PLATTFORM INDUSTRIE 4.0

WHITEPAPER

Resilienz im Kontext von Industrie 4.0

Impressum

Herausgeber
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwk.de

Redaktionelle Verantwortung
Plattform Industrie 4.0
Bülowstraße 78
10783 Berlin

Stand
April 2022

Diese Broschüre wird ausschließlich als Download angeboten.

Gestaltung
PRpetuum GmbH, 80801 München

Bildnachweis
hh5800 / iStock / Titel
WrightStudio / Adobe Stock / S. 4
imaginima / iStock / S. 7
Vladimir / Adobe Stock / S. 18
tong2530 / Adobe Stock / S. 20
Photocreo Bednarek / Adobe Stock / S. 20
tomas / Adobe Stock / S. 20
TMLsPhotoG / Adobe Stock / S. 20
MicroStockHub / iStock / S. 21

Zentraler Bestellservice für Publikationen der Bundesregierung:
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
Telefon: 030 182722721
Bestellfax: 030 18102722721

Diese Publikation wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary 3

1 Einleitung 4
1.1 Resilienz im Kontext von Industrie 4.0 4
1.2 Strategische Handlungsfelder von Industrie 4.0 4
1.3 Ordnungsschema „Resilienz und Industrie 4.0“ 5

2 Fokusthemen von Resilienz im Kontext Industrie 4.0 7
2.1 Souveränität 7
2.2 Versorgungssicherheit 9
2.3 Robuste & flexible Lieferketten 9
2.4 Produktionssysteme und die Rolle des Menschen 11
2.5 Bildung, Kompetenz und Arbeitsorganisation 13
2.6 Standardisierung, Normung und rechtliche Rahmenbedingungen 15

3 Fazit 18
3.1 Übergreifende Handlungsbereiche 18
3.1.1 Souveränität durch offene, interoperable und sichere Datenökosysteme 18
3.1.2 Versorgungssicherheit 19
3.1.3 Flexibilität und Wandlungsfähigkeit unter Nutzung neuer Technologien 19
3.2 Umsetzung 20

4 Anhang – Beispielhafte Aktivitäten in den Fokusthemen 21
4.1 Beispiele zu Souveränität 21
4.2 Beispiele zu Versorgungssicherheit 23
4.3 Beispiele zu robusten & flexiblen Lieferketten 24
4.4 Beispiele zu Produktionssystemen und der Rolle des Menschen 26
4.5 Beispiele zu Bildung, Kompetenz und Arbeitsorganisation 29

Executive Summary

Angeregt durch den Lenkungskreis der Plattform Industrie 4.0 wurde die Bedeutung von Resilienz im Kontext 4.0 von Teilnehmenden der Plattform Industrie 4.0 untersucht.

Resilienz wurde dabei als eine tragende Säule des strategischen Handlungsfeldes Souveränität der Plattform Industrie 4.0 eingeordnet, da sie wesentlich dazu beiträgt, externen Schocks oder Verwerfungen der sozialen, wirtschaftlichen oder politischen Rahmenbedingungen standzuhalten und sich an neue Bedingungen anzupassen. Auf diese Weise widerstehen Unternehmen externen Einflüssen und können ihre Wettbewerbsfähigkeit stärken.

Die Autorinnen und Autoren haben gemeinsam drei übergreifende Handlungsbereiche identifiziert:

- Souveränität durch offene, interoperable und sichere Datenökosysteme,
- Versorgungssicherheit sowie
- Flexibilität und Wandlungsfähigkeit unter Nutzung neuer Technologien.

Es wird vorgeschlagen, die Lösungsbeiträge zu den übergreifenden Handlungsbereichen auf dem Weg zu einer resilienten Industrie und Gesellschaft zwischen den Stakeholdern Industrie und Politik auszutarieren.

Die zukünftige Bearbeitung des Themas sollte daher nach ihrer Einschätzung im Diskurs von Industrie, Politik, relevanten Bundesbehörden, Forschung und Entwicklung sowie Vertretern der Zivilgesellschaft auf Führungsebene unter ethischer Begleitung im Rahmen eines spezifischen Rates erfolgen.

Die in dem vorgeschlagenen Gremium erarbeiteten, strategischen Ziele sollten durch unterstützende, themenspezifische Arbeitsgruppen und Taskforces auf operative Instrumente und konkrete Maßnahmen heruntergebrochen und bis in die Umsetzung begleitet werden.

1 Einleitung

1.1 Resilienz im Kontext von Industrie 4.0

Unternehmerische Resilienz ist die Eigenschaft eines Unternehmens, externen Schocks oder Verwerfungen der sozialen, wirtschaftlichen oder politischen Rahmenbedingungen standzuhalten und sich an neue Bedingungen anzupassen. Unternehmen müssen dafür die Fähigkeit besitzen, trotz Einwirkungen von außen ihre Stabilität zu erhalten, zum Ausgangszustand zurückzukehren oder einen neuen Gleichgewichtszustand einzunehmen. Auf diese Weise widerstehen sie externen Einflüssen und können langfristig auf dem Markt bestehen. Im Gegensatz zur Robustheit, bei der Unternehmen den Veränderungen begegnen, ohne ihre Struktur anzupassen, zielt Resilienz darauf ab, die Anpassungen zur Aufrechterhaltung der Handlungsfähigkeit schnell vorzunehmen und, wenn nötig, Strukturen und Prozesse grundlegend umzugestalten. Wer glaubt, die aktuellen Krisen seien weitestgehend überwunden und eine Rückkehr zum Vorkrisensystem sei das Gebot der Stunde, irrt grundlegend und ist auf die nächste Krise nicht ausreichend vorbereitet. Resilienz ist keine einmalige Maßnahme zur Lösung eines Problems, sondern eine andauernde strategische Aufgabe der Unternehmensführung zur langfristigen Sicherung der Überlebensfähigkeit. Nur so sind Unternehmen gegen kommende Krisen gewappnet.

1.2 Strategische Handlungsfelder von Industrie 4.0

Industrie 4.0 transformiert Wertschöpfung, unternehmerischen Erfolg und Arbeit. Wertschöpfungsketten werden zu flexiblen, agilen und weltweit vernetzten Wertschöpfungssystemen. Darin sind Daten und deren Nutzung Kernelemente digitaler Geschäftsmodelle. Neben der internen Vernetzung verbinden sich Kooperationspartner zukünftig zu unternehmensübergreifenden, dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken im Datenraum Industrie 4.0[1].

Industrie 4.0 kann somit bis zu einer vollständigen datentechnischen Integration aller industriellen Prozesse, von der Bedarfsermittlung über die Entwicklung, Produktion, Lieferung, Installation, Service für den Kunden bis hin zur Entsorgung und Wiederverwendung, reichen, also den gesamten Lebenszyklus eines Produktes oder Produktionssystems umfassen.

1 Der Datenraum Industrie 4.0 bezeichnet die Metaebene, auf der die unterschiedlichen Lösungsangebote zur organisationsübergreifenden Datennutzung zusammenwirken. Die unterschiedlichen Lösungsangebote können selbst einzelne Datenräume darstellen.

Zentral für die Umsetzung von Industrie 4.0 sind drei strategische Handlungsfelder:

- **Souveränität:** Freie Gestaltungsräume und Selbstbestimmung garantieren Wettbewerbsfähigkeit in digitalen Geschäftsmodellen.
- **Interoperabilität:** Kooperation und offene Ökosysteme ermöglichen Pluralität und Flexibilität.
- **Nachhaltigkeit:** Schlüsselaspekte von Nachhaltigkeit in den I4.0-Ökosystemen der Zukunft sind gute Arbeit und Bildung, Klimaschutz und zirkuläre Wirtschaft sowie gesellschaftliche Teilhabe.

Diese Handlungsfelder sind Gegenstand des Leitbildes der Plattform Industrie 4.0.[2] Sie basieren auf einem breiten gesellschaftlichen Konsens und bieten eine langfristige Orientierung für die weiteren Initiativen.

Im Krisenfall zielt eine richtig verstandene Resilienz auf die flexible oder gar antizipative Umgestaltung unternehmerischer Strukturen oder auch ganzer Wertschöpfungsnetzwerke ab. Entscheidende Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung ist ein tiefgehendes Verständnis des eigenen Systems. Dazu gehören die Geschäftsprozesse, die kritische Rolle einzelner Komponenten innerhalb des Systems sowie deren wechselseitige Abhängigkeiten gegenüber externen Stakeholdern und anderen Faktoren.

Unternehmen weltweit sind fortwährend mit abrupten Veränderungen konfrontiert, wie insbesondere extrem kurzfristig auftretenden, tiefgreifenden Störungen wie die globale Finanzkrise, die Handelskrise oder jüngst die Corona-Pandemie oder Kriege. Aber auch langfristige Veränderungen wie beispielsweise der Klimawandel oder notwendige Transformationsprozesse wie die Digitalisierung stellen besondere Dimensionen der Veränderungen dar, die sich nicht nur auf einzelne Unternehmen, sondern auf Wertschöpfungsnetzwerke als Ganzes auswirken.

Um den wirtschaftlichen Erfolg bzw. das Fortbestehen zu sichern, benötigen Unternehmen daher die Bereitschaft zur Veränderung. Grundlegend hierfür ist daher, die Resilienz als strategischen Wettbewerbsfaktor zu erkennen und zur strategischen Aufgabe der Unternehmensführung zu machen. Darin liegt auch eine enorme Chance: Unternehmen, die lernen, Krisen effektiv zu managen oder sogar komplett zu umgehen, erschließen sich vollkommen neue Marktchancen für die Zukunft. Unternehmen, die wirklich resilient sind, stärken in Krisen ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit und gehen am Ende sogar als Gewinner daraus hervor.

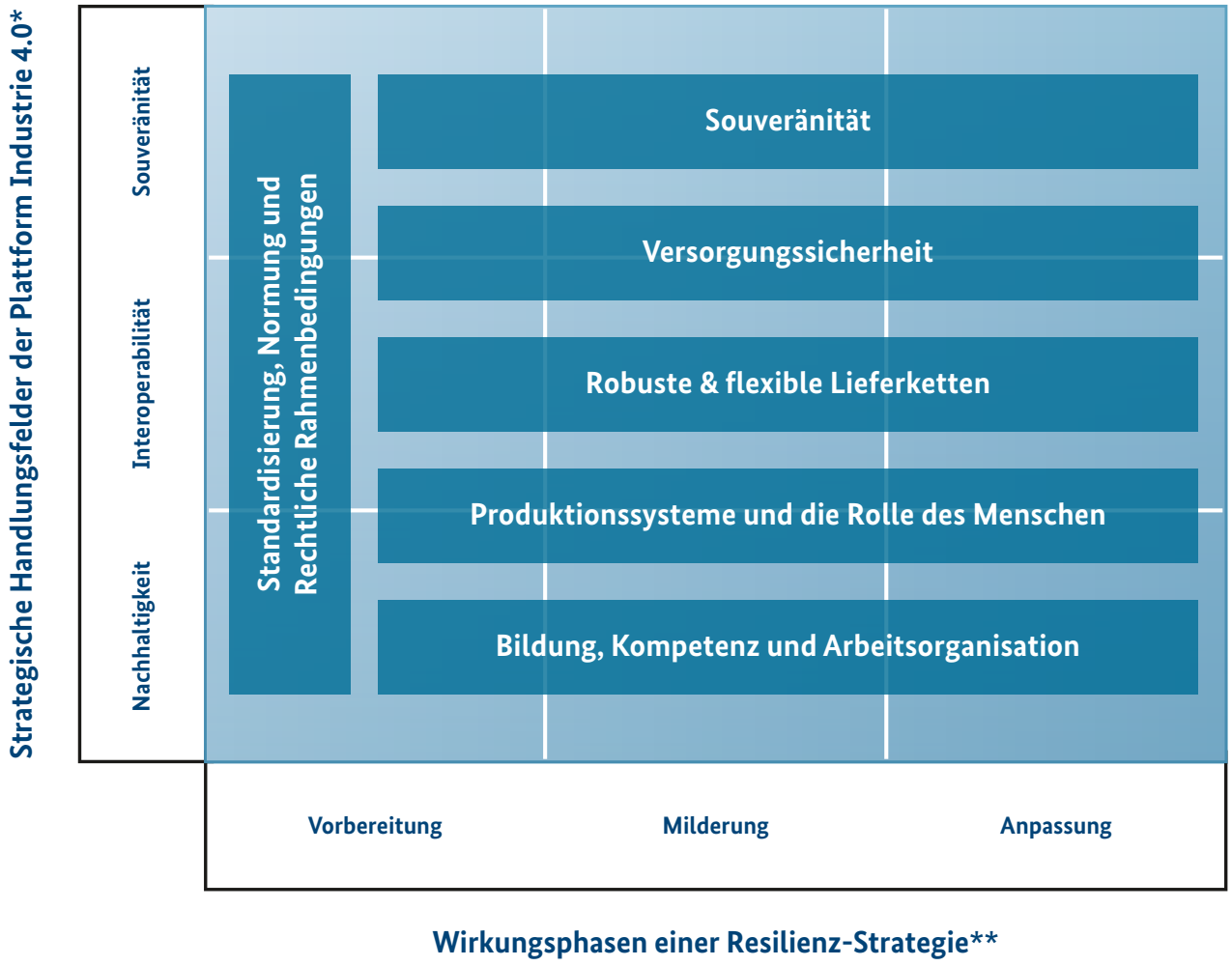
1.3 Ordnungsschema „Resilienz und Industrie 4.0“

Das Ordnungsschema „Resilienz und Industrie 4.0” sortiert die Fokusthemen auf der Waagerechten den Resilienz-Phasen und auf der Senkrechten den strategischen Handlungsfeldern der Plattform Industrie 4.0 zu. Die Fokusthemen dienen im Rahmen der vorliegenden Publikation zur Strukturierung der Handlungsfelder für Resilienz im Kontext von Industrie 4.0. Das Ordnungsschema auf Basis der strategischen Handlungsfelder der Plattform Industrie 4.0 kann dazu genutzt werden, bestehende Aktivitäten, Programme und Projekte aufzuzeigen und zu charakterisieren. Darüber hinaus kann das Ordnungsschema dazu dienen, White Spots in der Themenlandschaft zu identifizieren und Handlungspotenziale für einzelne Stakeholdergruppen abzuleiten.

In den folgenden Abschnitten werden die Fokusthemen der Resilienz im Kontext Industrie 4.0 ausgehend von einer Themenklärung über die Platzierung im Ordnungsschema und der Darstellung der bekannten laufenden oder abgeschlossenen Aktivitäten bis hin zu spezifischen Handlungsempfehlungen beschrieben. Im abschließenden Kapitel des Dokuments werden die Handlungsempfehlungen zusammengetragen und mögliche nächste Schritte in der Gesamtschau identifiziert.

2 Weitere Informationen unter: https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/DE/Industrie40/Leitbild2030/leitbild-2030.html, abgerufen: 11.04.2022.

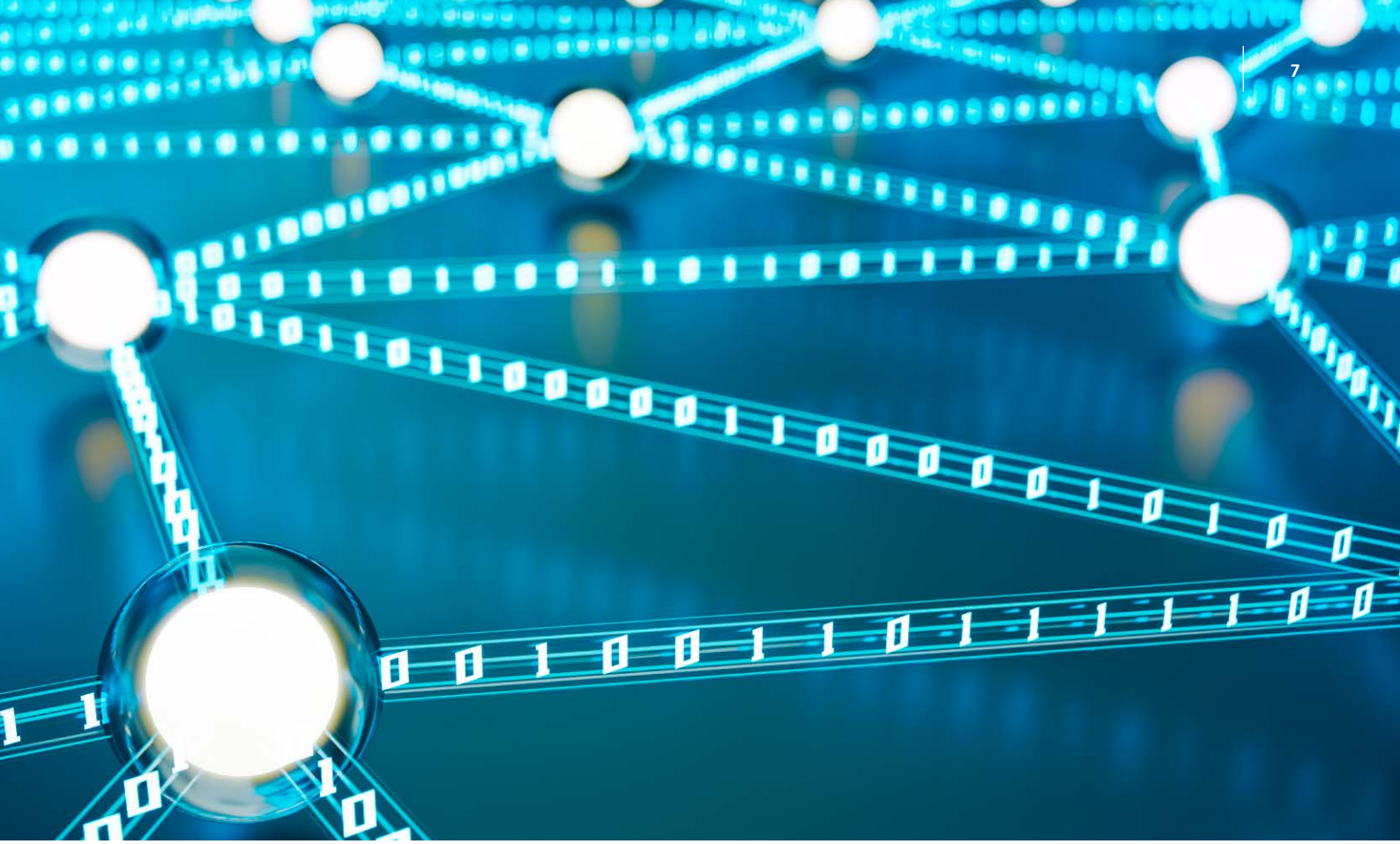
Abbildung 1: Resilienz-Strategie



* **Das Leitbild 2030 der Plattform Industrie 4.0** formuliert einen ganzheitlichen Ansatz zur Gestaltung digitaler Ökosysteme und richtet die Entwicklung von Industrie 4.0 neu aus. Zentral für die Gestaltung digitaler Ökosysteme sind dabei die drei strategischen Handlungsfelder.

** **Eine Resilienz-Strategie** umfasst die Fähigkeit einer Volkswirtschaft, vorbereitende Maßnahmen zur Krisenbewältigung zu ergreifen, unmittelbare Krisenfolgen abzumildern und sich an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen.

Quelle: Auf Basis von: Bertelsmann Stiftung – Resilienz von Staaten gegen Außenwirtschaftskrisen, Schriftenreihe: Inklusives Wachstum für Deutschland, Nr. 22, 2018



2 Fokusthemen von Resilienz im Kontext Industrie 4.0

2.1 Souveränität

Themenklärung – Aspekte der Souveränität im Kontext Resilienz

Souveränität als Leitgedanke betont die Freiheit aller Akteure am Markt, selbstbestimmte, unabhängige Entscheidungen zu treffen und im fairen Wettbewerb über alle Geschäftsphasen hinweg miteinander zu agieren.

Im Datenraum Industrie 4.0 erfolgt der multilaterale Datenaustausch auf Grundlage von Vertrauen in der digitalen Zusammenarbeit zwischen Kooperationspartnern bei Aufrechterhaltung ihrer individuellen Souveränität.

Digitale Zusammenarbeit bedingt digitale Infrastrukturen. Digitale Infrastrukturen umfassen die technischen Infrastrukturen und die Dateninfrastrukturen. Während die technischen Infrastrukturen u. a. Datencenter, Edge Devices sowie flächendeckende Breitband- und Mobilfunkinfrastrukturen umfassen, beschreiben Dateninfrastrukturen die technisch-organisatorischen Ansätze, um Daten im Datenraum Industrie 4.0 souverän und interoperabel zwischen verschiedenen Wertschöpfungsteilnehmenden austauschen zu können. Die digitale Infrastruktur definiert somit den Zugang zu den Ökosystemen der Industrie 4.0 und garantiert pluralistisches Agieren und die Vielfalt am Markt. Eine resiliente digitale Infrastruktur bündelt alle übergreifenden Anforderungen und Dienste, die zur grenz- und sektorenübergreifenden Erfassung, Austausch, Analyse und Anwendung von Daten benötigt werden. Beispiele für solche Ansätze sind unter anderem in GAIA-X[3] und Catena-X[4] zu finden.

Um Souveränität sicherzustellen, muss die digitale Infrastruktur daher für alle Teilnehmenden gleichermaßen offen zugänglich sein und die technisch-organisatorischen Voraussetzungen bieten, dass der Datenaustausch den individuellen Sicherheitsanforderungen an Verfügbarkeit, Integrität und Vertraulichkeit gerecht werden kann.

Neben der Gestaltung der digitalen Infrastruktur kommt der Entwicklung neuer Technologien ebenfalls zur Sicherung der Souveränität eine besondere Bedeutung zu. Als spezifisches Beispiel ist hier die Mikroelektronik zu nennen.

3 Weitere Informationen unter: https://www.gaia-x.eu/, abgerufen: 16.03.2022.

4 Weitere Informationen unter: https://catena-x.net/de/, abgerufen: 16.03.2022.

Einordnung von Souveränität im Kontext von Resilienz im Ordnungsschema

Die Souveränität ist eines der strategischen Handlungsfelder in der Industrie 4.0. Zudem ist die souveräne digitale Zusammenarbeit als Querschnittsaspekt in der Resilienz zu betrachten, da die digitale Infrastruktur als Axiom den offenen Zugang für alle Teilnehmenden verlangt und dadurch die Grundlage für die dauerhafte Umgestaltung der Wertschöpfungsnetzwerke bereitgestellt wird. Die einzelnen Phasen des Resilienzzyklus korrespondieren zudem zu denen der Security. Beginnend bei der Entwicklung eines umfassenden Verständnisses aktueller und aufkommender Risikoszenarien wird eine Fähigkeit entwickelt, Ereignisse möglichst ohne Leistungsabfall zu kompensieren und alle wichtigen kritischen Funktionen trotz einer Unterbrechung oder eines kritischen Ausfalls und Begrenzung der Auswirkungen und Ausfallzeiten fortzuführen. Dabei erfolgt unter anderem die Priorisierung der Datenverfügbarkeit und -integrität während und nach einem störenden Ereignis. Wie in der Einleitung beschrieben, wird das System im Kontext von Resilienz aus Securitysicht so flexibel gestaltet, dass eine dauerhafte Anpassung möglich wird. Das Wissen aus früheren Störungen wird genutzt, um Resilienzprozesse zu verbessern und negative Auswirkungen in der Zukunft zu reduzieren.

Vor diesem Hintergrund ist die Souveränität als Resilienz-überspannendes Fokusthema im Ordnungsschema verortet.

Anknüpfungspunkte für weitere Aktivitäten mit relevanten Stakeholdergruppen:

Offene und flexible Produktionswertschöpfungsketten werden dynamisch auf der Grundlage bilateraler Vereinbarungen genutzt, um bestimmte Geschäftsziele zu erreichen. Dieser bilaterale Charakter der Wertschöpfungskette behindert jedoch die integrative Zusammenarbeit aller Stakeholder entlang der gesamten end-2-end Wertschöpfungskette und erschwert somit die Modernisierung von unternehmensübergreifenden Geschäftsprozessen und die Erfüllung neuer regulatorischer Vorgaben.

Beispiele, die von vollständiger digitaler Transparenz und einem integriertem „souveränen Datenfluss“ innerhalb des gesamten Datenökosystems abhängen, sind unter anderem

- effiziente Rückverfolgbarkeit der Lieferkette und Qualitätsmanagement (insbesondere vor dem Hintergrund des Lieferkettengesetzes),
- modulare Produktion und Fertigung als Dienstleistung zur Erhöhung der Effizienz des OEMs oder eine
- nachhaltige, Umwelt-positive Kreislaufwirtschaft[5] zur Erlangung der international vereinbarten Klimaschutzziele.

Um zukünftige Geschäftsanforderungen zu befriedigen, müssen Unternehmen daher ihre Geschäftsbeziehungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette verbessern. Dazu ist eine multilaterale Zusammenarbeit erforderlich, die einen umfassenden Datenaustausch in einem vollständig interoperablen und souveränen datenorientierten Ökosystem ermöglicht und gleichzeitig die Souveränität der Mitwirkenden schützt. Synonym für diese Anforderungen steht der Datenraum Industrie 4.0. Diesen durchgängigen, für alle Teilnehmenden gleichermaßen zugänglichen Datenraum gilt es unter Einbeziehung des gesamten relevanten heterogenen Akteursfeldes zu errichten.

Vertrauensräume zur zweckbestimmten Zusammenarbeit

Innerhalb des Datenraumes muss die Möglichkeit geschaffen werden, einen Vertrauensraum für den Aufbau von Vertrauensbeziehungen zwischen den Kooperierenden zu errichten. Ein Vertrauensraum Industrie 4.0 legt die Governance für die Anforderungen an eine vertrauenswürdige, zweckbestimmte Zusammenarbeit im Rahmen von Industrie 4.0-Szenarien fest. Die Governance wird von den Teilnehmenden verwendet, um ihre Vertrauensbeziehung zu etablieren und aufrechtzuerhalten. Unter anderem stellt ein Vertrauensraum Industrie 4.0 die Anforderungen für die vertrauenswürdige Identifikation der Akteure und die Verknüpfung mit entsprechenden Credentials bereit, wie auch die Anforderungen an die Nachweisführung für die Qualitäten, z. B. ISO 9000, ISO 27000 Zertifikate. Akteure des Vertrauensraums sind alle Entitäten, z. B. Personen, Unternehmen, Maschinen, industrielle Komponenten, Prozesse, digitale Zwillinge/AASs etc. Eine Standardisierung der Anforderungen an diese Akteure unterstützt souveräne und freie Gestaltungsmöglichkeiten sowie Selbstbestimmung der Marktteilnehmenden in geschützten Datenräumen.

5 CO_2-Neutralität oder Klimaneutralität ist grundsätzlich nicht möglich, sondern nur annähernd und bis zu einem gewissen Reduktionsgrad realistisch erreichbar. Vor diesem Hintergrund schreiben wir von ‚Umwelt-positiv‘, um zu betonen, dass es um resilientere Wirtschaftsaktivitäten geht, welche eher zu einer Verbesserung beitragen, statt die bestehenden Geschäftsmodell- und Wertschöpfungsstrukturen weniger belastend zu gestalten.

2.2 Versorgungssicherheit

Themenklärung – Aspekte der Versorgungssicherheit im Kontext Resilienz

Versorgungssicherheit für die Industrie wird in der aktuellen öffentlichen Diskussion mit der Energiewende und der **stabilen Energieversorgung** von Industrieanlagen in Verbindung gebracht. Weitere Aspekte der Versorgungssicherheit im Kontext der industriellen Wertschöpfung sind zudem die Bedeutung **stabiler Verkehrsträger Straßen und Schiene** sowie die Versorgung der Industrie mit **sicheren und stabilen Kommunikationsnetzen**. Aber auch **Rohstoffe und Technologien** (z. B. Mikroelektronik) gehören diesem Thema an. Weiter gefasste Aspekte der Versorgungssicherheit lassen sich im Bereich der industriellen Nutzung bei den Themen **sichere und nachhaltige Wasser- und Gasversorgung** sowie im Bereich der Innovationsfähigkeit von Industriezweigen bei dem Thema **Bildung und digitale Kompetenzen von Fach- und Führungskräften** ausmachen.

Einordnung von Versorgungssicherheit im Ordnungsschema

Die Aspekte der Versorgungssicherheit lassen sich im Ordnungsschema in allen drei Wirkungsphasen einer Resilienz-Strategie verorten. Da die Aspekte der Versorgungssicherheit außerhalb des Einflussbereiches der Unternehmen bereitgestellte, grundlegende Infrastrukturen umfassen, muss Versorgungssicherheit sowohl in der vorbereitenden Phase einer Resilienz-Strategie zur Erhöhung der Robustheit des bestehenden Systems betrachtet werden als auch in der Anpassungsfähigkeit von Versorgungswegen und entsprechenden Infrastrukturen nach dem Eintreten von unvorhersehbaren Risiken oder Krisen Berücksichtigung finden.

Versorgungssicherheit zielt mit Blick auf die strategischen Handlungsfelder der Plattform Industrie 4.0 primär auf Souveränität sowie sekundär auf Interoperabilität (z. B. gemeinsame, offene Standards und Architekturen) ab und hat zudem vereinzelt indirekte Bezüge zur Nachhaltigkeit (z. B. Energieversorgung).

Anknüpfungspunkte für weitere Aktivitäten mit relevanten Stakeholdergruppen:

Die Aspekte „Energieversorgung“, „Kommunikationsnetze“ sowie „Bildung und digitale Kompetenzen“ werden hoch prioritär eingeschätzt. Daher liegen diese Aspekte im Fokus des vorliegenden Dokuments. Der Aspekt „Bildung und digitale Kompetenzen“ wird im Abschnitt zum Fokusthema **Bildung, Kompetenz und Arbeitsorganisation** diskutiert.

2.3 Robuste & flexible Lieferketten

Themenklärung – Aspekte der Lieferketten im Kontext Resilienz

Durch die zunehmende Globalisierung von Wertschöpfungsnetzwerken nimmt die Komplexität in Lieferketten und Warenströmen stetig weiter zu, wodurch auch die Anfälligkeit für Störungen steigt. Laut einer Umfrage des Bundesverbands Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik war im Jahr 2020 jedes zweite befragte Unternehmen von mindestens fünf Störungen in der eigenen Lieferkette betroffen.[6]

Da die Verfügbarkeit von Materialien eine zentrale Voraussetzung für die breiten Wertschöpfungsnetzwerke der Industrie 4.0 ist, haben Störungen ebendieser Voraussetzung auch einen erheblichen Einfluss auf Unternehmen. Vor diesem Hintergrund scheint evident, dass die Resilienz von Lieferketten für den Wirtschaftsstandort Deutschland von strategischer Bedeutung ist.

Einordnung robuster & flexibler Lieferketten im Ordnungsschema

Für alle Phasen einer Resilienz-Strategie spielen Lieferketten eine wichtige Rolle. Lieferketten sind häufig unternehmensübergreifende und internationale Transport- und Produktionsnetzwerke. Die **Vorbereitung** stellt daher die Wirkungsphase mit dem höchsten Potenzial für Einflussmöglichkeiten auf bevorstehende Krisensituationen dar. An dieser Stelle setzen bereits **Lösungen zum Risiko- und Krisenmanagement** an, welche Lieferketten transparent machen und dadurch Schwachpunkte sowie Alternativen frühzeitig aufzeigen können.

6 Vgl. Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik (2020): Mehr Störungen in der Lieferkette: Schwachstelle Risikoprävention, https://www.bme.de/mehr-stoerungen-in-der-lieferkette-schwachstelle-risikopraevention-3688/, abgerufen: 25.01.2022.

Sind die Auswirkungen der Krise bereits spürbar, helfen gut vorbereitete und möglichst flexible Lieferketten bei der **Milderung**. Wichtige Schritte hierfür sind die verlässliche Identifizierung von Ursachen und deren Auswirkungen sowie die flexible Umstellung auf Alternativen. Jedoch werden in dieser Phase in der Regel die besten Ad-hoc-Lösungen implementiert. Um eine langfristige Steigerung der Resilienz zu ermöglichen, müssen diese fortlaufend evaluiert werden, um auf dieser Basis die vorhandene Resilienz-Strategie regelmäßig anzupassen. Lieferanten, Transportwege und Lagerstandorte können neu bewertet und ergänzt oder neue Produktionsstätten geschaffen werden, bis hin zu Inhouse-Lösungen.

Um eine Lieferkette flexibel und gleichzeitig robust zu halten, bedarf es diverser Voraussetzungen. Die einzelnen Bestandteile der Lieferkette sollen effizient ineinandergreifen und dabei trotzdem größtmögliche Flexibilität gewährleisten.

Anknüpfungspunkte für weitere Aktivitäten mit relevanten Stakeholdergruppen:

Auf Grundlage der obigen Ausführungen ergeben sich für das Fokusthema „Robuste und flexible Lieferketten" zahlreiche Anknüpfungspunkte zur Steigerung der Resilienz. Der wohl zentralste Aspekt ist die Transparenz. Nur mit transparenten Lieferketten lassen sich vorbereitende Maßnahmen treffen und auch die Milderung sowie die Anpassung von Lieferketten ist dann am zielführendsten, wenn eine hinreichende Informationsgrundlage besteht. Da hierfür Daten geteilt werden müssen, muss die Bereitschaft von Unternehmen gesteigert werden, dies zu tun. Die durch das Teilen entstehenden Synergien führen nämlich nicht dazu, dass die teilenden Unternehmen einen Wert verlieren oder aufgeben. Vielmehr führt das Teilen dazu, dass ein Datensatz aus geteilten Daten einen größeren Mehrwert erzeugen kann, als es die Summe seiner Einzelteile könnte. An dieser Stelle können Dokumentationssysteme, die Digitale Produktpässe verwenden, die Akzeptanz steigern, ebenso wie der gemeinsame Zugriff z. B. auf Konstruktions-, Analyse- oder Vertriebsdaten (sog. Datenpools). Voraussetzung hierfür sind geteilte Datenaustauschstandards, die in einzelnen Bereichen bereits bestehen (z. B. im Finanzbereich), aber im Produktions-/Vertriebsbereich eine stärkere Berücksichtigung erfahren können, sowie ein passgenauer und anpassungsfähiger rechtlicher Rahmen, der die automatisierte Übergabe von Daten und Verantwortung regelt. Dies sind Handlungsbereiche, in denen die politischen Entscheidungsträger aktiv werden müssen.

Ein Faktor, der zur Minderung der Widerstandsfähigkeit von Wertschöpfungsnetzwerken beiträgt, ist Abhängigkeit, die sich beispielsweise in Oligo- oder gar Monopolen manifestieren kann. Wenn ein Akteur der Lieferkette der einzige Lieferant hinsichtlich eines Materials ist, kann dies zwar effizient ausgestaltet sein, ist aber mindestens bedenklich hinsichtlich der Robustheit. Ein gutes Beispiel hierfür sind die geopolitischen Abhängigkeiten bei seltenen Rohstoffen und Materialien (wie z. B. bei Nickel, Kobalt und Lithium). Um Unterbrechungen der Lieferkette und die Abhängigkeit von wenigen Lieferanten zu vermeiden, muss die Wiederverwertung (Reuse) und Abfallaufbereitung (Recycling) ein praktikabler Teil einer sowohl dynamischen als auch verantwortungsvollen Beschaffungskultur sein. Bei Lithium-Ionen-Batterien könnten beispielsweise technologisch bis zu 80 % des in Batterien verwendeten Kathodenmaterials für die Batterieproduktion aus alten Batterien in den Kreislauf zurückgeführt werden.[7] Grundlagen für ein effizientes Reuse und Recycling sind ein integriertes Lebenszyklus-Management-System sowie die Verknüpfung vorhandener Normen für Produkte mit den Normen zur Ökobilanzierung sowie die Transparenz der Lieferketten. Eine große Chance ergibt sich durch den Einsatz digitaler Technologien zur übergreifenden Dokumentation der Materialverwendung. Dies erlaubt ein Systems Engineering, das bereits beim Design die Wiederverwendung von Teilen und aufbereiteter Materialien berücksichtigt und gleichzeitig die Lieferketten von komplexen Wertschöpfungsnetzwerken managen kann sowie durch den Einsatz von Ausweichtechnologien die Unabhängigkeit stärkt. So können beispielsweise ansonsten verborgene Potenziale von Produkten für das Recycling und die Kreislaufführung dazu führen, dass Dependenzen von zuliefernden Akteuren gemindert werden. Da die Politik bereits an der Schaffung der Rahmenbedingungen arbeitet, liegt hier der größte Handlungsbedarf bei den Unternehmen, die die bestehenden Standards und Normen zur Ökobilanzierung konsequent anwenden müssen und die Weiterentwicklung ebendieser Standards vorantreiben sollten. Wichtig ist hier auch die Gestaltung einer gesamte Wertschöpfungsnetzwerke umfassenden Form der Ökobilanzierung.

7 Vgl. Leonard Kurz et al., „Global Warming Potential of a New Waterjet-Based Recycling Process for Cathode Materials of Lithium-Ion Batteries", Batteries 2021, 7, 29. https://doi.org/10.3390/batteries7020029, abgerufen: 16.03.2022.

Hinsichtlich des konkreten Einsatzes von Rezyklaten bedarf es des konsequenten Transfers von aktuellen Forschungsergebnissen. Nicht zuletzt liegen in diesem Punkt auch bisher weitestgehend ungenutzte Wertschöpfungspotenziale verborgen, was der Förderung dieser neuen Geschäftsfelder zuträglich sein sollte. Auf der anderen Seite sollten die politischen Entscheidungsträger durch die Schaffung der notwendigen rechtlichen Rahmenbedingungen den Einsatz von Rezyklaten fördern. Handlungsbedarf besteht unter anderem bei der Zuordnung und dem Übergang von Eigentums- und Besitzverhältnissen sowie der Verantwortung für das weitere Recycling oder die nachhaltige Entsorgung.

Abhängigkeiten bestehen aber nicht nur hinsichtlich seltener Rohstoffe. Im Kontext von modernen Engineering-Prozessen sind Spezifikationen zu Bauteilen – sogenannte CAD-Daten – essenziell. Da es aktuell viele unterschiedliche Formate für derartige Datensätze gibt und der Umstieg auf andere Formate in monetärer sowie zeitlicher Hinsicht sehr kostenintensiv ist, stellt diese Form des Lock-In-Effekts ein Hindernis für die Erlangung resilienter Lieferketten dar. Damit eine Lieferkette mit vielen unterschiedlichen Produzenten flexibel und agil sein kann –, also auf unterschiedliche Produzenten zurückgegriffen werden kann – müssen CAD-Daten interoperabel sein, damit eine schnelle und kostengünstige Adaption an Disruptionen möglich ist.

2.4 Produktionssysteme und die Rolle des Menschen

Themenklärung – Aspekte der Produktion im Kontext Resilienz

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung der Industrie haben sich Produktionssysteme massiv weiterentwickelt und verändert. Neue Produktionsorganisationsformen wie die Matrixproduktion, aber auch die Nutzung von Technologien wie der Digitale Zwilling sind gute Beispiele dafür. Neben diesen technischen Aspekten hat sich aber auch die Rolle des Menschen für die Produktion verändert. Durch die Erhöhung der Effizienz von Produktionssystemen hat sich des Weiteren die Komplexität und Anfälligkeit für Disruptionen der Systeme gesteigert.

Da die moderne Produktion heutzutage digitalisiert und vernetzt ist, bildet sie eine aussagekräftige Datenbasis als Grundlage für die resiliente Produktion und den Einsatz innovativer Technologien, die auch eine systematische Früherkennung potenzieller Störungen umfassen sollte. Die resiliente Produktion erfordert, die vorhandenen Ressourcen und die technologischen Innovationen wandlungs- sowie anpassungsfähig zu verknüpfen.

Einordnung von Produktionssystemen und der Rolle des Menschen im Ordnungsschema

Hinsichtlich der Verortung der Produktion in den Phasen ‚Vorbereitung', ‚Milderung' und ‚Anpassung' an Störungen ist leicht ersichtlich, dass die Produktion für alle Phasen eine wichtige Rolle spielt. Als vorbereitende Maßnahme sind beispielsweise das antizipierende Management sowie Predictive Maintenance von zentraler Bedeutung. Im akuten Störungsfall tragen gut integrierte alternative Prozessketten zur Milderung bei, und nachdem die Produktion einen Störfall überwunden hat, müssen die daraus gewonnenen Erfahrungen zur Anpassung der Produktion führen, was gleichzeitig eine Verbesserung der Produktion in Bezug auf die Handlungsfähigkeit bei zukünftigen Störfällen bedeutet.

Da für die Produktion sowohl die technischen Anlagen als auch der Mensch zentrale Rollen spielen, wurde dieses Fokusthema dem Handlungsfeld der Interoperabilität sowie der Nachhaltigkeit zugeordnet. Der Anknüpfungspunkt zur Interoperabilität scheint allein daher evident, dass die intelligente Verzahnung der Anlagen einer Produktionsstätte oder gar mehrerer Produktionsstätten[8] unausweichlich ist, um eine resiliente Produktion zu etablieren. Zusammenarbeit gelingt aber nur, wenn Anlagen – sowie die Standards, mit denen diese Anlagen arbeiten – interoperabel sind. Interoperabilität ist hier aber nicht nur zwischen technischen Anlagen zu verstehen. Die Zunahme von Mensch-Maschine-Schnittstellen ist hier ebenfalls relevant. Eine resiliente Produktion wird auch weiterhin auf den Menschen angewiesen sein. Auch wenn Algorithmen den Zustand der Produktion überwachen, muss doch letzten Endes immer wieder eine ausgebildete Fachkraft die finalen Entscheidungen treffen.

8 Siehe hierzu auch das Kapitel „Robuste & flexible Lieferketten".

Anknüpfungspunkte für weitere Aktivitäten mit relevanten Stakeholdergruppen:

Zentral hinsichtlich der Steigerung von Resilienz in der Produktion und beim Menschen in der Produktion ist der Faktor, dass wir in die Umsetzung kommen müssen. Die identifizierten Anknüpfungspunkte beziehen sich auf Standardisierung (mehr Details finden Sie im Fokusthema **„Standardisierung, Normung und Rechtliche Rahmenbedingungen“**), das Teilen von Daten, den Menschen sowie die Prozessgestaltung.

Standardisierung

Wichtige Grundlage für eine resilientere Produktion ist die Standardisierung. Eine resilientere Produktion beinhaltet ein hohes Maß an Flexibilität und die Möglichkeit der Anpassung der Produktionssysteme und -prozesse. Dies stellt hohe Anforderungen an die Interoperabilität von Systemen sowohl auf der Hardwareseite als auch bei der digitalen Vernetzung sowie im Softwarebereich. Für die genannten Anforderungen ist die Verfügbarkeit von Spezifikationen und Standards elementar, allerdings ist der Prozess zur Erarbeitung von Richtlinien, Normen und Standards sehr langwierig. In Zukunft wird entscheidend sein, dass innovative Technologien schnell erprobt, eingesetzt und umgesetzt werden können. Neben der klassischen Standardisierung kann die Erarbeitung und Anwendung von Open Source und Open Standards zur Beschleunigung beitragen. Hierfür sind eine Akzeptanz und Bereitschaft auf Seiten der Wirtschaft zur stärkeren Kooperation und Offenheit erforderlich. Die Politik muss durch die Rahmengesetzgebung sicherstellen, dass eine sichere und schnellere Zertifizierung von Produkten und Prozessen ermöglicht wird (mehr Details finden Sie im Fokusthema **„Standardisierung, Normung und rechtliche Rahmenbedingungen“**).

Teilen von Daten

Der Aufbau einer resilienteren Produktionslandschaft erfordert ausreichend viele und gute Daten als wesentlichen Rohstoff. Diese sind vielfach vorhanden, sollten aber noch viel mehr als bisher sinnvoll geteilt werden, um Störungen vorhersehen und vermeiden bzw. ihre Folgen abschwächen zu können.

Dazu müssen in weiten Teilen der Wirtschaft die Bereitschaft zum Teilen von Daten motiviert, die Schaffung entsprechender technischer Standards schnell und unkompliziert vorangetrieben und die Teilnahme an vertrauenswürdigen Datenräumen für das souveräne Teilen von Daten (s. o.) zur Normalität werden. Aufbauend auf diesen Grundlagen sollten über Unternehmensgrenzen hinweg integrierte Resilienz-Management-Systeme gemeinsam aufgebaut und intensiv genutzt werden.

Dafür bedarf es eines sicheren Rahmens, der den Aufbau von datengetriebenen Resilienz-Ökosystemen mit den notwendigen politischen Leitplanken unkompliziert, unbürokratisch und international anschlussfähig unterstützt. Globale Produktions- und Lieferketten sowie Absatzmärkte erfordern dringend eine übergreifende Lösung jenseits partikularer Regelungen etwa zum Schutz der Daten.

Schließlich muss ein gesamtgesellschaftlicher Dialog geführt werden, der die Chancen aus einer umfangreicheren Nutzung von Daten betrachtet. Die langfristige Sicherung eines wettbewerbsfähigen Produktionsstandorts erfordert einen sowohl souveränen und angstfreien Umgang mit den eigenen Daten einerseits, aber auch das Bewusstsein der Mitverantwortung für die sinnvolle Nutzbarmachung dieser Daten im Interesse des Gesamtstandorts.

Der Mensch

Themen der Digitalisierung sind in der Regel interdisziplinäre Themen. Dies gilt auch für den Bereich der Resilienz, für den eine Stärkung der Unternehmensvernetzung und Kollaboration im Sinne eines orchestrierten gemeinsamen Handelns notwendig wird. Aus Sicht der Mitarbeitenden erfordert dies ein Verständnis von Aufgaben, Abläufen und Zusammenhängen der Produktion und weiteren Unternehmensbereichen, die über das eigene Handlungsfeld hinausgehen. Das gilt insbesondere bei der Betrachtung von Service- und Lieferketten. Resilienz erfordert mehr Wissen und eine flexiblere Zusammenarbeit, wofür Grundlagen in der persönlichen Weiterbildung und -entwicklung geschaffen werden sollten. Damit der Mensch auch in Zukunft seine Rolle in einer resilienten Produktion wahrnehmen kann, sollte in technisch orientierten Forschungsvorhaben der „Faktor Mensch” als zentraler Aspekt berücksichtigt werden (mehr Details finden Sie im Fokusthema **„Bildung, Kompetenz und Arbeitsorganisation“**).

Prozessgestaltung

Das Ziel von resilienten, alternativen Prozessketten ist es, Flexibilität auf allen Ebenen der Prozessgestaltung, der Produktionssteuerung, Produktionsanlagen und Prozesskettenauslegung, zu schaffen. Unternehmen müssen bereits im Vorfeld von Störungen alternative Prozesse hinsichtlich Verfügbarkeit und Anlagenfähigkeiten berücksichtigen. Besonders die Entwicklungen neuartiger oder die Erweiterungen bereits etablierter Fertigungstechnologien sollten von Unternehmen stets verfolgt und der Einsatz im eigenen Unternehmen als Ergänzung oder Substitution zum bestehenden Portfolio geprüft werden.

Produktions- und Lieferausfälle oder auch die Befriedigung akuter Bedarfe an notwendigen Produkten und Dienstleistungen erfordern zügiges und konsequentes Handeln. Dem gegenüber stehen teilweise aufwendige oder langwierige Vergabeverfahren. Um trotzdem die notwendigen Agilitäts- und Innovationspotenziale freisetzen zu können, sollten temporär beschleunigte Vergabeverfahren die Aufrechterhaltung von Wertschöpfungssystemen insbesondere zur Sicherung der Grundversorgung sicherstellen – natürlich unter Einhaltung der gebotenen Sicherheitsstandards. Weiterhin müssen auf allen Ebenen und im politisch-gesellschaftlichen Dialog die Weichen für kollaborative und interdisziplinäre Resilienzforschung gestellt werden. Nur so lässt sich die Wettbewerbsfähigkeit am Wirtschaftsstandort Deutschland auch langfristig sicherstellen.

2.5 Bildung, Kompetenz und Arbeitsorganisation

Themenklärung – Aspekte der Bildung, Kompetenz und Arbeitsorganisation im Kontext Resilienz

Die in den vorangegangenen Ausführungen aufgezeigte deutliche Komplexitätssteigerung im Bereich Technik führt zu einem massiven Veränderungsdruck und damit einhergehend zu einem „Change Stress“ für Unternehmen und seine Beschäftigten, dem mit neuen Konzepten in Bildung, Kompetenzentwicklung und Arbeitsorganisation entgegengewirkt werden muss. Letztlich sind es nämlich die einzelnen Beschäftigten, die über die Veränderungs- und Innovationsfähigkeit von Unternehmen entscheiden.

Damit diese dazu in der Lage sind, müssen sie resilient werden, denn die disruptiven Entwicklungen einer Industrie 4.0 verändern nicht nur Methoden, Medien und Werkzeuge der Arbeitsgestaltung; sie verändern Arbeitsinhalte, Arbeitsstrukturen und die Zusammenarbeit zwischen Menschen sowie zwischen Menschen und Maschinen. Diese Veränderungen fordern uns auf allen Ebenen heraus: Staat, Sozialpartner, Unternehmen und Individuen. Insbesondere wird dieser Trend zu einem erheblichen Kompetenz-Shift führen: Die Digitalisierung in Unternehmen kreiert neue Tätigkeiten und Jobs – bestehende Tätigkeiten und Jobs verändern sich und werden teils deutlich anspruchsvoller.

Auf der einen Seite ist Resilienz vielleicht die Metakompetenz zwischen einer guten Nutzung und der Balance unserer Ressourcen, auf der anderen Seite eine entscheidende Grundlage, um in einem dynamischen System wie der Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity (VUCA)-Welt erfolgreich zu arbeiten. Nicht zuletzt spielt Resilienz aber auch für das Individuum eine entscheidende Rolle.

Resiliente Menschen besitzen die Fähigkeit, mit Stress und Unsicherheit wirkungsvoll umzugehen, indem sie sich ihrer eigenen Ressourcen bewusst sind und diese zu nutzen wissen (Handlungskompetenz). Individuelle Resilienz-Trainings, aber auch Team-Trainings und organisationale Trainings, z. B. mit den Schwerpunkten Achtsamkeit und Fehlerkultur, sollten zur Basiskomponente im Wandel werden.

Trotz der Automatisierung wird der Mensch weiterhin im Mittelpunkt der Wertschöpfung stehen. Adäquat qualifizierte Beschäftigte sind die wichtigste Ressource und der größte Innovationstreiber jedes Unternehmens. Damit wird die berufliche Weiterbildung mit Blick auf die Fachkräftesicherung zum Game Changer. Qualifizierung wird zum Wettbewerbsvorteil.

Einordnung von Bildung, Kompetenz und Arbeitsorganisation im Ordnungsschema

Hinsichtlich der Resilienz von Industrie 4.0 spielen die (berufliche) Bildungs- und die Arbeitsorganisation eine zentrale Rolle. In Bezug auf die Phasen einer konkreten Resilienz-Strategie besteht der erste Anknüpfungspunkt in der Vorbereitung auf die Vermeidung/Behebung von Störfällen. Hervorzuheben ist, dass die Vorsorge in jedem Fall zu präferieren ist. Gut vorbereitete Beschäftigte sorgen dafür, dass Disruptionen gar nicht erst jene Wellen schlagen können, die zu Störungen im Betriebsablauf führen. Zur Etablierung einer erfolgreichen Qualifizierungsstra-

tegie muss die Qualifizierung in die betrieblichen Abläufe integriert sein. Hier zahlt sich eine Ausrichtung der Strategie an den mittel- bis langfristigen Unternehmenszielen sowie den Unternehmenswerten aus und erzeugt Synergien bezüglich strategischer Personalplanung. Wichtig ist in diesem Kontext auch ein funktionierendes Kompetenzmanagement.

In immer komplexer werdenden Systemen und Prozessen brauchen Beschäftigte die Fähigkeit, Kausalitäten fachbereichsübergreifend zu erkennen und daraus richtige Entscheidungen ableiten zu können. Ein wichtiger Grundstein für interdisziplinäres Denken muss bereits in der Ausbildung gelegt werden, indem auch fachliche Inhalte aus anderen Berufsfeldern vermittelt werden.

Digitale Grundkompetenzen und digitale Awareness sind Voraussetzungen, um Hard- und Software in verschiedenen Anwendungsszenarien und Konstellationen zu nutzen. Aber auch informell erworbene Schlüsselqualifikationen, wie kreative Problembewältigungskompetenzen, anspruchsvolle Kommunikationsfähigkeiten und interdisziplinäres Denken, helfen bei der Milderung im Falle einer Störung. In diesem Kontext spielt besonders das E-Learning eine zentrale Rolle. Die Fähigkeit, digitale Tools wie z. B. Checklisten, Erfahrungswissen in IT-Systemen, Dashboards zur Datendarstellung, IT-Werkzeuge für einfache Softwarekonfigurationen (durch Facharbeiter) zu nutzen, sowie ein Verständnis für Zusammenhänge und Daten schaffen die Grundlage für eine souveräne Reaktion im Falle einer Störung und tragen letztendlich zur Robustheit der Produktion bei.

Neben der Vorbereitung und Milderung ist auch die Phase der Anpassung zentral für eine umfassende Resilienz-Strategie. Erfahrungen aus aufgetretenen Störungen sowie Entwicklungen (inkl. disruptiver Entwicklungen) können bewertet und Prozesse zur Förderung der Resilienz verbessert werden. Hierbei spielen Faktoren wie Unternehmenskultur, Führung und Werteorientierung eine wichtige Rolle. Wird Resilienz (vor)gelebt, wirkt sich dies ebenso vorteilhaft aus, wie das In-Betracht-Ziehen von Veränderungen und dem Transfer von Wissen, um Erfolg im Unternehmen zu fördern. Die Aufrechterhaltung eines gewissen Maßes an Resilienz ist ein lebensbegleitender Prozess, der vorwiegend eigenmotiviert/intrinsisch stattfindet. Unterstützend beitragen können, neben den vorher genannten Faktoren, beispielsweise das Leben einer Fehlerkultur, gute Kenntnisse über Prozesse & Methoden sowie bereitgestellte Checklisten oder eine klare Struktur & Kommunikation.

Anknüpfungspunkte für weitere Aktivitäten mit relevanten Stakeholdergruppen:

Förderung von Digitalkompetenz

Wie nicht zuletzt die Ausführungen des Fokusthemas „Bildung, Kompetenz und Arbeitsorganisation“ gezeigt haben, sind die Anforderungen an die Beschäftigten nach wie vor immens. Schlüssel zur Bewältigung dieser Herausforderungen ist die Steigerung der Digitalkompetenz. Stellschrauben zur Förderung dieser Kompetenz liegen chronologisch betrachtet bereits in der Schulbildung. Hier ist die Politik gefragt, entsprechende Bausteine für Lehrpläne zu entwerfen und weiterzuentwickeln. Die Digitalkompetenz darf hier aber nicht als isolierte Kompetenz betrachtet werden. Vielmehr betrifft diese Kompetenz alle Fachbereiche, da auch alle Fachbereiche von der Digitalisierung beeinflusst werden. Dasselbe gilt für die weiterführende Bildung.

Chronologisch nachgelagert, aber nicht minder komplex, sind berufsbegleitende Weiterbildungsprogramme. Auch hier muss die Digitalkompetenz als übergreifende Kompetenz verstanden werden, die sowohl die Buchhaltung als auch die Fertigung angeht. An dieser Stelle sind die Akteure der Wirtschaft sowie die Politik mit konkreten Programmen und Förderaufträgen gefragt.

Gesundheitsschutz

Dieser Anknüpfungspunkt muss maßgeblich von den Akteuren der Wirtschaft verfolgt werden. Neben der Fähigkeit, souverän mit den digitalen Tools der modernen Produktion umgehen zu können, ist die Resilienz auch auf persönlicher Ebene der Beschäftigten zentral. Um eine möglichst hohe Resilienz im Sinne von Bewältigungsstrategien in besonders unsicheren und stressigen Situationen der Beschäftigten zu erlangen, ist es maßgeblich entscheidend, dass sie auch ihre beruflichen Anforderungen als transparent und nachvollziehbar, bewältigbar und sinnhaft erfahren (Kohärenzgefühl). Eine darauf abzielende Arbeitsorganisation kann über die Erarbeitung eines Leitbilds erfolgen, welches die Beteiligung und Befähigung der Beschäftigten fördert. Die Belegschaft ist in die Erarbeitung unbedingt zu involvieren. Leitbilder sollten sowohl auf die Nachhaltigkeit und den gesellschaftlichen Nutzen der Produkte des Unternehmens ausgerichtet sein als auch lernförderliche Arbeitsbedingungen schaffen und mit Blick auf neue Technologien die Entscheidungshoheit über Abläufe

bei den Menschen verankern. Neuerungen im Unternehmen sind daraufhin zu prüfen, ob sie mit den im Leitbild verankerten Zielen im Einklang stehen.

Kreativität & Lernkultur

Bei der Unternehmenskultur setzt auch der Aspekt der „Kreativität & Lernkultur" an. Hier ergeben sich Handlungsbedarfe für die Wirtschaft und die Politik. Im Bereich der Wirtschaft muss an einer Verbesserung des gemeinschaftlichen Miteinanders, z. B. durch lokale Vernetzung von Menschen, Einladen zu Diskussionen und durch gemeinsames Lösen von gesellschaftlichen Fragen, um aktiv Veränderungen zu bewirken oder (neue) Potenziale sichtbar zu machen, gearbeitet werden. Selbstwirksamkeitserfahrungen der Belegschaft sind für eine derartige Entwicklung förderlich. Die Politik sollte die Entwicklung einer lebendigen Fehlerkultur fördern. Wachstum kann auch durch eine Niederlage entstehen. Neue Formen des (lebensbegleitenden) Lernens sind voranzutreiben, damit sich die Kreativität der Belegschaften entfalten kann und vorhandene Ressourcen erfolgreich genutzt werden können. Auch unternehmensinterne Anreizsysteme können sich in diesem Zusammenhang kreativitätsfördernd auswirken.

2.6 Standardisierung, Normung und rechtliche Rahmenbedingungen

Themenklärung – Aspekte der Standardisierung, Normung und rechtlichen Rahmenbedingungen im Kontext Resilienz

Industrie 4.0 wird auch deshalb als industrielle Revolution bezeichnet, weil sie das Potenzial hat, die etablierten Strukturen der industriellen Wertschöpfungskette aufzubrechen und neu zu definieren. Dies betrifft auch die Rolle von Normung und Standardisierung.

Ein Standard ist eine vergleichsweise einheitliche oder vereinheitlichte, weithin anerkannte und meist angewandte (oder zumindest angestrebte) Art und Weise, etwas zu beschreiben, herzustellen oder durchzuführen, die sich gegenüber anderen Arten und Weisen durchgesetzt hat oder zumindest als Richtschnur gilt.

Normen sind vom Markt initiierte Dokumente, die in einem freiwilligen und konsensbasierten Prozess erarbeitet werden. Ihr Erfolg beruht auf der Orientierung an Marktrelevanz und Praxistauglichkeit sowie ihrer Legitimierung durch die Teilnahme der interessierten Kreise am Erarbeitungsprozess. Normung hat daher für die Funktionsfähigkeit der Wirtschaft eine herausragende Bedeutung.

Normung ist ein erprobtes Element zur Entlastung des Gesetzgebers und fördert eine praxisnahe, schlanke, dynamische und damit innovationsfreundliche Regulierung. Das Europäische System des New Legislative Framework (NLF), bei dem Europäische Normen die grundlegenden Anforderungen von Gesetzesakten konkretisieren, ist ein Erfolgsbeispiel. Entscheidend für diesen Erfolg ist das Vertrauen, das alle am europäischen Normungsprozess Beteiligten den Europäischen Normungsorganisationen (CEN, CENELEC und ETSI) entgegenbringen. Diese Organisationen arbeiten nach europäischen Werten und unterstützen gleichzeitig die europäische Wettbewerbsfähigkeit im globalen Handel durch ihre starken Verbindungen zur internationalen Normung (ISO, IEC). Die konsequente Anwendung des NLF in Europa verhilft den europäischen Expertinnen und Experten bei der internationalen Normung zum Erfolg. Das Argument, „wenn wir es so formulieren, dann passt es für den EU-Rechtsrahmen", in Verbindung mit dem nationalen Delegationsprinzip „one country one voice" ist oftmals ein entscheidender Erfolgsfaktor für den Einfluss europäischer Expertinnen und Experten. Umgekehrt gilt, dass eine Schwächung des NLF durch Bürokratie und langwierige Prozesse den weltweiten Einfluss Europas schwächt.

Einordnung von Standardisierung, Normung und rechtlichen Rahmenbedingungen im Ordnungsschema

Standardisierung, Normung und rechtliche Rahmenbedingungen lassen sich im Ordnungsschema in den Wirkungsphasen „Vorbereitung" und „Anpassung" einer Resilienz-Strategie verorten, wobei die Anpassungsphase auch immer als Vorbereitungsphase gesehen wird. Das Erarbeiten von Standards und Normen sowie das schaffen rechtlicher Rahmenbedingungen haben immer einen grundlegenden bzw. vorbereitenden Charakter. Sie Schaffen die Grundlagen für Zusammenarbeit und wirtschaftliches Handeln aller Beteiligten nach einheitlichen und anerkannten Regeln. Standards, Normen und rechtliche Rahmenbedingungen haben durch ihre Entwicklungs- und Überarbeitungsprozesse auch immer einen Anpassungsbestandteil.

Mit Blick auf die strategischen Handlungsfelder der Plattform Industrie 4.0 zahlen die Themen Standardisierung, Normung und rechtliche Rahmenbedingungen auf alle drei Leitbildaspekte (Souveränität, Interoperabilität und Nachhaltigkeit) gleichermaßen ein.

Anknüpfungspunkte für weitere Aktivitäten mit relevanten Stakeholdergruppen:

Technologische Souveränität als strategischer Faktor im globalen Wettbewerb

Resiliente digitale Infrastrukturen sind eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche digitale Transformation der Wirtschaft – ohne digitale Infrastrukturen keine Industrie 4.0. Im Gegensatz zu „analogen" Infrastrukturen, wie z. B. Verkehrswegen, werden digitale Infrastrukturen und deren Technologien zumeist privatwirtschaftlich entwickelt, aufgebaut und betrieben. Gleichzeitig gibt es zahlreiche staatliche Anforderungen an die Nutzung digitaler Infrastrukturen, wie z. B.: DSGVO oder KRITIS, sowie privatrechtliche Anforderungen, wie z. B. der Schutz geistigen Eigentums oder die Wahrung von Geschäftsgeheimnissen.

Hier kann Normung die Brücke zwischen regulatorischen und technischen Anforderungen an die digitale Infrastruktur auf der anderen Seite schlagen. Geeignete Normen, die Anforderungen an Cybersicherheit beschreiben und Basis für ihre Prüfung sein können, helfen bei der Versachlichung der Debatte bezüglich des Einsatzes von Produkten aus dem Ausland. Daraus ergibt sich, dass die Fähigkeit zur Beschreibung geeigneter Prüfanforderungen an digitale Infrastrukturen als Teil der Daseinsfürsorge verstanden werden kann.

Strategische Relevanz von Standardisierung und Normung

Normen und Standards sind ein wichtiges Instrument, um Innovationen im Markt zu verbreiten. Erst mit Hilfe von Normen wird eine technologische Basis geschaffen, auf der Unternehmen in den Wettbewerb um das beste Produkt in dieser neuen Technologie treten können.

Normen finden sich dort, wo eine hohe Stabilität gefordert ist und eine breite Stakeholder- und Domain-übergreifende Akzeptanz die breite Anwendung ermöglicht. Dies gilt insbesondere zur Unterstützung bei der Erfüllung von technischen Vorgaben in Gesetzen, aber auch bei der Festlegung langfristiger und international anerkannter Prinzipien.

Erfolgreiche Normung ist ein wichtiges Instrument im globalen Wettbewerb. Dies gilt insbesondere im Kontext der globalisierten Wirtschaft. Zum reinen Technologiewettbewerb tritt der Wettbewerb der politischen Systeme hinzu. Hier beobachten wir eine rasant zunehmende Partizipation und damit einhergehende Dominanz von Unternehmen aus Asien. Insbesondere China betrachtet Normung als geostrategischen Faktor und treibt mit staatlicher Unterstützung massiv Normungsaktivitäten auf nationaler und internationaler Ebene voran. Standards haben unserer heutigen Wirtschaftsstärke den Weg geebnet. Doch in den letzten Jahren haben weitere Länder nachgelegt. Wie entschlossen wir hier unsere Erfolgsgeschichte fortschreiben und unsere Interessen gegenüber unseren Wettbewerbern vertreten, ist die zentrale wirtschaftspolitische Frage für Europa im 21. Jahrhundert.

Standardisierung und Normung sollten als Instrumente der technologischen und wirtschaftlichen Souveränität verstanden und genutzt werden.

Im Konsens erarbeitete Standards und aus Europa getriebene internationale Normung sollten aktiv als Instrumente genutzt werden,

- um ein „Level Playing Field" zu definieren, bei dem auch ein KMU seine Bedürfnisse und Anforderungen gegenüber einem Hyperscaler durchsetzen kann,
- um zentrale Punkte der gesellschaftlichen Agenda wie Nachhaltigkeit und Datenschutz in die internationale Normung und damit in internationale digitale Geschäftsmodelle einbringen zu können,
- um als Transferinstrument systematisch im Rahmen von Innovationsprojekten eingesetzt zu werden. Normen und Standards sollten hier zur Beschreibung des Stands der Technik zu Beginn des Projekts berücksichtigt werden und/oder das Potenzial für die Erarbeitung eines Standards sollte zu Beginn des Projekts untersucht werden.

Wirtschaft und Politik sollten gemeinsam die aus deutscher und EU-Perspektive relevanten strategischen Schlüsseltechnologien für Industrie 4.0 ermitteln und Standardisierungsarbeiten in diesen Bereichen forcieren.

Diese Schlüsseltechnologien und die damit verbundenen Herausforderungen für die Normung und Standardisierung sollten bei der Arbeit zur Normungsroadmap Industrie 4.0[9] aufgegriffen und durch entsprechende Handlungsempfehlungen beschrieben werden. Sie stellen einen geeigneten Rahmen für den Dialog zw. Wissenschaft, Wirtschaft und Politik und internationalen Partnern dar.

Nationale und europäische Politik sollte im Dialog mit der Wirtschaft und den Normungsorganisationen bestrebt sein, optimale Rahmenbedingungen für eine international erfolgreiche Normungsarbeit zu schaffen.

Dies beinhaltet auch ein Entgegenwirken einer weiteren Fragmentierung der technischen Regelsetzung, da dies die Beteiligungsmöglichkeiten von kleinen und mittleren Unternehmen und sogar von kleineren und mittleren Konzernen einschränkt und die Möglichkeit von sehr großen außereuropäischen Konzernen stärkt.

Die Politik sollte in Abstimmung mit der Wirtschaft und den Normungsorganisationen

- Fördermodelle inhaltlich auf die priorisierten Handlungsfelder der Normungsroadmap Industrie 4.0 beziehen – und zwar sowohl der technischen Expertinnen und Experten als auch der Normungsorganisationen.

- Weitere mögliche Instrumente wie die Einführung einer steuerlichen Förderung für aktiv an der Normung beteiligte Unternehmen und die finanzielle Förderung der deutschen Projektleitung und Beteiligung in den identifizierten Bereichen sollten betrachtet werden.

Die Politik sollte eine konsequente Einführung der Normung im Rahmen des NLF für neue Rechtsbereiche im Kontext Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Souveränität anstreben.

Dies erfordert

- eine kritische Überprüfung und Anpassung der Rahmenbedingungen für die Erstellung von Normungsaufträgen an die Europäischen Normungsorganisationen durch die Europäische Kommission sowie die Bewertung und Zitierung europaweit harmonisierter Normen,

- die pilothafte Anwendung des NLF für ausgewählte Themen der Digitalisierung, wie dem Digitalen Typenschild, dem Digitalem Produktpass und Rahmenbedingungen für Cloud-Dienste (GAIA-X),

- eine klare Trennung zwischen technischen Anforderungen und Festlegungen (die in Normen beschrieben werden sollen) auf der einen Seite und rechtlichen Anforderungen (die in Gesetzen, Richtlinien, Verordnungen, … beschrieben werden sollen) auf der anderen Seite.

Quellen:

DIN (2021): DIN-Positionspapier Normen und Standards als Instrumente zur Umsetzung politischer Ziele, https://www.din.de/resource/blob/792162/ce561b0a5d15934961ec15d12b7805e2/21-04-zweiseiter-zur-bundestagswahl-2021-data.pdf, abgerufen: 11.04.2022.

BDI (2021): Akut-Programm für mehr Normungspower, https://bdi.eu/publikation/news/akut-programm-fuer-mehr-normungspower/#:~:text=Normung%20hat%20f%C3%BCr%20die%20Funktionsf%C3%A4higkeit,in%20der%20internationalen%20Normung%20durchzusetzen, abgerufen: 11.04.2022.

Fraunhofer-Gesellschaft e.V. (2021): WER SIE GESTALTET, BEHERRSCHT DEN MARKT: NORMEN UND STANDARDS, https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/presse-medien/2021/april/fraunhofer-positionspapier-normen-und-standards.pdf, abgerufen: 11.04.2022.

DKE (2021): Mit Normen und Standards das digitale Jahrzehnt gestalten, https://www.dke.de/resource/blob/2090254/846ed1496e92f54817321d80049c1542/dke-positionspapier-politik---pdf-data.pdf, abgerufen: 11.04.2022.

9 Weitere Informationen unter: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Normungsroadmap_I4.0.html, abgerufen: 08.04.2022.

3 Fazit

3.1 Übergreifende Handlungsbereiche

Die besondere Herausforderung der Resilienz ist, dass die Maßnahmen unabhängig von dem Grund der Krise greifen müssen. Beispielsweise bei Pandemien, Naturkatastrophen und geopolitischen Entwicklungen unterschiedlichster Art etc.

Aus den identifizierten Fokusthemen von Resilienz im Kontext Industrie 4.0 können daher drei Handlungsbereiche für die Entwicklung einer Resilienz-Strategie abgeleitet werden: Souveränität durch offene, interoperable und sichere Datenökosysteme, Versorgungssicherheit sowie Flexibilität und Wandlungsfähigkeit unter Nutzung neuer Technologien.

3.1.1 Souveränität durch offene, interoperable und sichere Datenökosysteme

Unternehmen müssen ihre Geschäftsbeziehungen im gesamten Wertschöpfungsnetzwerk neu gestalten können. Dazu ist eine multilaterale Zusammenarbeit erforderlich, die einen umfassenden Datenaustausch in einem vollständig interoperablen und souveränen Datenökosystem ermöglicht und gleichzeitig die Souveränität der Mitwirkenden schützt. Synonym für diese Anforderungen steht der Datenraum Industrie 4.0, in dem heterogene Datenökosysteme übergreifend zusammenarbeiten können. Diesen durchgängigen, für alle Teilnehmenden gleichermaßen zugänglichen Datenraum gilt es unter Einbeziehung des gesamten relevanten heterogenen Akteursfeldes zu errichten. Gleichzeitig soll die Möglichkeit zum vertrauenswürdigen, bilateralen Datenaustausch oder zur Datenprozessierung in der selbstkontrollierten Sicherheitsdomäne unbenommen bleiben.

- Gestaltung eines durchgängigen Datenraums Industrie 4.0 unter Beteiligung der aktuellen Initiativen und Organisationen als Referenzframework.
- Erarbeitung übertragbarer Konzepte für die Entwicklung von Datenökosystemen im Datenraum Industrie 4.0.
- Sicherung der Anschlussfähigkeit des Datenraums Industrie 4.0 an Datenräume anderer Sektoren.
- Fähigkeiten und Kapazitäten zur Entwicklung und Fertigung neuer Technologien.

3.1.2 Versorgungssicherheit

... für industrielle Interessen

Die deutsche Industrie sollte für sie relevante Ressourcen, wie (Daten-)Rohstoffe, Zulieferprodukte, (digitale) Infrastrukturen, kritische Technologien und Kompetenzen, identifizieren und proaktive Strategien zu deren Sicherung in ausreichender Verfügbarkeit auch mit der Politik entwickeln.

Ausgewählte Beispiele hierfür können sein:

- Implementierung von Systemen zum transparenten, unternehmensübergreifenden Monitoring von Lieferketten und -netzwerken, auf deren Basis Ansätze zu Shared Production und Multiple Scourcing realisiert werden können.
- Versorgungssicherung durch Kreislaufführung von Rohstoffen. Beispielsweise umsetzbar durch eine Erweiterung der Verwaltungsschale um ein Lebenszyklus-Teilmodell.
- Stabile Energieversorgung sowohl in Bezug auf Energieträger (erneuerbare) und stabile und sichere Energienetze.
- Stabile und schnelle Kommunikationsinfrastrukturen wie 5G-Netze.

... für gesellschaftliche Funktionen

Die Politik sollte relevante Produkte und Dienstleistungen identifizieren, die der Gesellschaft für die Überwindung von Krisensituationen wie Naturkatastrophen und Pandemien zur Verfügung stehen sollten. Für diese Produkte und Dienstleistungen müssen proaktive Strategien zu deren Sicherung in ausreichender Verfügbarkeit im engen Schulterschluss mit den relevanten Industrien entwickelt werden.

Operationalisierung von Minimalversorgungskonzepten durch:

- Erfassung des Status quo von Minimalversorgungskonzepten.
- Anreizsysteme für die Beteiligung der Industrie.
- Übertragbare Ansätze für geeignete Rechtsformen zur Umsetzung der Kooperationen von privaten und öffentlichen Akteuren.

3.1.3 Flexibilität und Wandlungsfähigkeit unter Nutzung neuer Technologien

... für Produktion und Dienstleistungen

Die deutsche Industrie muss die eigenen Produktionsprozesse, Geschäftsmodelle und Dienstleistungsangebote immer neuen Anforderungen und Rahmenbedingungen flexibel anpassen können und den Grad der Wandlungsfähigkeit signifikant erhöhen können.

Ausgewählte Beispiele hierfür können sein:

- Förderung der Interoperabilität durch Normen und Standards.
- Implementierung von Ansätzen zur Erweiterung der Produktionskompetenzen und -kapazitäten. Beispielsweise durch Shared Production und Matrixproduktion.
- Anwendung der Verwaltungsschale zur Unterstützung des Engineering und der Simulation zum Nachweis der Prozessfähigkeit alternativer Prozessrouten.

... für Bildung, Kompetenz und Arbeit

Durch die Handlungsbereiche von Resilienz im Kontext von Industrie 4.0 ergeben sich neue Anforderungen an die Kompetenzen von Mitarbeitenden. Die Sozialpartner müssen daher diese Anforderungen spezifizieren und geeignete Angebote für Bildung und Kompetenzaufbau gemeinsam mit der Politik entwickeln sowie neue Formen der Arbeitsorganisation in der Industrie etablieren.

Ausgewählte Beispiele hierfür können sein:

- Interdisziplinäres Grundverständnis bei der Aus- und Weiterbildung.
- Konsequenter Kompetenztransfer aus der Forschung in die Betriebe.
- Bestandsaufnahmen zum Status der digitalen Skills in der Belegschaft. Hier gibt es bereits zahlreiche „Checks“, wie im Anhang dargestellt.
- Durch Vertrauensleute oder Mentorinnen und Mentoren begleitete Weiterbildungsangebote zum Ausbau der digitalen Kompetenzen der Mitarbeitenden.

Wirtschaftliche Interessen stehen nicht immer im Einklang mit staatlicher Fürsorge. Daher sind die identifizierten Handlungsbereiche Teil eines Spannungsfeldes.

Das Handlungsfeld Digitale Souveränität liegt beispielsweise aus Sicht der Plattform Industrie 4.0 im besonderen Interesse der Industrie und wird bereits durch die Politik unterstützt. Die Handlungsbereiche Versorgungssicherheit sowie Flexibilität und Wandlungsfähigkeit unter Nutzung neuer Technologien liegen im Interesse beider Stakeholder, wobei die Fokusse, wie oben beschrieben, durchaus unterschiedlich sind.

3.2 Umsetzung

Die Lösungsbeiträge zu den übergreifenden Handlungsbereichen auf dem Weg zu einer resilienten Industrie und Gesellschaft sollten zwischen den Stakeholdern Politik und Industrie austariert werden.

Die zukünftige Bearbeitung des Themas sollte daher im Diskurs von Industrie, Politik, relevanten Bundesbehörden, Forschung und Entwicklung sowie Vertretern der Zivilgesellschaft auf Führungsebene unter ethischer Begleitung erfolgen. Die Plattform Industrie 4.0 kann hier als breit aufgestelltes Netzwerk eine wesentliche Rolle einnehmen.

Dieser Diskurs könnte in bestehende oder geplante Aktivitäten der Bundesregierung eingegliedert werden, beispielsweise als Teil des geplanten Deutschen Aufbau- und Resilienzplans.

Die in dem vorgeschlagenen Gremium erarbeiteten, strategischen Ziele und Allianzen sollten durch unterstützende, themenspezifische Arbeitsgruppen und Taskforces bis auf operative Instrumente und konkrete Maßnahmen heruntergebrochen und bis in die Umsetzung begleitet werden.

Für den Fall, dass eine Eingliederung des vorgeschlagenen Gremiums in bestehende Aktivitäten nicht möglich sein sollte, scheint es geboten, das Thema Resilienz im Kontext von Industrie 4.0 in einem eigenständigen Gremium, etwa einem Deutschen Resilienzrat Industrie 4.0, mit dem vorgeschlagenen Ansatz weiter zu bearbeiten.

4 Anhang – Beispielhafte Aktivitäten in den Fokusthemen

4.1 Beispiele zu Souveränität

Cybersicherheit

Eine Umfrage des VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.)[10] hat gezeigt, dass Maschinenbauer das Risiko für ein ungewolltes Eindringen dritter Personen über Remotezugänge für eher unwahrscheinlich halten. Dabei sind die größten Einfallstore für Ransomware-Angriffe nicht schadhafte E-Mails, sondern gerade schlecht gesicherte Remotezugänge auf Maschinen und Anlagen. Unzureichender Zugriffsschutz bedeutet, dass lediglich Benutzernamen und Passwort erforderlich sind. Daher zielen aktuelle Projekte darauf ab, dass Hersteller erst nach vorheriger Absprache remote auf die Maschine zugreifen können, dass alle Mitarbeitenden die unbedingte Notwendigkeit für Awareness in der Cybersicherheit verstanden haben und dass Einkaufsrichtlinien für Remote-Zugriffe erstellt und Lieferfirmen darauf verpflichtet werden.

Ein funktionierendes Cybersicherheitskonzept ist daher ein Zusammenspiel unterschiedlicher Akteure, sowohl im menschlichen als auch im technischen Bereich. Dabei ist es wichtig, einen systematischen Ansatz zu verfolgen. Handreichungen dazu haben u.a. die Plattform Industrie 4.0,[11] der ISACA Germany Chapter e.V.[12] oder das amerikanische NIST[13] veröffentlicht. Wichtig ist, dass Überprüfung und Nachsteuerung regelmäßig stattfinden und am besten in die tägliche Betriebsroutine aufgenommen werden.

10 Vgl. VDMA (2021): Umfrage Industrial Security in der Industrie gestartet, https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/18528055, abgerufen: 11.04.2022.

11 Vgl. Plattform Industrie 4.0 (2016): IT-Security in der Industrie 4.0 – Handlungsfelder für Betreiber, https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/leitfaden-it-security-i40.html, abgerufen: 11.04.2022.

12 ISACA (2021): Leitfaden Cyber-Sicherheits-Check OT, https://www.isaca.de/sites/default/files/isaca_leitfaden_cyber-sicherheits-check_ot.pdf, abgerufen: 11.04.2022.

13 Computer Security Resource Center (2021): Operational Technology Security, https://csrc.nist.gov/projects/operational-technology-security, abgerufen: 11.04.2022.

IT-Security beginnt bei vernetzten Geräten und Maschinen bereits bei der Entwicklung und Wahl der IT-Architektur von Geräten und Gesamtsystem. Dies gilt für Industrie und Consumer gleichermaßen. Die internationale Normenreihe IEC 62443 unterstützt diesen Prozess mit dem Ziel, im Zusammenspiel von Anlagenbetreibern und Zulieferern den sicheren Betrieb zu garantieren.

Neben technischen Ansätzen nehmen auch die Vereinfachung von Wertschöpfungsketten und zukünftige Regulierungen eine wesentliche Bedeutung zur Gewähr der souveränen digitalen Zusammenarbeit ein.

Sichere Kommunikation in Post-Quantum-Zeiten

Aktuelle kryptografische Verfahren werden nicht immer sicher bleiben: Im Lauf der Zeit werden neue Angriffsmethoden entdeckt und kontinuierlich wachsende Rechenkapazitäten machen bisher undenkbare Angriffe möglich. So ist anzunehmen, dass künftige Quantencomputer momentan verwendete kryptografische Verschlüsselungs- und Signaturverfahren durch ihre hohe Leistungsfähigkeit brechen. Besonders für Produkte mit einer hohen Lebenszeit, wie beispielsweise Industrieanlagen, ist die frühzeitige Entwicklung von Sicherheitstechnologien, die Angriffen von Quantencomputern widerstehen, dringend notwendig. Solche neuen Technologien dienen der sicheren Ver- und Entschlüsselung, sie müssen aber auch die einfache Nutzung digitaler Signaturen ermöglichen. Dazu dienen Public-Key-Infrastrukturen (PKI), die gegenwärtig auf aktuellen kryptografischen Verfahren basieren. Diese müssen für Quantencomputer-widerständige Verfahren ebenfalls angepasst werden. Es bedarf also sogenannter Post-Quanten-Kryptografie (PQK).

Das Forschungsprojekt *FLOQI* (Full Lifecycle Post-Quantum PKI) hat als Ziel die Entwicklung einer Quantencomputer-widerständigen PKI. Diese muss kompatibel zu aktuellen kryptografischen Verfahren sein. Hierfür werden PQK-Verfahren auf unterschiedlichen Plattformen umgesetzt und in drei Demonstratoren erprobt. Gezeigt wird der Einsatz der im Projekt entwickelten Verfahren in der Automobilbranche, in der Industrie 4.0 sowie im Finanzwesen. In diesen Anwendungen sind langlebige und sichere Verfahren notwendig, da Produkte wie beispielsweise Geldautomaten und Produktionsanlagen über mehrere Jahrzehnte im Einsatz sind. Um den Übergang von aktuellen zu neuen Verfahren so unterbrechungsfrei wie möglich zu gestalten, werden im Projekt Verfahren entwickelt, die den parallelen Einsatz von aktuellen und neu entwickelten Quantencomputer-widerständigen Verfahren ermöglichen. Die Ergebnisse werden in internationale Standards einfließen.

Die entworfenen Konzepte werden von führenden Industriepartnern aus den Bereichen Automotive, Industrie 4.0 und Behörden in Demonstratoren umgesetzt.[14]

Überwinden der Krise mit KI-Unterstützung

Um Krisenmanagement effektiv per KI unterstützen zu können, ist es wichtig, dass die zu entwickelnden Anwendungen in der Lage sind, die Evolution von Krisensituationen zu prognostizieren und zudem die gleichzeitigen Reaktionen der verschiedenen Akteure (Regierung, Unternehmen, usw.) zu antizipieren. Erst die Berücksichtigung der Reaktionen auf ein initiales Krisenereignis in spezifischen Szenarien ermöglicht ein dynamisches Krisenmanagement. Entsprechend hoch ist die Datenmenge, die von der KI-Anwendung benötigt wird, um derlei hochkomplexe Szenarien prognostizieren zu können. Der in einem Big-Data-Szenario häufig vorkommende Datenmangel muss überwunden und die bestehenden Daten müssen kontinuierlich auf dem neusten Stand gehalten werden, während gleichzeitig Datenschutz und -souveränität zu jeder Zeit gewährleistet sind. *PAIRS*[15] (kurz für: Privacy-Aware, Intelligent and Resilient CrisiS Management) löst diese Herausforderungen durch eine Plattformarchitektur mit föderalen Services, die auf eine Fülle relevanter Daten zugreifen können und es wirtschaftlichen und politischen Akteuren kollaborativ ermöglichen, wechselseitige Einflüsse individueller Maßnahmen zu antizipieren und in eigene Entscheidungen einfließen zu lassen. Eine wichtige Rolle hierfür stellt vor allem die Fähigkeit eines vertrauensvollen, wenn nötig sogar Datenprivatheit-bewahrenden, Datasharings dar.

Das Forschungsprojekt hat zum Ziel, domänenübergreifende Transparenz in Lieferketten herzustellen, um daraus zielgerichtete Maßnahmen für eine vorausschauende Risikominimierung ableiten zu können.

14 Weitere Informationen unter: https://floqi.org/; https://www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/floqi, abgerufen: 08.04.2022.

15 Weitere Informationen zu *PAIRS* unter: https://www.pairs-projekt.de/about/, abgerufen: 08.04.2022.

Dazu wird eine serviceorientierte, offene Dateninfrastruktur entwickelt, mit der die Entstehung und die Auswirkungen von Krisensituationen identifiziert und deren Auswirkungen prognostiziert werden können. Die KI-Hybrid-Technologie von *PAIRS* soll in einem domänenübergreifenden Datenraum sowohl das initiale Krisenereignis als auch die Reaktionen verschiedener Akteure einbeziehen, um auf dieser Basis zielgerichtete Handlungsempfehlungen zu generieren.

4.2 Beispiele zu Versorgungssicherheit

Beispiele wie die notwendige Leistungsreduzierung von AKWs aufgrund von niedrigen und warmen Wasserständen in anliegenden Flüssen sowie der eingeschränkte Warenverkehr von z. B. Kohle auf dem Wasserweg aufgrund der Hitzewelle in 2018 sind extreme Ereignisse, die die Anfälligkeit von Energieversorgungssystemen verdeutlichen. Daher existieren viele Beispiele und Aktivitäten, die sich mit der stabilen Energieversorgung der Industrie beschäftigen.

Beispiele zur stabilen Energieversorgung:

Beispiel: *PAIRS*-Projekt: Anwendungsfall Energieversorgung

Im Projekt *PAIRS* (Privacy-Aware, Intelligent and Resilient CrisiS Management) wird eine offene und serviceorientierte Infrastruktur für Daten bereitgestellt, mit der Auswirkungen von Krisen prognostizierbar gemacht werden. Mittels KI-Technologien werden das Eintreten von Krisen sowie mögliche Reaktionen von Teilnehmern im jeweiligen Krisenszenario antizipiert. Im *PAIRS*-Projekt werden verschiedene Anwendungsfälle betrachtet, u. a. Lieferketten und Logistik, Gesundheitswesen und Energieversorgung. Im Anwendungsfall Energieversorgung soll eine KI-basierte Datenanalyse die Auswirkungen von Krisen auf den Energiebedarf prognostizierbar machen.[16]

Beispiel *EASY-RES*-Projekt

Im EU-Projekt *EASY-RES*[17] (Enable Ancillary Services by Renewable Energy Sources) wird untersucht, wie die Energieversorgung bei 100 % erneuerbaren Energien in Europa sicher gestaltet werden kann. Gesamtgesellschaftlich stellt das Projekt die Weichen für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien, erforderlich für die Erreichung der internationalen Klimaziele und um die fortschreitende Dekarbonisierung der Wirtschaft voranzutreiben. *EASY-RES* stärkt die Position der Prosumenten, die ihren Anteil an erneuerbaren Energien in ein zukünftiges, smartes Stromnetz einspeisen können und zur weiteren Dezentralisierung der Energieversorgung beitragen. Finanziert wurde *EASY-RES* unter Horizon 2020, dem Rahmenprogramm der Europäischen Kommission für Innovation und Forschung.[18]

Beispiel: Handlungsbereiche zur Resilienz digitalisierter Energiesysteme

Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften haben im Rahmen ihrer wissenschaftsbasierten Politikberatung im Februar 2021 eine Stellungnahme zur Resilienz digitalisierter Energiesysteme veröffentlicht. Das Empfehlungspapier behandelt insbesondere die Frage, wie Black-out Risiken begrenzt werden können, und identifiziert sieben Handlungsfelder für Politik und Wirtschaft.[19]

Die energieflexible Fabrik

Die Risikobetrachtung in Bezug auf resiliente Stromversorgung in einem Industrieunternehmen zielt darauf ab, mit welchen Maßnahmen die eigene Stromversorgung bei einer externen Störung sichergestellt werden kann. Umgekehrt korrespondieren Maßnahmen, die zu einer autarken

16 Quelle: https://www.pairs-projekt.de/about/, abgerufen: 08.04.2022.

17 Weitere Informationen zu *EASY-RES* unter: https://openems.io/2022/02/18/abschluss-des-forschungsprojekts-easy-res/#:~:text=Das%20europ%C3%A4ische%20Forschungsprojekt%20EASY%2DRES,neuartige%20Systemdienstleistungen%20gew%C3%A4hrleistet%20werden%20k%C3%B6nnen, abgerufen: 11.04.2022.

18 Quellen: www.bayern-innovativ.de/suchergebnisse/seite/forschungsprojekt-easy-res-key-results; www.easyres-project.eu, abgerufen: 08.04.2022.

19 Quelle: https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2021_ESYS_Stellungnahme_Resilienz_Energiesystem.pdf, abgerufen: 08.04.2022.

und resilienten Energieversorgung von Industriebetrieben beitragen, mit der Frage, ob diese individuellen Energiesysteme zur Resilienz des gesamten externen elektrischen Energiesystems beitragen können. Analog zum Konzept der Herdenimmunität geht es also darum, wie mit individuell flexibel betriebenen Fabriken das gesamte Energienetz resilient gestaltet werden kann.

In diesem Kontext ist die Initiative *DC-Industrie* zu nennen. Seit Oktober 2019 arbeiten 39 Partner – davon 33 Unternehmen und 6 Forschungseinrichtungen – an der nahtlosen, effizienten Integration von erneuerbaren Energien (z. B. Solarpanels auf Fabrikdächern) und Speichersystemen zum Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage in Fabriken. Im Fokus von „DC-Industrie" steht die Gleichstromversorgung einer ganzen Produktionshalle, nachdem in DC-Industrie bereits seit 2016 die Gleichstromversorgung einer Produktionszelle realisiert wurde. Die DC-Infrastruktur wird in neun Modellanlagen und Transferzentren bei verschiedenen Partnern realisiert und ausgiebig getestet. Die Leistung dieser Anlagen reicht von einigen Kilowatt bis zu 2 Megawatt.

Zum Thema energieflexible Fabrik wurden vom VDI Handlungsempfehlungen veröffentlicht und für Oktober 2022 ist die VDI-Richtlinie „VDI 5207 Blatt 3 – Energieflexible Fabrik – IT-Infrastruktur zum Betrieb energieflexibler Fabriken" geplant. Zum Thema „Kennzahlen zur Energieflexibilität" im geplanten Teil 3 der VDI 5207 bestehen ferner Berührungspunkte zur ISO 22400 sowie auch zum DKE-AK 931.0.10 „Energieeffizienz in der industriellen Automatisierung".

Zudem gibt es das Projekt *SynErgie*[20] (Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung), gefördert vom BMBF im Rahmen der Kopernikus-Projekte – Die Zukunft unserer Energie. Das Projekt *SynErgie* hat zum Ziel, bis 2026 alle technischen und marktseitigen Voraussetzungen in Einklang mit rechtlichen und sozialen Aspekten zu schaffen, um den Energiebedarf der deutschen Industrie effektiv mit dem volatilen Energieangebot zu synchronisieren.[21]

Beispiele zu sicheren und stabilen Kommunikationsnetzen:

5G-Technologie und Campusnetze für Industrie 4.0

5G-Technologie und damit zusammenhängende Anwendungen wird es vor allem im industriellen Bereich geben. Sie werden automatisierte und effiziente Produktionsabläufe ermöglichen. Campus-Netze sind an Industriestandorten jeder Größenordnung vielseitig einsetzbar. 5G-Technologie bietet dafür viele der erforderlichen Eigenschaften wie extrem hohe Bandbreite, kurze Latenzen und eine verbesserte Verfügbarkeit. Campus-Netze sind exklusive Mobilfunknetze für ein definiertes lokales Firmengelände, eine Universität oder einzelne Gebäude, wie beispielsweise ein Bürohaus. Sie sind auf die individuellen Bedürfnisse der Nutzer zugeschnitten und erfüllen zukünftige Anforderungen aus dem Umfeld der Industrie 4.0.[22]

4.3 Beispiele zu robusten & flexiblen Lieferketten

Um flexibel und agil auf Veränderungen und Krisen in ihrem Umfeld reagieren zu können, organisieren sich Unternehmen nicht mehr entlang starrer Lieferketten, sondern in **dynamischen Geschäftsnetzwerken**. Innerhalb eines solchen Netzwerks unterhält ein produzierendes Unternehmen beispielsweise Beziehungen zu mehreren Zulieferern des gleichen Materials (**„multiple sourcing"**) und kann so im Bedarfsfall schnell von einem Zulieferer zu einem anderen, der möglicherweise in einer ganz anderen Region der Welt sitzt, wechseln. Inzwischen existieren bereits Plattformen (**„Matching-Plattform"**), die Angebot und Nachfragen dynamisch aufeinander abbilden können. Auf ein vergleichbares Ziel zahlen die Ansätze zur **Shared Production** ein.

Ein gutes Beispiel für eine Plattform bietet das Forschungsprojekt *Dienstleistung für den integrierten Handel von Produktionskapazitäten (DiHP)*[23]. Im Rahmen dieses Projekts wurde eine solche Marktplattform zur Absicherung von

20 Weitere Informationen zu *SynErgie* unter: https://wupperinst.org/p/wi/p/s/pd/713#:~:text=Das%20Projekt%20%22Synchronisierte%20und%20energieadaptive,Anforderungen%20einer%20energetischen%20Nachfrageflexibilit%C3%A4t%2C%20sodass, abgerufen: 11.04.2022.

21 Quellen: https://dc-industrie.zvei.org/; https://www.vdi.de/news/detail/die-energieflexible-fabrik; https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-5207-blatt-3-energieflexible-fabrik-it-infrastruktur-zum-betrieb-energieflexibler-fabriken; https://synergie-projekt.de/ueber-synergie/projektziel; www.kopernikus-projekte.de; https://www.iso.org/standard/54497.html; https://www.dke.de/de/ueber-uns/dke-organisation-auftrag/dke-fachbereiche/dke-gremium?id=3002810&type=dke%7Cgremium, abgerufen: 08.04.2022.

22 Quellen: www.telekom.com/de/konzern/details/5g-technologie-in-campus-netzen-556690; https://5g-acia.org/, abgerufen: 08.04.2022.

23 Weitere Informationen zu *DiHP* unter: https://projekt-dihp.de/sample-page/, abgerufen: 08.04.2022.

Produktionsausfällen durch den automatisierten und überbetrieblichen Handel von Produktionskapazitäten im Kontext der Additiven Fertigung gestaltet und konzeptioniert. Im Forschungsprojekt *Plattform für das integrierte Management von Kollaborationen in Wertschöpfungsnetzwerken (PIMKoWe)*[24] wurde auf Basis der Blockchain-Technologie eine Kooperationsplattform für einen sicheren Datenaustausch im Rahmen einer überbetrieblichen Zusammenarbeit entwickelt.

Eine weitere Strategie zur Reaktion auf diese zunehmende Komplexität sind Resilienz-Ökosysteme, in denen unter Nutzung moderner (KI-)Technologie mögliche Störungen antizipieren und deren Auswirkungen durch koordinierte Reaktion relevanter Partner abmildern. Solche Resilienz-Ökosysteme können sowohl auf der Shopfloor-Ebene als auch der Ebene ganzer Produktions-Netzwerke und Industrien eingesetzt werden. Ziel ist die Steigerung der Resilienz von Unternehmen (die nicht notwendigerweise in direkten Produktionsketten miteinander verbunden sein müssen) im Verbund. Ein Prototyp eines solchen KI-Resilienz-Netzwerks für produzierende Unternehmen wird gegenwärtig u. a. durch die RWTH Aachen und das DFKI im Forschungsprogramm *Skalierbare adaptive Produktionssysteme durch KI-basierte Resilienzoptimierung (SPAICER)*[25] entwickelt.

Die Shared Production beschreibt ein Produktionssystem, das sich flexibel und agil aus dezentral vernetzten Unternehmen und Standorten zusammensetzt. Durch eine Vernetzung bis in die Unternehmen hinein kann die Resilienz nicht nur auf der Ebene der Lieferkette, sondern in Kombination mit weiteren Resilienz-Ansätzen innerhalb der Unternehmen verbunden werden. Dieser Ansatz spielt seine Stärken in der fragmentierten Industrielandschaft Deutschlands mit seinen vielen hidden Champions bei kleinen und mittleren Unternehmen aus.[26]

Wichtig für das Funktionieren solcher Geschäftsnetzwerke ist die Integration von Daten zwischen Unternehmen, auf Basis von Interoperabilität. Voraussetzung hierfür sind **Vertrauensräume** (vgl. Fokusthema „Souveränität“ oben), wie sie beispielsweise in **GAIA-X** und **Catena-X** geschaffen werden.

Zudem stellt sich die Frage der Interoperabilität der IT-Systeme und der ausgetauschten und geteilten Daten sowohl auf syntaktischer als auch auf semantischer Ebene. Ansätze und Lösungen bieten die entstehenden Vertrauens- und Datenräume, wie sie beispielsweise in den Initiativen GAIA-X und Catena-X Automotive Network geschaffen werden. Um eine höhere Flexibilität im Lieferkettenmanagement zu erreichen, werden Marktplätze und entsprechende Manufacturing-as-a-Service-Plattformen (MaaS) eine zunehmende Bedeutung haben. Das Risiko von neu entstehenden Abhängigkeiten (platform vendor lock-in) sollte durch offene MaaS-Services, wie sie z. B. durch die Architektur des Smart Factory Web[27] vorgeschlagen werden, verringert werden. Dann können auch MaaS-Netzwerke auf der Basis von Datenräumen aufgebaut werden, unter Einbindung bestehender operative Lieferportale.

Das Internet der Dinge stellt die notwendige Sensorik bereit, um diese Datenräume in Echtzeit mit Informationen über Zustände und Ereignisse aus den Lieferketten zu versorgen. Verfahren der Künstlichen Intelligenz können diese **Echtzeit-Transparenz** nutzen, um Krisensituationen frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden oder aber bei Eintritt einer Krise schnell und teilautomatisiert Lösungsstrategien zu erarbeiten.

Das Forschungsprojekt *PAIRS*[28] (Privacy-Aware, Intelligent and Resilient CrisiS Management) legt hierfür erste Lösungsskizzen vor. Es hat zum Ziel, domänenübergreifende Transparenz in Lieferketten herzustellen, um daraus zielgerichtete

24 Weitere Informationen zu *PIMKoWe* unter: https://projekt-pimkowe.de/, abgerufen: 08.04.2022.

25 Projekt *SPAICER* (www.spaicer.de) entwickelt ein datengetriebenes Ökosystem auf der Basis lebenslanger, kollaborativer und niederschwelliger smarter Resilienz-Services durch Einsatz führender KI-Technologien und Industrie 4.0-Standards mit dem Ziel, Störungen vorherzusehen (Antizipation) und Produktionsplanungen jederzeit an aktive Störungen optimiert anzupassen (Reaktion). Dadurch wird insbesondere die Fähigkeit von Unternehmen gestärkt, in einer globalisierten und vernetzten Wirtschaftswelt die aus Produktionsunterbrechungen inklusive der Unterbrechung von Lieferketten sowie aus einem erheblichen Komplexitätszuwachs in der Produktion durch Industrie 4.0 entstehenden Geschäftsrisiken besser zu beherrschen.

26 Weitere Informationen unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/GAIA-X-Use-Cases/shared-production.html; https://smartfactory.de/ abgerufen: 11.04.2022.

27 Weitere Informationen unter: https://www.smartfactoryweb.de und https://www.mdpi.com/2076-3417/11/14/6585, abgerufen: 08.04.2022.

28 Weitere Informationen zu *PAIRS* unter: https://www.pairs-projekt.de/, abgerufen: 08.04.2022.

Maßnahmen für eine vorausschauende Risikominimierung ableiten zu können.

Im Interreg-Projekt Neue Geschäftsmodelle mit 3D-Druck[29] (ABH081) beschäftigen sich die beteiligten Partner mit der Rolle der Additiven Fertigung in grenzübergreifenden Lieferketten. Konkret wird in dem Projekt untersucht, mit welchen Geschäftsmodellen insbesondere KMU an grenzübergreifenden Lieferketten partizipieren können, in denen physische Produkte mit Hilfe der Additiven Fertigung direkt im Zielmarkt in der Nähe des Endabnehmers hergestellt werden und somit einen Beitrag zu resilienteren Lieferketten leisten. Neben rechtlichen und steuerlichen Aspekten stehen in dem Projekt die Rolle von Drucklizenzen für Druckdienstleister sowie die Druckabwicklung über eine digitale Verschlüsselung vom Lizenzgeber zum Lizenznehmer und eine digitale Überwachung des Druckprozesses im Fokus.[30]

Wie Firmen anderen Akteuren der Wertschöpfungskette ihre Produktionskapazitäten unkompliziert zur Verfügung stellen können, damit diese bei Bedarf schnell den Zulieferer wechseln können, zeigt das Beispiel der Firma BAM GmbH. Über den Onlineshop „mipart“ des Unternehmens können Kunden bspw. Stahlzuschnitte im Rahmen eines KI-basierten Bestellvorgangs vollautomatisch kalkulieren lassen und bestellen, ohne dass eine 2D-Zeichnung notwendig ist. So können Kunden rund um die Uhr und sieben Tage die Woche unkompliziert Informationen zu Preis und Produktionsdauer benötigter Teile erhalten – und erhalten diese durch den Einsatz modernster Robotik und Additiver Fertigung bei Bedarf auch zeitnah.[31]

4.4 Beispiele zu Produktionssystemen und der Rolle des Menschen

Der qualifizierte Mensch spielt für die resiliente Produktion, auch wenn diese stark autonom ist, die entscheidende Rolle. Auch zukünftig werden die Entscheidungen vom Menschen getroffen. Sei es in der Instandhaltung durch ein implementiertes Wissensmanagement oder die Aufbereitung und Darstellung von Produktionsdaten für die verschiedenen Rollen auf dem Shopfloor bis zur Unternehmensleitung.

Der Einsatz von Assistenzsystemen ist hier ein wichtiger Baustein. So ermöglichen Simulationslösungen z. B. eine Erprobung von Arbeitsabläufen auf Basis der Verwaltungsschale, bevor diese tatsächlich auf die Maschine übertragen werden. **Assistenzsysteme** basierend auf Verfahren der **Künstlichen Intelligenz** werden den Menschen in der Produktion adäquat bei der Entscheidungsfindung unterstützen und die Flexibilität steigern, was letzten Endes die Robustheit der Produktion stärkt. Konzepte wie das **Condition Monitoring** (Zustandsüberwachungen), Prädiktive (Störungs-) Analysen und Frühwarnsysteme sind weitere Beispiele für Systeme, die es Beschäftigten ermöglichen, Kontrolle über den Prozess zu haben und Entscheidungen zu treffen. Durch diese Ansätze wird die Robustheit der Produktion gegen Störungen erhöht.

Durch den Einsatz von Leitwarten, Leitständen und mobilen Bediensystemen wie bspw. Tablets und Smartphones für eine Mehrmaschinenbedienung wird die Anzahl an **Mensch-Maschine-Schnittstellen** zukünftig weiter zunehmen. Während dies neue Möglichkeiten bzgl. der Überwachung, Steuerung, Wartung und Instandsetzung von Maschinen eröffnet, müssen diese Schnittstellen zur Erreichung einer resilienten Produktion so ausgestaltet sein, dass eine korrekte Bedienung sichergestellt ist. Dies kann bspw. durch die Ausgestaltung unterschiedlicher Bedienoberflächen für unterschiedliche Beschäftigte (z. B. blue-collar worker & white-collar worker) realisiert werden.

Neben dem Menschen spielt auch die Technik eine zentrale Rolle für die resiliente Produktion.

Grundlage für die resiliente Produktion ist eine verlässliche und aussagekräftige Datenbasis. Daher werden in Zukunft die Verknüpfung der Daten – damit ist auch das Aufbrechen von Datensilos gemeint – und die übergreifende Nutzung der Daten in IT-Lösungen und Softwaredienstleistungen für die Produktion, Intralogistik und Qualitätssicherung sowie die Bereitstellung spezifischer unterstützender Technologien eine wesentliche Rolle spielen.

29 Weitere Informationen zu Neue Geschäftsmodelle mit 3D-Druck unter: https://www.bayern-innovativ.de/suchergebnisse/seite/interreg-projekt-abh081-der-alpenrhein-bodensee-hochrhein-region, abgerufen: 08.04.2022.

30 Quelle: https://www.bayern-innovativ.de/suchergebnisse/seite/interreg-projekt-abh081-der-alpenrhein-bodensee-hochrhein-region, abgerufen: 08.04.2022.

31 Quelle: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Factsheets/Fallstudie_Industrie40_BAM_OnePager.pdf?__blob=publicationFile&v=8, abgerufen: 08.04.2022.

Das Themengebiet der **Künstlichen Intelligenz** nimmt im Zusammenhang mit den zukünftig zur Verfügung stehenden Daten eine Schlüsselrolle ein. So können z. B. durch Verfahren des Maschinellen Lernens Maschinen zu wiederholende Aufgaben immer besser ausführen. Mit sog. kognitiven Systemen ist es möglich, durch digitale Informationen aus Sensordaten und Netzen auf Grundlage von lernenden Algorithmen Entscheidungen und Handlungsempfehlungen abzuleiten und Produktionssysteme insgesamt resilienter auszulegen.

Neben der Verknüpfung und Nutzbarmachung von Daten ist aber auch der herstellerübergreifende Datenaustausch z. B. über beteiligte Maschinen, Komponenten, Material, Software und Unterlagen hinweg (auch Assets oder Gegenstände genannt) eine Voraussetzung für die Wertschöpfung mit Industrie 4.0.

Der **Digitale Zwilling** ist das Datenabbild eines Gegenstandes und enthält alle Informationen, die den Gegenstand und sein Verhalten charakterisieren. Mit diesen digitalen Abbildern kann der Lebenszyklus von Produkten, Geräten und Unterlagen dokumentiert werden.[32] [33]

Zur Produktion bedarf es neben einer Datengrundlage auch materieller Ressourcen und Energie, um ein Bauteil, eine Komponente oder ein Produkt zu fertigen. Durch die Konzeption **alternativer Prozessketten** können bei Ressourcenmangel auf Basis von alternativen Werkstoffen, Halbzeugen etc. Umplanungen erfolgen. Auch hier nimmt der **Digitale Zwilling** eine entscheidende Rolle ein: Bei der Bewertung bzw. Eignung von **Prozessketten** hinsichtlich der Anforderungen an die Bauteileigenschaften kann ein **Digitaler Produktzwilling** genutzt werden, dem gegenüber steht bei der Bewertung der Auswirkungen auf die Prozesse und Maschinen der Digitale Prozesszwilling. Digitalgestütztes Engineering und Simulation unterstützen maßgeblich den Nachweis der Prozessfähigkeit alternativer Prozessrouten.

Zur Beherrschung einer wandelbaren Produktion innerhalb von Unternehmen kann das Produktionsmanagement als flexibles Netzwerk von Produktionsfaktoren im Sinne etwa eines modularen Matrix-Produktionssystems aufgesetzt werden. Beispiele hierfür sind u. a. aus der Arbeit des Fraunhofer IPA[34] oder im Rahmen der Industrie 4.0-Anlagen von SEW Eurodrive[35] entstanden.

Eine Mitwirkung an einem solchen Resilienz-Ökosystem erfordert seitens der teilnehmenden Unternehmen die Überwindung teils erheblicher Barrieren. Relevante Herausforderungen sind hier beispielsweise die Bereitschaft, eigene Daten zu Produktion, Liefernetzwerk oder Auslastung der eigenen Anlagen in ein solches Netzwerk zu investieren. Auch erfordert die Akzeptanz und schnelle Umsetzung von Empfehlungen aus diesem KI-Resilienz-System Vertrauen in die Leistungsfähigkeit des Algorithmus und die Korrektheit der Daten. Dabei sind unter anderem auch schützenswerte Daten etwa aus der Domäne der Beschäftigten zu berücksichtigen. Die Überwindung dieser und anderer Barrieren wird entscheidend für eine wirksame Nutzung verfügbarer Technologien zur Steigerung industrieller Resilienz sein.

Durch die Forschungsergebnisse des Projektes RESYST – Resiliente Wertschöpfungssysteme[36] werden Unternehmen bei der Umsetzung ganzheitlicher und gleichzeitig effizienter Systeme zur Steigerung der Resilienz gegenüber bekannten und unbekannten Ereignissen unterstützt. Von adaptiven Strategien und Prozessen über deren technische und organisatorische Realisierung bis hin zur Auswahl und Entwicklung spezifischer Schlüsseltechnologien werden Lösungen auf allen Unternehmensebenen geschaffen. Konkret sind z. B. technologische Managementunterstützungen (Interaktives Lagebild, Matching-Plattformen) oder digitale Modelle für die Umsetzungshilfe und den Nachweis der Prozessfähigkeit alternativer Prozessrouten oder Ausweichtechnologien entwickelt worden. In einem Anschlussprojekt, *SE.MA.KI*[37], werden für Unternehmen Gestaltungs-

32 Vgl. Zusammenfassung nach Ausführungen der IDTA unter: https://industrialdigitaltwin.org/technologie, abgerufen: 08.04.2022.

33 Ein praktisches Beispiel finden Sie hier: https://www.produktion.fraunhofer.de/de/forschung-im-verbund/zukunftsthemen/RESYST.html, abgerufen: 08.04.2022.

34 Weitere Informationen zur modularen Matrixmontage unter: https://www.ipa.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/fabrikplanung-und-produktionsmanagement/montageplanung/modulare-matrixmontage.html, abgerufen: 08.04.2022.

35 Weitere Informationen zu *SEW-EURODRIVE* unter: https://www.sew-eurodrive.de/automatisierung/fabrikautomatisierung/industrie-40/industrie-40.html, abgerufen: 08.04.2022.

36 Weitere Informationen zu *RESYST* unter: https://www.produktion.fraunhofer.de/de/forschung-im-verbund/zukunftsthemen/RESYST.html, abgerufen: 08.04.2022.

37 Weitere Informationen zu *SE.MA.KI* unter: https://www.produktion.fraunhofer.de/de/forschung-im-verbund/zukunftsthemen/resiliente-wertschoepfung/SEMAKI/themeneinleitung-semaki.html, abgerufen: 11.04.2022.

optionen zur Realisierung eines flexiblen und resilienten Produktionssystems, der Matrixproduktion, geschaffen, um bei Stückzahlschwankungen, der zunehmenden Produktvariantenvielfalt und wechselnden Herausforderungen wie Lieferkettenunterbrechungen stetig handlungsfähig zu bleiben.

Die Smart Maintenance beschreibt die Entwicklung der Instandhaltung im Zeitalter der Industrie 4.0 und befasst sich mit dem strategischen, taktischen und operativen Management von industriellen Produktionseinrichtungen (d. h. Anlagen, Gebäuden, technische Infrastruktur). Die Smart Maintenance Community der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt dabei, die Wertschöpfung in Produktionssystemen nachhaltig zu verbessern. Eine durchgehende Anlagenverfügbarkeit stellt einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil bei der Sicherung und Erweiterung von Produktionsstandorten dar. Damit entsteht ein unmittelbarer Einfluss auf die direkten Erfolgsfaktoren Zeit, Kosten, Qualität sowie die Resilienz eines Produktionssystems. Durch diese Ansätze wird die Robustheit des Systems gestärkt.[38]

Im KI-Produktionsnetzwerk Augsburg arbeiten die beteiligten Partner gemeinsam an der Vision einer KI-basierten Produktion. Im Kern steht ein verteiltes, modulares und selbstorganisierendes Produktionsnetzwerk, das aktuell als technologische Forschungsinfrastruktur im industriellen Maßstab aufgebaut wird. Darauf basierend wird im Sinne einer resilienten Produktion zukünftig bspw. an lernenden und selbstadaptiven Fertigungsprozessen sowie an sich selbst konfigurierenden und modularen Produktionssystemen geforscht. Hierbei soll auch sichergestellt werden, dass die Souveränität des Menschen gesichert und seine Expertise optimal genutzt wird. Zudem werden Unternehmen dabei unterstützt, KI-Anwendungen umzusetzen.

Assistenzsysteme zur Entscheidungsunterstützung der Menschen in der Produktion, welche auf Verfahren des maschinellen Lernens basieren, werden im Rahmen der Förderrichtlinie „Lernende Produktionstechnik – Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) in der Produktion (ProLern)“ des BMBF erforscht. Beispielhaft sei hier das Forschungsprojekt „Selbstlernende Werkzeugmaschinen für eine hocheffiziente Produktion (AutoLern)“ erwähnt, das im Juni 2021 gestartet ist.

In AutoLern wird eine gemeinsame Entwicklungsplattform aufgebaut, über die Methoden bereitgestellt werden, um die im laufenden Betrieb von unterschiedlichen Typen von Werkzeugmaschinen gesammelten Daten zu analysieren. Auf dieser Basis kann festgestellt werden, wenn die KI-Modelle die vorgegebene Genauigkeit nicht mehr erreichen, und ob eine Anpassung vorzunehmen ist. Diese soll selbstständig erfolgen und gewährleistet, dass die entwickelten KI-Algorithmen unter verschiedensten Randbedingungen im industriellen Umfeld flexibel einsetzbar sind. In dem Verbundprojekt sind beispielhaft zwei Anwendungen vorgesehen: die „Werker-Assistenz“ zum Einrichten der Maschine oder Störungsbeseitigung sowie die „Echtzeitregelung von Prozessen“ zur signifikanten Verbesserung der Verfahrensführung. Hierfür werden Modelle mit Daten aus Produktionsmaschinen der beteiligten Maschinen- und Anlagenbauer trainiert und dann auf den Maschinen implementiert.[39]

Die SmartFactory-KL arbeitet an der Umsetzung der Vision *Production Level 4*. Die Vision zielt auf Resilienz, Flexibilität und Nachhaltigkeit in der Produktion und ist somit auch die Grundlage für das GAIA-X-Projekt SmartMA-X. SmartMA-X beinhaltet den Aufbau einer Shared Production in Kaiserslautern sowie die Implementierung von innovativen KI-Methoden in eine menschenzentrierte Produktionsarchitektur. Im Rahmen des Projektes wird an Schlüsseltechnologien und Konzepten wie Industrial Edge Cloud, Skill Based Production, Multiagentensysteme sowie der Implementierung der Verwaltungsschale gearbeitet.[40] [41]

Das österreichisch-deutsche Projekt EuProGigant[42] will Unternehmen dabei unterstützen, Fähigkeiten zur Selbstorganisation und stabilisierende Eigenschaften bei disruptiven Ereignissen zu entwickeln. Dafür werden Lernöko-

38 Weiterführende Informationen unter: https://www.produktion.fraunhofer.de/de/forschung-im-verbund/zukunftsthemen/SMC.html, abgerufen: 08.04.2022.

39 Weitere Informationen unter: https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/AutoLern/index.php?site=home, abgerufen: 08.04.2022.

40 Weiterführende Informationen unter: BMWK – Shared Production: werk- und firmenübergreifende Produktion als Showcase bzw. Smartfactory KL Vision 2025 – „Production Level 4“, abgerufen: 08.04.2022.

41 Auch die Universität Augsburg skizziert mit ihrem „KI-Produktionsnetzwerk“ eine Vision der Produktionssysteme von morgen und setzt betont auf Interdisziplinarität. Weiterführende Informationen unter: https://www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/ki-produktionsnetzwerk/, abgerufen: 11.04.2022.

42 Weitere Informationen zu *EuProGigant* unter: https://euprogigant.com/, abgerufen: 08.04.2022.

systeme als Experimentierräume für Beschäftigte gestaltet. Es wird ein Resilienzkonzept für Technik auf Shopfloorebene auf Basis der GAIA-X-Selbstbeschreibungen entwickelt. Es werden Resilienzmechanismen definiert und in den Experimentierräumen anhand von entwickelten Stresstests erprobt. EuProGigant steht im Austausch mit den Projekten SmartMA-X bzgl. Edge-Computing-Entwicklungen, GAIA-X-Funktionalitäten sowie mit SPAICER[43] bzgl. eines gemeinsamen Resilienzverständnisses und einer Resilienzstrategie für die europäische Industrie. EuProGigant entwickelte im Zusammenhang mit den GAIA-X-Funktionalitäten ein eigenes Resilienzkonzept, das im Sommer 2022 auf der CIRP Conference on Manufacturing Systems vorgestellt wird.

Das Projekt SimProve[44] verknüpft die Simulation, welche die Basis Digitaler Zwillinge bildet, und den datengetriebenen Ansatz des Process Mining zur Gestaltung von Produktions- und Logistiksystemen. Die Analyse dynamischer „Was-wäre-wenn"-Szenarien von Echtzeit- und Ist-Prozessinformationen ist auch für experimentelle simulationsgestützte Risikoanalysen einsetzbar. Unternehmen können somit die Auswirkungen disruptiver Ereignisse einschätzen, bevor sie im realen System auftreten. Das Expertenwissen der Verantwortlichen wird erhöht, simulativ bewertbare Prozessalternativen können durchgespielt und resilienzsteigernde Lösungen erarbeitet und vom Management umgesetzt werden.[45]

Im Forschungsprojekt MoSyS – Menschorientierte Gestaltung komplexer System of Systems – werden neue Methoden, Hilfsmittel und IT-Werkzeuge zur Gestaltung komplexer technischer Systeme und der zugehörigen Wertschöpfungsnetze als Elemente komplexer System of Systems (SoS) erforscht. Mit SoS ist ein Gesamtsystem, das sich zeit- und ortsabhängig aus verschiedenen Einzelsystemen zusammensetzt, gemeint. Ferner entstehen Leitfäden zur Gestaltung des Wandels, die den Unternehmen auf dem Weg zu einem digitalen und kollaborativen Arbeitsumfeld ebenso wie für klare und nachvollziehbare Entscheidungsprozesse dienen. Hierbei werden alle an der Produktentstehung beteiligten Bereiche (Produkt-, Produktions-, und Dienstleistungsentwicklung) einbezogen. Berücksichtigung finden z. B. Aspekte einer fachdisziplinübergreifenden Zusammenarbeit von Beschäftigten und Interessenvertretungen, das Denken in Produktgenerationen sowie Modellierungskonzepte und Methoden für die Abbildung von SoS.[46]

4.5 Beispiele zu Bildung, Kompetenz und Arbeitsorganisation

Das in die Nationale Weiterbildungsstrategie eingebettete Forschungsprojekt „Vertrauensleute als Weiterbildungsmentoren" setzt bei den subjektiven Hürden von Weiterbildungsentscheidungen an. Die geschulten Weiterbildungsmentoren begegnen insbesondere Beschäftigten mit Lernvorbehalten auf vertrauensvoller Ebene und unterstützen sie dabei, ihre persönlichen Ressourcen zu erkennen, passende betriebsinterne oder externe Wege beruflicher Qualifizierung zu gehen, ihre Stärken zu fördern und sich persönlich weiterzuentwickeln. Die Weiterbildungsmentoren befähigen ihre Kolleginnen und Kollegen, auch unsichere Arbeitssituationen durch proaktives Handeln zu bewältigen.

Die digitale Betriebslandkarte der IG Metall bietet Betriebspartnern die Möglichkeit, im Dialog mit den Beschäftigten einen systematischen Überblick über die Auswirkungen der Digitalisierung in den einzelnen Betriebsteilen zu erstellen. Über ein Ampelsystem werden neben den Auswirkungen auf Beschäftigung auch Änderungen bei Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen erfasst. Eine Betriebslandkarte zeigt anschaulich, in welchem Betriebsteil umfassende Veränderungsprozesse abzusehen sind. Die dort tätigen Beschäftigten sind besonderen, vor allem psychischen Stresssituationen ausgesetzt. Resilienz-stärkende Maßnahmen sollten die Veränderungsprozesse nachhaltig begleiten.

Mit den Online-Selbsttests „DIGI-Check" und „DigiCheck Kompetenzen" stärkt das Land Hessen digitale Kompetenzen in Wirtschaft und Gesellschaft. Die Tests ermitteln den Ist-Stand, geben maßgeschneiderte Handlungsempfehlungen und nennen Beratungs-, Förderungs- und Bildungsangebote. Der DIGI-Check für Unternehmen des Hessischen

43 Siehe hierzu den Abschnitt „Robuste & flexible Lieferketten".

44 Weitere Informationen zu *SimProve* unter: https://www.uni-kassel.de/forschung/simprove/startseite, abgerufen 11.04.2022.

45 Siehe hierzu auch das Projekt Plattform dataPro, welches neben der datengetriebenen Produktion auch die Rolle des Menschen für die resiliente Produktion der Zukunft beleuchtet. Weitere Informationen zum Projekt unter: https://plattform-datapro.de/, abgerufen: 08.04.2022.

46 Weitere Informationen unter: https://community.advanced-systems-engineering.de/projects/368, abgerufen: 24.04.2022.

Wirtschaftsministeriums betrachtet digitale Kompetenzen des Personals als Bestandteil einer Digitalisierungsstrategie. Seine Basis ist eine umfangreiche Weiterentwicklung des von IW Consult entwickelten Industrie 4.0-Readiness-Level des VDMA. Der „DigiCheck Kompetenzen“[47] der hessischen Digitalministerin auf der Plattform „Wie digital bin ich?“[48] fördert digitale Kompetenzen von u. a. Schülerinnen und Schülern, Auszubildenden und Beschäftigten im Sinne des lebenslangen Lernens. Er wurde auf Grundlage des EU-Referenzmodells „DigiComp“[49] erstellt.

Kompetenztransfer aus der Wissenschaft in die Praxis vermittelt Beschäftigten Kompetenzen und Wissen und befähigt Unternehmen, neueste Kenntnisse und Technologien anzuwenden. Folgende Projekte im Bereich Künstliche Intelligenz (KI) und Cybersicherheit tragen dazu bei, die Resilienz von KMU im Kontext von Industrie 4.0 zu verbessern. *KompAKI*[50] – Kompetenzzentrum für Arbeit und Künstliche Intelligenz – informiert über neueste KI-Entwicklungen und unterstützt Unternehmen bei der Einführung von KI-Lösungen. Dabei werden Fragestellungen der KI in der Arbeitswelt erforscht und direkt umgesetzt. *ZUKIPRO*[51] – Um mit Hilfe von KI und Digitalisierung die Arbeit in der Produktion und im Handwerk besser zu machen, verfolgt das Zukunftszentrum eine neue, praxisnahe und menschzentrierte Herangehensweise. Hierfür bietet das *ZUKIPRO*-Team partnerschaftliche Unterstützung durch Information, Beratung und Qualifikation – für Produktions- und Handwerksbetriebe sowie deren Beschäftigte in Hessen. *ATHENE*[52] – Nationales Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit – begleitet und unterstützt die digitale Transformation der Wirtschaft zur Verbesserung der Cybersicherheit und des Datenschutzes. Es bietet u. a. Aus- und Weiterbildungsangebote im herausfordernden Bereich der Cybersicherheit.

Im Kontext des Projekts *EPICSAVE*[53] wurde ein auf Virtual-Reality-Technologie basierender Serious-Game-Simulationsansatz realisiert, mit dem schwierig zu trainierende Situationen nachgebildet wurden. Dabei werden sowohl fachliche Kompetenzen, aber auch soziale und kommunikative Fähigkeiten der Auszubildenden gestärkt und damit das Ziel einer umfassenden beruflichen Handlungskompetenz erreicht. Mit Hilfe eines solchen Systems können auch verschiedenste Szenarien im Bereich der Industrie 4.0 nachgebildet werden. Möglich sind zum Beispiel verschiedene Produktionslinien und Montagearbeitsplätze, um sowohl konkrete Arbeitsschritte zu trainieren als auch um grundlegende Konzepte der Digitalisierung zu vermitteln und in einer gefahrlosen Umgebung erlebbar zu machen. Da Fehler in der virtuellen Realität keine Konsequenzen haben, können Teilnehmende neue Dinge gefahrlos ausprobieren.

Im Verbundprojekt RePASE – Reflexive Prozessentwicklung und -adaption im Advanced Systems Engineering – arbeiten Wissenschaftler aus Produktentwicklung und Arbeits- und Organisationspsychologie mit Unternehmen aus dem Anlagen- und Maschinenbau, der Automobilindustrie und der Schienenfahrzeugtechnik zusammen, um strukturierte Reflexionen im Entwicklungsprozess zu verankern. Ergebnis der interdisziplinären Zusammenarbeit sind angepasste Vorgehensweisen und IT-Werkzeuge für die systemorientierte Produktentwicklung sowie Reflexionsmethoden und digitale Hilfsmittel zur Kompetenzerfassung und Schulungskonzepte für die Kompetenzentwicklung. Dazu werden unternehmensspezifische Entwicklungsaktivitäten hinsichtlich arbeits- und organisationspsychologischer sowie ingenieurwissenschaftlicher Kriterien analysiert und zielgerichtet gestaltet. Es werden Methoden für die interdisziplinäre aktivitätsorientierte Prozessmodellierung und -bewertung erarbeitet und Hilfsmittel zur Methodenbereitstellung und -adaption in der systemorientierten Entwicklung erprobt. Für die zielgerichtete Kompetenzentwicklung sind – u. a. durch Interviews – Anforderungen an methodische Kompetenzen zu erfassen und rollenspezifische Kompetenzmodelle zu entwickeln.[54]

47 Weitere Informationen zum DigiCheck Kompetenzen unter: https://www.wie-digital-bin-ich.de/DigiCheck-Kompetenzen, abgerufen 08.04.2022.

48 Weitere Informationen zur Plattform „Wie digital bin ich?“ unter: https://www.wie-digital-bin-ich.de/, abgerufen: 08.04.2022.

49 Weitere Informationen zu *Digi-Comp* unter: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcomp/digital-competence-framework-20_en, abgerufen: 08.04.2022.

50 Weitere Informationen zu *KompAKI* unter: https://kompaki.de/, abgerufen: 08.04.2022.

51 Weitere Informationen zu *ZUKIPRO* unter: https://zukipro.de/, abgerufen: 08.04.2022.

52 Weitere Informationen zu *ATHENE* unter: https://www.athene-center.de/, abgerufen: 08.04.2022.

53 Weitere Informationen zu *EPICSAVE* unter: https://epicsave.de/, abgerufen 08.04.2022.

54 Weitere Informationen unter: https://community.advanced-systems-engineering.de/projects/436, abgerufen: 25.04.2022.

Im Projekt *Starke Beschäftigte und starke Betriebe durch Stärkung der Änderungsfähigkeit mit Resilienz-Konzepten (STÄRKE)* wurde ein Gesamtkonzept der individuellen und organisationalen Resilienz entwickelt und in mehreren Pilot-Unternehmen erprobt. Dafür werden arbeitswissenschaftliche, betriebswirtschaftliche und psychologische Ansätze miteinander verbunden. Ein wesentliches Ergebnis von *STÄRKE* stellt der sogenannte Resilienzkompass dar. Dies ist ein praxisorientierter Leitfaden, der es Unternehmen ermöglicht, ihre Anpassungsfähigkeit an die aktuellen sowie künftigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen selbstständig zu analysieren und geeignete Entwicklungsmaßnahmen ableiten und durchführen zu können.[55]

Die rasante Ausbreitung des Coronavirus SARS-CoV-2 und die damit einhergehenden, durch die Regierung verabschiedeten Maßnahmen haben einen starken Einfluss auf das internationale und nationale gesellschaftliche Leben. Auch die Arbeitswelt muss strenge und wechselnde Vorschriften und Maßgaben einhalten und sieht sich zudem teilweise mit zusammengebrochenen Lieferketten konfrontiert. Um dennoch arbeitsfähig zu bleiben, mussten viele Unternehmen und Betriebe weitreichende Anpassungen in ihren Arbeitsstrukturen und -abläufen vornehmen, die vor der Krise nicht umsetzbar oder nicht sinnvoll schienen. Zur nachfolgenden Nutzung der durch den erzwungenen Lernprozess erworbenen Kenntnisse ist eine detaillierte, systematische Analyse der entstandenen Umstellungs- und Veränderungsprozesse vonnöten. Im Projekt *Gute Lösungen für die Zukunft nutzen – COVID-19 Lessons Learned (COVID19LL)* wurde zunächst branchenübergreifend eine überregionale und systematische Bestandsaufnahme der betrieblichen Maßnahmen und Veränderungen vorgenommen. Diese erfolgte unter Mit-Einbeziehung von Vertreterinnen und Vertretern aus Gewerkschaften, Unternehmen, Arbeitnehmern und Arbeitgebern. Aus einer anschließenden Analyse von Best Practices ausgewählter Tätigkeiten wurden Vorschläge für Transferpotenziale für die Zeit nach COVID-19 identifiziert und Empfehlungen für ähnliche Tätigkeiten in anderen Branchen abgeleitet.[56]

55 Weitere Informationen zu *STÄRKE* unter: https://staerke-projekt.de/, abgerufen: 11.04.2022.

56 Weitere Informationen zu *COVID19LL* unter: https://www.mw.tum.de/lfe/forschung/projekte/covid-19-ll/, abgerufen: 11.04.2022.

AUTORINNEN UND AUTOREN

Volker Ahrens, Advaneo GmbH | Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA | Dipl. Ing. Maria Christina Bienek, SEF Smart Electronic Factory e.V. | Nadine Blechinger, Siemens Energy Global GmbH & Co. KG | Dr. Maximilian Bock, Bayern Innovativ GmbH | Jürgen Bretfeld, Advaneo GmbH | Dr.-Ing. Robert Couronné, Bayern Innovativ GmbH | Johannes Diemer, ARENA2036 e.V. | Dr. Jens Gayko, Standardization Council Industrie 4.0 – VDE e.V. | Julia Görlitz, IG Metall | Christian Gülpen, RWTH Aachen | Stephan Hamm, Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. | Dr. Thomas Helfer, Bayern Innovativ GmbH | Alexandra Horn, DIN e.V. | Dr. Svantje Hüwel, Hessen Trade & Invest GmbH | Peter Klement, MIT Club Germany | Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK | Dr. Uwe Kubach, SAP SE | Dr.-Ing. Thomas Kuhn, Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE | Prof. Dr. Frank T. Piller, RWTH Aachen | Stefan Pollmeier, ESR Pollmeier GmbH Servo-Antriebstechnik | M. Sc. Brandon K. Sai, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA | M. Sc. Niels Schmidtke, Fraunhofer-Verbund Produktion & Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF | Thomas Schulz, GE Digital | Dennis Weber, Advaneo GmbH

Diese Publikation ist ein gemeinsames Ergebnis von Teilnehmenden der Arbeitsgruppen, des Transfernetzwerks und des Forschungsbeirats der Plattform Industrie 4.0.

www.plattform-i40.de