

Marktstudie



Manufacturing-X

Die Branche der Fabrikausrüster

Autoren

Fraunhofer IOSB: Olaf Sauer, Marc Haller

Fraunhofer IML: Saskia Sardesai

Fraunhofer IPA: Jürgen Henke

Fraunhofer ISST: Jürgen Schmelting, Tom Meyer

Fraunhofer IFF: Marc Kujath, Holger Seidel

Fraunhofer IESE: Thomas Kuhn, Frank Schnicke

Fraunhofer IWU: Simon Harst, Ken Wenzel

Herausgeber

Prof. Dr. Dr. h. c. Michael ten Hompel

Prof. Dr. Michael Henke

Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

Prof. Dr.-Ing. Steffen Ihlenfeldt

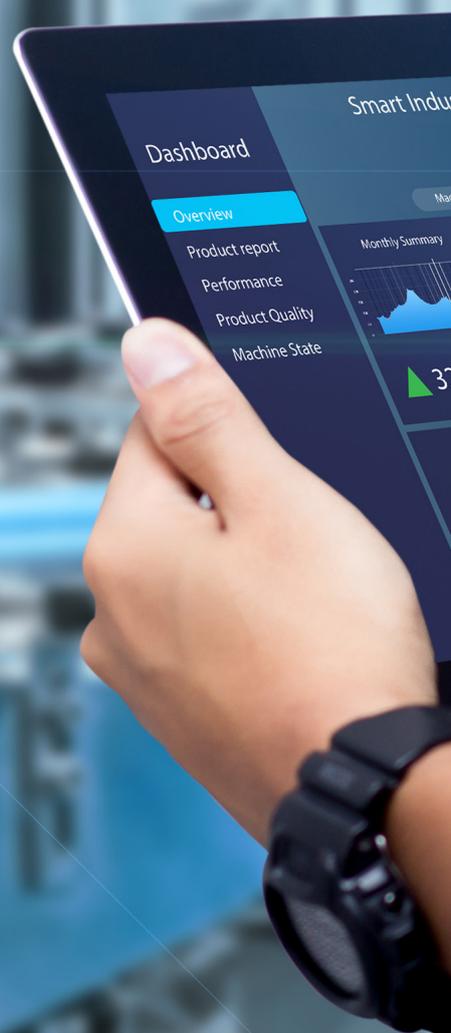
Bildlizenz - Titelbild und Innenteil links

© Adobe Stock, Nataliya Hora, panuwat

DOI

10.24406/publica-1386

© Fraunhofer, Dortmund Juni 2023



Inhalt

1. Management Summary	5
2. Einleitung	6
3. Zusammensetzung der Fabrikaurüster	9
3.1 Relevante Kennzahlen der Fabrikaurüster	9
3.2 Innovationskraft der Fabrikaurüster im internationalen Vergleich	10
3.3 Stand der Digitalisierung der Fabrikaurüster und deren Betreiber	12
4. Trends und Herausforderungen der Fabrikaurüster	18
4.1 Abhängigkeit von ausländischen Vorleistungen stellen die Lieferkette vor Herausforderungen	18
4.2 Notwendigkeit zum Aufbau von Resilienz bei den Fabrikaurüstern	18
4.2.1 Resilienz durch Regionalisierung der Lieferkette	19
4.2.2 Resilienz durch Veränderung der Beschaffungsstrategien mit Dual- und Cross-Sourcing	20
4.2.3 Resilienz durch Aufbau von Lagerkapazitäten	21
4.2.4 Resilienz durch Transparenz zur Abstimmung und frühzeitigen Risikoanalyse ..	21
4.2.5 Zusammenfassung der Resilienzstrategien in der Beschaffung	22
4.3 Einbindung der Nachhaltigkeit in die Lieferkette der Fabrikaurüster	23
4.3.1 Kostendruck auf globalen Rohstoff- und Energiemärkten	23
4.3.2 Steigender gesellschaftlicher und regulatorischer Druck	23
4.3.3 Dynamischere Technologiezyklen und veränderte Geschäftsmodelle einer »Shared and Circular Economy«	24
4.3.4 Nachhaltige Produktgestaltung als Grundlage eines Supply Chain Designs	24
4.4 Marktinduzierte Änderungen der Produktionstechnik	25
4.5 Automatisierungsbedarf durch Personal- und Fachkräftemangel	25
4.6 Ansätze der KI	25
4.7 Datenökonomie durch Datenökosysteme	26
4.8 Umsetzung der Datenökonomie in der verarbeitenden Industrie	28
4.9 Datenschutz und Regulatorik	28
4.9.1 Privacy	28
4.9.2 Datenzugriffs- und Datennutzungskontrolle	29
4.9.3 Regulatorik und resultierende Anforderungen an die Ausrüsterbranche	30
4.10 Spezielle Herausforderungen für KMUs	31
5. Neun Thesen zu Entwicklungen in der Ausrüsterbranche, die für den Leitmarkt Anlagen- und Maschinenbau relevant sind	33
6. Schlussfolgerungen	36
6.1 Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf Datenräume	36
6.2 Cluster von Anwendungsfällen in datenraumbezogenen Leuchtturmprojekten ..	36
7. Handlungsempfehlungen	38
8. Literatur	40



1. Management Summary

Die deutsche Ausrüsterindustrie beliefert weltweit Fabriken mit Produktionslinien, Maschinen, Komponenten, Automatisierungstechnik und produktionsnaher Software. Über viele Jahre waren die Auftragsbücher voll und die Entwicklungs- und Produktionskapazitäten ausgelastet. Die Frage ist: wird das auch in der Zukunft so sein und: wie können die deutschen Ausrüster ihre Wettbewerbsfähigkeit erhalten oder sogar noch verbessern? Welche Rolle spielt dabei die Digitalisierung?

Viele Ausrüster haben in den Jahren seit dem Start von „Industrie 4.0“ zaghafte Schritte in die Digitalisierung gemacht, mehr oder weniger erfolgreich; viele proprietäre Lösungen blieben weit hinter den Erwartungen zurück. Entsprechend zurückhaltend sind die Unternehmen nun bei den nächsten Schritten. Damit bleiben sie aber in Bezug auf die Digitalisierung und den mit ihr verbundenen Möglichkeiten für zusätzliche datenbasierte Dienstleistungen rund um Maschinen und Komponenten zurück und verpassen möglicherweise wichtige Innovationschancen. Qualitativ hochwertige Maschinen, Anlagen und Komponenten zu entwickeln, herzustellen und zu liefern wird in Zukunft für den Geschäftserfolg der deutschen Ausrüster nicht mehr ausreichen – sie müssen dringend in datenbasierte Dienste investieren, denn die Kunden von morgen werden diese erwarten. Um die Kräfte bei der Software- und Dienstentwicklung zu bündeln, schlagen die Autoren mehrerer Fraunhofer-Institute die Beteiligung der Ausrüster an industriellen Datenräumen vor: dabei teilen sich die beteiligten Unternehmen die Aufwände zur Entwicklung der ‚Basisdienste‘ und konzentrieren sich vielmehr darauf, Business-Applikationen mit tatsächlichem Kundennutzen zu schaffen. Gleichzeitig gewährleisten Datenräume die Datensouveränität, d.h. die Kontrolle der jeweiligen Dateneigentümer über Daten und deren Nutzung, die sie im Datenraum zur Verfügung stellen, bleibt erhalten.

In der hier vorgelegten Studie beschreiben die Autoren zunächst die Branche der Fabrikaurüster und deren Teilbranchen. Basierend auf einer Auswertung aktueller Studien zu Innovationskraft und Digitalisierung der Ausrüsterbranche arbeiten sie heraus, dass es für die Fabrikaurüster höchste Zeit ist, ihr Produktportfolio um digitale Lösungen zu erweitern. Nur so können die Unternehmen den zukünftigen Herausforderungen Stand halten, z.B. Reduzierung der Abhängigkeiten

von wenigen Vorleistungslieferanten, verbesserte Resilienz von Lieferketten, Anforderungen an Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft oder dem heute schon spürbaren Fachkräftemangel.

Aufbauend auf der Faktenlage und den daraus resultierenden Trends formulieren die Autoren dann theseartig relevante Entwicklungspfade für die Ausrüsterbranche mit konkreten Vorschlägen bis hin zu neuen Möglichkeiten, Ergebnisse aus F&E-Projekten durch gezielten Einsatz digitalen Wissenstransfers für ausrüstende Unternehmen zu nutzen.

Mit der hier vorgelegten Studie stellt der Leitmarkt ‚Anlagen- und Maschinenbau‘ der Fraunhofer-Gesellschaft unter Beweis, dass die Fraunhofer Institute über ein umfangreiches Angebot für Fabrikaurüster verfügen, um den Weg in die digitale Zukunft der Branche zielgerichtet, innovativ und investitionsicher zu beschreiben.

2. Einleitung

Die physische Produktion von Waren und Gütern ist Kern und Rückgrat prosperierender Volkswirtschaften. Allein in Deutschland waren Ende Juni 2021 knapp 7,6 Millionen Menschen unmittelbar in den Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes mit 50 und mehr Beschäftigten tätig (Details siehe Abschnitt 3.1). Direkt und indirekt hängen sogar rund 15 Millionen der knapp 45 Millionen Arbeitsplätze in der Bundesrepublik von der produzierenden Wirtschaft ab.

Wichtige Teilbranchen für das verarbeitende Gewerbe sind neben der Automobilindustrie weitere Branchen, die Produktionsstätten betreiben, z.B. Metallverarbeitung, Flugzeugbau, Nahrungs- und Genussmittel, Chemie und Pharma. Die Produktionsstätten dieser Branchen werden durch Unternehmen geplant, gebaut und ausgerüstet, daher werden diese Unternehmen in vorliegender Studie als ‚Fabrikaurüster‘ bezeichnet. Die ‚Branche‘ der Fabrikaurüster besteht wiederum aus Teilbranchen, deren Charakteristika, Innovationen und zukünftige Herausforderungen wir in dieser Studie beschreiben. Ziel der Studie ist es, die Zukunftsaufgaben der Ausrüsterbranche möglichst genau darzustellen und F&E-Angebote zu formulieren, die der Leitmarkt Anlagen-, Maschinen- und Fahrzeugbau der Fraunhofer-Gesellschaft dafür entwickelt und bereitstellt. Die Lösungen des Leitmarktes liegen dabei in der Kombination von

- ‚Hardware‘: intelligente Maschinen, Anlagen und Komponenten, die für Digitalisierung vorbereitet sind, z.B. durch standardkonforme Teilmodelle, vorzugsweise entsprechend der Plattform Industrie 4.0 Asset Administration Shell (AAS) beschrieben, mit Konfigurations-/Kommunikationsfähigkeiten und entsprechenden Datenraum-Konnektoren ausgerüstet und/oder versehen mit vortrainierten KI-Modellen, die durch Laufzeitdaten des Betriebs weiterentwickelt und im Austausch mit Daten anderer Maschinen/Komponenten verbessert werden.
- ‚Software‘: Konnektoren und Mehrwertdienste („Business Apps“), die Rohdaten aus dem Betrieb zu Informationen zusammenführen, z. B. über ‚Gesundheitszustände‘ von Maschinen/Komponenten, Prädiktionen ausführen oder als Basis für neue Geschäftsmodelle dienen.

- Geschäftsmodelle, die aus der Kombination von Hard- und Software neue Wertschöpfungspotenziale erschließen und Zahlungsströme generieren, z. B. durch pay-per-use, pay-per-part, pay-per-value etc.

Die Ausrüsterbranche ist gleichzeitig Ziel und Inhalt eines Leuchtturmprojekts im neuen - vom BMWK initiierten – Digitalisierungsprogramm mit dem Namen Manufacturing-X. Dieses Programm wird – ähnlich wie das Konjunkturprogramm 35c für die Automobilbranche – eine Initialzündung für große Verbundprojekte sein, mit dem die deutsche produzierende Industrie Schritte in eine digitalisierte Zukunft geht. Digitalisierung ist dabei kein Selbstzweck, sondern unterstützt die Industrie dabei, sich bzgl. der folgenden Ziele zu verbessern:

- Wettbewerbsfähigkeit: die deutsche ausrüstende Industrie kann ihre Position im internationalen Wettbewerb nur erhalten, wenn sie konsequent auf Innovationen setzt, z. B. in Form von neuen Komponenten, Maschinen und/oder Linien, die sich selbst beschreiben, selbst konfigurieren und selbst verbessern einschließlich zugehöriger digitaler Dienste.
- Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz: der Nachweis des CO₂-Fußabdrucks, und zwar bezogen auf eine tatsächliche Instanz einer Maschine oder Komponente – im Gegensatz zu Durchschnittswerten – wird für Maschinenbauer und Komponentenhersteller verpflichtend werden; genauso wie der Nachweis, den Fabrikbetreiber erbringen müssen, wieviel Energie und Rohstoffe im Produktionsprozess verbraucht wurden. Auch hierfür werden digitale Dienste benötigt, um z.B. den Energieverbrauch in der Produktion durch geschickte Wahl der Auftragsreihenfolge zu reduzieren.
- Resilienz: gerade der Maschinen- und Anlagenbau, seine Automatisierungskomponenten sowie Inbetriebnahme, Reparatur und Wartung von Maschinen und Anlagen sind abhängig von Vorleistungslieferungen aus dem Ausland. Am Beispiel von China sind dies rd. 15 %, mehr als doppelt so viel wie der Durchschnitt aller deutschen Industriebranchen [2]. Daraus ergibt sich unter anderem, dass die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit in den Wertschöpfungsketten der

Ausrüsterbranche signifikant zunehmen müssen, wenn diese weiterhin - unter zunehmender Unsicherheit - lieferfähig bleiben will. Digitale Dienste helfen beispielsweise dabei, Störungen von Lieferketten schnell zu entdecken und Alternativlieferanten auszuwählen – unter allen erforderlichen Berücksichtigungen von Risiken und Qualitätsanforderungen.

- Kreislaufwirtschaft: für die Automobilindustrie arbeitet Fraunhofer seit längerem daran, ausgehend von der Produktentwicklung für die Hauptkomponenten eines Fahrzeugs (Batteriezellen, Karosserie, Batteriegehäuse, Elektronik und Elektrik, Reifen etc.) kreislauffähige Strategien zu entwickeln, und zwar indem

- Produkte eingespart oder anders hergestellt werden,
- die Lebensdauer von Produkten erhöht wird oder
- Materialien wiederverwertet werden [3].

Auch für die Ausrüsterbranche sind solche Strategien sowie datenbasierte Dienste zu entwickeln, und zwar auf Basis existierender Ansätze, z.B. Wiederaufarbeitung von Motorspindeln für Werkzeugmaschinen, Condition Monitoring und prädiktive

Bereitstellung von Ersatzteilen etc. Allein hochproduktive und zuverlässige Maschinen, Anlagen oder Komponenten zu liefern wird also zukünftig als Differenzierungsmerkmal und Basis des Geschäftserfolgs nicht mehr ausreichen. Dabei vollzieht sich ein Paradigmenwechsel vom Produktfokus zu nutzenbasierten Mehrwerten, sog. Produkt-Service-Systemen (PSS), die für neue Wertschöpfung sorgen und zukunftssichere Arbeitsplätze für hochqualifizierte Mitarbeiter sichern bzw. schaffen.

Ergänzende Dienstleistungen rund um die Maschine ermöglichen im Zusammenspiel mit den Möglichkeiten der industriellen Digitalisierung überdies die Perspektive für datenbasierte Subskriptions-Geschäftsmodelle der „as-a-Service“-Economy, die als weniger anfällig gelten für Absatzschwankungen und Investitionszyklen und die gleichzeitig die Kundenbindung und damit die sensible Kundenschnittstelle massiv verstärken können. Der Schlüssel zu produktbegleitenden digitalen Dienstleistungen und additiven Wertschöpfungspotenzialen liegt dabei in den Händen der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT).

Zusätzlich zu den traditionellen hardwarenahen Kompetenzen müssen die Fabrikaurüster also schnell umfassende

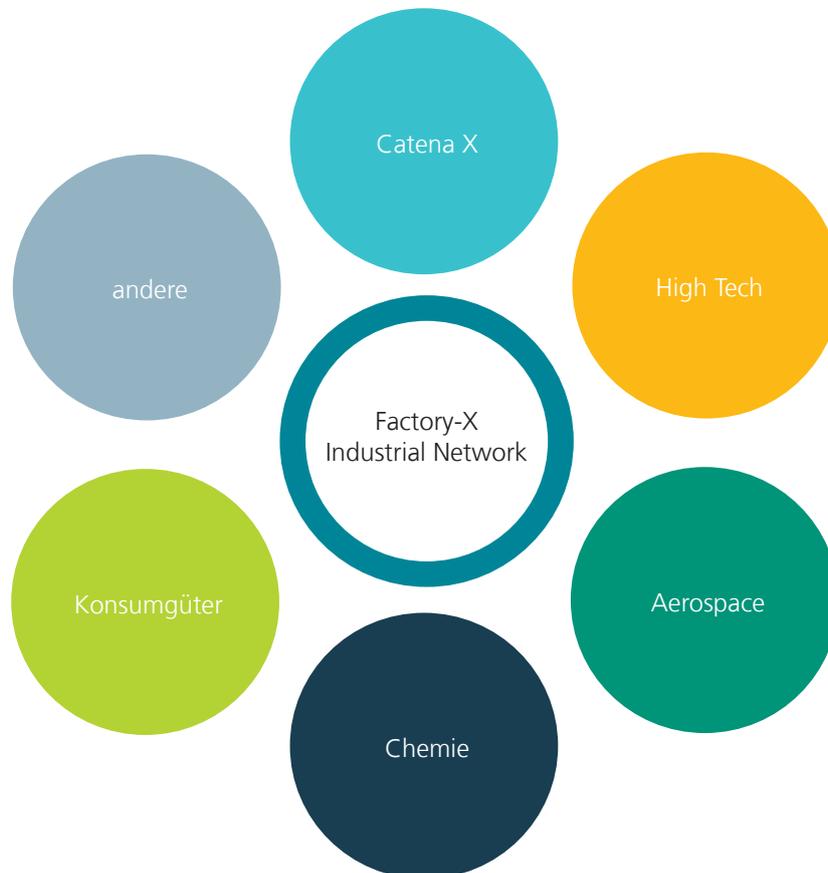


Abbildung 1: Manufacturing-X als Programm branchenbezogener Datenräume

Kompetenzen lernen und beherrschen, um neue »Tools« wie GAIA-X, Datensicherheit und -souveränität, Plattformen und Datenökosysteme etc. nutzbringend um- und einsetzen zu können. Und dies wird nicht im Alleingang erfolgreich sein können. Der Wissensrückstand kann nur in Kooperation mit Partnern aufgeholt werden.

Aus Sicht der Pioniergruppe [1], einer gemeinsamen Initiative von Industriepartnern und Fraunhofer, ist das Leuchtturmprojekt der Fabrikaurüster („Factory-X“) die Keimzelle für weitere Digitalisierungs- und Vernetzungsprojekte anderer Branchen (siehe Abbildung 1).

Außerdem soll diese Studie dazu beitragen, die Skizze zu einem Leuchtturmprojekt der Fabrikaurüster (siehe Abbildung 2) im

Rahmen des Förderprogramms Manufacturing-X zu erstellen und nach deren positiver Begutachtung eine Gesamtvorhabenbeschreibung zu liefern. Für die grün markierte Schicht in Abbildung 2 erarbeiten die Fhls ISST, IPA und IOSB im Auftrag des VDMA außerdem eine Beschreibung von Basisdiensten und einer geeigneten Dienstarchitektur, die alle Leuchtturmprojekte aufsetzen sollten und die darum nur einmal konzipiert und entwickelt werden sollte. Dabei orientiert sich der Manufacturing-X-Kernel an der Architektur und den Basisdiensten („Core-Services“) von Catena-X und ergänzt diese um weitere betreiber- und maschinenbauspezifische Anforderungen, z.B. multilateralem oder echtzeitnahe Datenaustausch.

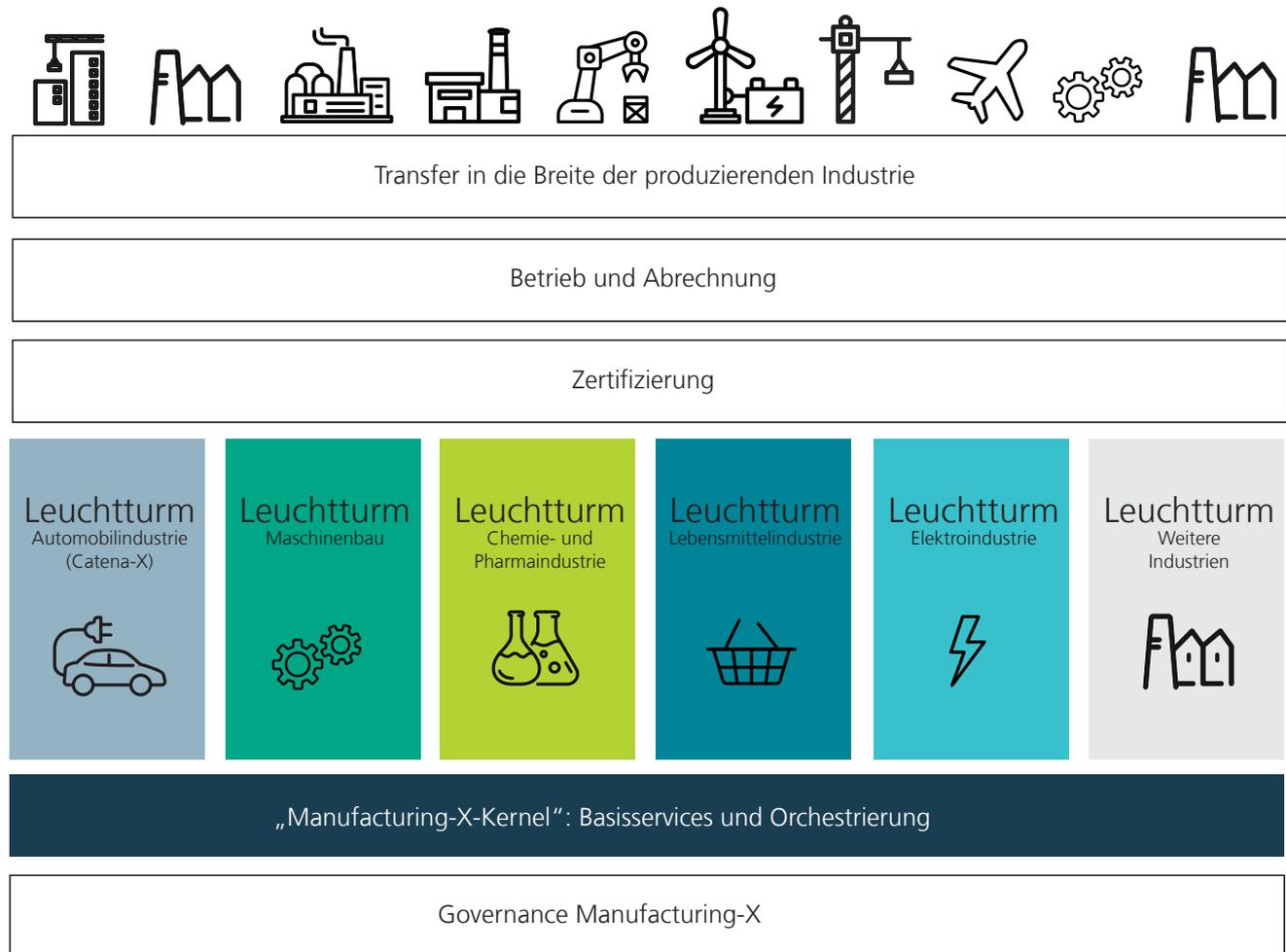


Abbildung 2: Einordnung des Leuchtturmprojekts für die Fabrikaurüster in den Gesamtkontext von Manufacturing-X

3. Zusammensetzung der Fabrikaurüster

Die Branche der Fabrikaurüster setzt sich aus zahlreichen Disziplinen zusammen, z. B. Maschinen- und Anlagenbau, der Komponentenherstellung, der Automatisierungstechnik und dem weiten Feld industrieller Informations- und Kommunikationstechnik mitsamt den dazugehörigen Steuerungs- und Softwaresystemen. Diese Industrie gilt neben der Automobilindustrie als Leitindustrie für Deutschland und ist im Wesentlichen mittelständisch geprägt. Ihre Unternehmen planen, beliefern und automatisieren Fabriken und Anlagen in der ganzen Welt und erwirtschaften einen beträchtlichen Anteil der deutschen Bruttowertschöpfung (rd. 24%). Seit Jahrzehnten bestätigt sich: Wird in einer Volkswirtschaft viel produziert, hat sie gleichzeitig eine starke Ausrüsterindustrie. Allerdings: 1992 lag der Anteil der produzierenden Industrie am deutschen BIP noch bei 30,8%. Das zeigt: Inzwischen haben andere Länder aufgeholt. Vor allem China ist über den Status des Weltproduktionsstandorts hinaus inzwischen auch ein mehr als ernst zu nehmender Welt-Produktionstechnik-Standort geworden. Deutschland hat schon im Jahr 2011 den Titel des »Exportweltmeisters« verloren. Offenbar unmerklich haben sich chinesische Anbieter, die vor allem die unteren und mittleren Segmente des Maschinenbaus erfolgreich bedienen, an deutschen und europäischen Unternehmen vorbeigeschoben. Und die weitere Entwicklung zeigt bis dato keine Trendwende – im Gegenteil. Der Verlauf zeigt eine zunehmende Divergenz zwischen der deutschen und der globalen Industrieproduktion.

Die Ausrüsterindustrie besteht aus diversen Teilbranchen, die in unterschiedlichen Industrieverbänden organisiert sind. Insofern müssen für die einzelnen Teilbranchen Zahlen und Daten aus den entsprechenden Quellen zusammengetragen und anschließend zu einem Gesamtbild konsolidiert werden.

3.1 Relevante Kennzahlen der Fabrikaurüster

Um ein möglichst greifbares Gesamtbild der Branche der Fabrikaurüster zeichnen zu können, wurden als Grundlage drei Kennzahlen herangezogen, und zwar Beschäftigte, Betriebe und Umsatz. Das Gesamtbild verfolgt dabei nicht den Anspruch einer vollständigen und umfassenden Branchenbeschreibung, sondern liefert vielmehr einen Überblick über Zusammensetzung, Ausprägung und Dynamik der Branche. Die Grundlage der Untersuchung bildet die Klassifikation der deutschen Wirtschaftszweige sowie die Genesis-Datenbank des Statistischen Bundesamtes.

Aufbauend auf den dort verwendeten Definitionen und Klassifizierungen ergeben sich für die Zusammensetzung der Fabrikaurüsterbranche folgende Teilbranchen:

- Maschinenbau,
- Elektroindustrie,
- Komponentenhersteller,
- Service-Dienstleister,
- Engineering-Dienstleister und
- Lohnfertigung.

Dabei setzt sich die Branche im Wesentlichen aus den Wirtschaftszweigen 25-28, 33 und 71 zusammen. Die Fabrikaurüster beliefern grundsätzlich die Branche des verarbeitenden Gewerbes mit Maschinen und Anlagen, welche von den verarbeitenden Gewerben für ihre Produktion betrieben werden. Daher wird das verarbeitende Gewerbe im Folgenden als "Betreiber" bezeichnet. Abbildung 3 fasst die über beide Branchen gewonnenen Erkenntnisse zusammen und stellt diese gegenüber.

Die Betreiber erwirtschafteten 2021 einen Gesamtumsatz von 1.945 Mrd. EUR und sind somit ein wichtiger Wirtschaftszweig der deutschen Wirtschaft. Demgegenüber steht die Branche der Fabrikaurüster mit einem erwirtschafteten Umsatz von 313 Mrd. EUR. Über 50 % des Branchenumsatzes wird dabei vom Maschinenbau und von den mit dem Maschinenbau eng verbundenen Komponentenherstellern umgesetzt. Die Elektroindustrie erwirtschaftet dagegen lediglich 15 % des Gesamtumsatzes und belegt damit nach den Komponentenherstellern den dritten Platz. Auch bei der Anzahl an Beschäftigten liegen der Maschinenbau und die Komponentenhersteller vorne. Zusammen beschäftigen diese knapp 50 % der insgesamt 1,6 Mio. Beschäftigten in der Fabrikaurüsterbranche. Die Betreiber beschäftigen hingegen 6 Mio. Menschen [13].

Überraschend ist, dass sich die Anzahl der Betriebe der beiden Branchen kaum unterscheidet: Die Betreiberbranche setzt sich insgesamt aus 43.600 Betrieben zusammen und die Fabrikaurüsterbranche aus insgesamt 39.700 Betrieben. Bei genauerer Betrachtung der Zusammensetzung der beiden Teilbranchen Maschinenbau und Komponentenhersteller fällt auf, dass knapp 90 % der in den Branchen aktiven Betrieben nicht mehr als 249 Mitarbeitende hat. Somit kann festgehalten werden, dass diese beiden Teilbranchen stark mittelständisch geprägt sind [13].



Abbildung 3: Relevante Kennzahlen für Betreiber und Fabrikaurüster. Eigene Darstellung, basierend auf Daten der GENESIS-Online Datenbank des Statistischen Bundesamtes [13]

Abbildung 4 veranschaulicht dies nochmals zusammenfassend.

Abschließend kann festgehalten werden, dass weite Teile der Fabrikaurüsterbranche stark mittelständisch geprägt sind. Der Maschinenbau und die Elektroindustrie sind maßgeblich für die Umsätze und die Beschäftigung in der Branche verantwortlich. Die Performance der beiden Teilbranchen beeinflusst folglich stark die Performance der gesamten Fabrikaurüsterbranche. Im Folgenden werden daher die Teilbranchen Maschinenbau inklusive Komponentenhersteller und Elektroindustrie als Indikator für den aktuellen Zustand der Fabrikaurüster näher betrachtet.

3.2 Innovationskraft der Fabrikaurüster im internationalen Vergleich

Wie Abbildung 5 zu entnehmen ist, wendeten der Maschinenbau und die Elektroindustrie in Deutschland gemeinsam im vergangenen Jahr knapp 28 Mrd. EUR für Innovationsausgaben auf und verzeichneten eine Bewilligung von 2.250 Patentanmeldungen (blaue Linie in der folgenden Abbildung). Im direkten Vergleich konnten beide im Jahr davor mit ähnlichen Innovationsaufwendungen gemeinsam 2.930 Patentbewilligungen verzeichnen. Bei der Betrachtung des Zeitraums ab 2012 fällt

auf, dass die kumulierten Innovationsausgaben aktuell rückläufig sind. Zwar haben beide Branchen gemeinsam bis 2019 ihre Innovationsausgaben kontinuierlich erhöht. Seit 2020 fielen diese jedoch um knapp 2 Mrd. EUR und stagnieren seitdem auf diesem Niveau. Gleiches gilt für die Anzahl an bewilligten Patenten der beiden Branchen. Seit 2021 ist die Anzahl bewilligter Patente pro Jahr auf das Niveau von 2016 gefallen [14].

Abbildung 6 zeigt, dass die Innovatorenquote in beiden Teilbranchen (Maschinenbau, Elektrotechnik) seit Jahren langsam abnehmend ist.

In China hingegen beliefen sich die Innovationsausgaben im Maschinenbau und in der Elektroindustrie in 2017 auf knapp 70 Mrd. EUR und somit auf knapp das Doppelte des vergleichbaren deutschen Spitzenwertes. Seit 2012 steigen die Innovationsaufwendungen des chinesischen Maschinenbaus und Elektroindustriesektors kontinuierlich und haben bis 2017 um rd. 50 % zugenommen. Das hier verwendete Datenmaterial der OECD ist unvollständig und nur bis einschließlich 2017 verfügbar. Allerdings wird unterstellt, dass dieser Trend sich bis 2021 fortführt, was sich auch in den Zahlen der in Europa bewilligten Patentanmeldungen niederschlägt. In 2017 wurden 192

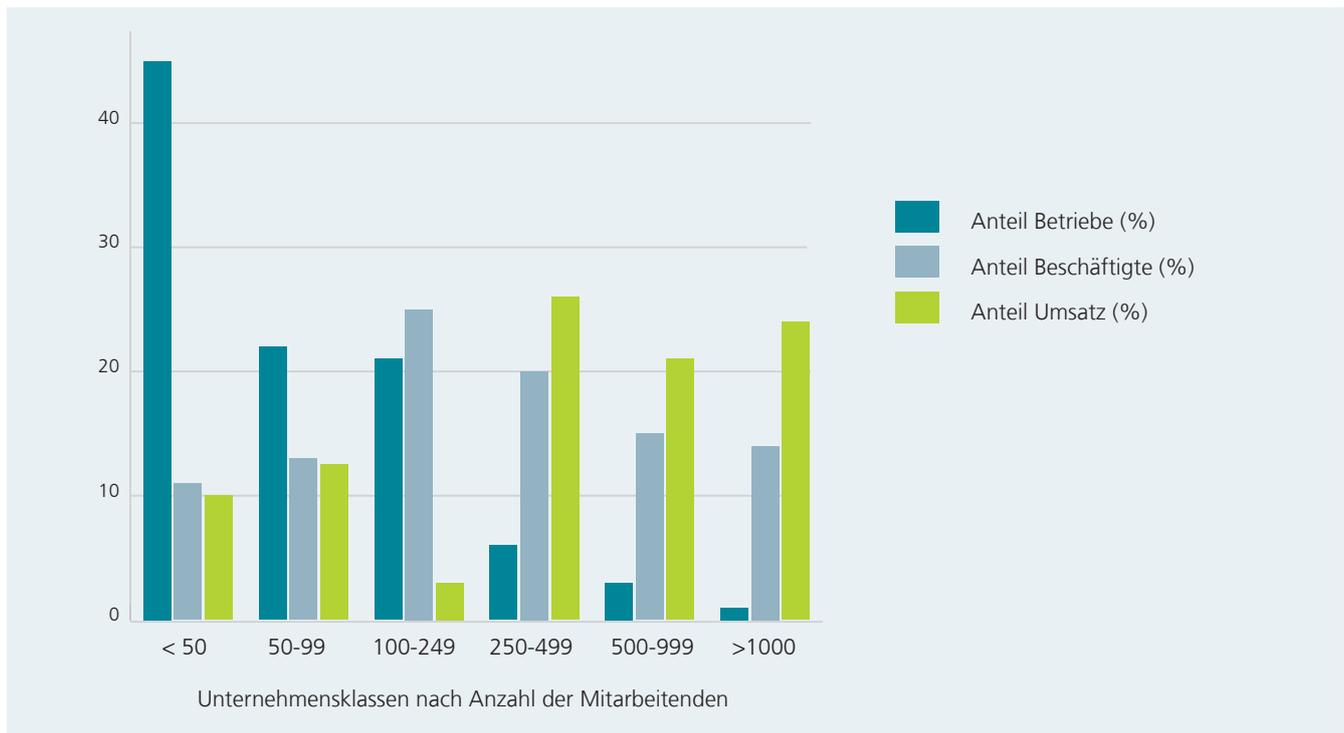


Abbildung 4: Anteil Betriebe, Beschäftigte und Umsatz nach Unternehmensklasse in Maschinenbau und Komponentenherstellung [13]

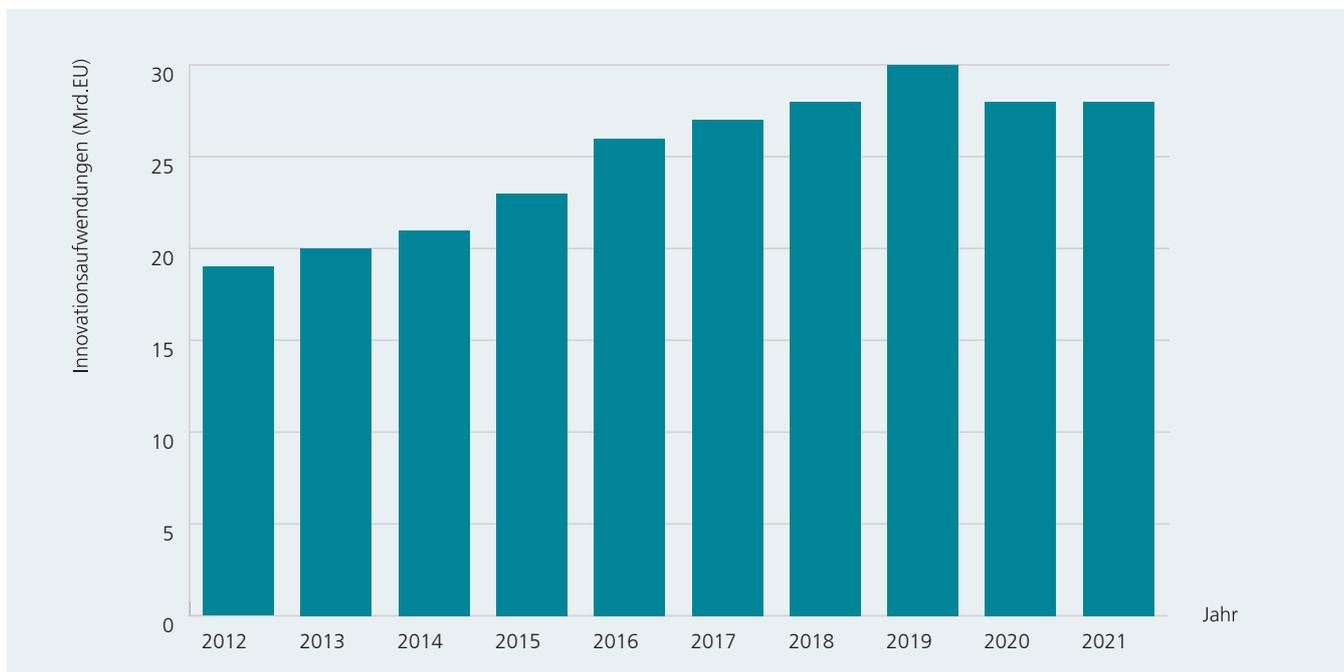


Abbildung 5: Kommutierte Innovationsausgaben der deutschen Maschinenbau- und Elektroindustriebranche im Vergleich zu den gewährten Patenten (Quellen: [14] und (OECD (2022))

chinesische Patentanträge in Europa bewilligt. 2021 waren es 595 erfolgreiche Patentanträge. Dies stellt eine Verdreifachung der in Europa bewilligten Patente innerhalb von vier Jahren dar [15]. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 7 dargestellt.

Die Elektroindustrie und der Maschinenbau in den Vereinigten Staaten zeichnen ein anderes Bild: Hier beliefen sich die Investitionsausgaben für Forschung und Entwicklung in 2012 mit knapp 16 Mrd. EUR auf ein ähnliches Niveau wie in

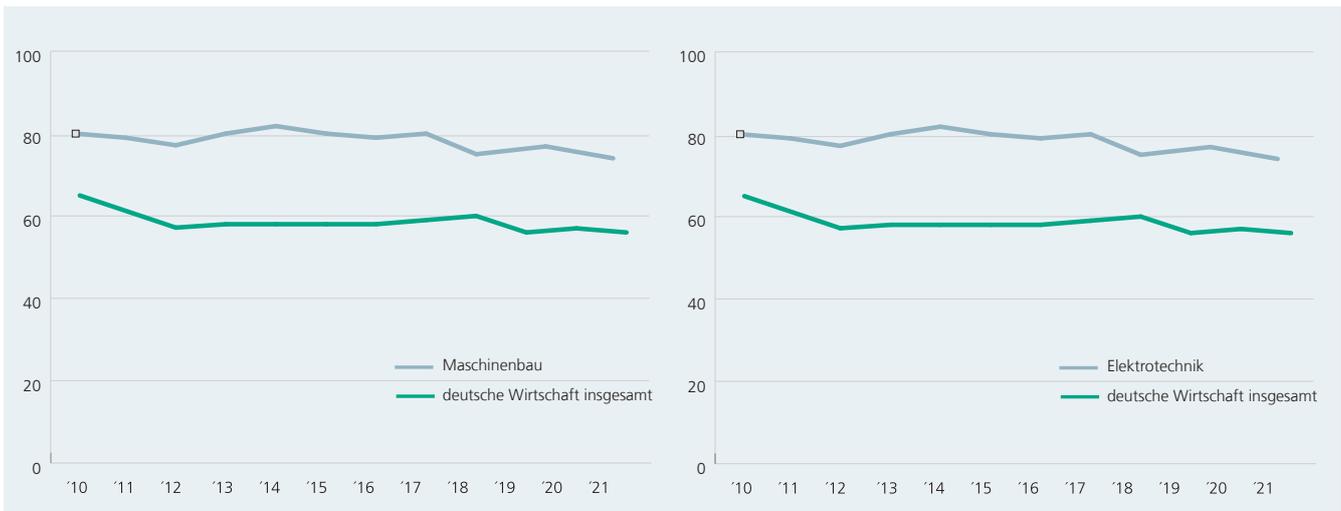


Abbildung 6: Innovatorenquote Maschinenbau (links) und Elektrotechnik (rechts) [14]

Deutschland. Allerdings stiegen die Investitionsausgaben seither kontinuierlich auf knapp 19 Mrd. EUR in 2019 [16].

Auch hier sind die Zahlen der OECD unvollständig, sodass sich keine Aussagen über die vergangenen Jahre treffen lassen können. Auffällig ist außerdem, dass die Anzahl der bewilligten Patentanträge der USA in Europa, ähnlich wie in Deutschland, 2019 ihren Höhepunkt erreichten. Es wurden in Summe 6.000 Patente bewilligt. Seitdem ist die Anzahl der bewilligten Patente rückläufig und sank 2022 auf ungefähr 3.500 [15].

Um im Wettbewerb Schritt halten zu können ist es für die

deutschen Ausrüster also elementar, weiterhin mit hoher Initiative Innovationen zu generieren, mit denen sie anschließend nennenswerten Umsatz erzielen.

3.3 Stand der Digitalisierung der Fabrikausrüster und deren Betreiber

Der aktuelle Stand der Digitalisierung in Deutschland wird in der Öffentlichkeit auffallend negativ dargestellt. Das Narrativ »Deutschland verschläft die Digitalisierung« dominiert die Medienlandschaft. Dabei steht besonders die Digitalisierung des Mittelstands im Fokus negativer Berichterstattung und somit

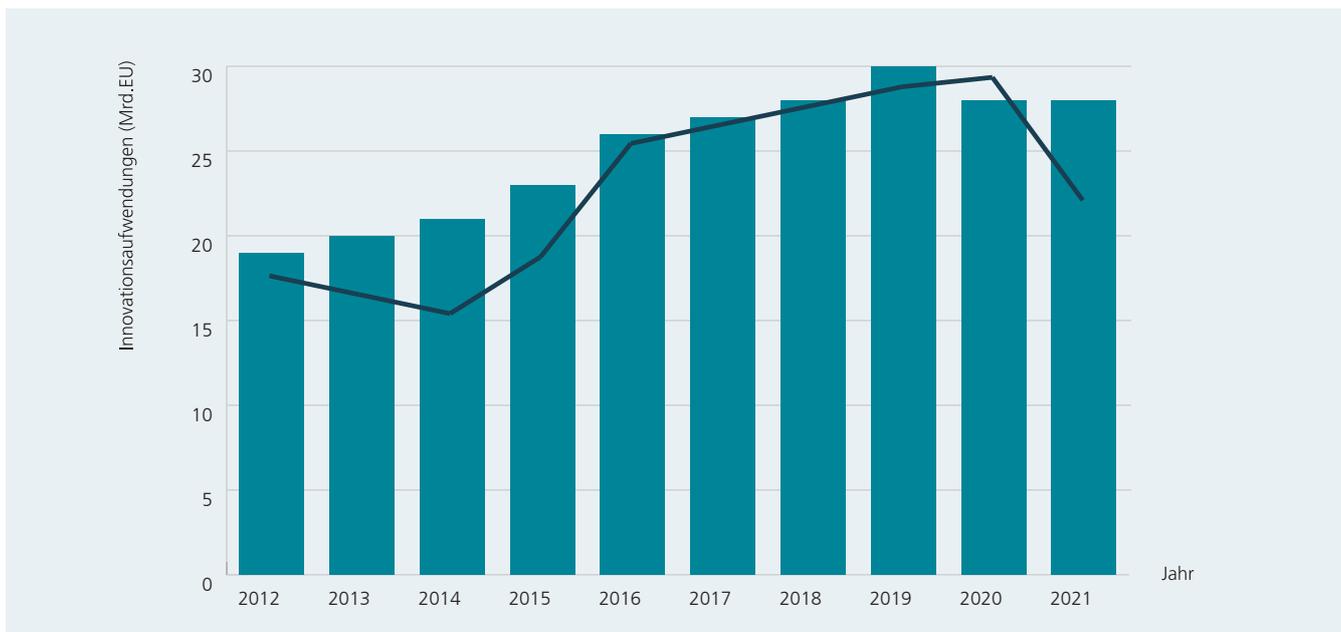


Abbildung 7: Kommutierte Innovationsausgaben der chinesischen Maschinenbau- und Elektroindustriebranche im Vergleich zu den gewährten Patenten [15, 16]

auch die stark mittelständisch geprägte Fabrikaurüsterbranche. Für die Umsetzbarkeit des angestrebten Leuchtturmprojektes innerhalb des Manufacturing-X-Förderprogramms würde dies eine starke Einschränkung bedeuten. Es bedarf daher genauer Kenntnisse über den aktuellen Stand der Digitalisierung der Fabrikaurüsterbranche.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie der Stiftung Familienunternehmen analysiert verschiedene internationale Wirtschaftsstandorte aus Sicht des Mittelstandes und zeigt dabei auf, dass Deutschland mit Ungarn, Spanien und Italien im internationalen Vergleich das Schlusslicht bildet. USA, Kanada und Schweden dagegen führen den Vergleich an. Die Ergebnisse der Analyse sowie die einzelnen Standorte und ihre jeweiligen Indizes können Abbildung 8 entnommen werden [41].

Die Ergebnisse sind alarmierend, und es sollten dringend weiterführende Untersuchungen zu Verbesserungspotentialen angestellt werden. Der ermittelte Index setzt sich aus verschiedenen Subindizes zusammen, welche nur in Teilen relevant zur Ermittlung des Stands der Digitalisierung in Deutschland sind. Daher werden im Folgenden die Subindizes Steuern, Regulierungen, Finanzierung und Energie nicht weiter betrachtet. Der Index Infrastruktur und Institutionen gibt Aufschluss über den Zustand

Land	Punktwert 2022	Rang 2022	Punktwert 2020	Rang 2020
USA	62,59	1	62,88	
Kanada	62,09	2		
Schweden	61,36	3		
Schweiz	61,13	4		
Dänemark		5	60,78	5
Irland	58,29	6	59,66	6
GBR	57,52	7	59,04	8
Finnland				
Niederlande				
Polen				
Tschechien				
Belgien				
Österreich				
Portugal				
Slowakei				
Japan				
Frankreich				
Deutschland	47,93			
Ungarn				
Spanien				
Italien				

Abbildung 8: Der internationale Vergleich verschiedener Wirtschaftsstandorte [41, S.12.]

der digitalen Infrastruktur in Deutschland. Der Index Arbeitskosten, Produktivität und Humankapital liefert Erkenntnisse über Kostenstrukturen innerhalb der Fabrikaurüsterbranche und lässt damit Rückschlüsse auf deren Stand der Digitalisierung zu.

Der Subindex Infrastruktur und Institutionen unterteilt sich weiter in die Teilbereiche Transportinfrastruktur, IKT-Infrastruktur, Rechtssicherheit, Korruptionskontrolle sowie Kriminalität und politische Stabilität. Lediglich der Teilbereich IKT-Infrastruktur ist zur Ermittlung des Stands der Digitalisierung relevant. In die Bewertung des Teilbereiches fließen maßgeblich die Leistungsfähigkeit der Breitbandnetzwerke und die Internetsicherheit ein. Bei genauerer Betrachtung dieses Bereiches zeichnet sich ein anderes Bild. Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, belegt Deutschland im internationalen Vergleich den vierten Platz und liegt somit noch vor den USA [41, S. 63ff]. Diese Erkenntnis wird auch durch Daten der Europäischen Kommission bestätigt. In dem seit 2017 kontinuierlich erhobenen »Digital Economy and Society Index« (DESI) belegt Deutschland in Sachen Konnektivität hinter Dänemark, Niederlande und Spanien den vierten Platz. Auch in diesen Index fließt die Leistungsfähigkeit der Netze neben der Breitbandabdeckung, dem mobilen Breitbandnetz sowie dem Preis maßgeblich in die Indexbildung ein. In den Bereichen 5G-Netzab-



Ob wir eine Exportnation bleiben, hängt unter anderem davon ab, in welchem Maß die deutschen Unternehmen qualitativ und/oder preislich wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen entwickeln und anbieten. Auch dürfen entsprechende Vorteile nicht durch Transportkosten, Bürokratiekosten oder Handelshemmnisse behindert werden.

(Prof. Dr. Friederike Welter, Präsidentin des Instituts für Mittelstandsforschung (IfM), Bonn, im Handelsblatt am 2.1.2023.)

deckung und 5G-Spektrum belegt Deutschland Spitzenpositionen [42]. Es kann festgehalten werden, dass die Bundesrepublik eine gut ausgebaute und international wettbewerbsfähige digitale Infrastruktur bietet und somit einen guten Standort für umfangreiche Digitalisierungsprojekte darstellt.

Wie zuvor gezeigt bietet Deutschland einen sehr guten Standort für eine holistische Digitalisierung – dennoch wird diese nur schleppend umgesetzt, wie Daten der Europäischen Kommission zeigen. Bei genauerer Betrachtung des DESIs wird deutlich, dass die Bundesrepublik durchschnittliche Ergebnisse in den Kategorien »Mittelständische Unternehmen, die zumindest ein

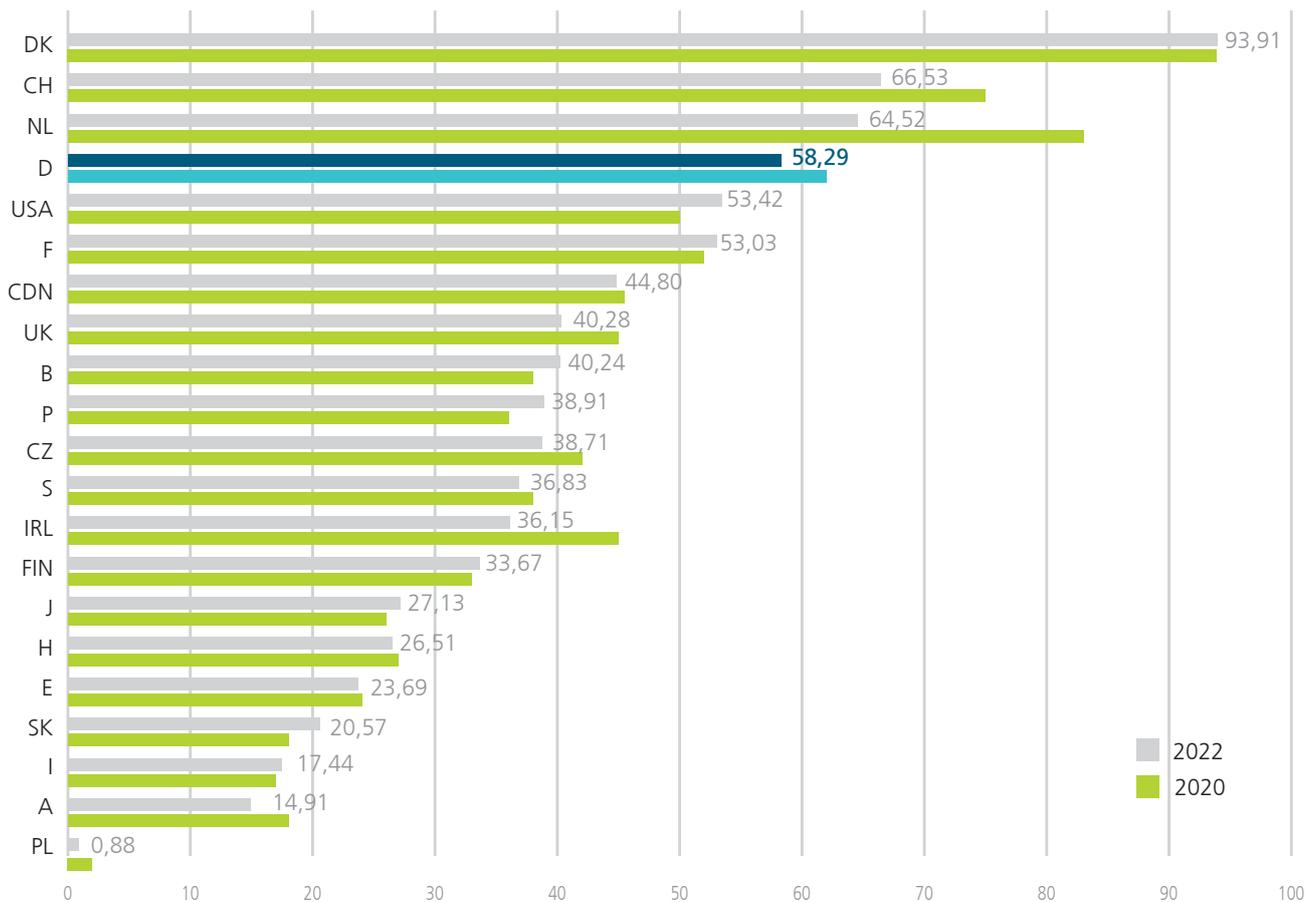


Abbildung 9: Die Ergebnisse des Teilbereichs IKT-Infrastruktur [41]

Basisniveau an digitalen Technologien nutzen« und »digitalem Informationsaustausch« erzielt. Ähnliche schlechte Ergebnisse erzielt Deutschland bei der Integration komplexer digitaler Technologien wie Big Data Anwendungen, Cloud Technologien und der Anwendung von künstlicher Intelligenz. Zusammenfassend sorgen die vergleichsweise schlechten Ergebnisse dafür, dass Deutschland bei der Integration der Digitalisierung in die Unternehmenspraxis hinter dem europäischen Durchschnitt liegt. Von insgesamt 27 EU-Mitgliedsstaaten belegt die Bundesrepublik den 17. Platz [42]. Diese Ergebnisse bestätigen das Narrativ, dass Deutschland die Digitalisierung verschläft. Die Vermutung liegt nahe, dass die verschleppte Digitalisierung zudem maßgeblich zu einem weiteren Standortnachteil der Bundesrepublik beiträgt – die relativ geringe Produktivität pro eingesetzter Arbeitsstunde. Die Hypothese wird dadurch bekräftigt, dass die Länder mit Spitzenpositionen im DESI bei der Integration der Digitalisierung in die Unternehmenspraxis sich auch nach der Stiftung Familienunternehmen unter den produktivsten zehn Ländern befinden [41, S. 27ff].

Bei genauer Betrachtung der Produktivitätsstrukturen der einzelnen Standorte fällt auf, dass die Produktivität pro eingesetzter Arbeitsstunde in Deutschland verhältnismäßig gering

ist. Die durchschnittliche Produktivität pro Arbeitsstunde liegt bei 56,64 EUR. Die Bundesrepublik belegt damit den 11. Platz im internationalen Vergleich. Die Produktivität der deutschen Fabrikarüstungsbranche liegt mit 53,48 EUR [41, S. 218] knapp drei Euro unter dem bundesweiten Durchschnitt. Zusätzlich zur geringen Produktivität weist der Wirtschaftsstandort Deutschland mit 43,20 EUR sehr hohe stündliche Arbeitskosten auf. Wie Abbildung 10 zu entnehmen ist belegt die Bundesrepublik in Sachen Arbeitskosten den 17. Platz im internationalen Vergleich. Lediglich Schweden, Belgien, Dänemark und die Schweiz haben höhere Arbeitskosten. Für die ausrüstende Industrie ergeben sich mit 41,95 EUR [41, S. 214] leicht geringere Kosten pro Stunde als im Bundesdurchschnitt. Setzt man die vergleichsweise hohen Arbeitskosten und die eher geringe Produktivität ins Verhältnis, wird ein wesentlicher Standortnachteil der Bundesrepublik deutlich: Das geringe Maß an Integration digitaler Technologien in den Unternehmen sorgt für höhere Arbeitskosten und geringere Produktivität als an besser digitalisierten Standorten, wie beispielsweise Dänemark. Besonders für die ausrüstende Industrie mit arbeitsintensiven Prozessen bedeutet dies einen wesentlichen Standortnachteil im internationalen Wettbewerb.

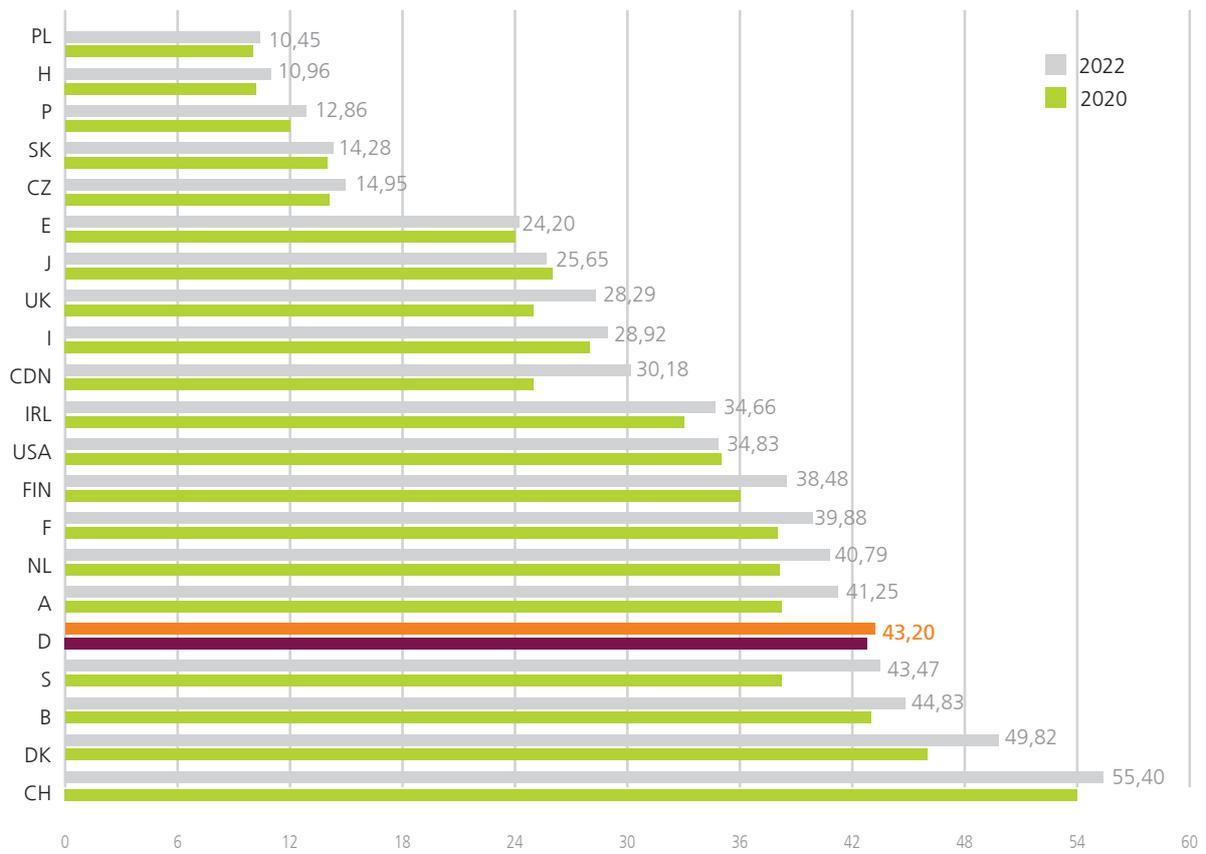
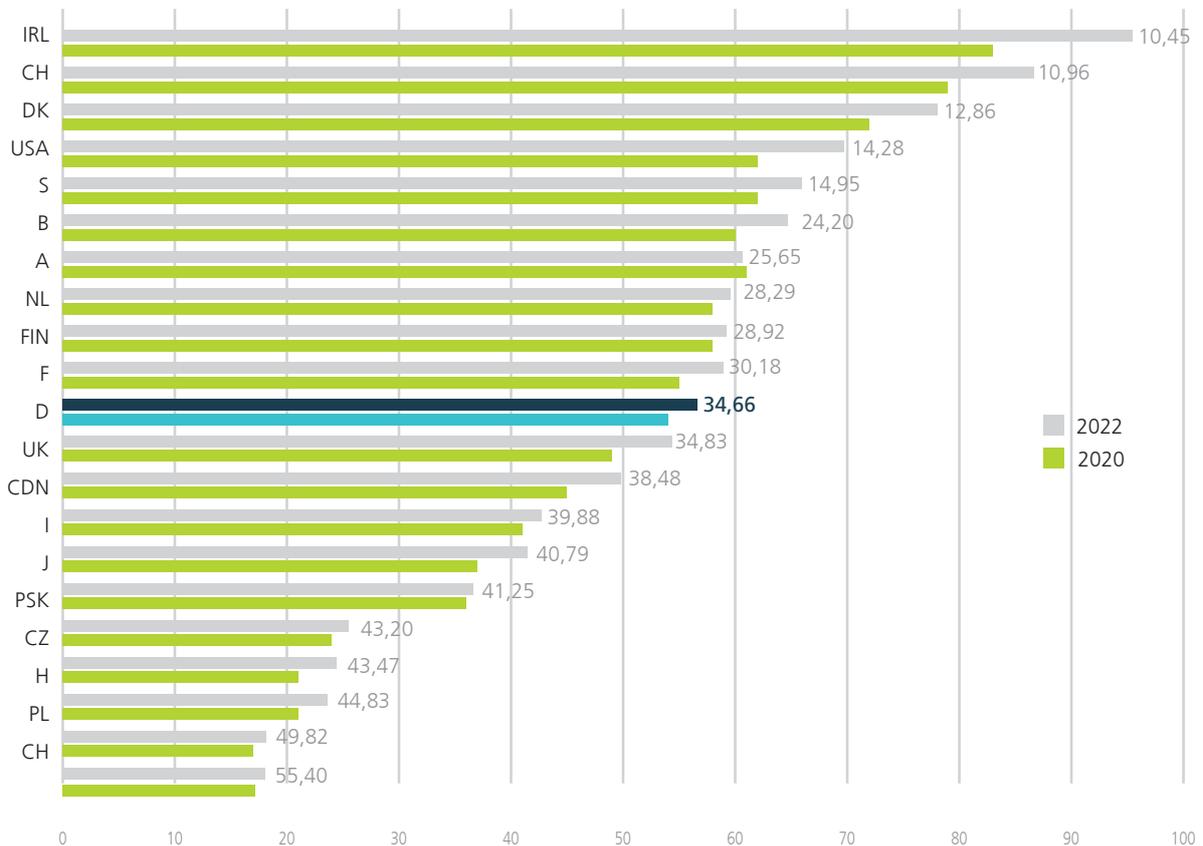


Abbildung 10: Durchschnittliche Arbeitskosten (oben) und Produktivität (unten) je Stunde im internationalen Vergleich [41, S. 25ff]



Durch die geringe Produktivität der Fabrikaurüsterbranche stellt sich die Frage, wie es um die Digitalisierung innerhalb der Branche bestellt ist. Der im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz erhobene Digitalisierungsindex ermöglicht eine umfassende Analyse der Digitalisierung der Branche. Wie bereits in Kapitel 3.1 gezeigt erlaubt die Betrachtung des Maschinenbaus, inklusive Komponentenhersteller und Elektroindustrie, belastbare Aussagen über die Gesamtheit der Fabrikaurüsterbranche. Abbildung 11 kann entnommen werden, dass die Fabrikaurüsterbranche deutlich stärker digitalisiert ist als der Bundesdurchschnitt. Allerdings fällt auf, dass die Digitalisierung in der Branche rückläufig ist. Besonders die sinkende Qualifikation der Fachkräfte und sinkende Forschungs- und Entwicklungsausgaben tragen zu dieser Entwicklung bei [17]. Die rückläufigen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung innerhalb der Branche decken sich mit denen in Kapitel 3.2 angestellten Beobachtungen. Zudem decken sich die Beobachtungen der sinkenden Qualifikation der Fachkräfte mit den Daten der Europäischen Kommission. Laut DESI belegt die Bundesrepublik eher durchschnittliche Plätze in den Bereichen

IKT-Spezialisten und IKT-Schulungsangebot durch Unternehmen. Auffallend ist, dass in Deutschland weniger als 50 % der Bevölkerung grundlegende digitale Fähigkeiten besitzen. Dies kann eine mögliche Erklärung für die rückläufige Entwicklung der Qualifikation der Fachkräfte innerhalb der Branche sein. Positiv hervorzuheben ist, dass die Produkte und die Geschäftsmodelle der Branche zunehmend digitaler werden. Allerdings sind die Prozesse kaum digitaler als der Bundesdurchschnitt und die Digitalisierung der Geschäftsmodelle liegt deutlich hinter dem Durchschnitt. Die Abnehmer der ausrüstenden Industrie, also die Betreiber, liegen noch deutlich hinter dem Bundesdurchschnitt, werden aber zunehmend digitaler. Dies wird maßgeblich durch die zunehmend digitalen Geschäftsprozesse getrieben [17]. Bei den Fabrikbetreibern besteht also noch ein maßgeblicher Nachholbedarf was die Digitalisierung angeht.

Im Kontext der zuvor gewonnenen Erkenntnisse zeichnet sich jedoch ein anderes Bild. Betrachtet man die Tatsache, dass Deutschland im europäischen Vergleich den 17. Platz bei der Integration der Digitalisierung in Unternehmen belegt, sind die



Abbildung 11: Branchenvergleich des Digitalisierungsindex [17]

Ergebnisse besorgniserregend. Zum einen fällt das verarbeitende Gewerbe in Sachen Digitalisierung im internationalen Vergleich zurück. Zum anderen bestätigt sich die zuvor aufgestellte Hypothese, dass die geringe Produktivität der Fabrikaurüsterbranche durch die mangelnde Digitalisierung innerhalb der Branche bedingt ist.

Aus einer Umfrage von 2017 unter Industrieunternehmen geht hervor, dass knapp die Hälfte der deutschen Industrieunternehmen neue digitale Geschäftsmodelle entwickeln möchte. Knapp 55 % hatten Industrie 4.0-Anwendungen bereits im Einsatz oder geplant. Während Software zum Computer Aided Design (CAD) von 92 % der Unternehmen verwendet wird, werden Software-Lösungen, die tiefer in den Fertigungsprozess integriert sind - wie Computer Aided Planning, Computer Aided Manufacturing und Produktdatenmanagement - seltener verwendet. Gerade das Produktdatenmanagement, das einen einfachen Einstieg in die Industrie 4.0 und in Datenökosysteme bietet, wird nur von knapp 41 % der Befragten verwendet. Enterprise Resource Planning Systeme hingegen werden von jedem dritten Unternehmen zur Materialbedarfsplanung genutzt. Dabei nutzen 71 % der großen und nur knapp jedes zweite mittelgroße und jedes vierte kleine Unternehmen solche Software [18].

Abschließend kann festgehalten werden, dass das in der öffentlichen Berichtserstattung vorherrschende Narrativ, Deutschland verschlefe die Digitalisierung, zutrifft. Dies zeigt sich besonders deutlich in den Arbeitskosten und Produktivitätszahlen und führt zu einem wesentlichen Standortnachteil im internationalen Wettbewerb. Ein möglicher Grund für die verhaltene Digitalisierung ist die unterdurchschnittliche

Digital-Qualifikation deutscher Fachkräfte. Trotz der hohen Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger digitaler Infrastruktur in der Bundesrepublik bildet die deutsche Fabrikaurüsterbranche keine Ausnahme. Um mithilfe eines Leuchtturmprojekts für die Ausrüster innerhalb Manufacturing-X den Wirtschaftsstandort Deutschland für die ausrüstende Industrie wieder international wettbewerbsfähig zu machen, bedarf es daher umfangreicher Maßnahmenpakete, die maßgeblich zur Digitalisierung der Prozesse und der Geschäftsmodelle beitragen. Die Maßnahmen sollten zusätzlich Programme zur Verbesserung der digitalen Qualifikation der Fachkräfte beinhalten, um den bestehenden Qualifikationsrückstand aufzuholen. Wie zuvor aufgezeigt, sind die Betreiber merklich schlechter digitalisiert als der Bundesdurchschnitt. Dies ist ein deutlich limitierender Faktor für das Leuchtturmprojekt. Wesentliche digitale Innovationen in Geschäftsprozessen und Geschäftsmodellen sind durch ein Mindestmaß an abnehmerseitiger Digitalisierung bedingt. Um diese Voraussetzung für die Digitalisierung der ausrüstenden Industrie zu schaffen bedarf es daher zusätzlicher korrelierender Maßnahmenpakete für die Betreiberbranche. Zum Beispiel die Schaffung einer digitalen Infrastruktur zur einheitlichen Abwicklung innovativer Zahlungsmodelle wie Pay-per-Use, oder Schulungen im Umgang mit den zur Verfügung gestellten digitalen Prozessen. Es ist somit zwingend erforderlich, zur Erstellung des Leuchtturmprojektes Maßnahmen entlang der horizontalen Wertschöpfungskette zu definieren. Die Handlungsbedarfe für Digitalisierungsmaßnahmen sind daher in Abbildung 12 für die ausrüstende Industrie und die Betreiber zusammengefasst.

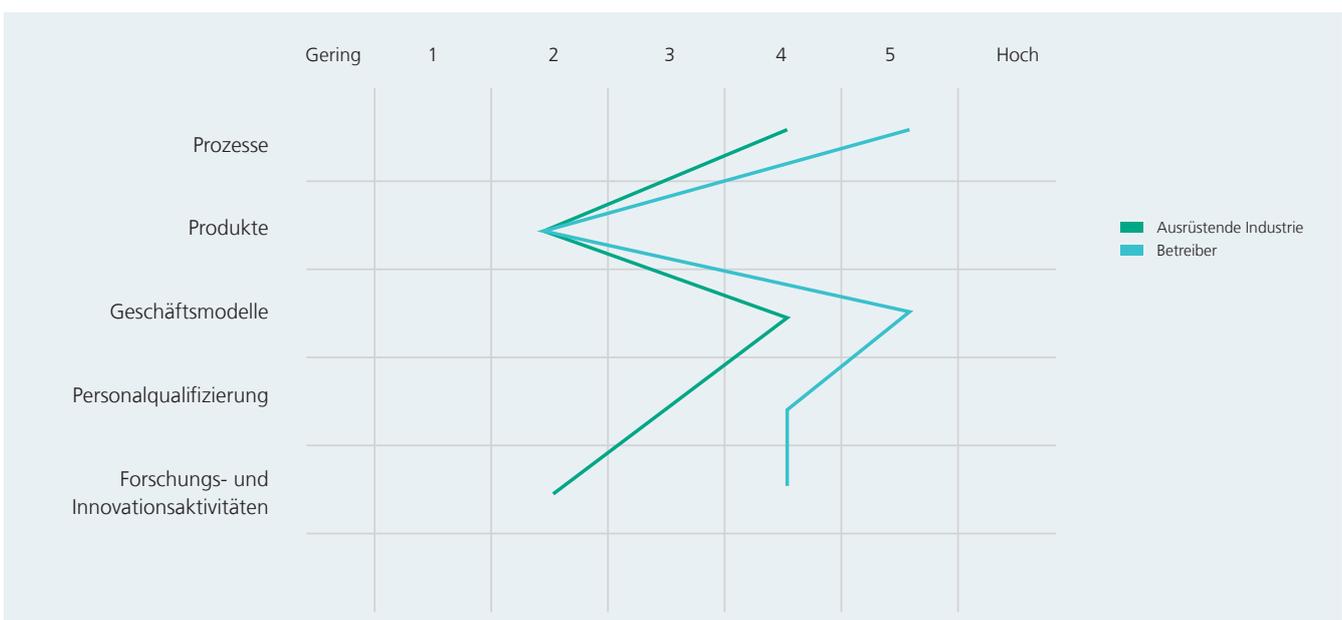


Abbildung 12: Handlungsbedarf bzgl. der Digitalisierung in der Fabrikaurüster- und Betreiberbranche; Quelle: eigene Darstellung

4. Trends und Herausforderungen der Fabrikausrüster

In diesem Kapitel beschreiben wir, welche politisch bedingten, regulatorischen, sozialen oder technologischen Anforderungen auf die Fabrikausrüster zukommen. Daraus leiten wir Thesen zur Entwicklung der Ausrüsterbranche ab, zeigen letztlich F&E-Bedarfe auf und leiten Handlungsempfehlungen ab. Manchmal mag der Leser denken: »Das ist ja nichts Neues, das wusste ich schon«. Nur: vor dem Hintergrund der vorher beschriebenen Defizite bei der Digitalisierung in Unternehmen und zwischen Unternehmen stellt sich zunehmend die Frage, wie Deutschland den Rückstand aufholen und wieder auf die »Überholspur« kommen kann.

4.1 Abhängigkeit von ausländischen Vorleistungen stellen die Lieferkette vor Herausforderungen

Politische oder wirtschaftliche Entwicklungen und generelle Trends bedingen eine regelmäßige Anpassung von Lieferketten. Vor allem Krisenereignisse sorgen für tiefgreifende Veränderungen und führen so immer wieder dazu, dass Lieferketten angepasst werden, z. B. weil

- Lieferanten von Vorleistungen durch Krisen ausfallen (Beispiel Ukraine-Krieg),
- Transportwege blockiert sind (Beispiel Suez-Kanal),
- (Roh-) Materialien auf einmal nicht mehr im benötigten Umfang verfügbar sind (Beispiel Halbleiter),
- die Nachfrage nach bestimmten Produkten sprunghaft und unvorhersehbar steigt (Beispiel Impfstoff).

Durch die Corona-Pandemie haben Lieferketten in den letzten Jahren in den Medien große Beachtung gefunden. Dies liegt vorwiegend an der Tatsache, dass Verbraucher und Unternehmen mit kritischen Materialengpässen konfrontiert waren. Fast jeder Verbraucher erinnert sich an den Mangel an Toilettenpapier, an Masken, Händedesinfektionsmittel und Arzneimittel während und - aufgrund der Zeitverzögerungen in der Lieferkette - nach der Pandemie. In jeder Branche wurden Lieferketten intensiv durch die Abteilungen hinweg diskutiert, und logistische Aspekte wurden zum Hauptthema in produktionslastigen Industriezweigen [19]. Durch die enge Verzahnung der

globalen Lieferketten sind die Verwirbelungen in den Lieferketten noch sehr deutlich. Noch immer sind 49 % der Industrie von starken Lieferengpässen betroffen [20] (siehe auch Abbildung 13). Dies liegt an den Wechselwirkungen der einzelnen Vorfälle, einem hohen Sicherheitsdenken zur Absicherung der Produktion und den teilweise zu wenig koordinierten Abläufen in eng verzahnten Lieferketten.

Zu den oben aus den Statistiken abgeleiteten (ernüchternden) Erkenntnissen kommt hinzu, dass Deutschland - und hier vor allem der Maschinenbau - erheblich auf ausländische, konkreter: außereuropäische Vorleistungen angewiesen ist. Beispielsweise weist eine jüngst erschienene Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft [2] nach, dass gerade der Maschinen- und Anlagenbau, seine Automatisierungskomponenten sowie Inbetriebnahme, Reparatur und Wartung von Maschinen und Anlagen abhängig sind von Vorleistungslieferungen aus dem Ausland (siehe Abbildung 14). Am Beispiel von China sind dies geschätzt 15 % (gewichteter Mittelwert aus den orange markierten Balken), mehr als doppelt so viel wie der Durchschnitt aller deutschen Industriebranchen [2]. Im besonders stark betroffenen Wirtschaftszweig 26 (WZ 26) sind u.a. elektronische Bauelemente und Leiterplatten, Datenverarbeitungsgeräte und Datenträger enthalten, also Komponenten, die u.a. für Steuerungen von Maschinen und Anlagen erforderlich sind. Eine ähnliche Studie der EU-Kommission bescheinigt Deutschland weitere Abhängigkeiten - nach China - von Vietnam und Brasilien [4].

4.2 Notwendigkeit zum Aufbau von Resilienz bei den Fabrikausrüstern

Die hohe Abhängigkeit der Fabrikausrüster von ausländischen Vorleistungen führte in den Krisen zu fehlenden Teilen in der Produktion, und die Logistik der Teileversorgung bekam einen neuen Stellenwert. Bei Lieferanten in Übersee fehlten Kapazitäten, bei Corona-Fällen in den Häfen wurden die zu versendenden Volumina weitestgehend reduziert und der Containerkreislauf kam aus dem Takt. Dadurch hatten die Krisen eine hohe Auswirkung auf die Verfügbarkeit von Containern mit dem Resultat, dass Frachtraten für den Überseetransport

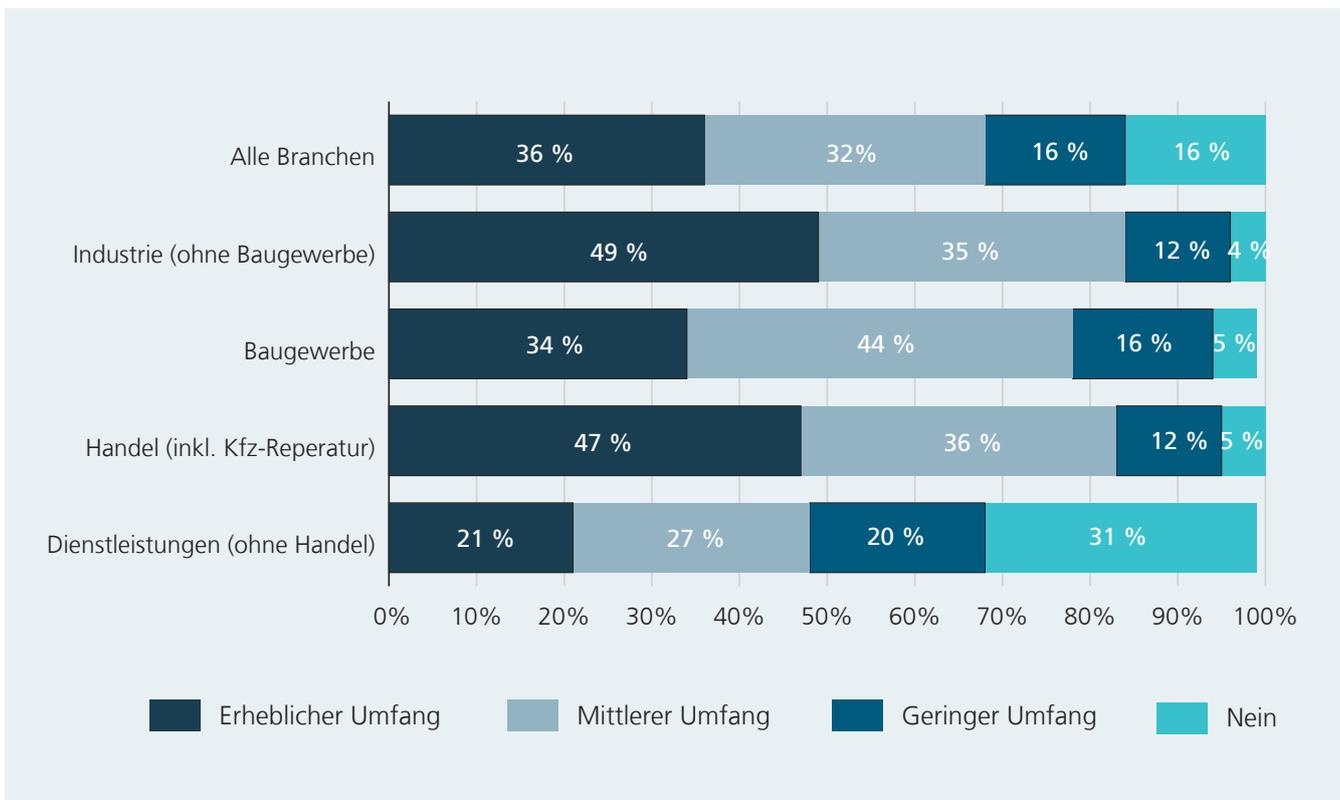


Abbildung 13: Lieferschwierigkeiten von Unternehmen nach Branchen in Deutschland 2022 (N= rd. 28.000)

enorm angestiegen sind und in Q1/2023 immer noch auf einem 2,5-fachen Niveau gegenüber 2019 liegen [21]. Durch die fehlenden Teile aus Übersee wurde vor allem die Euphorie für Lieferungen aus den asiatischen Märkten relativiert. Dies führte dazu, dass Unternehmen, darunter Fabrikaurüster, eine Risikobetrachtung für den Bezug von Teilen für ihre Produktion durchführten. Die bei Überseetransporten langen Vorlaufzeiten und zeitverzögerte Auswirkungen auf die eigene Produktion wurden allen Beteiligten in den Unternehmen bewusst. Nur durch eine enge kommunikative Zusammenarbeit der Abteilungen und massive Umkonstruktionen, die zwangsläufig Kapazitäten der Produktentwicklung entzogen, ließen sich Engpässe überbrücken.

Darüber hinaus hat die Unsicherheit über zukünftige geopolitische Entwicklungen die Fabrikaurüster dazu motiviert, verstärkt auf regionale Lieferanten zuzugehen oder Lieferanten aus politisch befreundeten Ländern auszusuchen. Bereits seit 2018 werden weitere Handelshemmnisse aufgebaut, mit dem Effekt, dass sich »unabhängige Blöcke« bilden, z.B. Aufbau einer eigenen Lieferkette für den chinesischen Markt und einer weiteren für die EU/USA, um die durch Zölle und ähnlichem aufgestellten Hürden zu überwinden [22]. Aufgrund möglicher geopolitischer Blockbildung stehen Fabrikaurüster vor der Frage, ob sie weiterhin Material und Komponenten weltweit sourcen oder regionale Netze aufbauen. Die knappen und

dadurch teuren Transportkapazitäten sowie CO₂-Berechnungen zur Einhaltung von Nachhaltigkeitsanforderungen beeinflussen diese Entscheidung zunehmend.

4.2.1 Resilienz durch Regionalisierung der Lieferkette

Durch die von Krisen verursachten vielfältigen Störungen und Unterbrechungen in der Lieferkette haben viele Fabrikaurüster die Notwendigkeit erkannt, die Widerstandsfähigkeit ihrer Lieferkette durch Diversifizierung und die Suche nach alternativen Lieferanten zu verbessern. Oft wird die Auswahl an Lieferanten durch notwendige Qualitätsziele und Zertifizierungsprozesse eingeschränkt, in manchen Fällen beschränkt eine global mangelnde Verfügbarkeit kritischer Materialien und Teile die Lieferantenauswahl. Zudem limitierte die politische Unsicherheit die Auswahl, da vorwiegend lokale und regionale Lieferanten zur Überbrückung der Engpässe gesucht wurden. Die entstehende Regionalisierung bringt wegen der kürzeren Transportwege zudem einen Vorteil beim CO₂-Fußabdruck mit sich. Durch die kurzen Transportwege kann davon ausgegangen werden, dass die Verlässlichkeit der Transporte zunimmt und die Menge an Eil- und Sondertransporten reduziert werden kann, mit einem weiteren, positiven Effekt auf die CO₂-Bilanz eines Unternehmens. Bei der Neuauswahl der Lieferanten wurde aufgrund des Lieferkettengesetzes zudem darauf geachtet, dass ein paralleler Aufbau strategischer Ziele ermöglicht wird, z.B.

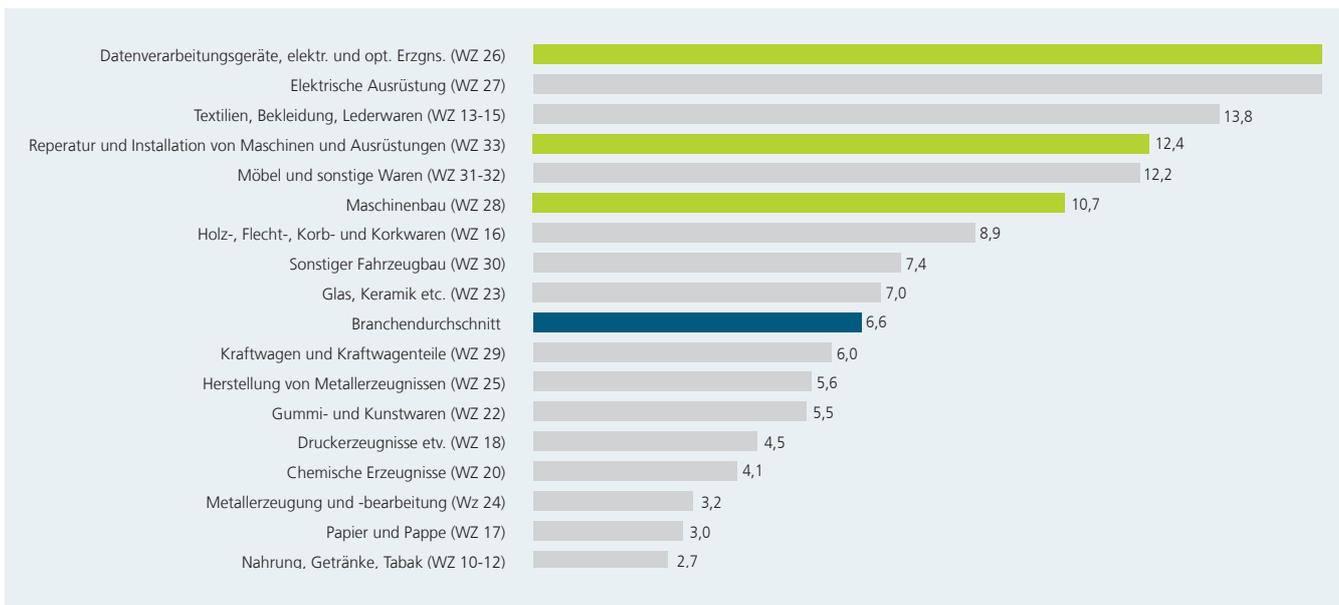


Abbildung 14: Anteile der Vorleistungslieferungen aus China an den Vorleistungslieferungen aus dem gesamten Ausland nach Wirtschaftszweigen im Jahr 2020 in % [2].

indem die Lieferanten einen Beitrag zur Nachhaltigkeit und der ethischen Beschaffung leisten.

In Kombination mit volatilen Transportkosten führte die Suche nach regionalen Lieferanten zu einer »Slobalization«, also einer Verlangsamung der Globalisierung, die auch in den kommenden Jahren noch anhalten wird [22]. Dennoch bleiben globale Volumenströme erhalten, werden aber verstärkt mit regionalen Lieferungen angereichert. Es kommt zu einer »Glokalisierung«, einer Kombination aus global liefernden Hauptvolumenströmen und lokalen, kleinen Liefermengen [23]. Dies steigert die Resilienz, da Variantenteile später freigegeben werden müssen und sich Eiltransporte und Sonderfrachten reduzieren. Es resultieren vermehrt kleinere regionale Netzwerke für bestimmte Komponenten oder Teilesets, die weiterhin global miteinander verbunden sind [24]. Die neu entstehenden Globalisierungsmuster können eine Gelegenheit sein, Konzepte der Ressourcengewinnung über Kreislaufwirtschaft anzustoßen, die sich in regionalen Lieferketten prototypisch einfacher angehen und austesten lassen [25].

4.2.2 Resilienz durch Veränderung der Beschaffungsstrategien mit Dual- und Cross-Sourcing

Die Schwierigkeiten durch Teileengpässe für die Produktion und verlängerte Dauer der Transporte führten zu veränderten Beschaffungsstrategien und Umstellungen in den Lieferketten [26, 27]. Dabei zeichnet sich eine Änderung im Bewusstsein der Einkäufer ab: Risiken und die Auswirkungen von Lieferkettenstörungen auf die Produktion wurden durch die letzten Krisen ersichtlich, was dazu führt, dass Resilienz im

Beschaffungsvorgang einen anderen Stellenwert bekommt. Lag der Fokus vorher vorwiegend auf den Beschaffungspreisen, ist es nun die Resilienz, welche die Beschaffungsentscheidungen überlagert [24]. Auf strategischer Ebene stärken Unternehmen die Resilienz ihrer Lieferketten, indem Cross-Sourcing und Dual-Sourcing Strategien mitgedacht werden. Im Rahmen von Dual-Sourcing werden zwei Unternehmen mit der Produktion eines Teils oder einer Komponente beauftragt. Dadurch erhöht sich die Anzahl der Lieferanten und mit ihr die Komplexität in der Lieferkette. Bei Cross-Sourcing hingegen werden bereits existierende Lieferanten zur Ausfallsicherung der Produktion von Teilen bei Engpässen eingesetzt. Dadurch bleibt trotz Risikoabsicherung die Lieferantenbasis gleich und vereinfacht Kommunikationsabläufe. Um die Anzahl an Lieferanten nur geringfügig zu erhöhen, sind Cross-Sourcing Optionen zu bevorzugen. Ein weiterer Vorteil des Cross-Sourcings liegt in der Vereinfachung von Qualitäts- und Zertifizierungsprozessen sowie nur geringfügig erhöhter Abstimmungsaufwände. Bei der Entscheidung zur Einbindung von Lieferanten mittels Dual- und Cross-Sourcing Strategien müssen die Unternehmen das richtige Gleichgewicht in ihrem Lieferantenportfolio finden und die Risiken minimieren.

Sind alternative Lieferanten vorhanden, liefert ein geografisch diversifizierter Cross-Sourcing Ansatz Flexibilität zur Verbesserung der Resilienz in Bezug auf geopolitische Risiken bei gleichzeitiger Kontrolle der Komplexität auf der Lieferantenbasis. Dennoch wird insbesondere bei Volumenumfängen der Großteil weiterhin vom kostengünstigeren Lieferanten bezogen, so dass durch Dual- und Cross-Sourcing nur eine geringfügig erhöhte Regionalisierung der Produktion zu erwarten ist.

4.2.3 Resilienz durch Aufbau von Lagerkapazitäten

In den letzten beiden Jahrzehnten wurde von den meisten Unternehmen ein Lean-Ansatz verfolgt, die häufig Just-in-Time- und Just-in-Sequence-Lieferungen, niedrige Bestände und Warehouse-on-Wheels vorsahen. Diese Denkweise hat sich in letzter Zeit geändert. Während die Kapitalbindung durch Bestände eine untergeordnete Rolle spielt, ist es von größerer Bedeutung, kritisches Material verfügbar zu haben. Dies spiegelt sich in den neuen Konzepten des »Just-in-Case« anstelle des berühmten »Just-in-Time« wider [22]. Darüber hinaus führten die knappen Transportressourcen zu einer hohen Unzuverlässigkeit bei prognostizierten Ankunftszeiten im intermodalen Verkehr. Daher haben viele Unternehmen begonnen, Materialien und Komponenten zu bevorraten, sobald sie verfügbar sind. Allein die zunehmenden Verzögerungen der Schiffstransporte erforderte erhöhte Sicherheitsbestände, damit die Produktion weiterhin aufrecht erhalten blieb. Entlang der Lieferkette hat sich dieses Verhalten sehr unternehmenszentriert fortgesetzt, um trotz erhöhter Unsicherheit in der Lieferkette die Lieferfähigkeit beizubehalten. Nahezu lehrbuchartig konnte der Bullwhip-Effekt als Folge dieses Verhaltens in der Lieferkette nachvollzogen werden, also der sich aufbausende Aufbau von Bestand entlang der Lieferkette. Dieser Anstieg in der Bevorratung führt insbesondere bei knappen Ressourcen und Materialien zu weiteren Problemen der Verfügbarkeit von Materialien und/oder Komponenten sowie Produktionskapazitäten. Parallel wurden für die erhöhten Sicherheitsbestände

zusätzliche Lagerkapazitäten benötigt. Dies führte in 2021 zu einer Preissteigerung von über 30 % bei Mietpreisen für externe Lager gegenüber dem Vorjahr (vgl. Abbildung 15).

Durch die Lagerkosten und die Kapitalbindung der lagernden Teile ist es wichtig, zwischen kritischen Teilen und allgemein verfügbaren Teilen zu unterscheiden. Segmentierungsstrategien der Bestände unterstützt die Auswahl notwendiger Bestandshöhen pro Teilkategorie.

4.2.4 Resilienz durch Transparenz zur Abstimmung und frühzeitigen Risikoanalyse

Während der Corona-Pandemie wurde ersichtlich, dass die Mehrheit der Fabrikaurüster, vor allem KMU, mit jedem einzelnen Lieferanten die Lieferfähigkeit abstimmen musste, oftmals mehrmals täglich per Telefon. Tatsächlich ist es wichtig, schnelle Anpassungen in der Wertschöpfungskette zu ermöglichen und auf Risiken frühzeitig zu reagieren. Hierfür benötigt es einen effizienten Datenaustausch, der einen ganzheitlichen Überblick über die Lieferkette verschafft und frühzeitige Abstimmungen von Anpassungen in der Lieferkette ermöglicht. Zur optimalen Ausnutzung der Netzwerkfähigkeiten in der Lieferkette ist eine enge Verzahnung von Auftragsabwicklung, Bedarfsabsicherung und Produktionsversorgung unabdingbar. Eine Voraussetzung zur Umsetzung solcher adaptiven Lieferketten ist es, entsprechende Daten zwischen den beteiligten Partnern zu teilen. Dadurch können (automatisierte) Vorschläge

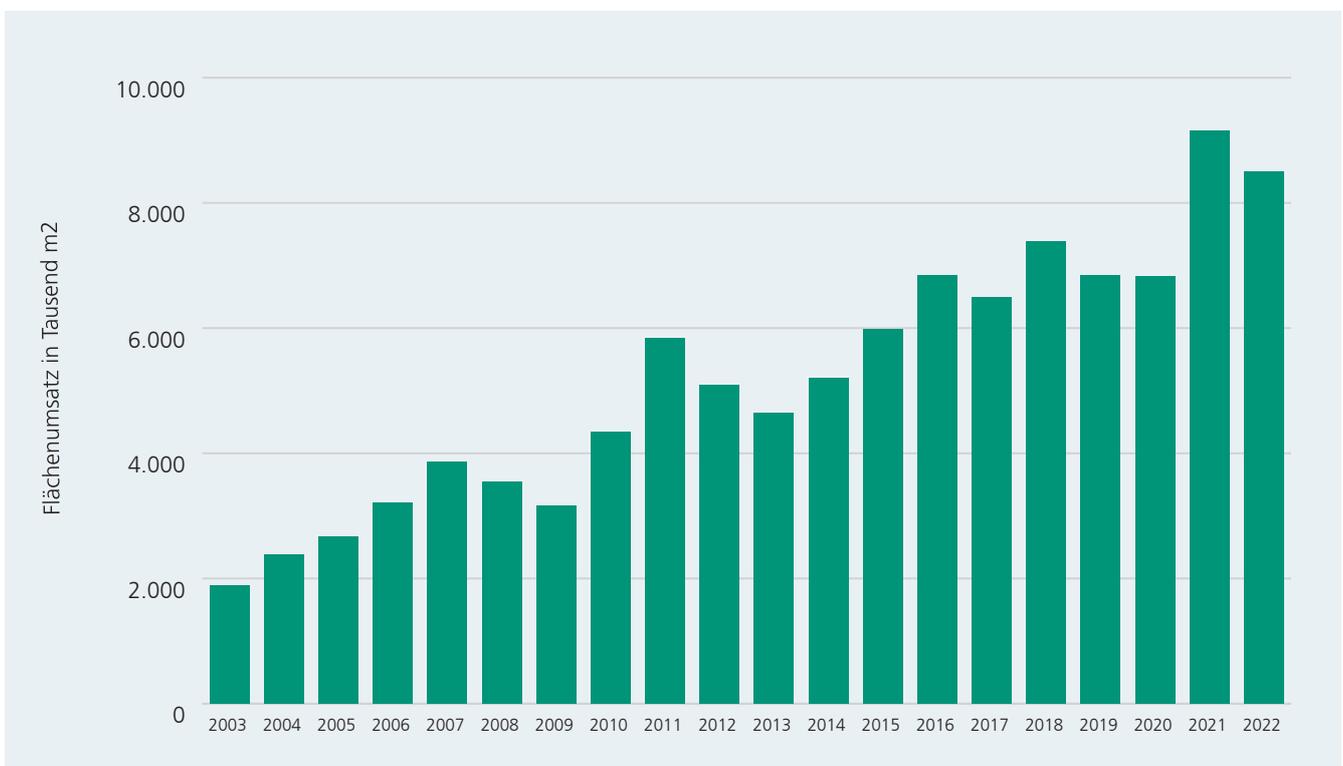


Abbildung 15: Entwicklung des Lagerflächenumsatz pro 1.000 m²

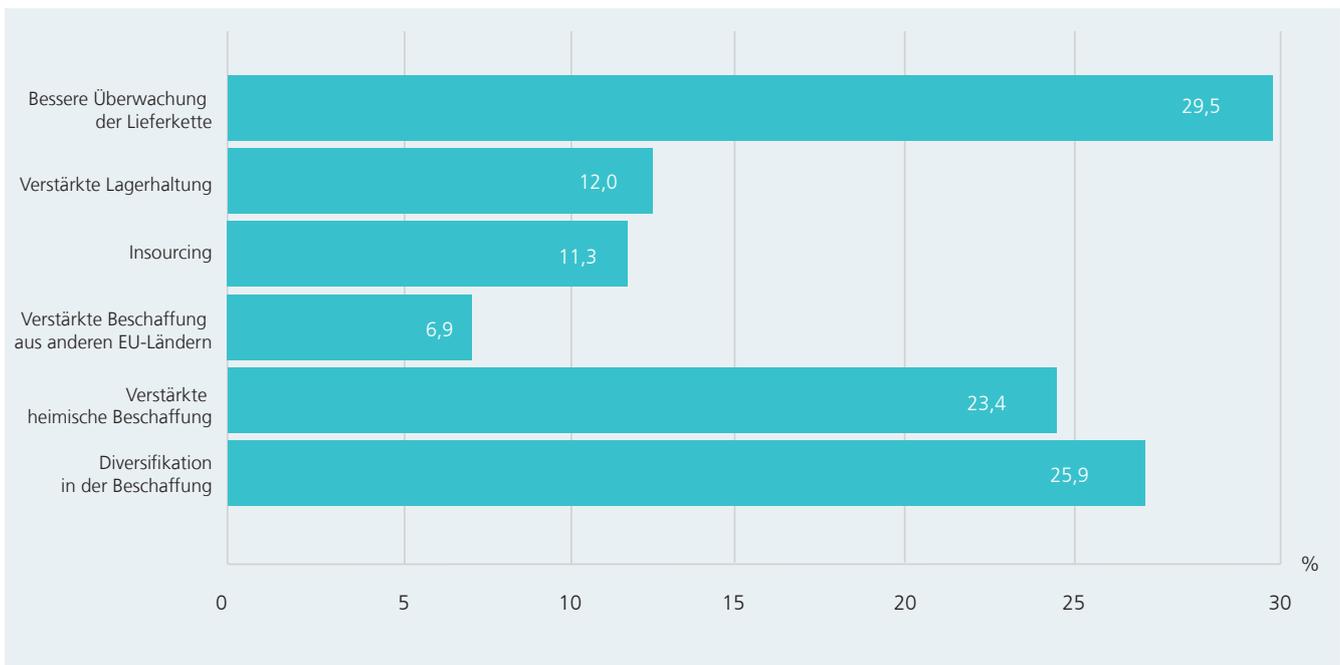


Abbildung 16: Geplante Änderungen in der Beschaffungsstrategie [5]

zur Anpassung der Lieferkette generiert werden, bspw. dass weitere Lieferanten zur Lieferung von Engpassmaterialien angesprochen oder andere Liefer Routen verwendet werden müssen. Transparenz und Datenaustausch für eine detaillierte und fundierte Analyse der Lieferkette können hier den Austausch zwischen den Partnern einer Lieferkette erleichtern und Anreize zur weitergehenden Zusammenarbeit liefern [22].

Doch die Lieferketten in der Industrie sind bisher nicht transparent. Die Wertschöpfungsketten bestehen bisher ausschließlich direkt in Form von Geschäftsbeziehungen eines Unternehmens mit den eigenen Kunden und Lieferanten. Es gilt somit anhand von Digitalisierung und Datenökonomie die Kommunikation mit Lieferanten und Vorlieferanten zu verbessern und ein multilaterales Datenteilen in der Industrie aufzubauen. Dabei liegen die Herausforderung der Transparenz in der Vereinheitlichung des Datenaustauschs mit Kunden, Lieferanten und Aus-rüstern sowie der Interoperabilität der Systeme. Neue Ansätze der Daten- und Plattformökonomie mit förderierten Daten-räumen bieten die Einhaltung der Souveränität der Daten und unterstützen den Aufbau der Transparenz. Eine Unterteilung in Datensammlung und Datennutzung ermöglicht darüber hinaus den Aufbau verschiedener Business-Applikationen von unterschiedlichen Anbietern. Dies bringt Unabhängigkeit von einzelnen Softwareanbietern mit sich.

4.2.5 Zusammenfassung der Resilienzstrategien in der Beschaffung

Die benannten Änderungen in der Beschaffungsstrategie wurden auch in einer Studie des ifo-Instituts im verarbeitenden Gewerbe quantifiziert. Fast ein Drittel der Unternehmen verändert demnach die Beschaffung und investiert in eine bessere Überwachung der Lieferkette. Die kurzfristig anvisierte erhöhte Lagerhaltung bestätigt die obigen Beschreibungen. Darüber hinaus werden zusätzliche lokale und regionale Lieferanten eingebunden oder Arbeitsschritte werden sogar im Unternehmen bearbeitet (siehe Abbildung 16) [5].

Das Insourcing betrifft vor allem die Variantenbildung, um die Anzahl an Varianten auf Lager gering zu halten und durch eine Verschiebung des Kundenentkopplungspunktes flexibler auf die Anfragen von Kunden eingehen zu können. Ermöglicht wird dies beispielsweise durch additive Fertigung. Insgesamt bietet eine flexible Allokation von Produkten in der Beschaffung (durch Diversifikation) und in der Produktion durch Standardisierung und Modularisierung der Produkte weitere Ansätze zur Steigerung der Resilienz.

Um frühzeitig den Risiken zu begegnen, benötigt es neue Ansätze und Methoden zum Aufbau adaptiver Lieferketten. Diese adaptiven Lieferketten bieten die Möglichkeit ihrer schnellen Umgestaltung nach Eintritt eines bis dahin unvorhersehbaren Risikos. Dafür ist die Organisation möglichst agil aufzubauen und die notwendigen Strukturen in der Lieferkette

frühzeitig mitzudenken, um schnelle Entscheidungen im Falle von drohenden Lieferengpässen auf allen Ebenen treffen zu können. Eine hohe Modularisierung der Produkte unterstützt die adaptiven Strukturen der Lieferkette und erlaubt eine flexible Anpassung des Produkts an Lieferengpässe (siehe hierzu auch Abschnitt 4.4). Die Anpassung des Produkts kann über eine flexible Lieferantenbasis gesteuert werden. Die hohe Volatilität auf den Märkten erfordert adaptive Lieferketten auch auf der Ausrüsterseite.

4.3 Einbindung der Nachhaltigkeit in die Lieferkette der Fabrik-ausrüster

Steigende gesetzliche Anforderungen und ein verändertes Nachfrageverhalten der Kunden [28] erfordert von der Fabrik-ausrüsterindustrie zunehmend eine auf Nachhaltigkeitskriterien ausgerichtete Strategie des Lieferkettenmanagements. Neben der Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz bedarf es hierzu insbesondere Strategien zur Dekarbonisierung, das heißt der proaktiven Reduktion des CO₂-Fußabdrucks durch eine durchgehende Minderung von Emissionen [29, 30]. Eine nachhaltige Lieferkette muss zukünftig ökologische, soziale und ökonomische Faktoren in integrierender Weise managen [30]. Dies setzt voraus, dass ein Perspektivwandel vom eigenen Handlungsraum im Unternehmen auf das gesamte Liefernetzwerk stattfindet, der die vor- und nachgelagerte Wertschöpfungsstufen in den Betrachtungsraum einschließt.

Die zunehmende Ressourcenknappheit stellt produzierende Unternehmen vor eine Reihe von Herausforderungen, wobei die Verwendung digitaler Technologien erheblich dazu beitragen kann, die Herausforderungen infolge der Ressourcenknappheit zu bewältigen und nachhaltigere und effizientere Wertschöpfungsstrukturen zu schaffen [29, 30].

4.3.1 Kostendruck auf globalen Rohstoff- und Energiemärkten

Die Verknappung relevanter Schlüsselrohstoffe und die Verteuerung von Energie (auch durch Besteuerung und Umlagen) erhöht den Kostendruck auf produzierende Unternehmen [30, 31]. Die bestehende Gefahr von Lieferengpässen für wichtige Rohstoffe [32] beeinträchtigt darüber hinaus die verlässliche Planung einer stabilen Liefertermintreuen und auslastungsorientierten Produktion. Mit einer Normalisierung und Neujustierung dieser Märkte wird es sowohl positive (Preisnormalisierung), als auch negative Effekte auf bestehende Geschäftsmodelle geben (Konsequenzen aus Preisspekulationen).

Unter der Prämisse, dass die Konsolidierung von Rohstofflieferanten weiter zunehmen wird [33], entsteht ein zunehmendes Risiko für produzierende Unternehmen. Der effiziente innerbetriebliche Einsatz von Ressourcen unter Einsatz innovativer

Lösungen, moderner Technologien und durch Substitution ressourcenintensiver Prozesse sowie die energie- und ressourcenoptimierte Planung und Steuerung bieten die Chance, derartige exogene Preiseffekte zu mildern [30]. Ein hochgradig digitalisiertes Energie- und Ressourcenmanagement zur Erfassung, Analyse und Optimierung von Energie- und Ressourcenbedarfen steigert die Effizienz kontinuierlich und wird im Wettbewerb mittlerweile zunehmend fokussiert [31, 32, 34]. Die Nutzung der bestehenden Mess- und Analyse-daten bietet allerdings noch erhebliches Potenzial, Energie- und Ressourcenbedarfe zu prognostizieren, um beispielsweise Engpässe frühzeitig zu erkennen, intensive Prozesse synergetisch zu synchronisieren und günstige Betriebsregime energie- und ressourcenorientiert zu steuern.

Als Reaktion auf den zunehmenden Protektionismus wirkt sich eine zunehmende Konzentration auf lokale Lieferanten durch den Hebel kürzerer Transportwege und gleichartiger regulatorischer Landschaften positiv auf die Ressourcennutzung aus [22, 33]. Die Struktur der bestehenden Wertschöpfungs-systeme wird sich infolge der Ressourcenverknappung auch deshalb verändern, weil die Verfügbarkeit (technisch, ökonomisch) von Wasser, erneuerbaren Energien, Prozessmedien etc. für zukünftige Standortentscheidungen, Neubau- und Erweiterungsplanungen maßgeblich sein wird. Quartiersaspekte und Industrieparksynergien wirken sich positiv aus und bilden weitere relevante Mikrostandortfaktoren, wenn sich gemeinsame Konzepte zur Wasser- und Abwärmenutzung, Wandlung und Nutzung erneuerbarer Energien oder zur Energiespeicherung zielführend und betriebswirtschaftlich umsetzen lassen [35]. Net Zero-Ansätze mit der Zielstellung energieautarker und CO₂-neutraler Standorte spielen dabei eine wesentliche Rolle. Die Etablierung und Teilhabe an einer entstehenden Kreislaufwirtschaft bieten darüber hinaus die Chance, derartige Risiken durch die Rückführung bereits beschaffter und verarbeiteter Rohstoffe zu mindern.

4.3.2 Steigender gesellschaftlicher und regulatorischer Druck

Immer komplexere Maßgaben strengerer Gesetze, Standards und Vorschriften, u.a. durch die 17 Ziele Nachhaltiger Entwicklung (SDGs) der UN, die Ausrichtung des Pariser Klimaabkommens (globale Erwärmung unter 2°C halten), zusätzliche Maßnahmen aus dem Klimaschutzgesetz in Deutschland (Treibhausgasneutralität bis 2045, verpflichtende Energieaudits) und die Vorschriften des Lieferkettensorgfaltspflichtengesetzes (ökologische und soziale Sorgfaltspflichten) zwingen Unternehmen fremdbestimmt zu Maßnahmen zur Verbesserung des Ressourceneinsatzes (technisch-ökologisch) und sozialer Nachhaltigkeitsaspekte (insb. Arbeitsbedingungen) [36]. Das unternehmensstrategische Handeln diesbezüglich rückt zudem immer mehr in die öffentliche Wahrnehmung. Ein dadurch beeinflusstes Unternehmens-Image kann

beispielsweise zu Nachfrageveränderungen oder Restriktionen bei der Kapitalbeschaffung führen [37].

Um regulatorische Entwicklungen und steigendes gesellschaftliches Bewusstsein zu adressieren, werden Unternehmen in hochgradig integrierten Lieferketten deshalb insbesondere vor der Herausforderung stehen, ein Tracking und Tracing auf Komponentenebene unter End-to-End-Kollaboration entlang der gesamten Lieferkette umzusetzen [30]. Der Nachweis der Verwendung der eigenen Produkte entlang des Produktlebenszyklus (und damit die Aufnahme, Verarbeitung, Speicherung und Weitergabe von Daten) wird den Einsatz moderne Technologien wie KI/ML, Verwaltungsschalen oder auch Blockchain als unterstützende Werkzeuge zur Identifizierung und (Rück-)Verfolgung unumgänglich machen [29].

4.3.3 Dynamischere Technologiezyklen und veränderte Geschäftsmodelle einer »Shared and Circular Economy«

Im Sinne der Sharing Economy wird Ressourceneffizienz zukünftig nicht nur durch klassische Hebel wie Optimierungen und technologische Neuerungen gefördert, sondern auch durch Sharing-Modelle von ungenutzten Ressourcen mit anderen Personen, Organisationen und Unternehmen adressiert. Bekannte B2C-Modelle wie Uber (Sharing ungenutzter Mobilitätsressourcen) und AirBnB (Sharing ungenutzter Wohn-/Immobilienressourcen) werden sich auch B2B im Manufacturing Sektor etablieren und ungenutzte Produktionsressourcen für andere Netzwerkakteure zugänglich machen [38]. Manufacturing Plattformen werden dementsprechend auch zur Steigerung der Ressourceneffizienz eine steigende Bedeutung und Nutzung erfahren, um Kapazitätsengpässe oder auch -überhänge ausgleichen zu können und Synergiepotenziale zu heben.

Unter der Maßgabe einer effizienteren Ressourcennutzung in der Produktion wird die Substitution ressourcenintensiver Prozesse und das Herstellen der Kreislauffähigkeit notwendig, um sich zukünftig im Wettbewerb zu differenzieren bzw. an neuentstehenden Wertschöpfungsnetzwerken beteiligt sein zu können [30]. Zirkuläre Wertschöpfungsstrukturen werden Unternehmen vor neue Herausforderungen des Supply Chain-Designs und -Managements stellen [22]. Produktlebenszyklen müssen entlang der Produktnutzung bis hin zur Rückführung in Form von Wiederverwendung, Reparatur, Remanufacturing und Recycling neu gedacht und nachgewiesen werden. Die ausgewiesene Herausforderung, Emissionen in diesem erweiterten Lebenszyklus nicht nur von Produkten, sondern auch von Komponenten und Modulen zu bedenken und nachzuweisen, steigert dabei erheblich die Komplexität, kann durch die intelligente Vernetzung verschiedener Akteure in softwaregestützten Systemen aber auch zu Effizienz- und Flexibilitätssteigerungen beitragen [30]. Angepasste und neu zu gestaltende Verwertungsstrukturen werden Konzepte der Reverse Logistics

zur Rückführung von Produkten vom Kunden hin zu Remanufacturing- und Recyclinginfrastrukturen (u.a. mittels Demontagefabriken/-prozessen) genauso etablieren, wie technologische und prozessuale Innovationen zur digitalisierten und automatisierten Wiederaufbereitung selbst (insb. Identifikation, Zustandsermittlung durch Befundung, Demontage, Reinigung, Wiederaufarbeitung).

Akteure der konventionellen Abfallwirtschaft können so zukünftig zu bedeutenden Zulieferern und Akteuren der Industrie und von Supply Networks werden, indem sie an der Demontage entsorgter Produkte und der Rückführung extrahierter Rohstoffe beteiligt sind. Die Entstehung von zirkulären Lieferketten wird zudem das Produktdesign ändern, da die Demontage und die daraus folgende Wiederverwendung, Reparatur oder Recycling mitbedacht werden müssen. Additive Fertigung kann hierbei neue Ansatzpunkte für die Wiederverwendung, Reparatur und das Recycling schaffen und wie die anderen genannten Technologien als »Enabler« der Kreislaufwirtschaft dienen. Für Fabrikaurüster entstehen in der Transformation dieser Wertschöpfungsstrukturen neue Kunden- und Absatzstrukturen, wenn sie die Prozesse der Wiederaufarbeitung technologisch bedienen [22, 33]

4.3.4 Nachhaltige Produktgestaltung als Grundlage eines Supply Chain Designs

Eine Möglichkeit zur Steigerung von Nachhaltigkeit und Resilienz liegt in der engen Verzahnung der Produktgestaltung mit dem Aufbau und der Gestaltung der Lieferstrukturen [22]. Neben der Beherrschung der Komplexität der Lieferstrukturen aus Gründen der Resilienz (siehe Abschnitt 4.2) sollte die Produktentwicklung an der Verfügbarkeit von Lieferanten und Ressourcen ausgerichtet werden. Neue Materialien (Substitute) spielen dabei eine immer wichtigere Rolle, werden den exponentiell steigenden Bedarf an natürlichen Rohstoffen allerdings nicht decken. Zwar werden synthetische Substitute die industrielle Reife erlangen und natürliche Rohstoffe ersetzen, jedoch werden die hergestellten Mengen (der Substitute) den steigenden Bedarf der Industrie nach (insbesondere seltenen) Rohmaterialien nicht befriedigen. Recycling und Kreislaufwirtschaft werden zwar seltene natürliche Rohstoffe in industrielle Produktionsprozesse zurückführen und der Verknappung entgegenwirken, allerdings wird die Bedeutung seltener natürlicher Rohstoffe eine ähnliche sein wie heute. Technologische Neuerungen und Entwicklungen können zudem Bedarfe in neue (bzw. unbekannte) Richtungen verschieben, sodass die Entwicklung von Substituten diesen Innovationszyklen hinterherhängt (Bsp. Substitute für Benzin und Elektroautos). Insbesondere die Automobilindustrie und die steigende Nachfrage nach Energiespeichern in anderen Anwendungsdomänen wird die Verknappung der dafür benötigten seltenen Erden weiter verstärken [33]. Die parallel dazu stattfindende Substitution bestehender Fertigungsverfahren durch Additive

Manufacturing und die Ausrichtung auf eine kreislauforientierte industrielle Wertschöpfung wird die Beschaffung stofflicher Ressourcen somit verändern und damit einen erheblichen Einfluss auf die Produktions- und Logistikprozesse nehmen. Neue Technologien der Energiespeicherung und -wandlung, z.B. Batterietechnologien und Wasserstoffsynthese, führen so zu einer erheblichen Dynamisierung und Substitution in den Absatzmärkten und erfordern von Fabrikaurüstern die unternehmerische Auseinandersetzung und Entscheidung der Marktbeteiligung mit der Fragestellung: In welchen Märkten ist eine Beteiligung zu welchem Zeitpunkt mit welchen Produkten unternehmerisch günstig?

Die Transformation zu ressourceneffizienteren und nachhaltigeren Wertschöpfungsstrukturen führt insgesamt zu einer Dynamisierung und Verunsicherung der Märkte [22], weshalb es für Unternehmen der Ausrüsterindustrie unentbehrlich ist, die unternehmensstrategischen Elemente für das Risiko- und Technologiemanagement zu schaffen. Systematisch bewertete betriebswirtschaftliche Entscheidungsgrundlagen sind erfolgskritischer denn je, da sich Geschäftsmodelle, Anreizsysteme und die Preis-/Subventions-/Sanktionsgestaltung situativ und schnell verändern.

4.4 Marktinduzierte Änderungen der Produktionstechnik

Verkürzte Zeiten für Time-to-Market und die zunehmende Variantenvielfalt erfordern flexible und anpassungsfähige Produktionssysteme, um schnell auf veränderte Marktanforderungen reagieren zu können. Modulare Produktionssysteme ermöglichen es, schnell und einfach Produktionsprozesse zu ändern oder zu erweitern.

Zudem spielt die Digitalisierung eine wichtige Rolle bei der Bewältigung dieser Herausforderungen. Durch den Einsatz von industriellen IoT-Geräten, künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen kann eine hohe Automatisierung erreicht werden, die es ermöglicht, Prozesse schnell anzupassen und Daten in Echtzeit zu analysieren.

Adaptivität mit der Fähigkeit, Maschinen und Produktionssysteme an die Herstellung neuer Produkte anpassen zu können und Automatisierung mit der Möglichkeit, gleiche oder ähnliche Produkte hocheffizient herzustellen, lassen sich heute immer noch schwer gleichzeitig realisieren. Es sind also Lösungen erforderlich, um automatisierte Produktionsanlagen und -systeme in generische, universelle Module zu unterteilen und sie mit software- und standardbasierten Fähigkeiten zu versehen, über die Module sich selbst beschreiben, konfigurieren, verbessern und steuern. Es werden in Zukunft folglich mehr universelle statt spezialisierte Produktionsmittel benötigt.

Die Grundidee liegt in einem virtuellen Produkt bzw. in der

Änderung von virtuellen Produkten, die es für den Anwender möglich machen, automatisch eine Produktionsanpassung (Rekonfiguration einer modularen Anlage) bis auf die ausführende Hardware-Ebene anzustoßen und gleichzeitig die Auftragsverteilung anzupassen. Hersteller von Komponenten oder Maschinen können auftragsbezogen die passenden Hardware-Module entwickeln und samt Software anbieten. Gelöst werden kann diese Aufgabe mit Hilfe einer Bibliothek universell einsetzbarer Hard- und Softwarekomponenten, die für unterschiedliche Fertigungsaufgaben automatisch konfiguriert und in Kombination mit anderen Komponenten eingesetzt werden.

4.5 Automatisierungsbedarf durch Personal- und Fachkräftemangel

Ironischerweise ist in einer Branche, in der die Automatisierung von vielen aus Angst vor Arbeitsplatzverlust gefürchtet wird, aktuell ein hoher Personalmangel zu verzeichnen. Viele Unternehmen haben Schwierigkeiten, die erforderlichen Arbeitsplätze zu belegen, die für den reibungslosen Betrieb ihres Unternehmens erforderlich sind. Bei erwartbarem Personalmangel sind Investitionen in die Automatisierung essenziell zur Aufrechterhaltung der Produktion und der Materialfluss- und Logistikprozesse. Dies resultiert in einer hohen Auftragslage für die Ausrüster, die automatisierte Einheiten wie fahrerlose Transportsysteme herstellen. Der hohe Automatisierungsgrad in den Unternehmen verstärkt wiederum den Fachkräftemangel, beispielsweise in der Digitalisierung. Unternehmen haben Schwierigkeiten, geeignete Bewerber zu finden, die über die erforderlichen Fähigkeiten zur Steuerung oder Instandhaltung der automatisierten Einheiten verfügen. Hinzu kommt ein verstärkter Einsatz digitaler Technologien auf betrieblicher Ebene, einschließlich der Verwendung von AR, VR und XR, der Datenerfassung notwendig macht und den Wunsch nach Analysen erhöht. Der Einsatz computergesteuerter Maschinen führt unter anderem dazu, dass Bewerber über weitere Kenntnisse und Fähigkeiten verfügen müssen.

4.6 Ansätze der KI

Die zunehmende sensorische Ausstattung und netzwerktechnische Einbindung von Ausrüstungen und Materialflusselementen ermöglicht die durchgängige Erfassung und Integration von Zustands- und Betriebsdaten. Die darauf aufbauende Analyse von Maschinendaten mittels KI ermöglicht es

- für einzelne Ausrüstungen ungeplante Anlagenstillstände frühzeitig zu erkennen und sogar vorherzusagen und damit die richtigen Ersatzteile just-in-time bereit zu stellen (Predictive Maintenance), so dass die Verfügbarkeit der Maschinen und Anlagen hoch bleibt,
- Qualitätsprobleme zu identifizieren und

- Prozessparameter (automatisiert) so nachzuregeln, dass die geforderte Qualität erhalten bleibt,
- sichere Prognosen über den zeitlichen Ablauf von Prozessen zu treffen,
 - auf Störungen bzw. kurzfristig veränderte Anforderungen möglichst automatisiert zu reagieren,
 - verdeckte Anomalien in komplexen Prozessen zu entdecken oder
 - im Abgleich mit der Verfügbarkeit und dem Preis von Energiearten einen energieeffizienten Betrieb sicherzustellen, z.B. indem Fertigungsaufträge bzw. Arbeitsgänge so eingelastet werden, dass Lastspitzen und damit hohe Energiekosten vermieden werden.

Mit KI und ML sind auch durchgängig komplette Prozessabschnitte bis hin zur Supply Chain zu analysieren und zu optimieren. Bis ein ML-Modell erstellt ist, sind folgende Schritte erforderlich: Die relevanten Daten von Maschinen und Komponenten müssen identifiziert, konnektiert, aufgezeichnet und annotiert werden. Es muss ein für den Anwendungsfall passender Algorithmus ausgewählt, parametrisiert und mit den Daten trainiert werden. Dieser Prozess ist zeitaufwendig, bindet Ressourcen und erfordert Expertenwissen aus der Automatisierungstechnik und Data Science. Um ML-Modelle erfolgreich in der Produktion einsetzen und den Nutzen ausschöpfen zu können, muss der Prozess zur Erstellung der Modelle soweit vereinfacht (automatisiert) werden, dass er mit möglichst wenig Ressourcen durchgeführt werden kann. Hier können vortrainierte Modelle zur Überwachung von Anlagen und Komponenten helfen, d.h. die Schritte zur Identifikation und Annotation der Daten sowie Auswahl, Parametrisierung und Training von Algorithmen müssen nicht mehr beim Anlagen-/Fabrikbetreiber durchgeführt werden. Vor allem zur Identifikation von selten auftretenden Störungen und Ausfallereignissen und deren Übertragbarkeit auf neue Anlagen können vortrainierte Modelle einen großen Mehrwert bringen. Zudem muss sichergestellt werden, dass erstellte Modelle auf neue Sensorik bzw. neue Ausrüstungen (für den gleichen Prozess) übertragen werden können (Transferlernen) und laufend mit Daten aus dem Betrieb abgeglichen werden (Nachlernen).

Das 2016 von Konecny et al. vorgeschlagene Konzept des Federated Machine Learnings setzt für die industrielle Anwendung neue Maßstäbe. Federated Machine Learning, oder Federated Learning, bezeichnet einen Ansatz zum Training von Machine Learning Modellen auf unterschiedlichen dezentralen Datenquellen. Anders als bei bisherigen Machine Learning Ansätzen muss für das Modelltraining folglich keine zentrale Datensammlung angelegt werden [6]. Federated Learning ermöglicht somit eine gemeinschaftliche, unternehmensübergreifende Entwicklung von Machine Learning Modellen. Jedes Unternehmen trainiert ein Teilmodell auf seinen jeweiligen verfügbaren

Trainingsdaten. Diese werden anschließend von einer zentralen Koordinierungsstelle zu einem gemeinschaftlichen Modell zusammengefasst. Der Vorteil des Ansatzes ist, dass die beteiligten Unternehmen ihre Daten nicht miteinander teilen müssen. Diese geben somit weniger Geschäftsgeheimnisse preis als bei der Kollaboration mittels herkömmlicher Machine Learning Verfahren [7]. Dennoch ist dabei nicht auszuschließen, dass die Teilmodelle Rückschlüsse auf die verwendeten Trainingsdaten zulassen. Um die Sicherheit der Trainingsdaten weiter zu verbessern, werden daher in der Literatur im Wesentlichen zwei Ansätze vorgeschlagen. Zum einen das Differential Privacy Prinzip, zum anderen die Absicherung über homomorphe Verschlüsselungen. Der erste Ansatz verfolgt eine Absicherung der Geschäftsgeheimnisse durch das Einfügen von künstlich erzeugtem Rauschen. Der andere Ansatz verfolgt eine Verschlüsselung entlang der gesamten Verarbeitungskette. Dennoch wird kritisiert, dass diese Ansätze nicht vor der Manipulation der zentralen Koordinierungsstelle schützen [8].

Im Kontext von Manufacturing-X wird das ganze Potential dieses Ansatzes deutlich – ein branchenweiter Datenraum bietet hunderte möglicher verschiedener, dezentraler Datenquellen für das Modelltraining. Somit könnten mit Hilfe von Federated Learning brancheneinheitliche Prognosemodelle erstellt werden, ohne dass ein Unternehmen seine sensiblen Daten teilen muss. Eine Modellentwicklung könnte zudem von einer zentralen Stelle orchestriert werden und damit künstliche Intelligenz und Machine Learning für Unternehmen jeder Größe zur Verfügung stellen. Dieses Potential wurde bereits von der Europäischen Union erkannt. Sie hat mit dem Forschungsprojekt »Musketeer« einen ersten Vorstoß in Richtung einer europäischen Federated Learning Plattform gewagt.

4.7 Datenökonomie durch Datenökosysteme

»Die Datenökonomie ist das Ökosystem bestehend aus Unternehmen, die Daten sammeln, verarbeiten und monetarisieren.« Wesentlich ist dabei das ökonomische Potenzial, das durch interorganisationalem Datenaustausch ermöglicht wird. Datenökosysteme bilden die Grundlage für Datenökonomie. Ein Datenökosystem kann vereinfacht als Netzwerk von Akteuren, die Daten bereitstellen und verarbeiten, beschrieben werden [10].

In der Plattformökonomie gibt es eine zentrale Instanz, die eine Plattform betreibt. Diese ermöglicht etwa den Handel von Ressourcen und Dienstleistungen. Dabei liegen Daten entweder beim Inhaber der Plattform oder durchlaufen zumindest dessen IT-Systeme. Datenökosysteme hingegen legen einen Fokus auf Dezentralisierung mit dem Ziel, dass Daten beim Eigentümer bleiben können. Da Datenökosysteme nicht zwingend von einer Instanz betrieben werden, verhindert dies Monopolstellungen und wirkt Lock-In-Effekten sowie proprietären Datenformaten entgegen. Wesentlich für

Datenökosysteme ist die Flexibilität der Partner und die Dynamik, die unter diesen entsteht. Datenökosysteme können neue Geschäftsbeziehungen entstehen lassen und bestehende verstärken. Durch neu entstehende Dienste und das unterschiedliche Portfolio der Partner entsteht eine Symbiose unter den Daten- und Leistungsangeboten. Das Resultat ist ein liberaler Weg zu wirtschaften.

Üblich ist der Datenaustausch zwischen zwei Partnern, um ihre Prozesse zu integrieren. Das Teilen von Daten umfasst neben dem reinen Austausch von Daten ebenfalls eine kollaborative Nutzung dieser Daten für einen gemeinsamen Zweck. Um Daten austauschen zu können bedarf es Standards. Diese führen dazu, dass sich ein Partner einmalig für einen bestimmten Datensatz in ein Datenökosystem integriert, um mit vielen Partnern diese Daten gemeinsamen austauschen zu können. Neben der Möglichkeit, Daten austauschen zu können bedarf es Vertrauen. Unternehmen müssen sich sicher sein, dass ihre Datensouveränität gewahrt wird. Das bedeutet, dass der Dateneigentümer die Nutzung seiner Daten bestimmen und durchsetzen kann [11].

Um Datensouveränität zu gewähren bedarf es neben den rechtlichen und organisatorischen Rahmenwerken zur Kontrolle des Zugriffs und der Verarbeitung von Daten ebenfalls einer technischen Durchsetzung dieser Kontrolle. Dazu müssen Datenflüsse automatisch analysiert werden und mit sogenannten Policies versehen werden. Diese erlauben es etwa im International Data Space die Zugriffs- und Nutzungsrechte für Daten zu spezifizieren [12]. Die Datensouveränität erlaubt das Teilen von geschäftskritischen Daten.

Semantische Interoperabilität wurde als ein Fokusthema zunächst zum Datenzugriff auf Maschinen und deren Steuerungen u.a. vom VDMA erkannt. Als ein wichtiger Standard dabei hat sich die Open Platform Communication Unified Architecture (OPC UA) etabliert. Der VDMA erarbeitet in Gremien konkrete Vokabulare in Form von sogenannten OPC UA Companion Specifications, um industriebezogene Standards zu definieren. OPC UA wird laut der Studie bereits von 70 % der Unternehmen genutzt und weitere 20 % der Unternehmen planen es zu nutzen. Von strategischer Bedeutung sind vor allem das Auflösen proprietärer Schnittstellen der Hersteller, kosteneffizienter für den Kunden attraktive Produkte zu entwickeln, neue Geschäftsmodelle umsetzen zu können und ein »Plug and Produce« von Maschinen umzusetzen. Während die vertikale Kommunikation vom Shopfloor z.B. in MES bisher häufig durch Companion Specifications standardisiert wird, findet die horizontale Kommunikation innerhalb des Shopfloors häufig über Bussysteme statt. Herstellerautarke Systeme bieten ihre Daten richtungsunabhängig an. Ein häufig genannter Anwendungsfall ist das Collaborative Condition Monitoring. Bei diesem teilt die Partei, die die Maschine einsetzt, die Daten mit dem Hersteller. Dieser kann auf Basis dieser Daten

und der Daten weiterer Kunden Simulationen zu dem Gesundheitsstatus der Maschine durchführen.

Interoperabilität lässt sich auch durch standardisierte »Digitale Zwillinge« realisieren: Auf Basis der Industrie 4.0-Verwaltungsschale mit Teilmodellen können Daten in ihrer Struktur und ihrer Semantik einheitlich beschrieben werden. Um Daten beim Dateneigentümer zu speichern und dennoch kollaborativ zu arbeiten, eignen sich verteilte digitale Zwillinge (»Shared Digital Twins«). Dabei werden Teilmodelle über mehrere Unternehmen verteilt und durch Verlinkungen zu einem gemeinsamen digitalen Zwilling zusammengeführt.

Mithilfe von Datensouveränität und Interoperabilität lassen sich Anwendungsfälle realisieren, die sonst nur auf Annahmen beruhen oder aus Mangel an Daten nicht realisiert werden können. Dazu gehören etwa das Collaborative Condition Monitoring, bei dem Maschinenhersteller auf Basis von Maschinendaten aus dem Betrieb bei mehreren Kunden den Zustand der Maschinen einschätzen können. Datenökosysteme erlauben dabei, die eigenen Daten zu vervollständigen und mit den aktuellen Daten, die direkt aus der Produktion der Partner kommen, zu arbeiten.

Auf Basis von Datensouveränität und Interoperabilität kann »Coopetition« stattfinden. Während Unternehmen in Konkurrenz stehen, können sie bei einzelnen Aspekten kollaborieren, um Ziele gemeinsam umzusetzen. Diese Ziele können auch das Umsetzen von rechtlichen Vorgaben sein.

Neue Geschäftsmodelle beruhen neben der reinen Monetarisierung von Daten ebenfalls auf Pay-Per-X-Systemen. Skizziert man das Bild eines Fabrikarüsters, der eine Maschine in die Fabrik eines Kunden stellt und je Fabrikat und entsprechend der Komplexität abrechnet, stellt sich die Frage der Datengrundlage zur Abrechnung. Herausforderung an dieser Stelle ist es, die zur Abrechnung relevanten Prozessschritte standardisiert zu protokollieren und mit dem abrechnenden Unternehmen zu teilen. Weiterhin gilt es zu klären, wie mit den während der Produktion erstellten Daten der Maschine im Rahmen der Kollaboration umgegangen wird.

Produktionssteuerungen können bereits auf Echtzeitdaten arbeiten. Im vorangegangenen Beispiel ist es als Produzent notwendig, die Maschinen der Fabrikarüster in die eigene Produktionssteuerung zu integrieren.

Unternehmen müssen einen Überblick darüber behalten, welche Daten mit welchen Partnern geteilt werden. Die Teilnahme an Datenökosystemen benötigt somit eine Ecosystem Data Governance. Darunter versteht man einen kontrollierten Ansatz, der Verantwortlichkeiten und Kompetenzen einer Organisation auf das Management und die Nutzung von Daten innerhalb und außerhalb des Unternehmens herunterbricht [10]. Die

Ecosystem Data Governance muss im Rahmen von Manufacturing-X mehrere Datenräume berücksichtigen.

Um Datenökosysteme zu betreiben ist es notwendig, eine kritische Masse von Teilnehmenden zu erreichen. Dazu müssen die Angebote im Datenraum für Bereitsteller und Konsumenten von Daten attraktiv sein. Wesentlicher Bestandteil sind daher Systeme zur Incentivierung [11]. Darunter können auch neue Geschäftsmodelle verstanden werden. Diese setzen eine Datenflusskontrolle zwischen und in den Organisationen voraus, um etwa entsprechend der Verarbeitung der Daten abrechnen zu können.

Beispiel Catena-X

Catena-X definiert ein dezentrales Datenökosystem auf Basis von Gaia-X Prinzipien sowie der Implementierung eines International Data Spaces (IDS) und Verwaltungsschalen. Catena-X stellt den ersten Datenraum für die Automobilbranche dar und einige Unternehmen der Fabrikaurüster nehmen bereits teil. In Catena-X findet bisher kaum ein Zugriff auf Maschinendaten im vertikalen Kommunikationsweg statt. Sechs Institute der Fraunhofer Gesellschaft sind maßgeblich an Catena-X beteiligt.

4.8 Umsetzung der Datenökonomie in der verarbeitenden Industrie

Fabrikaurüster stehen vor der Besonderheit, ihren Kunden, die heterogene Produktionslinien betreiben, einen Standard zur Datenökonomie bieten zu müssen. Dieser Standard muss verwendet werden können, um in verschiedenen Branchen Mehrwertanwendungsfälle zu realisieren. Daraus resultieren mehrere Herausforderungen.

- Fabrikaurüster müssen einen gemeinsamen Standard definieren, damit Maschinen interoperabel Daten austauschen und miteinander interagieren können.
- Fabrikaurüster müssen Datensouveränität, die beim Datenaustausch und der Datenverarbeitung zwischen Unternehmen gewahrt werden muss, in der horizontalen und in der vertikalen Kommunikation unterstützen.
- Fabrikaurüster müssen Interoperabilität zwischen Datenräumen berücksichtigen, um die Maschinen und deren Daten in die Datenräume der verschiedenen Branchen, z.B. Catena-X oder einen Energiedatenraum, zu integrieren.

Datensouveränität sieht neben rechtlichen und organisatorischen Maßnahmen eine technische Durchsetzung vor. Diese Durchsetzung kann auf höherer Ebene, wie der mitgelieferten Software, oder auf der Ebene der Maschine beziehungsweise

ihrer eigenen Steuerung stattfinden. Die Fabrikaurüster müssen sich auf Konventionen und Standards einigen, wann Datensouveränität auf welcher Ebene durchgesetzt werden muss.

Fabrikaurüster können neben dem Verkauf von Maschinen alternative Geschäftsmodelle, wie pay-per-use oder pay-per-part, in Betracht ziehen. Um diese Geschäftsmodelle umzusetzen, muss eine Datenflussprotokollierung implementiert werden, die die Messeinheit verschiedener pay-per-X Geschäftsmodelle zulässt. Diese Protokollierung wiederum muss unter Wahrung der Datensouveränität korrekt gespeichert und zur Abrechnung verwendet werden.

Dezentralisierung ist ein Konzept zur Implementierung von Datensouveränität. Sie ermöglicht die Speicherung und Verarbeitung von Daten vor Ort in der Kontrolle des Dateneigentümers. Weiterhin sind die Daten nicht auf einer zentralen Plattform gespeichert, wodurch ein Lock-In-Effekt verhindert wird. Da Produktionssteuerungen z. T. Berechnungen in Echtzeit durchführen müssen, ist eine niedrige Latenz eine wesentliche Anforderung. Um die Latenz gering zu halten und von der Skalierungsfähigkeit von etwa Cloud Services zu profitieren, ist es sinnvoll, eine Edge-Cloud-Architektur zu berücksichtigen.

4.9 Datenschutz und Regulatorik

Die europäische Gesetzgebung fordert Handlungen von Unternehmen, sobald die Gesetze gültig werden.

Folgende Regulatorik gilt bereits schon heute oder in Kürze für die Ausrüsterbranche, mit den in der nachfolgenden Tabelle beschriebenen Vorgaben.

4.9.1 Privacy

Die Europäische Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) gilt im Allgemeinen dann, wenn in der Europäischen Union personenbezogene Daten verarbeitet werden. Personenbezogene Daten liegen vor, wenn es sich um Daten einer identifizierten Person handelt, aber auch bereits dann, wenn Daten einer Person zugeordnet werden können (ohne diese unmittelbar zu identifizieren). Werden bspw. im Rahmen der Bedienung einer Maschine Daten aufgezeichnet bzw. verarbeitet, die der bedienenden Person zugeordnet werden können, so liegt eine Verarbeitung personenbezogener Daten vor.

Die DSGVO reguliert die Rechte und Pflichten zwischen von einer Datenverarbeitung betroffenen Personen, der bzw. den für die Datenverarbeitung verantwortlichen Stelle und Auftragsdatenverarbeitern, die ggf. durch eine verantwortliche Stelle beauftragt werden. Eine verantwortliche Stelle legt Zweck und Mittel der Verarbeitung fest und benötigt für diese eine Rechtsgrundlage (Einwilligung der betroffenen Person, Vertrag mit betroffener Person oder berechtigtes Interesse der

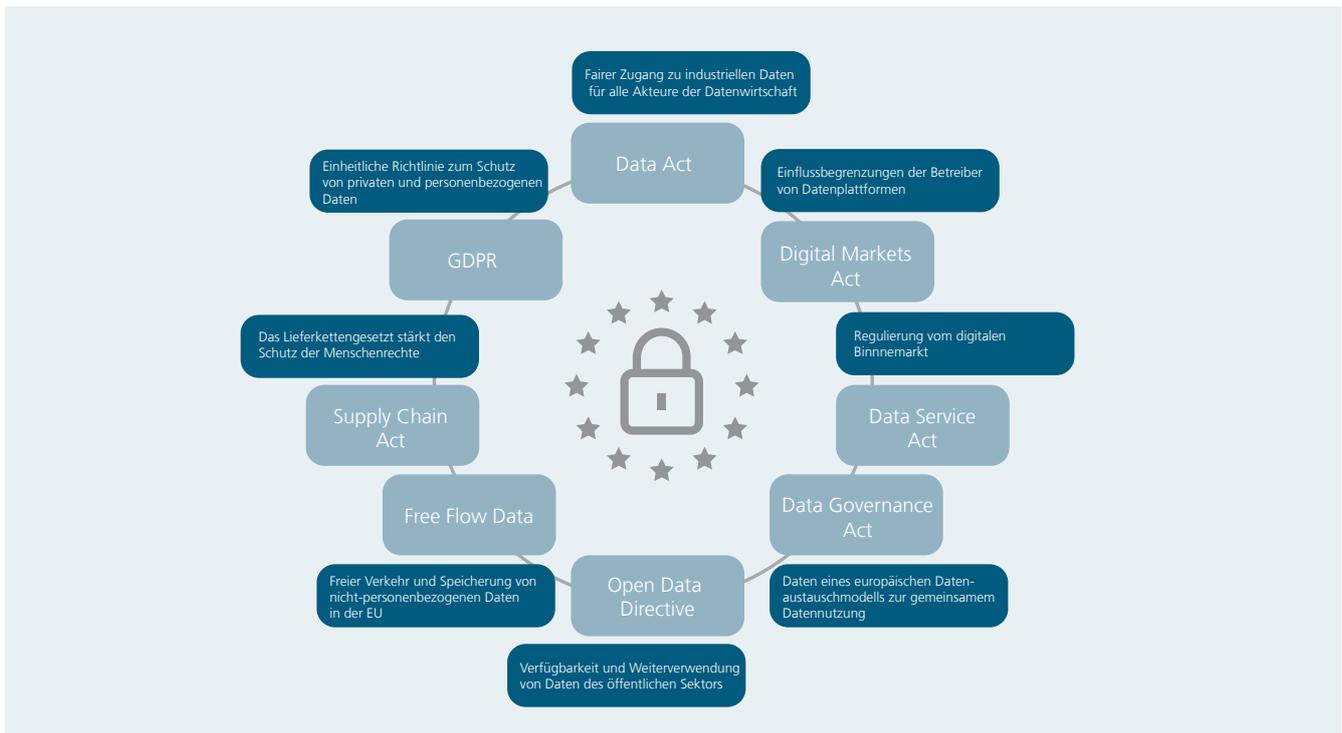


Abbildung 17: Neue rechtliche Vorgaben der EU

verantwortlichen Stelle). Werden personenbezogene Daten von Arbeitnehmern durch den Arbeitgeber verarbeitet, so geschieht dies meist entweder im Rahmen des Arbeitsvertrags oder bedarf einer Einwilligung durch Arbeitnehmer oder deren Vertretung im Rahmen der betrieblichen Mitbestimmungsrechte. Weiterhin ist bei einer solchen Datenverarbeitung deren Verhältnismäßigkeit zu prüfen: Tiefere Eingriffe in die Privatsphäre der Arbeitnehmer können nur durch gewichtige Interessen des Arbeitgebers gerechtfertigt werden.

Betroffene Personen können der verantwortlichen Stelle gegenüber die von der DSGVO zugesicherten Rechte geltend machen (Betroffenenrecht, z.B. Recht auf Auskunft). Auftragsdatenverarbeiter handeln auf Weisung einer verantwortlichen Stelle. Sie dürfen keine eigenen Zwecke verfolgen und benötigen daher auch keine eigene Rechtsgrundlage.

Die DSGVO verpflichtet verantwortliche Stellen zur Einhaltung von Datenschutzgrundsätzen:

- Rechtmäßigkeit, Verarbeitung nach Treu und Glauben, Transparenz,
- Zweckbindung,
- Datenminimierung,
- Richtigkeit,
- Speicherbegrenzung,
- Integrität und Vertraulichkeit,
- Rechenschaftspflicht.

Diese sind zum Teil durch technische (z.B. geeignete Mechanismen der IT-Sicherheit) und organisatorische Maßnahmen (Prozesse, Rollen) sicherzustellen. Neben der Ergreifung technischer und organisatorischer Maßnahmen verpflichtet die DSGVO die verantwortliche Stelle zur Dokumentation der Verarbeitungstätigkeit, zur Prüfung der Rechtmäßigkeit der Datenverarbeitung (Rechtsgrundlage), zur Gewährung der Betroffenenrechte (Auskunft, Berichtigung, Löschung, Sperrung) und zu einer Datenschutz-Folgenabschätzung (DSFA), die durchzuführen ist, sofern von der Datenverarbeitung voraussichtlich ein hohes Risiko für die Rechte und Freiheiten der betroffenen Personen ausgeht.

Was die automatisierte Auswertung von Daten angeht, verbietet die DSGVO automatisierte Entscheidungen, sofern diese mit nachteiligen Rechtsfolgen oder erheblichen Beeinträchtigungen verbunden ist. Ausnahmen hiervon sind bspw. durch Einwilligung der betroffenen Personen möglich.

4.9.2 Datenzugriffs- und Datennutzungskontrolle

Mechanismen der Zugriffskontrolle regeln, unter welchen Bedingungen auf Daten zugegriffen werden kann. Wurde der Zugriff gestattet, ist keine weitere Kontrolle über die Daten bzw. deren Nutzung mehr möglich. Mechanismen der Nutzungskontrolle adressieren diesen erweiterten Schutzbedarf, indem sie es Datengebern ermöglichen, Nutzungsrichtlinien zu spezifizieren, deren Einhaltung nach Herausgabe bzw.



© Adobe Stock, Nataliya Hora

Datenabruf auf Seiten des Datennehmers überwacht wird. Es muss davon ausgegangen werden, dass ein Datennehmer ein Interesse daran hat, die Nutzungskontrollmechanismen zu überwinden bzw. die Nutzungsrichtlinien zu umgehen. Andernfalls wäre eine vertragliche Nutzungsvereinbarung zwischen Datennehmer und Datengeber hinreichend. Wenn allerdings davon ausgegangen werden muss, dass der Datennehmer ein potentieller Angreifer ist, können Mechanismen der Nutzungskontrolle nicht mehr durch die Sicherheitsmechanismen des Betriebssystems abgesichert werden. Es muss angenommen werden, dass der Datennehmer, der die Daten in seiner Infrastruktur verarbeitet, die volle Kontrolle über die betreffenden Systeme hat (administrative Rechte) und als interner Angreifer zu betrachten ist. Folgende Möglichkeiten ergeben sich, um mit dieser Annahme umzugehen:

- Die Integrität der Infrastruktur des Datennehmers muss überprüft werden können.
- Unabhängige Überprüfung der Infrastruktur des Datennehmers.
- Problem: einmalige oder periodische unabhängige Überprüfung schließt eine anschließende Manipulation der Systeme nicht aus, kann aber als Grundlage für technische Überprüfung gesehen werden
 - Attestierungsverfahren auf Basis von Trusted-Computing-Technologien in der Infrastruktur des Datennehmers können genutzt werden, um die Integrität der Infrastruktur für den Datennehmer überprüfbar zu machen.
- Erfordert vertrauenswürdige Dienste, deren Integration mit Nutzungskontrollmechanismen von unabhängiger Seite überprüft werden.

- Datennehmer nutzt von dritter Seite zur Verfügung gestellte und von unabhängiger Seite geprüfte Infrastruktur für die Datenverarbeitung (Platform-as-a-Service oder Software-as-a-Service)
 - Hierdurch ist der Datennehmer kein interner Angreifer mehr.
 - Erfordert ebenfalls vertrauenswürdige Dienste, deren Integration mit Nutzungskontrollmechanismen von unabhängiger Seite überprüft wurde.

Das Ziel der Nutzungskontrolle kann abhängig von den konkreten Anforderungen des Szenarios auch durch zertifizierte Dienste mit den gewünschten Sicherheitseigenschaften erreicht werden, die in einer überprüfbarer Infrastruktur auf Seiten des Datennehmers oder in einer zertifizierten, von dritter Seite bereitgestellten Infrastruktur betrieben werden. Dies hängt im Wesentlichen von der benötigten Flexibilität und Ausdrucksmächtigkeit bei der Spezifikation von Richtlinien ab. Bei Diensten mit klar und eng definierten Aufgaben und Nutzungsprofilen kann das gewünschte Verhalten ggf. durch wenige Parameter gesteuert werden.

4.9.3 Regulatorik und resultierende Anforderungen an die Ausrüsterbranche

Neue regulatorische Regelungen, die auf die Industrie und damit auch auf die Ausrüsterbranche zukommen, sind:

- European Data Act, der fairen Zugang zu industriellen Daten für alle Akteure der Datenwirtschaft fordert und regelt. Er gilt für IoT-Daten von Geräten/Diensten, die von Produkt-nutzern (B2B/B2C) erzeugt werden.
- Data Governance Act, der geschützte Daten des

öffentlichen Sektors, Daten für das Allgemeinwohl und/oder jede Form der Unternehmensdaten, sofern dies gewünscht ist, betrifft. Der Data Governance Act soll EU-weit harmonisierte Bedingungen zur Weiterverwendung geschützter Daten, die im Besitz öffentlicher Stellen sind, schaffen sowie einen Anmelde- und Aufsichtsrahmen zur Erbringung von Diensten für die gemeinsame Datennutzung („Datenintermediäre“).

- Der Digital Services Act (DSA) baut auf der inzwischen 20 Jahren alten E-Commerce-Richtlinie ergänzend auf. Er beinhaltet einheitliche Verordnungen, Regulierungen und Pflichten für digitale Vermittlungsdienste (beispielsweise Kollaborationsplattformen). Der DSA wurde am 23. April 2022 vom Europäischen Parlament verabschiedet und entfaltet seine Gültigkeit am 17. Februar 2024 in allen EU-Staaten. Ziel des Gesetzes ist zum einen der bessere Schutz der Verbraucher und deren Rechte im Internet; zum anderen die Schaffung eines klaren, transparenten und einheitlichen Rechtsrahmens für digitale Plattformen in der Europäischen Union. Zudem verfolgt der DSA das übergeordnete Ziel, Innovationen, Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit im europäischen Raum zu fördern.
- Mit dem Cyber Resilience Act (CRA) will die Europäische Union die IT-Sicherheit digitaler Produkte innerhalb des europäischen Marktes wesentlich verbessern. Digitale Produkte im Sinne des CRAs sind »any software or hardware product and its remote data processing solutions, including software or hardware components to be placed on the market separately«. Das Gesetz wird voraussichtlich 2025 in Kraft treten und enthält Regulierungen und Pflichten für Hersteller, Importeure und Vertrieber digitaler Produkte. Ab Inkrafttreten des Gesetzes müssen bestimmte Produkte, um eine erfolgreiche CE-Zertifizierung zu erhalten, die Anforderungen des CRAs erfüllen. Sprich, falls ein Produkt die Anforderungen nicht erfüllt, kann es nicht auf dem europäischen Markt zugelassen werden. Basierend auf den beschriebenen Anforderungen an Hersteller digitaler Produkte ist anzunehmen, dass bestimmte sicherheitstechnisch nicht nachrüstbare Produkte ab 2025 aus dem europäischen Markt verschwinden werden. Es ist daher zwingend erforderlich, schon jetzt bei der Produktentwicklung auf die möglichen Anforderungen des CRAs zu achten. Zudem ist es empfehlenswert, geeignete Schnittstellen zur Anpassung digitaler Produkte an neue regulatorische Anforderungen in die Entwicklung zu integrieren. Abschließend folgt daraus für Manufacturing-X, dass die ansteigenden Anforderungen an die IT-Sicherheit digitaler Produkte in der Umsetzung mitberücksichtigt werden muss. Es muss somit die Kommunikationsinfrastruktur an die aus dem CRA folgenden Regulierungen und Pflichten angepasst werden. Eine erfolgreiche Umsetzung von Manufacturing-X ermöglicht zudem eine massive Debürokratisierung des im CRA definierten Prozesses. Hersteller könnten dadurch die Überprüfung der verbauten Komponenten automatisiert vornehmen oder automatische Risikoanalysen für ihre Produkte vornehmen und für diese gleich hinterlegen.

Alle aufgeführten Vorgaben zielen darauf ab, den

Datenaustausch im B2B-Umfeld zu regeln, d.h. dass sich auch aus diesen Vorgaben relevante F&E-Aufgaben für Ausrüster und auch für Fraunhofer ergeben, z.B. bezüglich

- Security,
- Safety,
- Datenschutz, Privacy und Datennutzungskontrolle.

4.10 Spezielle Herausforderungen für KMUs

Kleine und mittlere Unternehmen spielen in globalen Wertschöpfungsketten der Fabrikaurüster eine wichtige Rolle. Die globalen Lieferketten stellen die KMU jedoch vor große und oft schwierig anzugehende Herausforderungen: Einige der häufigsten Herausforderungen, mit denen sich KMU konfrontiert sehen, sind der verschärfte Wettbewerb auf sich wandelnden Märkten, der rasche technologische Wandel und der eingeschränkte Zugang zu Wissen und Ressourcen. Um dem entgegenzuwirken, werden aktuell das erarbeitete Wissen und die Ergebnisse der KoPa35c- und der Gaia-X Projekte im Projekt Transfer-X KMU-gerecht aufbereitet. Dabei ist zu beachten, dass KMUs oft höhere Kosten aufgrund einer geringeren Anzahl von Transaktionen als Großunternehmen haben. Darüber hinaus leiden sie oft besonders unter einem Mangel an Ressourcen und damit einem Mangel an Informationen, Know-how und Erfahrung aufgrund fehlender Netzwerke. Im Rahmen von Forschung und Entwicklung ist es für KMUs zudem schwierig, mit großen Partnern zu konkurrieren.

Wie aufgezeigt setzen steigende regulatorische Anforderungen, Lieferengpässe und die vergleichsweise geringe Digitalisierung die ausrüstende Industrie zunehmend unter Druck. Dieser Effekt wird zudem durch Trends wie dem Fachkräftemangel oder Forderungen nach mehr Klimaschutz in der Industrie verstärkt. An dieser Stelle setzt Manufacturing-X an. Der Datenraum soll Unternehmen dabei unterstützen, ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen und sie befähigen, kooperativ den Weg in die Zukunft zu gehen. Vor allem soll Manufacturing-X die stark mittelständisch geprägten Unternehmen der ausrüstenden Industrie dabei unterstützen

- zukünftige regulatorische Herausforderungen (s.o.) einfach, unbürokratisch und effizient umzusetzen,
- Lieferengpässen, hoher Abhängigkeit von ausländischen Vorleistungen und dem Fachkräftemangel durch flexible, wirtschaftliche und bedarfsgerechte Kooperation gemeinschaftlich entgegenzutreten,
- durch gemeinschaftliche, unkomplizierte sowie souveräne Nutzung und Analyse anfallender maschinen-, produktions- und produktbezogener Daten kooperativ neue Wertschöpfungspotentiale zu monetarisieren und
- mit Hilfe von effizienter Datennutzung, digitalen Technologien und neuartigen wirtschaftlichen Ökosystempositionen Wertschöpfungsketten transparenter, resilienter, ressourceneffizienter und nachhaltiger zu gestalten.

Stärken

- Ausrüsterbranche ist kompetenzstarkes Branchennetzwerk, das alle für die Umsetzung notwendigen Kompetenzen bündelt
- Hoher Exportanteil der beteiligten Branche bietet gute Chance zum Export von digitalen Services
- Branche beliefert diskrete Fertigung und Prozessindustrie
- Branche ist im deutschen Vergleich recht stark digitalisiert
- Große Zahl an IKT-Spezialisten gerade in der Ausbildung

Schwächen

- Branche ist komplexes und eher konservatives Ökosystem
- Flucht ins Premium-Preissegment - Zugang zum Massenmarkt verloren
- Hohe Arbeitskosten bei vergleichsweise geringer Produktivität
- Im internationalen Vergleich ist die Branche eher schlecht digitalisiert
- Abnehmer (Betreiber) relativ wenig digitalisiert > Problem zur Erstellung digitaler Geschäftsmodelle, etc.
- Mangelnde Kundenperspektive und fehlende Nutzenkommunikation
- Es existiert noch keine nennenswerte Branchenlösung für den Datenraum, keine der begonnenen Initiativen hat sich durchgesetzt (Axoom, Adams, ToolArena, etc.)

Chancen

- Erfassung, Weitergabe und Analyse der anfallenden Daten innerhalb der Branche ermöglicht neue Rollen im digitalen Ökosystem, nachhaltigere Wertschöpfung, geringere Abhängigkeit von Vorlieferanten und damit resilientere Lieferketten sowie die Monetarisierung zusätzlicher Datenpotenziale
- Einheitliche (Kommunikations-)Standards (EDC, AAS, OPC UA, etc.) ermöglichen Synergie- und Netzwerkeffekte entlang der Wertschöpfungskette und über Branchengrenzen hinaus
- KMUs benötigen durch steigenden Regulierungsdruck eine Infrastruktur, die sie unterstützt, die Regularien schnell und einfach zu erfüllen
- Manufacturing-X kann selbstständiges Exportgut werden
- Politischer Wille und benötigte Infrastruktur zur Umsetzung bereits teilweise vorhanden
- Businessapplikationen als OpenSource-Angebote erleichtern Skalierung

Risiken

- Abwicklung neuer Geschäftsmodelle über Plattformen fördert möglicherweise die Bildung monopolistischer Strukturen und benachteiligt produzierende KMUs und Ausrüster durch Know-how-Abfluss in die Plattformen
- Bereits komplexes Ökosystem könnte durch Manufacturing-X noch komplexer werden, weil neue Rollen im Datenökosystem auftreten
- Trotz Manufacturing-X können ausländische Unternehmen/Hyperscaler die Infrastruktur zur Verfügung stellen
- Komplexes Projekt- und Stakeholdermanagement von Manufacturing-X
- Steigende Kosten durch Digitalisierungslösungen führen zu einem Wettbewerbsnachteil
- Strukturelle und regulatorische Herausforderungen an KMUs können für Wettbewerbsnachteil und signifikanten Rückstand in der Digitalisierung führen
- OpenSource allein führt noch nicht zu professionell gepflegter Software, OpCos müssen Support-Netzwerk aufbauen incl. SLAs

Abbildung 18: SWOT-Analyse der Fabrikaurüsterbranche

Bei der beispielhaften Betrachtung eines einfachen mittelständischen Maschinenbauunternehmens werden die Vorteile von Manufacturing-X nochmals deutlich:

- In der Produktentwicklung kann das Unternehmen, um regulatorische Voraussetzungen einzuhalten, die zu jeder Komponente zugehörigen Dokumente dem Produkt automatisiert aus dem Manufacturing-X Datenraum hinterlegen. Somit entfallen das aufwendige manuelle Prüfen und Dokumentieren der Einhaltung regulatorischer Anforderungen. In der Konsequenz wird die Produktentwicklung effizienter und die Markteinführungszeit von Produkten verkürzt sich merklich.
- Sind die Produktionsmittel des Unternehmens nicht vollständig ausgelastet, kann dieses mithilfe des Manufacturing-X Datenraums die überschüssigen Kapazitäten anbieten. Andere teilnehmende Unternehmen können nun entgeltlich auf die überschüssigen Produktionskapazitäten zugreifen und diese zur Produktion nutzen. Somit können Lieferengpässe und Maschinenausfälle kooperativ abgefangen werden.
- Das Unternehmen kann seine Maschinendaten in Echtzeit in den Manufacturing-X Datenraum übertragen. Die Produktionsparameter können auf dieser Basis optimal und automatisiert auf das zu bearbeitende Werkstück angepasst werden. Zudem kann der Maschinenhersteller auf der breiten Datengrundlage seine Produktentwicklung und Produkte weiter optimieren.
- In der Produktion kann das Unternehmen mithilfe von Manufacturing-X exakt und maschinengenau analysieren, wann wieviel CO₂ anfällt. Dies kann genutzt werden, um Maschinen, Produktionsprozesse und Produkte nachhaltiger zu gestalten.

In Abbildung 18 haben wir die in diesem Kapitel aufgeführten Herausforderungen in Form einer SWOT-Analyse zusammengefasst.

Im nachfolgenden Teil der Studie wird prognostiziert und analysiert, wie sich der Leitmarkt durch die konsequente Umsetzung von Manufacturing-X verändert. Abschließend wird untersucht, wie die nächsten Schritte zur Umsetzung von Manufacturing-X konkret aussehen könnten.

5. Neun Thesen zu Entwicklungen in der Ausrüsterbranche, die für den Leitmarkt Anlagen- und Maschinenbau relevant sind

Aufgrund der oben beschriebenen Datenlage sowie der daraus abgeleiteten Trends formulieren die Autoren die folgenden Thesen für die Ausrüsterbranche der Zukunft:

1. Zukünftig benötigt der Markt modulare, für unterschiedliche Fertigungsaufgaben konfigurierbare Maschinen und Fertigungs- oder Montagelinien. Die Module sind je nach Fertigungsaufgabe konfigurierbar; sie enthalten ablauffähigen Steuerungscode, der zum lauffähigen Programm wird, wenn auch die übergeordnete Fertigungsaufgabe modellhaft beschrieben ist. Universelle und modular aufgebaute Betriebsmittel, z.B. technologieflexible Werkzeugmaschinen, bieten einen guten Ausgangspunkt für digitale Funktionsfreischaltung im Sinn einer software-defined function. Diese Maschinen bieten das Potenzial, aus standardisierten Modulen konfiguriert zu werden und so in Analogie zur Automobilindustrie ein Assemble-to-Order zu ermöglichen. So entstehen aus standardisierten Modulen, deren Interoperabilität in der Konstruktion sichergestellt werden muss, kundenspezifische Varianten und somit gleichzeitig ein Zugang zum Sondermaschinenbau. Die deutsche Ausrüsterbranche muss die Potenziale aus Digitalisierung, Automatisierung und Modularisierung konsequent nutzen. Modularisierung und Late Customization bzw. Retrofitting ermöglichen es, die Komplexität bei der Herstellung zu reduzieren. Das Customizing via Software kann zu weiteren Komplexitätsreduzierungen genutzt werden und ermöglicht darüber hinaus neue Geschäftsmodelle, die allerdings heute noch nicht vollständig bekannt sind. Werden bspw. besondere Features über Software freigeschaltet, kann dies auch für die vom Kunden angefragte Dauer gegen entsprechende Nutzungsgebühren erfolgen. Beispiel dafür ist die Möglichkeit, eine zusätzliche Achse einer Werkzeugmaschine für einen bestimmten Fertigungsauftrag per Software freizuschalten und deren Nutzung gesondert abzurechnen (Beispiel DMG Mori PayZR-Modell). Außerdem: universelle und modulare Fabrikarüstungen schaffen Resilienz, weil sie schnell umgerüstet und für neue, nicht von vornherein vorgesehene Fertigungsaufgaben kombiniert werden können.

2. Das multilaterale Teilen von Daten in industriellen Datenräumen ist – zumindest in Europa – ein neues Paradigma der Digitalisierung. Überhaupt werden neue Wertschöpfungspotenziale erst durch das multilaterale Teilen von Daten sichtbar, z. B. zwischen

- Werkstofflieferant (Beispiel: Qualitätsdaten eines Blechcoils),
- Teilefertiger (Beispiel: Qualitätsdaten im Auslauf einer Tiefziehpresse),
- Komponentenlieferant (Beispiel: Messdaten eines speziellen Sensors),
- Anlagenhersteller (Beispiel: Prozessparameter der Tiefziehpresse) und
- Montagebetreiber (Beispiel: Qualitätsdaten von Rohbaukarossen).

Ein Beispiel für das Nutzenpotenzial geteilter und kollaborativ genutzter Daten stammt aus der Herstellung von Spanplatten. Nur durch die Kombination heterogener Daten ist es in diesem Beispiel möglich, die Anzahl fehlerhafter Teile systematisch zu reduzieren und letztlich zu einem selbstregelnden Prozess zu kommen. Dementsprechend sollte die Ausrüsterbranche hier initiativ vorgehen und einen kollaborativen Datenaustausch im Netzwerk der Maschinen vorantreiben und Anlagenbetreiber nicht nur bei Bedarf unterstützen, sondern aktiv fördern. Dezentrale Datenökosysteme sind hierfür eine Schlüsseltechnologie. Diese Datenökosysteme protokollieren die Datennutzung und den Datenfluss. Sie stellen Datensouveränität her, indem der Datenlieferant die Datennutzung und den Verwendungszweck definieren und zum Teil technisch durchsetzen kann. Grundlage zum Teilen von Daten ist die Interoperabilität zwischen den Ausrüstungen verschiedener Hersteller. Einen Mehrwert erzielen die Datenlieferanten: die Ausrüsterindustrie kann ihre Produkte auf Basis der Daten kontinuierlich verbessern und proaktiv sich ändernden Nutzungsszenarien anpassen. Datenräume unterstützten außerdem strategische Partnerschaften für eine kollaborative Co-Innovation. Aus den Daten können durch Adaption auf digitale Modelle oder Analysen bspw. mittels

AI gemeinsam gewonnene Erkenntnisse entstehen, und die Betreiber haben einen Datenumfeld zur Durchführung von Benchmarks. Die Herausforderung hierbei wird der Umgang mit dem entstehenden »Shared IP« sein. Multilaterales Teilen von Daten erlaubt als weiteres Beispiel unternehmensübergreifende adaptive Planung und Fertigungssteuerung.

3. Ausrüster müssen viel stärker als heute im Netzwerk arbeiten und kooperieren. Die weitere Digitalisierung und das Aufkommen von Datenökosystemen ermöglichen neue Geschäftsmodelle wie Pay-per-Use, pay-per-part oder pay-per-value. PayZr, FlexFactory oder Angebote mit zusätzlichen Business-Enablern (vgl. MunichRe in Kooperation mit TRUMPF) erfordern bei den Ausrüstern den Wandel vom transaktionalen Verkauf zum nutzenbezogenen Verkauf. Gleichzeitig entstehen dabei neue Rollen in den Geschäftsbeziehungen, z.B. Intermediäre, die mit Daten handeln oder Dienste zur Datenvermittlung anbieten, beispielweise für Komponentenlieferanten, die selbst nicht die Kapazitäten haben, die Verbindungen zu ihren Komponenten im Feld aufzubauen, zu managen und die Daten daraus zu verarbeiten. Auch die gesamte Auftragsabwicklung wird zukünftig von der Konfiguration einer Maschine über die Bestellung bis hin zur Betreuung der Maschine im After Sales für Aspekte der Wartung oder der Merkmalsfreischaltung per Software durchgängig über Plattformen erfolgen. Die gesamte Branche sollte dabei die Digitalisierung der Auftragsabwicklung und die digitale Begleitung des gesamten Lebenszyklus einer Maschine als unternehmensstrategisches Zukunftsfeld begreifen, das natürlich technologischen Risiken unterliegt. Hierzu ist ein aktives Technologiescouting/-screening und eine kontinuierliche Technologieevaluierung von Schlüsseltechnologien wie Cloud-, Edge- und Fog Computing, KI, Blockchain etc. empfehlenswert, da technologische Neuerungen auf Seiten der Software immer kurzzyklischer stattfinden. Die gesamte Branche der Ausrüster sollte möglichst einheitliche Schnittstellen zu Datenräumen und deren App-Stores etablieren, z.B. über IDS-konforme Konnektoren.

4. Der klassische Engineering-Prozess in der Fabrik- und Anlagenplanung, der Arbeitsvorbereitung mit der Planung der Arbeitsgänge und deren Ressourcen, der Festlegung von Vorgabezeiten, etc. wird sich in Zukunft verändern. Vortrainierte ML-Modelle werden mit der Maschine bzw. den Komponenten ausgeliefert; sie passen sich dann durch permanenten Abgleich mit den Laufzeitdaten selbst an. Simulations- und Verhaltensmodelle werden mit den Laufzeitdaten fusioniert, was einen schnellen Hochlauf der Produktion und eine Selbststeuerung von der Maschine bis zur kompletten Linie ermöglicht. So kommen die Ausrüster viel schneller als heute von Prototypen direkt zur Serienfertigung.

5. Die Ausrüsterbranche sollte offensiv das Thema Nachhaltigkeit adressieren. Die Transformation zur ressourceneffizienten

und nachhaltigen Wertschöpfung sowie steigende gesetzliche Anforderungen und ein verändertes Nachfrageverhalten der Kunden erfordern auf Nachhaltigkeitskriterien ausgerichtete Strategien der Produktgestaltung, Geschäftsmodellinnovation und des Lieferkettenmanagements. Auch deshalb, weil die Substitution ressourcenintensiver Materialien, Prozessschritte und Technologien sowie sich etablierende Ansätze der »Shared and Circular Economy« die Wertschöpfungsstrukturen gänzlich verändern werden. Unternehmen müssen die Fähigkeit zur Teilhabe an diesen Strukturen zwar einerseits herstellen (u.a. Kreislauffähigkeit von Produkten und Prozessen, Beteiligung an Manufacturing-Plattformen), aber auch durch digitale Technologien den Nachweis des ressourcenschonenden Einsatzes bei der Produktion über die verschiedenen Wertschöpfungsstufen End-2-End nachweisen und rückverfolgbar machen. Digitalisierung trägt dazu bei, das Reporting der Nachhaltigkeit/resilienter Lieferketten auch für mittelständische Ausrüster zu vereinfachen. Eine adäquate Bewältigung dieser Herausforderungen leistet dann einen positiven Beitrag zum Gemeinwohl (Klimaschutz) und wirkt sich betriebswirtschaftlich und wettbewerbsmäßig begünstigend aus, da auf Marktmechanismen, u.a. dynamische Preiseffekte, Lieferantensubstitution, gesetzliche Besteuerung und Sanktionierung, Rohstoffverknappung, gezielter und verlässlicher reagiert werden kann. Auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Geschäftsmodelle bieten darüber hinaus erhebliche Absatzpotenziale in neu entstehenden schnell skalierenden Wertschöpfungsstrukturen, z.B. Ausrüstung der Kreislaufwirtschaft, Branchen und Marktsegmenten, z.B. Ausrüstung der Wasserstoffinfrastruktur.

6. Automatisierung/Autonomisierung der Inbound-Logistik wird in der Ausrüsterindustrie stärker in den Fokus rücken, u.a. aufgrund von Personalmangel. Automatische Anlieferung, In-bound-Logistik und interner Materialfluss müssen verknüpft werden. Beispiele hierfür sind der zunehmende Einsatz von FTSen oder Automatisierung/Autonomisierung beim Be- und Entladen. Maschinen und Anlagen müssen dafür zwei Anforderungen erfüllen:

- sie benötigen Fähigkeiten, sich über adaptive technische Schnittstellen in automatisierte Inbound-Lösungen zu integrieren und
- sie können sich über standardisierte offene Schnittstellen in dezentrale, heterogene Steuerungssysteme integrieren.

7. Fabrikplanung: Vor dem Hintergrund des bestehenden Fachkräftemangels steigt die Bedeutung von Supply Chain – und Projektablaufsimulationen sowie logistische Assistenzsystemen zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit von der Herstellung der Komponenten bis zur termingerechten Inbetriebnahme auf der Baustelle im Anlagenbau. Durch die zunehmende Digitalisierung und digitale Anbindung aller Gewerke kann schon früh im Fabrikplanungsprozess ein hoher Detailgrad erreicht werden. Veränderungen im Verlauf

des Bau- und Inbetriebnahmeprozesses werden automatisiert an alle beteiligten Partner kommuniziert und das Gesamtsystem wird aktualisiert. Dies sichert den termingerechten Start-of-Production und die Zuverlässigkeit in der Betriebsphase ab. Gleichzeitig erlaubt die Anbindung an die Datenräume die energieflexible Betriebsführung der Fabrik sowie die Bildung von Quartieren in der Versorgung.

8. Software-Updates, egal ob Firmware für Komponenten, Maschinen oder MES-Systeme werden zukünftig normal, auch wenn dies heute aus Gründen funktionaler Sicherheit (Safety) und IT-Sicherheit (Security) noch nicht umgesetzt wird. Die Ausrüsterbranche muss darum proaktiv an Lösungen dafür arbeiten, gemeinsam mit ihren Kunden und weiteren Stakeholdern (BGs, TÜV, etc.). Datensicherheit, Safety und Datennutzungskontrolle müssen demnach von vornherein bei der Gestaltung von Komponenten und Maschinen berücksichtigt werden: Die industrielle Produktion ist für die Bundesrepublik Deutschland eine kritische Infrastruktur, die diese zunehmend auch zum Ziel von bösartigen Angriffen macht. Cybersicherheit für industrielle Komponenten, Maschinen aber auch den Betrieb von Produktionsanlagen ist damit eine unerlässliche Anforderung für den sicheren Betrieb, aber auch für den Austausch von Daten. Im Vergleich zur klassischen IT-Sicherheit ergeben sich im industriellen Kontext Eigenschaften und Anforderungen, die maßgeschneiderte Lösungsansätze und Vorgehensweisen benötigen. Beispielsweise wird dem Schutzziel Verfügbarkeit (der Anlage bzw. der Produktion) eine wesentlich höhere Bedeutung als in der klassischen IT-Sicherheit zugesprochen. Weiterhin ist zu beachten, dass in industriellen Anlagen bei erfolgreichen Angriffen auch Auswirkungen auf die funktionale Sicherheit (engl. Safety) möglich sind. Unfälle, Personenschäden und physische Schäden an Maschinen und Anlagen sind möglich. Darum ist es notwendig, Cybersicherheit möglichst von Beginn an (Security-by-Design) bei der Entwicklung von neuen Komponenten, Systemen und Anlagen mitzudenken. Neben dem Stand der Technik ergeben sich auch im regulatorischen Umfeld der EU zukünftig Anforderungen an die Cybersicherheit für den Betrieb von Anlagen, aber auch für das Auf-den-Markt-Bringen von Produkten: Die NIS 2.0 Directive und der Cyber Resilience Act (CRA). Sowohl aus der NIS 2.0 als auch aus dem CRA ergeben sich u.a. Anforderungen an die Cybersicherheit zur Anbindung von Maschinen und Anlagen an einen Datenraum, die bei der Entwicklung mitbetrachtet werden müssen. Der CRA wird zukünftig Anforderungen an die Cybersicherheit von Produkten - im Sinne dieser Studie auch Maschinen und Software - vorgeben. Dies beinhaltet grundlegende Anforderungen an das Design und die Entwicklung von Produkten (Security-by-Design), grundlegende Sicherheitseigenschaften sowie Anforderungen, die über den Lebenszyklus der Produkte eingehalten werden müssen, beispielsweise das Schließen von Sicherheitslücken durch Updates.

9. Transfer: Für öffentlich geförderte FuE-Projekte kennen wir in Deutschland seit langem das sog. ›Tal des Todes‹ von Innovationen [39]: die Partner eines Förderprojekts arbeiten mit großem Einsatz an den im Antrag beschriebenen Aufgabenstellungen und entwickeln erste, bestenfalls prototypische Lösungen für Technologien und Werkzeuge (TRL 4 oder 5). Die Ergebnisse werden in einer Abschlusspräsentation vorgestellt und als Bericht veröffentlicht. Ein weiterer Transfer der mit öffentlicher Förderung erarbeiteten Lösungen findet meist nicht statt. Neue Formen des Ergebnis-Transfers werden dazu führen, das ›Tal des Todes‹ zu verkleinern. Dazu gehören interaktive Plattformen, die die Ergebnisse aus öffentlich geförderten FuE-Projekten für die Gesamtheit der potenziellen Anwender-Unternehmen zugänglich, anschlussfähig und umsetzbar machen. Ziel dieser neuen Transfer-Formate ist es, Schnittstellen zwischen FuE-Projekten und der Umsetzung in (kleinen und mittelständischen) Unternehmen zu schaffen.



Der Zug, dass Deutschland das mittlere Preissegment zurückerobert, ist abgefahren. Einziger Weg für deutsche Ausrüster ist es, neue Hightech-Produktionsmittel zu entwickeln, die Lösungen für zukünftige Anforderungen bieten, z.B. universell einsetzbare, modulare und resiliente Produktionsmittel, die dann auch software-driven neuartige Geschäftsmodelle sowie passende Dienste umfassen.«

**Prof. h.c. Dr.-Ing. Ömer Sahin Ganiyusufoglu
im WebMeeting am 5.1.2023**

6. Schlussfolgerungen

6.1 Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf Datenräume

Moreno et al. (2023) zeigen eine grundlegende Architektur, die für Manufacturing-X von Relevanz ist. Die Architektur ermöglicht den technischen Durchgriff von den Maschinendaten in den Datenraum. Dabei verwendet sie allerdings nur eine Typ 1-Verwaltungsschale (passiv, statische Informationen) und keine funktionalen digitalen Zwillinge. Die Autoren beschreiben selbst die Notwendigkeit der Typ 2-Verwaltungsschale (reaktiv, Interaktion mit der Maschine möglich), um digitale Zwillinge abbilden zu können. Dazu muss allerdings die Verwaltungsschalen-Spezifikation angepasst werden. Derzeit werden verschiedene Umsetzungsstrategien in der Plattform Industrie 4.0 diskutiert.

Um die Einstiegshürde für KMU zu reduzieren ist es ebenfalls erstrebenswert, Typ 3-Verwaltungsschalen (aktiv, Interaktion zwischen Verwaltungsschalen) zu entwickeln. Diese ermöglichen etwa autonome Maschinenparks, die Selbstkonfiguration von Ersatzteilen in Maschinen oder das proaktive Eingreifen in Produktionsprozesse.

Um Typ 3-Verwaltungsschalen umzusetzen ist es notwendig, herstellerautarke Systeme zu entwickeln. Diese vereinfachen die Integration von heterogenen Shopfloors hin zu einem »Plug & Produce«. Weiterhin ermöglichen sie die einfache Integration in MES, ERP und weitere Anwendungssysteme.

Datensouveränität muss im Shopfloor auf mehreren Ebenen gedacht werden. Einerseits können Daten datensouverän ohne weiteres verarbeitet werden, solange sie im Shopfloor verbleiben. Im Sinne der Typ 3-Verwaltungsschalen, die auch autonom interagieren können, ist es sinnvoll, Sicherheitskonzepte durchzusetzen. Wie in anderen IT-Systemlandschaften müssen restriktive Zugriffs- und Nutzungsberechtigungen vergeben werden. Diese können auf Basis der Verwaltungsschale erfolgen.

Diese muss es ermöglichen, Maschinen in die verschiedenen Datenräume anzubinden. Dazu muss sowohl das technische Durchsetzen von Zugriffs- und Nutzungsbestimmungen als auch die Kommunikation mit den Maschinen ermöglicht werden. Die OPC UA ermöglicht heute schon den herstellerunabhängigen Datenaustausch zwischen Maschinen. Sie

kann Zugriffsbestimmungen durchsetzen. Allerdings kann bisher keine Nutzungsbestimmung durchgesetzt werden. Ein wesentlicher Forschungsgegenstand ist es also, eine integrative Gesamtarchitektur zu entwickeln. Diese muss maschinennahe Architekturen, wie OPC UA, in Datenräume integrieren, die technische Durchsetzung von Datensouveränität ermöglichen und in die branchenspezifischen Datenräume integriert werden können.

Sicherheit muss nach dem »Schweizer-Käse-Prinzip« etabliert werden. Das bedeutet, dass eine Sicherheitsmaßnahme allein unvollständig ist und wie eine Scheibe Käse Löcher hat. Durch das Aneinanderreihen von Sicherheitsmaßnahmen werden diese Löcher schichtweise gestopft. Neben der Zugriffskontrolle durch den Data Space Connector muss das Sicherheitskonzept der Verwaltungsschale ebenfalls umgesetzt sein. Hierbei gilt es einen Mechanismus zu entwickeln, der eine integrative und komponentenübergreifende Zugriffskontrolle zulässt. Weiterhin muss die Ebene zwischen der Verwaltungsschale und dem Data Space Connector die Nutzungskontrolle berücksichtigen. Es gilt, an dieser Stelle einen Standard für die Sicherheit und die Datensouveränität zu entwickeln.

Der Data Space Connector der Eclipse Data Space Components wird bereits in Catena-X als Data Space Connector verwendet. Daher hat es Sinn, diesen in Bezug auf die o.g. Punkte auch für andere Branchen weiterzuentwickeln.

6.2 Cluster von Anwendungsfällen in datenraumbezogenen Leuchtturmprojekten

Egal, welche Zielmärkte die Leuchtturmprojekte adressieren, die im Folgenden aufgeführten Cluster von Anwendungsfällen werden sie enthalten. Die konkreten Anwendungsfälle sind dann branchenbezogen und lösen spezifische Aufgaben der einzelnen Branchen. Sie spezifizieren und entwickeln Basisservices, die dann wiederum als Free Open Source Software allen Leuchtturmprojekten zur Verfügung gestellt werden sowie Business Applikationen, die die Nutzer dann über verschiedene industrielle AppStores beziehen können.

Cluster Supply Chain-Transparenz: wie in Catena-X werden hier Daten entlang der Lieferkette ausgetauscht; ein prominentes Beispiel ist der Traceability-Use Case aus Catena-X.

Cluster Produktions- und Fabrikoptimierung: in Ergänzung zum ›horizontalen‹ Datenaustausch entlang der Lieferkette liegt der Schwerpunkt in der verarbeitenden Industrie hauptsächlich auf ›vertikalem‹ Datenaustausch, d.h. von Daten, die aus dem Betrieb von Maschinen, Anlagen und Komponenten gewonnen werden. Prominentes Beispiel für solche Anwendungsfälle ist das Collaborative Condition Monitoring.

Cluster Kollaborative Produktinnovation: bei diesen Anwendungsfällen geht es um Lösungen, die die Zusammenarbeit im Engineering-Prozess verbessern, z.B. um verlustfreien Datenaustausch zwischen verschiedenen Engineering-Toolfamilien oder um die Nutzung von Daten aus dem Betrieb für die nächste Generation von Produkten. Ein Beispiel für solche Anwendungsfälle ist das KoPa35-Projekt »Digitale Anlagenmodellierung mit neutralen Datenformaten (Diamond)«.

Cluster Energie- und CO2-Management: diese Anwendungsfälle sind speziell zum Messen und Verbessern des Energie- und Ressourceneinsatzes. Ein prominentes Beispiel ist der Product Carbon Footprint-Use Case aus Catena-X.

Cluster Geschäftsmodelle: unter diese Kategorie von Use Cases fallen verschiedene As-a-Service-Modelle, die untersucht und bzgl. ihrer Umsetzung bewertet werden müssen. Dazu zählen Manufacturing-as-a-Service, Pay-per-X (use, part, value) oder Equipment-as-a-Service und ggfs. das softwaretechnische Freischalten von Features, die in einer Maschine oder Komponente bereits physisch enthalten sind. Solche Anwendungsfälle sind aus unserer Sicht erst möglich, wenn tatsächlich Daten ausgetauscht werden.

Cluster Capabilities: die Anwendungsfälle dieser Kategorie sind sehr ähnlich zu den Basisservices. Hauptsächlich betreffen sie einzusetzende Standards wie AAS, OPC UA und die Konnektoren. Die konkrete Abgrenzung von nicht-wettbewerbsrelevanten und wettbewerbsrelevanten Teilen dieser Capabilities ist zu treffen, wenn die Leuchtturmprojekte tatsächlich begonnen sind.



7. Handlungsempfehlungen

Aus den oben formulierten Thesen leiten wir im Folgenden einige Handlungsempfehlungen ab, die für Fraunhofer, aber ganz allgemein auch für FuE-Organisationen gelten können.

Domäne	Inhalt	Handlungsempfehlungen
Produktionstechnik und produktionsnahe IT	Modulare, für unterschiedliche Fertigungsaufgaben konfigurierbare Maschinen und Fertigungs- oder Montagelinien	Seit Industrie 4.0 mit dem Erscheinen der acatech-Studie [40] ins Leben gerufen wurde, wird in F&E-Projekten daran gearbeitet, Maschinen, Anlagen und Komponenten maschinenlesbar zu beschreiben, so dass sie sich letztlich selbst konfigurieren – für verschiedene Fertigungsaufgaben, geänderte Auftragsreihenfolgen, etc. Herausgekommen sind inzwischen die AAS, OPC UA Companion Specs. und diverse proprietäre Lösungen. In der Breite durchgesetzt hat sich bislang wenig davon. IT und OT sind immer noch eigene, voneinander getrennte Disziplinen. Forschungseinrichtungen wie Fraunhofer müssen hier interdisziplinär arbeiten, um die vorhandenen Kompetenzen zu bündeln.
IuK	Multilaterales Teilen von Daten in industriellen Datenräumen	Vernetzung der domänenspezifischen Data Space-Aktivitäten innerhalb der FhG Open Source Strategie der Fraunhofer-Gesellschaft für Basisservices von Datenräumen.
Produktion, IuK	Neue Geschäftsmodelle, neue Rollen im Datenaustausch	Verzahnung von Produktionstechnik- und IuK-Lösungen mit Geschäftsmodellentwicklung. Aus Sicht der Autoren könnte Fraunhofer dadurch eine viel größere Schlagkraft und Praxisrelevanz gewinnen.
Produkt- und Produktions-Engineering	Schneller Anlauf flexibler, modularer Anlagen	KI-Engineering in den Tools zum Produkt- und Produktionsengineering verankern.

Ressourceneffiziente und nachhaltige Wertschöpfung	Nachhaltigkeit	Re-Manufacturing by Design Methoden und Werkzeuge zum Nachhaltigkeits-Reporting bis auf Ebene der Instanzen von Maschinen und Komponenten entwickeln und erproben.
Logistik	Automatisierung / Autonomisierung der Inbound-Logistik	
Produktions-Engineering	Fabrikplanung	Building Information Model (BIM) und neue Simulationsverfahren müssen interdisziplinär vorangetrieben werden, um Methoden und Werkzeuge für die zunehmende Digitalisierung bereitzustellen.
IuK	IT-Security, Datensicherheit, Safety und Datennutzungskontrolle	IT-Security-by-design Technische Lösungen für Datennutzungskontrolle entwickeln; die bestehenden Konnektoren bilden dies noch nicht ab.
Transfer	Neue digitale und interaktive Transferformate	Aktiver Aufbau digitalen und plattformbasierten Transfers über die Fraunhofer-Academy; auf der Plattform können alle Institute ihre Inhalte einstellen und so auch wieder neue Projekte generieren.

8. Literatur

- [1] **Herzberg, N., Methe, Ch., Sauer, O.** Datenökosystem für Fabrikaurüster - Wie der Maschinen- und Anlagenbau, die Elektro- und Automatisierungsindustrie und die IKT-Branche ihre Kräfte bündeln. OEM & Lieferant 02/2022, VEK Verlag Elisabeth Klock, S. 36-38
- [2] **Busch, B., Matthes, J., Sultan, S.** Zur Abhängigkeit einzelner Industriezweige von China. IW-Report 5/2023, Köln, 23.01.2023.
- [3] **Ellen MacArthur Foundation: Towards the circular economy.** Journal of Industrial Ecology, 2013, 2. Jg., Nr. 1, S. 23-44.
- [4] **European Commission: Strategic dependencies and capacities. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT.** Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery. Brussels: 5.5.2021.
- [5] **Baur, Flach (2022).** Strategien gegen die Flaschenhals-Rezession: Was hilft bei Lieferengpässen und steigenden Preisen, ifo Schnelldienst 01/2022.
- [6] **Konecny J., McMahan HB., Yu FX, Richtárik P., Suresh AT., Bacon D.** (2016) Federated learning: strategies for improving communication efficiency. arXiv preprint arXiv:161005492
- [7] **Ludwig H., Baracaldo N. (2022)** Federated Learning: A Comprehensive Overview of Methods and Applications. Springer Nature Switzerland AG.
- [8] **Peters, R., & Krieger, B. (2022)** Föderales maschinelles Lernen [White paper]. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).
- [9] **Iovanna Culot, Guido Orzes, Marco Sartor, Guido Nassimbeni.** The future of manufacturing: A Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0, Technological Forecasting and Social Change, Volume 157, 2020, 120092, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120092>.
- [10] **Lis, Dominik & Otto, Boris. (2021).** Towards a Taxonomy of Ecosystem Data Governance. 10.24251/HICSS.2021.733.
- [11] **Otto, B. (2022).** The Evolution of Data Spaces. In: Otto, B., ten Hompel, M., Wrobel, S. (eds) Designing Data Spaces . Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93975-5_1
- [12] **Pettenpohl, H., Spiekermann, M., Both, J.R. (2022).** International Data Spaces in a Nutshell. In: Otto, B., ten Hompel, M., Wrobel, S. (eds) Designing Data Spaces . Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93975-5_3
- [13] **Statistisches Bundesamt (2022) GENESIS-Online Datenbank.** Jahresbericht für Betriebe im Verarb. Gewerbe. <https://www-gene-sis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1678787941903&code=42271#abreadcrumb> (Stand: 07.12.2022))
- [14] **ZEW (2023).** ZEW Branchenreport Innovationen, Jahrg. 30, Nr. 16, Januar 2023 und vgl. Europä-isches Patentamt (2022) Statistics & Trends Centre: Granted European Patents. https://new.epo.org/en/statistics-centre?utm_source=pocket_saves#/customchart (Stand: 28.03.2022).
- [15] **OECD (2020).** R&D expenditure in industry by main activity of the enterprise, constant prices. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/2aa35ec6-en/index.html?itemId=/content/component/2aa35ec6-en> (Stand 08.12.2022)).
- [16] **OECD (2022).** OECD Stat Datenbank: Business enterprise R&D expenditure by Industry (ISIC rev. 4). https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=BERD_INDU (Stand: 28.03.2023). Ange-wandte Filter "United States", "Main activity", "National Currency".
- [17] **Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz,** abgerufen unter: <https://www.de.digital/DIGITAL/Navigation/DE/Lagebild/Indikatorentool/indikatorentool.html> (Stand 07.02.2023)
- [18] **Bitkom Research GmbH – Digital Engineering.** Agile Produktentwicklung in der deutschen Industrie, 2017
- [19] https://worldmanufacturing.org/wp-content/uploads/17/6-2022_World-Manufacturing-Report_E-Book.pdf
- [20] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1290362/umfrage/>

lieferschwierigkeiten-von-unternehmen-in-deutschland/

[21] **Freightos (2023)**. Freightos Baltic Index (FBX): Global Container Freight Index; [Stand: 07.03.2023]. Verfügbar unter: <https://fbx.freightos.com/>

[22] **Taisch M, Casidsid M, Acerbi F, Gonzáles C, May G, Padelli V et al. (2022)**. The 2022 World Manufacturing Report: Redesigning Supply Chains in the New Era of Manufacturing; [Stand: 17.03.2023]. Verfügbar unter: https://worldmanufacturing.org/wp-content/uploads/17/6-2022_World-Manufacturing-Report_EBook.pdf

[23] **Fornasiero, Rosanna, Saskia Sardesai, Ana Cristina Barros, and Aristides Matopoulos (2021)**. Next Generation Supply Chains: A Roadmap for Research and Innovation. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-63505-3>

[24] **Sardesai, Saskia, Schreckenberger, Felix, Kippenberger, Johanna Kim (2023)**. Transformation von Lieferketten. Whitepaper.

[25] **Fuchslocher G. (2020)**. Audi setzt auch in Ingolstadt auf Aluminium Closed Loop; [Stand: 05.03.2023]. Verfügbar unter: <https://www.automobil-produktion.de/produktion/audi-setzt-auch-in-ingolstadt-auf-aluminium-closed-loop-108.html>

[26] **Kohl, H. (2021)**. White Paper „RESYST“ – Resiliente Wertschöpfung in der produzierenden Industrie – innovativ, erfolgreich, krisenfest. Fraunhofer-Verbund Produktion, München.

[27] **Co-Versatile (2022)**. Manufacturing life-saving equipment during pandemics. Ramping up production of medical ventilators | CO-VERSATILE

[28] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/988126/umfrage/umfrage-unter-lohas-in-deutschland-zur-bedeutung-von-nachhaltigkeit-beim-einkauf/>

[29] **Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V. (BME) (2021)**. BME Logistikstudie 2021 - Nachhaltigkeit in Supply Chains. [bme-logistikstudie-2021-nachhaltigkeit-in-supply-chains_web.pdf](https://www.bme-logistikstudie-2021-nachhaltigkeit-in-supply-chains_web.pdf) (storyblok.com)

[30] **KPMG (2022)**. Zentrale Herausforderungen der Fertigungsindustrie: Transformationsimpulse für nachhaltiges Wachstum

[31] **PWC (2023)**. Maschinenbau-Barometer: Ausblick 2023. Zugriff: <https://www.pwc.de/de/industrielle-produktion/pwc-maschinenbau-barometer-q4-2022.pdf>

[32] **PWC (2022)**. Maschinenbau-Barometer: Auswirkungen des Kriegs in der Ukraine. Zugriff: <https://www.pwc.de/de/industrielle-produktion/pwc-maschinenbau-barometer-q1-2022.pdf>

[33] **Culot, G., Orzes, G., Sartor, M., & Nassimbeni, G. (2020)**. The future of manufacturing: A Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0. Technological Forecasting and Social Change, 157, 120092. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120092>

[34] **Jana Schneeloch, Richard Orth, Sebastian Taugerbeck (2020)**. Marktstudie Energiemanagementsysteme. Zugriff: https://www.digital-energy.nrw/wp-content/uploads/2020/08/Marktstudie_onlineTools.pdf

[35] **ZIA, Arbeitskreis "Nachhaltige Quartiersentwicklung" (2014)**. ZIA Positionspapier – Nachhaltige Quartiersentwicklung. Zugriff: 14-05-14 Positionspapier Nachhaltige Quartiersentwicklung - FINAL ([zia-deutschland.de](https://www.zia-deutschland.de))

[36] **Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz**. Zugriff: <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/Gesetz-Unternehmerische-Sorgfaltspflichten-Lieferketten/gesetz-unternehmerische-sorgfaltspflichten-lieferketten.html#:~:text=Das%20Sorgfaltspflichtengesetz%2C%20auch%20als%20Lieferkettengesetz%20bekannt%2C%20soll%20der,international%20anschluss%C3%A4hig%20und%20orientieren%20sich%20am%20Sorgfaltsstandard%20%28%22>

[37] **Dr. Alexander Börsch, Deloitte (2020)**. Economic Trend Briefing: Nachhaltigkeit bei Investoren und Unternehmen im Aufwind. Zugriff: <https://www2.deloitte.com/de/de/blog/economic-trend-briefings/2020/nachhaltigkeit-unternehmen-und-investoren.html>

[38] Boar, A. I., Bastida, R., & Marimon, F. (2020). A Systematic Literature Review. Relationships between the Sharing Economy, Sustainability and Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 12(17), 6744. <https://doi.org/10.3390/su12176744>

[39] Laguna, R. Sprunginnovation. Wie wir mit Wissenschaft und Technik die Welt wieder in Balance bekommen. Econ, Berlin 2021, S. 146ff.

[40] Geisberger, E., Broy, M. agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systemens (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

[41] Stiftung Familienunternehmen (Hrsg.). Länderindex Familienunternehmen. 9. Auflage. Erstellt vom ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH Mannheim, München 2023, www.familienunternehmen.de

[42] Europäische Kommission. Digital Economy and Society Index im Jahr 2022. Aufgerufen am 06.02.2023 unter: https://digital-agenda-data.eu/charts/desi-components#chart={%22indicator%22:%22desi%22,%22breakdown-group%22:%22desi%22,-%22unit-measure%22:%22pc_desi%22,%22time-period%22:%222022%22}

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Material-
fluss und Logistik IML

Marco Motta

Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4

44227 Dortmund

marco.motta@iml.fraunhofer.de

Fraunhofer Institut für Optronik,
Systemtechnik und Bildauswer-
tung IOSB

Dr.-Ing. Olaf Sauer

Fraunhofer Straße 1

76131 Karlsruhe

olaf.sauer@iosb.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz

autoMOBILproduktion

Dr.-Ing. Andreas Schlegel

Reichenhainer Str. 88

09126 Chemnitz

allianz-automobilproduktion@iwu.fraunhofer.de