betrieblichen Arbeitsschutzes („E-Arbeitsschutz“). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Schlick C., Bruder R., Luczak H. (2018).** Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer Verlag.
- Siepmann D. (2016).** Industrie 4.0 – Fünf zentrale Paradigmen. Springer Gabler.
- Sommer S., Backhaus, N., Tisch A. (2021).** Aktuelle und zukünftige Herausforderungen für den Arbeitsschutz vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie. In: B. Badura, A. Ducki, H. Schröder and M. Meyer. (Hrsg.) Fehlzeitenreport 2021. Betriebliche Prävention stärken – Lehren aus der Pandemie. Berlin, Springer Verlag.
- Sommer S., Kerschek R., Lenhardt U. (2018).** Gefährdungsbeurteilung in der betrieblichen Praxis: Ergebnisse der GDA-Betriebsbefragungen 2011 und 2015. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- vom Stein J., Rothe I., Schlegel R. (2021).** Gesundheitsmanagement und Krankheit im Arbeitsverhältnis. München: CH Beck Verlag
- Tisch A., Sommer S. (2022).** Betrieblicher Arbeits- und Gesundheitsschutz: Veränderungen und Bedeutungszuwachs durch die Covid-19 Pandemie? In: L. Bellmann, W. Matiaske (Hrsg.) Jahrbuch Ökonomie & Gesellschaft.
- Tisch A., Meyer S.-C., Sommer S., Michels L., Robelski S., Pohlan L., Stegmaier J. (2021).** Lehren aus der Pandemie: Zukünftige Entwicklungen des Arbeitsschutzes aus Sicht der Betriebe. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. baa: Bericht kompakt.
- Wahlster W., Winterhalter C. (2020).** Deutsche Normungsroadmap Künstliche Intelligenz. Berlin, Frankfurt a. M., 2020. <https://www.din.de/resource/blob/95954/fe3e0c46a3b5d042f25078c50547f0d/aktualisierte-roadmap-i40-data.pdf>. Zugegriffen: 8.11.2021
- Westhoven M., Vock S., Adolph L. (2021).** Organizational safety and health topics in current German artificial intelligence projects and the road ahead. In: 67. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Arbeit HumAIne gestalten/Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.). Dortmund: GfA-Press.

