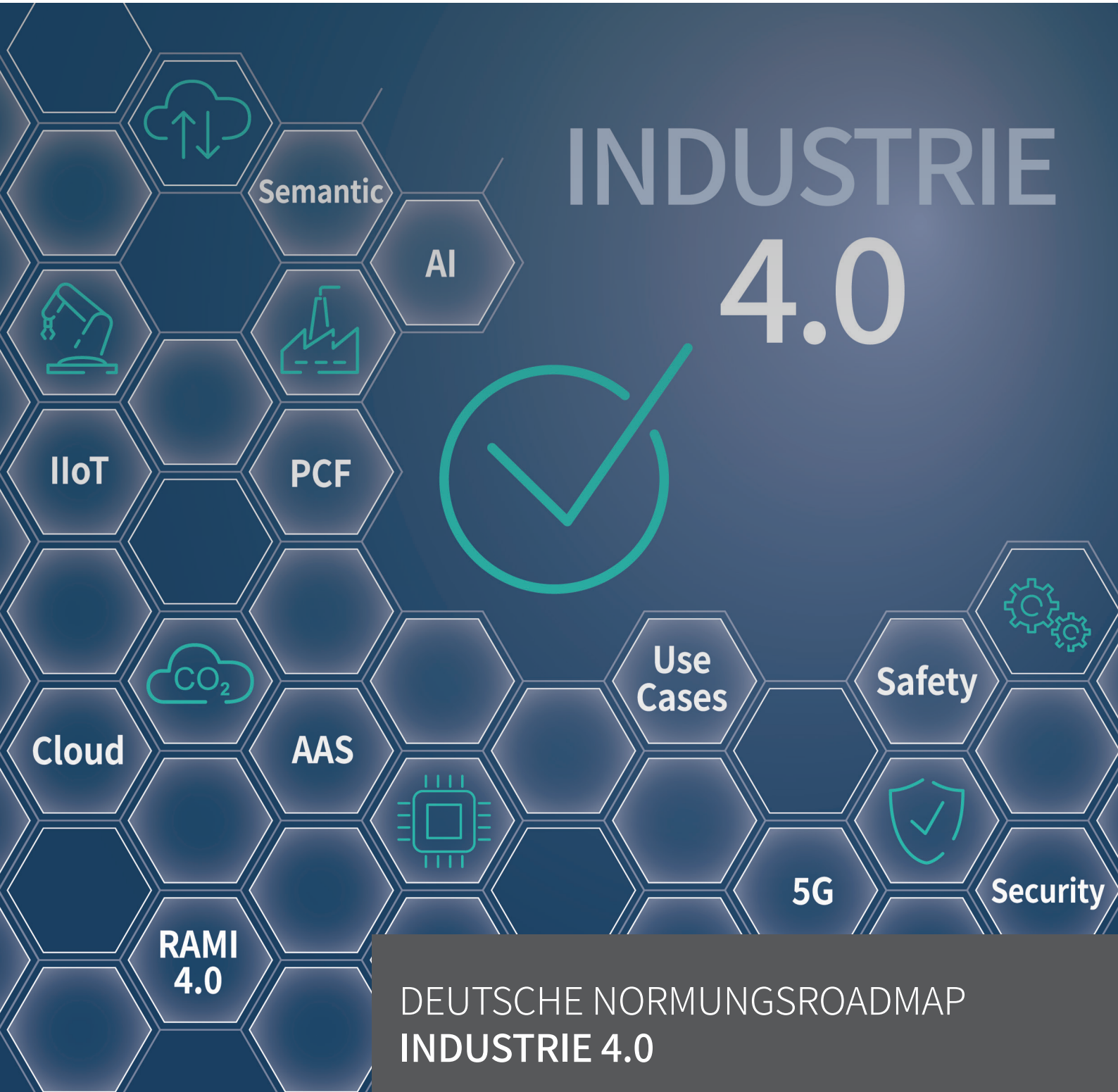


INDUSTRIE 4.0



DEUTSCHE NORMUNGSROADMAP
INDUSTRIE 4.0

VERSION 5



STANDARDIZATION
COUNCIL
INDUSTRIE 4.0

HERAUSGEBER

DIN

DIN e.V.

Am DIN-Platz
Burggrafenstraße 6
10787 Berlin
Tel.: +49 30 2601-0
E-Mail: info@din.de
Internet: www.din.de

DKE

**VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik
Informationstechnik e. V.
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik
Informationstechnik in DIN und VDE**

Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel.: +49 69 6308-0
E-Mail: service@vde.com
Internet: www.dke.de

Bildnachweise:

Titelbild: VDE

Kapiteleingangsgrafiken:

Pugun & Photo Studio (S. 5),

kras99 (S. 9, 15, 41, 45), Alex (S. 87) – stock.adobe.com

Stand: Januar 2023

VORWORT



Prof. Dr. Dieter Wegener
 Vorsitzender SCI 4.0 Beirat
 DKE-Vizepräsident
 Vorsitzender DIN FOCUS.ICT
 Sprecher ZVEI-Führungskreis Industrie 4.0

Sehr geehrte Lesende,

in den vergangenen Jahren hat sich Industrie 4.0 vom theoretischen Konzept zu einem praxiserprobten Ansatz entwickelt. Erste Produkte und Services, bei denen ein Digitaler Zwilling gemäß dem Industrie 4.0-Konzept der Verwaltungsschale genutzt wird, sind am Markt verfügbar. Für die Verwaltungsschale als „Integrationsstecker für digitale Ökosysteme“ sind bereits erste Teilmodell-Templates verfügbar und somit können erste Anwendungsfälle umgesetzt werden.

Die Politik in Deutschland und Europa hat die strategische Bedeutung digitaler Ökosysteme für das Erreichen von zukunftsrelevanten Zielen erkannt. Deswegen wurden mehrere Initiativen gestartet, um das digitale Ökosystem weiter auszubauen. Beispielhaft sei hier die am 30. März 2022 von der EU-Kommission vorgeschlagene Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte erwähnt. Für diese Verordnung wird ein Digitaler Produktpass (DPP) gefordert. Für den Digitalen Produktpass bestehen die Chance und Notwendigkeit, die Konzepte von Industrie 4.0 anzuwenden, wie dies für den „DPP4.0“ vorgeschlagen wird. Mit dem DPP4.0 wird die Vision digitaler Ökosysteme basierend auf europäischen Werten ein Stück mehr greifbar.

Das Leitbild 2030 der Plattform Industrie 4.0 formuliert einen ganzheitlichen Ansatz zur Gestaltung digitaler Ökosysteme für die Entwicklung und die Ausrichtung von Industrie 4.0. Im Zentrum des Leitbildes stehen die strategischen Handlungsfelder:

1. **Interoperabilität**, welche die nahtlose Zusammenarbeit und den fehlerlosen Datenaustausch zwischen allen Akteuren ermöglichen soll.

2. **Souveränität**, die Freiheit aller, Entscheidungen zu treffen, ohne dabei in die Abhängigkeit einzelner Akteure zu geraten.
3. **Ökologische und soziale Nachhaltigkeit**, welche einen fundamentalen Eckpfeiler der gesellschaftlichen Wertorientierung darstellen.

Dazu braucht es Standards und Integration, einen einheitlichen regulatorischen Rahmen sowie dezentrale Systeme und Künstliche Intelligenz.

Die 5. Ausgabe der Normungsroadmap Industrie 4.0 baut auf der 4. Ausgabe der Roadmap auf: das Erreichen der Interoperabilität, eben der standardisierten Maschinen-Maschinen- und Mensch-Maschinen-Kommunikation in vernetzten digitalen Ökosystemen. Das „Standardization Council Industrie 4.0“ (SCI 4.0) hat dabei gemeinsam mit DIN und DKE die Aufgabe übernommen, normative Handlungsempfehlungen zur Industrie 4.0 zu erarbeiten.

Als Vorsitzender des Beirates freut es mich, zu sehen, dass das Standardization Council Industrie 4.0 weiterhin diese bedeutende und bündelnde Funktion auf nationaler und internationaler Ebene für industrierelevante Themen wahrnimmt. Die Normungsroadmap Industrie 4.0 wird nicht nur in Deutschland, sondern international wahrgenommen.

Als Beispiel sei Künstliche Intelligenz erwähnt, die aufgrund der Vielfältigkeit der bestehenden und möglichen Anwendungsgebiete immer mehr an Bedeutung gewinnt. Dadurch, dass die Künstliche Intelligenz neue Prozesse und dynamische

sche Gestaltungsmöglichkeiten ermöglicht, stellt sich nach wie vor die Frage, ob bzw. wie entsprechende Normen, Standards und Richtlinien angepasst werden können. So gibt es zum Beispiel in der funktionalen Sicherheit für zum Teil zertifizierte Verfahren und Systeme nur unzureichende oder keine Antworten auf Fragen der Nutzung von KI-Systemen in dynamischen Entscheidungsprozessen.

Die Maschine soll den Menschen nicht ersetzen, sondern ihm die Arbeit erleichtern bzw. ihm die Möglichkeit geben, sich auf wichtigere Dinge zu konzentrieren. So stehen der Mensch, sein Wissen und seine Bedürfnisse bei der Erstellung der Normungsroadmap Industrie 4.0 im Mittelpunkt.

Ich bin immer wieder fasziniert von dem hohen Grad der Beteiligung und der Bereitschaft der Expert*innen sich diesem „Projekt Normungsroadmap Industrie 4.0“ zu widmen. Ohne die Bereitschaft, ihr Wissen und Engagement einzubringen, würden wir heute nicht unsere „Version 5“ feiern können. In diesem Sinne möchte ich mich, auch im Namen des SCI 4.0 Beirates, an dieser Stelle bei allen Autor*innen und Beteiligten für den unermüdlichen Einsatz bedanken.

Nun gilt es, die Handlungsempfehlungen mit Nachdruck umzusetzen und parallel die Normungsstrategie zu Industrie 4.0 zielgerichtet weiterzuentwickeln.

Ich wünsche allen Lesenden eine spannende Lektüre.

Prof. Dr. Dieter Wegener
Vorsitzender SCI 4.0 Beirat
DKE-Vizepräsident
Vorsitzender DIN FOCUS.ICT
Sprecher ZVEI-Führungskreis Industrie 4.0

Vorwort	1
1	EINLEITUNG	5
1.1	Bedarf im Innovations- und Forschungsfeld Industrie 4.0	6
1.2	Status quo zur Umsetzung von Empfehlungen der Normungsroadmap Industrie 4.0	6
1.3	Ein Blick voraus: Handlungsempfehlungen für die Weiterarbeit in der Normung	7
2	GRUNDLAGEN UND ANFORDERUNGEN ZUR GESTALTUNG DIGITALER ÖKOSYSTEME	9
2.1	Digitale Ökosysteme in Industrie 4.0	10
2.2	Semantik als Grundlage von interoperablen digitalen Ökosystemen	10
2.3	Souveränität industrieller Datenräume	11
2.4	Soziale Nachhaltigkeit – menschenzentrierte Industrie 4.0-Systeme	11
2.5	Nachhaltige und ökologische Aspekte von Industrie 4.0	12
2.6	Aspekte im Überblick	12
3	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN DER NORMUNGSROADMAP INDUSTRIE 4.0 (VERSION 5)	15
4	AKTEURS- UND NORMUNGSUMFELD	41
4.1	Einordnung und Umfeld der Normung in Deutschland, Europa und international	42
4.2	National	42
4.3	International	43
4.4	Koordinierende Gremien – Smart Manufacturing	43
5	NORMUNGSASPEKTE IN DEN SCHWERPUNKTTHEMEN	45
5.1	Aspekt 1: Interoperabilität	46
5.1.1	Eigenschaften und deren Systemintegration in industriellen Anwendungen	46
5.1.2	Referenzarchitekturmodelle	51
5.1.3	Semantik und Eigenschaften	54
5.1.4	Werkzeuge zur Umsetzung des digitalen Zwillings	58
5.1.5	Industrielle Kommunikation	64
5.1.6	Funktionale Sicherheit in Industrie 4.0	67
5.1.7	Künstliche Intelligenz in industrieller Automation	71
5.2	Aspekt 2: Souveränität	75
5.2.1	Datenräume	75
5.2.2	Industrial Security	76
5.2.3	Privacy	79
5.2.4	Trustworthiness	79
5.3	Aspekt 3: Nachhaltigkeit	80
5.3.1	Nachhaltigkeitsaspekte in Industrie 4.0	80
5.3.2	Nachhaltigkeitsmodule im Überblick	81
5.3.3	Aspekte der sozialen Nachhaltigkeit und Handlungsempfehlungen	85
6	ANFORDERUNGEN AN DIE ERARBEITUNG VON NORMEN UND STANDARDS	87
6.1	Anforderungen im Kontext von Open Source	88
6.2	Anforderungen im Kontext von Use Cases	91
6.3	Anforderungen im Kontext von maschinenlesbaren Standards	92
6.3.1	Aktuelle Aktivitäten in der Normung	92
6.3.2	Fragmentierung und SIM – Standard Information Model	93
6.3.3	Tool-Unterstützung und Taxonomien	93
6.3.4	Harmonisierung von Terminologie	94
6.3.5	Neue Skills für Normen und Normanwender	94
6.3.6	Querschnittsbezüge	94

ANHANG A	Normungsumfeld Industrie 4.0	97
A.1	Anhang Deutsche Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Industrie 4.0	98
A.2	Anhang Europäische und internationale Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Industrie 4.0	99
A.3	Anhang Koordinierende Gremien	101
A.4	Anhang Standards Setting Organizations (SSO)	102
A.5	Anhang Übersicht Politik (Deutschland, Europa)	103
A.6	Anhang Übersicht über das derzeitige Normungs- und Standardisierungsumfeld	103
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	107
	AUTOR*INNENVERZEICHNIS	109
	QUELLEN- UND LITERATURVERZEICHNIS	113



1

EINLEITUNG

1.1 Bedarf im Innovations- und Forschungsfeld Industrie 4.0

In Deutschland wurde frühzeitig erkannt, dass Industrie 4.0 ein Gemeinschaftsprojekt ist, das eine enge Abstimmung der Akteure benötigt. Dies betrifft sowohl die Entwicklung grundlegender Konzepte als auch die Technologieentwicklung hin zur Marktreife. Auf Basis dieser Erkenntnis wurden aus dem Umfeld der Plattform Industrie 4.0 Organisationen für eine kollaborative Technologieentwicklung gegründet. Für die Organisation der Normung und Standardisierung bedeutet dies, dass eine Zusammenarbeit mit diesen Organisationen definiert und umgesetzt werden muss. Dies stellt einen Unterschied zu einer „klassischen“ kompetitiven Technologieentwicklung dar, bei der die Entwicklung einer Technologie zur Marktreife unabhängig voneinander bei den Unternehmen bzw. Marktakteure erfolgt und im Anschluss eine Vereinheitlichung von Anforderungen durch Normen und Standards stattfindet.

1.2 Status quo zur Umsetzung von Empfehlungen der Normungsroadmap Industrie 4.0

Wie in den vorangegangenen Ausgaben der Deutschen Normungsroadmap Industrie 4.0 (NRM Industrie 4.0) regelmäßig betont wurde, ist sie von ihrer ersten Ausgabe an als ein „lebendes“ Dokument konzipiert und wird als eine laufend fortzuschreibende Diskussionsgrundlage verstanden, die in regelmäßigen Abständen aktualisiert wird. Mit dem Fortschrittsbericht [1] zur vierten Ausgabe der Normungsroadmap Industrie 4.0 [2] wurde erst kürzlich eine Übersicht zusammengestellt, die einen aktuellen Überblick über den Umsetzungsstand der in Ausgabe vier formulierten Handlungsempfehlungen gibt. Gleichzeitig konnte mit dem Fortschrittsbericht [1] ein Ausblick auf die inhaltliche Richtung für die nun vorliegende fünfte Ausgabe gegeben werden.

Aktuell befindet sich Industrie 4.0 im Übergang von der Konzept- zur Umsetzungsphase. Zahlreiche Initiativen wurden gestartet, um eine praktische Anwendung der entwickelten Konzepte und den Hochlauf von Industrie 4.0 zu unterstützen: die Industrial Digital Twin Association (IDTA) als Technologietreiber für die Verwaltungsschale, das Projekt InterOpera als Unterstützung des Hochlaufs der Entwicklung von Teilmodellen der Verwaltungsschale, CATENA-X als Treiber für einen Datenraum zur Automobilproduktion, COMDO als Projekt (siehe Kapitel 5.1.1) zur durchgängigen Nutzung von seman-

tischen Merkmalen von ECLASS und IEC CDD, um nur einige Beispiele zu nennen. Die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Roadmap in Gründung befindliche Initiative „Manufacturing-X“ soll den in der Digitalstrategie der Bundesregierung aufgeführten branchenübergreifenden Datenraum für Industrie 4.0 umsetzen.

Mit der erfolgten Umsetzung der IEC 63278-1¹ „Asset Administration Shell for industrial applications – Part 1: Asset Administration Shell structure“ konnte ein wichtiges Normungsprojekt nun international konsolidiert werden, um die Verwaltungsschale zum zentralen „Integrationsstecker“ für digitale Ökosysteme zu machen und weiter in der internationalen Normung zu verankern. Mit den begonnenen Normungsaktivitäten der beiden Ergänzungen zur Normungsreihe IEC 63278-2² „Information meta model“ und IEC 63278-3³ „Security provisions for Asset Administration Shells“ werden gegenwärtig die weiteren Grundlagen gelegt, um das Konzept der Verwaltungsschale durchgehend zu verwenden und zu standardisieren.

Ebenso werden verstärkt nachhaltige Entwicklungen vorangetrieben und normativ umgesetzt. Ein Beispiel dafür ist der Digitale Produktpass, der langfristig die industrielle Kreislaufwirtschaft unterstützt. Auf Basis der in IEC 63278-1 beschriebenen Struktur der Verwaltungsschale wurde ein dezentraler Lösungsansatz ermöglicht, um über eine Produktkennzeichnung, nach IEC 61406 „Unique Identification Link“, Zugriff sowohl auf anwenderfreundliche Websites des herstellenden Unternehmens als auch auf standardisierte maschinenlesbare Informationen zum Produkt zu ermöglichen. Dabei repräsentiert jedes Teilmodell einen standardisierten Datensatz für einen bestimmten Anwendungsfall, beispielsweise für die Übermittlung von technischen Daten oder der Produktdokumentation. In weiteren Teilmodellen können regulatorische Anforderungen, Serviceinformationen oder auch Umweltinformationen standardisiert sowie digital abgelegt und abgerufen werden. Auf diese Weise kann die Struktur des Digitalen Produktpasses auch zur Entwicklung neuer digitaler Geschäftsmodelle genutzt werden.

1 IEC 63278-1 „Asset Administration Shell for industrial applications – Part 1: Asset Administration Shell structure“

2 IEC 63278-2 „Asset Administration Shell for Industrial Applications – Part 2: Information meta model“

3 IEC 63278-3 „Security provisions for Asset Administration Shells“

1.3 Ein Blick voraus: Handlungsempfehlungen für die Weiterarbeit in der Normung

Die Themen **Nachhaltigkeit**, **Resilienz**, **Interoperabilität** und technologische **Souveränität** rücken noch stärker in den Fokus der Normung zu Industrie 4.0. Ziel der Normung muss es sein, die Voraussetzungen zu schaffen, damit die Potenziale zur Verwirklichung dieser strategischen Ziele von Industrie 4.0 vollständig gehoben werden können.

Die **fünfte Ausgabe der Deutschen Normungsroadmap Industrie 4.0** geht von einem ganzheitlichen Verständnis der Nachhaltigkeit aus. Dieses wird durch die gleichzeitige Umsetzung ökologischer, ökonomischer und sozialer Ziele erlangt. Für die ganzheitliche Verwirklichung von **Nachhaltigkeit** ist es daher notwendig, auch die Wechselwirkungen dieser Aspekte zu beachten. So kann die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit mithilfe der Digitalisierung vorangebracht werden und zu einer Verbesserung der Ressourcen- und Energieeffizienz sowie der Emissionsverringerung beitragen. Zudem wird Industrie 4.0 die Grundlagen einer klimafreundlichen Kreislaufwirtschaft schaffen. In sozialer Hinsicht wird die Digitalisierung der Arbeit neue Anforderungen an die Aus- und Fortbildung von Fach- und Führungskräften sowie an die organisationalen und globalen Rahmenbedingungen stellen – insbesondere auch vor dem Hintergrund neuer Formen der Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen. Diese ökologischen und sozialen Aspekte können nur erreicht werden, wenn sie mit der ökonomischen Dimension der Nachhaltigkeit zusammenspielen.

Zusätzlich zu den Aspekten der Nachhaltigkeit rücken thematisch die Resilienz von Wertschöpfungsnetzwerken wie auch die technologische Souveränität in Industrie 4.0 stärker in den Fokus der Normung. Gerade die Coronapandemie und zuletzt der Krieg in der Ukraine haben die Bedeutung und Notwendigkeit resilienter Wertschöpfungsnetze deutlich hervorgehoben. Die Voraussetzungen für die Sicherstellung der **Datensouveränität** und die gleichzeitige Verringerung der Abhängigkeit von sogenannten Hyperscalern können in der wissenschaftsbasierten und proaktiven Gestaltung von (internationalen) souveränen **Datenräumen** liegen. Dabei bilden sie die Grundlage für den Austausch von Daten nach dem europäischen Rechts- und Wertesystem zum Zweck der Realisierung datengetriebener und skalierbarer Geschäftsmodelle. Um Interoperabilität und damit den multilateralen Datenaustausch zu ermöglichen, sind vor allem Normie-

rungs- und Zertifizierungsprozesse sowie eine angemessene **IT-Security** für Industrie 4.0 notwendig.

Industrie 4.0 hat gerade in Krisenzeiten gezeigt, dass sie ein Rückgrat für Innovationen darstellt. Angegangen werden müssen sowohl Themen der **Integration** (zum Beispiel Datenräume und Künstliche Intelligenz in Industrie 4.0 unter Berücksichtigung von Nachvollziehbarkeit, Vertrauenswürdigkeit und Ethik) als auch Anwendungsthemen (zum Beispiel nachhaltige, CO₂-neutrale Produktion durch Industrie 4.0). Diesen Themen widmen wir uns in den folgenden Kapiteln.

Die Digitalisierung betrifft nicht nur die Industrie, sondern auch die Normungsarbeiten. So haben z. B. die Coronapandemie und geostrategischen Konflikte erneut deutlich gemacht, dass ein Bedarf an flexibleren und reaktionsschnellen Normungs- und Standardisierungsprozessen besteht. In der Konsequenz werden die Normungsorganisationen moderne Technologien in Form von benutzerfreundlichen digitalen Plattformen vermehrt und zügig einführen müssen, um die Entwicklungsgeschwindigkeit zu erhöhen⁴.

4 Siehe dazu [CEN-CENELEC Bericht](#)



2

GRUNDLAGEN UND
ANFORDERUNGEN ZUR
GESTALTUNG
DIGITALER ÖKOSYSTEME

Um den Lesenden den Einstieg in das Thema Normung für Industrie 4.0 zu erleichtern, wird im Folgenden auf die Dokumentenstruktur eingegangen und es werden einige Grundbegriffe erklärt, wie z. B. „digitales Ökosystem“. Die fünfte Ausgabe der NRM Industrie 4.0 besteht aus insgesamt 10 Kapiteln, welche grob in drei Abschnitte unterteilt werden können:

Abschnitt 1, bestehend aus den [Kapitel 1](#) bis [4](#), ist die Grundlage für die NRM Industrie 4.0. Es werden zum einen Begrifflichkeiten und Konzepte beschrieben, z. B. industrielle Datenräume, aber es wird auch auf den Status quo laufender bzw. abgeschlossener Initiativen eingegangen. Zusätzlich findet sich hier eine Zusammenfassung der Handlungsempfehlungen ([Kapitel 3](#)).

Abschnitt 2 umfasst die [Kapitel 5](#) und [6](#), in welchen auf die aktuellen Themenschwerpunkte eingegangen wird. Es werden die verschiedenen Teilaspekte, z. B. Verwaltungsschale, beschrieben und die Argumente vorgestellt, weshalb für diese Teilaspekte Normungsbedarf besteht.

Abschnitt 3 (ab [Anhang A](#)) beinhaltet zusätzliche Informationen wie das Literaturverzeichnis und eine Übersicht relevanter Veröffentlichungen und Aktivitäten aus dem Bereich Industrie 4.0.

In den folgenden Abschnitten wird auf einige grundlegende Begrifflichkeiten eingegangen.

2.1 Digitale Ökosysteme in Industrie 4.0

Aus Sicht der Normierung gibt es vier Aspekte, die im derzeitigen Kontext für jedes digitale Ökosystem von zentraler Bedeutung sind:

1. Die **Semantik** als Grundlage von interoperablen digitalen Systemen.
2. Das Konzept der „**industriellen Datenräume**“, welches zusätzliche Wertschöpfung basierend auf Daten erzeugt und dabei für die Beteiligten Datensouveränität, Datensicherheit und Datenintegrität wahrt und gewährleistet.
3. „**Menschenzentrierte Industrie 4.0-Systeme**“ als Grundlage der menschengerechten Arbeitsgestaltung sowie deren verschiedene Aspekte (z. B. Arbeitsmittel, Arbeitsumgebung).
4. Der Gedanke der „**nachhaltigen und ökologischen Aspekte von Industrie 4.0**“, d. h. die Umsetzung von Klima- und Umweltzielen mit Industriebezug. Darunter fallen einerseits die Überwachung und Reduktion von

Emissionen aus Industrieanlagen sowie andererseits der vorsorgende Umweltschutz in Bezug auf Produkte und deren Umweltwirkungen.

Auf die vier Aspekte soll im Folgenden eingegangen werden.

2.2 Semantik als Grundlage von interoperablen digitalen Ökosystemen

In der Standardisierung wird **Semantik** als Grundlage von interoperablen digitalen Ökosystemen angesehen.

Eine genauere Betrachtung zeigt, dass sehr unterschiedliche Auffassungen über das Konzept der Semantik im Kontext der Digitalisierung existieren, die das gemeinsame Verständnis erschweren. Diese Unterschiede sind unter anderem der Tatsache geschuldet, dass sehr verschiedene Disziplinen wie etwa die Sprachwissenschaften, die Philosophie oder auch die Informatik eigenständige Beiträge dazu liefern.

Beispielhaft sei hier zum einen das „realistische“ Verständnis aufgeführt, die Semantik eines Zeichens als dreistellige Relation zwischen dem Laut bzw. Wort, dem bezeichneten Ding und den vom Laut ausgelösten Vorstellungen zu verstehen. Dem steht etwa die „Gebrauchstheorie“ gegenüber, die die Bedeutung ausgetauschter Zeichen in den Interaktionsregeln sieht, was in der Informatik der Meinung entspricht, dass Informationen ihre Bedeutung durch ihre Verarbeitung erteilt bekommen.

Gerade wegen der zentralen Rolle der Semantik für die Erreichung von **Interoperabilität** ist es für die Standardisierungsstrategie wesentlich, hier zu einem einheitlicheren, auf den spezifischen Anwendungsfall der effizienten Herstellung von Interoperabilität zielenden Verständnis zu gelangen.

Das betrifft vor allem Interoperabilität bezüglich digitaler Ökosysteme, da diese die Grundlage für ein vielfältiges Angebot datengetriebener Dienste und Funktionalitäten für die Industrie bilden. Das Zusammenspiel von Systemen findet auf zugrunde liegenden digitalen Plattformen statt. Auf diesen kann eine Bindung zwischen Sender- und Empfängersystemen von Prozessen a priori gänzlich unbekannt sein, aber weiterhin die gleichen Interaktionsaufgaben zu bewältigen haben. An dieser Stelle kann die Standardisierung von semantischer Ausdrucksfähigkeit als wichtiges Element für die Herstellung von Interoperabilität dienen, um die Interaktions-

möglichkeiten zwischen den Systemen in digitalen Ökosystemen zu unterstützen. Im Bereich der Industrie 4.0 gibt es heute eine Vielzahl von Einzelstandards, womit sich Interoperabilität zwischen Systemen erzielen lässt. Zur Erzielung eines gemeinsamen Verständnisses ist es von Bedeutung, wie das Wissen beschrieben, ausgetauscht und begriffen wird bzw. verarbeitet werden kann. Es wird daher ein gemeinsames Verständnis, möglichst in Form von Standards, zur Art und Weise des Austauschs dieses Wissens benötigt.

2.3 Souveränität industrieller Datenräume

Das Thema **Datenraum** wird im Kontext der digitalen Wirtschaft diskutiert. Diese verfolgt das übergeordnete Ziel, zusätzliche Wertschöpfung basierend auf Daten zu erzeugen und dabei für die Beteiligten **Datensouveränität, Datensicherheit** und **Datenintegrität** zu wahren und zu gewährleisten. Datenräume bieten dazu den Teilnehmenden gemeinsame, vertrauenswürdige Transaktionsräume (Security Domains), über welche Daten bereitgestellt und gemeinsam ausgewertet oder verwaltet werden können. Damit wird eine allgemein akzeptierte Grundlage für den Datenaustausch und die Datennutzung auf der Basis einer dezentralen oder zentralen Infrastruktur für das Bereitstellen, Auswerten und Verwalten geschaffen. Beispiele gibt es in den Vorschlägen zur ‚Datenwirtschaft‘ oder ‚Plattformökonomie‘ der Verbände.

Ein Datenraum definiert technische, rechtliche und geschäftliche Prinzipien [3]. Bereits heute gibt es in der produzierenden Industrie zahlreiche Beispiele, wo Firmen zusätzliche Wertschöpfung basierend auf Daten erzeugen. Eine gemeinsame Herausforderung all dieser Beispiele ist oft, die jeweilige wirtschaftliche Skalierbarkeit zu verbessern. Durch das Anbieten gemeinsamer technischer, rechtlicher und geschäftlicher Prinzipien bieten Datenräume hier das Potenzial, spezifische Wertschöpfung in den einzelnen Beispielen einheitlich mithilfe eines Datenraums zu erbringen. Dadurch können konkrete Beispiele einfacher auf andere Anwendungen übertragen werden. Daneben bieten Datenräume auch das Potenzial, neue Anwendungen zu erschließen. Hier sind insbesondere die folgenden Themen zu nennen:

- von Massenproduktion zur kundenspezifischen Produktion,
- zuverlässige und resiliente Wertschöpfungsketten,
- datengetriebene Geschäftsmodelle,
- Circular Economy,
- Lieferkettentransparenz.

Diese basieren auf der breiten und verteilten Datennutzung, aber auch darüber hinaus die grundsätzliche Problematik der Datennutzung im Spannungsfeld zwischen Datensicherheit und Schutz von geistigen Eigentumsrechten (en: Intellectual Properties, IP) bei gleichzeitigem Bedarf der Kollaboration über Unternehmens- und Unternehmensbereichsgrenzen hinweg.

Allerdings sind die konkreten Anforderungen der Beteiligten an Datensouveränität, Datensicherheit und Datenintegrität sehr stark vom Anwendungsfall abhängig, sodass neben einer technischen Ausprägung eines Datenraums immer auch das damit im Einzelfall verbundene Aufwand-Nutzen-Verhältnis betrachtet werden muss. Somit muss sich ein Datenraum – neben dem Anbieten geeigneter Eigenschaften – im Spannungsfeld aus Marktanforderungen und regulatorischen Rahmenbedingungen wirtschaftlich durchsetzen.

2.4 Soziale Nachhaltigkeit – menschenzentrierte Industrie 4.0-Systeme

Dem soziotechnischen Ansatz folgend, sind bei der Gestaltung und Normung von Arbeitssystemen die Wechselwirkungen zwischen sozialen und technischen Komponenten zu berücksichtigen. Demnach erfordern technologische Veränderungen wie die Einführung von Industrie 4.0-Systemen immer auch organisationale Anpassungen und wirken sich auf Arbeitsaufgaben, -tätigkeiten und Beschäftigte aus [4]. Eine solche menschenzentrierte Perspektive kann „technischen Sachzwängen“ vorbeugen, die entstehen können, wenn Elemente der Industrie 4.0 wie z. B. innovative Assistenzsysteme ohne Berücksichtigung von standardisierten Aspekten und festgelegten Spezifikationen der **menschengerechten Gestaltung von Arbeit** eingeführt werden [5].

Es sei an dieser Stelle darauf verwiesen, dass für die betriebliche Umsetzung und die Bewertung von Industrie 4.0-Systemen arbeitsschutzrechtliche Grundlagen im Zusammenspiel mit Normen zu betrachten sind. Informationen dazu finden sich unter anderem im „Grundsatzpapier zur Rolle der Normung im betrieblichen Arbeitsschutz“ [6].

In Version 4 der NRM Industrie 4.0 [2] wurden die Grundlagen der menschengerechten Arbeitsgestaltung sowie deren verschiedene Aspekte (z. B. Arbeitsmittel, Arbeitsumgebung) vertieft betrachtet und auf Industrie 4.0 bezogen. Diese Grundlagen sind weiterhin gültig und dienen als Rahmen für die Betrachtung einzelner Themen, die aufgrund ihrer Aktua-

lität und Bedeutung für die menschenzentrierte Gestaltung von Industrie 4.0 exemplarisch ausgewählt und in den Unterkapiteln dieser Roadmap beschrieben und mit neuen Handlungsempfehlungen (siehe [Kapitel 3](#)) unterlegt werden.

Handlungsempfehlungen zum Thema „**Menschenzentrierte Industrie 4.0-Systeme**“, die in der NRM Industrie 4.0 V4 [\[2\]](#) formuliert und im Fortschrittsbericht [\[1\]](#) nicht erwähnt wurden, werden in Version 5 in zusammengefasster Form in den einzelnen Unterkapiteln aufgegriffen.

2.5 Nachhaltige und ökologische Aspekte von Industrie 4.0

Die Themen ökologische **Nachhaltigkeit** sowie **Digitalisierung** stellen aktuelle Toptrends dar und werden in Kombination oftmals als doppelte Transformation bzw. „Twin-Transformation“ bezeichnet.

Mit der Veröffentlichung des **europäischen Grünen Deals** hat die Europäische Kommission sich zu einer neuen Wachstumsstrategie bekannt. Mit dieser soll die EU zu einer fairen und wohlhabenden Gesellschaft mit einer modernen, ressourcenorientierten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft werden, in der im Jahr 2050 keine Netto-Treibhausgasemissionen mehr freigesetzt werden und das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung abgekoppelt ist [\[10\]](#). Digitale Technologien werden dabei als entscheidende Voraussetzung für die Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele des Grünen Deals gesehen [\[10\]](#).

Als weltweit größter Binnenmarkt kann die Europäische Union zusammen mit ihren Mitgliedstaaten Standards festlegen, die für globale Wertschöpfungsketten gelten und perspektivisch auch in digitalen Ökosystemen anwendbar sind. Gleichzeitig können im Rahmen von EU-Handelsabkommen mit Drittstaaten Nachhaltigkeitsverpflichtungen, beispielsweise durch die Einbeziehung von Normen, kontinuierlich verstärkt werden [\[10\]](#).

Zur erfolgreichen Umsetzung der sogenannten doppelten Transformation müssen Nachhaltigkeitsaspekte in Form von Daten und Informationen digital erfasst und zur Verfügung gestellt werden. Nur ein automatisiertes, standardisiertes, nahezu kostenneutrales „Mitlaufen“ von Nachhaltigkeitsdaten in digitalen Ökosystemen wird zu einer breiten Anwendung und signifikanten Wirkung im Klima-, Umwelt- und Nachhaltigkeitsbereich führen.

Folglich bestehen in Bezug auf das Thema „nachhaltige und ökologische Aspekte von Industrie 4.0“ diverse Querbezüge zu den Aspekten Interoperabilität und Souveränität industrieller Datenräume und somit zu sämtlichen Unterkapiteln von [Kapitel 5](#) „Normungsaspekte in den Schwerpunktthemen“.

2.6 Aspekte im Überblick

Die NRM Industrie 4.0 dient als Leitfaden für die Industrie, um einen koordinierten Übergang zu einem digitalen Ökosystem zu schaffen. Aus deutscher Sicht sind für ein digitales Ökosystem die drei Handlungsfelder **Interoperabilität**, **Souveränität** und **Nachhaltigkeit** von zentraler Bedeutung, wie es im Leitbild 2030 für Industrie 4.0 dargestellt ist (siehe [Abbildung 1](#)).

Die **Souveränität** garantiert durch freie Gestaltungsräume und Selbstbestimmung die Wettbewerbsfähigkeit in digitalen Geschäftsmodellen. Das erfordert eine solide digitale Infrastruktur, Datensicherheit und die Förderung der Technologieentwicklung, welche durch Diversifizierung die Abhängigkeit von einzelnen Zuliefernden Unternehmen und Solution Providern reduziert.

Das Ziel der **Nachhaltigkeit** ist, die moderne industrielle Wertschöpfung und somit den Lebensstandard zu sichern. Dazu sind gute Arbeit und Bildung, gesellschaftliche Teilhabe und Klimaschutz notwendig.

Die **Interoperabilität** ist die Basis für die Kooperation und offene Ökosysteme. Sie erfordert einen regulatorischen Rahmen, dezentrale Systeme und Künstliche Intelligenz sowie Standards und Integration. Die Interoperabilität ist damit unerlässlich und bildet einen der Grundbausteine der Souveränität.

Die drei Handlungsfelder bieten eine wichtige und langfristige Orientierung für die weiteren Initiativen und Aktivitäten aller Akteure in Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft. Dabei gibt es für jedes der drei Handlungsfelder eine Reihe von Teilaspekten, für die noch Handlungsbedarf bezüglich deren Normierung besteht. Im Rahmen dieser NRM Industrie 4.0 wurde für die drei Handlungsfelder verstärkt auf jene Teilaspekte eingegangen, welche für das jeweilige Handlungsfeld aus aktueller Sicht von primärem Interesse sind.



Abbildung 1: „Strategische Handlungsfelder in Industrie 4.0 als Leitbild für 2030 (Quelle: © Plattform Industrie 4.0/INFOGRAFIK PRO GmbH) nach (BMWK 2019b)“

Normungsbedarf bei Interoperabilität besteht bei den folgenden Teilaspekten:

- Eigenschaften und deren Systemintegration in industriellen Anwendungen für den reibungsfreien Informationsaustausch zwischen den einzelnen Akteure einer Lieferkette;
- Referenzarchitekturmodelle zur Umsetzung der strukturellen Rahmenbedingungen für die reibungslose Umsetzung von I4.0-Szenarien;
- Semantik und Eigenschaften, d. h. interpretierbare Interaktionen an Interaktionspunkten, z. B. an Mensch-Maschine-Schnittstellen;
- die Verwaltungsschale als Umsetzung des Digitalen Zwillings für Industrie 4.0 dient als Grundkonzept der Verwaltungsschale;
- industrielle Kommunikation, Kommunikationsmethoden vernetzter Systeme;
- funktionale Sicherheit in Industrie 4.0 als Teil der Gesamtsicherheit und somit als Voraussetzung für flexible Produktionseinrichtungen;
- Künstliche Intelligenz in industrieller Automation, auch im Hinblick auf die Wechselwirkung Mensch und Maschine.

Normungsbedarf bei Souveränität industrieller Datenräume:

- Industrial Security, vor allem auf den ganzheitlichen Schutz von Informationstechnik in Produktionssystemen sowie von Maschinen und Anlagen vor Sabotage, Spionage oder Manipulation;
- Privacy, vor allem auch mit Blick auf den Bereich des Datenschutzes;
- Trustworthiness, d. h. Vertrauenswürdigkeit der Daten innerhalb der Lieferkette;
- Festlegung von Zugriffsmechanismen als „Spielregeln“ für ein souveränes multilaterales Datenteilen.

Normungsbedarf bei Nachhaltigkeit:

- Nachhaltigkeitsaspekte in Industrie 4.0; Nachhaltigkeit durch Datenqualität;
- Nachhaltigkeitsmodule im Überblick, z. B. ortsfeste und mobile Anlagen, Prozesse etc.;
- Aspekte der sozialen Nachhaltigkeit und Handlungsempfehlungen bei der Gestaltung und dem Betrieb von Industrie 4.0-Anlagen.

Natürlich können die jeweiligen Teilaspekte auch für die jeweils anderen Handlungsfelder von Bedeutung sein. In diesen Fällen wurde ein Querverweis in dem jeweiligen Kapitel vermerkt.

3

HANDLUNGS-
EMPFEHLUNGEN DER
NORMUNGSROADMAP
INDUSTRIE 4.0 (VERSION 5)

5.1.1 Eigenschaften und deren Systemintegration in industriellen Anwendungen

[HE 5.1.1-1 V5] Soziotechnische Systemgestaltung

An geeigneter Stelle in den auf Industrie 4.0-Wertschöpfungssysteme bezogenen Normen sollte klargestellt werden, dass eine menschengerechte Gestaltung von Industrie 4.0-Arbeitssystemen eine frühzeitige Berücksichtigung soziotechnischer Aspekte, eine daraus abgeleitete Anforderungsermittlung (Requirement Engineering) für das Gesamtwertschöpfungssystem und seine einzelnen Komponenten und eine möglichst frühzeitige Einbeziehung der Arbeitenden im Industrie 4.0-Wertschöpfungssystem in einer Key-User-Rolle (im Idealfall als Gestaltungspartner*innen) erfordert. Dabei kann und soll das Erfahrungswissen der Arbeitenden aus vergleichbaren, bereits in Einsatz befindlichen Industrie 4.0-Wertschöpfungssystemen und -netzwerken durch ein geeignetes Wissens- und Erfahrungsmanagement erfasst, dokumentiert und zur menschengerechteren Gestaltung des jeweils gerade in der Entwicklung und Einführung befindlichen Industrie 4.0-Systems herangezogen werden.

[HE 5.1.1-2 V5] Auswahl und Darstellung komplexer Informationen für Beschäftigte

Die Auswahl und Darstellung komplexer Informationen sollten für Beschäftigte verständlich und verarbeitbar erfolgen. Verschiedene Auswahl- und Visualisierungsmöglichkeiten (z. B. Art und Menge von Informationen) können unterstützend wirken. Grundsätze der ergonomischen Gestaltung sollten berücksichtigt werden. Wenn Daten durch Algorithmen der Künstlichen Intelligenz verarbeitet und dargestellt werden, ist dies transparent zu machen. Dies betrifft u. a. die Normen [DIN EN ISO 9241-112](#), [DIN EN 894-1](#) sowie die Normung im Themenfeld Künstliche Intelligenz.

[HE 2.7-22 V4] [HE 2.7-24 V4] ⇒ [5.1.1-2 V5]

[HE 5.1.1-3 V5] Mindeststandards für die Berücksichtigung soziotechnischer Aspekte

Die Formulierung von Mindeststandards für die Berücksichtigung soziotechnischer Aspekte ist in verschiedenen generischen Normen zur Ergonomie und Arbeitsgestaltung zu prüfen. Die relevanten Aussagen zur Arbeitssystemgestaltung sind derzeit wie beschrieben auf zahlreiche Normen verteilt, sodass es dem betrieblichen Planer erschwert wird, diese aufzufinden und bei der Planung von Lösungen der Industrie 4.0 adäquat zu berücksichtigen. Hierzu sollte zudem die Übersichtlichkeit der Zusammenhänge in der Ergonomienormung verbessert werden.

Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dem betrieblichen Planer ein Dokument zur Verfügung zu stellen, in dem alle prozessrelevanten Aussagen zur Industrie 4.0 zusammengefasst werden. Dies sollte zunächst in einem Leitfaden zur Arbeitssystemgestaltung für Lösungen der Industrie 4.0 realisiert werden.

[HE 2.7-1 V4] [HE 2.7-2 V4] ⇒ [HE 5.1.1-3 V5]

[HE 5.1.1-4 V5] Überprüfung der Normen in Bezug auf den Gesamtprozess der Systemgestaltung

Zu prüfen ist, ob und in welcher Weise bestehende Normen mit normativen Aussagen zum Prozess der Arbeitssystemgestaltung in dieser Hinsicht als Referenz herangezogen werden können und welcher Ergänzungs- und Änderungsbedarf sich für diese bereits bestehenden Normen (insbesondere DIN EN ISO 6385; DIN EN ISO 10075 Teil 2; DIN EN ISO 13407; DIN EN ISO 27500) ergibt.

[HE 5.1.1-5 V5] Adaptive, dynamische Allokation von Aufgaben zwischen Mensch und Maschine

Da eine starre Aufgabenallokation (Funktionsteilung) zwischen Mensch und Maschine in vielen Fällen keine angemessenen Möglichkeiten zur Wahrnehmung, Situationsbewertung, Einflussnahme, zum Resultatfeedback sowie keine daraus resultierenden Chancen zum Lernen und zur Kompetenzentwicklung bietet, sollte die Funktionsteilung im Idealfall dynamisch-adaptiv gestaltet sein. Auf jeden Fall sollte sie transparent sowie für die Beschäftigten nachvollziehbar und beeinflussbar gestaltet sein. Dabei ist ggf. zu berücksichtigen, dass u. U. verschiedene Beschäftigte in einem Arbeitssystem (parallel und synchron oder auch asynchron) tätig sind. Es ist eine Vorgehensweise zur prozessbegleitenden Evaluation der adaptiven Aufgabenallokation mit besonderem Augenmerk auf Safety, Security und psychosoziale Auswirkungen von Beschäftigten zu erarbeiten und in die Normung zu integrieren. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass Maschinen für eine dynamische Anpassung an den Menschen evtl. Körpermaße etc. erfassen und auswerten. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf ergibt sich hieraus z. B. bei den Normen DIN EN 614-2, ISO/TS 15066, DIN EN ISO 10218, DIN EN 894-1,3, DIN EN ISO 29241-2, DIN EN ISO 10075-2, DIN EN ISO 11064-1,5,7, DIN EN ISO 13861, C-Normen für Maschinen, ISO/TS 15066, Normen zu Künstlicher Intelligenz (ISO/IEC JTC1 SC42), DIN EN ISO 9241-110, -112, DIN EN ISO 11064-5, DIN EN ISO 11064.

[HE 2.7-4 V4], [HE 2.7-11 V4], [HE 2.7-12 V4], [HE 2.7-14 V4], [HE 2.7-15 V4], [HE 2.7-16 V4], [HE 2.7-20 V4], [HE 2.7-23 V4] ⇒ [HE 5.1.1-5 V5]

[HE 5.1.1-6 V5] Gestaltung des Anlernprozesses von Assistenzsystemen

Der Prozess des Anlernens bzw. Teachens von kollaborativen Robotern durch Beschäftigte als Sonderfall der dynamischen Aufgabenallokation sollte ergonomisch gestaltet (z. B. erwartungskonform, fehlertolerant und selbstbeschreibungsfähig) sein. Überarbeitungsbedarf entsteht z. B. für ISO/TS 15066, DIN EN ISO 10218-2.

[HE 2.7-25 V4] ⇒ [HE 5.1.1-6 V5]

[HE 5.1.1-7 V5] Gestaltung von Auswahl von Assistenzsystemen

Bei der Gestaltung der Auswahl von Assistenzsystemen ist darauf zu achten, dass diese eine Passung zu den Merkmalen der Beschäftigten sowie zu den Merkmalen der Aufgabe aufweisen. Andernfalls sind unerwünschte, negative Leistungen auf die kognitive und physische Beanspruchung sowie die Qualität der Aufgabenbearbeitung möglich. Zudem sollte berücksichtigt werden, dass ausreichend Handlungsspielraum bei den Beschäftigten verbleibt und die Verwendung von Assistenzsystemen nicht mit einem Verlust von Fertigkeiten einhergeht. Insbesondere für Menschen mit Behinderungen eröffnen Assistenzsysteme neuartige Chancen der beruflichen Teilhabe. Anzeigen von Assistenzsystemen sollten an der Aufgabengestaltung orientiert sein. Anpassungsbedarf resultiert z. B. für DIN EN 894-2, DIN EN ISO 11064-1 sowie Normen zur Gestaltung von Assistenzsystemen.

Werden mit (mobilen) Assistenzsystemen Überwachungs- und Kontrolltätigkeiten durchgeführt, die dynamisch und nicht pausierbar sind, ist die Auswirkung dieser Dynamik auf Steuerungsmöglichkeiten zu berücksichtigen. Änderungsbedarfe entstehen für Normen der Reihen DIN EN 894, DIN EN ISO 9241 und DIN EN ISO 11064.

[HE 2.7-18 V4], [2.7-19 V4] ⇒ [HE 5.1.1-7 V5]

[HE 5.1.1-8 V5] Eigenschaften und Merkmale

Ein wichtiger Schritt des Plug-and-Produce-Konzepts ist die Abstimmung von Anforderungen und die Sicherstellung der Geräteeigenschaften. In diesem Hinblick sollen erweiterte instanzbezogene Attribute durch Standards abgedeckt werden.

[HE 2.3-7 V4] ⇒ [HE 5.1.1-8 V5]

[HE 5.1.1-9 V5] Standardisierte Eingabe von Instandhaltungsinformationen

Standardisierung der Schnittstellen von Industrie 4.0-Komponenten (Anlagen und Produkten) für die Eingabe von aktuellen Instandhaltungsinformationen, z. B. auf Basis iIRDS (Instandsetzungen, Wartungen, Umbauten) in die Systeme des Condition Monitoring und Predictive Maintenance. Im industriellen Umfeld können Assets auch solche immateriellen Dinge wie Konzepte, Patente, Verfahren oder Prozesse umfassen. Eigenschaften von konzeptionellen Assets, wie z. B. Planungsunterlagen sollten als standardisierte Wörterbucheinträge aufgenommen werden.

[HE 2.3-19 V4] ⇒ [HE 5.1.1-9 V5]

[HE 5.1.1-10 V5] Eigenschaften von konzeptionellen Assets in standardisierten Dictionaries

Eigenschaften von konzeptionellen Assets, wie z. B. Planungsunterlagen, sollten in standardisierte Dictionaries wie dem Common Data Dictionary von IEC/SC 3D aufgenommen werden, z. B. die Festlegungen in der VDI 2770. Zusätzlich sollen Planungsunterlagen zwischen Menschen und Maschine-/Industrie 4.0-Komponente kommunizierbar sein.

[HE 2.3-5 V4] ⇒ [HE 5.1.1-10 V5]

[HE 5.1.1-11 V5] Nachhaltige und durchgehende Harmonisierung der Merkmale zwischen ECLASS und CDD

Bei der grundlegenden Bedeutung einer standardisierten Semantik für Industrie 4.0-Komponenten ist ein Nebeneinander unterschiedlicher Standards für dieselbe Semantik nicht tragbar, da die übergreifende Interaktion zwischen Industrie 4.0-Komponenten so verhindert wird. Parallelentwicklungen wie an gewissen Stellen heute in IEC, ISO und ECLASS sind zu koordinieren: Die Aktivitäten zur Harmonisierung der Merkmale müssen bei den beteiligten Gremien von ECLASS und IEC beschleunigt werden. Insbesondere sollen die existierenden Merkmale auf die gleiche semantische und syntaktische Ebene gebracht und angepasst werden. Standardisierte Mechanismen und Verfahren zur Spezifikation neuer Merkmale müssen zwischen den ECLASS und CDD synchronisiert werden, um weitere Differenzen in den Merkmalen zu vermeiden. Im Idealfall haben die Herausgeber von Merkmalen (und weiteren Strukturelementen z. B. Klassen, Werte und Einheiten) nach den Harmonisierungsschritten ihre Standards so weit verzahnt, dass semantisch gleiche Elemente denselben Namen und denselben Code haben, also dasselbe meinen. Gemeinsame Inhalte sollten in allen Datenbanken identisch geführt und erarbeitet werden oder in einer gemeinsamen Datenbank verwaltet werden, um ein Auseinanderlaufen der Inhalte strukturell zu verhindern. Als wesentliche Herausgeber sind zu nennen IEC, ECLASS und zukünftig wohl auch ISO. Die Ergebnisse sollen öffentlich zugänglich gemacht werden.

[HE 2.5-2 V4] ⇒ [HE 5.1.1-11 V5]

[HE 5.1.1-12 V5] Standardisierte Dictionaries

Vorhandene Feldbusprofile, Companion Specification und andere Spezifikationen, die Geräte- und Komponenteneigenschaften definieren, sollten in standardisierte Dictionaries, wie z. B. ECLASS und IEC CDD überführt werden. Außerdem sollen sie in einer geeigneten semantischen Weise (z. B. grafisch/algebraisch) darstellbar sein.

[HE 2.3-4 V4] ⇒ [HE 5.1.1-12 V5]

5.1.2 Referenzarchitekturmodelle

[HE 5.1.2-1 V5] Industrielle Cloud-Plattformen

Ein offenes, verteiltes, echtzeitfähiges und sicheres Betriebssystem, Standardisierungsaktivitäten für eine flexible und erweiterbare Architektur für zukünftige Anforderungen von kognitiven Diensten, Echtzeitanwendungen und Datenmärkten sollen bei relevanten Gremien aufgenommen werden. Als Kernelemente empfiehlt es sich, hybride Cloud-Plattformen, IIoT-Anwendungen sowie cyber-physische Architekturen zu untersuchen. Ein einheitliches Lifecycle-Management aller IT-Ressourcen, Produktionsmittel und der technischen Gebäudeausstattung gehören ebenso dazu wie die Schaffung einer durchgängigen Infrastruktur für echtzeitfähige domänenübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke für die KI-gestützte, autonome Produktion der Zukunft.

[HE 2.3-23 V4] ⇒ [HE 5.1.2-1 V5]

5.1.3 Semantik und Eigenschaften

[HE 5.1.3-1 V5] Mensch-Maschine-Schnittstelle

Um eine aufgaben- und tätigkeitsbezogene Prozessmodellierung der hier postulierten dynamischen Mensch-Maschine-Funktionsteilung (und aller anderen Wertschöpfungsprozesse mit einer aktiven Rolle des Menschen im Prozess) im digitalen Zwilling als Planungsmittel für Industrie 4.0- Wertschöpfungsnetzwerke und die zugehörigen Industrie 4.0-Arbeitssysteme zu ermöglichen, sollte ein Projekt zur Ergänzung des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 um einen Typ von Tätigkeits- Prozessmodulen nach arbeits- und organisationspsychologischen Standards angestoßen werden.

[HE 5.1.3-2 V5] Mensch-Maschine-Schnittstelle

Es sollte geprüft werden, auf welchem Weg (Ergänzung und Anpassung/Aktualisierung bestehender Normen wie ISO 6385, ISO 10075 Teil 2, ISO 13407, ISO 16982, ISO 18529, ISO 27500 oder Integration in andere/neue, Industrie 4.0-bezogene oder auch KI-bezogene Normen) das in [HE 5.1.3-1 V5] beschriebene Herangehen zur Norm erhoben werden kann.

[HE 5.1.3-3 V5] Sicherstellung effektiver normativer Infrastrukturen

Es wird empfohlen, in gemeinsamen Anstrengungen von ISO, IEC und CEN-CENELEC sowie den nationalen Komitees den digitalen Transformationsprozess von dokumentenzentrierten Standards hin zu digitalen Mehrwertdiensten für Inhalte der Standards zu unternehmen, um so die Vorbereitungen in den Infrastrukturen frühzeitig zu treffen und die Zukunft der konsensbasierten Standardisierung sicherzustellen. Eine starke Beteiligung in den internationalen Gremien ist deshalb von Bedeutung.

[HE 5.1.3-4 V5] Semantik im Kontext des digitalen Zwillings

ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6 soll die Verbindung zwischen Semantik und dem digitalen Zwilling domänenübergreifend normativ erklären.

[HE 5.1.3-5 V5] I4.0-Sprache

Die bestehende VDI/VDE 2193 (Blatt 1 und Blatt 2, Sprache von Industrie 4.0-Komponenten) steht als Richtlinie zur Verfügung und bildet eine wesentliche Grundlage für die Interoperabilität zwischen Industrie 4.0-Komponenten. Es ist zu empfehlen, dass die I4.0-Sprache in die internationale Standardisierung überführt wird.

[HE 2.4-5 V4] ⇒ [HE 5.1.3-5 V5]

[HE 5.1.3-6 V5] Werkzeuge der Semantik

Es wird empfohlen, Werkzeuge der Semantik, d. h. Hilfsmittel und Artefakte, die zur Analyse, Definition, Beschreibung oder zum cyber-physischen Engineering für die Herstellung eines Produkts verwendet werden können, zu entwickeln. Diese sollten entsprechend ihrer Verwendung (z. B. Bereitstellung in Kombination) und Eigenschaften standardisiert werden.

[HE 5.1.3-7 V5] Qualitätskriterien für Ontologien

Die Anforderungen an die bestehenden Ontologien sollen grundlegend überprüft werden. Zu diesem Zweck sollen Qualitätskriterien für Ontologien erarbeitet werden, um eine eindeutige Identifizierung der Ontologiekonzepte (z. B. Vermeidung von Homonymen und synonymen Konzepten) zu ermöglichen.

5.1.4 Werkzeuge zur Umsetzung des Digitalen Zwillings

[HE 5.1.4-1 V5] Verwaltungsschalenkonzept durchgehend verwenden und international standardisieren

Zur Unterstützung der oben dargelegten Prozesse wie Maintenance-Funktionen und Ablage von Wissen in einer Lebenslaufakte müssen die Assets über genormte Schnittstellen mit genormter Semantik Daten mit Produktionssystemen und Anlagenbetreibern austauschen können. Dies wird über das Verwaltungsschalen-Konzept erreicht, wenn die Verwaltungsschalen bzw. deren generische Teilmodelle sowie deren Kommunikation zwischen Industrie 4.0-Komponenten in Normen festgelegt sind. Es wird empfohlen, die Aktivitäten der IEC/TC 65/WG 24 in Bezug auf die IEC 63278-Reihe zu unterstützen und voranzutreiben.

[HE 2.3-1 V4] [HE 2.3.2 V4] ⇒ [HE 5.1.4-1 V5]

[HE 5.1.4-2 V5] Synchronisierung der Konzepte der Verwaltungsschale und des digitalen Zwillings

Es wird empfohlen, die Konzepte, die gegenwärtig sowohl für den digitalen Zwilling und das industrielle IoT in der ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6 als auch für die Verwaltungsschale in der IEC/TC 65/WG 24 entwickelt werden, zu synchronisieren.

[HE 5.1.4-3 V5] ISO/IEC-21823-Reihe im Industrie 4.0-Kontext

DIN NA 043-01-41 IoT und andere relevante Gremien und Komitees sollen die aktuellen Normen der ISO/IEC-21823-Reihe auf den direkten Bezug zur Industrie sorgfältig überprüfen und im Spiegelgremium rückmelden.

[HE 2.4-3 V4] ⇒ [HE 5.1.4-3 V5]

[HE 5.1.4-4 V5] Internationale Zusammenarbeit im Kontext der Verwaltungsschale und des digitalen Zwillings

Die ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6, IEC TC 65 und ISO/IEC JTC 1/SC 41/AG 20 sollen ihre gemeinsame Zusammenarbeit und ihren Austausch zum „industriellen Sektor“ im Hinblick auf das Industrial IoT, die Verwaltungsschale und den digitalen Zwilling mit allen damit verbundenen Liaisons weiter fortsetzen.

[AE 5.1.4-5 V5] OPC UA Companion Specifications zur Umsetzung des Digitalen Zwillings

Zur Umsetzung des Digitalen Zwillings für die Produktionsumgebung sollen die in OPC UA Companion Specifications semantisch standardisierten Informationen genutzt werden. Digitale Zwillinge der Produktion sind in der Folge sowohl branchenspezifisch als auch branchenübergreifend durch eine interoperable Semantik effizient nutzbar und erzielen eine hohe Wertigkeit.

[HE 5.1.4-6 V5] OPC UA im Kontext der Verwaltungsschale

Die Verwaltungsschalenkonzepte sollen weiterhin im Kontext von OPC UA ausgebaut werden. Hierfür sollen weitere Bedarfe standardisierter Semantik für Informationen aus der Produktion an die zuständige OPC UA-Arbeitskreise zur Entwicklung gemeldet werden. Im Sinne der Single Source of Truth müssen Informationen aus der Produktion, wie z. B. die Produkte des Maschinen- und Anlagenbaus, an deren Entstehungsort unter Nutzung von OPC UA Companion Specifications standardisiert und im Kontext der aktuellen Normen der IEC/TC 65/WG 24 harmonisiert werden (z. B. die Differenzierung und die Komplementarität der beiden Technologien sollen beschrieben werden).

[HE 5.1.4-7 V5] Bestehende Standards (ISO 13585-1 bzw. IEC 61360) für Semantik ergänzen

Die in der Informationswelt erforderlichen Datenformate sind der ISO 13585-1 bzw. der IEC 61360 entnommen. Auch die Merkmale von ECLASS sind auf dieser Basis kodiert. Verwaltungsschalen bzw. Submodelle erfordern jedoch für den operationalen Betrieb gegenüber den reinen beschreibenden Eigenschaften eines Assets weitere Merkmalstypen. Solche sind Zustände und Parameter der Assets sowie deren Mess- und Aktorwerte (dynamische Daten). Auch Kommandos und ganze Funktionen (oft auch fachliche Funktionen genannt) müssen mit denselben Konzepten beschrieben werden. Der Merkmalsbegriff in heutigen Standards ist um solche Semantik in den Datenmodellen zu erweitern, um dynamische Werte einwandfrei darstellen zu können. Beispielsweise kann dies mit entsprechenden neuen Attributen im Datenmodell der ISO 13584/IEC 61360 erfolgen. Modelle für Funktionen/Befehle sind zu entwickeln bzw. vorhandene in Normen festzuschreiben.

[HE 2.5-1 V4] ⇒ [HE 5.1.4-7 V5]

[HE 5.1.4-8 V5] Holistische Entwicklung von AAS-Teilmodellen

Es wird empfohlen, die Entwicklung und Internationalisierung der Teilmodelle der Verwaltungsschale in IDTA, ISO und IEC voranzutreiben. Die Anwendung der Teilmodelle sollte so weit wie möglich dem holistischen Ansatz folgen, um ihre Anwendbarkeit auch in anderen Bereichen zu ermöglichen.

[HE 5.1.4-9 V5] Digitale Lebenslaufakte als Teilmodell der Verwaltungsschale

Das Informationsmodell zur digitalen Lebenslaufakte soll als Teilmodell der Verwaltungsschale für technische Anlagen abgebildet werden. Es wird weiterhin empfohlen, eine Internationalisierung der Normreihe DIN 77005 anzustreben.

[HE 2.3.13 V4] ⇒ [HE 5.1.4-9 V5]

[HE 5.1.4-10 V5] Standardisierung der AAS-Teilmodelle

Für eine Simulation werden operative Modelle und passende Werkzeuge gebraucht. Werkzeuge und Modelle brauchen eine gemeinsame Semantik zur maschinellen Ausführung und zur verständlichen Darstellung der Eigenschaften des betrachteten Systems in seiner Umgebung.

[HE 2.3.22 V4] ⇒ [HE 5.1.4-10 V5]

[HE 5.1.4-11 V5] Standardisierung der AAS-Teilmodelle

Es müssen Voraussetzungen geschaffen werden, damit funktionale Anforderungen (z. B. Rolle und erwartete Funktion) sowie deren Erfüllung (z. B. unterstützte Rolle, bereitgestellte Funktion) in standardisierte Dictionaries aufgenommen werden können, sodass die Ausführung von Produktionsprozessen durch Produktionssysteme geplant werden kann.

[HE 2.3-9 V4] ⇒ [HE 5.1.4-11 V5]

[HE 5.1.4-12 V5] Digitales Typenschild

Im September 2022 wurde die IEC 61406 (auf Basis der DIN SPEC 91406) für das Digitale Typenschild veröffentlicht. Zusätzlich sollen Anpassungen in allen Anwendungsnormen zur maschinenlesbaren Kennzeichnung in Anlehnung an VDE V 0170-100:2021-02 „Digitales Typenschild“ eingebracht werden.

[HE 2.3-11 V4] [HE 2.3.12 V4] ⇒ [HE 5.1.4-12 V5]

[HE 5.1.4-13 V5] Standardisierung der AAS-Teilmodelle und Merkmale

Es sind vorbereitende Tätigkeiten für die Standardisierung von Teilmodellen der Verwaltungsschale zu initiieren. Die Einbindung sollte in Abstimmung mit IEC/TC 65/WG 24 erfolgen. Ein Teilmodell muss in Grundzügen standardisiert sein, das bedeutet, dass es sowohl Basis-/Pflichtmerkmale als auch Basis-/Pflichtfunktionen geben muss, die über individuelle Merkmale und Funktionen durch Industrie 4.0-Partnerschaften erweitert werden können. Dies bedeutet, dass z. B. bei Energiebetrachtungen für verschiedene Assets gleiche verpflichtende Merkmale und Funktionen vorliegen müssen, sodass man z. B. für alle Komponenten einer Anlage oder Anlagen eines Werkes diese einfach konsolidieren oder gleich ansteuern kann. Spezifische Ergänzungen bleiben möglich.

[HE 2.3-8 V4] ⇒ [HE 5.1.4-13 V5]

5.1.5 Industrielle Kommunikation

[HE 5.1.5-1 V5] Heterogene industrielle Netzwerke

Normen für globale mobile Netztechnologien sollten so gestaltet oder ergänzt werden, dass ein nahtloser Übergang zwischen lokalen Industrienetzen und industriellen Mobilfunknetzen möglich ist. Ausgangspunkte für die Standardisierung solcher heterogenen, industriellen Netzwerke können die Dokumente der 5G-ACIA zur Integration von Ethernet, TSN und OPC UA in 5G sein.

[HE 2.6-1-V4] ⇒ [HE 5.1.5-1 V5]

[HE 5.1.5-2 V5] Netzwerkmanagement

Dienste und Schnittstellen für das Management der verschiedenen industriellen Kommunikationsnetze sollten einheitlich und aus der Anwendungssicht heraus spezifiziert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zwischen Netzbereitstellung (Management Services) und Bereitstellung von Kommunikationsdiensten (Control Services) zu unterscheiden ist.

[HE 2.6-2-V4] ⇒ [HE 5.1.5-2 V5]

[HE 5.1.5-3 V5] Integration der Kommunikationsgeräte in Industrie 4.0

Kommunikationsgeräte mit adaptiven Funktionen zum Geräte- und Netzwerkmanagement sind als Industrie 4.0-Komponenten zu modellieren. Für ein Kommunikationsteilmodell einer Verwaltungsschale sind entsprechende Merkmale und Dienste zu spezifizieren.

[HE 2.6-3 V4] ➔ [HE 5.1.5-3 V5]

[HE 5.1.5-4 V5] Datenverkehrsmodelle

Für die Planung von Kommunikationsnetzen (leitungsgebunden und drahtlos) ist ein Modell zu entwickeln, mit dem industrielle Datenkommunikationsszenarien spezifiziert werden können.

[HE 2.6-4 V4] ➔ [HE 5.1.5-4 V5]

[HE 5.1.5-5 V5] Zuverlässigkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und -diensten

Normen für die Zuverlässigkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und Kommunikationsdiensten sind zu erarbeiten, die eine quantitative, transparente und vertragssichere Bewertung aus Sicht industrieller Anwendungen an der Schnittstelle zwischen Bereitstellenden und Nutzenden zulassen.

[HE 2.6-5 V4] ➔ [HE 5.1.5-5 V5]

[HE 5.1.5-6 V5] Bewertung von Echtzeitkommunikation

Kenngößen und Methoden zur Bewertung von industriellen Echtzeitkommunikationssystemen (leitungsgebunden und drahtlos) sind in einer Norm zusammenfassend und einheitlich festzulegen.

[HE 2.6-6 V4] ➔ [HE 5.1.5-6 V5]

[HE 5.1.5-7 V5] Validierung und Test

Kommunikationsnormen für Industrie 4.0 haben Testspezifikationen bereitzustellen, die zum Nachweis der Performanz, der Konformität und der Interoperabilität von Produkten herangezogen werden können.

[HE 2.6-7 V4] ➔ [HE 5.1.5-7 V5]

[HE 5.1.5-8 V5] Frequenzspektren

Die Arbeiten zur weltweiten Harmonisierung von Frequenzspektren für die Nutzung durch industrielle Automatisierungsanwendungen sollten weiter aktiv durch Expert*innen der Mess- und Automatisierungstechnik begleitet werden. Industrieverbände und die Plattform Industrie 4.0 sollten Argumente und Anforderungen für die Verwaltungen (z. B. BNetzA in Deutschland) zur Berücksichtigung bei der Frequenznutzungsplanung formulieren. Diese Ausführungen sollten international abgestimmt werden. Die für Deutschland geltende Regulierung für Frequenzuteilungen für lokale Frequenznutzungen im Frequenzbereich 3.700–3.800 MHz sollte im Sinne der internationalen Harmonisierung weltweit gelten. Es wird empfohlen, auch die Konzepte für den nicht öffentlichen industriellen Netzbetrieb und für den kooperativen Netzbetrieb mit einem öffentlichen Netzbetreiber zu harmonisieren.

[HE 2.6-8 V4] ➔ [HE 5.1.5-8 V5]

[HE 5.1.5-9 V5] Normen für nicht öffentliche lokale Mobilfunknetze für die Industrie

Normen für globale mobile Netztechnologien sollten so gestaltet oder ergänzt werden, dass auch eine Nutzung als nicht öffentliches lokales Industrienetz möglich ist. Ausgangspunkt sollte das 5G-ACIA Whitepaper „5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios“ sein.

[HE 2.6-9 V4] ⇒ [HE 5.1.5-9 V5]

[HE 5.1.5-10 V5] Nahtlose Zusammenführung von (heterogenen) industriellen Netzen mit 5G-Netzen

Mithilfe des Network-Slicing-Konzepts ist es möglich, dass nicht öffentliche industrielle 5G-Subnetze in öffentlichen 5G-Netzen virtualisiert werden können, um Anwendungen und Dienste mit Industrie 4.0-spezifischen Kommunikationsanforderungen bedienen zu können. Um die nahtlose Zusammenführung von (heterogenen) industriellen Netzen mit 5G-Netzen zu ermöglichen, müssen jedoch noch offene Schnittstellen zwischen beiden Infrastrukturtypen definiert werden. Der Möglichkeit zur Positionsbestimmung von Assets mit der 5G-Infrastruktur ist Aufmerksamkeit zu schenken.

[HE 2.6-10 V4] ⇒ [HE 5.1.5-10 V5]

[HE 5.1.5-11 V5] 3GPP-spezifizierte Mobilfunksysteme

Mit Bezug auf den schnell fortschreitenden Spezifikationsprozess für Mobilfunksysteme in der 3GPP entstehen in der 5G-ACIA Veröffentlichungen zu vielen Kommunikationsaspekten. Diese Veröffentlichungen können auch dazu beitragen, die industrielle Kommunikation unter dem Gesichtspunkt des Einsatzes für Industrie 4.0 neu zu bewerten. Themen wie die Integration von TSN und OPC UA in 5G, die Datenverkehrsmodellierung oder die Bewertung der Zuverlässigkeit von Kommunikationsnetzen und Kommunikationsdiensten können Informationsquelle für künftige Normungsprojekte sein. Es wird deshalb empfohlen, der Arbeit der 5G-ACIA Aufmerksamkeit zu schenken.

[HE 2.6-A1 V4] ⇒ [HE 5.1.5-11 V5]

[HE 5.1.5-12 V5] Security in der industriellen Kommunikation

Es wird empfohlen, ein abgestimmtes und akzeptiertes Security-Modell zu entwickeln und voranzutreiben. Eine Integration des Inhaltes soll in den Feldbusstandards erfolgen.

[HE 5.1.5-13 V5] Single Pair Ethernet (SPE)

Es wird empfohlen, die Integration von SPE (Single Pair Ethernet) in Feldbusstandards voranzutreiben. Relevante Standards sollen von IEEE in IEC 61158-2 aufgenommen werden.

[HE 5.1.5-14 V5] Advanced Physical Layer (APL)

Es wird empfohlen, die Integration von APL (Advanced Physical Layer) in relevante Feldbusstandards voranzutreiben. Die Technische Spezifikation (IEC TS 63444) ist ein erster Schritt und eine Integration des Inhaltes in IEC 61158-2 soll folgen.

[HE 5.1.5-15 V5] Einheitliche Normung für industrielles Lokationsmanagement

Für ein industrielles Lokationsmanagement ist eine einheitliche Normung zu folgenden Aspekten erforderlich:

- (1) Technologien zur Ermittlung der Lokationsdaten;
- (2) Formate für Lokationsdaten;
- (3) Vereinbarungen zur Datenhaltung (zentral/dezentral);
- (4) Protokolle zum Datentransport;
- (5) Applikationen und Visualisierungswerkzeuge.

[HE 2.6-11 V4] ⇒ [HE 5.1.5-15 V5]

5.1.6 Funktionale Sicherheit in Industrie 4.0

[HE 5.1.6-1 V5] Funktionale Sicherheit im Engineeringprozess

Die Umsetzung der Industrie 4.0 Konzepte, welche in der NRM Industrie 4.0 V4 beschrieben sind, führt zu einer weiteren Modularisierung von Anlagen und Komponenten mit großen Auswirkungen auch auf den Engineeringprozess. Es sollte betrachtet werden, wie Industrie 4.0 Konzepte auch Belange der Anlagensicherheit (Safety) und funktionalen Sicherheit mitberücksichtigen können. Dies kann durch eine Erweiterung des Konzepts der Verwaltungsschale zu einer „sicheren Verwaltungsschale“ erfolgen. Diesbezüglich verdient die Initiative „Module Type Package (MTP)“ besondere Bedeutung, da diese Initiative die Industrie 4.0-Aspekte nicht nur im Bereich der Automatisierungstechnik im Allgemeinen und der funktionalen Sicherheit im Besonderen betrachtet, sondern grundsätzliche Möglichkeiten beschreibt, wie Industrie 4.0-Prinzipien beim Bau von Anlagen für die amorphe Produktion erfolgreich eingesetzt werden können.

[HE 3.5-1 V4] ⇒ [HE 5.1.6-1 V5]

[HE 5.1.6-2 V5] Safety- und Security-Normungsaktivitäten

Die Arbeiten zu Safety und Security sollten weiter vertieft und konkretisiert werden. Dies sollte z. B. im Rahmen der Überarbeitung der IEC TR 63069 oder IEC TR 63074 geschehen. Weitere Arbeiten sollten insbesondere die neue Maschinenverordnung im Blick behalten und auf deren Anforderungen zur Informationssicherheit eingehen.

[HE 3.5-4 V4] ⇒ [HE 5.1.6-2 V5]

[HE 5.1.6-3 V5] Standardisierte Verfahren und Methoden für Ontime-Risikomanagement entlang des Lebenszyklus

Standardisierte Verfahren und Methoden, welche ein Ontime-Risikomanagement entlang des Lebenszyklus ermöglichen, ohne dabei die Vertraulichkeit der technischen Dokumentation zu kompromittieren, sollten erarbeitet werden. Entsprechend der zuletzt erarbeiteten deutschchinesischen Vereinbarungen, welche in der NRM Industrie 4.0 V4 beschrieben ist, sollte zunächst ein Leitfaden entwickelt werden (Sino-German Whitepaper on Functional Safety in I4.0), der die Stakeholder*innen hinsichtlich der möglichen Rückwirkungen (Risikoerhöhungen oder Kompromittierung von risikoreduzierenden Maßnahmen) verschiedener Industrie 4.0 Anwendungsszenarien auf die Anlagensicherheit (Safety) sensibilisiert. Des Weiteren sollte die Möglichkeit, Sicherheitsrelevante Begleitunterlagen digital austauschbar zu gestalten, beispielsweise über ein digitales Typenschild, angestrebt werden.

[HE 3.5-2 V4] ⇒ [HE 5.1.6-3 V5]

[HE 5.1.6-4 V5] Gestaltungsanforderungen an Mensch-Maschine-Schnittstellen mit potenziell gefährlichen oder sicherheitsrelevanten Systemen

Gestaltungsanforderungen an Schnittstellen für Interaktionen mit potenziell gefährlichen oder sicherheitsrelevanten Systemen gehen über gebrauchstaugliches Gestalten hinaus. Aspekte der funktionalen Sicherheit und des Zusammenspiels von menschlicher und technischer Zuverlässigkeit müssen Beachtung finden. Relevante zu prüfende Normen sind: DIN EN ISO 13849-1, 2, DIN EN ISO 26800, DIN EN 894, DIN EN ISO 9241-11, -210.

[HE 2.7-21 V4] ➔ [HE 5.1.6-4 V5]

5.1.7 Künstliche Intelligenz in industrieller Automation

[HE 5.1.7-1 V5] Standardisierte Terminologie und Definitionen im Kontext von KI und Industrie 4.0

Begriffsdefinitionen in existierenden (internationalen) Normen mit Fokus „Künstliche Intelligenz“ sollen auf die Anwendbarkeit in Industrie 4.0 kontinuierlich auf Konsistenz überprüft und – sofern notwendig – harmonisiert und/oder für die industrielle Automation präzisiert werden. Identifizierte Widersprüche und Anwendungshürden sollen in entsprechenden Normungsgremien eingebracht werden. Der Geltungsbereich von Dokumenten (Spezifikationen, Normen, Standards sowie regulatorischen Akten) sollten einen klar definierten Geltungsbereich aufweisen. Existierende Regulierung muss diesbezüglich geschärft werden. Auch in der Entwicklung von KI-basierten Systemen stellt das sich hieraus ergebende, gemeinsame und konsistente Grundverständnis der Begriffe sowie der Zusammenhänge verwendeter Konzepte unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von KI-Methoden eine wichtige Grundlage für die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Entwicklung industrieller KI-Systeme dar.

[HE 4.1-1 V4] ➔ [HE 5.1.7-1 V5]

[HE 5.1.7-2 V5] Durchgängige Anwendung existierender Terminologien und Definitionen im Kontext von KI und Industrie 4.0 (insbes. in regulativen Aktivitäten)

Da eine Regulierung, deren zu regulierender Kernaspekt und (Teil-)Systeme, für die eine Regulierung gelten soll, nicht eindeutig und im normativen Kontext teils widersprüchlich sind, kann weder zielgerichtet reguliert noch auf Basis von Standardisierungsmandaten (Standardization Requests) adäquat adressiert werden. Daher wird empfohlen, durchgängig (auch im regulativen Kontext), existierende Definitionen von KI (und ggf. etwaiger Methoden [HE 5.1.7-6 V5]) oder Qualitätsanforderungen (siehe [HE 5.1.7-7 V5]) zu verwenden oder, bei Bedarf, geeignete Anpassungen existierender normativer Definitionen anzustreben; nicht jedoch eigene (teils orthogonal zu existierenden Definitionen) formulierte Bezüge herzustellen. Ebenso sollte ggf. eine klare Abgrenzung zu existierenden Normen, z. B. für High-Risk KI-Systeme und Safety, erfolgen.

Siehe auch [HE 3.5.3 V4]

[HE 5.1.7-3 V5] Stärkung der Ausbildung hinsichtlich Normung und Standardisierung von (Software-)Innovation für Ingenieurberufe

Künstliche Intelligenz umfasst größtenteils softwarezentrierte Innovationen und Lösungen. Das Verständnis von Innovationskonzepten in softwareintensiven Systemen und die Rolle von Normung und Standardisierung im Allgemeinen sowie für solche Systeme im Speziellen sind von essenzieller industrieller Bedeutung. Eine Stärkung der beruflichen und akademischen Ausbildung hinsichtlich Innovation, Standardisierung und Normung ist notwendig. Hierzu wurden erste Initiativen seitens DIN und DKE auf nationaler Ebene bereits initiiert. Diese sollten weiter gestärkt und auch entsprechende Initiativen (forschungs- und förder-)politisch forciert und unterstützt werden.

[HE 5.1.7-4 V5] Stärkung der Kopplung von (Forschungs-)Innovation und Normung

Stärkung und Förderung der Beteiligung nationaler Normungsinstitutionen an Forschungsprojekten, um einen Abgleich zwischen normativem und wissenschaftlichem Stand der Technik zu erleichtern und die nationale bzw. internationale Einbringung neuer (wissenschaftlicher) Erkenntnisse beratend und konsolidierend zu begleiten. In größeren wissenschaftlichen Initiativen (bestehend aus mehreren Forschungsprojekten) sollte (neben einer häufig eingesetzten wissenschaftlichen Austauschplattform und Synchronisierung) auch ein (Synchronisierungs- und Orchestrierungs-)Projekt mit normativem Fokus Berücksichtigung finden. Auf europäischer Ebene würde dies ferner den multilateralen Austausch zwischen nationalen Normungsinstitutionen und Wissenschaft, und so auch einen Hebeleffekt durch die föderalistische Grundstruktur Europas in der internationalen Normung erreichen.

[AE 2.2-A1 V4] → [HE 5.1.7-4 V5]

[HE 5.1.7-5 V5] Weiterführung und kontinuierliche Aktualisierung einer Normungslandkarte und Ableitung von Handlungsstrategien

Auf Grundlage der Handlungsempfehlungen aus der vorangegangenen Version 4 der NRM Industrie 4.0 wurde eine erste Landkarte von Normungsaktivitäten für KI im Kontext von Industrie 4.0 erarbeitet. Zur Wahrnehmung der in dieser Normungsroadmap für KI beschriebenen Handlungsempfehlungen werden die Weiterführung und die kontinuierliche Aktualisierung einer Normungslandkarte für KI im Allgemeinen sowie für KI in industriellen Anwendungen im Speziellen empfohlen. Insbesondere soll hierbei der Austausch mit anderen internationalen Normungsaktivitäten von ISO, IEC sowie auf europäischer Ebene (z. B. dem Projekt StandICT.eu oder der Fokusgruppe Künstliche Intelligenz) aktiv forciert werden ebenso wie mit konsortialen Initiativen und Plattformen.

[HE 4.1-6 V4] → [HE 5.1.7-5 V5]

[HE 5.1.7-6 V5] Klassifikation und Kriterien zur Einordnung und Bewertung von KI-Systemen

Ein einheitlicher Verortungs- und Bewertungsrahmen für KI-Methoden sollte durch horizontale Normungsgremien erarbeitet werden. Geeignete Klassifikationen der Autonomie technischer Systeme, notwendige Metriken für Bewertungsmethoden für den Anwendungsbereich Industrie 4.0 sowie weitere Anforderungen, Konzepte und Methodiken sollten durch vertikale Normungsgremien adressiert und geeignet in Normungsgremien eingebracht werden. Dabei sollten Eigenschaften der KI-Methoden hinsichtlich Qualitätsmerkmale (siehe **[HE 5.1.7-7 V5]**) Berücksichtigung finden. Eine präzise Definition von KI-Methoden, derer Qualitätskriterien bzw. Qualitätsparameter sowie eine klare Abgrenzung zu anderen (normativen) Definitionen sollten sichergestellt werden. Seitens des Anwendungsbereichs Industrie 4.0 sollen etwaige Inkonsistenzen mit vertikalen und relevanten horizontalen Normen geprüft und innerhalb der Normung geeignet adressiert werden.

[HE 4.1-3 V4] → [HE 5.1.7-6 V5]

[HE 5.1.7-7 V5] Qualitätsbeschreibung, Prüfmethoden und Konformitätsbewertung KI-basierter Systeme in Industrie 4.0

KI wird als Werkzeug betrachtet, welches die Qualität, wie z. B. Verlässlichkeit, Vertrauenswürdigkeit, Sicherheit, etc. von (Teil-)Systemen verändern kann. Demzufolge ist eine Definition von allgemeingültigen Kriterien und Workflows zur Abnahme und zum Vergleich der Leistungsfähigkeit von KI-basierten Systemen notwendig. Eine Beschreibung wesentlicher Arbeitsschritte im (Engineering-)Workflow und der Anwendung von Bewertungskriterien, insbesondere bei hochkritischen Systemen, gemäß dem Entwurf zum AI Act der EU muss normativ unter Berücksichtigung entsprechender bereits existierender Normen definiert werden (siehe auch [HE 5.1.7-8 V5]) und sollte insbesondere die Definition einzelner Prozessschritte für Entwicklung, Test, Abnahme, Betrieb und Wartung umfassen und dabei die Beschreibung der Struktur des Systems und der Subsysteme sowie der KI-basierten Teile sowie deren Einfluss auf Qualitätskriterien berücksichtigen. Hierzu sind eine einheitliche Definition und Beschreibung der Bedeutung für kennzeichnende (Qualitäts-)Merkmale wie Akzeptanz, Verlässlichkeit, Zuverlässigkeit, Planbarkeit, Kontrollierbarkeit, Erklärbarkeit, Cybersicherheit (Security), funktionale Sicherheit (Safety) und Unsicherheit notwendig (siehe auch [HE 5.1.7-1 V5], [HE 5.1.7-2 V5] und [HE 5.1.7-6 V5]).

[HE 5.1.7-8 V5] Stärkung vertikaler Normungsbezug von Künstlicher Intelligenz

Stärkere Verzahnung existierender Normungsaktivitäten (z. B. Elektrotechnik, Automatisierung, insbes. IEC und ISO) und existierender KI-Normungsaktivitäten (im Wesentlichen ISO/IEC JTC 1/SC 42). Hierzu wird eine Verlagerung der Normungsaktivitäten in die entsprechenden (fachspezifischen, ggf. vertikalen) Gremien in ISO und IEC empfohlen. Eine enge Beteiligung des ISO/IEC JTC 1/SC 42 an KI-bezogenen Normungsaktivitäten in ISO und IEC wird empfohlen.

[HE 4.1-7 V4] ⇒ [HE 5.1.7-8 V5]

5.2.1 Datenräume

[HE 5.2.1-1 V5] Sicherstellung der Industrie 4.0 – Tauglichkeit der regulierungsbezogenen Standardisierung zur Cybersecurity in der EU

Schwerpunkt der Security-Standardisierung zur Unterstützung der europäischen Regulierung bei CEN/CENELEC nach dem New Legislative Framework (NLF) sind derzeit die Arbeiten zur Cybersecurity für Radio Equipment (RED). Es ist zu erwarten, dass der anstehende „Cyber Resilience Act“ umfangreiche securitybezogene Arbeiten bei CEN/CENELEC zur Folge hat, die als horizontale Sicherheitsstandards für Industrie 4.0-Security von hoher Bedeutung sein werden und dies global, über den europäischen Raum hinaus. Dabei erzwingen evtl. regional unterschiedliche Vorgaben zum Thema Kryptografie (und auch Datenschutz) die Möglichkeit profilierbarer und agiler Implementierungen der Security-Standards, insbesondere für die Kommunikation auf globaler Ebene.

[HE 3.2-1 V4] ⇒ [HE 5.2.1-1 V5]

[HE 5.2.1-2 V5] Global interoperables Identitätsmanagement und Security-Funktionen zum Schutz und zur Kontrolle von Datenräumen

Nur internationale Standards für Datenräume können eine globale Zusammenarbeit gewährleisten und absichern. Europäische Lösungsbausteine wie z. B. eIDAS müssen global ergänzt oder zugänglich und akzeptiert sein.

5.2.2 Industrial Security

[HE 5.2.2-1 V5] Standardisierter Security-Entwicklungsprozess für Integratoren und Betreiber

IEC 62443-4-1 definiert einen Security-Entwicklungsprozess für Komponenten-Lieferanten; Erweiterungen für andere Beteiligte im Wertschöpfungsnetzwerk wie Maschinenbauer, Betreiber und Integratoren sind erforderlich, um durchgehende und konsistente Sicherheitsarchitekturen im Sinne eines „Security Engineering“ umsetzen zu können.

[HE 3.2-7 V4] ⇒ [HE 5.2.2-1 V5]

[HE 5.2.2-2 V5] Generische Schnittstelle für Sicherheitselemente in Embedded Systemen

Die Implementierung kryptografisch basierter Sicherheitsfunktionen in Industrie 4.0-Geräten muss gegen Angriffe geschützt werden. Durch die Integration geeigneter Sicherheitshardware können dabei hohe Sicherheitsniveaus erzielt werden. Die Verschiedenheit und Komplexität der im Markt erhältlichen Baugruppen mit ihren speziellen Randbedingungen führen allerdings zu hohen Integrationsaufwänden und damit zu einer relativ hohen Anwendungsschwelle für Hersteller und Integratoren, insbesondere bei kleinen und mittelständischen Unternehmen. Ein „Generisches Trust Anchor API“, welches als einheitliche Programmierschnittstelle von vielen Hardwareherstellern unterstützt werden würde, kann Abhilfe schaffen.

[HE 3.2-8 V4] ⇒ [HE 5.2.2-2 V5]

[HE 5.2.2-3 V5] Globale Infrastruktur zur Unterstützung von Key-Management

Das Prinzip „ZeroTrust“ macht es sich dabei zum Ziel, durchgehende Sicherheitsarchitekturen mit Ende-zu-Ende-Security zu realisieren, die sowohl die IT-Bereiche als auch OT-Bereiche eines Unternehmens (bzw. eines gesamten Industrie 4.0-Anwendungsszenarios) umfassen. Hier ist es wichtig, dass die resultierenden Sicherheitsmechanismen möglichst global interoperabel sind und durch geeignete Infrastrukturen für z. B. Key-Management unterstützt werden.

[HE 5.2.2-3 V5]

[HE 5.2.2-4 V5] Industrie 4.0 Security-Managementprozesse

Die zunehmende Vernetzung im Rahmen von Industrie 4.0 erfordert abgestimmte und kooperationsfähige Prozesse und Standards für das Security-Management, welche domänenübergreifend zusammenwirken können. Dazu zählen u. a.:

- Unterstützung eines Security-Managements für dynamisch rekonfigurierbare Automatisierungssysteme (plug and automate)
- Einbeziehung des digitalen Zwillings in das Security-Management
- Sicheres dynamisches Patchmanagement
- Einheitliches, maschinenlesbares Format für Schwachstelleninformationen
- Continuous Compliance Monitoring
- Resilience, Business-Continuity
- Security-Event-Handling
- Supply-Chain-Security

[HE 3.2-10 V4] ⇒ [HE 5.2.2-4 V5]

[HE 5.2.2-5 V5] Etablierung einer SBOM als notwendiges Informationsartefakt in der Softwarelieferkette (für Industrie 4.0)

Dabei Berücksichtigung vorhandener Standards ISO/IEC 5962:2021, SPDX und OWASP CycloneDX Software Bill of Materials (SBOM) Standard und Berücksichtigung von Anforderungen aus der Regulierung (US: EO 14028 section 4 (e); EU: CRA und NIS2.0).

[HE 5.2.2-6 V5] Leitfaden „Security-Training“

IT-Sicherheitsaspekte müssen schon in der Planung und Entwicklungsphase von Produkten und Systemen berücksichtigt werden („Security-by-Design“). Mitarbeitende in der Produktion benötigen zusätzliche IT-Security-Kenntnisse, da Produktions- und IT-Welten miteinander verschmelzen und sich die Kompetenzanforderungen grundsätzlich ändern. Wesentliche organisatorische und prozessspezifische Security-Aspekte müssen in den entsprechenden Normen zu deren Umsetzung berücksichtigt werden. Dazu passende Guideline-Standards für „Security-Trainings“ müssen daraus abgeleitet werden.

[HE 3.2-11 V4] ➔ [HE 5.2.2-6 V5]

[HE 5.2.2-7 V5] Security für die Verwaltungsschale/Asset Administration Shell

Jede Ausprägung einer Verwaltungsschale erfordert Sicherheitsmechanismen zur Integrität, zum Zugang/Vertraulichkeit und zur nachweislichen Verarbeitung im operativen Betrieb entlang der Wertschöpfungskette. Weiterführung der Arbeiten innerhalb der IEC TC 65.

[HE 5.2.2-8 V5] Sicherheitsstandards zum Austausch von Typ- und Instanzinformation von Verwaltungsschalen

Für den Austausch von Typ- oder Instanzinformationen sind Online- und Offline-Möglichkeiten vorgesehen. Ein Datenformat für Austauschdateien ist vorgeschlagen. Es sind Mechanismen für die Sicherstellung der Authentizität und Vertraulichkeit zu definieren und als globale Standards zu etablieren. Zugriffs-APIs sind zu definieren. Dies muss mit den Konzepten zu sicheren Identitäten (siehe [HE 5.2.2-11 V5]) und zur Zugriffssteuerung (siehe [HE 5.2.2-9 V5]) abgestimmt sein.

[HE 3.2-6 V4] ➔ [HE 5.2.2-8 V5]

[HE 5.2.2-9 V5] Zugriffs-, Rollen- und Berechtigungsmechanismen für Industrie 4.0

Zugriff auf und Nutzung von Daten und Ressourcen im Rahmen von Industrie 4.0-Kooperationen bedarf standardisierter Regeln. Existierende Konzepte, wie z. B. IEC 62351, können als Ausgangspunkt dienen. Randbedingungen an die Umsetzung sind z. B. Skalierbarkeit und die Möglichkeit der Abbildung auf spezifische vertikale Anforderungen.

[HE 3.2-5 V4] ➔ [HE 5.2.2-9 V5]

[HE 5.2.2-10 V5] Sicherheit für agile Systeme

Definition von Standards zur technischen Aushandlung von Sicherheitsprofilen (auf der Basis von Fähigkeiten und Eigenschaften) für Industrie 4.0-Kommunikation bzw. Kooperation von Entitäten in verschiedenen (teilweise unterschiedlich regulierten) Sicherheitsdomänen.

Dies enthält:

- Identifikation und Authentifizierung der beteiligten Partner (Anforderungen und Lösungen)
- Bewertung des Grades der Vertrauenswürdigkeit der Kooperationspartner
- Die technische Unterstützung der Informationsklassifizierung und Anforderungen an den Umgang mit entsprechend klassifizierten Daten
- Insbesondere bei Anwendung von KI-Methoden: Deren Qualität muss sichergestellt werden; Methoden der Bewertung sind wichtig und müssen entwickelt werden (Forschung)
- Thema Qualitätszertifikate
- Definition Trustworthiness Profile – Capabilities, Supply-Chain, Traceability, (Cloud Trustworthiness), Trustworthiness Framework (JTC 1/SC 41).

[HE 3.2-3 V4] ⇒ [HE 5.2.2-10 V5]

[HE 5.2.2-11 V5] 5G Security for Industry

Features und Möglichkeiten von 5G erfordern die Möglichkeit dynamischer, flexibler und skalierbarer Sicherheitsarchitekturen. Auf der Basis geeigneter industrieller Anwendungsfälle müssen die Security-Anforderungen unter Berücksichtigung bestehender Security-Standards wie ISO/IEC 27001 und IEC 62443 im Rahmen der 5G-Standards abgeleitet werden können.

- Industrielle Security-Richtlinien müssen umsetzbar sein, insbesondere für Industrie 4.0-basierte unternehmensübergreifende Kommunikation
- Anwendung von IEC 62443 und ISO/IEC 27001 muss möglich sein, insbesondere auch im Eigenbetrieb
- Der Schutz von Meta-Daten der Kommunikation von Geräten, Maschinen und Anlagen muss gewährleistet sein. Dies betrifft insbesondere auch Daten, die über den Signalisierungskanal vom Telko-Anbieter erfasst werden können.
- Es sollen industrietaugliche Security-Anforderungen aktiv in den 5G-Standardisierungsprozess eingebracht werden.

[HE 3.2-9 V4] ⇒ [HE 5.2.2-11 V5]

[HE 5.2.2-12 V5] Security-Infrastruktur für sichere Inter-Domain-Kommunikation

Sichere Kommunikation benötigt sichere Identitäten (Identifikatoren und Attribute) und Vertrauensanker. Die Generierung und Verwaltung von sicheren Identitäten und die Sicherung deren Vertrauenswürdigkeit erfordern eine gesicherte Infrastruktur. Anforderungen sind u. a. Skalierbarkeit, Resilienz, Wirtschaftlichkeit, Langzeit-tauglichkeit, (benutzerdefinierte) Vertrauenswürdigkeit über lokale Rechtsräume hinweg und unabhängig von lokalen Rechtsräumen. domänenübergreifende Governance-Strukturen zur Unterstützung sicherer Industrie 4.0-Kommunikation müssen definiert und standardisiert werden. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit aller industriellen Stakeholder*innen. Die mögliche Verwendung und Einbeziehung nationaler und regionaler Lösungen (wie z. B. eIDAS) muss mit den regulatorisch Verantwortlichen geprüft und in Feldversuchen/Pilotprojekten getestet werden.

[HE 3.2-2 V4] ⇒ [HE 5.2.2-12 V5]

5.2.3 Privacy

[HE 5.2.3-1 V5] Schutz personenbezogener Daten innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken

Definition von Prozessstandards für den Schutz personenbezogener Daten innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken bis hin zum Schutz personenbezogener Daten, die für individualisierte Produkte mit Losgröße 1 benötigt werden, u. a.:

- Regeln zur Klassifizierung von Daten und Informationen, auch im jeweiligen Kontext (Kontexte sind sehr relevant, weil sie die Sensitivität und Aussagekraft von Daten massiv beeinflussen, z. B. scheint eine Artikelnummer in einer Internetbestellung harmlos, bis man sie mit z. B. einer Medikamentenprodukt Datenbank verknüpfen kann, was dann zeigt, dass das Produkt z. B. ein Krebsmedikament oder ein Psychopharmakon ist. Auch das Wissen, dass das Format der Artikelnummer auf ein Medizinprodukt deutet, ist bedeutsam).
- Regeln zum Austausch klassifizierter Daten und Informationen (welche Daten dürfen unter welchen Umständen wohin weitergegeben werden, was darf der Empfänger damit tun, wann sind sie ggf. zu löschen);
- Methoden zur Bewertung des Grades der Vertrauenswürdigkeit der Kooperationspartner. Beispiele für Mechanismen sind Herstellererklärungen, Zertifikate, Auditierung.

[HE 3.3-1 V4] → [HE 5.2.3-1 V5]

[HE 5.2.3-2 V5] Umgang mit personenbezieharen oder personenbezogenen Daten für Beschäftigte

Sammlung, Speicherung und Verarbeitung von Daten in großem Umfang werden wesentliche Bestandteile der Industrie 4.0 sein. Schutzziele sind in diesem Zusammenhang u. a. die Verfügbarkeit, die Integrität, die Vertraulichkeit und der rechtskonforme Umgang mit diesen Daten. Für Beschäftigte ist insbesondere der Umgang mit personenbezieharen oder personenbezogenen Daten, die beispielsweise bei der Nutzung von Assistenzsystemen gesammelt werden, relevant. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf entsteht daher z. B. bei den Normen DIN EN ISO 27500, ISO 924 ff. und ISO 26800.

[HE 2.7-6 V4] → [HE 5.2.3-2 V5]

[HE 5.2.3-3 V5] Verhältnis Datenschutznormen und Industrie 4.0-Szenarien

Es benötigt die Klärung der Tauglichkeit vorhandener Normen, bezogen auf spezifische Industrie 4.0-Szenarien:

- Bei automatisierter Kommunikation über Domänengrenzen (z. B. Rechtsraumgrenzen) hinweg müssen die entsprechenden Datenschutzerfordernungen und abgeleiteten Sicherheitsanforderungen aufeinander abgestimmt werden.
- Zugriffskontrollnormen müssen Ressourcen domänenorientiert verwalten können, um die Berücksichtigung des jeweiligen Datenschutzniveaus zu gewährleisten, speziell beim grenzüberschreitenden Datentransfer im Rahmen der Wertschöpfungskette, etwa aus der EU in Drittländer, deren Datenschutzniveau als EU-äquivalent anerkannt wurde oder eben nicht, zumal diese Anerkennungen erteilt, aber auch wieder zurückgenommen werden können. Die domänenorientierte Verwaltung der Zugriffskontrollnormen muss diese Anerkennungsdynamik funktional abdecken. Datenschutznormen müssen für „intelligente“ in Industrie 4.0-Prozessen hergestellte Hausgeräte (Haushaltsgeräte, Spielzeuge usw.) und deren Kommunikationsbedarf (auch zurück zum Hersteller) greifen.

[HE 3.3-3 V4] → [HE 5.2.3-3 V5]

[HE 5.2.3-4 V5] Datenschutzverträgliche Auditierung

Definition von Standards zur datenschutzverträglichen Auditierung von Prozessen, die personenbezogene Daten verarbeiten und/oder an riskanten Schnittstellen arbeiten, u. a.

- Methoden zur datensparsamen (etwa aggregierten) Protokollierung
- Methoden zur lokalen Verarbeitung und Auswertung sensibler Daten, damit sie danach aggregiert oder gelöscht werden können.

[HE 3.3-2 V4] → [HE 5.2.3-4 V5]

5.2.4 Trustworthiness**[HE 5.2.4-1 V5] Definition von Prozess-Standards für die Vertrauenswürdigkeit der Zusammenarbeit innerhalb eines Industrie 4.0-Wertschöpfungsnetzwerks**

Diese enthalten:

- Standardisierung von „Trustworthiness Capability Profiles“
- Methode zur Bewertung des Grades der Vertrauenswürdigkeit der Kooperationspartner (Beispiele für Mechanismen sind: Herstellererklärungen, Zertifikate, Auditierung)
- Regeln zum Austausch von klassifizierten Daten und Informationen
- Mindestanforderungen bzgl. Sicherheit für B2B
- Einbeziehung von Prozessen und Komponenten
- Beachtung regulatorischer Vorgaben

[HE 3.4-1 V4] → [HE 5.2.4-1 V5]

[HE 5.2.4-2 V5] Maschinenlesbare Profile für Vertrauenswürdigkeit

Maschinenlesbare Profile für Vertrauenswürdigkeit bilden die Voraussetzung zur automatisierten Implementierung von [HE 5.2.4-1 V5] und [HE 5.2.4-3 V5].

[HE 5.2.4-3 V5] Standardisierte Mechanismen zum Trustworthiness-Management entlang der Wertschöpfungskette definieren (Chain of Trust)

Die Trustworthiness von Wertschöpfungsbeiträgen entlang der Supply-Chain kann sich über den Lebenszyklus des Produktes hinweg verändern. Die erfordert ein Management einer Chain of Trust, auch aufgrund staatlicher Regulierungen, die über die bilateralen Beziehungen zwischen Lieferanten und Kunden hinausgehen.

5.3.2 Nachhaltigkeits-Module im Überblick**[HE 5.3.2-1 V5] „Nachhaltigkeits-Baukasten“**

Es wird empfohlen, im Hinblick auf die Umsetzung einer digitalen, automatisierten Erfassung und Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten in Industrie 4.0-Systemen verschiedene Standardmodule zur digitalen Datenerfassung und Weiterverarbeitung zu definieren. Diese Standardmodule können sodann flexibel und bedarfsorientiert zu größeren Informationseinheiten aggregiert werden.

[HE 5.3.2-2 V5] Klima- und Umweltdaten zu (Industrie-)Anlagen

Klima-, Umweltdaten und sonstige ökologische Nachhaltigkeitsaspekte zu (Industrie-)Anlagen bzw. Betriebsstätten sollten in einer standardisierten Form erfasst, dargestellt und vergleichbar gemacht werden.

[HE 5.3.2-3 V5] Soziale Nachhaltigkeitsaspekte zu Betriebsstätten

Soziale Nachhaltigkeitsaspekte zu (Industrie-)Anlagen bzw. Betriebsstätten sollten in einer standardisierten Form erfasst, dargestellt und vergleichbar gemacht werden.

[HE 5.3.2-4 V5] Digitaler Nachhaltigkeitspass für (Industrie-)Anlagen bzw. Betriebsstätten

Ökologische und soziale Nachhaltigkeitsaspekte zu (Industrie-)Anlagen bzw. Betriebsstätten sollten in einem einheitlich und übersichtlich strukturierten digitalen Nachhaltigkeitspass zusammengeführt werden, ohne dabei die Daten zur ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit miteinander zu vermischen.

[HE 5.3.2-5 V5] Klima- und Umweltdaten zu mobilen Anlagen

Klima-, Umweltdaten und sonstige ökologische Nachhaltigkeitsaspekte zu mobilen Anlagen bzw. Verkehrsmitteln sollten in einer standardisierten, digitalen Form erfasst und dargestellt werden.

[HE 5.3.2-6 V5] Betriebsinterner Prozess

Es wird empfohlen, ein standardisiertes Format zur Beschreibung von betriebsinternen Prozessen und zur Weitergabe von Prozessinformationen an Dritte zu entwickeln und zu etablieren.

[HE 5.3.2-7 V5] Anlagen- bzw. standortübergreifender linearer Prozess

Es wird empfohlen, ein standardisiertes Format zur Beschreibung von vorrangig linearen, (Industrie-)anlagen- bzw. standortübergreifenden Prozessen zu entwickeln, welches als integralen Bestandteil eine standardisierte Methodik zum Daten- bzw. Informationsaustausch im Prozess bzw. zwischen den kooperierenden Akteuren definiert.

[HE 5.3.2-8 V5] Asset-übergreifender zirkulärer Prozess

Es wird empfohlen, ein standardisiertes Format zur Beschreibung von zirkulären, Asset-übergreifenden Prozessen zu entwickeln, welches als integralen Bestandteil eine standardisierte Methodik zur Datenweitergabe im zirkulären Prozess bzw. zwischen den kooperierenden Akteuren definiert.

[HE 5.3.2-9 V5] Klima- und Umweltdaten zum Produkt

Klima- und Umweltdaten mit direktem Produktbezug sollten in einer standardisierten Form erfasst, dargestellt und vergleichbar gemacht werden.

[HE 5.3.2-10 V5] Digitaler Nachhaltigkeitspass für Produkte

Es wird empfohlen, für Inhalte und Struktur des digitalen Nachhaltigkeitspasses ein standardisiertes, modulares Format zur digitalen Dokumentation und Verfügbarmachung von Klima-, Umweltdaten und sonstigen Nachhaltigkeitsaspekten zu Produkten zu entwickeln und zu etablieren.

[HE 5.3.2-11 V5] Digitales Ökosystem/Netzwerk

Es sollte Normen zur Nachhaltigkeitsbewertung von digitalen Ökosystemen bzw. Netzwerken geben, wobei die Bewertung des Netzwerkes als Ganzes im Vordergrund steht.

5.3.3 Aspekte der sozialen Nachhaltigkeit und Handlungsempfehlungen**[HE 5.3.3-1 V5]**

Die zunehmenden Möglichkeiten, Arbeit unabhängig von Zeit und Ort zu organisieren, führen zu einer weiteren Verbreitung mobiler Arbeit, welche durch die Coronapandemie stark beschleunigt wurde. Die Gestaltungsmöglichkeiten mobiler Arbeit unterscheiden sich wesentlich von denen stationärer Arbeit. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf besteht z. B. bei DIN EN ISO 9241-1:1997. Es wird empfohlen, Zahlen zur Verbreitung von mobiler/ortsunabhängiger Arbeit im Produktionsumfeld zu erheben, um die Relevanz spezifischer Aspekte, die u. a. Fragen der Datenübertragung betreffen, für die Normung abschätzen zu können. Anwendungsfälle, welche die ortsunabhängige Arbeit mit Notwendigkeit der Bedienung von Arbeitsmitteln etc. und Weitergabe von Informationen an örtlich getrennt arbeitende Personen betreffen, sollte in die Normung zu Assistenzsystemen wie bspw. Datenbrillen aufgenommen werden. Insbesondere Verzögerungen bei der Übertragung von Video- und Audiodaten können die Leistung bei der örtlich getrennten Arbeit (z. B. Störungsbehebung) verringern und die kognitive Beanspruchung der Nutzenden erhöhen.

[HE 2.7-7 V4] ⇒ [HE 5.3.3-1 V5]

[HE 5.3.3-2 V5]

Zu prüfen ist, wie durch eine Ergänzung und Erweiterung der bestehenden Normen oder durch eine gesonderte Berücksichtigung den Anforderungen einer inklusiven Arbeitsgestaltung, d. h. einer auf die konkreten Fähigkeiten, Anforderungen und Hilfsmittelbedarfe von Arbeitenden mit unterschiedlichen Behinderungen gerichteten Gestaltung von Industrie 4.0-Arbeitsystemen sowie einer Einbeziehung von Menschen mit Behinderungen in den Prozess der Systemgestaltung (frühzeitige und angemessene Partizipation), Rechnung getragen werden kann. Ebenso sollte geprüft werden, ob die Normung zu Assistenzsystemen, Bedienschnittstellen etc. das Bereitstellen von Informationen in mindestens zwei Sinneskanälen und in einfacher Sprache aufgreifen kann.

6.1 Anforderungen im Kontext von Open Source**[HE 6.1-1 V5] Zusammenarbeit von Normung mit Open-Source-Communities verstärken**

Es wird empfohlen, die Zusammenarbeit von Normung und Standardisierung mit Open-Source-Communities zu verstärken. Dabei können Spezifikationen (bspw. DIN SPEC oder VDE SPEC) im Rahmen von Industrie 4.0 eine gute Möglichkeit für die Pilotierung bieten.

[HE 3.1-1 V4] ⇒ [HE 6.1-1 V5]

[HE 6.1-2 V5] Synergien aufzeigen und Anlaufstellen schaffen

Um die Verbreitung von Industrie 4.0 zu beschleunigen, sollte die Entwicklung von Open-Source-Implementierungen noch stärker vorangetrieben werden. Insbesondere im Zusammenspiel mit der Normung und Standardisierung müssen hier Synergien aufgezeigt und Anlaufstellen geschaffen werden (z. B. durch ein DIN DKE OSPO), die den Einsatz und die Mitarbeit an Open-Source-Projekten leicht ermöglichen.

[HE 3.1-2 V4] ⇒ [HE 6.1-2 V5]

[HE 6.1-3 V5] Gegenseitiges Einbinden

Die Potenziale eines Zusammenwirkens von Open Source und Standardisierung müssen besser ausgeschöpft und Aktivitäten zusammengedacht werden. Es wird daher empfohlen, die Normung und Standardisierung stärker bei Open-Source-Projekten einzubinden. Ebenso sollten bei Normungs- und Standardisierungsaktivitäten (im Bereich Industrie 4.0) verstärkt Open-Source-Lösungen mitgedacht werden.

6.2 Anforderungen im Kontext von Use Cases

[HE 6.2-1 V5] Begründung von Standardisierungsaktivitäten durch Use Cases

Grundsätzlich sollten alle Standardisierungsvorhaben auf Basis von Beispielen/Business-Szenarien/Use Cases begründet werden. Die IEC 63283-2 Use-Case-Sammlung kann dazu als Input genutzt werden. Sollte sich dabei herausstellen, dass in IEC 63282-2 Use Cases fehlen, sollten solche fehlenden Use Cases an die IEC TC65 WG23 TF Use Cases gemeldet werden

[HE 6.2-2 V5] Ergänzung von IEC 63283-2 um „Datenraum“-Use Cases

Ergebnisse von [HE 6.2-1 V5] analysieren, inwieweit IEC 63283-2 um „Datenraum“-Use Cases ergänzt werden kann und sollte (Verantwortlich: IEC/TC 65/WG 23 TF Use Cases)

[HE 6.2-3 V5] Systematisches Aufbereiten von Use Cases

Systematisches Aufbereiten von Beispielen/Business-Szenarien/Use Cases für das Bereitstellen, Auswerten und Verwalten von Daten in der produzierenden Industrie (Verantwortlich: z. B. Gaia-X-Community, AK Datenwirtschaft des ZVEI, AK Plattformökonomie des VDMA etc.).

Kommentar: Die Handlungsempfehlung beinhaltet insbesondere auch die Detaillierung der in Kapitel „Industrielle Datenräume“ der NRM Industrie 4.0 V5 genannten Themen, wo Datenräume das Potenzial bieten, neue Anwendungen zu erschließen.

[HE 6.2-4 V5] Handlungsempfehlungen an die Standardisierung

Ableitung von Handlungsempfehlungen an die Standardisierung aus den Anforderungen an die Standardisierung, die in den IEC TC65/WG 23 Use Cases formuliert sind (Verantwortlich: IEC/TF 65/WG 23 TF Gap analysis and recommendations for standardization actions).

[HE 6.2-5 V5] Analyse von Use-Case-Sammlungen

Screening der existierenden und entstehenden Use-Case-Sammlungen aus z. B. ISO/IEC JTC 1/SC 41, SC 42 im Hinblick auf eine Vervollständigung der IEC/TF 65/WG 23 Use Cases (Verantwortlich IEC/TF 65/WG 23 TF Use Cases).

[HE 6.2-6 V5] Unterstützung der Taskforce „Smart Manufacturing Use Cases“ der IEC/TC 65/WG 23

Die Taskforce „Smart Manufacturing Use Cases“ der IEC/TC 65/WG 23 (IEC TR 63283-2 „Industrial-process measurement, control and automation – Smart manufacturing – Part 2: Use cases“) sollte aus Deutschland heraus aktiv unterstützt werden, um über diesen Weg eine konsistente und repräsentative Use Cases-Sammlung für Industrie 4.0 zu erhalten. So wird dieser Taskforce geholfen, sich als zentrale Drehscheibe einer systematischen Konsolidierung der vielfältigen Use Cases im Umfeld von Industrie 4.0 zu etablieren.

[HE 2.1-1 V4] ⇒ [HE 6.2-6 V5]

[HE 6.2-7 V5] Internationale Abstimmung zu Use-Case-Beschreibungen

Die diversen Konzepte, die Use Cases auf Basis detaillierterer Beschreibungen wie beispielsweise dem IIRA-Template formulieren, sollten fortgesetzt werden. Beispiele hierfür sind die gemeinsamen Aktivitäten mit China und Japan, ausgewählte Aktivitäten von Labs Network Industrie 4.0 (LNI 4.0), aber auch Aktivitäten auf Ebene der Europäischen Union, wie sie insbesondere im Kontext von Künstlicher Intelligenz im Rahmen des AI-PPP4 geplant sind.

[HE 2.1-2 V4] ⇒ [HE 6.2-7 V5]

[AE 6.2-8 V5] Nutzung des Begriffs „Use Case“

Es sollte weiterhin versucht werden, den Begriff „Use Case“ nicht unnötig zu überladen. Es ist nicht das Ziel, ein einheitliches Verständnis vorzugeben, aber es wird empfohlen, dass sich Aktivitäten bezüglich des in der NRM Industrie 4.0 formulierten Verständnisses positionieren, sodass dieses weiter geschärft werden kann.

[AE 2.1-A1 V4] ⇒ [AE 6.2-8 V5]

[HE 6.2-9 V5] Use Cases für Arbeitsorganisation und -gestaltung

Arbeitsorganisation und -gestaltung sind zentrale Elemente und Erfolgsfaktoren eines Arbeitssystems. Es sollten Use Cases beschrieben werden, welche das Zielbild für Arbeitsorganisation und Aufgabenstruktur beschreiben und welche Maßnahmen vorgesehen sind, um Nutzende zu beteiligen. Weiterer Kernbestandteil der Arbeitssystemgestaltung ist die aufgabenangemessene, ergonomische Gestaltung der Arbeitsmittel (z. B. gem. DIN EN ISO 6385). In den entsprechenden Use Cases sollte daher beschrieben sein, mit welchen Mitteln diese Anforderung realisiert werden soll. Soziotechnische Use Cases implizieren typischerweise neue Kompetenzanforderungen, es sollte beschrieben sein, wie der Bedarf an Kompetenz und Kompetenzentwicklung ermittelt oder zumindest abgeschätzt werden soll, in welcher Weise die Gestaltung der Industrie 4.0-Komponente(n) zu Kompetenzerhalt, Kompetenzentwicklung und lern-/entwicklungsförderlicher Gestaltung der Industrie 4.0-Arbeitssysteme beitragen soll, welche anderen Wege zu Kompetenzerhalt, Kompetenzentwicklung und lern-/entwicklungsförderlicher Gestaltung der Industrie 4.0-Arbeitssysteme mitbedacht und konzipiert werden sollen. Es ist für eine vorausschauende Arbeitsgestaltung wertvoll, Use Cases zur Beschreibung und Abschätzung möglicher physischer und psychischer Gefährdungen und ihrer Vorbeugung zu entwickeln.

[HE 2.7-3 V4] ⇒ [HE 6.2-9 V5]

6.3 Anforderungen im Kontext von maschinenlesbaren Standards

[HE 6.3-1 V5] Adaption von Industrie 4.0-Mechanismen, Prinzipien und Ontologien für die Digitalisierung der Normen und Normung

Industrie 4.0-Konzepte und -Mechanismen wie beispielsweise Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) und Verwaltungsschale sollen weiter im Kontext der Digitalisierung der Normen und der Normung untersucht und angewandt werden. Grundsätzlich sind die Herausforderungen von Industrie 4.0 auf die Digitalisierung der Normen und der Normung übertragbar, sodass eine Angleichung bzw. Kompatibilität der angestrebten Lösungen sichergestellt werden sollte. Ein erster Schritt könnte die Identifikation und Integration Industrie 4.0-relevanter Informationseinheiten sowie Semantik-Mechanismen in das Standards Information Model (SIM) sein.

[HE 6.3-2 V5] Nutzung fragmentierter Norminformationen im Kontext von Industrie 4.0-Anwendungen

Um die Vorteile von SMART Standards und des angestrebten Informationsmodells (SIM) effektiv nutzen zu können, müssen die Zielsysteme von fragmentierten und semantischen Informationen für die Nutzung solcher Informationen vorbereitet werden. Daher muss erarbeitet werden, wie digitale Norminhalte im Kontext der Verwaltungsschale und anderer Industrie 4.0-Systeme importiert, verarbeitet und weiterverwendet werden können. Ein erster Schritt könnte die Entwicklung eines Teilmodells für Normen sein, welches in unterschiedlichen Ausbaustufen sowohl die dokumentbasierten als auch die fragmentierten (Provision-based) Informationen aus Normen abbilden kann.

[HE 6.3-3A V5] Nutzung und Konsolidierung von Referenzdefinitionen (IEV u. a.)

Um Ein-Eindeutigkeit der Begriffe herzustellen, sollte auf eine 1:1-Korrespondenz zwischen Bezeichnung und Definition hingewirkt werden. Hierzu sollte möglichst unverändert auf die Referenzdefinitionen im IEV (IEC 60050) zurückgegriffen werden, die bereits einen konsolidierten Stand der Normungsterminologie repräsentieren. Ist eine Neudefinition unvermeidlich, sollten beteiligte Gremien identifiziert, Definitionen koordiniert und das IEV im Rahmen neuer IEC TC 1-Projekte ergänzt oder korrigiert werden.

[HE 2.4-4 V4] ⇒ [HE 6.3-3A V5]

[HE 6.3-3B V5] Systematischer Abgleich aller relevanten Normdefinitionen

Sowohl bei der Erweiterung des IEV (IEC 60050) als auch bei Normungsprojekten in den technischen Gremien sollte eine Sammlung aller relevanten Begriffseinträge aus der gültigen Normung erfolgen, um die Wiederverwendung von Definitionen zu fördern. Dabei sollte auf Terminologiedatenbanken und Tools zur Strukturierung der relevanten Einträge zurückgegriffen werden. Technische Gremien sollten Abweichungen zu anderen Normen in den Notes erläutern.

[HE 6.3-3C V5] Softwaregestützte Assistenz beim systematischen Abgleich

Die Sammlung aller relevanten Begriffseinträge im Rahmen von IEC TC 1 und in technischen Gremien sollte datenbankgestützt erfolgen, um die Vollständigkeit sicherzustellen. Um die Menge etwaiger Optionen beherrschbar zu machen und eine informierte Auswahl zu treffen, sollte dabei eine Computerassistenz verwendet werden, die Textvergleiche unterstützt, Definitionen vorstrukturiert und auf Regelverstöße hinweist.

[HE 6.3-3D V5] Softwaregestützte Assistenz bei der formalen Prüfung

Um formalen terminologischen Abweichungen vorzubeugen, sollten die formalen Anforderungen an das Erstellen von Definitionen gemäß ISO/IEC Directives, Part 2:2021, ISO 10241-1:2011 (confirmed 2022), und ISO 860:2022 und ISO 704:2022 berücksichtigt werden. Die Prüfung der Anforderungserfüllung sollte systematisch und möglichst toolgestützt erfolgen.

[HE 6.3-4 V5] Skills für Normenanwender

Überprüfung der notwendigen Skills für die Erstellung und Konsumierung Industrie 4.0-relevanter SMART Standards

Anmerkung: Hier sei angemerkt, dass **[HE 2.7-5 V4]** zum Thema „Führen“ in der aktuellen Roadmap nicht mehr thematisiert wird, da keine konkrete Möglichkeit der Normierung erkannt wurde. **[HE 2.7-9 V4]** zum Thema „lebenslanges Lernen“ wird ebenfalls nicht mehr aufgegriffen, da im Fachausschuss „Arbeitswelt Industrie 4.0“ der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik des VDI eine entsprechende Richtlinie erarbeitet wurde. Weiterhin ist **[HE 2.7-28 V4]** zum Thema „Gestalten der Arbeitsumgebung, Arbeitsraum, Arbeitsplatz“ nicht mehr in der aktuellen Version enthalten, da dieses Thema rechtliche Aspekte betrifft. Siehe hierzu auch Version 4 der NRM Industrie 4.0 [\[2\]](#).



4

AKTEURS- UND NORMUNGSUMFELD

4.1 Einordnung und Umfeld der Normung in Deutschland, Europa und international

Das folgende Kapitel stellt kurz das Umfeld der Normung in Deutschland, Europa und international vor. Eine vollständige Übersicht über das derzeitige Normungs- und Standardisierungsumfeld befindet sich im Anhang.

4.2 National

Zur Umsetzung der deutschen Standardisierungsstrategie Industrie 4.0 wurde im Jahr 2013 die Plattform Industrie 4.0 gegründet. Es folgte die Gründung des Standardisation Council Industrie 4.0 und des Labs Network Industrie 4.0 (LNI4.0). Wie in **Abbildung 2** zu sehen, bildet das Zusammenspiel der drei Organisationen ein reaktionsschnelles Gefüge aus Strategie, Konzeption, Erprobung und Standardisierung. Durch das Zusammenwirken der Partner*innen in den verschiedenen Testzentren können marktrelevante Anforderungen generiert und validierte Ergebnisse über das SCI 4.0 direkt in den Normungsprozess eingebracht werden. Die von der Plattform Industrie 4.0 definierten Ergebnisse und Konzepte werden ebenso berücksichtigt und entsprechend zielgerichtet über das SCI 4.0 in die internationale Normung und Standardi-

sierung überführt. Somit wird die Entwicklung marktfähiger Produkte beschleunigt und die deutsche Spitzenstellung der Industrie 4.0-Konzepte sichergestellt.

Die **Plattform Industrie 4.0** wurde durch die drei Industrieverbände BITKOM, VDMA und ZVEI ins Leben gerufen und steht aktuell unter der Leitung der Bundesministerien für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie für Bildung und Forschung (BMBF). In der Plattform Industrie 4.0 kommen Vertreter*innen aus Wirtschaft, Wissenschaft, Gewerkschaften, Verbraucher und Politik zusammen, um an einer gemeinsamen Zukunft des Industriestandortes Deutschland zu arbeiten. Inhaltliche Schwerpunkte sind neben der Normung und Standardisierung insbesondere die Handlungsfelder Forschung und Innovation, Sicherheit vernetzter Systeme, rechtliche Rahmenbedingungen sowie Arbeit und Aus- und Weiterbildung. Die deutschen Normungsorganisationen DIN und DKE engagieren sich in diesen Arbeitsgruppen und unterstützen die Plattform Industrie 4.0 dabei, ihre Ergebnisse der Normung und Standardisierung, insbesondere auf internationaler Ebene, zuzuführen.

Gemeinsam mit den Industrieverbänden BITKOM, VDMA und ZVEI haben DIN und DKE das **Standardisation Council Industrie 4.0 (SCI 4.0)** gegründet. Das SCI 4.0 ist für die Orchestrierung der Normungs- und Standardisierungsaktivi-

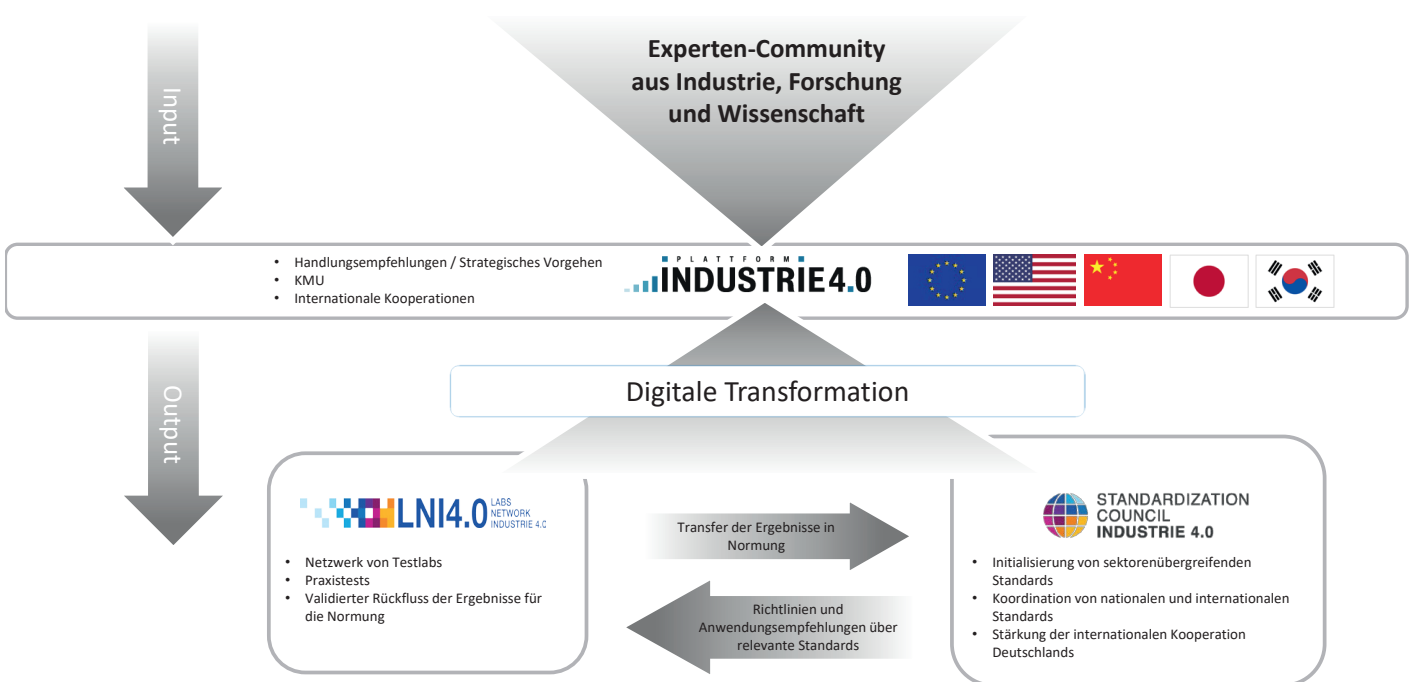


Abbildung 2: Vernetzung der zentralen Akteure (Quelle: nach SCI 4.0)

täten zuständig und damit Ansprechpartner in allen Fragen der Normung und Standardisierung im Kontext von Industrie 4.0. In Zusammenarbeit mit der Plattform Industrie 4.0 bündelt das SCI 4.0 die interessierten Fachkreise in Deutschland und vertritt die Interessen gegenüber internationalen Gremien und Konsortien. Mit der Initiierung bedarfsgerechter neuer Standardisierungsprojekte sowie deren Umsetzung unterstützt das SCI 4.0 zudem die Praxiserprobung in Testzentren.

Das **Labs Network Industrie 4.0 (LNI 4.0)** wurde von Unternehmen der Plattform Industrie 4.0 zusammen mit den Verbänden BITKOM, VDMA und ZVEI gegründet. In den Testzentren können neue Technologien, Geschäftsmodelle und Anwendungsszenarien (Use Cases) rund um Industrie 4.0 erprobt und deren technische und ökonomische Realisierbarkeit vor der Markteinführung überprüft werden. Damit bietet das LNI 4.0 ein ideales Labor- und Experimentierumfeld insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen. Durch die enge Zusammenarbeit mit dem SCI 4.0 können neue Industrie 4.0-Lösungen und die darin genutzten Normen und Standards getestet werden. Die Ergebnisse fließen wiederum direkt in die Weiterentwicklung von Normen und Standards ein – national und international.

4.3 International

Hier ist eine Übersicht relevanter europäischer und internationaler Komitees sowie wichtiger koordinierender Gremien:

- **CEN/TC 310** „Advanced Automation technologies and their applications“,
- **CEN/TC 319** „Maintenance“,
- **CEN/TC 438** „Additive Manufacturing“,
- **ISO/TC 184** „Automation systems and integration“,
- **IEC/TC 65** „Industrial-process, measurement, control and automation“,
- **ISO/IEC JTC 1** „Information Technology“,
- **ISO/IEC JTC/SC 41** „Internet of Things and Digital Twin“,
- **ISO/IEC JTC 1/SC 42** „Artificial Intelligence“,
- **ISO/TC 307** „Blockchain and distributed ledger technologies“.

4.4 Koordinierende Gremien – Smart Manufacturing

Unter deutscher Leitung treibt das **ISO/TMBG/SMCC**⁵ „ISO Smart Manufacturing Coordinating Committee“ (SMCC) die internationalen Arbeiten zum Thema Industrie 4.0 aktiv voran. Das Ziel ist hierbei, das Thema übergreifend zu koordinieren und Umsetzungsempfehlungen insbesondere im Hinblick auf ein gemeinsames internationales Vorgehen zu erarbeiten. Zeitgleich wurde bei DIN ein nationales Spiegelgremium implementiert, um Interessenten national eine Plattform zu bieten, die internationalen Arbeiten maßgeblich mitzugestalten.

Das **IEC/SyC SM**⁶ „System Committee Smart Manufacturing“ ist direkt unter dem Standardisation Management Board (SMB) von IEC angesiedelt und hat seine Arbeit 2018 aufgenommen. Die Aufgaben des **IEC/SyC SM** sind neben der Koordination der Normungsaktivitäten die Identifikation von Lücken und Überschneidungen insbesondere in der Zusammenarbeit relevanter Normungsorganisationen und Konsortien. Aufgrund der fachlichen Überlappungen der Arbeiten von **ISO/TC 184**⁷ und **IEC/TC 65**⁸ ist zwischen den beiden Gremien im Juli 2017 die ISO/IEC Joint Working Group 21 (**ISO/IEC JWG 21**)⁹ „Smart Manufacturing Reference Model(s)“ konstituiert worden. Den Vorsitz der **ISO/IEC JWG 21** teilen sich derzeit Deutschland und Japan. Ziele sind die Harmonisierung existierender Referenzmodelle und die Entwicklung von Smart-Manufacturing-Referenzmodellen, insbesondere im Hinblick auf verschiedene Aspekte wie Lebenszyklus und die technischen beziehungsweise organisatorischen Hierarchien zu Objekten (Assets). Zusätzlich ist die Entwicklung einer grundlegenden Architektur zu Smart-Manufacturing-Komponenten als wesentlicher Teil der virtuellen Darstellung von Objekten geplant (Industrie 4.0-Komponente).

5 **ISO/TMBG/SMCC** „ISO Smart Manufacturing Coordinating Committee“ (SMCC)

6 **IEC/SyC SM** „System Committee Smart Manufacturing“

7 **ISO/TC 184** Automation systems and integration

8 **IEC/TC 65** Industrial-process measurement, control and automation

9 **ISO/IEC JWG 21** Joint Working Group 21 „Smart Manufacturing Reference Model(s)“

Die CEN-CENELEC-ETSI „Coordination Group on Smart Manufacturing“ (**SMa-CG**¹⁰) wurde 2019 gegründet und wird von DIN und DKE geleitet. Die Koordinierungsgruppe berät zu den laufenden europäischen Aktivitäten rund um das Thema Smart Manufacturing und synchronisiert die Position von CEN, CENELEC und ETSI gegenüber SDOs und anderen Dritten bezüglich der Normung und Standardisierung.

¹⁰ **SMa-CG** CEN-CENELEC-ETSI „Coordination Group on Smart Manufacturing“



5

NORMUNGSASPEKTE
IN DEN
SCHWERPUNKTTHEMEN

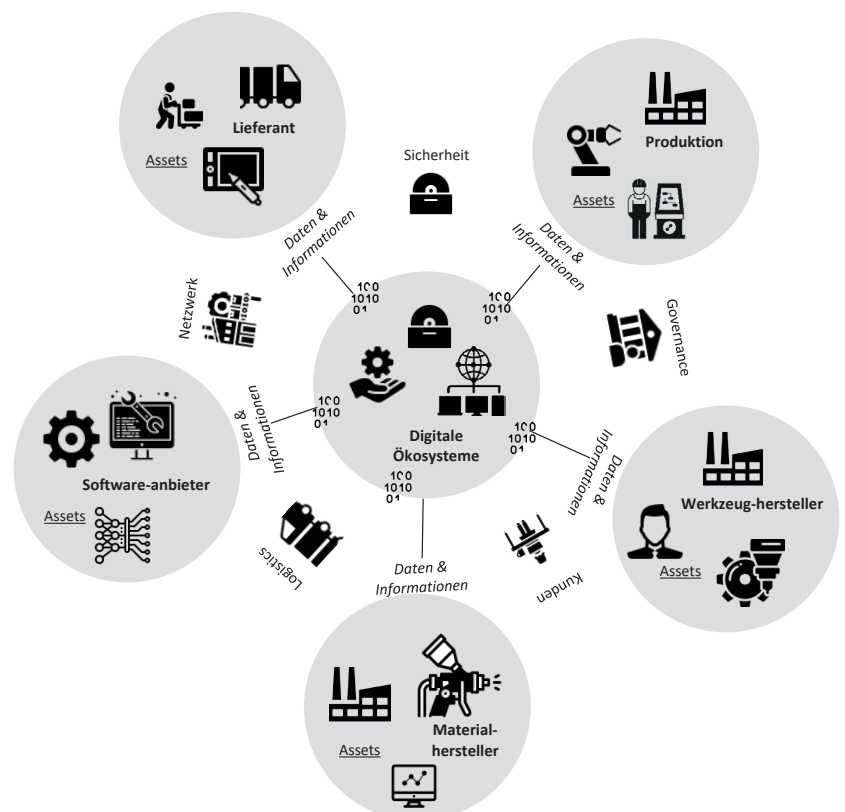
5.1 Aspekt 1: Interoperabilität

5.1.1 Eigenschaften und deren Systemintegration in industriellen Anwendungen

In einem digitalen Ökosystem sind Unternehmen aus verschiedenen Branchen, wie Zulieferer, Logistikunternehmen und Hersteller, in einem komplexen Wertschöpfungssystem miteinander verbunden. Um ihr Wertschöpfungsangebot bereitzustellen, setzen Unternehmen verschiedene technische Systeme ein wie Fabriken, Anlagen, Werkzeuge, variable Software und Steuerungssysteme, Engineering-Tools oder auch einfache Schrauben.

Für die **Interoperabilität** von technischen Systemen im industriellen Produktionsumfeld [11], [12], [13] spielt der Informationsaustausch zwischen Systemen eine wesentliche Rolle. Dabei sollen insbesondere heterogene Systeme die Fähigkeit bzw. **Eigenschaften** aufweisen, selbstständig und zielgerichtet, ohne die Hilfe externer Einheiten zu interagieren (siehe auch Kapitel 5.1.3). Um ein System zu klassifizieren und die Daten und Informationen durch einfache Werte auszudrücken, werden hierfür Merkmale bzw. Eigenschaften verwendet.

Abbildung 3: Assets und Interoperabilität im industriellen Produktionsumfeld (Quelle: O. Meyer, Fraunhofer IPA)



5.1.1.1 Technische Systeme

Bei Industrie 4.0 geht es bekanntlich um die Entwicklung intelligenter **technischer Systeme** [14], die sich im Betrieb an ihre Umgebung und die Bedürfnisse ihrer Nutzenden anpassen können [15], sowie um eine immer weitergehende und damit unbedingt effizient vorzunehmende Integration verschiedenster technischer Teilsysteme in die entstehenden digitalen Geschäftsprozesse. Versteht man „Intelligenz“ als „Problemlösekompetenz“, kann man auch technischen Systemen eine Intelligenz zusprechen, soweit sie für einen Menschen bzw. eine Organisation definierte Probleme lösen. Solche Systeme sollen in der Lage sein, Daten einfach und umfassend zu strukturieren, zu verarbeiten, zu speichern und mit anderen Systemen auszutauschen.

Da die Interaktion und Kommunikation zwischen den Systemen ständigen Wechselwirkungen in diesen Beziehungen unterliegen (siehe **Abbildung 3**), ist es das Ziel der Industrie 4.0-Normung, Wege aufzuzeigen, wie solche Systeme unabhängig voneinander aufgebaut werden können und dennoch voll interoperabel arbeiten.

Interoperabilität im industriellen Produktionsumfeld beschreibt die Fähigkeit von autonom und unabhängig arbeitenden heterogenen Systemen, ohne Hilfe externer Einflüsse aus der physischen oder realen Welt zielgerichtet zusammenzuarbeiten und Informationen eindeutig auszutauschen [15] (siehe auch Beitrag zur semantischen Interoperabilität in Kapitel 5.1.3). Im Kontext von Industrie 4.0 wird von „Assets“ gesprochen, bei denen es sich nicht um irgendwelche technischen Systeme handelt, sondern um Gegenstände, die einen Wert für eine Organisation haben (siehe IEC TS 62443-1-1:2009¹¹ und ISO/IEC 20924:2021¹²).

5.1.1.2 Anforderungen an Assets als soziotechnische Systeme

Architektonisch lassen sich alle Assets in ihren komplexen Zusammenhängen mit dem Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 [12] beschreiben. Bezieht man die Wechselbeziehungen zwischen Menschen und Maschinen oder Anlagen in ein technisches System ein, spricht man von einem **soziotechnischen System** [16]. Da Industrie 4.0-Wertschöpfungsnetzwerke dem Wesen nach Systeme von Systemen sind, ergeben sich daraus Konsequenzen nicht nur im Hinblick auf eine technologisch verstandene Interoperabilität, sondern auch im Hinblick auf eine menschengerechte Gestaltung von Industrie 4.0-Arbeitssystemen. Solche Konsequenzen ergeben sich insbesondere für den Gegenstandsbereich der Systemgestaltung, bei dem eine integrierte Betrachtung und Gestaltung von Technik, Organisation und Person (soziotechnische Systemgestaltung) unabdingbar ist. Daraus ergibt sich die Handlungsempfehlung [HE 5.1.1-1 V5].

Zu den typischen Merkmalen von Industrie 4.0-Wertschöpfungsnetzwerken gehört, dass sie aus einem System von Systemen bestehen und daher eine hohe Eigenkomplexität aufweisen. Diese wird aufgrund des weiterhin hohen technologischen Innovationstempos und der erhöhten Veränderungsdynamik (bis hin zu disruptiven Innovationen) verstärkt. Der Umgang mit dieser Komplexität von Industrie 4.0-Wertschöpfungsnetzwerken ist wie zuvor geschildert bereits in der Phase der Anforderungsdefinition und Zielplanung im Hinblick auf das Gesamtsystem eine große Herausforderung

für eine menschengerechte Auslegung und Gestaltung von Industrie 4.0-Arbeitssystemen. Für die Mikroebene der Gestaltung (z. B. Gestaltung von Assistenzsystemen, Mensch-Maschine-Schnittstellen) bedeutet dies: Insbesondere mit dem Ziel, lernförderliche Arbeit zu gestalten, ist eine genaue Abwägung zwischen dem Einsatz von Künstlicher Intelligenz, Automation und Assistenzsystemen (wie Datenbrillen oder Tablets) auf der einen Seite und der Schaffung von Handlungs- und Entscheidungsspielräumen, Lernerfordernissen und Entwicklungsanreizen auf der anderen Seite wichtig. Es gilt demnach nicht die pauschale Aussage, dass Komplexität immer reduziert werden sollte, sondern eine differenzierte Betrachtung ist notwendig. Die Auswahl und Darstellung komplexer Informationen sollten ebenfalls abgewogen werden [HE 5.1.1-2 V5].

Im Sinne einer prospektiven oder präventiven Arbeitsgestaltung ist diese ganzheitlich-integrative Perspektive bereits zu Beginn einzunehmen. Aber auch wenn Elemente der Industrie 4.0 nachträglich in bestehende Systeme integriert werden, sollten bereits in der Phase der Anforderungsermittlung neben technischen auch soziale Aspekte berücksichtigt werden (soziotechnisches Requirement Engineering). In der Version 4 der NRM Industrie 4.0 [2] wurde darauf verwiesen, dass Arbeitsgestalter*innen Hilfestellung beim Umgang mit dieser komplexen Anforderung benötigen. Der NA 023-00-06 AA „Ergonomie der Arbeits- und Produktgestaltung für die vernetzte und intelligente Digitalisierung“ arbeitet daher aktuell an einem Projekt zur Unterstützung betrieblicher Arbeitsgestalter*innen mit dem Ziel der Bereitstellung von Orientierungswissen [HE 5.1.1-3 V5].

Die Arbeitenden sollten in ihrer Rolle als künftige Key-User des Industrie 4.0-Systems von Arbeitssystemen als Entwicklungs- und Gestaltungspartner*innen, die mit ihrem Erfahrungswissen einen erfolgskritischen Beitrag zur Gebrauchstauglichkeit und menschengerechten Gestaltung des jeweiligen Arbeitssystems leisten, wertgeschätzt und berücksichtigt werden.

Für den Gesamtprozess der Systemgestaltung wird anstelle des herkömmlichen Wasserfallmodells der (iterativen) Anforderungsdefinition, Entwicklung, Realisierung und Implementierung angesichts der technologischen, ökologischen, weltwirtschaftlichen und soziokulturellen Entwicklungsdynamik (Stichwort: VUKA) ein agil-iteratives Vorgehen erforderlich, weil nur so eine dem Stand der Technik und den soziotechnischen Erfordernissen entsprechende Prozess- und Ergebnisqualität zu gewährleistet ist [HE 5.1.1-4 V5].

11 IEC TS 62443-1-1:2009 „Industrial communication networks – Network and system security – Part 1-1: Terminology, concepts and models“
 12 ISO/IEC 20924:2021 „Information technology – Internet of Things (IoT) – Vocabulary“

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten der dynamischen Aufgabenallokation (Funktionsteilung) zwischen Mensch und Maschine (z. B. Aufgabenallokation wird auf Basis von Algorithmen tagesaktuell angepasst und vom System vorgegeben vs. Aufgabenallokation wird tagesaktuell durch die Bedienperson festgelegt). Diese sind mit unterschiedlichen psychosozialen Auswirkungen (z. B. Erleben von Selbstwirksamkeit) verbunden. Die Allokation von Aufgaben steht jedoch dem bisher üblichen Prozess der Festlegung im Vorfeld der Aufgabenbearbeitung durch Planer*innen ohne Einflussmöglichkeiten für Beschäftigte entgegen und sollte daher für Beschäftigte transparent und nachvollziehbar gestaltet werden. Des Weiteren ist eine Vorgehensweise zur prozessbegleitenden Evaluation der adaptiven Aufgabenallokation mit besonderem Augenmerk auf Safety, Security und psychosoziale Auswirkungen von Beschäftigten zu erarbeiten und in die Normung zu integrieren [HE 5.1.1-5 V5]. Hier besteht ein Querbezug zum Thema Datenschutz.

Wenn durch eine dynamische Gestaltung der Mensch-Maschine-Funktionsteilung bei der Arbeit mit einem digitalen Assistenzsystem je nach den situativen Gegebenheiten, der aktuellen Aufgabenstellung und dem verfügbaren Wissen und Können der Arbeitenden der Mensch im Prozess gehalten wird sowie Handlungs- und Entscheidungsspielräume, Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten beim Menschen verbleiben, dann kann eine solche Lösung als menschengerechte Gestaltung eines Industrie 4.0-Arbeitssystems eingestuft werden. Mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, dass sich daraus außer den Aspekten „Lernförderliche Arbeitsgestaltung“ und „Prävention/Erhalt der menschlichen Arbeitsfähigkeit“ gleichzeitig eine höhere Gesamtzuverlässigkeit der Industrie 4.0- Wertschöpfungsprozesses ergibt, weil die Arbeitenden in der Lage sind und bleiben, auf Abweichungen und unerwartete Systemzustände proaktiv und situationsangemessen zu reagieren. Insbesondere in risikobehafteten Anlagen können so Fehler vermieden werden, die mit großen Konsequenzen für Mensch und Umwelt verbunden sein können [HE 5.1.1-5 V5], [HE 5.1.1-6 V5], [HE 5.1.1-7 V5].

5.1.1.3 Merkmale und eine gemeinsame Sprache für Industrie 4.0

Jedes Asset hat bestimmte Eigenschaften bzw. Merkmale, die in der Informationswelt beschrieben werden, wobei die beiden Begriffe „Eigenschaft“ und „Merkmal“ oft gleichbeutend eingesetzt werden. Um eine klare Semantik zu erreichen, werden im folgenden Text die Begriffe „Merkmal“ und „Property“

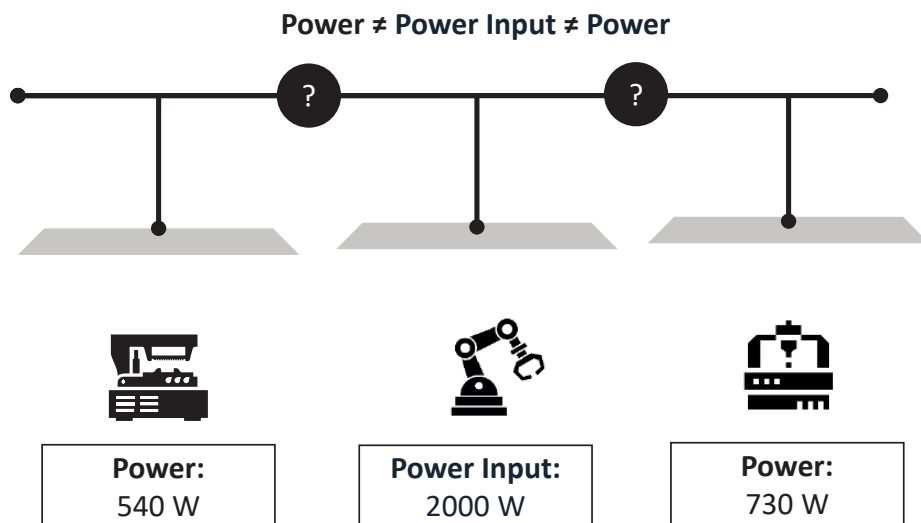
verwendet. Ein **Merkmal** ist dabei eine in der physikalischen Welt beobachtete Charakteristik eines Assets, das z. B. auch zur Klassifizierung des Assets verwendet werden kann. Ein **Property** ist eine definierte Repräsentation solch eines Merkmals in der Informationswelt. Die Verwendung von international standardisierten Properties wird empfohlen.

Jedes Merkmal wird fest einem Asset zugeordnet. So werden beispielsweise die Merkmale eines Assets durch seine Bauteile, Werkstoffe und Geometrie definiert, die durch Properties vollständig beschrieben werden können. Insbesondere die Fähigkeit eines informationstechnischen Systems, Informationen zu erfassen und mit den geringsten inhaltlichen Verlusten über Systemgrenzen hinweg zu kommunizieren, wird durch die Verwendung standardisierter Properties ermöglicht. Das Konzept der semantischen Interoperabilität postuliert, dass der Austausch von Ausprägungen von Merkmalen, im Sinne von **standardisierten Properties**, es den empfangenden Systemen ermöglicht, die Daten sachlich korrekt zu interpretieren und sie in Folgeprozessen wie Bestellungen, Fertigungsaufträgen und Wartungshinweisen zu nutzen.

Die Beschreibung der Eigenschaften eines Assets ist eine wesentliche Grundvoraussetzung, für seine Repräsentation. Hierbei werden die Begriffsdefinition und Bezeichnung des Merkmals, seine Wertespezifikationen der Verwendung, die Identifikation sowie das Schema der übermittelten Daten in Form einer (binären) datentechnischen Repräsentation mit Attributen und Referenzen in Betracht gezogen. Informationen in einer solchen Form ermöglichen es, das Asset in der physischen Welt als eine Liste von Merkmalen mit den Informationen zu erfassen und es in die virtuelle Welt zu spiegeln.

Es reicht aber nicht aus, ein Asset nur mit Merkmalen zu beschreiben. Damit ein Asset mit einem anderen Asset Informationen austauschen kann (siehe [Abbildung 4](#)), muss eine **gemeinsame Sprache [17] auf Basis der Semantik** (siehe auch [Kapitel 5.1.3](#)), welche die Interaktionsmechanismen beinhaltet, definiert werden, die ein einheitliches Modell zur Verarbeitung von Informationen darstellt. Während es für Menschen ausreicht, die Informationen aufgrund ihrer Erfahrungen und ihres Wissens für die Interaktion in ihrer Umgebung vage zu interpretieren und ihre Annahmen über ihren tatsächlichen Handlungskontext jederzeit modifizieren zu können, können Maschinen nur dann richtig funktionieren, wenn ihr Handlungskontext eindeutig ist [18]. Das bedeutet, dass es für die Durchführung der unternehmensübergreifenden computergestützten Prozesse, wie z. B. Entwicklungs-, Fertigungs- oder Vertriebsprozesse, unerlässlich ist, dass

Abbildung 4: „Lingua franca“ als die größte Herausforderung der Industrie 4.0 (Quelle: O. Meyer, Fraunhofer IPA nach [1])



solche Merkmale und veränderliche Prozesszustände über die betriebliche Informationswelt hinaus klar definiert sind. Nur so können die Rechner auf beiden Seiten die übermittelten Informationen entschlüsseln und sich gegenseitig verstehen.

Weitere wichtige normative Aktivitäten für die Produktion setzen auf semantische Schnittstellenstandards wie OPC UA [20] für Produkte des Maschinen- und Anlagenbaus, die in der diskreten und kontinuierlichen Produktion eingesetzt werden. Der Datenaustausch zwischen Assets umfasst semantisch standardisierte Informationen aus der Lebenszyklusphase der Produktion sowie zugehörige notwendige Informationen zu bspw. Identifikation. Es existieren zwei Klassen der Schnittstellenstandards. Domänenspezifische Standards definieren spezifische Informationen der einzelnen Maschinen- und Komponententypen, wie beispielsweise Robotik, Werkzeugmaschinen, Spritzgussmaschinen. Die Schnittstellenstandardreihe „OPC UA for Machinery“ definiert domänenübergreifende Informationen anhand von ausgewählten Anwendungsfällen, wie beispielsweise Statusüberwachung, Ergebnisübertragung oder Auftrags- und Energiemanagement. Ziel ist eine flächendeckende semantische Beschreibung der Produktionsinformationen für den digitalen Zwilling der Produktion.

Die OPC UA-Schnittstellenstandards für die Produkte des Maschinen- und Anlagenbaus beinhalten Stand 2022 rund 60 Spezifikationen [21], die als Open Source veröffentlicht sind. In der Entwicklung sind weltweit rund 600 Unternehmen¹³, Organisationen sowie diverse Sektor-Komitees ein-

gebunden, um eine einheitliche Sprache für die Produktion als Defacto-Standard für die interoperable Kommunikation von Produktionsinformationen von der Produktion bis in die Cloud-Systeme zu entwickeln¹⁴ (siehe auch [AE 5.1.4-5 V5]).

5.1.1.4 Schaffung standardisierter Dictionaries zur Abbildung der Eigenschaften

Die Methodik zur Abbildung der Eigenschaften ist durch Normen festgelegt. Merkmale, die die Interoperabilitätsanforderungen erfüllen, werden zum Beispiel über **Wörterbucheinträge** des ECLASS Content Development Platform (CDP) [22], in IEC durch IEC 61360-4 Common Data Dictionary¹⁵ (IEC CDD) oder in ISO/TC 184/SC 4¹⁶ „Industrial data“ durch ISO 22745¹⁷ standardisiert.

Derzeit gibt es Bestrebungen, das aus der Informationstechnik bekannte Plug-and-Play-Konzept auf die Automatisierungstechnik zu übertragen, um das sogenannte Plug-and-Produce zu erreichen. Ein wichtiger Schritt des Konzepts ist die Abstimmung von Anforderungen und die Sicherstellung der Geräteeigenschaften [19] [HE 5.1.1-8 V5]. Die Konzepte der IEC 62832¹⁸-Reihe „Digital factory framework“, um Beziehungen zwischen Property-Value-Statements verschiedener

13 VDMA „Übersicht der OPC UA Arbeitskreise“

14 VDMA „Weltsprache der Produktion basierend auf OPC UA“

15 IEC 61360-4 „Common Data Dictionary“

16 ISO/TC 184/SC 4 „Industrial data“

17 ISO 22745-Reihe „Industrial automation systems and integration – Open technical dictionaries and their application to master data“

18 IEC 62832-Reihe „Digital factory framework“

Assets zu beschreiben und automatisiert zu vergleichen, sollen an dieser Stelle weiterhin untersucht werden. Weitere Aktivitäten in dieser Hinsicht sollten in Betracht gezogen werden:

- Harmonisierung zwischen ECLASS und IEC CDD (siehe auch [HE 5.1.1-11 V5]);
- umfassende Beschreibung von Systemkomponenten in IEC CDD;
- Definition von standardisierten Modellen aus der Domäne mittels zukünftiger Beschreibung durch IEC-Arbeitsgruppen;
- Entwicklung eines Abbildungsverfahrens von OPC UA Companion Specification zu einer Merkmalsbeschreibung (siehe auch [AE 5.1.4-5 V5] und [HE 5.1.4-6 V5]).

Einen weiteren Schwerpunkt in der Standardisierung von Merkmalen stellen die **Dokumentation und der Austausch von instandhaltungsrelevanten Daten** und Informationen über den Lebenszyklus einer Anlage dar [HE 5.1.1-9 V5]. Ein ultimatives Ziel ist es daher, das entsprechende Vokabular für die technische Dokumentation zu standardisieren. Die Arbeiten in diesem Bereich werden im Rahmen der Normen **iiRDS** und **VDI 2770 Blatt 1**¹⁹ fortgesetzt [HE 5.1.1-10 V5]. Die gemeinsame Arbeit des **iiRDS**-Konsortiums mit dem VDI-Ausschuss wurde in den letzten Jahren aktiv vorangetrieben, um die Kompatibilität zwischen den beiden Normen zu gewährleisten. Hierzu wurden 2022 nötige Vorbereitungen für die Übersetzung der **VDI 2770 Blatt 1** in verschiedene Sprachen geprüft und es wurde ein internationaler NWP (New Work Proposal)-Antrag in **IEC/TC 3/WG 28**²⁰ eingereicht. Das Projekt wurde unter deutscher Leitung als **IEC PAS 63485 ED1**²¹ „Intelligent Information Request and Delivery Specification (**iiRDS**) – A Process Model for Information Architecture“ gestartet.

In IEC werden aktuell Arbeiten bei **IEC TC 65/SC 65E/WG 2**²² sowie **IEC SC 3D**²³ durchgeführt. Die **IEC TC 65/SC 65E/WG 2** entwickelt die Methoden zur Standardisierung der

19 **VDI 2770 Blatt 1** „Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen – Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie – Grundlage“

20 **IEC/TC 3/WG 28** „Intelligent Information Request and Delivery specification (**iiRDS**) – A Process Model for Information Architecture“

21 **IEC PAS 63485 ED1** „Intelligent Information Request and Delivery Specification (**iiRDS**) – A Process Model for Information Architecture“

22 **IEC TC 65/SC 65E/WG 2** „Product properties & classification“

23 **IEC SC 3D** „Classes, Properties and Identification of products – Common Data Dictionary (CDD)“

Beschreibungen von intelligenten Assets in der Fertigung und spezifiziert, wie die Asset-Beschreibungen für den elektronischen Datenaustausch zwischen zwei Computersystemen, beispielsweise einem Kunden- und einem Lieferantensystem, unter Verwendung von Merkmalen und Merkmalslisten verwendet werden können. Die Definition, Strukturierung und Identifizierung von Klassen und Merkmalen, strukturelle Entwürfe von Produktdaten, Wörterbüchern und Ontologien, Veröffentlichung von Informationen sowie die Pflege und Qualitätskontrolle des IEC CDD werden weiterhin in **IEC SC 3D** durchgeführt [HE 5.1.1-12 V5].

Die Erweiterung der aktuellen Normen um die Semantik ist in den letzten Jahren aktiv vorangeschritten (siehe auch [HE 5.1.4-7 V5]). Das in 2021 veröffentlichte **Whitepaper** „Modelling the Semantics of Data of an Asset Administration Shell with Elements of ECLASS“ beschreibt die Anforderungen an das ECLASS Dictionary (inklusive semantischer Anforderungen für Nutzung bestimmter Datentypen). Die ECLASS Association hat ein Projekt gestartet, um diese Anforderungen umzusetzen, und hat begonnen, Datenstrukturen für die Unterstützung von Interoperabilität zu definieren. Es wird erwartet, dass diese Änderungen und Datenstrukturen in der nächsten Release von ECLASS 13.0 veröffentlicht werden.

In der IEC hat **IEC SC 3D** Arbeiten gestartet, um die grundlegenden Definitionen von IEC Dictionary zu aktualisieren und die semantischen Anforderungen für IEC Dictionary zu unterstützen. Es wurden im Jahr 2022 neue Projekte gestartet:

- **IEC 61360-1**²⁴: Die ED4 der Norm soll in ED5 überarbeitet und die Methoden und Anforderungen aus den semantischen Arbeiten sollen berücksichtigt werden. Dabei wird beispielsweise auch die Unterstützung „dynamische Property“ diskutiert.
- **IEC 61360-6**²⁵: Die ED1 wird überarbeitet und eine verbesserte Guideline für die Definition von semantischen Inhalten in der IEC CDD wird entwickelt.
- **IEC 61360-7 DB**²⁶: Ein neues Product Data Dictionary wurde veröffentlicht, das Datenstrukturen bereitstellt, welche gleichermaßen in vielen verschiedenen Domänen verwendet werden können.

24 **IEC 61360-1** ED5 „Standard data element types with associated classification scheme – Part 1: Definitions – Principles and methods“

25 **IEC 61360-6** ED2 „Standard data element types with associated classification scheme for electric components – Part 6: CDD modelling guideline for the use of concepts“

26 **IEC 61360-7 DB** „Data dictionary of cross-domain concepts“

5.1.1.5 Absichten zur Harmonisierung der Merkmale im globalen normativen Umfeld

Die parallelen Entwicklungen, die heute an einigen Stellen in IEC, ISO und ECLASS zu verzeichnen sind, müssen weiter durch Aktivitäten zur **Harmonisierung der Merkmale** zwischen den beteiligten Gremien koordiniert werden [HE 5.1.1-11 V5]. In diesem Zusammenhang wurde das gemeinsame Projekt COMDO (One COMmon Data RepOsitory for Smart Manufacturing), das von ECLASS und IEC zusammen mit ISO Ende 2020 initiiert wurde, aktiv vorangetrieben mit dem Ziel, die Entwicklung eines einzigen gemeinsamen Daten-Repository zu realisieren. Auch hier konnten Fortschritte hinsichtlich aktueller Implementierungsansätze für ein gemeinsames Repository (siehe **Abbildung 5**) erreicht werden, um über relevante Anwendungsfälle einen Plan für die Implementierung zu entwickeln [HE 5.1.1-12 V5] (siehe auch [HE 5.1.4-7 V5]). Im nächsten Schritt wird ein realisierbarer Vorschlag für die Implementierung an die Technischen Steuerungsgremien der Projektpartner (IEC/SMB, ISO/TMB, ECLASS Board) vorgelegt werden.

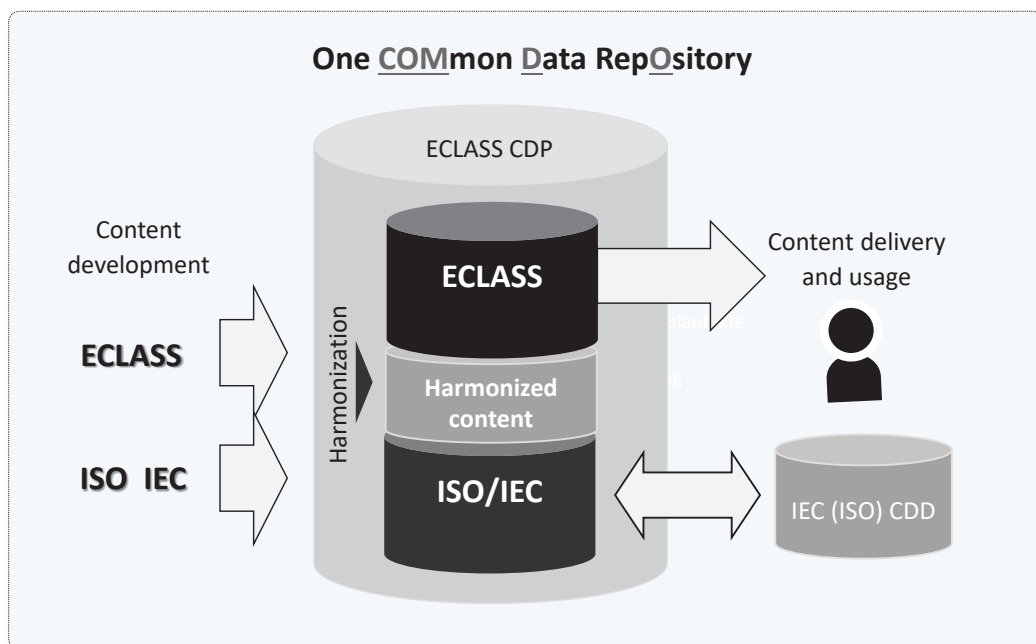
5.1.2 Referenzarchitekturmodelle

Referenzarchitekturmodelle liefern notwendige Werkzeuge und Artefakte und setzen strukturelle Rahmenbedingungen für die reibungslose Umsetzung von Industrie 4.0-Szenarien. Gerade in digitalen Ökosystemen spielen Referenzarchitekturmodelle eine besondere Rolle, da sie die Integration und Interaktion von technischen Objekten in der Wertschöpfungskette sicherstellen.

Als Architektur eines Softwaresystems wird im Wesentlichen seine Struktur verstanden im Sinne der kompositionellen Beziehungen seiner interagierenden Komponenten (siehe **ISO/IEC/IEEE 42010**²⁷ sowie Ergebnisse aus dem Fortschrittsbericht [1] zu [HE 2.2-1 V4] und [HE 2.2.-2 V4]). Die Kenntnis der Auswirkungen dieser Beziehungen ermöglicht dem Architekten vor allem die effiziente Implementierung von Anforderungen in technischen Systemen [23]. Daher können Referenzarchitekturen im Sinne von allgemein anerkannten Prinzipien der Strukturierung von (Software-)Systemen sehr hilfreich für die Systematisierung des Prozesses der Implementierung von Anforderungen und Verständigung darüber sein und spielen entsprechend in der Standardisierung eine wichtige Rolle.

27 **ISO/IEC/IEEE 42010** „Systems and software engineering – Architecture description“

Abbildung 5: Harmonisierung der Merkmale in COMDO-Projekt (Quelle: O. Meyer, Fraunhofer IPA nach COMDO)



5.1.2.1 Neue Anforderungen an Referenzarchitekturmodelle für Industrie 4.0

Die Modellierung solcher Referenzarchitekturen erfolgt in der Regel nicht nur auf der Systemebene, sondern schließt die regulatorische Ebene mit ein, die letztlich darauf abzielt, die Entwicklung eines technischen Systems in seinem Lebenszyklus nach vordefinierten Regeln zu erfassen. Durch die Anwendung beider Ebenen können sich verschiedene Muster herausbilden. Diese werden oft als Modelle festgehalten und sind der notwendige Bezugspunkt für einen Architekten, die komplette Architektur (z. B. Unternehmens-IT-Architektur, Cloud-Architektur, IoT-Architektur usw.) aufzubauen. Die Konformität mit den Regeln ist die Grundvoraussetzung und der Ausgangspunkt für die Interoperabilität in der Wertschöpfungskette. Dies ermöglicht dem Architekten, Systeme sowohl in ihren einzelnen Teilen als auch in ihrer Komplexität zu beschreiben (siehe auch Ergebnisse aus dem Fortschrittsbericht [1] zu [HE 2.2-3 V4]).

Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [12] ist eine dreidimensionale Zusammenführung der wichtigsten Aspekte von Industrie 4.0. Das Konzept wurde als IEC PAS 63088 veröffentlicht und eine Ausgabe als internationale Norm ist in Vorbereitung. Es stellt sicher, dass alle Teilnehmenden von Industrie 4.0 eine gemeinsame Perspektive einnehmen und ein gemeinsames Verständnis aufbauen.

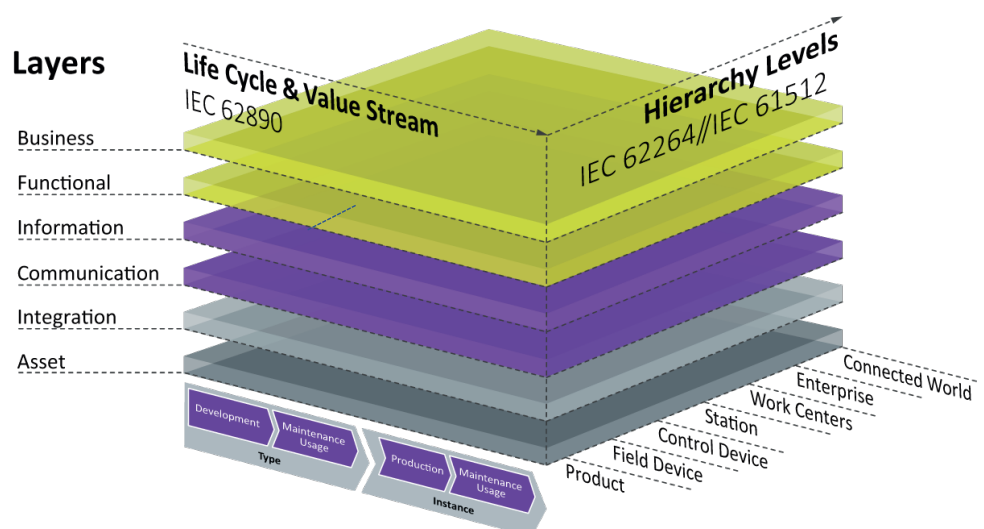
Wie die **Abbildung 6** zeigt, bilden die drei Achsen alle wesentlichen Aspekte von Industrie 4.0 ab. Sie ermöglichen es, einen Gegenstand wie beispielsweise eine Maschine, im Modell

einzuordnen. So können mit dem RAMI 4.0 hochflexible Industrie 4.0-Konzepte beschrieben und umgesetzt werden. Das Referenzarchitekturmodell erlaubt dabei die schrittweise Migration aus der heutigen in die Industrie 4.0-Welt. Ausführliche Details zu diesem Thema sind in Version 4 der NRM Industrie 4.0 [2] beschrieben.

Insbesondere semantische Interoperabilität spielt in Bezug auf RAMI 4.0 eine wesentliche Rolle (**Kapitel 2** sowie **Kapitel 5.1.3**) [12], [24]. RAMI 4.0 und die Beschreibungselemente des semiotischen Dreiecks können direkt miteinander in Bezug gesetzt werden. Die (x-)Achse des RAMI 4.0 von der Typentwicklung bis zur Nutzung der Instanz wird mit semantischen Mitteln (aus der semantischen Domäne im semiotischen Dreieck als sog. Typograph) deklariert. Die (y-)Achse des RAMI 4.0, die das Produkt in seiner vernetzten unternehmerischen, technischen Welt, d. h. Zonen der Sicherheit, beinhaltet, wird mit physischen, technischen Mitteln (aus der semiotischen Domäne der Dinge (Geräte, Maschinen etc.)) realisiert. Die (z-)Achse des RAMI 4.0, die die Systemarchitektur beinhaltet, kann mit sprachlich-ontologischen Mitteln, verwendet in Normen, erfasst werden, denn es geht um die Integration, Kommunikation, Informationsableitung, Funktionen und Geschäftsprozesse, in welchen die Assets, also die semantisch und physisch betrachteten Dinge, benutzt und in welche sie eingebettet werden.

Die Achse ‚Lebenszyklus und Wertschöpfung‘ wird im semiotischen Dreieck als schrittweise semantische Veränderung vom Konzept zum Produkt verstanden und damit mit semantischen Mitteln (z. B. graphenbasierte Artefakte oder modale Logiken) beschrieben.

Abbildung 6:
Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)
(Quelle @ Plattform Industrie 4.0 und ZVEI)



5.1.2.2 Aktuelle Arbeiten im Umfeld des Industrial Internet of Things

Eine intelligente und vernetzte Fabrik, z. B. im Sinne der IEC 62832-Reihe „Digital factory framework“, baut auf dem **Internet of Things (IoT)** und der Vision des digitalen Zwillings (siehe auch Kapitel 5.1.4) auf. Eine derartige Fabrik ist eine Produktionsstätte, in der alle „Dinge“ – z. B. Industrieanlagen, Gebäude, Haushaltsgeräte oder Autos – im Sinne des IoT vernetzt sind und in der Lage sind, verschiedene Arten von Informationen zu verarbeiten, die Informationen interoperabel und semantisch korrekt in der Wertschöpfungskette auszutauschen, wie im vorigen Abschnitt beschrieben.

In der Fertigung spricht man in der Regel von Industrial IoT (IIoT). Diese beginnt mit dem Anschluss von Sensoren und Geräten an ein Netzwerk und der Erfassung von Daten, welche die Produktivität durch die Optimierung von Produktionsprozessen oder der Logistik in Verbindung mit Softwaresystemen wie z. B. ERP oder physischen Anlagen erheblich verbessern können. Sensoren werden benötigt, um die Sammlung verschiedener IST-Datensätze und die Verfolgung von aktuellen Produktionsinformationen zu erfassen. Die IST-Datensätze können vom digitalen Zwilling mit den SOLL-Datensätzen in Realzeit verglichen werden.

Die Aspekte der Vernetzung sowie die Referenzarchitekturen, die dem IoT zugrunde gelegt sind, werden in ISO/IEC JTC 1/SC 41²⁸ „Internet of Things and Digital Twin“ aktiv standardisiert. In diesem Kontext werden aktuell viele Standards in ISO/IEC JTC 1/SC 41 aufgeführt, die den wichtigen Baustein für die Entwicklung intelligenter Systeme liefern. National leistet auch der gleichnamige Normenausschuss DIN NA 043-01-41 AA²⁹ einen wesentlichen Beitrag zur deren Entwicklung (siehe auch [HE 5.1.4-3 V5], [HE 5.1.4-4 V5]):

- ISO/IEC 30141:2018³⁰, ED1 (2018-08-30) „Internet of Things (IoT) – Reference architecture“, die sich derzeit noch in Überarbeitung befindet;
- ISO/IEC 21823³¹-Reihe „Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT systems“, deren erste vier Teile bereits veröffentlicht wurden;

28 ISO/IEC JTC 1/SC 41 „Internet of Things and Digital Twin“

29 DIN NA 043-01-41 AA „Internet der Dinge (IoT) und Digitaler Zwilling“

30 ISO/IEC 30141:2018 „Internet of Things (IoT) – Reference architecture“

31 ISO/IEC 21823-Reihe „Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT systems“

- ISO/IEC 30165:2021³², ED1 (2021-07-06), „Internet of things (IoT) – Real-time IoT framework“;
- ISO/IEC TR 30176:2021³³, ED1 (2021-11-04), „Internet of Things (IoT) – Integration of IoT and DLT/blockchain: Use cases“;
- ISO/IEC 30162:2022³⁴, ED1 (2022-02-07), „Internet of Things (IoT) – Compatibility requirements and model for devices within Industrial IoT systems“;
- ISO/IEC 30147:2021³⁵, ED1 (2021-05-28), „Internet of Things (IoT) – Integration of IoT trustworthiness activities in ISO/IEC/IEEE 15288 system engineering processes“.

5.1.2.3 Cloud-Computing und industrielle Cloud-Plattformen in der Standardisierung

Das IoT erzeugt große Mengen an Daten, die verarbeitet, analysiert und den Nutzenden zur Verfügung gestellt werden können. Dieser Prozess findet in einer kontinuierlichen Rückkopplungsschleife statt, die in der Regel entweder von Menschen oder von intelligenter Software wie maschinellem Lernen oder Künstlicher Intelligenz in nahezu Echtzeit durchgeführt wird. Damit die Nutzenden von schnelleren und zuverlässigeren Diensten profitieren können, sind in der Regel eine ortsnahe Rechnerleistung und Datenverfügbarkeit erforderlich. Dies kann im Rahmen des Edge-Computing erfolgen, d. h. in der Nähe des physischen Standorts oder der Datenquelle des Nutzenden, und kann einem Unternehmen erhebliche Vorteile bringen, wie z. B. die Nutzung sensibler Anwendungen und geringe Latenzzeiten, um Bandbreite zu sparen. Edge-Computing ermöglicht es einem Unternehmen, einen gemeinsamen Ressourcenpool über eine große Anzahl von Standorten zu verteilen und eine zentralisierte Infrastruktur zu skalieren, um die Anforderungen einer wachsenden Anzahl von Geräten und Daten zu erfüllen. In Verbindung mit IoT und **Cloud-Computing** kann zum Beispiel ein IoT-Gateway Daten zwischen dem Edge, der Cloud oder dem zentralen Rechenzentrum zur weiteren lokalen Verarbeitung senden.

32 ISO/IEC 30165:2021 „Internet of things (IoT) – Real-time IoT framework“

33 ISO/IEC TR 30176:2021 „Internet of Things (IoT) – Integration of IoT and DLT/blockchain: Use cases“

34 ISO/IEC 30162:2022 „Internet of Things (IoT) – Compatibility requirements and model for devices within Industrial IoT systems“

35 ISO/IEC 30147:2021 „Internet of Things (IoT) – Integration of IoT trustworthiness activities in ISO/IEC/IEEE 15288 system engineering processes“

Industrielle Cloud-Plattformen (z. B. basiert auf IoT-Architekturen) und Cloud-Computing spielen eine zentrale Rolle bei der Gestaltung von digitalen Ökosystemen. IoT-Lösungen der cloudbasierten Plattform, wie z. B. die Fernverwaltung heterogener intelligenter Objekte (Sensoren, Aktoren, Module), die nicht an bestimmte Kommunikationsprotokolle oder Netze zur Vernetzung mit der Serviceplattform gebunden sind, können in der aktuellen Energiekrise zum Tragen kommen. Die **ISO/IEC JTC1 Advisory Group on Systems Integration Facilitation (SIF)**³⁶ [25] die 2016 gegründet wurde, um das Fachwissen im JTC1-Komitee zu fördern und die Vorteile der Normung im Bereich der Systemintegration für komplexe Marktanforderungen zu nutzen, empfiehlt daher weitere Normungsarbeiten bzw. den Austausch mit dem International IoT Security Roundtable über das Internet of Things und Edge-Computing und deren Auswirkungen auf die Ziele für nachhaltige Entwicklung und den **European Green Deal** [26] (siehe auch **Kapitel 5.3**).

Um ein hohes Maß an Vertrauen zu schaffen und die Interoperabilität und Portabilität von Infrastrukturen, Daten und Diensten zu verbessern, tragen auch andere Initiativen zu den Konzepten der gemeinsamen Nutzung von Daten und der Datensouveränität bei. So werden beispielsweise die Grundprinzipien für eine souveräne gemeinsame Datennutzung auf der Grundlage offener Standards, wie die Entwicklung einer Referenzarchitektur (z. B. **International Data Spaces Association IDSA** [27]), die Erforschung, Entwicklung und Anwendung wertbasierter vertrauenswürdiger Technologien wie Künstliche Intelligenz, Datentechnologien und Robotik (z. B. **Big Data Value Association BDVA** [28]) und die notwendigen Werkzeuge für die Interoperabilität auf Maschinenebene (z. B. **umati** [29] basiert auf **OPC UA**, der Open Platform Communications Unified Architecture [16]) im Rahmen von **Gaia-X** weiterentwickelt.

Eine solche interdisziplinäre Zusammenarbeit muss grundsätzlich auf einer flexiblen und erweiterbaren regelbasierten Rahmenarchitektur aufbauen [HE 5.1.2-1 V5]. Diese sollte einen universell akzeptierten Rahmen für aktuelle und zukünftige Anforderungen an kognitive Dienste, Echtzeitanwendungen, Datenhoheit, Marktplätze und viele andere Anforderungen in einem digitalen Ökosystem ermöglichen. Zu diesem Zweck stellt beispielsweise das **Gaia-X**-Ökosystem seinen normativen Beitrag zu regulatorischen, branchenspezifischen und technischen Standards, die sogenannte

Architektur der Standards [30], den Teilnehmenden eines solchen Ökosystems zur Verfügung. Dieses Regelwerk, u. a. in dem neuen Release der **Gaia-X**-Architektur [31] weiter formuliert, verspricht ein hohes Maß an Interoperabilität und Sicherheit.

5.1.3 Semantik und Eigenschaften

Der Standardisierungsbedarf im Hinblick auf Semantik erfordert bei der Einführung und Nutzung für menschengeeignete Industrie 4.0-Systeme besondere Aufmerksamkeit.

Industrie 4.0-Systeme können für den Menschen geeignet sein, wenn die Industrie 4.0-Systeme an ihren Interaktionspunkten bzw. Mensch-Maschinen-Schnittstellen menschengeeignete, d. h. ‚interpretierbare‘ Interaktionen leisten können.

5.1.3.1 Semantische Interoperabilität

In Referenzarchitekturmodellen (z. B. RAMI 4.0) wird Interoperabilität in der Regel auf Kommunikationsschichten für den inhaltlichen Austausch von Informationen und Daten definiert. Dabei sehen nicht alle Modelle eine eigene Schicht zur **semantischen Interoperabilität** vor, die sowohl semantische als auch syntaktische Aspekte beinhaltet. Semantische Interoperabilität schließt also Formate und Bedeutung von ausgetauschten Daten miteinander ein. Semantisch wird die Interoperabilität zwischen Maschinen und Prozessen genannt, falls die Bedeutung der ausgetauschten Informationen zwischen Maschinen und Prozessen beibehalten werden kann.

Das heißt, semantische Interoperabilität schließt die Kommunikationsfähigkeit von Datenformaten UND zwischen Prozessen, die aus verschiedenen Domänen stammen, mit ein, beispielsweise wenn ein kontinuierlicher Messprozess Messwerte an einen Speicherprozess liefert (siehe auch **IEC-Whitepaper** „Semantic interoperability: challenges in the digital transformation age“ [32]). Dann muss also ein gemeinsames Verständnis zwischen Mess- und Speicherprozess bestehen, um kommunizieren bzw. sich synchronisieren zu können. Ebenso muss Kompatibilität zwischen der Erzeuger- und der Nutzerdarstellung der Messdaten bestehen, z. B. wenn ein analoges Messgerät an einen digitalen Speicher angeschlossen wird, müssen für einen bestimmten Arbeitsbereich die analogen Werte auf die digitalen Werte und ggf. umgekehrt abgebildet werden.

36 JTC 1 Advisory Group on Systems Integration Facilitation (SIF)

Bei der Betrachtung der **Mensch-Maschinen-Schnittstelle** ist zu beachten, dass maschinelle und menschengerechte Interpretationen verschieden sind. Menschengerechte bedeutet, dass der Mensch eine bestimmte, ihm angemessene Expertise ausdrücken und eigene Entscheidungen treffen kann und darf. Auf formaler Ebene bedeutet menschengerechte Interaktion, dass zwischen Mensch und Maschine Zeichen, Sätze und Symbole ausgetauscht werden können, die semantisch von Mensch und Maschine in vergleichbarer Art und Weise, ggf. auf der Grundlage von Normen, aber in jedem Fall auf der Grundlage einer gemeinsam genutzten semantischen Darstellung, z. B. FOL oder mittels graph-theoretischer Konzepte, interpretiert werden können.

Die Interpretationsfähigkeit der Maschine (Maschine-Maschine-Schnittstelle) unterscheidet sich von der Interpretationsfähigkeit des Menschen dadurch, dass die Maschine eine zu interpretierende Sprache und Regeln (z. B. blueprint) benötigt, um Prozesse interoperabel, d. h. umgebungs- und zeitabhängig ausführen bzw. kontrollieren zu können, wohingegen der Mensch mit einer mathematisch präzisen, axiomatisch-deklarativen Prozessbeschreibung kognitiv zurechtkommt. Es wird aber vorausgesetzt, dass dem menschlichen Arbeitenden oder Nutzenden einer Maschine die dazu benötigte Qualifikation zur Verfügung steht.

Um Industrie 4.0-Arbeitssysteme lernförderlich und dadurch menschengerecht gestalten zu können, ist es zwingend erforderlich, auf der Ebene des Gesamtsystems Informationsflüsse und Mensch-System-Schnittstellen nachvollziehbar zu gestalten. Außerdem müssen durch die Bereitstellung geeigneter Assistenzsysteme die Einarbeitung, das Systemverständnis und die Möglichkeit zur Zusammenhangswahrnehmung der Arbeitenden unterstützt werden, wenn eine Tätigkeit dies erfordert [HE 5.1.3-1 V5], [HE 5.1.3-2 V5].

5.1.3.2 Anforderungen an die Darstellungsformen der Semantik

Die Notwendigkeit, angeforderte Eigenschaften semantisch auszuzeichnen, betrifft zuallererst die Normung selbst. Die Digitalisierung von Normen hin zu maschineninterpretierbaren und direkt verknüpf- und auswertbaren Dokumenten und Inhalten erfordert neben geeigneten semantischen Auszeichnungen, d. h. Ontologien zur Beschreibung von Normendokumenten, auch entsprechende Werkzeuge und Prozesse, mit denen die Inhalte erzeugt, verwaltet und angewendet werden können. Zugehörige Fragestellungen werden etwa in

der DKE-Initiative Digitale Standards oder SemNorm bearbeitet.

Die **Initiative Digitale Standards IDiS** [33] versteht sich als eine Community, deren Aufgabe es ist, das gemeinsame Verständnis (und den Nutzen) zur digitalen Norm und der damit einhergehenden digitalen Transformation der Normung mit der Industrie zu erarbeiten und auf Basis der gesammelten Anwendungsfälle eine gemeinsame Vision über digitale Standards zu formulieren (siehe auch **Kapitel 6.3** zum Thema SMART Standards [33]).

In dem DIN CONNECT-Vorhaben **SemNorm**³⁷ ist eine ‚Anleitung zur Erstellung ausführbarer semantischer Standards‘ entwickelt worden. Unter ‚Ausführbarkeit‘ eines Standards ist ein operationales Modell von Daten und Prozessen des CP-Assets, das auf einen Rechner übertragen und symbolisch ausgeführt werden kann, zu verstehen. Unter ‚Semantik‘ eines Standards ist ein deklaratives Modell, dessen Axiome und Prozessvariablen vom Menschen ‚gelesen‘ und im Modell analysiert werden können, zu verstehen.

Beide Modelle, das operationale und das deklarative Modell, werden in einer domänen-spezifischen Sprache, z. B. für Industrie 4.0-Produktionssysteme, dargestellt. Die damit einhergehenden Veränderungen in Werkzeugketten und Arbeitsprozessen benötigen ausreichende Vorbereitungen zur effektiven Verankerung in den Infrastrukturen der jeweils Beteiligten, d. h. Normungsorganisationen als herausgebende Instanzen oder Unternehmen als Anwender. Es wird daher empfohlen, Vorbereitungen in den Infrastrukturen frühzeitig zu treffen, d. h., Anpassungs- und Erweiterungsbedarfe zu identifizieren und zu adressieren, um auf die Anforderungen zukünftiger digitaler Normen adäquat reagieren zu können [HE 5.1.3-3 V5]. Ziel der Normung sind operationale und deklarative Artefakte zur Formulierung einer Industrie 4.0-Ontologie für die Produktion industrieller Produkte.

Es wird nach einem Modell bzw. einer **Darstellungsform** gesucht, welche beide Formate, die operationale und deklarative Darstellung, integriert. Während die Ausführbarkeit einer Spezifikation dargestellt in operativer Semantik mittels IT einer Produktionsanlage realisiert werden kann, stellt die deklarative Semantik eines Industrie 4.0-Produktionsprozesses das nicht operationale Wissen des CCM-Nutzers, -Herstellers,

37 Siehe VDE DINCONNECT Projekt SemNorm, #602608 (2022)

-Lieferanten z. B. einer Produktionsanlage, dargestellt als dynamisch sich entwickelnde Prozessgraphen, dar.

Physik bzw. Technik, Ontologie bzw. Standards und Semantik bzw. Interoperabilität bilden die **drei darstellenden (semiotischen) Domänen**, die von einem ‚Ding‘ bzw. einem Asset die Architektur, das kooperative Verhalten, die Datentypen und evtl. verwendete Technologien wie

Künstliche Intelligenz, Internet of Things, Cloud, Edge etc. definieren. Die Beziehungen zwischen den semiotischen Domänen heißen Morphismen und haben die Bedeutung von semantischen Zuweisungen von Artefakten aus den drei disjunkten Domänen: (1) Semantik/Mensch, (2) Ontologie/Normen und (3) Ding/Asset.

5.1.3.3 Semantik im Kontext des Digitalen Zwillingings

Der **Digitale Zwilling** stellt das Abbild eines cyber-physischen Systems (Asset) dar. Der digitale Zwilling ist somit ein eigenständiges digitales Asset, das das Verhalten des cyber-physischen Assets ‚spiegelt‘. Spiegelung bedeutet hierbei die analytische Reflexion des cyber-physischen Assetverhaltens mit semantischen Mitteln. Das heißt, der digitale Zwilling erlaubt es, parallel zum cyber-physischen Assetprozess, sowohl Informationen zu verschiedenen Lebenszyklusphasen eines Assets als auch eine Analyse des Verhaltens des cyber-physischen Asset, ggf. eine zeitnahe Validation oder Simulation im Modell, durchzuführen und die Ergebnisse dem cyber-physischen Asset, ggf. zur Korrektur, zurückzuführen.

Ziel der Normung stellen die semantischen Artefakte (an anderen Stellen auch Werkzeuge genannt) dar, die man zur semantischen Modellbildung (wie in einem Puzzle anzuwenden) benötigt, um ein ausführbares Modell zur Analyse und Simulation zu konstruieren. Der digitale Zwilling verfügt über diese und andere Werkzeuge, um das semantische Modell zu analysieren und die Ergebnisdaten dem cyber-physischen Asset zur Verfügung zu stellen. Mit der Lieferung semantischer Daten aus Simulation und Analyse ist der digitale Zwilling an der Organisation und der Strukturierung eines cyber-physischen Asset kompatiblen Datenraums beteiligt. In den derzeitigen Normen der **ISO/IEC JTC 1/ SC 41/ WG 6**³⁸

38 **ISO/IEC JTC 1/ SC 41/ WG 6** „Digital Twin“

„Digital Twin“ (siehe **Kapitel 5.1.4**) wird derzeit wenig Augenmerk auf die Erläuterung des Verhältnisses zwischen Semantik und digitalem Zwilling gelegt, was nun zwingend erforderlich wäre, um die technische Umsetzung als normative Grundlage zu unterstützen [**HE 5.1.3-4 V5**].

5.1.3.4 I4.0-Sprache

In der Produktion, die Anforderungen des Industrie 4.0-Konzeptes erfüllen soll, sind Interaktionen zwischen den digitalen Zwillingen erforderlich. Eine höhere Flexibilität geht mit einer weiteren Modularisierung, Dezentralisierung und auch einem Anwachsen der Autonomie der Assets einher. Der digitale Zwilling leistet dabei den informationstechnischen Anteil. Der Austausch der Industrie 4.0-Komponenten (Asset und Digitaler Zwilling) bedarf deshalb einer standardisierten Form. Dies wird durch die I4.0-Sprache [**34**], die in VDI/VDE 2193 definiert worden ist, ermöglicht. Sie ermöglicht es also, sowohl das durch Ontologien erforderliche Vokabular auszutauschen als auch interoperables Verhalten der Industrie 4.0-Komponenten zu ermöglichen. Deshalb ist zu empfehlen, dass die **I4.0-Sprache** in die internationale Standardisierung überführt wird [**HE 5.1.3-5 V5**].

Die verwendeten Artefakte einer Spezifikation bzw. einer ‚semantischen Norm‘ bestehen aus darstellenden Elementen einer operationalen oder deklarativen Semantik, einer sog. **I4.0-Sprache** für normative Anforderungen und den konstruktiven Elementen eines maschinen-spezifischen I4.0-Engineering. So können z. B. eine oder mehrere semantische Graph-Trajektorien eines Herstellungsprozesses mit einem Symbol oder Satz in einer Spezifikation bzw. Norm identifiziert werden.

Die Menge der aktuellen Trajektorien vor dem Hintergrund der cyber-physischen Systemspezifikation mittels eines Type-Graphen entspricht dann genau der modellierten bzw. geforderten Semantik, die auch in dem extensional implementierten Herstellungsprozess zu beobachten ist.

Eine ‚menschengerechte Interoperation‘ mit Maschinen wird also ggf. erst mit der zyklischen Hintereinanderanwendung der drei Morphismen deutlich: Ein ontologisches Symbol bezeichnet einen Zustand eines Herstellungsprozesses, dieser wird definiert durch die intendierte Semantik, z. B. mittels Interpretation eines Teilmodells der Verwaltungsschale (siehe **Kapitel 5.1.4**). Das Teilmodell aktualisiert die Parameter des technischen cyber-physischen Assets, das sich in einem

bestimmten Zustand befindet, worüber ggf. ein Digitaler Zwilling Analysen anstellt.

Die Modelle, die sich der Mensch kognitiv und die Maschine operationell teilen können, können idealerweise von einem digitalen Zwilling (statt von einer allgemeinen IT) interpretiert werden. Ein Digitaler Zwilling hat analytische Fähigkeiten, z. B. durch die Simulation eines semantischen Modells und seiner Synchronisierung der Zustände zwischen Modell und technischem Prozess in Realzeit. Um sich zu synchronisieren, kann ein Digitaler Zwilling lose oder eng mit seinem maschinellen (OT) Verarbeitungsprozess gekoppelt werden. Während eine enge Kopplung in zeitlich engen Grenzen auszuführen ist, ist eine lose Kopplung umgebungsabhängig und kann daher z. B. eine SCADA-Werkzeug gestützte graphische Analyse vornehmen. Mit der Platzierung des digitalen Zwillings in die semantische Domäne wird der digitale Zwilling, neben seiner maschinellen Ausprägung, ebenfalls zum Asset, welches über die Submodellidentifikation und -spezifikation über die Verwaltungsschale administriert werden kann.

5.1.3.5 Werkzeuge der Semantik für Industrie 4.0

Unter ‚**Werkzeugen**‘ werden hier alle Hilfsmittel und Artefakte verstanden, die zur Analyse, Definition, Beschreibung oder beim cyber-physischen Engineering zur Herstellung eines Produkts verwendet werden können und daher ihr Gebrauch und ihre Eigenschaften standardisiert, d. h. kombinierbar zur Verfügung gestellt werden sollen [HE 5.1.3-6 V5]. Die Kombinierbarkeit der standardisierten Werkzeuge und Artefakte wird methodisch erzielt, indem man die Kommunikation bzw. Kollaborationsfähigkeit in einem cyber-physischen Asset netzartig verteilt aufbaut. Die kleinsten Bausteine des kollaborativen **Condition-Monitoring**(CCM)-Netzwerks bestehen aus unbeschränkt kombinierbaren Dreier-Stakeholder-Verhältnissen (Fraktale genannt) zwischen Maschinenbetreiber, Maschinenlieferant und Maschinenkomponenten-Hersteller. Jeder dieser Stakeholder kann sich an anderen Subnetzwerk beteiligen.

Der CCM-Datenraum repräsentiert den aktuellen Zustand im gesamten CCM-Netzwerk. Er nutzt die semantische Analysefähigkeit von Daten- und Prozessräumen auf der gesicherten Grundlage von kombinierbaren Artefakten basierend auf operationalen Theorien wie Graphen-, Datentyptheorien Logiken oder semantischen Regeln etc.

Ziel der Normung sind die verschiedenen semiotischen Kategorien von Artefakten und ihre charakteristischen Eigenschaften, bestehend aus technischen, semantischen oder auch sicherheitskritischen Artefakten. Die Artefakte einer Kategorie, z. B. enthalten in einer Bibliothek, sind miteinander kombinierbar.

5.1.3.6 Ontologien

Ontologien sind sprachlich formulierte Anforderungen an Produkte oder an die Herstellung von Produkten, die in ihrem Kontext überprüft werden können. Hierzu braucht man Suchkriterien (Ontologie-Suchpunkt), womit eine eindeutige Identifikation möglich ist. Beispielsweise stellt IEC 63278-1³⁹ ED1 „Asset Administration Shell for industrial applications – Part 1: Asset Administration Shell structure“ dar, dass Datenmodelle basierend auf Ontologien definiert werden. Die Semantik der tatsächlichen Daten wird im Allgemeinen durch Referenzen auf diese Ontologien dokumentiert (siehe auch [35] und [36]).

Ontologien kommen aus verschiedenen Anwendungsdomänen und sollen doch im Zusammenhang eingesetzt werden. Beispiele für solche Ontologien sind materialwissenschaftliche Ontologien, die eine Auswahl von Materialien für bestimmte Einsatzzwecke anhand von Standardmerkmalen ermöglichen, Ontologien im Bauwesen oder **Product-Data-Dictionaries**, die die Darstellung von Produkten in elektronischen Katalogen standardisieren.

Damit ontologiebasierte Daten bei der Planung und Dokumentation von Produktionssystemen besonders effektiv eingesetzt werden können, müssen die zugrunde liegenden Ontologien gewisse Mindestqualitätsanforderungen erfüllen. Beispielsweise sollen in der Ontologie definierte Konzepte global eindeutig identifiziert oder besondere Eigenschaften (Properties) sollen basierend auf eindeutig spezifizierten Datentypen und mit kompatiblen physikalischen Einheiten definiert werden (siehe IEC 62832⁴⁰-Reihe). Konzepte in der Ontologie sollen klar voneinander abgegrenzt und eindeutig identifizierbar sein (z. B. Vermeidung von Homonymen und synonymen Konzepten). Verwendete Konzepte bzw. Artefakte

39 IEC 63278-1 ED1 „Asset Administration Shell for industrial applications – Part 1: Asset Administration Shell structure“

40 IEC 62832-1:2020 „Industrial-process measurement, control and automation – Digital factory framework – Part 1: General principles“

in einer Ontologie benötigen eine klare Definition und die Beziehungen zwischen den Artefakten sollen klar definiert sein. Es wird daher empfohlen, Qualitätskriterien für Ontologien zu standardisieren, um die zu verwendenden Ontologien entsprechend dieser Qualitätskriterien auswählen zu können [HE 5.1.3-7 V5].

5.1.4 Werkzeuge zur Umsetzung des digitalen Zwillings

5.1.4.1 Verwaltungsschale

Das Grundkonzept der **Verwaltungsschale** (en: Asset Administration Shell, AAS) basiert auf der Idee der semantischen Interoperabilität. Dabei geht es insbesondere um die Fähigkeit von Maschinen, Geräten und Sensoren, in der Industrie 4.0 miteinander zu interagieren und mit Menschen zu kommunizieren. Als Ergebnis der daraus resultierenden digitalen Beziehungen entstehen intelligente Industrie 4.0-Systeme [14], die physische Gegenstände mit Daten und Intelligenz verbinden, um in einem digitalen Ökosystem zu funktionieren. Um die Eigenschaften der realen Welt in der Informationswelt verfügbar zu machen, werden Modellierungswerkzeuge benötigt, die die notwendige Flexibilität für

den Datenaustausch zwischen Assets bieten, insbesondere, wenn heterogene Herstellerdaten im Upgrade-Netzwerk ausgetauscht werden. Man spricht hier oft von einem universellen „Integrationsstecker“ [37], der für den Datenaustausch entlang der Wertschöpfungskette genutzt werden soll und damit die Interoperabilität in den digitalen Ökosystemen herstellt.

In der Verwaltungsschale sind die Daten in der Informationswelt nicht losgelöst, sondern werden strukturiert in Form von Teilmodellen mit den dort definierten Merkmalen angelegt. Dies führt dazu, dass die Informationen gemäß den Interoperabilitätsanforderungen eines digitalen Ökosystems standardisiert verarbeitet, modelliert, abgerufen, gefunden oder weitergeleitet werden können. Damit ist zum einen jede Verwaltungsschale in ihren Beziehungen zu anderen Verwaltungsschalen durch ihre Teilmodelle eindeutig und hinreichend beschrieben und zum anderen können die Eigenschaften in der Verwaltungsschale eindeutig einem Asset zugeordnet werden (siehe auch Kapitel 5.1.1 sowie Kapitel 5.1.3). Das Asset und die zugehörige Verwaltungsschale bilden zusammen die „Industrie 4.0-Komponente“ [12] (siehe Abbildung 7).

Im Zusammenhang mit dem **Digitalen Zwilling** (siehe auch Beiträge in Kapitel 5.1.2 und Kapitel 5.1.3) wird bei der

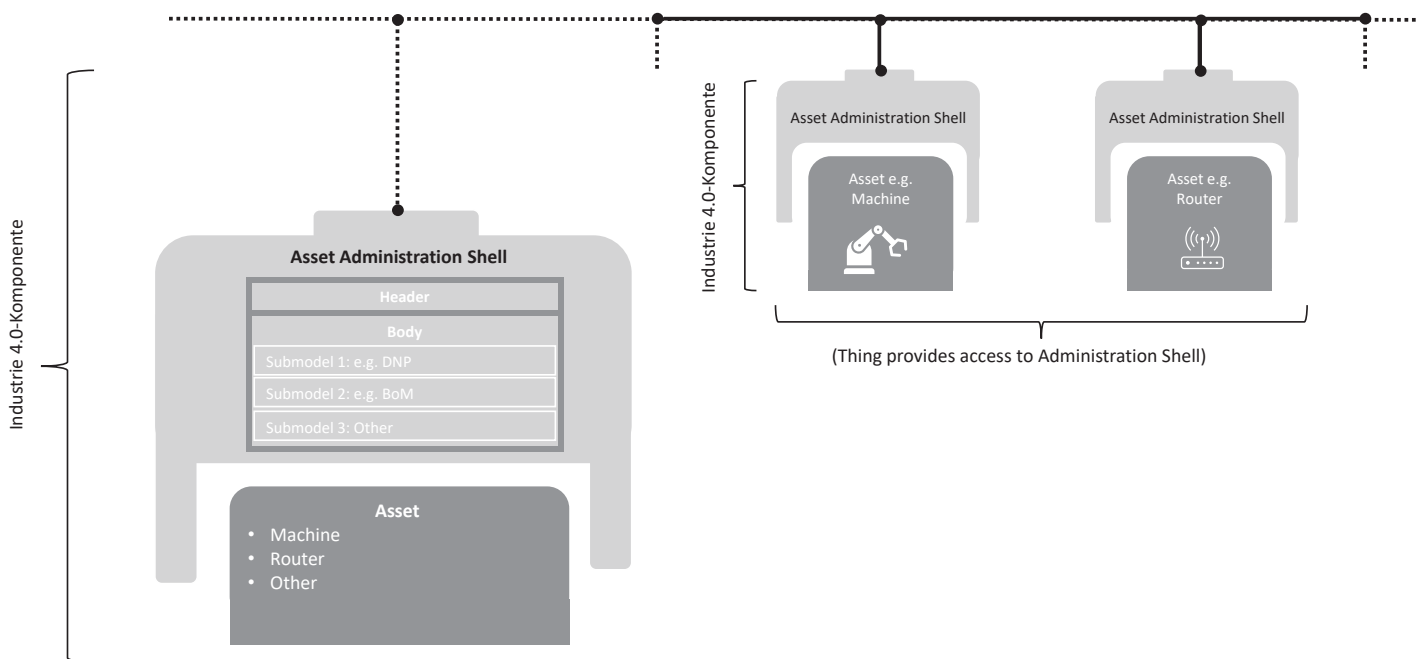


Abbildung 7: Verwaltungsschale als Teil der Industrie 4.0-Komponente (Quelle nach: Fraunhofer IPA)

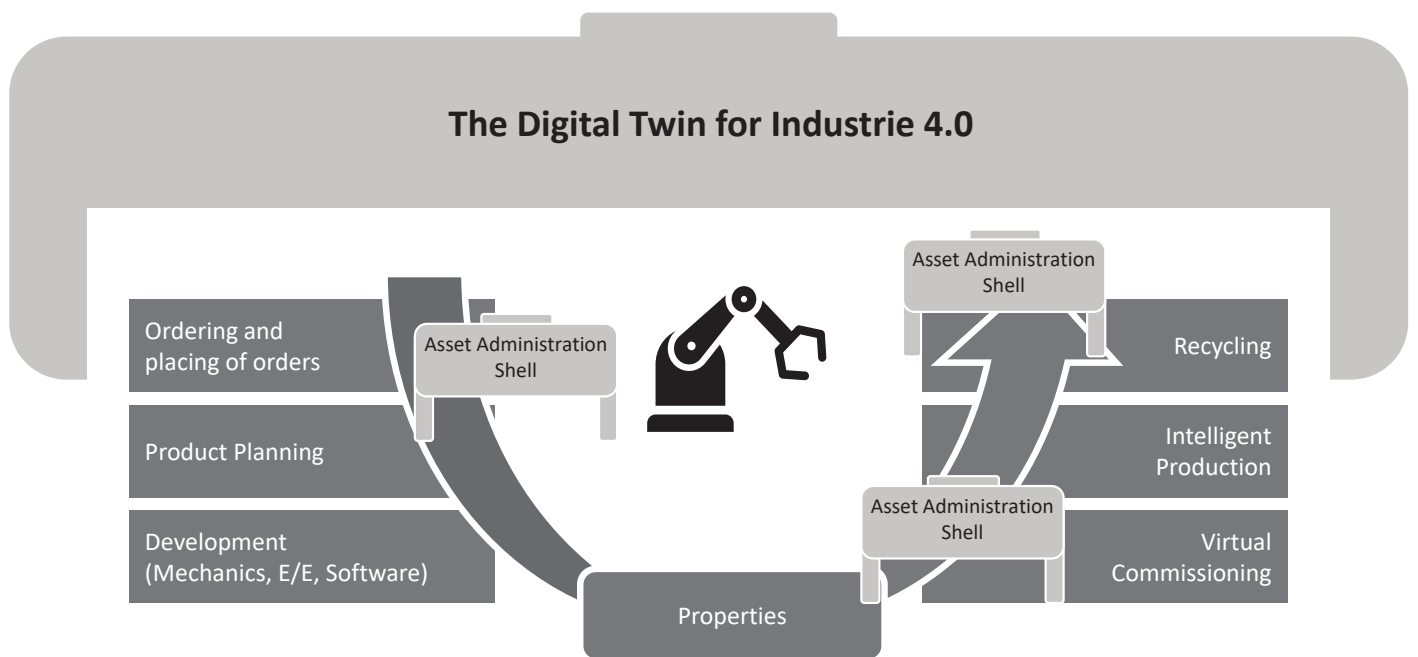


Abbildung 8: Verwaltungsschale und Digitaler Zwilling in der Wertschöpfung (Quelle: nach IDTA und Plattform Industrie 4.0)

Verwaltungsschale von einer Implementierung auf der Basis der internationalen Norm gesprochen, die diese als „digitale Repräsentation eines Assets“ definiert. Digitale Zwillinge von Assets nehmen eine zentrale Rolle in der Industrie 4.0 ein. Über digitale Zwillinge können alle Daten und Informationen über den gesamten Lebenszyklus hinweg ausgetauscht, gespeichert und den unterschiedlichen Akteuren zur Verfügung gestellt werden [38] (siehe [Abbildung 8](#)).

In der Praxis beobachten wir aktuell häufig, dass verschiedene Hersteller für ihre jeweiligen Komponenten individuelle digitale Zwillinge erstellen. Beispielsweise würde Komponentenhersteller A für den Motor in einem Fahrzeug einen digitalen Zwilling entwickeln und Komponentenhersteller B unabhängig davon für das Getriebe. Dies erschwert eine Gesamtsicht auf das Fahrzeug. Vorgaben für entsprechende Formate, Zugriffsrechte und Schnittstellen sind nötig, um hier die gewünschte Interoperabilität zu erreichen (siehe auch [\[HE 5.1.3-4 V5\]](#)).

Durch die gewonnenen Daten aus den digitalen Zwillingen können auch Produktplanung sowie Produktentwicklung profitieren, da sie zu einer besseren Marktanalyse (bei neuen Produkten) sowie Produktverbesserung (bei bestehenden Produkten) beitragen können. Diesen Themen widmet sich aktuell der [VDI/VDE-GMA / GPP 7.10](#) [39].

5.1.4.2 Handlungsbedarf für die internationale Zusammenarbeit

Die Idee wird technisch durch das internationaler Standards-Reihe [IEC 63278](#)⁴¹ „Asset administration shell for industrial applications“ der [IEC/TC 65/WG 24](#)⁴² „Asset Administration Shell for Industrial Applications“ aufgegriffen, welche eine interoperable Implementierung eines digitalen Zwillinges im industriellen Bereich anstrebt. In der [IEC/TC 65/WG 24](#) hat sich in den letzten Jahren viel getan. Die Norm [IEC 63278-1](#) wurde mit starker Unterstützung aus Deutschland vorangetrieben und befindet sich in den letzten Zügen vor der Veröffentlichung in 2023. Mit der laufenden Projekten zur [IEC 63278-2](#)⁴³ „Information meta model“ und [IEC 63278-3](#)⁴⁴ „Security provisions for Asset Administration Shells“ sollen die weiteren Grundlagen gelegt werden, um das Konzept der Verwaltungsschale durchgehend zu verwenden und zu standardisieren.

41 [IEC 63278](#)-Reihe „Asset administration shell for industrial applications“

42 [IEC/TC 65/WG 24](#) „Asset Administration Shell for Industrial Applications“

43 [IEC 63278-2](#) „Asset Administration Shell for Industrial Applications – Part 2: Information meta model“

44 [IEC 63278-3](#) „Security provisions for Asset Administration Shells“

Im nationalen Umfeld wird die Entwicklung der Verwaltungsschale von der Plattform Industrie 4.0, Wirtschaftsverbänden, der deutschen Konsortien aus Industrie- und IT-Unternehmen, Wissenschaft und politischen Institutionen sowie der IDTA [40] geleitet. Zu den aktuellen Arbeiten gehört u. a. die Standardisierung von Teilmodellen, um eine Wiederverwendung zu ermöglichen sowie weitere Detaillierung des Konzepts im normativen Umfeld der IEC/TC 65/WG 24. Um die durchgehende Verwendung der Verwaltungsschale und das Rollout der Teilmodelle zu beschleunigen, muss das Verwaltungsschale-Konzept ferner aktiv standardisiert werden. Daher ist es weiterhin empfohlen, die Aktivitäten der IEC/TC 65/WG 24 in Bezug auf die Entwicklung der IEC 63278-Normenreihe zur Verwaltungsschale zu unterstützen und international voranzutreiben [HE 5.1.4-1 V5].

Neben dem Internet of Things (siehe auch Kapitel 5.1.2) gelten auch digitale Zwillinge als Wegbereiter für intelligente Gesamtlösungen („Smart Everything“), da diese auf Messwerten aufbauen, die ein Abbild eines Gegenstands in der digitalen Welt erzeugen. Dabei liefern die Sensoren die notwendigen Datenströme, die durch Datensynchronisation und Transaktion eine Spiegelung in die virtuelle Welt ermöglichen (siehe Geschäftsplan 2021 des ISO/IEC JTC 1/SC 41). Das Konzept des digitalen Zwillings wird aktuell (nach der Auflösung von ISO/IEC JTC1/SC 41/AG 27 „Digital Twin – Strategy“ im Sommer 2022, siehe HE 2.3-2 V4 [2]) in dem internationalen Gremium ISO/IEC JTC 1/ SC 41/ WG 6 im Detail standardisiert. National wird die Arbeit durch die DIN NA 043-01-41 aktiv gespiegelt. So betrachtet das ISO/IEC-Komitee digitale Zwillinge nicht nur im industriellen Kontext, sondern untersucht ihre globale Anwendung über mehrere Branchen hinweg. Daten aus mehreren digitalen Zwillingen können somit für eine zusammengesetzte Ansicht über eine Reihe von realen Gegenständen, wie z. B. ein Schiff, eine Brücke, ein Gebäude, eine Fabrik, eine Lieferkette oder eine Stadt, zusammengefasst werden.

Im Zusammenhang mit dem digitalen Zwilling werden derzeit viele normative Projekte initiiert, die noch mit den aktuellen Entwicklungen in der IEC/TC 65/WG 24 abgeglichen werden müssen [HE 5.1.4-2 V5]:

- PNW JTC1-SC41-333 ED1 „Digital Twin – Reference architecture“
- PWI JTC1-SC41-6 „Guidance for IoT and Digital Twin use cases“
- PWI JTC1-SC41-7 „Digital Twin – Maturity model“
- PWI TR JTC1-SC41-11 „Digital Twin – Correspondence measure of DTw twinning“

- ISO/IEC 20924 ED3 CDM „Internet of Things (IoT) and Digital Twin – Vocabulary“
- ISO/IEC TR 30172 ED1 DTR „Digital Twin – Use cases“
- ISO/IEC 30173 ED1 CD „Digital Twin – Concepts and terminology“

Im Hinblick auf die Normenkonsistenz bezüglich der Verwaltungsschale werden derzeit die aktuellen Arbeiten aus der ISO/IEC 21823-Reihe, insbesondere ISO/IEC 21823-1⁴⁵ „Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT systems – Part 1: Framework“, von der IEC/TC 65/WG 24 herangezogen. Dabei soll in Abstimmung mit ISO/IEC JTC/SC 41 der Kontext „Interoperabilität“ in den Entwürfen zu den aktuellen Normen zur Verwaltungsschale untersucht und, wenn notwendig, angepasst werden. Auf nationaler Ebene wird diese Tätigkeit durch Spiegelgremien wie DIN NA 043-01-41 und DKE/AK 931.0.16⁴⁶ „Asset Administration Shell for Industrial Applications“ unterstützt [HE 5.1.4-3 V5] (siehe auch [HE 5.1.3-4 V5] zum weiteren Handlungsbedarf in Frage der Semantik).

Ein besonderes Fokusthema ist die Gestaltung der Zusammenarbeit zwischen allen Akteuren in dem Bereich des digitalen Zwillings für die Industrie. Die ISO/IEC JTC 1/SC41/AG 20⁴⁷ „Sectorial Liaison Group (SLG 1) on Industrial sector“ leistet dabei einen wesentlichen Beitrag zur Harmonisierung von Normen im industriellen Bereich. Die Liste der gegenwärtig von der AG 20 angeregten Liaisons in industrie-relevanten Gremien ist umfangreich: IEC TC 65, IEC TC 65/WG 24, IEC/SyC SM, ISO/TC 10, ISO/TC 39, ISO/TC 39/SC 10, ISO TC 184/IEC TC 65, ISO/IEC JWG 21, ISO TC 184/SC 1, ISO TC 184/SC 4, ISO TC 184/SC 5, ISO TC 261 und ISO TC 299. Im Kontext des digitalen Zwillings wurden in der ISO/IEC JTC 1/SC41/AG 20 erste Empfehlungen formuliert, um die Zusammenarbeit zwischen ISO/IEC JTC/SC 41 und IEC TC 65⁴⁸ „Industrial-process measurement, control and automation“ zu verbessern und eine gemeinsame Arbeit beispielsweise in Form einer Joint Advisory Group für die vertikale „Smart Manufacturing“ zu initiieren [HE 5.1.4-4 V5].

45 ISO/IEC 21823-1 „Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT systems – Part 1: Framework“

46 DKE/AK 931.0.16 „Asset Administration Shell for Industrial Applications“

47 ISO/IEC JTC 1/SC41/AG 20 „Sectorial Liaison Group (SLG 1) on Industrial sector“

48 IEC TC 65 „Industrial-process measurement, control and automation“

5.1.4.3 OPC UA und Companion Specifications als Werkzeug zur Umsetzung eines Digitalen digitalen Zwilling

Im Kontext des digitalen Zwilling stellen sich die Stakeholder*innen rund um OPC UA der Herausforderung, die Definition von „Grammatik“ und „Vokabular“ für den Austausch von Informationen als einheitliche Sprache für die Produktion (siehe auch „Studie zur Interoperabilität im Maschinen- und Anlagenbau: Die Weltsprache der Produktion als Grundlage für Industrie 4.0“ [41]) zu etablieren und zur Umsetzung des digitalen Zwilling beizutragen. Dementsprechend richtet sich die Aufmerksamkeit auf die semantische Beschreibung der Informationen in Produktion, um den digitalen Zwilling der Produktion zu ermöglichen und im Gegensatz zum digitalen Zwilling des Endproduktes die digitale Repräsentation der Produktionsmittel in deren Betrieb zu adressieren. Durch die anhaltende Digitalisierung nimmt die Relevanz für standardisierte Semantiken für Informationen der Produktion weiterhin zu (siehe auch [HE 5.1.1-11 V5] sowie [HE 5.1.3-4 V5]). Derzeit befinden sich rund 40 Arbeitskreise in der aktiven Entwicklung von weiteren Schnittstellenstandards. Besonders die Harmonisierungsaktivitäten der „OPC UA for Machinery“ gewinnen an erheblicher Relevanz.

Neben der Nutzung der Daten in der Verwaltungsschale können die Informationen der Produktion auch unabhängig direkt in weiterführenden Systemen und IT-Umgebungen genutzt und weiterverarbeitet werden. In diesem Sinne spielt die Nutzung der OPC UA Companion Specifications für die Umsetzung des digitalen Zwilling eine wichtige Rolle [AE 5.1.4-5 V5].

5.1.4.4 OPC UA im Zusammenspiel mit der Verwaltungsschale

Der OPC UA-Standard [20] hat sich als der offene Schnittstellenstandard (IEC 62541-Reihe „OPC Unified Architecture“) seit Längerem als die Lösung für den herstellerunabhängigen Austausch von Produktdaten in der Produktion etabliert. Zur weiteren globalen Akzeptanz und Adaptionsteigerung der Open-Source-Technologies trägt die Initiative **umati – universal machine technology interface** [29] bei. Umati ermöglicht die branchenübergreifende Erprobung von OPC UA Schnittstellenstandards des Maschinen- und Anlagenbaus sowie den globalen Austausch in der zugehörigen Community.

Ergänzend können mittels der Verwaltungsschale die gewünschten Daten von jeder autorisierten Stelle angefordert werden. Ermöglicht wird dies über eine standardisierte Kommunikationsschnittstelle wie z. B. auf Basis von OPC UA. In Abgrenzung zur Verwaltungsschale, die einen zentralen Informationsknoten für den gesamten Produktlebenszyklus darstellt, werden Informationen in OPC UA in Realzeit interoperabel kommuniziert. Auf diese Weise können sowohl dynamische Informationen als auch Informationen von längerfristiger Relevanz zwischen der Verwaltungsschale und OPC UA-Schnittstelle vermittelt werden. Hierfür sollen in Kooperation zwischen der OPC Foundation und IEC/TC 65/WG 2 langfristige Konzepte entwickelt werden, um die Doppelung der Informationen auf mehreren Ebenen auszuschließen [HE 5.1.4-6 V5].

5.1.4.5 Standardisierungsaktivitäten im Hinblick auf die semantische Datenmodellierung

Die Bedeutung eines standardisierten Wörterbuchs als einer der grundlegenden Aspekte für die Erstellung aussagekräftiger Verwaltungsschalen hat in letzten Jahren zugenommen. In diesem Zusammenhang wurden auf internationaler Ebene in der IEC TC 65/SC 65E/WG 2 im Jahr 2022 wichtige Aktivitäten zur Unterstützung von Verwaltungsschalen-Teilmodellen zur Ergänzung bestehender Standards für die Semantik eingeleitet [HE 5.1.4-7 V5].

Um die Anforderungen der Verwaltungsschale im semantischen Kontext zu erfüllen, wurden im **Whitepaper** „Modelling the Semantics of Data of an Asset Administration Shell with Elements of ECLASS“ die semantischen Anforderungen für Nutzung bestimmter Datentypen untersucht. Das Dokument identifiziert die fehlenden notwendigen Strukturen im konzeptionellen Datenmodell von ECLASS. Darüber hinaus listet das Whitepaper Vorschläge für die Weiterentwicklung des ECLASS-Datenmodells auf und beschreibt die Fälle, in denen notwendige Elemente des Verwaltungsschalen-Metamodells weder von der IEC 61360-4 „Common Data Dictionary“-Norm noch von ECLASS unterstützt werden. Für die identifizierte Lücke werden Vorschläge für die Erweiterung des ECLASS-Datenmodells formuliert.

Basierend auf den Erkenntnissen des Whitepapers hat die ECLASS Association begonnen, Datenstrukturen für die Unterstützung von Verwaltungsschalen-Teilmodellen im neuen Projekt zu definieren. Mit dem Projekt PNW 65E-928

(„IEC 6xxxx DB – Common data concepts for smart manufacturing“) wurde der Vorschlag akzeptiert, allgemeingültige Datenstrukturen zur Verwendung im Smart Manufacturing zu definieren. Diese Datenstrukturen werden in IEC 61360-7 „DB – Data dictionary of cross-domain concepts“ definiert und können beispielsweise für die Definition von Verwaltungsschalen-Teilmodellen verwendet werden. Als erstes Teilmodell soll das Teilmodell „Digital Nameplate“ durch entsprechende Datenstrukturen unterstützt werden.

Parallel zu den Aktivitäten bei ECLASS werden bei IEC/TC 3/SC 3D ebenfalls notwendige Erweiterungen des Datenmodells untersucht. Erste prototypische Teilmodell-Templates der Verwaltungsschale wurden beispielsweise in der „IEC Common Data Dictionaries“ (CDD) realisiert.

5.1.4.6 Wege zur holistischen Entwicklung von Teilmodellen für die Interoperabilität

Einen zentralen Baustein im Verwaltungsschalenkonzept stellt die Datenmodellierung dar. Während das Asset als physische (oder virtuelle) Komponente in der realen Welt existiert, repräsentiert die Verwaltungsschale diese in der Informationswelt anhand definierter Modelle. Dabei besitzt die Verwaltungsschale eine definierte Struktur mit einem ausgeprägten Meta-Informationsmodell. Neben den wichtigsten grundsätzlichen Informationen zum Asset beinhaltet eine Verwaltungsschale die sogenannten **Teilmodelle** (siehe [Abbildung 9](#)). Diese ermöglichen es, eine Beschreibung von Eigenschaften, Parametern und Variablen eines Assets abzubilden. Dabei kann eine Verwaltungsschale mehrere Teilmodelle beinhalten, die verschiedene fachliche Funktionalität erfüllen können.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche vorbereitende Aktivitäten für die Standardisierung von Teilmodellen der Verwaltungsschale geschaffen. Deshalb wurden nicht nur die Empfehlungen zur Internationalisierung weiterer Teile der Normenreihe IEC 63278 (siehe auch [\[HE 5.1.4-1 V5\]](#)) aktiv vorangetrieben und umgesetzt, sondern es wurden auch Vorarbeiten zum Aufbau entsprechender Strukturen für die Entwicklung von Teilmodellen in der IEC/TC 65/WG 24 gestartet. Hierzu wurde auch in der IDTA aktiv daran gearbeitet, die Entwicklungsstränge für den industriellen digitalen Zwilling zusammenzuführen und gemeinsam mit der Industrie als offene Technologielösung auf Basis der Verwaltungsschale zu entwickeln.

Die IDTA setzte sich in den letzten zwei Jahren dafür ein, die Etablierung des digitalen Zwillings in der Industrie durch die gemeinsame Entwicklung der Teilmodelle zu beschleunigen. In diesem Sinne erfährt das IDTA-Netzwerk ein sehr rasches Wachstum. Darunter ist insbesondere die proaktive Strategie zum Aufbau der Kooperationen mit anderen relevanten Initiativen und Konsortia wie z. B. [Digital Twin Consortium \[42\]](#), [Digital Data Chain Consortium \(DDCC\)](#), [Open Manufacturing Platform \(OMP\)](#) und andere zu nennen [\[40\]](#), [\[42\]](#).

Die Koordination der Standardisierung im Rahmen der Arbeiten in der IEC/TC 65/WG 24 erfolgt durch die IDTA „WG Submodels“. Die Arbeitsgruppe betreut mittlerweile ca. 30 Teilmodellprojekte und hat bereits einige wichtige Teilmodelle wie z. B. „Digital Nameplate for Industrial Equipment“, „Inclusion of Module Type Package (MTP) Data into Asset Administration Shell“, „Generic Frame for Technical Data for Industrial Equipment in Manufacturing“ und „Submodel for Contact Information“ veröffentlicht [\[43\]](#).

Die aktuellen Aktivitäten richten sich primär an die Entwicklung von Basis-Teilmodellen für den industriellen Gebrauch. Es sollen jedoch Teilmodelle für weitere Aspekte wie etwa unterschiedliche Strukturen, Kommunikation, Integration, aber auch andere Branchen entwickelt werden, da die derzeit verfügbaren Teilmodelle für umfassende Industrie 4.0-Lösungen z. B. in einer komplexen Anlage oder Verwaltungsschalen-Verbünde noch nicht ausreichen [\[HE 5.1.4-8 V5\]](#). Zusätzlich

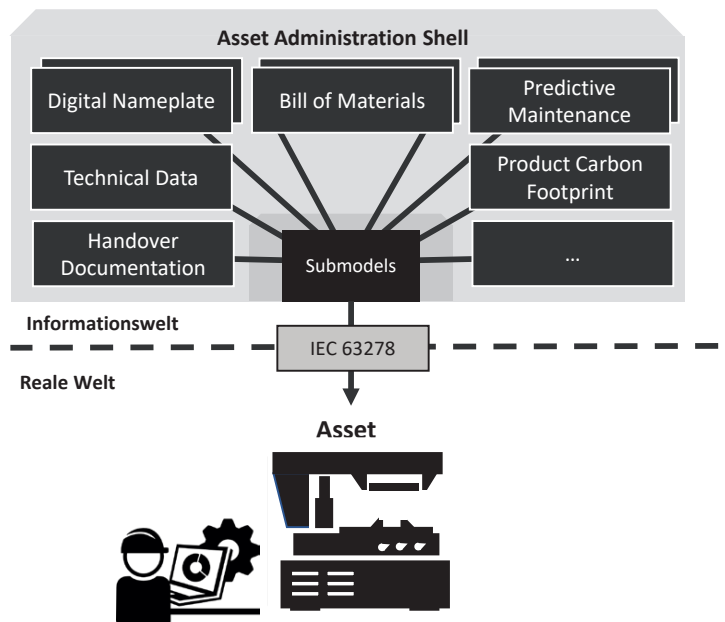


Abbildung 9: Holistische Entwicklung von Verwaltungsschalen-Teilmodellen (Quelle: O. Meyer, Fraunhofer IPA)

muss auch das methodische Wissen vertieft, erweitert und ausgebaut werden, um die notwendige Expertise in die Moderation der Entwicklung von Teilmodellen einzubringen und sie zur Umsetzung auf der nächsten Entwicklungsstufe zu befähigen. Hier arbeitet die IDTA beispielsweise Hand in Hand mit dem Förderprojekt *InterOpera* [44] zusammen, um interoperable Teilmodelle für die Industrie zu entwickeln und damit eine gemeinsame Basis für die weitere Entwicklung des Standards zu schaffen. Ziel ist es, 50 Teilmodelle der Verwaltungsschale auf der Grundlage konkreter, praktischer Anwendungsfälle zu entwickeln. Dabei sollen die Projektergebnisse in der Normung genutzt werden, um sogenannte Technische Komitees (TC) und andere Gremien hinsichtlich ihrer Anwendungsbezüge anzusprechen, um weitere spezifische Teilmodelle zu erstellen.

Alle Akteure der Normung sind dazu aufgerufen, gemeinsam mit der IDTA noch fehlende Teilmodelle zu erarbeiten und zu laufenden Aktivitäten beizutragen.

→ **Standardisierung der Teilmodelle für die technische Dokumentation**

Wie die Version 4 der NRM Industrie 4.0 [2] zeigt, gibt es weiterhin Bedarf für ein standardisiertes Austauschformat für digitale technische Dokumente. Da sich mehrere Standards wie *iIRDS* und VDI 2770 als Austauschformate für digitale technische Dokumentation etabliert haben (siehe auch [HE 5.1.1-10 V5]), wurde intensiv daran gearbeitet, diese anzugleichen und als Submodell in die Verwaltungsschalenwelt zu übertragen.

Die Aktivitäten zur Teilmodellentwicklung auf Basis von *iIRDS* wurden bereits in *InterOpera* erfolgreich gestartet. Diese zielen darauf ab, eine einheitlichere Darstellung der erweiterten technischen Dokumentation (komplementär zum bereits im Review vorhandenen IDTA-Teilmodell „Handover Dokumentation“) [43] zu realisieren, um den Inhalt semantisch zugänglich und austauschbar zu machen und von mehreren Anbietern genutzt werden zu können. Weitere Arbeiten laufen zurzeit im Rahmen des internationalen Projekts zur IEC PAS 63485 ED1 in *IEC TC 3/ WG 28*.

Das Konzept der Verwaltungsschale ist ein sehr umfassender Ansatz, der die Komplexität der Abbildung aller Merkmale und Sichten mit verschiedenen Teilmodellen zu lösen versucht. Eine etwas andere Zielsetzung verfolgt der Ansatz der digitalen Lebenslaufakte nach der Normenreihe *DIN 77005*⁴⁹ „Lebenslaufakte für technische

Anlagen“. Hier liegt der Schwerpunkt in der standardisierten Strukturierung der digitalen Anlagendokumentation und der damit möglichen gemeinsamen Bearbeitung von digitalen Lebenslaufakten durch die unterschiedlichen Akteure im Lebenszyklus eines Assets und deren Softwaresystemen zum Beispiel Enterprise-Ressource-Planning-Systeme (ERP), Dokumentenmanagementsysteme (DMS) oder Product-Data-Managementsysteme (PDM). Im Gegensatz zum Konzept der Verwaltungsschale, bei dem alle Daten, also auch aktuelle Zustandsdaten eines Assets, abgelegt werden können, beschränkt sich das Konzept der digitalen Lebenslaufakte auf die relevanten Informationen eines Assets, die von den unterschiedlichen Akteuren in den jeweiligen Lebensphasen eines Assets benötigt werden. Der Schwerpunkt liegt demnach in einem eher horizontalen Ansatz über den gesamten Lebenszyklus der Assets.

Mit der *DIN 77005-1*⁵⁰ wurden bereits Anforderungen an eine Lebenslaufakte für technische Anlagen formuliert. In der *DIN 77005-2*⁵¹ „Lebenslaufakte für technische Anlagen – Teil 2: Digitale Lebenslaufakte“ wurde darauf basierend ein Informationsmodell für anlagenbezogene dokumentierte Informationen definiert. Die digitale Lebenslaufakte nach *DIN 77005-2* kann als Teilmodell der Verwaltungsschale realisiert werden [HE 5.1.4-9 V5]. Es ist aber auch möglich, die Digitale Lebenslaufakte als eigenständigen Ansatz in der Industrie 4.0 zu realisieren. Der Normentwurf *DIN 77005-2* liegt seit 2022-08 vor.

→ **Standardisierung der Teilmodelle im Bereich der Simulation**

Im Hinblick auf [HE 5.1.4-10 V5] wurde 2022 auf Initiative von der Plattform Industrie 4.0 „SG AAS Teilmodell Simulation“ hin ein entsprechender Antrag zur Erstellung des Teilmodells „Provision of Simulation Models“ im öffentlichen Verfahren eingereicht, erarbeitet und Ende 2022 veröffentlicht. Mit dem Teilmodell können Simulationsmodelle von „Zulieferern“ herstellerübergreifend für die Anwendung bei einem „Integrator“ und „Operator“ zur Verfügung gestellt werden. Außerdem können Modelle von potenziellen Anwendern beim Hersteller angefragt werden. Das Teilmodell unterstützt das Suchen, Anfragen und die Bereitstellung von Simulationsmodellen zu einer Industrie 4.0-Komponente. Das Modell beinhaltet Infor-

50 *DIN 77005-1:2018-09* „Lebenslaufakte für technische Anlagen – Teil 1: Strukturelle und inhaltliche Festlegungen“

51 *DIN 77005-2* „Lebenslaufakte für technische Anlagen – Teil 2: Digitale Lebenslaufakte“

49 *DIN 77005*-Reihe „Lebenslaufakte für technische Anlagen“

mationen zum Simulationszweck, zur Integration in eine Simulationsumgebung und zur Verwaltung.

→ **Standardisierung der Teilmodelle für funktionale Anforderungen (Capability und Skills)**

In der Zwischenzeit wurde ebenso mit der Arbeit an den Verwaltungsschalen-Teilmodellen zur Erfassung standardisierter Fähigkeitsbeschreibungen in mehreren IDTA-Arbeitsgruppen begonnen [HE 5.1.4-11 V5]. Mit Fähigkeiten werden technologieneutrale Beschreibungen von Funktionen bezeichnet, sprich unabhängig von der Art und Weise, wie sie umgesetzt werden (engl. „Capability“ oder „Skill“). Die Kernaufgabe ist dabei, diese Fähigkeiten einerseits als Anforderungen bei der Prozessbeschreibung und andererseits auch als Fähigkeiten der Geräte zu beschreiben. Diese sollten im Idealfall automatisiert abgeglichen und passend in Übereinstimmung gebracht werden können.

→ **Standardisierung der Teilmodelle im Bereich der Identifikation von Assets**

Mit dem IEC/SC 65E⁵² „Devices and integration in enterprise systems“ gibt es ein Gremium, welches beide Empfehlungen [HE 5.1.4-12 V5] zur Umsetzung gebracht hat. Sowohl die VDE V 0170-100 wurde als IEC 63365⁵³ ED1 „Digital Nameplate – Digital Product Marking“ als auch die DIN SPEC 91406 (IEC 61406 „Identification Link – Unambiguous biunique Machine-Readable“ Identification) wurde der internationalen Normung zugeführt. Eingesetzt in der Verwaltungsschale fungiert das Teilmodell „Digital Nameplate for Industrial Equipment“ (dt.: „digitales Typenschild“) als das Bindeglied zwischen dem physischen Asset und der Verwaltungsschale. Das digitale Typenschild trägt somit zu den Zielen des Europäischen Green Deal für 2050 [26] bei und unterstützt den neuen Ansatz zur Kennzeichnung der Assets (siehe auch Kapitel 5.3).

Derzeit müssen noch viele vorbereitende Maßnahmen eingeleitet und durchgeführt werden, um die Teilmodelle der Verwaltungsschale zu standardisieren. Wengleich der Schwerpunkt bei IDTA derzeit auf der Entwicklung grundlegender Teilmodelle für die Industrie liegt, blickt InterOpera [44] über den Tellerrand, um ein breiteres Spektrum von Anwendungsfällen aus verschiedenen Branchen abzudecken. So werden beispielsweise auch spezifische, aber häufig verwendete Teilmodelle in Betracht gezogen und wertvolle

Erfahrungen gesammelt [HE 5.1.4-13 V5]. Mit den Projektergebnissen sollen in der Normung gezielt Technical Committees (TC) und andere Gremien auf ihre Anwendungsbezüge angesprochen werden, um weitere spezifische Teilmodelle zu erstellen.

5.1.5 Industrielle Kommunikation

Die durchgängige und nahtlose Kommunikation ist ein wesentlicher Aspekt von Industrie 4.0 und in diesem Zusammenhang, mit dem Blick auf **industrielle Kommunikation**, gewinnen die Begriffe konvergentes Netzwerk und Time Sensitive Network (TSN) immer mehr an Bedeutung.

5.1.5.1 Konvergente Netzwerke in der industriellen Kommunikation

Konvergente Netzwerke bringen IT, OT und Feldbusse zusammen auf einem physikalischen Netzwerk. Dies fördert die Flexibilität und Vereinfachung der Installation und bedeutet eine Kostenersparnis einerseits, erfordert aber Quality of Service (QoS) für die jeweiligen Dienste andererseits. Jeder Dienst, jedes Paket wird mit seinem QoS übertragen. Standards und Normen sind essenziell für konvergente Netzwerke. Aber nicht nur interoperable Protokolle, sondern auch Netzwerkkonfiguration müssen Standards folgen und einheitlich sein. Letzteres ermöglicht einen nahtlosen Übergang zwischen drahtgebundener und drahtloser Kommunikation.

Kommunikationsstandards von IEEE bereiten diesen Weg und setzen mit TSN wichtige Akzente. Der Layer 2 wird auf die Anforderungen von konvergenten Netzwerken vorbereitet. TSN ist heute oder wird zukünftig genannt im Zusammenhang mit 5G und Wifi (auch: Wireless Fidelity). Schnittstellenstandards wie OPC UA werden ebenso TSN in den jeweiligen Standards aufnehmen.

Ein konvergentes Netzwerk weiß um seine Ressourcen und Möglichkeiten und ermöglicht Quality of Service für die Anforderungen von Teilnehmern im Netzwerk. Netzwerkkonfiguration wird in einem gewissen Umfang Bestandteil des Netzwerkes. TSN und Profile sind die Antwort auf diese Anforderungen und betrachten Latenz, Verfügbarkeit, Ressourcenmanagement und Zeitsynchronisation.

Die industrielle Kommunikation für Industrie 4.0 profitiert von konvergenten Netzwerken.

52 IEC/SC 65E „Devices and integration in enterprise systems“

53 IEC 63365 ED1 „Digital Nameplate – Digital Product Marking“

Die in diesem Kapitel aufgeführten Handlungsempfehlungen folgen dem Grundgedanken von konvergenten Netzwerken und unterstützen bei:

- Interoperablen Protokollen;
- Interoperablen Konfiguration;
- Ermöglicht und vereinfacht Übergänge zwischen leitungsgebundenen und drahtlosen Netzwerken;
- Einheitliche Testspezifikationen.

TSN ([IEEE 802.1 TSN Taskgroup](#)) und [IEC/IEEE 60802](#)⁵⁴ „TSN Profile for Industrial Automation“ ([IEEE 802.1 Profile 60802](#), [IEC Profile 60802](#)) im Speziellen sind ein verbindendes Element von **heterogenen, industriellen Netzwerken**. Die Standardisierungsarbeit ist im vollen Gange mit dem Ausblick, im Jahr 2023 die erste Ausgabe zu publizieren. Weitere Publikationen wie das Whitepaper „Integration of 5G with Time-Sensitive Networking for Industrial Communications“ der [5G-ACIA](#) (siehe Whitepaper „Integration of 5G with Time-Sensitive Networking for Industrial Communications“ [\[45\]](#)) und das Technical Paper „OPC UA for Field eXchange (FX)“ [\[46\]](#) der [OPC Foundation](#) zeigen den Zusammenhang zu konvergenten Netzwerken. Wifi mit TSN ist in Planung und wird diesem Ansatz folgen [\[HE 5.1.5-1 V5\]](#).

Die in Version 4 der NRM Industrie 4.0 [\[2\]](#) formulierte Handlungsempfehlung [\[HE 5.1.5-2 V5\]](#) in Bezug auf Dienste und Schnittstellen für das **Netzwerkmanagement** der verschiedenen industriellen Kommunikationsnetze wird noch an Bedeutung gewinnen. Hier gilt es nach wie vor, diese einheitlich und aus der Anwendungssicht heraus zu spezifizieren. Aktuell sind wenig Aktivitäten zu berichten. Vor dem Hintergrund konvergenter Netzwerke entwickeln sich Möglichkeiten, die diese Handlungsempfehlung erfüllen.

Diese Modellierung ist Grundlage für ein effektives Koexistenzmanagement verschiedener (Funk-) Kommunikationslösungen, das nicht nur die „Befindlichkeiten“ der Kommunikation, sondern auch die der Anwendung berücksichtigen kann [\[HE 5.1.5-3 V5\]](#). Zum Beispiel kann durch eine **Verwaltungsschalenmodellierung** die Applikation adaptiv auf Veränderungen der Kommunikation reagieren und umgekehrt (Beispiel: Ein fahrerloses Transportfahrzeug fährt langsamer, wenn die Verbindung schlecht wird, anstatt stehenzubleiben). In der [IDTA](#) wurde eine Arbeitsgruppe eingerichtet, die ein Verwaltungsschalen-Teilmodell entwickeln wird. Es ist

geplant, dass das Teilmodell anschließend in WG24 in einen IEC-Standard überführt wird.

In dem Bereich der **Planung von Kommunikationsnetzen** sind bisher keine Aktivitäten bekannt. Szenarien können Grundlage für einheitliche Testspezifikationen sein, auf die bereits in der Simulationsphase Netze geprüft werden können. Auch bei nicht enden wollenden, immer neuen Use-Case-Erfassungen spielt die Datenkommunikationscharakterisierung immer eine Rolle. Sich hier auf etwas zu einigen, erscheint mir ein effektiver Schritt – selbst wenn die Szenarien nicht in eine formale Testspezifikation einfließen, sondern „nur“ eine Einigung hergestellt wird [\[HE 5.1.5-4 V5\]](#).

Für die Anforderungen an die **Zuverlässigkeitsbewertung** wurde inzwischen eine nationale Richtlinie dazu entwickelt. Die [VDI/VDE-Richtlinie 2192](#)⁵⁵ „Interoperabilität in Industrie 4.0-Systemen – Qualität von Diensten – Kenngrößen und Einflussgrößen“ sollte zu einem internationalen Standard entwickelt werden [\[HE 5.1.5-5 V5\]](#).

Auf beiden Seiten (Provider und Endanwender) bestehen aktuell große Unsicherheiten bei der Verhandlung von Service Level Specifications (SLS), welche die technische Seite eines Service Level Agreements (SLA) ergänzen sollen. Es ist beispielsweise auszuhandeln, wer was wie misst und wer für welche Aspekte verantwortlich ist. Eine internationale Einigung wäre aus meiner Sicht wegweisend. Den Begriff SLS als Ergänzung zu einem SLA hat die [5G-ACIA](#) in einem gleichnamigen Whitepaper „Service-Level Specifications (SLSs) for 5G Technology-Enabled Connected Industries“ [\[47\]](#) diskutiert.

Die Bewertung von industriellen **Echtzeitkommunikationssystemen** gewinnt für die Unternehmen zunehmend an Bedeutung. Eine nationale Richtlinie folgt dieser Handlungsempfehlung – [VDI/VDE-Richtlinie 2185 Blatt 4](#)⁵⁶ „Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik – Messtechnische Performancebewertung von Funklösungen für industrielle Automatisierungsanwendungen“ und beschreibt Kenngrößen und Methoden zur Bewertung industrieller Funkkommunikationssysteme. Ein internationaler Ansatz zur Bewertung von industriellen Echtzeitkommunikationssystemen

55 [VDI/VDE-Richtlinie 2192](#) „Interoperabilität in Industrie 4.0-Systemen – Qualität von Diensten – Kenngrößen und Einflussgrößen“

56 [VDI/VDE-Richtlinie 2185 Blatt 4](#) „Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik – Messtechnische Performancebewertung von Funklösungen für industrielle Automatisierungsanwendungen“

54 [IEC/IEEE 60802](#) „TSN Profile for Industrial Automation“

wird mit IEC 61360-7 „DB – Data dictionary of cross-domain concepts“ gestartet [HE 5.1.5-6 V5].

Eine anwendungsorientierte, kommunikationstechnologie-neutrale **Testspezifikation** ist die Voraussetzung für eine nachhaltige Lösung, die auch für künftige Entwicklungen von Kommunikationstechnologien Bestand hat. Die Feldbus-Konsortien haben sich zusammengeschlossen [48] und beginnen, für IEC/IEEE 60802 eine Testspezifikation zu erstellen. Weiterhin empfohlen ist, diesen Inhalt auch in einem internationalen Standard zu integrieren. In Vorbereitung ist IEC/IEEE 60802 [HE 5.1.5-7 V5].

5.1.5.2 5G-System in Industrie 4.0

Wie in der Vergangenheit dargestellt, wird eine weltweite Harmonisierung der Spektrumsaspekte im Whitepaper der 5G-ACIA „5G for Connected Industries and Automation“ [49] adressiert. Eine konkrete Arbeit zur weltweiten Harmonisierung wurde noch nicht aufgenommen. Es wird empfohlen, diesen Ansatz weiterzuverfolgen [HE 5.1.5-8 V5].

Die Notwendigkeit für die Normen in Bezug auf die nicht öffentlichen lokalen Mobilfunknetze für die Industrie ist weiter vorhanden [HE 5.1.5-9 V5] (siehe 5G-ACIA-Whitepaper „5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios“ [50]).

Für die nahtlose Zusammenführung von (heterogenen) Industrienetzen mit 5G-Netzen werden noch Standards benötigt, die deren Architekturen für verschiedene Arten von Infrastrukturen und die erforderlichen Schnittstellen beschreiben [HE 5.1.5-10 V5]. Details sind noch nicht einheitlich geregelt (z. B. Handover zwischen öffentlichen und nicht öffentlichen Netz).

Ein möglicher Ansatz ist in Kombination mit der Empfehlung in [HE 5.1.5-11 V5], eine Arbeit in IEC SC 65 TC 65C WG 16⁵⁷ „Digital Factory“ zu beginnen. Es gibt in der IEC SC 65 TC 65C/WG 16 einen Vorschlag, Anforderungen an die Anwendung von in 3GPP-spezifizierten Mobilfunksystemen für die industrielle Automation zu beschreiben. Eine Standardisierungsarbeit ist noch nicht gestartet, aber empfohlen.

57 TC 65C WG 16 „Digital Factory“

5.1.5.3 Security in der industriellen Kommunikation

Das zunehmende Kommunikationsaufkommen im Industrie 4.0-Umfeld, insbesondere im Hinblick auf Interoperabilität in digitalen Ökosystemen, erfordert die Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten (**Security**), um eine ausreichende Zuverlässigkeit und Angriffssicherheit zu gewährleisten. Mit der Referenzierung in weiteren technischen Standards (z. B. OPC UA, 5G-ACIA) wird die Bedeutung von IEC/IEEE 60802 „TSN Profile for Industrial Automation“ (IEEE 802.1 Profile 60802, IEC Profile 60802) zunehmen. Der aktuelle Draft 1.4 des Profiles wird ergänzt um Abschnitte zu einem Security-Modell. Diese folgen einem Security-by-Design-Ansatz – Secure Converged Networks [HE 5.1.5-12 V5]. Der aktuelle Draft des Profiles wird ergänzt um Abschnitte zu einem Security-Modell. Weitere Aspekte zu Security im Kapitel 5.2.2.

5.1.5.4 SPE und APL – Antwort auf die Anforderungen der Prozessindustrie

Anforderungen aus der Prozessindustrie zur Physik von Ethernet führen zu Erweiterungen der IEEE 802.3 Standards. Single Pair Ethernet (SPE) berücksichtigt Umgebung, Topologie und Anforderung des Sensormarktes. Da Basis Ethernet ist, folgen die Vorteile Reduzierung von Gateways, Flexibilität bezüglich Protokolle, Power Delivery etc. Dies erleichtert die Einbindung in OT-Netzwerke und unterstützt Industrie 4.0. Aktuelle IEEE-Standards (z. B. IEEE P802.3dg 100 Mb/s Long-Reach Single Pair Ethernet) standardisieren Anforderungen zu Link Speeds und Segmentlänge. Zudem wird empfohlen, die relevanten Standards von IEEE in IEC 61158-2⁵⁸ „Industrial communication networks – Fieldbus specifications – Part 2: Physical layer specification and service definition“ aufzunehmen [HE 5.1.5-13 V5].

Weitere Anforderungen erwachsen aus dem Projekt **Ethernet Advanced Physical Layer (APL)** [51]. Ein Whitepaper „Ethernet – To the Field“ [52] erklärt die Zusammenhänge und Details. Zusammengefasst ein Zweidraht-Ethernet – vergleichbar wie SPE – ergänzt um Features für explosionsgefährdete Bereiche, ebenso vereinfachte Installation, Power-Delivery und bringt mit Ethernet die Vorteile gängiger Protokolle und Dienste für Sensoren und Feldgeräte. Das

58 IEC 61158-2 „Industrial communication networks – Fieldbus specifications – Part 2: Physical layer specification and service definition“

Ergebnis des Projektes wird aktuell in einer Technischen Spezifikation (IEC TS 63444⁵⁹ ED 1 „Industrial networks – Ethernet-APL Port Profile Specification“) bei IEC eingebracht. Eine Integration in relevante Feldbusstandards ist wünschenswert [HE 5.1.5-14 V5].

5.1.5.5 Industrielles Lokationsmanagement

Die Lokalisierung von Objekten ist eine wichtige Anforderung in Industrie 4.0, vor allem im Hinblick auf eine Transparenz bei den zunehmend dynamischen und mobiler werdenden Produktionsprozessen. Ortungsdaten helfen unter anderem, den Materialfluss zu optimieren, Suchzeiten zu minimieren sowie mobile Betriebsmittel und Produktionsflächen effizienter zu nutzen. Damit können sie einen nachhaltigen Effekt für die Zukunftssicherung der industriellen Produktion in Ländern mit hohen Personal-, Material- und Energiekosten leisten.

Die Möglichkeiten, Ortungsdaten zu erheben, zu verwalten und bereitzustellen, sind mannigfaltig und reichen von funkgestützten Verfahren bis hin zu optischen Ortungstechnologien. Aus diesem Grund ist eine Harmonisierung auf verschiedenen Ebenen notwendig [HE 5.1.5-15 V5]. Diese umfasst sowohl die Vereinheitlichung in den verschiedenen Ortungstechnologien als auch die anschließende Verarbeitung und Bereitstellung der Ortungsdaten. In diesem Kontext ist der offene Ortungsstandard **omlox** [53] – der als Technologiegruppe innerhalb der PROFIBUS Nutzerorganisation betreut wird – eine bereits sehr weit fortgeschrittene Initiative zur Harmonisierung eines industriellen Lokationsmanagements. Aus **omlox** wurden bereits Harmonisierung mit der Verwaltungsschale, in die Semantik von Maschinendaten (**OPC Foundation**), die Integration von Lokalisierungstechnologien in Industriebauten (BuildingSmart) und eine nahtlose Ortung im Outdoor-Umfeld z. B. in der Logistik (OpenGeospatial Consortium) initiiert. Die Vorarbeiten von **omlox** können sicher einen wertvollen Beitrag bei den oben genannten Aspekten leisten.

5.1.6 Funktionale Sicherheit in Industrie 4.0

Wir beginnen mit einer Definition der Sicherheit. Dies ist die Freiheit von unvermeidbaren Risiken der physischen Verletzung oder Schädigung der Gesundheit von Menschen, entweder direkt oder indirekt als ein Ergebnis von Schäden an Gütern oder der Umwelt.

Funktionale Sicherheit ist der Teil der Gesamtsicherheit, der davon abhängig ist, dass ein System oder ein Betriebsmittel korrekte Antworten auf seine Eingangszustände liefert. Ein Übertemperatur-Schutzgerät, das Temperatursensoren in den Wicklungen eines elektrischen Motors verwendet, um den Motor abzuschalten, bevor er sich überhitzen kann, ist ein Beispiel für funktionale Sicherheit. Das Bereitstellen einer speziellen Isolierung, um hohen Temperaturen standzuhalten, ist kein Beispiel für Funktionale Sicherheit, obwohl es immer noch ein Beispiel für Sicherheit ist und gegen genau die gleiche Gefährdung schützen könnte. Weder Sicherheit noch funktionale Sicherheit können ohne Beurteilung der Systeme als Ganzes und der darauf einwirkenden Umwelt bestimmt werden (**DIN EN 61508 (VDE 0803) Beiblatt 1: 2005-10**⁶⁰ „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme“).

5.1.6.1 Grundprinzipien der funktionalen Sicherheit in Industrie 4.0

Um die Prinzipien der **funktionalen Sicherheit** befolgen zu können, müssen bereits in der Entwicklung die eigentlichen Funktionen bedacht werden: Ein Motor soll sich beispielsweise drehen und ein Ventil öffnen. Eine entscheidende Frage an der Stelle ist, wie Fehlfunktionen aussehen (Motor dreht in die falsche Richtung und schließt das Ventil, anstatt es zu öffnen) und wie sich das Problem verhindern lassen könnte.

Nach diesem Prinzip werden alle möglichen Eventualitäten dokumentiert – von einer einfachen und oberflächlichen bis hin zu einer sehr tiefen und detaillierten Ebene. Eine seit Jahren bekannte und stetig weiterentwickelte Methode zur Reduzierung von systematischen Fehlern ist das sogenannte V-Modell (siehe **Abbildung 10**).

59 IEC TS 63444 ED 1 „Industrial networks – Ethernet-APL Port Profile Specification“

60 DIN EN 61508 (VDE 0803) Beiblatt 1: 2005-10 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme“

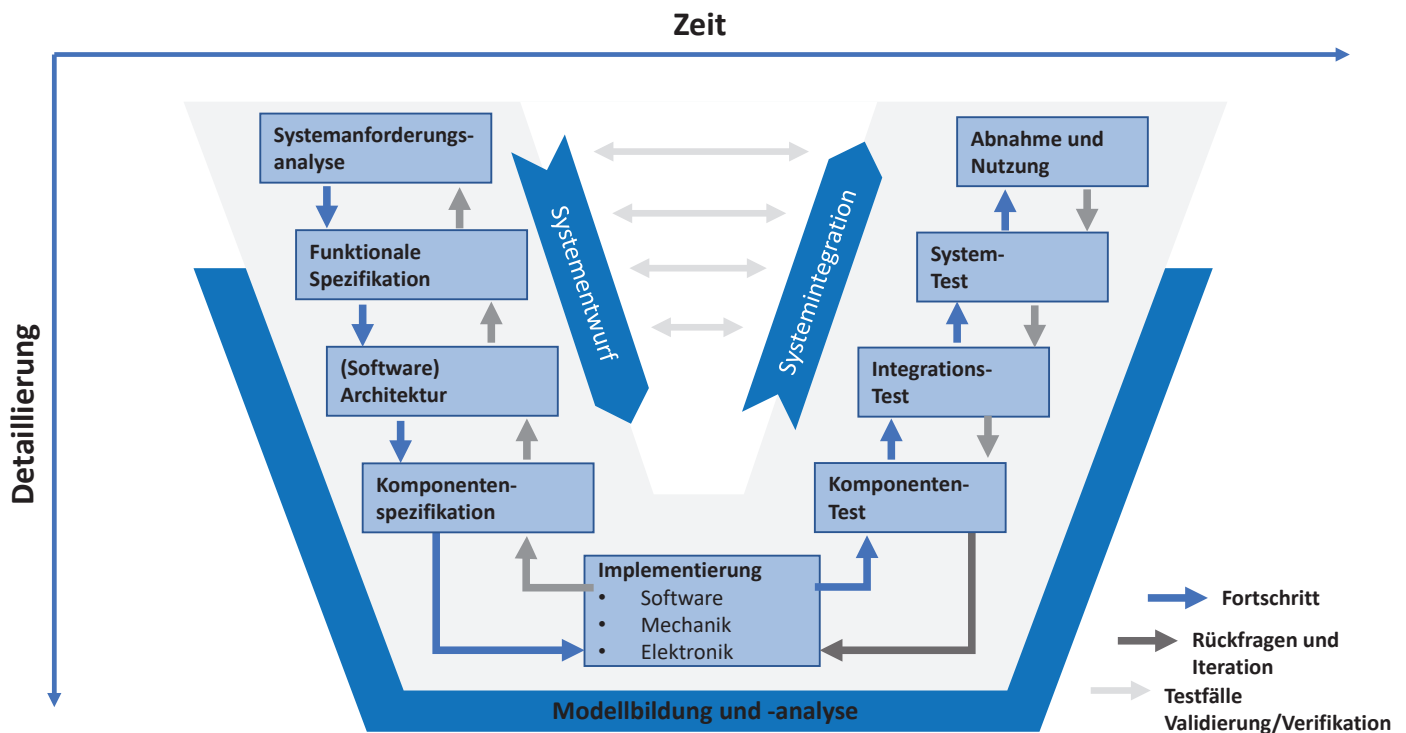


Abbildung 10: V-Modell: ein iterativer Prozess zur Reduzierung von systematischen Fehlern (Quelle: V-Modell: VDI 2206:2004-06 – VDI Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung)

Dieses iterative Vorgehensmodell wurde ursprünglich für den Entwurf und die Entwicklung von Software konzipiert und wird mittlerweile auch für den Entwurf mechatronischer Systeme eingesetzt. Neben dem in Entwicklungsphasen eingeteilten Softwareentwicklungsprozess werden im V-Modell diesen Phasen Testphasen gegenübergestellt und damit ein Vorgehen zur Qualitätssicherung festgelegt.

Ausgehend von den Kundenanforderungen werden auf der linken Seite die funktionalen und fachlichen Spezifikationen immer weiter detailliert, bis eine Implementierung erfolgen kann. Jede Implementierung wird anhand der auf der rechten Seite dargestellten Testschritte gegen die Spezifikationen der linken Seite geprüft.

Eine praktische Anwendung des V-Modells zeigt folgende [Abbildung 11](#).

Dabei werden die verschiedenen Implementierungsschritte im Rahmen digitalisierter Prozesse abgebildet. Abhängig von der individuellen Situation können die einzelnen Lebenszyklusphasen separiert werden.

Im Bereich der technischen Umsetzung der definierten Sicherheitsfunktion sowie deren Betrieb wird der Implementierungsprozess in die Stränge Hardware, Software und Test aufgeteilt. Dies erlaubt die Verwendung automatisierter Prüfprozesse sowohl während der Implementierung als auch während des Betriebs der Anlagen. Diese Vorgehensweise erlaubt eine umfassende Digitalisierung des SIS-Baus und -Betriebs und reduziert gleichzeitig die Kosten der funktionalen Sicherheit.

Die Grundvoraussetzung für eine konsequente Modularisierung in der Produktion ist eine einheitliche Beschreibung der Informationen der einzelnen Module. Zu diesem Zweck wurde 2022 an der IDTA ein Verwaltungsschalen-Teilmodell „Inclusion of Module Type Package (MTP) Data into Asset Administration Shell“ entwickelt [43], welches eine solche Beschreibung einheitlich und über den branchen- und herstellerübergreifenden Standard „MTP“ (Module Type Package) regelt [HE 5.1.6-1 V5].

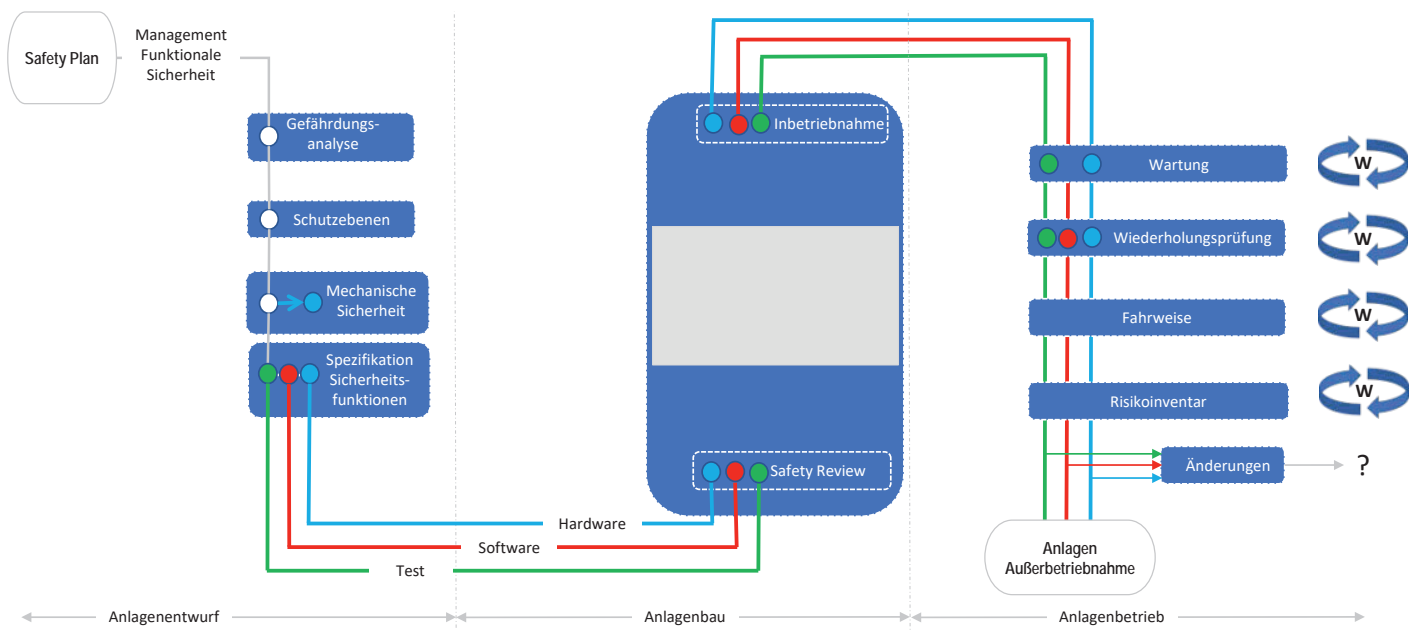


Abbildung 11: Praktische Anwendung des V-Modells

5.1.6.2 Funktionale Sicherheit und Cybersecurity

„Functional Safety“ (**Betriebssicherheit**) und „Cybersecurity“ (**Angriffssicherheit**) haben gegenseitige Abhängigkeiten und die normativen Arbeiten in diesem Bereich sollten weiter vertieft und konkretisiert werden [HE 5.1.6-2 V5].

Häufig kommt die Frage auf, ob es überhaupt einen großen Unterschied zwischen den beiden Begrifflichkeiten gibt, denn in beiden Fällen lautet die deutsche Übersetzung: „Sicherheit“. Der Unterschied ist einfach erklärt und stützt sich dabei auf die englische Sprache. **Functional Safety** schützt den Menschen vor der Maschine und **Cybersecurity** schützt die Maschine vor dem Menschen (siehe [Abbildung 12](#)).

Die englische Sprache ist daher wesentlich präziser hinsichtlich der Definition und Beschreibung des Begriffs als die deutsche Sprache. Für Experten und Anwendende ist diese Unterscheidung einfach und ganz selbstverständlich – Laien auf diesem Gebiet hingegen verstehen anfangs aber nicht immer direkt, über welche Art der Sicherheit gesprochen wird.

Eine wesentliche Aussage, die in den vergangenen Jahren immer wieder aufkam, ist: „If it’s not secure, it’s not safe.“⁶¹ Kern der Aussage ist also, dass, wenn eine Anlage nicht gegen Angriffe von außen geschützt ist, der Schutz des Menschen vor der Maschine ebenfalls nicht mehr sichergestellt werden kann.

Es kann – insbesondere an Schnittstellen – nicht ausgeschlossen werden, dass sich Safety- und Security-Maßnahmen gegenseitig beeinflussen. Relevant wird das vor allem dann, wenn für ein komplexes System eine ganzheitliche Risikobetrachtung bzw. Risikobewertung aufgestellt werden muss. Diese enthält eine Safety-Risikobewertung und eine Security-Risikobewertung. Für die ganzheitliche Risikobetrachtung erfolgt ein fachlicher Austausch beider Vertreter*innen, der aufzeigen soll, welche Anforderungen bzw. Maßnahmen im jeweiligen Bereich auch Auswirkungen auf den jeweils anderen Bereich haben könnten [HE 5.1.6-3 V5].

Die Berücksichtigung von Kriterien der menschengerechten Gestaltung von Industrie 4.0-Systemen ist eng mit der funktionalen Sicherheit dieser Systeme verknüpft, da eine an den

61 [dt.: Wenn es nicht sicher ist, ist es gefährlich.]

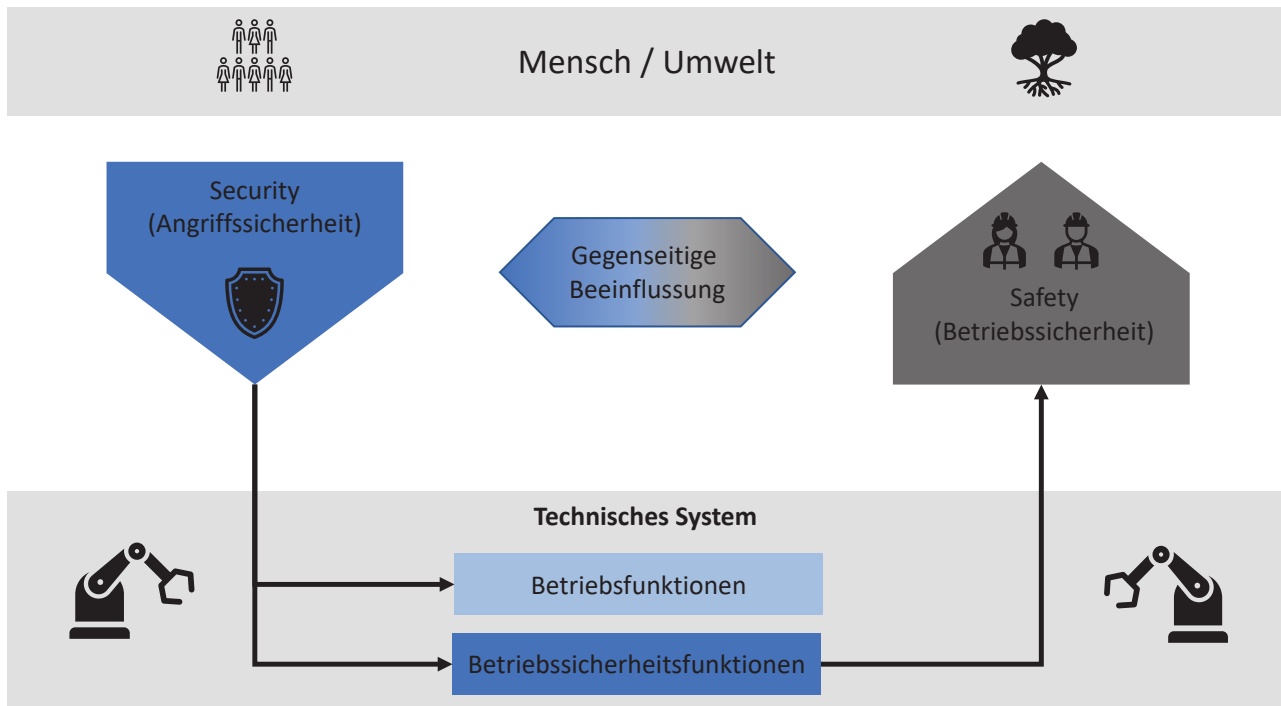


Abbildung 12: Unterschied Safety und Security (Quelle nach: DKE)

Bedürfnissen und Fähigkeiten menschlicher Bedienpersonen ausgerichtete Gestaltung dazu beitragen kann, Fehler und Unfälle zu vermeiden. Insbesondere die Gestaltung von Schnittstellen ist dabei zu berücksichtigen. Die folgende Handlungsempfehlung aus der Version 4 der NRM Industrie 4.0 [2] wird daher an dieser Stelle erneut aufgegriffen [HE 5.1.6-4 V5].

5.1.6.3 IEC 61508: Die internationale Normenreihe für funktionale Sicherheit

Der Geltungsbereich der Normenreihe IEC 61508⁶² (siehe Abbildung 13) erstreckt sich über Konzept, Planung, Entwicklung, Realisierung, Inbetriebnahme, Instandhaltung und Modifikation bis hin zur Außerbetriebnahme und Deinstallation. Wenn die Anforderungen der Normenreihe konsequent umgesetzt werden, ergibt sich ein Managementsystem zum sicheren Entwickeln und Betreiben von Produkten und Anlagen. Darüber hinaus gibt es noch weitere normative Festlegungen für spezielle Produktbereiche.

Jeder dieser Bereiche greift auf Normenreihen zurück, deren Inhalte speziell auf die jeweiligen Anwendungsfelder angepasst sind. Das ist nachvollziehbar, denn die Anforderungen an ein Produkt oder eine Anlage bei Bahnanwendungen sind vollkommen andere als im Bereich von medizinisch elektrischen Geräten. Die Grundlage im Zusammenhang der funktionalen Sicherheit bietet jedoch in jedem Fall die Normenreihe IEC 61508.

Ein sehr gutes Beispiel ist die Normenreihe ISO 26262⁶³ „Road vehicles – Functional safety“: Sie bildet ein eigenständiges Normenwerk für die Automobilindustrie. Die Grundgedanken stammen aus der Normenreihe IEC 61508 (z. B. SIL) und werden an die branchenspezifischen Anforderungen angepasst (z. B. ASIL).

Andere aktuelle Themen zur funktionalen Sicherheit sowie detailliertere Informationen zu dem Thema sind auch auf der DKE-Seite „<https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/core-safety/funktionale-sicherheit>“ zu finden.

62 IEC 61508-Reihe „Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems“

63 ISO 26262-Reihe „Road vehicles – Functional safety“

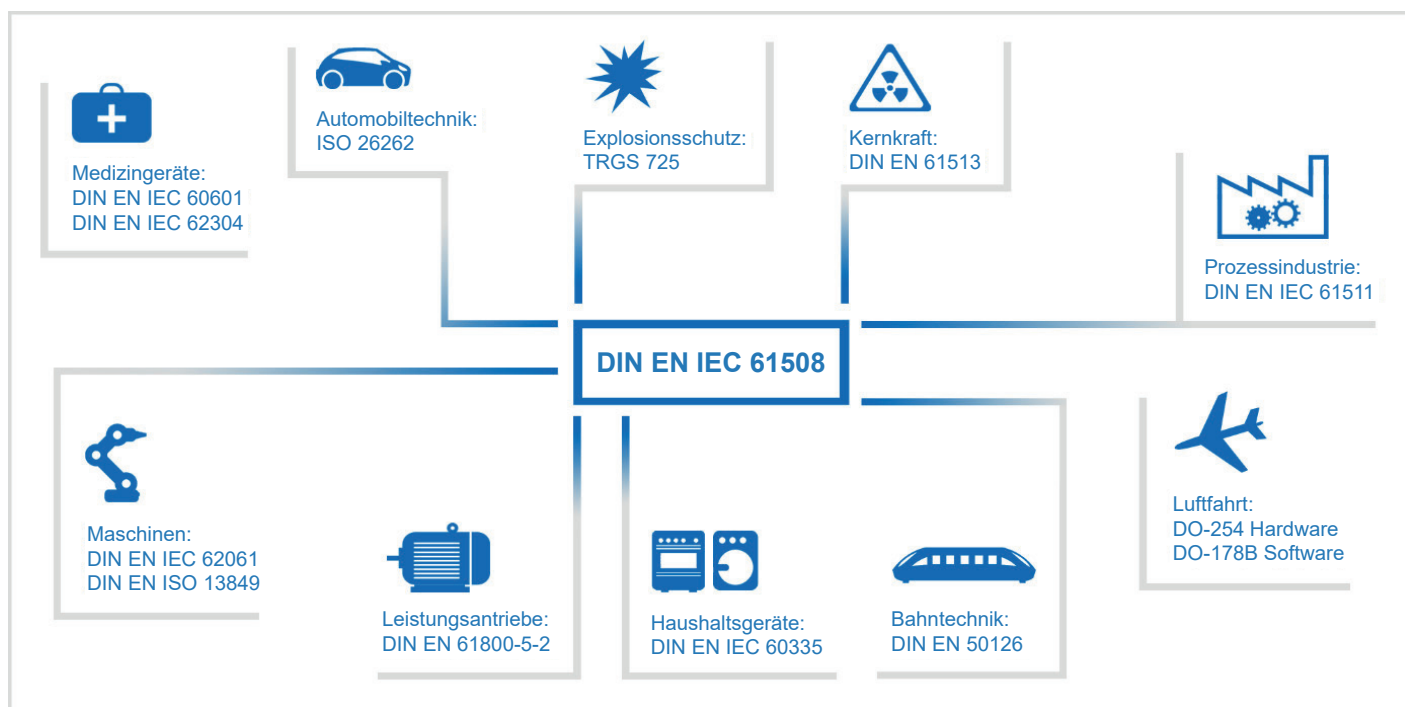


Abbildung 13: Normreihe zur funktionalen Sicherheit (Quelle: DKE)

5.1.7 Künstliche Intelligenz in industrieller Automation

Künstliche Intelligenz (KI) ist seit einigen Jahren allgegenwärtig und aus der heutigen digitalen Welt nicht mehr wegzudenken. Sie durchdringt immer mehr Bereiche des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Lebens und verändert bereits die Art und Weise, wie wir arbeiten, lernen, kommunizieren und konsumieren. Schon heute gibt es zahlreiche, bereits existierende Anwendungsbeispiele für KI. Auch in der Industrie nimmt die Bedeutung von KI rasant zu. Experten gehen davon aus, dass KI die industrielle Wertschöpfung in Zukunft so stark beeinflussen wird, dass sich Unternehmen ihrem Einsatz kaum entziehen können. Die Möglichkeiten sind vielfältig: Sprachassistenten und Chatbots gehören dazu, Programme zur Dokumentenrecherche, Systeme zur Bilderkennung, Industrieroboter, die mit Menschen in der Fabrik interagieren, oder autonom fahrende Logistiksysteme. KI wird bereits in vielen Unternehmen eingesetzt, um Prozesse zu optimieren und ihre Stabilität zu gewährleisten, die Produktivität zu steigern, eine kontinuierliche Qualität der Produktion sicherzustellen und die Energiekosten zu senken. Dabei handelt es sich hauptsächlich um analytische Tätigkeiten, die Entscheidungsprozesse unterstützen. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz ermöglicht dabei eine Anpassung auf Basis von Beobachtungen und vorhandenem (Hintergrund-)

Wissen anstelle von starren, vordefinierten Mustern. KI ist somit eine Technologie, die den Fortschritt vorantreibt und die Wirtschaftskraft und letztlich den Wohlstand einer ganzen Gesellschaft sichert. Im Englischen und vermehrt auch im deutschsprachigen Raum wird auch von Industrial Artificial Intelligence oder Industrial AI gesprochen. Dies umfasst dabei alle Anwendungsfelder von Künstlicher Intelligenz in der industriellen Anwendung bzw. Industrie 4.0 [54], [55].

Normung und Standardisierung von KI haben in Deutschland und Europa einen wesentlichen Stellenwert – nicht zuletzt aufgrund der nationalen KI-Strategie der Bundesregierung [56], [57] sowie der Strategie und der regulativen Aktivitäten der Europäischen Kommission [58]. Im Zusammenhang mit KI wurden bereits zahlreiche Normen und Standards veröffentlicht oder werden derzeit entwickelt – auf nationaler und internationaler Ebene, auf Konsortialbasis sowie im Vollkonsens. Aufgrund des disruptiven Charakters der KI befassen sich auch Regulierungs- und Gesetzgebungsbehörden weltweit zunehmend mit der Künstlichen Intelligenz und ihren Auswirkungen, z. B. auf die korrekte Auslegung und Gültigkeit des festgelegten Rechtsrahmens bei der Anwendung der Künstlichen Intelligenz.

Aus der Geschichte der Künstlichen Intelligenz, die vor mehr als 30 Jahren in der wissenschaftlichen Forschung begann, ist es die „Theorie und Entwicklung von Computersystemen, die in der Lage sind, Aufgaben zu erfüllen, welche normalerweise menschliche Intelligenz erfordern, wie visuelle Wahrnehmung, Spracherkennung, Entscheidungsfindung und Übersetzung zwischen Sprachen“ [59]. Diese Definition bietet den erforderlichen Freiraum für die Erforschung und (wissenschaftliche) Arbeit. Ferner ist diese insbesondere auch technologieunabhängig, indem sie sich auf das Ziel stützt, (mensenähnliche) Intelligenz mit technischen Systemen zu realisieren, wodurch jede Technologie zur Realisierung dieses Ziels unter diesen Themenbereich subsumiert werden kann. Eine eindeutige Unterscheidung, ob eine Technologie, Anwendung oder Methode Künstliche Intelligenz ist oder nicht, ist auf der Basis einer solchen Definition kaum möglich – nicht nur bei isolierten Randthemen. Bei der Betrachtung konkreter technischer Fragestellungen in einem normativen Kontext, bei der Prüfung oder gar Neudefinition rechtlicher oder regulatorischer Anforderungen steht man jedoch vor der Herausforderung, eine Definition von KI zu verwenden, die den Betrachtungs- oder Geltungsbereich konkreter und mit weniger Interpretationsspielraum abgrenzt. Letztlich bildet die Definition (von KI) die Grundlage für alle nachfolgenden Überlegungen zur Anwendung, zu regulatorischen, normativen und gesetzgeberischen Überlegungen, zu Vorgaben und Inhalten. Existiert keine allgemein akzeptierte Definition oder sind bestehende Definitionen nicht passend oder zu ungenau für die Arbeit und Intention einer Gruppe oder Publikation, so ist der typische Weg, eine „eigene“ Definition zu erstellen oder eine bestehende neu zu definieren oder zu konkretisieren, um die Genauigkeit und den Selbstbezug von Dokumenten, z. B. Spezifikationen, Normen, regulatorische Richtlinien, so gut wie möglich zu erreichen.

Die Änderung einer zugrunde liegenden Definition kann jedoch auch dazu führen, dass entwickelte Spezifikationen ebenfalls geändert, erweitert oder angepasst werden müssen. Darüber hinaus können Inhalte (z. B. aus verschiedenen Normen oder Standards), die auf unterschiedlichen Definitionen beruhen, nicht direkt gemeinsam angewendet werden. Je unterschiedlicher, aber konkreter die Definitionen sind, desto komplexer wird die Identifizierung einer Konsolidierung oder gemeinsamen Anwendung von Inhalten; die Gefahr widersprüchlicher Inhalte steigt und eine Harmonisierung von Inhalten wird deutlich schwieriger. Das ist die Situation, mit der wir derzeit konfrontiert sind. Vor dieser Situation stehen wir nicht zuletzt deshalb, weil es noch keine allgemein genutzte Definition von KI gibt.

Seit 2022 gibt es nun einen durch weltweit intensive Diskussionen erreichten normativen Konsens einer Definition von Künstlicher Intelligenz: Ein KI-System ist ein „engineered system that generates outputs such as content, forecasts, recommendations or decisions for a given set of human-defined objectives“ (siehe [ISO/IEC 22989](#)⁶⁴). Problematisch ist, dass diese Definition immer noch recht schwach ist und das bestehende Problem der unterschiedlichen Definitionen nicht unmittelbar löst. Die nationale Spiegelarbeit findet im Rahmen des DIN DKE-Gemeinschaftsausschusses Künstliche Intelligenz ([NA 043-01-42 GA](#)⁶⁵) statt, in dem auch Mitglieder des SC14.0 Expertenrates für Künstliche Intelligenz in industriellen Anwendungen als Mitarbeitende tätig sind, um die Konsistenz von Industrie 4.0-Anwendungen kontinuierlich zu überprüfen. Diese Arbeit sollte weitergeführt und intensiviert werden [[HE 5.1.7-1 V5](#)]. Auf europäischer Ebene wurde im Juni 2021 das CEN/CENELEC JTC 21 „Artificial Intelligence“ gegründet, dessen nationale Arbeiten in Deutschland ebenfalls im [NA 043-01-42 GA](#) stattfinden. Hierdurch konnte eine strategische Bündelung nationaler Aktivitäten und Kanalisierung zu europäischen und internationalen Normungsaktivitäten erreicht werden. Die Bemühungen zur Orchestrierung, Konsolidierung und Harmonisierung von Normung und Standardisierung im Kontext von KI sollte insbesondere auch auf europäischer Ebene intensiviert werden – nicht zuletzt im Kontext regulatorischer Aktivitäten auf europäischer Ebene.

Sogenannte High-Risk-KI-Systeme (im Sinne des EU AI Act [[60](#)]) können auch Systeme sein, welche nicht als Safety-Systeme gelten. Allerdings gelten ähnliche Anforderungen. Dabei ist jedoch unklar, ob diese High-Risk-KI-Systeme in Zukunft durchgängig als Safety-Systeme (im Sinne von Fail-Safe, funktionale Sicherheit, siehe auch [Kapitel 5.1.6](#)) betrachtet werden sollen [[HE 5.1.7-2 V5](#)].

Normen und Standards basieren auf dem jeweils gültigen Standard der Technik. KI stellt ein aktives Forschungsfeld dar, in dem in immer kürzeren Abständen neue innovative Algorithmen und Lösungen entwickelt werden, wie z. B. im Falle immer größerer Transformermodelle zur Sprachverarbeitung [[61](#)], [[62](#)], [[63](#)] oder Text-zu-Bild-Generatoren [[64](#)], [[65](#)], [[66](#)]. Der Stand der Technik verändert sich mit zunehmender Geschwindigkeit. Als einer der sich daraus

64 [ISO/IEC 22989:2022](#) „Artificial intelligence – Artificial intelligence concepts and terminology“

65 [NA 043-01-42 GA](#) „DIN/DKE Gemeinschaftsarbeitsausschuss Künstliche Intelligenz“

ergebenden, positiven Effekte ist eine zunehmend stärkere, zeitlich verkürzte Bindung von Wissenschaft und Normung zu beobachten. So fließen Forschungsergebnisse bereits häufig im Rahmen etwaiger (ggf. öffentlich geförderter) Projekte direkt in normative Aktivitäten ein oder werden aus wissenschaftlichen Initiativen heraus angestoßen. Dabei liegt jedoch die Herausforderung darin, dass die teils sehr komplexen (nationalen und internationalen) Abstimmungen, etablierte normative Abstimmungs- und Harmonisierungsmechanismen, relevante Gremien und Liaisons aus wissenschaftlicher Sicht teils unbekannt sind und dies gerade in internationalen Forschungsprojekten und deren Initiativen in der Normung häufig zu widersprüchlichen nationalen Signalen auf internationaler Ebene führt – insbes. auch gegenüber Nationen mit anderer nationaler Normungspolitik als Deutschland und Europa (wie beispielsweise China). Um daher diese grundsätzlich positive Entwicklung aus Sicht international harmonisierter Normungsaktivitäten zielgerichteter zu nutzen und positive Effekte für nationale und europäische Interessen zu ermöglichen, ist die Stärkung zwischen Wissenschaft und Normung notwendig [HE 5.1.7-3 V5], [HE 5.1.7-4 V5].

Die „Strategic Advisory Group“ des CEN/CENELEC JTC 21 hat als eines ihrer Ziele die Entwicklung einer Normungsroadmap und -strategie mit Fokus auf Europa. Auf internationaler Ebene wurde im Herbst 2021 eine Beratungsgruppe bei ISO/IEC JTC 1/SC 42 „Artificial Intelligence“ eingerichtet, die eine Normungslandkarte und einen Überblick über laufende und veröffentlichte (Normungs- und Standardisierungs-) Projekte erarbeiten soll. Andere Arbeitsgruppen desselben SC entwickeln in Ad-hoc-Gruppen Roadmapstrategien für weitere Projekte in ihren Themenbereichen. Eine laufend aktualisierte Übersicht über die wichtigsten Normungsgremien und deren strukturelle Organisation im Kontext von KI in industriellen Anwendungen soll national institutionell erarbeitet werden, wie beispielsweise durch das SCI4.0 und dessen Expertenrats für Künstliche Intelligenz in industriellen Anwendungen [HE 5.1.7-5 V5].

In der NRM Industrie 4.0 V4 wurde bereits die Handlungsempfehlung zum Aufbau eines Bewertungsrahmens für KI-Methoden beschrieben. Ausgehend von dieser Handlungsempfehlung wurden auf internationaler Ebene bereits Normen und Spezifikationen zu horizontalen KI-Methoden und -Systemen veröffentlicht, darunter ISO/IEC 5392⁶⁶ und

ISO/IEC 42001⁶⁷. Durch die nationale Spiegelerarbeit im DIN DKE-Gemeinschaftsausschuss Künstliche Intelligenz können die Ergebnisse der so erarbeiteten Normen und Spezifikationen vom SCI 4.0-Expertenrat „Künstliche Intelligenz“ in industriellen Anwendungen im Hinblick auf Anforderungen der Industrie 4.0 überprüft und auf dieser Basis vertikale Normungsarbeiten initiiert werden. Aufgrund der bereits sich aus den bisherigen Arbeiten ergebenden positiven Effekte sollten diese Aktivitäten weitergeführt und intensiviert werden [HE 5.1.7-6 V5]. Dabei sollten zusätzlich regulative Aktivitäten (siehe [HE 5.1.7-1 V5] sowie [HE 5.1.7-2 V5]) sowie die allgemeinen Qualitätsmerkmale von Methoden (siehe auch [HE 5.1.7-7 V5]) sowie deren Einfluss auf diese Berücksichtigung finden bzw. in die horizontale Normung seitens der Industrie 4.0-Community eingebracht werden.

Wie bereits die im Rahmen der Plattform Industrie 4.0 erarbeiteten Anwendungsszenarien [67], [68] aufzeigen, nimmt Industrie 4.0 Einfluss auf den gesamten Lebenszyklus der Produktentwicklung, den Einsatz des Produkts bis zum Recycling ebenso wie (Sonder- und Serien-)Maschinenbau, Systemintegration, (flexibler) Anlagenbetrieb inkl. Logistik und Rückbau sowohl im Greenfield- als auch Brownfield. Analog verhält es sich bei den Einsatzmöglichkeiten von KI, welche grundsätzlich in jeder Phase and Facette des Lebenszyklus von Produkt und Produktion im Kontext von Industrie 4.0 zum Einsatz kommt bzw. kommen kann. Die Entwicklung von (mechatronischen) Produkten, Maschinen und Anlagen ist bereits heute durch seine hohe Interdisziplinarität charakterisiert: So sind beispielsweise an der Entwicklung einer Maschine u. a. Konstrukteur*innen zur mechanischen Auslegung, Elektrotechniker*innen und ggf. Fluidtechniker*innen für die Planung von Elektrik/Elektronik sowie pneumatischen oder hydraulischen Aspekten und Automatisierungstechniker für die Steuerungssoftware beteiligt. Durch den zunehmenden Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie im Allgemeinen und KI im Speziellen wird dieser Kreis u. a. um KI-Expertise, Informatiker*innen, Datenanalyst*innen etc. erweitert. Dementsprechend ergibt sich die Herausforderung, wie eine systematische (interdisziplinäre) Entwicklung und der Betrieb KI-basierter Lösungen als Teil von solchen Systemen möglich ist. Dies wird auch als KI-Engineering bezeichnet.

66 ISO/IEC 5392 „Information technology – Artificial intelligence – Reference architecture of knowledge engineering“

67 ISO/IEC 42001 „Artificial intelligence – Management system“

Wie sich bereits in einer Vielzahl von Arbeiten in Forschung [69], [70], [71] und Praxis [72], [73] gezeigt hat, steht eine interdisziplinäre Systementwicklung maßgeblich vor der grundlegenden Herausforderung, ein gemeinsames (Begriffs-)Verständnis zu erarbeiten bzw. sich auf ein solches zu stützen. Durch den Einsatz von Methoden und Algorithmen aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz steigen die Herausforderung und damit der Bedarf zusätzlich an; eine einheitliche gemeinsame (normativ definierte und konsistente) Terminologie unter Berücksichtigung notwendiger Fachtermini in der industriellen Automation bzw. Industrie 4.0 würde die Entwicklung und damit die Zusammenarbeit signifikant stärken, um (ggf. sehr kostenintensive) Missverständnisse zu vermeiden (siehe auch [HE 5.1.7-1 V5]). Häufig handelt es sich bei Systemen im Kontext von Industrie 4.0 um kritische Anwendungen und komplexe Systeme, weshalb ein hohes Maß spezifischer Qualitätskriterien wie Verlässlichkeit, Vertrauenswürdigkeit, Sicherheit (im Sinne von Safety und Security) und Kontrollierbarkeit gefordert ist. Während diese Anforderungen und deren Bewertung bzw. Eigenschaftsnachweis (zur Laufzeit) der Systeme in der Systementwicklung ohne KI (häufig) durch Best Practices, Standards und Normen bereits adressiert werden, fehlen in der Industrie akzeptierte Vorgehensweisen und Entwicklungsmethoden für KI-basierte Systeme oder Teilsysteme und deren Bewertung und Nachweis von Eigenschaften [HE 5.1.7-8 V5]. Dabei ergeben sich ggf. unterschiedliche (Qualitäts-)Anforderungen in jeweiligen Lebenszyklusphasen; auch müssen ggf. Nachweise vor einer spezifischen Phase des Lebenszyklus bereits erbracht sein, wie beispielsweise Safety-Betrachtungen, bevor eine Maschine ggf. produktiv arbeitet. Nicht in allen Anwendungen und Lebenszyklusphasen werden identische Anforderungen gestellt. Gerade beim Einsatz von Lernverfahren, wie z. B. Maschinelles Lernen, muss die Einhaltung spezifischer Randbedingungen (z. B. Safety) auch im Falle des Einsatzes von (kontinuierlichen) Lernverfahren über die gesamte (produktive) Lebenszeit einer Maschine sichergestellt werden.

Aktuell zeigt sich eine Fokussierung normativer Aktivitäten von Künstlicher Intelligenz in horizontalen Gremien. Dies ist für einen solch disruptiven und weitreichend einsetzbaren Methoden- und Technologiebereich wie KI ein erster logischer Schritt. Aktuell bündelt sich ein Großteil der Normungsaktivitäten zu KI in ISO/IEC JTC 1/SC 42. Nach einer ersten, bereits erfolgten Orientierungsphase zeigt sich jedoch, dass sich durch diesen zentralisierten Ansatz zur Normung von KI neben einer Vielzahl teils sehr heterogener Aspekte und Themen eine Vielzahl von Abhängigkeiten zu anderen Normungsaktivitäten ergibt. Hierdurch steigen die Komplexität

und der personelle Aufwand in den zentralen Normungsgremien erheblich und eine Sicherstellung der Konsistenz zu relevanten Normungsaktivitäten außerhalb dieses zentralen Gremiums (insbesondere in fachspezifischen Details) ist erheblich erschwert – nicht zuletzt auch für relevante Aspekte von KI in Industrie 4.0. Aus diesem Grund ist eine Reallokation bzw. Verlagerung von Normungsprojekten aus zentralen KI-Gremien hin zu den (weitestgehend bereits existierenden) fachspezifischen Normungsgremien anzustreben, z. B. in die Gremien des IEC TC 65 (siehe [HE 5.1.7-8 V5]), sowie eine Stärkung orchestrierender Gremien.

Häufig wird aktuell das Thema KI mit dem Einsatz von Lernverfahren (subsymbolische KI), wie z. B. Maschinelles Lernen, gleichgesetzt. Der große und seit Jahrzehnten bestehende Forschungs- und Anwendungsbereich symbolischer KI, d. h. Verarbeitung von explizitem Wissen (z. B. mittels mathematischer Logik) und entsprechende Schlussfolgerungsmechanismen (Reasoning), wird hierbei häufig außer Acht gelassen. Diese spielen jedoch in der industriellen Automatisierung ebenfalls eine nicht unerhebliche Rolle, da explizite (digitale) Modelle beispielsweise im Entwicklungsprozess von Produkten, Maschinen und Anlagen genutzt werden, wie z. B. MCAD, ECAD etc. Des Weiteren werden im Rahmen der Entwicklung und Anwendung des digitalen Zwillings und der Verwaltungsschale im Kontext von Industrie 4.0 (siehe Kapitel 5.1, insbes. 5.1.3 und 5.1.4) grundlegende (digitale) Beschreibungen physischer (Teil-)Systeme (z. B. in Form von Teilmodellen der Verwaltungsschale) sowie Zugriff auf operative Daten (API der Verwaltungsschale) erarbeitet. Methoden und Algorithmen der KI können auf Basis dieser Informationen automatische Verarbeitungen durchführen. Dies setzt jedoch eine geeignete formale Basis der bereitgestellten Informationen voraus (siehe auch [HE 5.1.3-4 V5] sowie [HE 5.1.4-2 V5]). Häufig werden Softwareinnovationen, wie Teilmodelle der Verwaltungsschale, aufgrund schneller Innovationszyklen im Rahmen einer (agilen) Standardisierung (konsortial) erarbeitet. Um die (semantische) Interoperabilität, eine internationale Akzeptanz und die Konsistenz normativer und regulativer Randbedingungen sicherzustellen und damit die Anwendung von (symbolischen) KI-Methoden in Industrie 4.0 zu ermöglichen, sind eine enge Zusammenarbeit, Orchestrierung und Austausch zwischen Standardisierungsgremien/Konsortien und der Normung für den erfolgreichen Einsatz von KI in Industrie 4.0 notwendig (siehe [HE 6.1-1 V5] sowie [HE 6.1-3 V5]).

Die KI-Technologie steht immer im Kontext zum Menschen, dem organisatorischen Umfeld und der Gesellschaft als Ganzes. Die erfolgreiche Gestaltung von KI-Lösungen be-

trachtet daher stets das soziotechnische System, in dem die KI eingesetzt wird und mit dem Menschen in Wechselwirkung steht. Das Konzept der soziotechnischen Systemgestaltung postuliert explizit die Notwendigkeit, den Technologieeinsatz und die Organisation gemeinsam zu optimieren, wobei die Arbeitsaufgabe das verbindende Element ist. Das Grundprinzip basiert darauf, die Bedürfnisse des Menschen zu erkennen, zu analysieren und darauf aufbauend eine KI-Lösung zu gestalten, die den Nutzenden dabei hilft, ihre Arbeitsaufgabe bestmöglich zu erledigen. Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken von KI hängen somit nicht allein von der Technik und deren Entwicklung ab, sondern vom Kontext der Anwendung. Die soziotechnische Perspektive stellt diesen Zusammenhang dar und muss während des kompletten KI-Lebenszyklus betrachtet werden, wobei in jeder Phase des KI-Lebenszyklus der Fokus auf spezifische Aspekte des soziotechnischen Systems gelegt wird. Die Gestaltung einer KI-Lösung erfordert daher stets ein systematisches Vorgehen, bei dem alle betroffenen Personengruppen partizipativ eingebunden werden (siehe [HE 5.1.3-2 V5], [HE 5.1.1-4 V5] und [HE 5.2.3-2 V5]). Zur Vertiefung sei auf das Kapitel „Soziotechnische Systeme“ in der Deutschen Normungsroadmap Künstliche Intelligenz, Ausgabe 2 [74] verwiesen.

5.2 Aspekt 2: Souveränität

5.2.1 Datenräume

Auf dem Weg zu mehr digitaler **Souveränität** spielen Standards für Datenräume eine bedeutende Rolle. Jegliche Art von **Datenraum** benötigt ein passendes Identitätsmanagement und Security-Funktionen zum Schutz und zum kontrollierten Zugang. Dafür sind internationale Standards erforderlich, um eine globale Zusammenarbeit zu unterstützen und abzusichern. Europäische Lösungsbausteine, wie z. B. electronic Identification, Authentication and trust Services (eIDAS) müssen global ergänzt oder zugänglich und akzeptiert sein. Die Sicherheitsniveaus müssen den Anforderungen der unterstützten Geschäftsmodelle entsprechen. Die notwendigen Festlegungen umfassen sowohl Regeln für die Governance als auch technische Architekturen und die Qualität der Implementierungen [HE 5.2.1-1 V5], [HE 5.2.1-2 V5].

Dabei besteht bereits heute die Möglichkeit, auf einer Vielzahl von Technologien, Komponenten, Standards und Vorarbeiten aufzubauen. Mit den „Building Blocks“ des Dokuments „Design Principles for Data Spaces“ steht hier bereits ein methodischer Ansatz zur Strukturierung und zum **Aufbau von Datenräumen** bereit [3] (siehe **Abbildung 14**). Die Bausteine

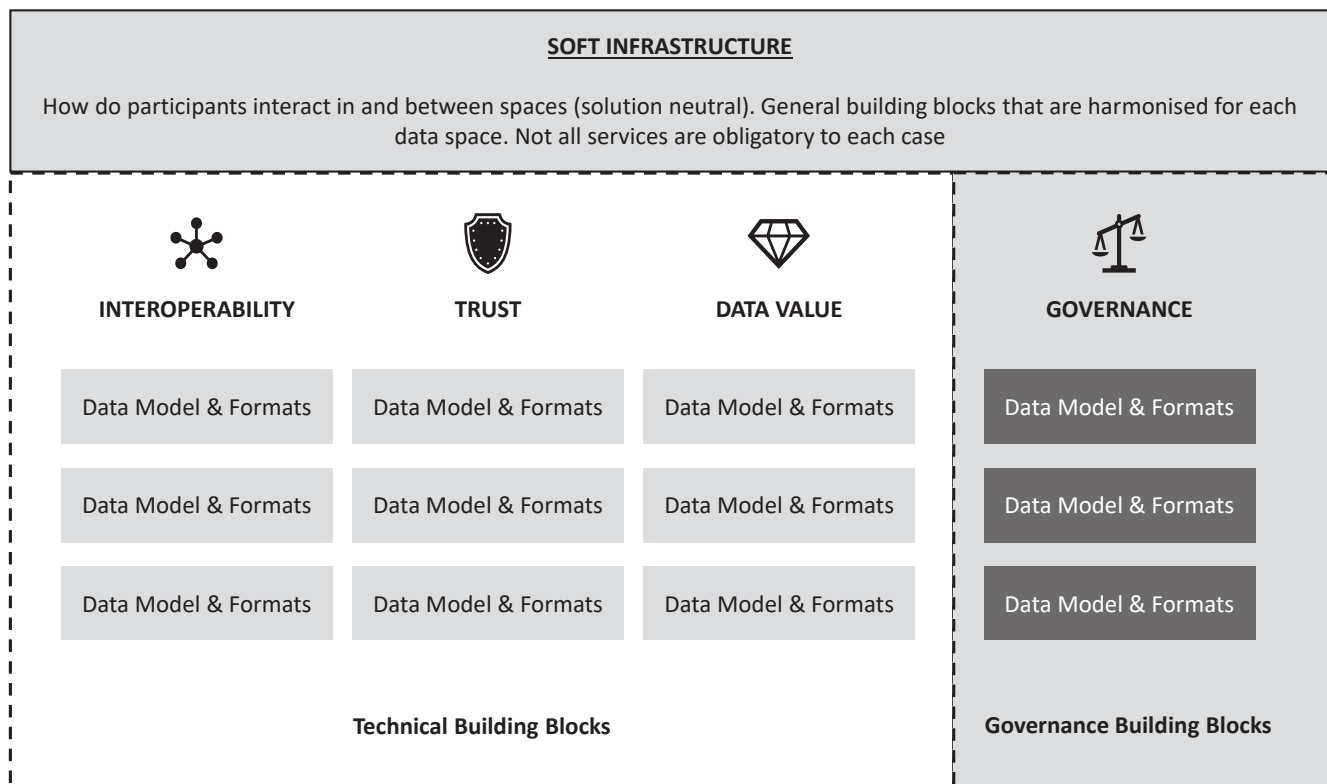


Abbildung 14: Bausteine zum Aufbau von Datenräumen gemäß „Design Principles for Data Spaces“ (CC-BY-4.0[3])

gliedern sich in die technischen Bereiche **Interoperabilität**, **Vertrauen** und **Data Value** sowie **Governance**. Für den Aufbau eines Datenraumes müssen die hier benannten Bausteine mit konkreten Realisierungen gefüllt werden, die den Anforderungen des Datenökosystems genügen, wie z. B. der Verwaltungsschale als Grundlage für Datenmodelle oder der eIDAS-Verordnung für Identitätsmanagement. Über die hier genannten Bausteine hinaus erfordert der Aufbau konkreter und domänenspezifischer Datenräume ggf. weitere Bausteine. Die Anlehnung an dieses Modell erleichtert die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Datenräumen.

Standardisierung kann Datenräume in erster Linie aus einer technischen Sicht prägen. Einerseits können existierende Standards die Basis für eine technische Umsetzung eines Datenraums bilden, andererseits können aufgrund neuer Anforderungen im Kontext „digitaler Wirtschaft“ die Erweiterung existierender und Entwicklung neuer Standards sinnvoll und notwendig sein. Dies bedarf zunächst einer einheitlichen Sicht auf die Struktur oder Architektur von Datenräumen inklusive der notwendigen einheitlichen Begriffsbestimmung (Glossar). Darauf aufbauend bedarf es der konkreten Definition und Standardisierung von Kernfunktionalitäten, wie einer Gateway-Komponente, die den Anschluss eines Teilnehmers an einen Datenraum realisiert und damit komplexe Funktionalität und gleichzeitig Mindestanforderungen an Cybersicherheit realisiert, sowie eines dezentralen Identitätsmanagements inklusive Authentifizierung und Autorisierung. Zur Realisierung der Datenwertschöpfung werden Mechanismen zur Auffindung von Daten und Diensten benötigt und weitere Mechanismen, um Transaktionen in einem dezentralen und unternehmensübergreifenden System nachvollziehbar zu gestalten. Diese Themen müssen in die breite Standardisierungslandschaft eingebracht werden. Während die nationalen (DIN) und internationalen (ISO, CEN/CENELC) Normungsgremien sich bereits heute mit der Standardisierung der Anforderung, der Struktur und des Verhaltens von Komponenten für Datenräume befassen, müssen darüber hinaus auch Standardisierungsanstrengungen in anderen Bereichen abgestimmt werden, z. B. die Arbeiten im Rahmen des W3C in der Transition von RDF zu RDF-star angestrengt werden. Im Sinne der internationalen Harmonisierung und Zusammenarbeit müssen sich Standardisierungsarbeiten auch an angrenzende Themen anschließen, die sich z. B. mit dem Datenhandel befassen (z. B. [IEEE P3800 \[75\]](#)).

Neben den technischen Standardisierungsaktivitäten sind weitere Aktivitäten aus den Bereichen **Governance**, rechtliche Rahmenwerke, operative Grundlagen und darüber

hinaus notwendig. Hier wird bereits heute durch verschiedene Ansätze an Arbeitsgrundlagen gearbeitet. Hier sind beispielhaft die [Data Sharing Coalition \[76\]](#), das [SITRA „Rule Book for a fair data economy“ \[77\]](#) oder die Arbeiten der [IDSA \[27\]](#) zu nennen.

Insgesamt besteht der Bedarf, die komplexe Situation um bereits verwendete Standards, in der Entwicklung befindliche Standards und fehlende Standards vermitteln zu können. Diese Aufgabe wird zum Teil bereits heute durch die [Data Spaces Business Alliance \[78\]](#) adressiert, sollte aber durch weitere Arbeiten flankiert werden.

Es gibt sicherlich diverse Standards, die auf Datenräume grundsätzlich einzahlen, und auch Standards, die speziell die Zielsetzung von Datenräumen unterstützen. Der Eindruck ist aber, dass es sich mehr um Einzelaktivitäten handelt, der übergeordnete Zusammenhang aber nicht wirklich transparent ist. Die [BDVA \[28\]](#) TF6.SG6 (Standards) arbeitet hier in enger Zusammenarbeit mit der [Data Spaces Business Alliance DSBA \[79\]](#) an einem gemeinsamen, inklusiven und offenen Ansatz, um Transparenz zu schaffen und eine einheitliche Standardisierungsagenda für Datenräume zu schaffen.

5.2.2 Industrial Security

Informationssicherheit stellt einen fest etablierten industriellen und gesellschaftlichen Wert dar. Sie ist eine Grundvoraussetzung für Industrie 4.0 und die vertrauensvolle Kooperation innerhalb digitaler Ökosysteme. Bei allen damit verbundenen Herausforderungen schafft sie das weltweit hohe Vertrauen in Industrie 4.0 und sind wichtige Aspekte der Vertrauenswürdigkeit entlang der Wertschöpfungsketten. Dieses Kapitel fokussiert das Thema Sicherheit im Sinne von „**Industrial Security**“, d. h. auf den ganzheitlichen Schutz von Informationstechnik in Produktionssystemen sowie von Maschinen und Anlagen vor Sabotage, Spionage oder Manipulation. Datenschutz (Privacy) und funktionale Sicherheit werden in den [Kapiteln 5.2.3](#) und [5.1.6](#) behandelt.

5.2.2.1 Industrielle Sicherheit als Teil der Interoperabilität

Immer häufiger werden Cyberangriffe für politische Zwecke eingesetzt, insbesondere in Zeiten politischer Spannungen und Krisen. Dabei sind Angriffe nicht auf behördliche Einrichtungen oder kritische Infrastrukturen beschränkt und können

große Schäden verursachen: Zum Beispiel können gezielte Angriffe auf (Nischen-)Produzenten ganze Lieferketten ins Stocken bringen und so die Wertschöpfung, den Wohlstand und die Abwehrfähigkeit einer Volkswirtschaft beeinträchtigen.

Inzwischen werden zudem Angriffe organisierter Kriminalität auf vergleichbarem Niveau wie staatlich gelenkte Angriffe durchgeführt. Dies muss in Risikoanalysen berücksichtigt werden und erfordert entsprechend effektive Abwehrmaßnahmen.

Weiterhin gilt, dass für industrielle Anwendungen klassisch verfügbare Security-Lösungen aus dem IT- und Office-Bereich unpassend oder nicht ausreichend sind. Die unterschiedlichen Anforderungen an die Security werden insbesondere durch Echtzeit- und Robustheitsanforderungen, Lebenszyklen von Industriekomponenten und Anforderungen an die durchgehende Verfügbarkeit industrieller Anlagen bestimmt. **Industrial Security** hat außerdem eine deutlich umfassendere Bedeutung als den Schutz von Daten und Informationen in der klassischen datenzentrierten Kommunikationssicherheit. Industrial Security betrifft nicht nur kommunizierte und gespeicherte Daten und Informationen, sondern jegliche Assets, seien es Geräte, Prozesse, Infrastrukturen über die gesamte Wertschöpfungskette und den Lebenszyklus der beteiligten Assets hinweg [HE 5.2.2-1 V5].

Zukünftige Standards sollten neben Sicherstellung von Interoperabilität und Vergleichbarkeit von Sicherheitsniveaus auch zur Überwindung von Implementierungshemmnissen beitragen (siehe ISO/IEC JTC/SC 41). Solche „wahrgenommenen“ Hindernisse sind:

- Der unklare Beitrag von Security-Investitionen zur Wertschöpfung: In gewissen sensiblen Bereichen wie z. B. kritischen Infrastrukturen wird allerdings staatliche Regulierung zunehmend die Implementierung entsprechender Maßnahmen erzwingen.
- Das Fehlen allgemein gültiger und industrietauglicher Implementierungsstandards mit moderaten Zertifizierungsaufwänden für vertrauenswürdige Lösungen.
- Die Furcht vor erhöhter Systemkomplexität durch Sicherheitsmaßnahmen, die in herkömmlichen etablierten Prozessen für Entwicklung und Betrieb nicht bewältigt werden.
- Das Fehlen einer standardisierten Bewertung der Vertrauenswürdigkeit/Trustworthiness der Wertschöpfungsnetzwerke für Industrie 4.0, z. B. auch in Bezug auf

Datenschutzanforderungen (siehe auch [HE 5.2.4-1 V5] zu Trustworthiness).

- Das Fehlen einer globalen Vertrauensinfrastruktur für Industrie 4.0, die z. B. die Möglichkeit einer global durchgängigen Verschlüsselung der Übertragung von Kommunikations- und Kontrolldaten bietet.

Ein wichtiger Beitrag zur Überwindung von Implementierungshemmnissen für Security ist die Spezifikation „Generische Anwendungs-Programmierschnittstelle für IoT- und Industriegeräte“ ISO/IEC TS 30168⁶⁸ bei ISO/IEC JTC1/SC 41/WG 3⁶⁹ „IoT Foundational Standards“ [HE 5.2.2-2 V5].

Es existiert ein stetig steigender Bedarf, industrielle Anwendungen und Systeme direkt (d. h. auf Anwendungsebene) zu schützen und sich nicht auf das alleinige (und nicht zielführende) Abschotten mithilfe von Netzsicherheitsmechanismen zu verlassen. Damit können bei Bedarf Ende-zu-Ende-Sicherheit oder z. B. auch Maßnahmen für Know-how-Schutz, Lizenzierungsschutz oder Datenschutz unterstützt und realisiert werden. Das Prinzip „ZeroTrust“ macht es sich dabei zum Ziel, durchgehende Sicherheitsarchitekturen mit Ende-zu-Ende-Security zu realisieren, die sowohl die IT-Bereiche als auch OT-Bereiche eines Unternehmens (bzw. eines gesamten Industrie 4.0-Anwendungsszenarios) umfassen. Hier ist es wichtig, dass die resultierenden Sicherheitsmechanismen möglichst global interoperabel sind und durch geeignete Infrastrukturen z. B. für Key-Management unterstützt werden [HE 5.2.2-3 V5].

Die Welten der sicheren Produktionen und die Welten der sicheren Produkte gehören zusammen. Schadcode kann über kompromittierte Produktionsanlagen oder Entwicklungstools ins Produkt geschleust werden. Darum sind Nachweise über Security-Eigenschaften der Produktionsbedingungen und deren Verknüpfung über vertrauenswürdige Lieferketten hinweg notwendig. Ein wichtiges Element zum sicheren Management von Software entlang der Lieferkette ist die sog. SBOM (Software Bill of Material, dt. Software-Stückliste). Hierzu wurde 2022 das entsprechende Teilmodell bei InterOpera [44] in Absprache mit IDTA initiiert. Die SBOM informiert verlässlich über die für die Erstellung der Software verwendeten Bibliotheken, Lizenzen, Copyrights etc. und unterstützt beim Management von Softwareupdates und bei der Verfolgung

68 ISO/IEC TS 30168 ED1 „Internet of Things (IoT) – Generic Trust Anchor Application Programming Interface for Industrial IoT Devices“

69 ISO/IEC JTC1/SC 41/WG 3 „IoT Foundational Standards“

und Beseitigung neu aufgetretener Schwachstellen und Risiken [HE 5.2.2-4 V5]. Dabei Berücksichtigung vorhandener Standards ISO/IEC 5962:2021 „SPDX® Specification V2.2.1“, SPDX und OWASP CycloneDX Software Bill of Materials (SBOM) Standard [80] und Berücksichtigung von Anforderungen aus der Regulierung [81]. Automatisierbare Mechanismen für Schwachstellenmanagement entlang der Wertschöpfungskette können dadurch unterstützt werden und sollten als interoperabler Standard definiert werden [HE 5.2.2-5 V5].

Anwendungen, die durch Mechanismen Künstlicher Intelligenz unterstützt werden, erfordern speziell auf sie abgestimmte Schutzfunktionen, um sicherzustellen, dass eine Anwendung im Sinne der Vertrauenswürdigkeit genau die Funktionalität liefert, die der Benutzenden erwartet, ohne dass durch mutwillige Manipulationen von Eingabedaten oder Funktionskomponenten das Ergebnis verfälscht werden kann. Dadurch wird der klassische Integritätsschutz von Daten oder Komponenten und Systemen vor ganz neue Herausforderungen gestellt (siehe ISO/IEC JTC 1/SC 42) (siehe Kapitel 5.1.7).

Neue Konzepte, wie z. B. Verwaltungsschale, Digitaler Zwilling, blockchainbasierte Infrastrukturen, Quantentechnologien, Datenräume und Vertrauenswürdigkeit, die Digitalisierung der Standardisierung selbst etc., erfordern begleitende Security-Arbeiten im Sinne der Vorbereitung und Realisierung von „Security-by-Design“ [HE 5.2.2-6 V5].

Die Verwaltungsschale (siehe Kapitel 5.1.4) bezeichnet den digitalen Zwilling für Industrie 4.0 und wird bei IEC TC 65 standardisiert. Dort wurden inzwischen in IEC/TC 65/WG 24 auch die Arbeiten zur Security aufgenommen [HE 5.2.2-7 V5], [HE 5.2.2-8 V5]. Die Verwaltungsschale unterstützt auch die Security des abgebildeten Assets, z. B. durch die Verwaltung digitaler Identitäten. In der Verwaltungsschale können Daten zur Supply-Chain und zur Attestierung der Sicherheit des abgebildeten Assets enthalten sein, die mit im Asset eingebetteten Vertrauensankern interagieren. Hierzu könnte die Generic Trust Anchor API (ISO/IEC TS 30168) (siehe auch [HE 5.2.2-2 V5]) in der Umsetzung eine wesentliche Rolle spielen. Für die Interaktion mit dem Asset, direkt oder über die Verwaltungsschale, sind Mechanismen für End-to-End-Security vorzusehen, um Zero-Trust-Konzepte zu unterstützen.

Die Sicherheit der Verwaltungsschale muss dabei selbst gewährleistet sein, damit Integrität, Authentizität und Vertraulichkeit der in ihr enthaltenen Daten geschützt werden. Hierfür kommen Regeln zur Zugriffssteuerung zum Einsatz.

Eine sichere Verwaltungsschale kann nur in einer sicheren und vertrauenswürdigen Infrastruktur realisiert werden. Dazu sind Mechanismen für End-to-End-Security vorzusehen, um Zero-Trust-Konzepte zu unterstützen [HE 5.2.2-9 V5] (siehe auch [HE 5.2.2-7 V5]).

5.2.2.2 Security-Standardisierung zur Unterstützung der europäischen Regulierung

Schwerpunkt der **Security-Standardisierung** zur Unterstützung der europäischen Regulierung bei CEN/CENELEC nach NLF sind derzeit die Arbeiten zur Cybersecurity für Radio Equipment Directive (RED). Es ist zu erwarten, dass der anstehende „Cyber Resilience Act“ [82] umfangreiche securitybezogene Arbeiten bei CEN/CENELEC zur Folge hat, die als horizontale Sicherheitsstandards für I4.0-Security von hoher Bedeutung sein werden und dies global, über den europäischen Raum hinaus (siehe auch [HE 5.2.1-1 V5]). Dabei erzwingen die zu erwartenden regional unterschiedlichen Vorgaben zum Thema Kryptografie (und auch Datenschutz (siehe Kapitel 5.2.3)) die Möglichkeit profilierbarer und agiler Implementierungen der Security-Standards, insbesondere für die Kommunikation auf globaler Ebene [HE 5.2.2-10 V5].

5.2.2.3 5G-Security für Industrie 4.0

Die **fünfte Generation Mobilfunk (5G)** soll vielseitigen Anforderungen an Verfügbarkeit, **Sicherheit** und Kapazität gerecht werden [HE 5.2.2-11 V5]. Daten und ihr Transport zwischen Datenquelle und Datensinke können dynamisch modifiziert und verarbeitet werden. Das Netz wird damit intelligent. Im ISO-OSI-Modell kann die 5G-Technologie deshalb in allen Ebenen 1 bis 7 verortet werden.

5G-Technologie und deren Nutzung können geclustert werden in:

- Verbau von 5G-Komponenten im Rahmen der eigenen Produktentwicklung,
- Lokale Nutzung von 5G am Standort und Betrieb durch die eigene Organisation,
- Nutzung von 5G-Services, bereitgestellt von Mobilfunkprovidern.

Inzwischen existieren Arbeiten zur TSN Security bei IEEE, nämlich IEC/IEEE 60802 „TSN Profile for Industrial Automation“ Profildefinition zur Inbetriebnahme/Bootstrapping von Devices (siehe auch [HE 5.1.5-12 V5]), die Kommuni-

kationssicherheit nach dem Prinzip „Security-by-Design“ einbeziehen und für die Interdomain-Kommunikation durch [\[HE 5.2.2-12 V5\]](#) unterstützt werden können.

5.2.3 Privacy

Im Bereich Datenschutz sind einerseits durch die General Data Protection Regulation (GDPR) [\[83\]](#) wesentliche Grundlagen gelegt, die die Standardisierung auch global beeinflussen (etwa in [ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5](#)⁷⁰ „Identity management and privacy technologies“), andererseits sind weitere Regulierungen in Vorbereitung.

Schon seit 2014 ist die ePrivacy Regulation in Erarbeitung, relevant in diesem Kontext wegen des zu erwartenden Schutzes von Ortsdaten und außerdem, weil Schutz der Kommunikation nicht wie manche Regelungsgebiete der GDPR durch Einwilligung verhandelbar ist.

Zusätzlich sind Regelungen wie Data Act, Digital Services Act, Digital Markets Act, Data Governance Act [\[84\]](#) in Vorbereitung, die technische wie wirtschaftliche Aspekte der Datennutzung und der Datennutzer betreffen und insofern Potenzial für Normen aufwerfen können. Darum sind sie zu beobachten [\[HE 5.2.3-1 V5\]](#).

Der Umgang mit personenbezieharen und personenbezogenen Daten Beschäftigter, der z. B. in Betriebsvereinbarungen festgelegt ist, kann unter anderem die Akzeptanz von Industrie 4.0-Systemen sowie die Zufriedenheit beeinflussen. Die folgende Handlungsempfehlung aus Version 4 der NRM Industrie 4.0 [\[2\]](#) wird daher an dieser Stelle erneut aufgegriffen [\[HE 5.2.3-2 V5\]](#).

Eine spezielle Rolle spielt der AI-Act, da Künstliche Intelligenz ja massiv zur Datennutzung und -auswertung beiträgt und in manchen Fällen die Datenauswerter*innen mehr über die jeweiligen Datensubjekte wissen als diese selbst. Auch kann die Entscheidungsassistenz durch KI-Funktionen bei gesteigerter Leistung praktisch über die Rolle einer Assistenz hinauswachsen. Normungsrelevanz zeigt sich schon dadurch, dass die EU-Kommission im Zusammenhang mit dem AI-Act eine Normungsinitiative gestartet hat, interessanterweise bei JTC 1 und nicht bei CEN/CLC (siehe [\[HE 5.2.3-1 V5\]](#)).

⁷⁰ [ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5](#) „Identity management and privacy technologies“

Im Zuge der Implementierung der GDPR sind zwei Aspekte bemerkenswert:

1. Das [European Data Protection Board EDPB](#) [\[85\]](#) hat sich als hauptsächliche Quelle für Umsetzungsempfehlungen zur GDPR etabliert. Es wirkt auch über eine Cat-C Liaison bei [ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5](#) mit. Insofern ist es sehr empfehlenswert, seine Analysen und Empfehlungen zu verfolgen.
2. Es gibt inzwischen eine große Zahl von Normen in [ISO/IEC JTC 1/SC 27](#)⁷¹ „Information security, cybersecurity and privacy protection“, meist in [ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5](#), die die GDPR untersetzen. Eine kleine Zahl wird bei CEN/CENELEC JTC 13 verfeinert bzw. auf europäische Bedürfnisse hin ausgerichtet [\[HE 5.2.3-3 V5\]](#).

Das im angloamerikanischen Raum vertretene Konzept der „Data Ownership“ hat sich nicht durchgesetzt, denn es steht zu sehr mit dem Prinzip, Datenschutz als nicht kommerziell verhandelbares Grundrecht zu sehen, im Widerspruch. Die regelmäßige Schwäche einzelner Nutzer, mit großen Anbietern, etwa von Internetdiensten, ernsthaft Bedingungen für die Nutzung von Diensten und ggfs. und/oder im Gegenzug die Nutzung persönlicher Daten zu verhandeln, mag dazu beigetragen haben [\[HE 5.2.3-4 V5\]](#).

5.2.4 Trustworthiness

Die Thematik „Trustworthiness/Vertrauenswürdigkeit“ findet derzeit an verschiedenen Stellen Eingang in die Standardisierung. Definition und Grundlagen werden in [ISO/IEC/JTC 1/WG 13](#)⁷² „Trustworthiness“ behandelt. Trustworthiness mit Bezug zur Lieferkette von Geräten wird in [ISO/TC 292/WG4](#)⁷³ „Authenticity, integrity and trust for products and documents“ behandelt. Die Gremien [ISO/IEC JTC 1/SC 41](#) und [ISO/IEC JTC 1/SC 42](#)⁷⁴ „Artificial Intelligence“ thematisieren Trustworthiness mit Bezug zu IoT und Artificial Intelligence. Im [Internet Engineering Task Force \(IETF\)](#) [\[86\]](#) formiert sich gerade eine neue Gruppe zum Thema „Supply Chain Integrity, Transparency and Trust (SCITT)“. Bei

⁷¹ [ISO/IEC JTC 1/SC 27](#) „Information security, cybersecurity and privacy protection“

⁷² [ISO/IEC/JTC 1/WG 13](#) „Trustworthiness“

⁷³ [ISO/TC 292/WG4](#) „Authenticity, integrity and trust for products and documents“

⁷⁴ [ISO/IEC JTC1/ SC 42](#) „Artificial Intelligence“

ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 4⁷⁵ „Security controls and services“ werden gerade Arbeiten initiiert, die auch die Trustworthiness von Data Provenance“ betreffen (PWI 5181) [HE 5.2.4-1 V5]. Im Rahmen von Gaia-X (siehe auch Kapitel 5.1.2) wird ein „Trust Framework“ [87] zur Selbstbeschreibung eines Service spezifiziert, welches in die Standardisierung eingehen soll.

Vertrauenswürdigkeit, engl. Trustworthiness, kann sich je nach Kontext auf verschiedene Eigenschaften beziehen. In den Gremien werden „Charakteristiken/Attribute“ wie „authenticity, integrity, resilience, availability, confidentiality, privacy, safety, accountability, usability, sustainability/environmental properties (CO₂ footprint), oder compliance to social regulations“ diskutiert. Dabei spielt die Security eine wichtige Rolle, um insbesondere entlang von Wertschöpfungsketten die Qualität dieser Attribute zu sichern und beweiskräftig nachzuweisen. Diskussionsthemen sind derzeit das Trustworthiness-Expectations and Capabilities Profile sowie das entsprechende Austauschprotokoll, engl. Trustworthiness Expectations and Capabilities Exchange Protocol (TECEP) [88]. Die Vertrauenswürdigkeit in der Supply-Chain wird durch eine Verifizierung der behaupteten Fähigkeiten bzw. des Trustworthiness-Expectations and Capabilities Profils erwiesen. Auf Basis einer Bewertung der Fähigkeiten in Bezug auf die Erwartungen kann eine Entscheidung für einen Vertragsabschluss erfolgen und somit eine vertrauenswürdige Geschäftsbeziehung entstehen. Ein nächster Schritt wäre eine maschinenlesbare Definition von Profilen für Vertrauenswürdigkeit Diese Lösung könnte auch im Rahmen der Verwaltungsschale realisiert werden [HE 5.2.4-2 V5].

Neu ist der Bedarf, nicht lediglich in der bilateralen Beziehung zum Lieferanten und Kunden die Vertrauenswürdigkeit zu sichern, sondern auch rückwärts über verschiedene Stationen der Wertschöpfungskette hinweg die Qualitäten nachzuweisen oder/und überprüfen zu können („Chain of Trust“) [HE 5.2.4-3 V5] (siehe [HE 5.2.4-1 V5]). Eine Automatisierung würde ein „Trustworthiness Management“ möglich machen und somit aktualisierte Aussagen zur Trustworthiness ermöglichen. Bei ISO/TC 292/WG4 entsteht ein Framework, welches die Anforderungen an eine solche Architektur beschreiben soll.

75 ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 4 „Security controls and services“

5.3 Aspekt 3: Nachhaltigkeit

5.3.1 Nachhaltigkeitsaspekte in Industrie 4.0

Das Thema **Nachhaltigkeit** hat bereits mit der Veröffentlichung der Version 4 der NRM Industrie 4.0 [2] einen festen Platz in der NRM Industrie 4.0 erhalten. Hierbei lag der Fokus insbesondere auf sozialen und ökologischen Aspekten und deren grundsätzliche Integration in **Industrie 4.0**. Mit der Version 5 wird das Thema Nachhaltigkeit nun differenziert und vertieft betrachtet und in eigenständigen Kapiteln dargestellt. Dies schließt ein umfangreiches Set an neuen Handlungsempfehlungen ein, welche weiter unten detailliert beschrieben sind.

Hinsichtlich des Status quo der Normung von Nachhaltigkeitsaspekten mit Bezug zu Industrie 4.0 müssen diese getrennt nach ökologischen, sozialen und ökonomischen Aspekten betrachtet werden.

Der über die letzten Jahrzehnte in seiner Wichtigkeit kontinuierlich gewachsene Umweltbereich, insbesondere mit Blick auf Deutschland, kann mit einer Vielzahl von Normen aufwarten, die Industrie 4.0-kompatibel sind. Beispielhaft seien hier die messtechnische Erfassung von Emissionen in die Luft genannt, die mathematisch-statistische Auswertung von Emissionsdaten zur Ermittlung von Tages- oder Jahresmittelwerten von z. B. CO₂ sowie physikalisch-chemische Analyseverfahren zur Ermittlung von Schadstoffen und Schadstoffkonzentration. Normen aus den vorgenannten Bereichen sind in der Praxis seit Langem etabliert und bilden einen festen Bestandteil diverser rechtlicher Regularien.

Standards und Normen zur Bewertung von Klima- und Umweltaspekten gibt es bereits bzw. sind in Entwicklung, jedoch weisen diese bislang erhebliche Probleme hinsichtlich der Datentransparenz und -qualität auf. Zudem werden hierbei regelmäßig Daten mit gänzlich unterschiedlichen Bezugspunkten (Assets) zusammengefasst und ausgewertet, was die Weiterverwendung und Aussagekraft der Ergebnisse deutlich reduziert.

Hinsichtlich aktueller Normungs- und Standardisierungsaktivitäten ist insbesondere die kürzlich veröffentlichte Normungsroadmap Circular Economy zu nennen. Diese enthält eine umfangreiche Normenrecherche zu den Schwerpunktthemen Elektrotechnik und IKT, Batterien, Verpackungen, Kunststoffe, Textilien, Bauwerke und Kommunen sowie Digitalisierung, Geschäftsmodelle, Management sowie

entsprechende Handlungsempfehlungen, um identifizierte Normungslücken zu schließen. Normen aus dem Abfall- und Recyclingbereich sind jedoch in Industrie 4.0-Systemen, welche auf die Herstellung von industriellen Produkten in kollaborativen Wertschöpfungsnetzwerken ausgerichtet sind, nur begrenzt einsetzbar, ausgenommen solche Normen, die einen klaren Produktbezug haben.

Des Weiteren ist das Projekt [InterOpera \[44\]](#) zu nennen, welches auf eine standardisierte Umsetzung der Verwaltungsschale in der Praxis hinarbeitet. Seitens des Umweltbundesamtes wurden zwei Vorschläge für Teilmodelle eingereicht – ein Umweltdatenset mit (Industrie-)Anlagenbezug und eines mit Produktbezug –, deren Veröffentlichung im Jahr 2023 erwartet wird.

5.3.2 Nachhaltigkeitsmodule im Überblick

5.3.2.1 „Nachhaltigkeitsbaukasten“

Handlungsempfehlungen zur vollständigen digitalen Integration von Klima-, Umwelt- und sonstigen Nachhaltigkeitsaspekten in digitale Ökosysteme und zur automatisierten Generierung von Nachhaltigkeitsbewertungen.

Zur qualitativen und quantitativen Erfassung und Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten in hochdynamisch und flexibel agierenden digitalen Ökosystemen sind die hierzu notwendigen Daten und Informationen grundsätzlich nach Assets

getrennt digital zu erfassen und zu verwalten. Auf der Grundlage der in digitalen Ökosystemen vorhandenen Assets, d. h. Daten Bezugspunkten, sowie unterschiedlichen Formen der Datenaggregation bzw. -weitergabe ergeben sich die weiter unten detailliert beschriebenen **Nachhaltigkeitsmodule**, welche wie in einem „**Baukastensystem**“ flexibel und bedarfsorientiert miteinander kombiniert und zu größeren Informationseinheiten „zusammengebaut“ werden können (Kombimodule; z. B. digitaler Nachhaltigkeitspass für Anlagen sowie für Produkte). Dabei sollte die Datenqualität bzw. Mindestqualitätsstandards für jedes Modul definiert werden. Die digitale Informationsverwaltung sollte dergestalt sein, dass die größeren Informationseinheiten, d. h. die Kombimodule, wieder in ihre „Einzelteile“, d. h. Basismodule, zerlegt werden können. Dies erleichtert die Fehleranalyse und -eliminierung und ist ein fundamentales Element zur Qualitätssicherung der digital und automatisiert generierten Nachhaltigkeitsoutputs. Zurzeit existieren keine Standards oder Normen, die als Basis für solche Basismodule dienen könnten.

Die Vorgehensweise bzw. Strukturierung und Verwaltung der Klima-, Umwelt- und Nachhaltigkeitsinformationen folgt dabei im Kern einer Sortierung und Zuordnung von Daten und Informationen zu einem Asset und orientiert sich folglich am Ansatz des Verwaltungsschalen-Modells [\[HE 5.3.2-1 V5\]](#).

Im Folgenden werden verschiedene Nachhaltigkeitsstandardmodule, wie vorab erläutert, genauer beschrieben und zur Umsetzung vorgeschlagen (siehe [Abbildung 15](#)).

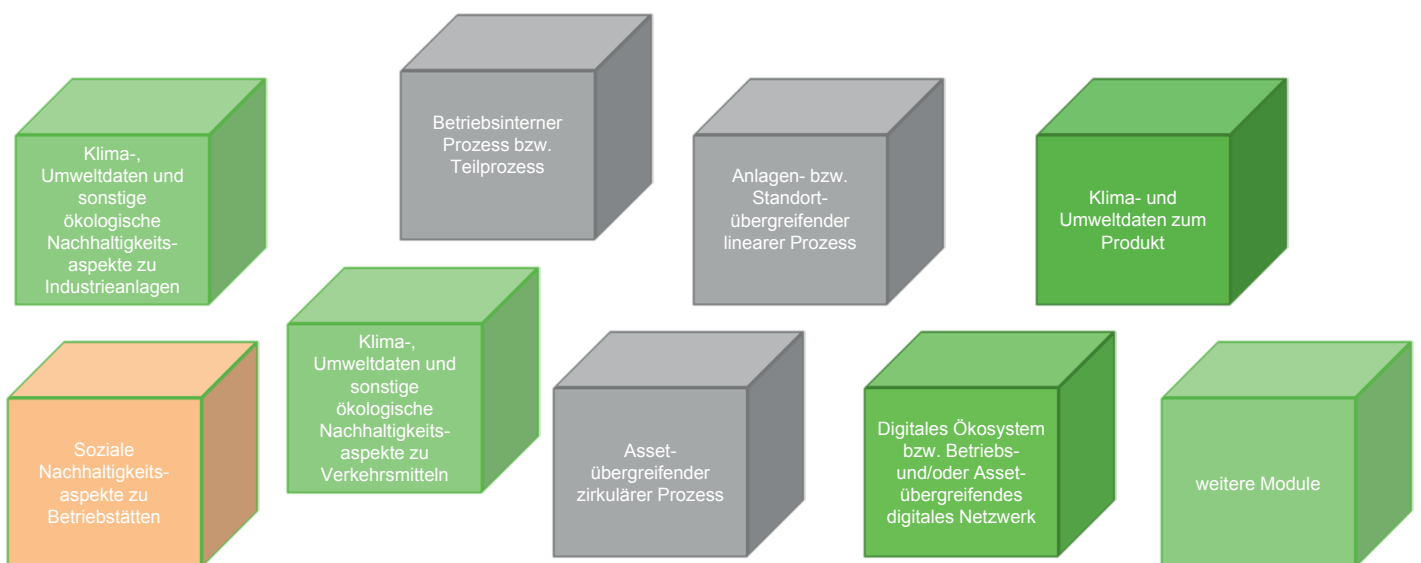


Abbildung 15: Der „Nachhaltigkeitsbaukasten“ bestehend auf verschiedenen Modulen (Quelle: D. Meurer)

5.3.2.2 Nachhaltigkeitsmodule zu ortsfesten Anlagen

Modul: (Industrie-)Anlage/Betriebsstätte/Standort und die dazugehörigen Klima-/Umweltdaten/ökologischen Nachhaltigkeitsaspekte (Asset: Industrieanlage/Betriebsstätte)

Klima- und Umweltdaten werden für **(Industrie-)Anlagen/Betriebsstätten** regelmäßig bis kontinuierlich in standardisierter Form erfasst und sind darüber hinaus häufig berichtspflichtig. Hierbei geht es im Wesentlichen um Emissionen in die Luft, ins Wasser und um Abfälle. Wie bereits weiter oben erwähnt, gibt es zahlreiche Standards und Normen in den Bereichen der messtechnischen Erfassung von Emissionen und Berechnung von Schadstofffrachten, sodass die Datenlage und -qualität in diesem Bereich als komfortable bis sehr gut einzustufen ist. Gleichzeitig liegen die Emissionsdaten einer (Industrie-)Anlage weitgehend in einer Hand bzw. sind im Besitz des Anlagenbetreibers und können dementsprechend zur Verfügung gestellt werden.

Im Hinblick auf eine übersichtliche, standardisierte und damit vergleichbare Darstellung von Emissionen und sonstigen **ökologischen Nachhaltigkeitsaspekten** zu (Industrie-)Anlagen bzw. Betriebsstätten wird empfohlen, hierzu ein standardisiertes Format zur Erfassung und Darstellung von anlagenbezogenen Emissionen zu entwickeln und in der Praxis zu etablieren.

Dies dient auch dem Bestreben, Daten nur einmal zu erfassen und diesen digitalen „Quelldatensatz“ sodann als Grundlage für sämtliche weitere Datenverwendungen heranzuziehen, so beispielsweise auch für die diversen betrieblichen Berichterstattungspflichten [\[HE 5.3.2-2 V5\]](#).

Modul: (Industrie-)Anlage/Betriebsstätte/Standort und die dazugehörigen sozialen Nachhaltigkeitsaspekte (Asset: Industrieanlage/Betriebsstätte)

Analog zu dem vorab beschriebenen Modul zu **(Industrie-)Anlagen/Betriebsstätten/Standorten** mit Bezug auf Klima-, Umweltdaten und ökologische Nachhaltigkeitsaspekte fokussiert dieses Basismodul auf die sozialen Nachhaltigkeitsaspekte von Betriebsstätten (nicht Unternehmen). Daten zur sozialen Nachhaltigkeit von Betriebsstätten liegen aller Voraussicht nach derzeit noch nicht in standardisierten Datenformaten und durchgängig in digitaler Form vor (siehe [Kapitel 5.3.3](#)).

Um auch **soziale Nachhaltigkeitsaspekte** zu (Industrie-)Anlagen bzw. Betriebsstätten regelmäßig zu erfassen, in einer übersichtlichen, einheitlichen Form darzustellen und somit vergleichbar zu machen, wird auch hier empfohlen, ein standardisiertes Format zur Darstellung und Definition von Merkmalen zu betriebsbezogenen sozialen Nachhaltigkeitsaspekten zu entwickeln und umzusetzen [\[HE 5.3.2-3 V5\]](#).

Kombimodul: Digitaler Nachhaltigkeitspass für (Industrie-)Anlagen/Betriebsstätten/Standorte (Asset: (Industrie-)Anlage/Betriebsstätte)

Aus der Kombination der beiden vorab beschriebenen Basismodule zu ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit ergibt sich logisch ein **digitaler Nachhaltigkeitspass für (Industrie-)Anlagen, Betriebsstätten** und gegebenenfalls Standorte (siehe [Abbildung 16](#)), welcher perspektivisch noch um die ökonomischen Nachhaltigkeitsaspekte ergänzt werden kann, wobei darauf zu achten ist, dass der Bezugspunkt die (Industrie-)Anlage bzw. Betriebsstätte ist und nicht das Unternehmen.

Eine Zusammenführung, vorrangig der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsaspekte, in Bezug auf (Industrie-)Anlagen/Betriebsstätten und eine weitgehend vollständige wie auch übersichtliche Darstellung aller relevanten Nachhaltigkeitsdaten würde eine Vergleichbarkeit von (Industrie-)Anlagen bzw. Betriebsstätten in Bezug auf ihre Nachhaltigkeitsperformance ermöglichen. Perspektivisch könnte ein solcher Nachhaltigkeitspass auch zu Nachhaltigkeitsbewertungen von Produktionsanlagen in internationalen Wertschöpfungsketten herangezogen werden. Es wird daher empfohlen, einen **standardisierten, digitalen Nachhaltigkeitspass** für (Industrie-)Anlagen bzw. Betriebsstätten zu etablieren, welcher sich aus den beiden vorab beschriebenen Basismodulen zu ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit zusammensetzt [\[HE 5.3.2-4 V5\]](#).

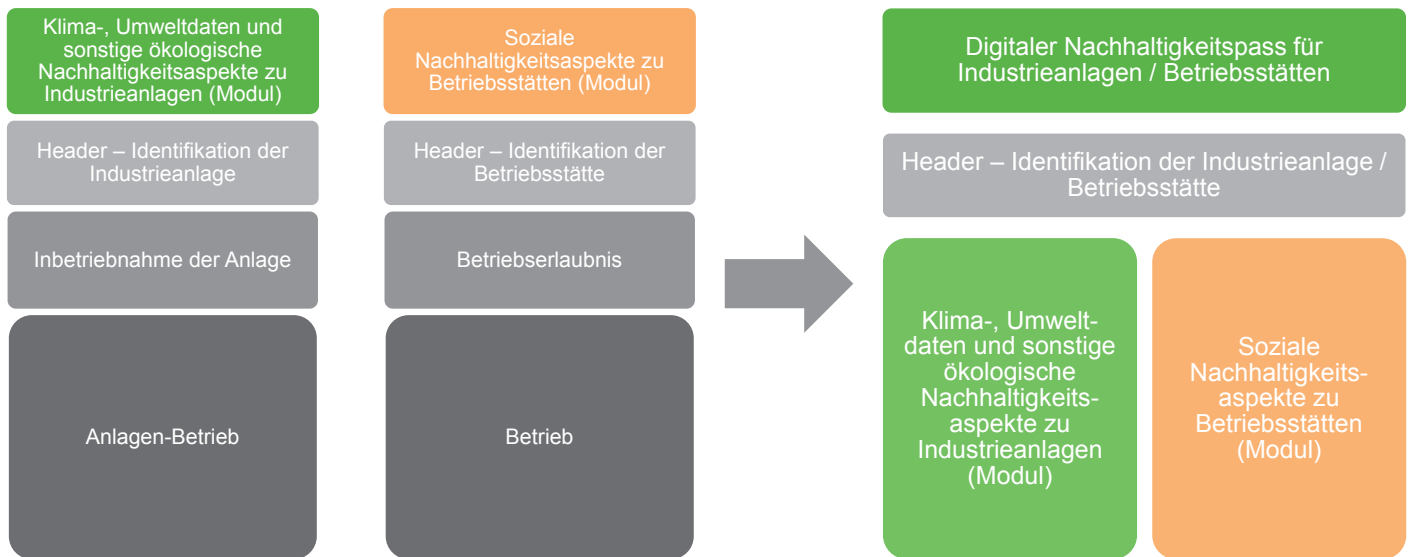


Abbildung 16: Der digitale Nachhaltigkeitspass für (Industrie-)Anlagen bzw. Betriebsstätten bestehend aus den Modulen Klima- und Umweltdaten zu (Industrie-)Anlagen und soziale Nachhaltigkeitsaspekte zu Betriebsstätten (Quelle: D. Meurer)

5.3.2.3 Nachhaltigkeitsmodule zu mobilen Anlagen bzw. Verkehrsmitteln

Modul: Mobile Anlage bzw. Verkehrsmittel und die dazugehörigen Klima-/Umweltdaten/ökologischen Nachhaltigkeitsaspekte (Asset: Mobile Anlage)

Analog zu den weiter oben beschriebenen Basismodulen zu ortsfesten Anlagen können Klima-, Umweltdaten und sonstige ökologische Nachhaltigkeitsaspekte auch sogenannten **mobilen Anlagen** bzw. Verkehrsmitteln (z. B. Kfz, Lkw, Zug, Schiff, Flugzeug) zugeordnet werden. Hierbei stehen insbesondere die Emissionen von Treibhausgasen aus fossilen Energieträgern im Vordergrund. In Kombination mit den Modulen zu ortsfesten Anlagen, d. h. Betriebsstätten, und zum Produkt können nun beispielsweise Nachhaltigkeitsaspekte über ganze Lieferketten dargestellt werden [\[HE 5.3.2-5 V5\]](#).

5.3.2.4 Nachhaltigkeitsmodule zu Prozessen

Modul: Betriebsinterner Prozess bzw. Teilprozess (Asset: Prozess)

Neben physischen Objekten können auch Prozesse in Industrie 4.0-Systemen als Assets angesehen und digital verwaltet werden. Hierzu bedarf es einer dezidierten Beschreibung des jeweils betrachteten Prozesses. **Betriebsinterne Prozesse** bzw. **Teilprozesse** haben den Vorteil, dass sie in ihrer Gesamtheit in einem Betrieb stattfinden und somit der

Zugang zu den Prozessdaten weitestgehend gewährleistet ist. Herausforderungen bestehen dahingegen bei der Weitergabe von Prozessinformationen an Dritte, die nicht zum jeweiligen Betrieb bzw. Unternehmen gehören [\[HE 5.3.2-6 V5\]](#).

Als Beispiel kann die ISO 20140 angeführt werden, in der umweltrelevante Daten in Produktionssystemen sowie deren Aggregation und Bewertung international genormt werden.

Modul: Anlagen- bzw. standortübergreifender linearer Prozess (Asset: Prozess)

Prozesse, die industrielle Ökosysteme vorrangig in **linearer Form** (z. B. Lieferketten) durchlaufen, sind aufgrund der Länge ihres Informationsstranges durchgängig (industrie-)anlagen- bzw. standortübergreifend. Die gesamte Prozesskette besteht folglich aus einer Vielzahl von Akteuren bzw. Rechtspersönlichkeiten, welche regional bis weltweit verteilt sind und in unterschiedlichsten Staaten angesiedelt sind, woraus sich die Kernherausforderungen ergeben. Die Datenaggregation entlang solcher Prozesse sowie die IT-technische Realisierung stellen kein tatsächliches Umsetzungshemmnis dar, jedoch die vertrauensvolle Informationsweitergabe zwischen den diversen Akteuren, zumeist Unternehmen, innerhalb der Prozesskette. Internationale Verträge, die sich an Staaten richten, können nur partiell Abhilfe schaffen.

Es bedarf der Standardisierung, d. h. Vereinbarungen zwischen Unternehmen, die einerseits international anwendbar sind (z. B. in internationalen Lieferketten) und

andererseits so transparent und nachvollziehbar, dass die entsprechenden Normen für Dritte, insbesondere staatliche Institutionen, ausreichend verifizierbar und überprüfbar sind, d. h. eine entsprechende Akzeptanz der Normen gegeben ist, sodass diese sodann in internationale Abkommen und sonstige rechtliche Regularien Eingang finden bzw. rechtsverbindlich verankert werden [HE 5.3.2-7 V5].

Mit den validen nachhaltigkeitsrelevanten Daten aus diesem Prozess können, je nachdem, worauf die einzelnen Datenelemente bezogen und wie sie aggregiert werden, ein Product Carbon Footprint (PCF), ein Corporate Carbon Footprint (CCF, standortbezogen oder standortübergreifend) oder auch der Carbon Footprint der gesamten Wertschöpfungskette berechnet werden. Dabei sollte nicht vergessen werden, dass viele über die CO₂-Emissionen hinausgehende Nachhaltigkeitsparameter relevant sind und werden, die ebenfalls auf Basis dieser Daten berechnet werden können.

Neben einigen Forschungsprojekten, wie z. B. Catena-X, formiert sich in Deutschland auf Basis eines ZVEI-Showcase das industrielle ESTAINIUM-Netzwerk, das ein praktikables, auf Open Source und dezentraler Vertrauens-technologie (distributed ledger) basierendes, Wertschöpfungsketten übergreifendes Nachhaltigkeitsdaten-Austauschnetzwerk erschafft und der Normung zuführen will. Speziell für die Normung der PCF-Daten wurde in der IEC die Ad-hoc-Group 94 „Product carbon footprint data for the electrotechnical sector“ gegründet (ahG94). Eine Ontologie nachhaltigkeitsrelevanter Daten wird in der gerade entstehenden zweiten Ausgabe der ISO 20140-5 genormt.

Modul: Asset-übergreifender zirkulärer Prozess (Asset: Prozess)

Im Hinblick auf eine digitalisierte und automatisierte Daten- und IT-technische Darstellung von zirkulären Prozessen (z. B. zur Umsetzung einer Circular Economy) sowie auch deren ganzheitliche Bewertung sind noch verschiedenste Umsetzungshindernisse zu überwinden. Die Datenaggregation sowie IT-technische Datenweitergabe in **zirkulären Prozessen** stellen einerseits eine Herausforderung dar sowie andererseits die vertrauliche, verifizierbare Weitergabe von Informationen zwischen den Akteuren des zirkulären Prozesses, wobei die involvierten Assets bzw. Akteure zumeist über verschiedene Standorte oder auch Staaten und somit Rechtsräume verteilt sind. Die dargestellten Herausforderungen können über rechtliche Regularien oder internationale Verträge nicht gelöst werden, sondern auch hier sind die Standardisierung und Normung das Mittel der Wahl [HE 5.3.2-8 V5].

5.3.2.5 Nachhaltigkeitsmodule zu Produkten

Modul: Klima- und Umweltdaten zum Produkt

(Asset: Produkt, direkter Produktbezug)

Klima- und Umweltdaten zu Produkten werden in sehr unterschiedlicher Weise erfasst, dargestellt und zumeist so aggregiert und dokumentiert, dass sie nicht interoperabel und in digitalen Ökosystemen folglich nicht verwertbar sind, weder innerhalb von thematischen Ressorts noch sektorübergreifend. Auch werden oftmals rechtsverbindliche Angaben hinsichtlich der Zulassung von Produkten (z. B. Gefahrenhinweise) mit freiwilligen, zusätzlichen Angaben (z. B. Zertifikate, Labels) vermischt dargestellt ebenso wie Daten mit direktem und indirektem Produktbezug. Im Hinblick auf die von der EU anvisierte Einführung eines digitalen Produktpasses ist es erforderlich, eine inhaltlich und strukturell einheitliche, standardisierte Aufbereitung und Darstellung von produktbezogenen Klima- und Umweltdaten möglichst zeitnah zu etablieren.

Diese standardisierte Datenzusammenstellung zu einem Produkt dient auch dem Bestreben, Klima- und Umweltdaten mit Produktbezug möglichst nur einmal zu erfassen und diesen digitalen „Quelldatensatz“ sodann als Grundlage für weitere Datenverwendungen heranzuziehen und dies möglichst automatisiert [HE 5.3.2-9 V5].

Kombimodul: Digitaler Nachhaltigkeitspass für Produkte (Asset: Produkt, direkter und indirekter Produktbezug)

Ein digitaler Nachhaltigkeitspass für Produkte sollte vielfältige Informationen zu Klima, Umwelt und sonstigen Nachhaltigkeitsaspekten haben. Klima- und Umweltdaten mit direktem Produktbezug reichen hier nicht aus, sondern sollten beispielsweise um Daten zur Lieferkette (Modul: Linearer Prozess), zum Recycling (Modul: Zirkulärer Prozess) und zu Standorten, an denen es produziert wurde (Modul: Digitaler Nachhaltigkeitspass für Betriebsstätten), ergänzt werden. Dabei können die vorab beschriebenen Module miteinander kombiniert werden.

Ziel muss es sein, die Nachhaltigkeitsdaten so zu erfassen und digital zu dokumentieren, dass diese sämtlichen Datenqualitätsanforderungen genügen, insbesondere aber den spezifischen Anforderungen von Industrie 4.0-Systemen. Kurz gesagt müssen produktbezogene Nachhaltigkeitsdaten Industrie 4.0-fähig gemacht werden. Nur so werden digitale Produktpässe automatisiert während der Produktion befüllt werden können und mithilfe standardisierter Zugriffsrechte auslesbar sein [HE 5.3.2-10 V5].

5.3.2.6 Nachhaltigkeitsmodule zu Netzwerken bzw. digitalen Ökosystemen

Modul: Digitales Ökosystem bzw. betriebs- und/oder Asset-übergreifendes digitales Netzwerk (Asset: Netzwerk)

Mit dem Wandel hin zu Industrie 4.0 und der Produktion in flexibel und lokal bis global agierenden digitalen Produktions- und Dienstleistungsnetzwerken verschwimmen Unternehmensgrenzen zunehmend. Die heutigen standardisierten Nachhaltigkeitsbewertungen beziehen sich zumeist auf die Unternehmensebene oder die Betriebs- bzw. Standortebene und sind in dieser Form nicht auf digitale Ökosysteme bzw. Netzwerkstrukturen übertragbar.

Die zentrale Herausforderung ist die Netzwerkstruktur, die weder einen rein linearen noch zirkulären Prozess darstellt, sondern aus vielfältigen, diffusen und noch näher zu spezifizierenden Netzwerkstrukturen mit diversen, wechselnden Akteuren besteht. Die Bewertung eines Netzwerkes als Ganzes stellt somit eine komplexe Aufgabe dar.

Da ein digitales Ökosystem sich aus einer Vielzahl von Akteuren und Dienstleistungen zusammensetzt, ist dieses Modul als Kombimodul bestehend aus der Summe seiner Akteure und Dienstleistungen sowie des Netzwerkes selbst angedacht [HE 5.3.2-11 V5].

5.3.3 Aspekte der sozialen Nachhaltigkeit und Handlungsempfehlungen

Bendel und Latniak [89] erachten „Orientierungswissen“ vor dem Hintergrund der Digitalisierung als zentral für betriebliche Arbeitsgestalter*innen. Die Normung kann hier einen wichtigen Beitrag liefern und zudem den Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die Praxis befördern, indem sie unter anderem die zuvor genannten Kriterien menschengerechter Arbeitsgestaltung konkret unterfüttert und Gestaltungsempfehlungen gibt. Ein iterativer, explorativer Prozess unter Einbezug von Expertinnen und Experten aus unterschiedlichen Disziplinen zeigte, dass die Relevanz dieser Kriterien auch in der digitalisierten Arbeitswelt hoch ist [90]. Es wurde festgestellt, dass Kriterien wie z. B. **Technikzuverlässigkeit** besonders digitalisierungssensibel sind und neue Kriterien wie **Inklusionsförderlichkeit**, **Berücksichtigung von Individualität und Diversität** sowie **klare Verantwortlichkeiten für den Arbeitsschutz** hinzukommen.

Eine Anpassung und Überarbeitung bestehender Normen sowie das Aufgreifen neuer Herausforderungen im Kontext der Industrie 4.0 mit dem Ziel der sicheren und gesunden Gestaltung von Arbeit sind in einigen Fällen erforderlich. Ein wesentliches Gremium, das sich mit diesen Fragen der sicheren, ergonomischen und beanspruchungsoptimalen Gestaltung von Technologien der Industrie 4.0 und der Künstlichen Intelligenz befasst, ist der Ausschuss **NA 023-00-06 AA**⁷⁶ „Ergonomie der Arbeits- und Produktgestaltung für die vernetzte und intelligente Digitalisierung“. In dem Ausschuss werden Begriffe geklärt, Definitionen abgeleitet, Normen auf Überarbeitungsbedarf hin gesichtet und aktuelle Aktivitäten beobachtet. Die Arbeit des Gremiums fließt in die regelmäßige Überarbeitung der hier vorliegenden Roadmap ein. Impulse werden zudem, wo sinnvoll, in betreffende Gremien getragen. Wie im Fortschrittsbericht erwähnt, arbeitet der Ausschuss aktuell an einem Projekt zur Unterstützung betrieblicher Arbeitsgestalter*innen mit dem Ziel der Bereitstellung des zuvor genannten Orientierungswissens (siehe Fortschrittsbericht [1] [HE 2.7-1 V4] und [HE 2.7-2 V4]).

Im Fortschrittsbericht [1] wurden weitere wesentliche Erfolge bei der Bearbeitung der Handlungsempfehlungen aus der vorherigen Version der NRM Industrie 4.0 skizziert. Dies betrifft insbesondere die Überarbeitung der Normenreihe **ISO 10075**⁷⁷ „Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung“ sowie die Weitergabe von Empfehlungen an den 2021 gegründeten Gemeinschaftsarbeitsausschuss **DIN NA 023-00-08 GA**⁷⁸ „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NAERG/NAFUO/NAM: Exoskelette“, der beim Normenausschuss „Ergonomie“ angesiedelt ist.

Menschengerechte Arbeitsgestaltung kann als ein Aspekt von Nachhaltigkeit verstanden werden, der sowohl bei der Gestaltung und dem Betrieb von ortsfesten Industrie 4.0-Anlagen als auch beim Arbeiten in und mit mobilen Anlagen bzw. Verkehrsmitteln bzw. mobiler Arbeit zum Tragen kommt. Insbesondere die mobile Arbeit im industriellen Kontext stellt die Gestaltung und Bewertung im Vergleich zur Arbeit vor Ort vor neue Herausforderungen. Neben einer Erhebung von Zahlen zur Verbreitung mobiler Arbeit im Kontext von Industrie 4.0, die durch die Coronapandemie beschleunigt

⁷⁶ **NA 023-00-06 AA** „Ergonomie der Arbeits- und Produktgestaltung für die vernetzte und intelligente Digitalisierung“

⁷⁷ **ISO 10075** „Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung“

⁷⁸ **DIN NA 023-00-08 GA** „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NAERG/NAFUO/NAM: Exoskelette“

wurde, wird daher empfohlen, Gestaltungsmöglichkeiten von und Anforderungen an z. B. mobil nutzbare Assistenzsysteme in die Normung aufzunehmen [\[HE 5.3.3-1 V5\]](#).

Des Weiteren hat die aufgrund der Pandemie zwingend erforderliche Umwidmung von bisherigen Präsenzmeetings auf virtuelle Meetings als Nebeneffekt erhebliche Kosten- und Zeiteinsparungen mit sich gebracht. Gleichzeitig hat sich gezeigt, dass zwischenmenschliche Kontakte in Präsenz, einschließlich Brainstorming, Vertrauensbildung und sensibler Entscheidungsfindung, nicht vollständig durch die Kommunikation mit digitalen Medien zu ersetzen sind.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass eine Zukunft der Normungszusammenarbeit ohne Online-Meetings und webbasierte Entwicklungsprozesse nicht mehr vorstellbar ist. Allerdings besteht ein klar identifizierter Bedarf an intelligenten Mischungen zwischen virtuellem und physischem Kontakt, welcher sich aber in der Normungspraxis zurzeit ansatzweise widerspiegelt.

Die Teilhabe von Menschen mit Behinderung am Arbeitsleben kann ebenfalls als Aspekt der Nachhaltigkeit und sozialen Gerechtigkeit verstanden werden. Es gilt, beim Prozess der inklusiven Arbeitsgestaltung Chancen der Teilhabe und Prävention, die sich durch Industrie 4.0-Elemente ergeben, aktiv zu nutzen und gleichermaßen spezifische Risiken, die mit technologischen Veränderungen für Menschen mit Behinderungen verbunden sein können, zu vermeiden bzw. alternative Technologien anzubieten [\[HE 5.3.3-2 V5\]](#).



6

ANFORDERUNGEN AN DIE ERARBEITUNG VON NORMEN UND STANDARDS

6.1 Anforderungen im Kontext von Open Source

Open Source spielt im Kontext von Industrie 4.0 bereits eine wesentliche Rolle. Es gibt zahlreiche Initiativen, die dies belegen. Dementsprechend groß ist die Bedeutung im Zusammenspiel mit der Standardisierung [HE 6.1-1 V5].

Ähnlich wie im Falle von Normen und Spezifikationen handelt es sich bei Open Source um Technologien, die in kollaborativen Prozessen entwickelt und offen für alle am Markt Teilnehmenden bereitgestellt werden. Es ist also auch wenig überraschend, dass Open Source als Zielsetzung in die Deutsche Normungsstrategie aufgenommen wurde: „DIN und DKE etablieren Partnerschaften und suchen Wege zur effektiven Zusammenarbeit mit Open-Source-Projekten und zur Nutzung von Open-Source-Techniken beziehungsweise Methoden in der Normung und Standardisierung.“ Zur Erfüllung dieses Ziels gibt es bereits ein gemeinsames Projekt von DIN und DKE, um sich der Herausforderung anzunehmen. Geplant sind neben konzeptionellen Entwicklungen und Pilotierungen auch das Schaffen eines „Open Source Program Offices“ (OSPO) als zentrale Anlaufstelle bei DIN DKE für Open-Source-Bedarfe [HE 6.1-2 V5].

In Open-Source-Software-Projekten wird kollaborativ Quellcode erstellt und Software entwickelt, die dann quelloffen dem Markt bereitgestellt wird. Jede quelloffene Software räumt den Nutzenden die vier grundlegenden Freiheiten ein, die inhaltlich den Begriff „Open Source“ definieren.

- **Freiheit 1:** Die grundsätzliche Freiheit, die Dokumente/Programme verwenden zu dürfen.
- **Freiheit 2:** Die Freiheit, die Open-Source-Dokumente/-Programme zu untersuchen und eigenen Bedürfnissen anzupassen. Dies setzt den uneingeschränkten Zugang zu den Open-Source-Dokumenten/zu dem Quellcode voraus.
- **Freiheit 3:** Die Freiheit, das Open-Source-Dokument/-Programm zu redistributieren.
- **Freiheit 4:** Die Freiheit, das Open-Source-Dokument/-Programm zu verbessern und diese Verbesserungen der Öffentlichkeit freizugeben.

Eine detaillierte Definition von Open Source gibt es von der **Open Source Initiative** (OSI) [91]. OSI ist die in der Community etablierte Organisation und weithin anerkannt, allerdings keine offizielle Zertifizierungsstelle oder bindende Instanz [91].

Die Veröffentlichung erfolgt unter bestimmten Lizenzbedingungen (sog. Open-Source-Lizenzen), die sich über die Jahre am Markt durchgesetzt haben und die auf die spezifischen Bedingungen und Anforderungen von Open-Source-Projekten zugeschnitten sind. Wer Open-Source-Software verwenden, verändern oder erweitern möchte, muss sich mit diesen verschiedenen Lizenzbedingungen genauer auseinandersetzen, da sie festlegen, welche Verpflichtungen sich daraus für den Anwendenden ergeben. Einen guten Überblick dazu bietet der Lizenz-Assistent der EU-Kommission [92].

Im Zusammenhang mit Open-Source-Lizenzen ist das sogenannte Copyleft ein relevanter Begriff. Starkes Copyleft besagt, dass sämtliche Änderungen und Weiterentwicklungen einer Open-Source-Software nur unter der gleichen Lizenz weitergegeben werden dürfen. Neben starkem Copyleft (Lizenzen, die keine Abweichung von diesem Prinzip erlauben) gibt es auch weniger restriktive (reziproke Lizenzen) und solche, die ganz auf das Copyleft verzichten (permissive Lizenzen). Möchte der Anwendende unterschiedliche Open-Source-Software zu einer neuen Software erweitern, so muss er darauf achten, dass sich die Lizenzen in einem Quelltext miteinander kombinieren lassen. So lässt sich beispielsweise der Quelltext aus einem Projekt mit GPL-Lizenz nicht in einem Projekt unter Apache v2-Lizenz verwenden.

Neben den Lizenzen gibt es noch weitere wichtige Aspekte, die bei der Verwendung von bzw. dem Beitragen zu Open Source genauer berücksichtigt werden sollten. Zum einen ist ein formalisiertes Prozess-/Regelwerk, welches die Zusammenarbeit der verschiedenen Partner innerhalb eines Open-Source-Projekts bzgl. des Umgangs mit Rechten sowie Pflichten, Policies (z. B. IP, Antitrust) und Trademarks beschreibt, zielführend. Zum anderen ist zu klären, welche Rechte als beitragende Organisation an das Projekt übertragen werden. Relativ häufig findet man hier reziproke Ansätze. Das heißt, dass dieselben Rechte an das Projekt übertragen werden müssen, die das Projekt unter der gewählten Open-Source-Lizenz auch den Nutzenden einräumt.

Im Folgenden werden einige Möglichkeiten aufgezeigt, wie Open-Source-Projekte und die Normung/Standardisierung sich ergänzen können [HE 6.1-3 V5]

1. **„Traditionelle“ Standardentwicklung:** Einbindung der Open-Source-Communitys in die Entwicklung eines Standards bzw. von Normen und Einhaltung der durch DIN und DKE vorgegebenen Normungsprozesse. Die Erstellung der Standards erfolgt dabei durch die Open-Source-Gemeinschaft in den regulären Normungsgremien.

Tabelle 1: Copyleft-Kategorien mit Beispiellizenzen

Permissive Lizenzen	Reziproke Lizenzen	Starkes Copyleft
<ul style="list-style-type: none"> → Apache 2.0 → BSD (Berkeley Software Distribution) → MIT (Massachusetts Institute of Technology) 	<ul style="list-style-type: none"> → LGPL (Lesser GPL) → MPL (Mozilla Public License) → EPL v2(Eclipse Public License) 	<ul style="list-style-type: none"> → GPL (General Public License)
<p>Diese freien (permissiven) Lizenzen schreiben nicht vor, unter welchen Bedingungen Änderungen und Weiterentwicklungen weitergegeben werden müssen, d. h., sie können als Open Source oder proprietär lizenziert werden. Eine Besonderheit der Apache 2.0-Lizenz ist, dass sie die Erteilung von Patentrechten bei der Nutzung, Änderung oder Verbreitung ausdrücklich festlegt.</p>	<p>Um die Verbreitung freier Bibliotheken zu fördern, wurde mit der LGPL eine abgeschwächte Copyleft-Lizenz kreiert. Sie gestattet das Verbinden von freier und proprietärer Software. Zu dieser Kategorie gehören auch MPL und EPL. Hier unterliegen Änderungen an bestehendem Code dem Copyleft, unabhängige Erweiterungen und Neuentwicklungen dürfen jedoch unter einer anderen Lizenz verteilt werden.</p>	<p>Für sämtliche Änderungen und Weiterentwicklungen einer Software gelten dieselben Lizenzbedingungen wie für den Original-Code, d. h., auch diese müssen im Quellcode zur Verfügung gestellt werden. GPL spielt insofern eine besondere Rolle, weil Linux unter ihr geschrieben wurde. Generell haben Copyleft-Lizenzen für die Verwendung im Rahmen einer kommerziellen Nutzung eher abgenommen.</p>

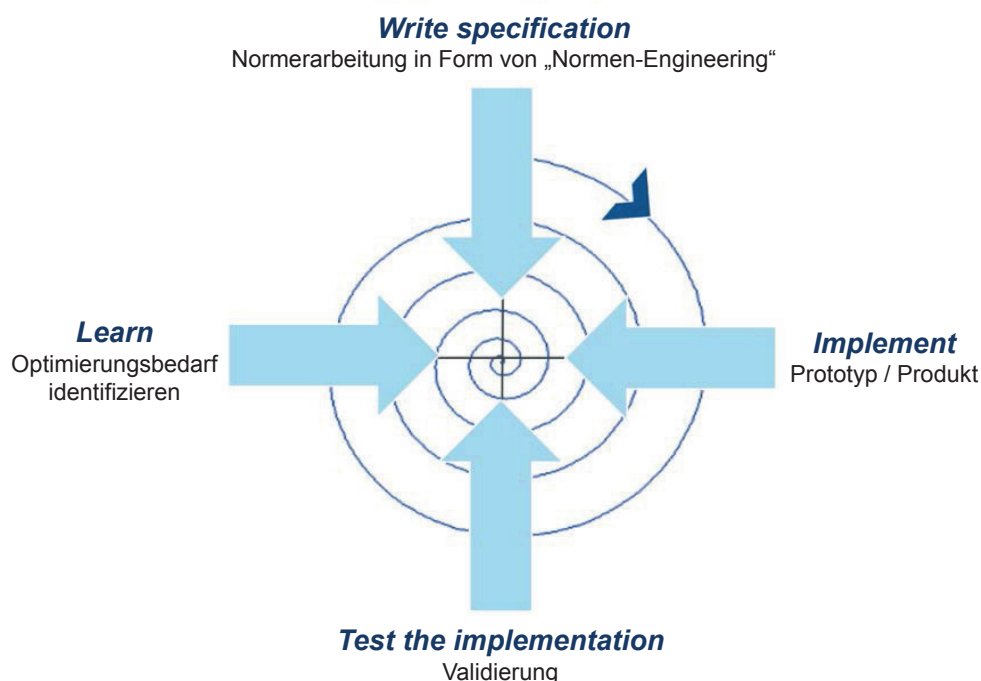
2. **Entwicklung von Standards, die an eine Open-Source-Gemeinschaft delegiert werden, die von einer Normungsorganisation betrieben werden:** Hier wird eine Open-Source-Gemeinschaft gebildet, die Standards in enger Kooperation mit einer Normungsorganisation entwickelt. Im Unterschied zu Punkt 1 erfolgt die Erstellung außerhalb der Normungsgremien.
 3. **Erstellung von Standards auf der Grundlage von Open-Source-Inhalten: Konventionelle Normungsaktivitäten, die ergänzende Anforderungen für die Nutzung von Open-Source-Inhalten in einer bestimmten Situation festlegen.**
 4. **Input für die Entwicklung von Standards:** Unterstützung der Open-Source-Communitys für die Bewertung potenzieller Entwicklungen. Die Einblicke ermöglichen eine Bewertung von Ansätzen und Ideen, die dann in den Standard eingebracht werden können.
 5. **Die Produktion von Open-Source-Elementen nach dem konsensbasierten Ansatz:** Einbindung der Normungsgremien mit dem Ziel, einen Beitrag zu einer Open-Source-Gemeinschaft zu leisten. Diese Situation ist in gewisser Weise die umgekehrte Situation im Vergleich zu Punkt 4. Während bei Punkt 4 die Initiative von der Open-Source-Gemeinschaft ausgeht, wird hier Software in einem Normungsgremium mit dem Ziel ausgearbeitet, eine Open-Source-Gemeinschaft zu versorgen.
 6. Entwicklung von „ergänzender“ Software unter Open-Source-Lizenz: In diesem Modell wird die entsprechende Open-Source-Software als eine ergänzende Aktivität gesehen, die nicht die Norm spezifiziert oder definiert, sondern eine exemplarische Referenzimplementierung darstellt, die zu weiteren Entwicklungen und Umsetzungen der Normanforderungen dient.
- Für den Bereich Industrie 4.0 ergeben sich dabei folgende Vorteile:
- Open Source ist ein geeigneter Weg, um Technologien und damit letztlich auch Standards schnell am Markt zu positionieren.
 - Im Bereich von Interoperabilitätsschnittstellen und ähnlichen Interoperabilitätstechnologien finden Entwicklungen in Open Source statt, die einerseits direkt in quelloffener Form dem Markt zur Verfügung stehen und andererseits in die Normung und Standardisierung zurückfließen. Es muss nicht explizit darauf hingewiesen werden, dass Interoperabilität ein Schlüsselement für Industrie 4.0 ist.
 - Normierung und Standardisierung der existierenden Schnittstellen können dabei zu einer längerfristigen Verfügbarkeit und Stabilität solcher Komponenten führen. Neben der Verbreitung der Technologien über Open Source fließt im Gegenzug Information über Funktiona-

litäten und insbesondere über funktionale Lücken in die Normung und Standardisierung zurück, worauf aufbauend sehr schnell und gezielt seitens der Normung reagiert werden kann. Ein derartiges Vorgehen kann in Form des in **Abbildung 17** dargestellten Ansatzes der „Agilen Normung“ strukturiert werden.

Im Folgenden werden aktuelle Initiativen um Industrie 4.0 vorgestellt, die einen engen Bezug zu Open Source und zur Standardisierung haben:

IDTA: Um die Spezifikationsarbeit beschleunigen, validieren und demonstrieren zu können, treibt die **IDTA** (siehe **Kapitel 5.1.4**) zusammen mit der **Eclipse Foundation** Open-Source-Projekte in Zusammenhang mit der Verwaltungsschale voran. Dazu bietet Open Source ein kollaboratives Modell, um die Technologie des digitalen Zwillings zu verbreiten. Das Eclipse **Digital Twin Top-Level Projekt**⁷⁹ besteht aus Projekten wie **Eclipse AASX Package Explorer**⁸⁰, **Eclipse AAS Model for Java** (AAS4J)⁸¹, **Eclipse AAS Web Client**⁸² und **Eclipse BaSyx** (Eclipse BaSyx™), die das Konzept und die Spezifikationen der Verwaltungsschale (z. B. „Details of the Asset Administration Shell – Part 1“) realisiert haben und unter einer Open-Source-Lizenz (z. B. Apache v2.0 oder MIT) zur Verfügung stellen.

Abbildung 17: Parallele Entwicklung – Open Source und Normung (Quelle: DKE)



Catena-X und GAIA-X: Ähnlich wie in **Gaia-X** spielen Standards und Open Source in **Catena-X** eine wichtige Rolle. Zwar steht **Catena-X** nicht in direktem Bezug zur Standardisierung, jedoch fließen die Aktivitäten innerhalb **Catena-X** und dessen Erkenntnisse als Beitrag zu existierenden Spezifikationen bzw. Standards (z. B. Verwaltungsschale als Standard für digitalen Zwillingen innerhalb **Catena-X**) über Kooperationen mit Konsortien (z. B. über die **IDTA**) ein. Die Ergebnisse von **Catena-X** werden als Open Source mit dem Projekt Eclipse **Tractus-X**⁸³ unter der Open-Source-Lizenz Apache v2.0 zur Verfügung gestellt.

Eine weitere Komponente für die Realisierung von auf **Gaia-X** basierten Dataspaces ist der Eclipse **Dataspace Connector**⁸⁴, in dem eine Komponente zum souveränen Austausch von Daten zwischen Organisationen entwickelt wird.

Die Anbindung und Überführung der Aktivitäten in die Normung und Standardisierung ist eine Schlüsselkomponente, wenn es darum geht, die Projekte in die Umsetzung zu bringen (siehe **[HE 6.1-3 V5]**). Eine weitere Zerfaserung des Umfeldes hinsichtlich selbsternannter Standards sollte dringend vermieden werden.

79 <https://projects.eclipse.org/projects/dt>

80 <https://projects.eclipse.org/projects/dt.aaspe>

81 [Eclipse AAS Model for Java](#)

82 [Eclipse AAS Web Client](#)

83 <https://projects.eclipse.org/projects/automotive.tractusx>

84 <https://projects.eclipse.org/proposals/eclipse-dataspace-connector>

6.2 Anforderungen im Kontext von Use Cases

Das Thema **Use Case** wird umfänglich in IEC 62559⁸⁵-Reihe „use case methodology“ behandelt und dieser Inhalt ist auch allgemein akzeptiert. Die Herausforderung bei Use Cases sind weder die Methodik noch das Template, sondern die praktische Anwendung der in den jeweiligen Artikeln beschriebenen Inhalte im operativen Geschäftsumfeld. Use Cases verfolgen immer einen Zweck oder eine Aussage zu einem spezifischen Thema, worüber im Vorhinein Klarheit und Einigkeit erzielt werden muss. Die Formulierung von qualitativ hochwertigen Use Cases ist sehr aufwändig. Die bisherigen Normungsroadmaps Industrie 4.0 haben diesbezüglich Orientierung und Handlungsempfehlungen gegeben.

Während in der Vergangenheit Standardisierung typischerweise erst nach einer Markteinführung stattfand und damit der Anwendungsbereich recht klar umrissen war, beginnt heute Standardisierung oft schon vor einer Markteinführung und es müssen viele Thesen, Ideen, Konzepte unter Lösungsaspekten betrachtet werden. Use Cases sind eine mögliche Methodik zur strukturierten Erarbeitung von Anforderungen aus dem Umsetzungsblickwinkel, um eine Brücke zwischen den Marktanforderungen, möglichen Lösungen und daraus resultierenden Standardisierungsanforderungen zu schlagen [HE 6.2-1 V5].

Wie in Kapitel 5.2.1 erläutert, bieten Datenräume ein großes Potenzial für die Erschließung neuer Anwendungen [HE 6.2-2 V5]. Allerdings zeigen sich derzeit einige Fragestellungen in der Standardisierung rund um die breite und verteilte Nutzung von Daten in einer Wertschöpfungskette und über Unternehmensgrenzen hinweg. Dies ist nach wie vor eine grundlegende Herausforderung bei der Nutzung von Daten im Kontext der Sicherheit und des IP-Schutzes des Unternehmens.

Es gibt eine international abgestimmte Sammlung von knapp 50 Smart Manufacturing Use Cases (IEC 63283-2⁸⁶ ED1 „Industrial-process measurement, control and automation – Smart manufacturing – Part 2: Use cases“). Diese hat den Anspruch, „repräsentativ“ für Smart Manufacturing zu sein. Die Use Cases haben alle einen vergleichbaren Detaillierungsgrad,

sind weitestgehend komplementär zueinander und haben je einen Umfang von ca. 5 Seiten. Methodik und Template folgen IEC 62559.

Es besteht der Vorschlag, IEC 63283-2 fortzuschreiben durch Integration weiterer Use Cases, beispielsweise durch Impulse aus dem Umfeld AI oder Catena-X [HE 6.2-3 V5], aber vielleicht auch aus der Normungsroadmap Industrie 4.0 [HE 6.2-4 V5]. Zu diesem Zweck wird empfohlen, ein Screening bestehender und neu entstehender Sammlungen von Anwendungsfällen durchzuführen [HE 6.2-5 V5].

Im Bereich der internationalen Zusammenarbeit wird durch eine Personalunion sichergestellt, dass die deutschen Use-Case-Aktivitäten über wichtige internationale (bilaterale) Kooperationen mit der Taskforce „Smart Manufacturing Use Cases“ der IEC/TC 65/WG 23⁸⁷ „Smart Manufacturing Framework and Concepts for industrial-process measurement, control and automation“ abgestimmt sind [HE 6.2-6 V5].

Hervorzuheben sind die Arbeiten zum Usage View „Edge Management“ im Rahmen des LNI 4.0-Testbeds und auf Business-View-Ebene die Ergebnisse zu digitalen Geschäftsmodellen, welche insbesondere über die japanische Kooperation erfolgen.⁸⁸ Außerdem wurden Use-Case-Diskussionen in bilateralen Länderkooperation (u. a. mit China, Japan, Südkorea) im Kontext der Verwaltungsschale sowie von Datenräumen begonnen. Es ist zu erwarten, dass dieser Dialog im Vorfeld der Normung intensiviert wird [AE 6.2-8 V5], [HE 6.2-7 V5].

Den Rückmeldungen zu diversen Vorträgen und Veröffentlichungen ist zu entnehmen, dass eine konsequente Trennung in eine geschäftliche Perspektive, eine Anwendungsperspektive und daraus abgeleitete Umsetzungsperspektiven akzeptiert und unterstützt wird [AE 6.2-8 V5].

Soziotechnische Aspekte bzw. Gestaltungsbeispiele als Bestandteil von Use Cases können bei der interdisziplinären Zusammenarbeit von Arbeitsgestalter*innen, Ingenieur*innen etc. unterstützen, positive Effekte menschengerechter Gestaltung aufzeigen und den Transfer abstrakter Anforderungen an die menschengerechte Gestaltung durch praktische Lösungs-

85 IEC 62559-Reihe „Use case methodology“

86 IEC 63283-2 ED1 „Industrial-process measurement, control and automation – Smart manufacturing – Part 2: Use cases“.

87 IEC/TC 65/WG 23 „Smart Manufacturing Framework and Concepts for industrial-process measurement, control and automation“

88 https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Edge_Management.html

ansätze befördern [HE 6.2-9 V5]. Hilfreich können an dieser Stelle auch Beispielsammlungen, wie z. B. vom ifaa bereitgestellt [93], sein.

6.3 Anforderungen im Kontext von maschinenlesbaren Standards

In der NRM Industrie 4.0 V4 [2] wurde das Thema Digitalisierung der Normung (siehe Kapitel 1.2 in [2]) eingeführt und mit der Handlungsempfehlung [HE 4.1-8A V4] zu digital formulierten Normen und Standards für eine automatisierte Auswertung die Bedeutung für Industrie 4.0 herausgestellt. Die Handlungsempfehlung empfahl dabei den Einsatz von digitalen Normen⁸⁹ für eine automatisierte Auswertung von Normen im Umfeld von Industrie 4.0. Dazu wurde die generelle Verfügbarkeit solcher digitalen Normen sowie die Erarbeitung von geeigneten Auswertungsverfahren gefordert. Im Fortschrittsbericht [1] zur NRM Industrie 4.0 V4 wurde diesbezüglich auf die Vorarbeiten von DKE und DIN zum Thema SMART Standards hingewiesen. Erste Aktivitäten wurden dabei bereits 2016 (IEC General Meeting) durchgeführt, die dann Mitte 2020 zur Gründung der Initiative Digitale Standards IDiS [33] führten sowie zur Bildung zahlreicher Arbeitsgruppen auf europäischer (CEN und CENELEC) und internationaler (ISO und IEC) Ebene.

6.3.1 Aktuelle Aktivitäten in der Normung

IDiS ist die nationale Stakeholdergruppe in Deutschland zu SMART Standards [33]. Das IDiS-Netzwerk ist interdisziplinär aufgestellt. So bildet sich die Netzwerkgruppe aus Vertreter*innen der Industrie, Wissenschaft und Verbänden unterschiedlichster Branchen. IDiS eröffnet den Normen Anwendenden die Möglichkeit, aktiv an den aktuellen europäischen und internationalen Entwicklungen zu SMART Standards teilzunehmen, und unterstützt DKE und DIN dabei, die nationalen Interessen in der internationalen Normungscommunity zu vertreten.

In Zusammenarbeit mit der AG „Technologie- und Anwendungsszenarien“ der Plattform Industrie 4.0 wurden erste Anwendungsszenarien untersucht, beschrieben und in zwei

Whitepapern veröffentlicht. Das Whitepaper „Szenarien zur Digitalisierung von Normung und Normen“ [94] beschreibt dabei vier mögliche Szenarien für die Entwicklung einer digitalen Norm – von der Maschinenlesbarkeit über die Maschineninterpretierbarkeit bis hin zur Erstellung und Nutzung mittels Künstlicher Intelligenz. Die Szenarien gehen dabei ebenfalls auf erste potenzielle Anwendungsfelder (Content Usage) u. a. im Bereich der Konstruktion, Automatisierung und im After Sales ein. Das im Whitepaper beschriebene Utility Model wurde mittlerweile in ISO und IEC weiter diskutiert und als gemeinsame Grundlage für die Beschreibung der grundlegenden Maschinenanwendbarkeit von SMART Standards akzeptiert. Ein weiteres Whitepaper „Anwendungsfälle von SMART Standards“ [95] beschreibt, welche Anforderungen und Funktionalitäten digitale Normen erfüllen müssen. Die Anwendungsfälle wurden auf Basis gesammelter User Storys (ca. 100 aus Deutschland und Europa) erstellt, inklusive aus dem Bereich Industrie 4.0.

Bei CEN-CENELEC wurden in den letzten Jahren zahlreiche Pilotprojekte zum Thema SMART Standards durchgeführt. Aktuell existieren fünf Workstreams (Arbeitsgruppen), die sich um jeweils unterschiedliche Aspekte von SMART Standards wie z. B. Sammlung und Analyse von Anforderungen durch Normungsexpert*innen und Normanwendenden oder Untersuchung der Auswirkungen von SMART Standards auf den Normungsprozess sowie damit verknüpfter Arbeitsabläufe kümmern [96].

Auf internationaler Ebene hat ISO mit den sogenannten Subgroups innerhalb von ISO SMART bzw. IEC mit den „Taskforces“ der SG 12 analoge Arbeitsgruppen zu den Europäischen gebildet. Diese Arbeitsgruppen zeichnen sich sowohl inhaltlich als auch in Bezug auf die Teilnehmenden durch eine große Überschneidung mit den europäischen Workstreams aus. Hierdurch ist ein Know-how-Transfer von der europäischen zur internationalen Ebene (und vice versa) gewährleistet, der von entscheidender Bedeutung ist, wenn bis 2024 erste SMART Standards bzw. darauf basierende Services (Level 3) bereitgestellt werden sollen und in der Folge die gemeinsame Weiterentwicklung in Richtung Level 4 Content erfolgen soll. Seit Anfang 2022 haben auch erste Joint-Arbeitsgruppen zwischen ISO und IEC ihre Arbeit aufgenommen, um die Ergebnisse auszutauschen und eine Harmonisierung selbiger zu gewährleisten.

Auf IEC-Ebene wurde darüber hinaus eine erste Idee eines SAM (Standard Architecture Model) und einer SAS (Standard Administration Shell) konzipiert. Beide Konzepte basieren

⁸⁹ Anmerkung: SMART-Standard ist der mittlerweile international etablierte Begriff für digitale Normen im Kontext der Digitalisierung von Normen und Normung.

auf Ideen der Industrie 4.0 (RAMI 4.0 und Verwaltungsschale) und sollen dabei helfen, die Funktionalitäten und Verantwortlichkeiten rund um SMART Standards besser einordnen und diskutieren zu können. Das SAM ordnet dabei, in Anlehnung an das RAMI 4.0, Aktivitäten und Funktionen von SMART Standards unterschiedlichen Dimensionen zu (Application Layer, Utility Level und Standard Life Cycle), um so das Verständnis und die Unterscheidbarkeit zwischen Application weiter zu verbessern. Das SAS hingegen ist mehr ein technisches Modell und beschreibt, wie Funktionen und Verantwortlichkeiten aufgeteilt werden können, um einen einheitlichen Zugriff auf Inhalte von SMART Standards ermöglichen zu können [HE 6.3-1 V5]. In IDiS, der nationalen Community für SMART Standards, startete Mitte 2021 ein erstes Pilotprojekt (Laufzeit ca. 15 Monate) zum Thema Verwaltungsschale und Teilmodell einer digitalen Norm.

6.3.2 Fragmentierung und SIM – Standard Information Model

Bereits heute werden in der Normung XML-Dokumente (NISO-STS) erzeugt, die eine, wenn auch grobe, Fragmentierung besitzen, welche sich im Wesentlichen an den Layoutstrukturen des Normdokuments orientiert. Für Systeme, die Normeninhalte verstehen sollen, ist jedoch eine entsprechende semantische Strukturierung erforderlich. Die theoretische Grundlage bildet das im Projekt 2 bei CEN-CENELEC erarbeitete Informationsmodell für SMART Standards, das derzeit bei der IEC (IEC SG 12 – Task Force 3) weiterentwickelt wird.

Es definiert alle wesentlichen Elemente der Standardisierung (Anforderungen, Kommentare, Formeln, Tabellen usw.) und beschreibt die Beziehungen dieser Elemente untereinander. Dabei bildet die „Provision“ und nicht etwa das „Dokument“ das zentrale Element der Standardisierung. Die Provision ist eine in sich abgeschlossene Information (Definition, Hinweis, Anforderung, Empfehlung usw.), welche im Kontext der Standardisierung eine entsprechende Relevanz besitzt. Eine Provision kann dabei in unterschiedlichen Ausprägungen existieren (textuell, tabellarisch, als Formel oder als Modell ausgedrückt). Dies steht im Einklang sowohl mit den geltenden Normungsregeln (ISO/IEC Directives Teil 2) als auch mit dem wichtigsten bisher identifizierten Anwendungsfall: der Bereitstellung normativer Anforderungen in einem Anforderungsmanagementsystem. Ebenfalls folgt das SIM dem Grundgedanken des Level 3 des IEC Utility Models, welches eine semantische Erfassung aller normativer Informationen anstrebt.

Die Herausforderungen, die sich aus der Fragmentierung des Normdokuments ergeben, sind vielfältig und tiefgreifend. Sowohl der aktuelle Normerstellungprozess als auch der Normanwendungsprozess sind dokumentbasiert. Um die Vorteile aus einer Fragmentierung und somit einer gezielteren Informationsnutzung in der Normanwendung nutzen zu können, müssen Anpassungen über den gesamten Normungsprozess erfolgen, d. h. von der Content Creation über Content Management und Content Delivery bis hin zu Content Usage [HE 6.3-2 V5].

6.3.3 Tool-Unterstützung und Taxonomien

Der Umfang, in dem die Inhalte von SMART Standards einer Maschinenanwendbarkeit und -interpretierbarkeit zugänglich gemacht werden können, hängt direkt davon ab, inwieweit es gelingt, die dafür notwendigen strukturierten Informationen bereits während des Normenerarbeitungsprozesses, also innerhalb der Gremienarbeit, zu erfassen. Dabei legen wiederum die Art der Strukturierung und der Umfang der semantischen Anreicherung den Schwierigkeitsgrad dieser Aufgabe fest. Hier kommt das Informationsmodell für SMART Standards (SIM) ins Spiel, das definiert, wie Normeninhalte fragmentiert, vernetzt und mit Metadaten versehen werden.

Eines der wesentlichen Ziele der Fragmentierung von Normen ist die gezielte und anwendungsgerechte Informationsbereitstellung. Um dies auch im Kontext von Industrie 4.0-Anwendungen zu ermöglichen, sollten die für Industrie 4.0 relevanten Informationseinheiten in Standards identifiziert und entsprechend im Informationsmodell (SIM) berücksichtigt werden, sodass diese bereits im Normerstellungprozess erstellt oder in nachgelagerten Anreicherungsprozessen berücksichtigt werden können. Dazu müssen die wesentlichen semantischen Konzepte sowie die gängigen Ontologie- und Taxonomiesysteme von Industrie 4.0 im Normerstellungprozess stärker und nachhaltiger verankert werden wie beispielsweise eine Referenzierung auf Elemente der CDD bzw. eine generelle Integration von Merkmalsystemen und I4.0-Ontologien, die Verwendung von semantischen IDs oder eine Verbindung zu Capability-Beschreibungen von Produkten und Assets (siehe hierzu [HE 6.3-1 V5]).

Die Größe der erzeugten Fragmente beeinflusst dabei einerseits maßgeblich, inwieweit die Inhalte einer zuverlässigen automatisierten Nutzung zugänglich gemacht werden können, andererseits aber auch den Aufwand, der bei ihrer Erstellung anfällt. Mit abnehmender Größe der Fragmente

wächst somit auch die Bedeutung einer benutzerfreundlichen Tool-Unterstützung, die den zusätzlichen Aufwand bei der Erfassung der Norminhalte oder der Verwaltung von zu verwendenden Ontologien und Klassifikationssystemen minimiert.

6.3.4 Harmonisierung von Terminologie

Ein-eindeutige Begriffe sind eine Grundvoraussetzung für die einheitliche Selbstbeschreibung und Interoperabilität von cyber-physischen Systemen. Die gültige Normung enthält allerdings eine Vielzahl an Inkonsistenzen in den erforderlichen Konzepten. Bei der Gremienarbeit sollte die Wiederverwendung von Definitionen gefördert und erleichtert werden durch:

1. Nutzung und Konsolidierung von Referenzdefinitionen (siehe hierzu [HE 6.3-3A V5]),
2. systematischen Abgleich aller relevanten Normdefinitionen (siehe hierzu [HE 6.3-3B V5]),
3. softwaregestützte Assistenz beim systematischen Abgleich und (siehe hierzu [HE 6.3-3C V5])
4. softwaregestützte Assistenz bei der formalen Prüfung (siehe hierzu [HE 6.3-3D V5]).

Das nationale Projektteam von Harbsafe 2 [97] hat ein softwarebasiertes Assistenzsystem entwickelt, welches bei der Harmonisierung von Terminologie Datenbanken gemäß den Handlungsempfehlungen unterstützen kann. Nachdem die Daten eingepflegt worden sind, werden Hinweise bei Inkonsistenzen zu anderen Einträgen und bei formalen Fehlern in der Definition generiert. Auch eine Übersicht über die Begriffe anhand ihrer Bedeutungsspektren und eine logische Darstellung der Definitionsmerkmale sind möglich. Angewendet werden dazu verschiedene Machine-Learning-Verfahren, welche ein automatisiertes Vorselektieren und Strukturierung ermöglichen. Vorgestellt wurde das Projekt in zahlreichen nationalen, aber auch internationalen Gremien und befindet sich nun in der Verwertungsphase. Die Harmonisierung der Terminologiebestände in der Normung ist für die Einführung und Nutzung von SMART Standards ein wichtiges Erfolgskriterium und sollte entsprechend fokussiert fortgeführt werden.

6.3.5 Neue Skills für Normen und Normanwender

Ein weiterer für die Zukunft systemrelevanter Aspekt betrifft die Definition der Anforderungen an die veränderten Qualifikationen der Normungsexpert*innen als Ersteller sowie die der Normanwendenden als Konsumierende der digitalen Informationen. Der Normungsprozess wird an sich weiter digitalisiert und die in der Industrie gängigen Verfahren zur Informationserstellung (Ontologien, Knowledge-Graphen, Modellierungstechniken, formale Beschreibungsformen, Pseudo-Code usw.) sowie zur Informationsbereitstellung (Austauschformate, API-Zugriffe, Mapping-Mechanismen) werden verstärkt Einzug in die zukünftige Normungsarbeit erhalten.

Die zukünftigen Anforderungen zur gänzlichen Durchführung der unterschiedlichen Teilprozesse und der damit verbundenen Aufgaben sind unterschiedlich – und damit auch die Anforderungen an die Personen (bzw. das Vorhandensein der dafür erforderlichen Kompetenzen in entsprechenden Ausprägungsgraden), die die Aufgaben zu bearbeiten haben [HE 6.2-6 V5].

6.3.6 Querschnittsbezüge

Moderne Methoden aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz, konkret hier Natural Language Processing (NLP), sind die Basis für starke Verbesserungen des Sprachverständnisses von Maschinen in verschiedenen Domänen. Hierzu werden vortrainierte (pretrained) Sprachmodelle (z. B. German BERT) verwendet, die auf einer breiten Vielfalt von Texten trainiert werden. Durch das Pretraining der Modelle erhalten diese ein grundsätzliches Verständnis der Domäne, aus der die Texte und die in ihnen enthaltenen Informationen stammen.

In verschiedenen Projekten (u. a. ein Pilotprojekt in IDiS) werden Sprachmodelle trainiert, die auf internationalen und deutschsprachigen Normen basieren. Diese vortrainierten Sprachmodelle können für verschiedene Use Cases verfeinert werden. Einer dieser Use Cases ist z. B. das Extrahieren relevanter Norminhalte (z. B. Anforderungen oder Produktmerkmale), wie dies beispielsweise im DiTraNo Projekt der DKE untersucht wurde.⁹⁰ Weiterhin werden Datensätze erstellt, die Fragen an Normen in Kombination mit relevanten

⁹⁰ <https://www.dke.de/ditrano>

Textpassagen der Normen als Antworten enthalten. Somit können vortrainierte Sprachmodelle in Form eines spezialisierten Modells so verfeinert werden, dass diese lernen, passende Textpassagen zu einer Frage zu identifizieren und zu extrahieren. Überdies können statistische Klassifikatoren relevante Normeninhalte auf Grundlage regelbasierter Ansätze identifizieren (wie z. B. das Tool SNIF von DIN Software⁹¹). Somit können voraussichtlich unter anderem Textstellen zurückgewiesen werden, die z. B. inhaltlich keine Anforderungen darstellen.

In diesem Sinne bleibt festzuhalten, dass bisher überwiegend Normen über KI betrachtet wurden, in diesem Kontext aber (auch) die Anwendung und Auswertung von Normen durch Künstliche Intelligenz einen interessanten Anwendungsfall darstellt. Dabei können KI-Methoden sowohl zur Unterstützung, wie z. B. bei der Identifikation von semantischen Informationen in Normen, verwendet werden oder aber auch als Konsumierende von SMART Standards angesehen werden, welche normative Inhalte verarbeiten und ggf. in Zukunft auch optimieren bzw. weiterentwickeln können (siehe dazu [74]).

91 <https://www.dinsoftware.de/de/normeninformationen/snif>

ANHANG A
Normungsumfeld
Industrie 4.0

Detaillierte und aktuelle Übersichten der für die Industrie 4.0 relevanten Standards sind zu finden unter:

<https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/industrie4-0>

<https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/industry/industrie40>

A.1 Anhang Deutsche Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Industrie 4.0

DKE	
DKE/GK 914	Funktionale Sicherheit elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Systeme (E, E, PES) zum Schutz von Personen und Umwelt
DKE/AK 914.0.4	Fortschreibung IEC 61508-2
DKE/AK 914.0.6	Zusammenarbeit ITEI/Zuverlässigkeit
DKE/K 931	Systemaspekte der Automatisierung
DKE/AK 931.0.12	Life Cycle Management
DKE/AK 931.0.14	Smart Manufacturing und Industrie 4.0
DKE/UK 931.1	IT-Sicherheit in der Automatisierungstechnik
DKE/AK 931.1.3	Funktionale und IT-Sicherheit
DKE/K 941	Engineering
DKE/AK 941.0.2	Automation ML
DKE/K 956	Industrielle Kommunikation
DKE/AK 956.0.2	Industrial Wireless Networks
DKE/AK 956.0.6	Zusammenarbeit ITEI/Funk
DIN	
Normenausschuss Informationstechnik und Anwendungen (NIA)	Der Aufgabenbereich des Normenausschusses Informationstechnik und Anwendungen (NIA) bei DIN umfasst die Erarbeitung von Normen auf dem Gebiet der Informationstechnik und ausgewählter Anwendungsbereiche der Informationstechnik. Auf dessen Website finden sich auch die Jahresberichte.
NA 043-01 FB	Fachbereich Grundnormen der Informationstechnik
NA 043-02 FB	Fachbereich Horizontale Anwendungsnormen der Informationstechnik
NA 043-04 FB	Fachbereich Informationssicherheit
NA 043-04-27 AA	Informationssicherheit, Cybersicherheit und Datenschutz
NA 043-01-41 AA	Internet der Dinge (IoT) und Digitaler Zwilling

DIN/DKE NA 043-01-42 GA DIN/DKE Gemeinschaftsarbeitsausschuss Künstliche Intelligenz

DIN NA 060 Normenausschuss Maschinenbau

NA 060-30 FB Fachbereich Industrielle Automation und Integration

VDI|VDE (Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik)

VDMA

Companion Specifications

A.2 Anhang Europäische und internationale Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Industrie 4.0

STANDARDISIERUNGSORGANISATIONEN

IEC – International Electrotechnical Commission

IEC/TC 65 Industrial-process, measurement, control and automation

IEC/TC 65/WG 10 Security for industrial process measurement and control – Network and system security

IEC/TC 65/WG 16 Digital Factory

IEC/TC 65/WG 19 Life-cycle management for systems and products used in industrial-process measurement, control and automation

IEC/TC 65/WG 20 Industrial-process measurement, control and automation – Framework to bridge the requirements for safety and security

IEC/TC 65/WG 23 Smart Manufacturing Framework and Concepts for industrial-process measurement, control and automation

IEC/TC 65/WG 24 Asset Administration Shell for Industrial Applications

IEC/SC 65 Industrial-process measurement, control and automation

IEC/SC 65A System Aspects

IEC/SC 65B Measurement and control devices

IEC/SC 65C Industrial Networks

IEC/SC 65E Devices and integration in Enterprise systems

ISO/IEC

Joint ISO/TC 184 – IEC/TC 65/JWG 21 Smart Manufacturing Reference Model(s)

ISO/IEC JTC 1 Joint Technical Committee for Information technologies

ISO/IEC JTC 1/SC 27	Information security, cybersecurity and privacy protection
ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 3	Security evaluation, testing and specification
ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 4	Security controls and services
ISO/IEC JTC 1/SC 31	Automatic identification and data capture techniques
ISO/IEC JTC 1/SC 41	Internet of things and digital twin
ISO/IEC JTC 1/SC 42	Artificial Intelligence
ISO/IEC JTC 1/AG 7	Trustworthiness
ISO/IEC JTC 1/AG 8	Meta Reference Architecture and Reference Architecture for Systems Integration
ISO/IEC JTC 1/AG 11	Digital Twin

ISO – International Organization for Standardization

ISO/TC 184	Automation systems and integration
ISO/TC 184/SC 4	Industrial data
ISO/TC 108/SC 5	Condition monitoring and diagnostics of machine systems
ISO/TC 261	Additive Manufacturing
ISO/TC 292	Security and resilience
ISO/TC 299	Robotics
ISO/TC 307	Blockchain and distributed ledger technologies

CEN – European Committee for Standardization

CEN/TC 114	Safety of machinery
CEN/TC 310	Advanced Automation technologies and their applications
CEN/TC 319	Maintenance
CEN/TC 438	Additive Manufacturing

CENELEC – European Committee for Electrotechnical Standardization

CLC/TC 65X	Industrial-process measurement, control and automation
CLC/TC 65X/WG 02	Smart Manufacturing

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IEEE 802	Time sensitive networks
IEEE P2806	System Architecture of Digital Representation for Physical Objects in Factory Environments
DR_WG	Digital Representation Working Group

ETSI	
3GPP	3rd Generation Partnership Project
ESI	Electronic Signature
ISG SAI	Securing AI
Cyber	Cybersecurity
ISG MEC	Multiaccess Edge Computing
oneM2M	
SmartM2M & SAREF	Smart App Reference Ontology
ITU-T	
FG5GML	Machine Learning for Future Networks including 5G (Focus Group)
IECEE	
IECEE CMC WG 31	Cyber Security Certifications
IECEE OD 2061	Industrial Cyber Security Program Specifies 7 Cyber Security Certifications based on IEC 62443
IECEE OD 2037	ch. 12/Annex 5: Industrial Cyber Security Certificate Structure
IECEE Test Report Forms (TRFs)	TRFs for IEC 62443 parts 24, 33, 41 and 42

A.3 Anhang Koordinierende Gremien

CEN-CENELEC-ETSI	
CEN-CLC-ETSI/SMa-CG Coordination Group on Smart Manufacturing	Die CEN-CENELEC-ETSI „Coordination Group on Smart Manufacturing“ (SMaCG) wurde 2019 gegründet und wird von DIN/DKE geleitet. Die Koordinierungsgruppe berät zu den laufenden europäischen Aktivitäten rund um das Thema Smart Manufacturing und synchronisiert die Position von CEN, CENELEC und ETSI gegenüber SDOs und anderen Dritten bezüglich der Normung und Standardisierung. Die Leitung und das Sekretariat sind von deutscher Seite besetzt.
ISO	
ISO/TMBG/SMCC Smart Manufacturing Coordinating Committee (SMCC)	Ebenfalls unter deutscher Leitung treibt das ISO/SMCC „Smart Manufacturing Coordinating Committee“ seither die internationalen Arbeiten zum Thema Industrie 4.0 aktiv voran. Das Ziel ist hierbei, das Thema übergreifend zu koordinieren und Umsetzungsempfehlungen, insbesondere im Hinblick auf ein gemeinsames internationales Vorgehen, zu erarbeiten. Zeitgleich wurde bei DIN ein nationales Spiegelgremium implementiert, um Interessenten national eine Plattform zu bieten, die internationalen Arbeiten maßgeblich mitzugestalten.

IEC	
IEC/SyC SM System Committee Smart Manufacturing	Das unter deutschem Vorsitz stehende Gremium IEC/SyC SM „System Committee Smart Manufacturing“ ist direkt unter dem Standardisation Management Board (SMB) von IEC angesiedelt und hat seine Arbeit im Jahr 2018 aufgenommen. Die Aufgaben des IEC/SyC SM liegen neben der Koordination der Normungsaktivitäten, der Identifikation von Lücken und Überschneidungen insbesondere in der Zusammenarbeit relevanter Normungsorganisation und Konsortien.
IEC/SyC COMM Communication Technologies and Architectures	Mitte 2019 entstand zusätzlich das IEC/SyC COMM „Communication Technologies and Architectures“, welches aus der vorherigen IEC/SEG 7 hervorging. Die Aufgaben des SyC sind die Standardisierung im Bereich der Kommunikationstechnologien und architekturen. Das SyC zielt darauf ab, die Aktivitäten im Bereich der Kommunikationstechnologien und architekturen zu koordinieren und zu harmonisieren. Das Gremium arbeitet eng mit den IEC-Ausschüssen zusammen, um deren laufende Arbeit im Bereich der Kommunikationstechnologien zu unterstützen. Ein weiteres Ziel ist die Zusammenarbeit mit anderen Organisationen zur Entwicklung von Normen (SDOs) und Industriekonsortien im Bereich der Kommunikationstechnologien und architekturen.

A.4 Anhang Standards Setting Organizations (SSO)

OPC – Unified Architecture

Standard für den Datenaustausch als plattformunabhängige, serviceorientierte Architektur

AutomationML

Offener Standard für neutrales, XML-basiertes Datenformat für die Speicherung und zum Austausch von Anlagenplanungsdaten

ECLASS

Datenstandard für die Klassifizierung und eindeutige Beschreibung von Produkten und Dienstleistungen mithilfe von standardisierten ISO-konformen Merkmalen

Namur

Arbeitskreis 2.8: Automatisierungsarchitekturen (Namur Open Architecture NOA)

W3C (siehe Kapitel 2.5.2)

[W3C WoT resources](#) [W3C WoT Wiki](#)

[W3C WoT Interest Group](#)

[W3C WoT Working Group](#)

WebRTC behandelt die grundsätzliche Echtzeitfähigkeit zwischen Dingen auf Basis eines entsprechenden WoT-Standards, formaler Beschreibung. WebRTC wird beim World Wide Web Consortium (W3C) als offener Standard standardisiert.

WebAssembly Ein neuer Anspruch als Ersatz für JavaScript im Browser, verbunden auch schon mit Entwicklungen dieses auch außerhalb von Browsern verfügbar zu machen (Spin-off) und somit Performanz für browserbasierte Anwendung in die Leistungsdomäne klassischer Webanwendungen zu bringen.

WebPerf Performanz: die Fähigkeit, agil auf unterschiedliche Anforderungen reagieren zu können und dieses hochperformant in einer einheitlichen Integration umzusetzen

WebPayments Integration von Zahlungsverkehrssystemen zwischen den Dingen einführen, wobei diese auch autark agieren können. Frage nach Standards (PSD2, EU, EMV intl. WeChat. Tencent, SCS (China))

Immersive AR/VR-Integration im Webkontext auch ebenfalls autark für Dinge, aber auch zwischen Dingen und Menschen

Webauthn Die Ausprägung einer entsprechenden Sicherheitsarchitektur basierend auf Standards aber integral gelagert zwischen den Dingen, basierend auf einer entsprechenden Integration entlang aller Modellschichten sowohl horizontal als auch vertikal (Frage nach Views)

Extensible Web Die Einführung der/von Erweiterbarkeit als integrales Konzept für Browser, später über WASI (WebAssembly System Interface) auch für nicht browserbasierte Applikationsentwicklungen als Alternative zu Java(Bytecode)-Generierung

A.5 Anhang Übersicht Politik (Deutschland, Europa)

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung

EC – Europäische Kommission

MSP – Multi Stakeholder Plattform

A.6 Anhang Übersicht über das derzeitige Normungs- und Standardisierungsumfeld

DIN NA 023-00-06 AA „Ergonomie der Arbeits- und Produktgestaltung für die vernetzte und intelligente Digitalisierung“

ISO 10075 „Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung“

DIN NA 023-00-08 GA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NAErg/NAFuO/NAM: Exoskelette“

IEC TS 62443-1-1:2009 „Industrial communication networks – Network and system security – Part 1-1: Terminology, concepts and models“

ISO/IEC 20924:2021 „Information technology – Internet of Things (IoT) – Vocabulary“

VDI 2770 Blatt 1 „Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen – Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie – Grundlagen“

IEC TC 3/ WG 28 „Intelligent Information Request and Delivery specification (iiRDS) – A Process Model for Information Architecture“

IEC PAS 63485 ED1 „Intelligent Information Request and Delivery Specification (iiRDS) – A Process Model for Information Architecture“

IEC 61360-4 „Common Data Dictionary“

ISO/TC 184/SC 4 „Industrial data“

ISO 22745-Reihe „Industrial automation systems and integration – Open technical dictionaries and their application to master data“

IEC TC 65/SC 65E/WG 2 „Product properties & classification“

IEC SC 3D „Classes, Properties and Identification of products – Common Data Dictionary (CDD)“

IEC 61360-1 ED5 „Standard data element types with associated classification scheme – Part 1: Definitions – Principles and methods“

IEC 61360-6 ED2 „Standard data element types with associated classification scheme for electric components – Part 6: CDD modelling guideline for the use of concepts“

IEC 61360-7 DB „Data dictionary of cross-domain concepts“

ISO/IEC JTC/SC 41 „Internet of Things and Digital Twin“

DIN NA 043-01-41 „Internet der Dinge (IoT) und Digitaler Zwilling“

ISO/IEC 30141:2018 „Internet of Things (IoT) – Reference architecture“

ISO/IEC 21823-Reihe „Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT systems“

ISO/IEC 30165:2021 „Internet of things (IoT) – Real-time IoT framework“

ISO/IEC TR 30176:2021 „Internet of Things (IoT) – Integration of IoT and DLT/blockchain: Use Cases“

ISO/IEC 30162:2022 „Internet of Things (IoT) – Compatibility requirements and model for devices within Industrial IoT systems“

ISO/IEC 30147:2021 „Internet of Things (IoT) – Integration of IoT trustworthiness activities in ISO/IEC/IEEE 15288 system engineering processes“

ISO/IEC/JTC 1/SC 38 „Cloud computing and distributed platforms“

ISO/TMBG/SMCC „ISO Smart Manufacturing Coordinating Committee“ (SMCC)

IEC 63278-1 ED1 „Asset Administration Shell for industrial applications – Part 1: Asset Administration Shell structure“

IEC 62832-1:2020 „Industrial-process measurement, control and automation – Digital factory framework – Part 1: General principles“

ISO/IEC JTC 1/ SC 41/WG 6 „Digital Twin“

IEC/TC 65/WG 24 „Asset Administration Shell for Industrial Applications“

IEC/SyC SM „System Committee Smart Manufacturing“

IEC 63278-2 „Asset Administration Shell for Industrial Applications – Part 2: Information meta model“
IEC 63278-3 „Security provisions for Asset Administration Shells“
PWI JTC1-SC41-5 ED1 „Digital Twin – Reference Architecture“
PWI JTC1-SC41-6 „Guidance for IoT and Digital Twin Use Cases“
PWI JTC1-SC41-7 „Digital Twin – Maturity model“
PWI TR JTC1-SC41-11 „Digital Twin – Correspondence measure of DTw twinning“
ISO/IEC 20924 ED3 CDM „Internet of Things (IoT) and Digital Twin – Vocabulary“
ISO/IEC TR 30172 ED1 DTR „Digital Twin – Use Cases“
ISO/IEC 30173 ED1 CD „Digital Twin – Concepts and terminology“
ISO/IEC 21823-1 „Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT systems – Part 1: Framework“
DKE/AK 931.0.16 „Asset Administration Shell for Industrial Applications“
ISO/IEC JTC 1/SC 41/AG 20 „Sectorial Liaison Group (SLG 1) on Industrial sector“
IEC TC 65 „Industrial-process measurement, control and automation“
DIN 77005-Reihe „Lebenslaufakte für technische Anlagen“
DIN 77005-1:2018-09 „Lebenslaufakte für technische Anlagen – Teil 1: Strukturelle und inhaltliche Festlegungen“
DIN 77005-2 „Lebenslaufakte für technische Anlagen – Teil 2: Digitale Lebenslaufakte“
DIN SPEC 91406 „Automatische Identifikation von physischen Objekten und Informationen zum physischen Objekt in IT-Systemen, insbesondere IoT-Systemen“
IEC/IEEE 60802 „TSN Profile for Industrial Automation“
VDI/VDE-Richtlinie 2192 „Interoperabilität in Industrie 4.0-Systemen – Qualität von Diensten – Kenngrößen und Einflussgrößen“
VDI/VDE-Richtlinie 2185 Blatt 4 „Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik – Messtechnische Performancebewertung von Funklösungen für industrielle Automatisierungsanwendungen“
IEC/TC 65/WG 16 „Digital Factory“
IEC 61158-2 „Industrial communication networks – Fieldbus specifications – Part 2: Physical layer specification and service definition“
IEC TS 63444 ED 1 „Industrial networks – Ethernet-APL Port Profile Specification“
IEC 61508-Reihe „Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems“
ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 3 „IoT Foundational Standards“
ISO/IEC TS 30168 ED1 „Internet of Things (IoT) – Generic Trust Anchor Application Programming Interface for Industrial IoT Devices“

ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5 „Identity management and privacy technologies“

ISO/IEC JTC 1/SC 27 „Information security, cybersecurity and privacy protection“

ISO/IEC JTC 1/SC 42 „Artificial Intelligence“

ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 4 „Security controls and services“

ISO/IEC JTC 1/WG 13 „Trustworthiness“

ISO/TC 292/WG 4 „Authenticity, integrity and trust for products and documents“

IEC 62559-Reihe „Use Case methodology“

IEC 63283-2 ED1 „Industrial-process measurement, control and automation – Smart manufacturing – Part 2: Use Cases“).

IEC/TC 65/WG 23 „Smart Manufacturing Framework and Concepts for industrial-process measurement, control and automation“

IEC 62832-Reihe „Digital factory framework“

IEC/SC 65E „Devices and integration in enterprise systems“

IEC 63365 ED1 „Digital Nameplate – Digital Product Marking“ Kati und VY

ABKÜRZUNGS- VERZEICHNIS

Begriff	Abkürzung
Advanced Physical Layer	APL
Artificial Intelligence	AI
Common Data Dictionary	CDD
Digital Product Passport	DPP
electronic IDentification, Authentication and trust Services	eIDAS
General Data Protection Regulation	GDPR
Industrial Digital Twin Association	IDTA
Industrial Internet of Things	IIoT
Industrie 4.0	I4.0
Informationstechnologie	IT
Intellectual Properties	IP
Intelligent Information Request and Delivery Specification	iiRDS
Künstliche Intelligenz	KI
Labs Network I 4.0	LNI4.0
Module Type Package	MTP
New Legislative Framework	NLF
New Work Proposal	NWP
Normungsroadmap Industrie 4.0	NRM I4.0
Operative Technologie	OT
Quality of Service	QoS
Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0	RAMI 4.0
Single Pair Ethernet	SPE
Standardization Council Industrie 4.0	SCI 4.0
Standards Information Model	SIM
Time Sensitive Network	TSN

AUTOR*INNEN- VERZEICHNIS

Adolph, Dr. Lars, BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

Bedenbender, Dr. Heinz, VDI – Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf

Böll, Dr. Marvin, DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Offenbach

Börkircher, Dr. Mikko, METALL NRW – Verband der Metall- und Elektroindustrie Nordrhein-Westfalen e. V., Düsseldorf

Brumby, Prof. Dr. Lennart, Duale Hochschule Baden-Württemberg, Mannheim

Czarny, Damian, DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Offenbach

de Meer, Jan, HTW c/o smartspacelab.eu

Faath, Andreas, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Frankfurt

Gayko, Dr. Jens, DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Offenbach

Haack, Daniel, DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

Hadlich, Dr. Ing. Thomas, Rockwell Automation, Düsseldorf

Holoyad, Taras, Bundesnetzagentur (BNetzA), Mainz

Hörcher, Dr. Günter, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Jeske, Dr. Tim, ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V., Düsseldorf

Jöst, Matthias, omlox

Kirchhoff, Dr. Britta, BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

Klasen, Dr. Wolfgang, Siemens AG, München

Köpp, Thomas, Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e. V. (Südwestmetall), Stuttgart

Kötter, Wolfgang, GITTA mbH – Gesellschaft für interdisziplinäre Technikforschung Technologieberatung Arbeitsgestaltung mbH, Berlin

Lachenmaier, Dr. Jens, Universität Stuttgart

Laible, Holger, Siemens AG, Nürnberg

Leboucher, Yves, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Lee, Sascha Man-Son, DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Offenbach

Legat, Dr. Christoph, HEKUMA GmbH, Hallbergmoos

Lindenberg, Uwe, SGS-TÜV, Dortmund

Löwen, Prof. Dr. Ulrich, Siemens AG, Erlangen

Marko, Angelina, BITKOM, Berlin

Meurer, Doris, UBA – Umweltbundesamt, Dessau

Meyer, Olga, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart

Müller, Andreas, Schaeffler AG, Nürnberg

Nickel, Peter, Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin

Olbort, Johannes, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)

Orzelski, Andreas, Phoenix Contact GmbH & Co KG, Blomberg

Petschulies, Anna, DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

Plagge, Michael, Eclipse Foundation Europe

Pröll, Dieter, Siemens AG, Nürnberg

Rannenberg, Prof. Dr. Kai, Goethe-Universität, Frankfurt

Reich, Johannes, SAP, Walldorf

Rudschuck, Dr. Michael, DKE – Deutsche Kommission
Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in
DIN und VDE, Offenbach

Schewe, Frank, Phönix Contact

Schnäpp, Dieter, Universität Braunschweig

Sehnert, Katharina, DIN – Deutsches Institut für
Normung e. V., Berlin

Sieber, Peter, HIMA Paul Hildebrandt GmbH, Brühl

Simon, Anja, Labs Network Industrie 4.0

Steinbuss, Sebastian, IDSA

Stock, Dr. Patricia, REFA Fachverband e. V. – REFA-Institut,
Darmstadt

Teuscher, Andreas, SICK AG, Waldkirch

Tenhagen, Detlef, HARTING Stiftung & Co. KG, Espelkamp

Underberg, Dr. Lisa, ifak, Magdeburg

Weber Martins, Thiago, SAP

Weber, Ingo, Siemens AG, Karlsruhe

Wegener, Prof. Dr. Dieter, Siemens AG, München

QUELLEN- UND LITERATURVERZEICHNIS

-
- [1] DIN/DKE and SCI 4.0, Fortschrittsbericht – Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0. [Online]. Available: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/industrie4-0/roadmap-industrie40-62178> (accessed: Dec. 18 2022).
-
- [2] DIN/DKE, Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0 – Version 4: DIN und DKE ROADMAP. SCI 4.0. [Online]. Available: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/industrie4-0/roadmap-industrie40-62178> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [3] L. Nagel and D. Lycklama, “Design Principles for Data Spaces – Position Paper,” 2021.
-
- [4] E. Ulich, Arbeitspsychologie, 7th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2020. [Online]. Available: <https://vdf.ch/arbeitspsychologie-e-book.html?search=Arbeitspsychologie&description=true>
-
- [5] Ulich and Eberhard, “Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung,” *Journal Psychologie des Alltagshandelns / Psychology of Everyday Activity*, Vol. 6 / No. 1, ISSN 1998-9970, 2013.
-
- [6] BMAS, Grundsatzpapier zur Rolle der Normung im betrieblichen Arbeitsschutz. [Online]. Available: <https://www.bmas.de/DE/Service/Presse/Meldungen/2015/grundsatzpapier-normung-betrieblicher-arbeitsschutz.html> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [7] United Nations, United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm 1972 | United Nations. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [8] [WCED, Report of the World Commission on Environment and Development – Our Common Future. [Online]. Available: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/wced> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [9] United Nations, United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3-14 June 1992 | United Nations. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [10] COM, 640 final: Der europäische Grüne Deal, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:52019DC0640>
-
- [11] Bitkom, Vorschlag zur systematischen Klassifikation von Interaktionen in Industrie 4.0 Systemen: Hinführung zu einem Referenzmodell für semantische Interoperabilität. White Paper. [Online]. Available: www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Bitkom_Thesenpapier.pdf?__blob=publicationFile&v=5
-
- [12] R. Heidel, M. Hoffmeister, M. Hankel, and U. Döbrich, Eds., *Industrie 4.0: The reference architecture model RAMI 4.0 and the Industrie 4.0 component*. Berlin, Wien, Zürich, Berlin, Offenbach: Beuth Verlag; VDE Verlag, 2019. [Online]. Available: <https://www.beuth.de/de/publikation/rami-4-0-and-the-industrie-4-0-component/296158879>
-
- [13] Shi-Wan Lin et al., *Architecture Alignment and Interoperability. An Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 Joint Whitepaper IIC:WHT:IN3:V1.0:PB:20171205*. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/whitepaper-iic-pi40.pdf?__blob=publicationFile&v=7
-
- [14] B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Eds., *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 2: Automatisierung*, 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2017.
-
- [15] U. Epple, “Merkmale als Grundlage der Interoperabilität technischer Systeme,” *auto*, vol. 59, no. 7, pp. 440–450, 2011, doi: 10.1524/auto.2011.0939.
-

-
- [16] N. C. Karafyllis, „Soziotechnisches System,“ in **Mensch-Maschine-Interaktion: Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik**, K. Liggieri and O. Müller, Eds., Berlin, Heidelberg: J.B. Metzler Verlag, 2019, pp. 300–303.
-
- [17] M. Both, J. Müller, and C. Diedrich, “Automatisierte Abbildung semantisch heterogener I4.0-Verwaltungsschalen durch Methoden des Natural Language Processing,” **auto**, vol. 69, no. 11, pp. 940–951, 2021, doi: 10.1515/auto-2021-0050.
-
- [18] C. Diedrich, T. Hadlich, and M. Thron, „Semantik durch Merkmale für Industrie 4.0,“ in **VDI Springer Reference, Handbuch Industrie 4.0 Bd. 2: Automatisierung**, B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Eds., 2nd ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017, pp. 417–432.
-
- [19] T. Deppe, L. Nothdurft, and U. Epple, „DIN SPEC 92000 als Enabler für Plug-and-Produce-Konzepte,“ **atp**, vol. 62, no. 4, pp. 78–85, 2020, doi: 10.17560/atp.v62i4.2461.
-
- [20] OPC UA, **Unified Architecture – OPC Foundation**. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [21] OPC Foundation, **List of Documents – OPC Foundation**. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/developer-tools/documents/> (accessed: Nov. 4 2022).
-
- [22] ECLASS, **eptos™ – ECLASS ContentDevelopmentPlatform PROD – CDP-7.2.0**. [Online]. Available: <https://www.eclass-cdp.com/portal/info.seam> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [23] R. Reussner and W. Hasselbring, Eds., **Handbuch der Software-Architektur**, 2nd ed. Heidelberg: dpunkt.verlag, 2009.
-
- [24] J. Reich, L. Zentarra, and J. Langer, “Industrie 4.0 und das Konzept der Verwaltungsschale – Eine kritische Auseinandersetzung,” **HMD**, vol. 58, no. 3, pp. 661–675, 2021, doi: 10.1365/s40702-020-00645-4.
-
- [25] JTC1 SIF, **JTC 1 Advisory Group on Systems Integration Facilitation (SIF) – JTC 1**. [Online]. Available: <https://jtc1info.org/technology/advisory-groups/jtc1-advisory-group-on-systems-integration-facilitation-sif/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [26] COMM/DG/UNIT, **Europäischer Grüner Deal: Eine offizielle Website der Europäischen Union**. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [27] IDSA, **Home – International Data Spaces**. [Online]. Available: <https://internationaldataspaces.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [28] BDVA, **Home – BDVA Big Data Value Association**. [Online]. Available: <https://www.bdva.eu/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [29] **umati, umati – universal machine technology interface – connecting the world of machinery**. [Online]. Available: <https://umati.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [30] Gaia-X, **Architektur der Standards: Gaia-X Architecture Document – 21.12 Release: Gaia-X European Association for Data and Cloud AISBL**. [Online]. Available: https://www.gaiax.es/sites/default/files/2022-01/Gaia-X_Architecture_Document_2112.pdf (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [31] Gaia-X, **Gaia-X – Architecture Document – 22.04 Release: Draft**. [Online]. Available: <https://gaia-x.eu/wp-content/uploads/2022/06/Gaia-x-Architecture-Document-22.04-Release.pdf>
-
- [32] IEC, **Semantic interoperability: challenges in the digital transformation age**. [Online]. Available: <https://www.iec.ch/basecamp/semantic-interoperability-challenges-digital-transformation-age> (accessed: Nov. 2 2022).
-

- [33] DIN DKE, IDiS – Initiative Digitale Standards. [Online]. Available: <https://www.dke.de/de/normen-standards/normung-strategie/deutsche-normungsstrategie/idis> (accessed: Nov. 1 2022).
- [34] Plattform Industrie 4.0, I4.0-Sprache – Vokabular, Nachrichtenstruktur und semantische Interaktionsprotokolle der I4.0-Sprache. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-sprache.html> (accessed: Nov. 2 2022).
- [35] OPC Foundation, OPC 10001-5 Unified Architecture Amendment 5 Dictionary Reference – Release 1.04: OPC UA Online Reference – Online versions of OPC UA specifications and information models. [Online]. Available: <https://reference.opcfoundation.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
- [36] AutomationML consortium, AutomationML – The Glue for Seamless Automation Engineering: Whitepaper AutomationML – Part 6: AutomationML Component. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [37] DKE, Verwaltungsschale als Rückgrat der Industrie 4.0 und des Digitalen Zwillings: Fachinformation. [Online]. Available: <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/industry/verwaltungsschale> (accessed: Nov. 1 2022).
- [38] C. Wagner et al., “The role of the Industry 4.0 asset administration shell and the digital twin during the life cycle of a plant,” in 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation: September 12-15, 2017, Limassol, Cyprus, Limassol, 2017, pp. 1–8.
- [39] VDI, Digitale Transformation – VDI/VDE-GMA Fachbeirat FB 7 Digitale Transformation – Neuer Fachausschuss VDI/VDE-GMA/GPP 7.10 „Planung und Entwicklung hybrider Leistungsbündel“. [Online]. Available: https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-Aufruf_7.10-VDI.de.pdf (accessed: Nov. 1 2022).
- [40] IDTA, Home – IDTA – Der Standard für den Digitalen Zwilling. [Online]. Available: <https://industrialdigitaltwin.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
- [41] VDMA/FKM, Studie „Interoperabilität im Maschinen- und Anlagenbau“: Die Weltsprache der Produktion als Grundlage für Industrie 4.0. [Online]. Available: <https://www.vdma.org/weltsprache-der-produktion>
- [42] Digital Twin Consortium, About Us – Digital Twin Consortium is The Authority in Digital Twin™. [Online]. Available: <https://www.digitaltwinconsortium.org/about-us/> (accessed: Nov. 1 2022).
- [43] IDTA, Downloads – IDTA Deutsch. [Online]. Available: <https://industrialdigitaltwin.org/content-hub/downloads> (accessed: Nov. 1 2022).
- [44] InterOpera, Startseite – InterOpera – Digitale Interoperabilität in kollaborativen Wertschöpfungsnetzwerken der Industrie 4.0. [Online]. Available: <https://interopera.de/> (accessed: Nov. 1 2022).
- [45] 5G-ACIA, Integration of 5G with Time-Sensitive Networking for Industrial Communications – 5G-ACIA: White Paper. [Online]. Available: https://5g-acia.org/wp-content/uploads/2021/04/5G-ACIA_IntegrationOf5GWithTime-Sensitive-NetworkingForIndustrialCommunications.pdf (accessed: Nov. 1 2022).
- [46] OPC Foundation, Extending OPC UA to the field: OPC UA for Field eXchange (FX): Technical Paper.
- [47] 5G-ACIA, Service-Level Specifications (SLSs) for 5G Technology-Enabled Connected Industries – 5G-ACIA: White Paper. [Online]. Available: <https://5g-acia.org/whitepapers/service-level-specifications-slss-for-5g-technology-enabled-connected-industries/> (accessed: Nov. 1 2022).
- [48] TIACC, Home | TIACC. [Online]. Available: <https://www.tiacc.net/> (accessed: Nov. 1 2022).
-

-
- [49] 5G-ACIA, 5G for Connected Industries and Automation (Second Edition): White Paper. [Online]. Available: https://5g-acia.org/wp-content/uploads/5G-ACIA_WP_5G-for-Connected-Industries-and-Automation-Second-Edition_SinglePages.pdf
-
- [50] 5G-ACIA, 5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios: White Paper. [Online]. Available: https://5g-acia.org/wp-content/uploads/5G-ACIA_5G_Non-Public_Networks_for_Industrial_Scenarios_09-2021.pdf
-
- [51] FieldComm Group, ODVA Inc., OPC Foundation, PROFIBUS Nutzerorganisation e. V., Ethernet-APL. [Online]. Available: <https://www.ethernet-apl.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [52] Ethernet-APL™, Ethernet – To the Field: Ethernet-APL™. Ease of adoption. Seamless integration. Simplified installation. Greater range. Valuable data. [Online]. Available: https://www.ethernet-apl.org/wp-content/uploads/2022/08/Ethernet-APL_Ethernet-To-The-Field_EN_FINAL_June-2021.pdf
-
- [53] omlox, omlox is an open and interoperable standard that is revolutionizing real-time locating. [Online]. Available: <https://omlox.com/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [54] J. Lee, *Industrial AI: Applications with Sustainable Performance*, 1st ed. Singapore: Springer Singapore; Imprint Springer, 2020.
-
- [55] Plattform Industrie 4.0, *Industrie 4.0 – KI in der Industrie 4.0: Orientierung, Anwendungsbeispiele, Handlungsempfehlungen: Wegweiser*. [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/industrie-4-0-ki-in-der-industrie-4-0-orientierung-anwendungsbeispiele-handlungsempfehlungen-1769482> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [56] BMWK, *Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung: Publikation – Schlüsseltechnologien*. [Online]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/strategie-kuenstliche-intelligenz-der-bundesregierung.html> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [57] BMBF, *Home – KI Strategie*. [Online]. Available: <https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [58] European Commission, *White Paper on Artificial Intelligence: a European approach to excellence and trust | European Commission*. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/document/d2ec4039-c5be-423a-81ef-b9e44e79825b_en (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [59] Oxford University Press, *artificial intelligence – Quick Reference: The theory and development of computer systems able to perform tasks normally requiring human intelligence, such as visual perception, speech recognition, decision-making, and translation between languages*. [Online]. Available: <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803095426960;jsessionid=812D4FEA8CA56AD4C6A2C104E37A3A57> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [60] European Commission, *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act) and Amending Certain Union Legislative Acts Com/2021/206 Final: 2021/0106(COD)*. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0206> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [61] L. Floridi and M. Chiriatti, “GPT-3: Its Nature, Scope, Limits, and Consequences,” *Minds & Machines*, vol. 30, no. 4, pp. 681–694, 2020, doi: 10.1007/s11023-020-09548-1.
-
- [62] A. Vaswani et al., “Attention Is All You Need,” Jun. 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/1706.03762v5>
-

-
- [63] W. Fedus, B. Zoph, and N. Shazeer, “Switch Transformers: Scaling to Trillion Parameter Models with Simple and Efficient Sparsity,” Jan. 2021. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/2101.03961v3>
-
- [64] J. Yu et al., “Scaling Autoregressive Models for Content-Rich Text-to-Image Generation,” Jun. 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/2206.10789v1>
-
- [65] A. Ramesh, P. Dhariwal, A. Nichol, C. Chu, and M. Chen, “Hierarchical Text-Conditional Image Generation with CLIP Latents,” Apr. 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/2204.06125v1>
-
- [66] C. Saharia et al., “Photorealistic Text-to-Image Diffusion Models with Deep Language Understanding,” May. 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/2205.11487v1>
-
- [67] BMWi, Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0: Ergebnispapier. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/fortschreibung-anwendungsszenarien.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [68] BMWi, Technologieszenario „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0“: Working Paper. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/KI-industrie-40.pdf?__blob=publicationFile&v=10 (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [69] acatech, Strategie. Advanced Systems Engineering. Leitinitiative zur Zukunft des Engineering und Innovationsstandorts Deutschland. [Online]. Available: <https://www.acatech.de/publikation/die-advanced-systems-engineering-strategie/download-pdf/?lang=de> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [70] acatech, Engineering smarterer Produkte und Services Plattform Industrie 4.0 STUDIE. Michael Abramovici (Hrsg.): Forschungsbeirat. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-fb-smart.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [71] W. F. Lawless, Ed., Systems Engineering and Artificial Intelligence, 1st ed. Cham: Springer International Publishing AG, 2021.
-
- [72] ZVEI, AI in Industrial Automation: White Paper. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2021/April/AI_in_Industrial_Automation/AI-in-Industrial-Automation-White-Paper-NEU.pdf (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [73] acatech, Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien.: Forschungsbeirat. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-fb-landkarte.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (accessed: 19.12.222).
-
- [74] DIN/DKE, Deutsche Normungsroadmap Künstliche Intelligenz. Ausgabe 2. [Online]. Available: <https://www.din.de/resource/blob/891106/57b7d46a1d2514a183a6ad2de89782ab/deutsche-normungsroadmap-kuenstliche-intelligenz-ausgabe-2--data.pdf> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [75] IEEE, DATA TRADING SYSTEM WORKING GROUP. [Online]. Available: <https://sagroups.ieee.org/3800/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [76] Data Sharing Coalition, Home – Data Sharing Coalition. [Online]. Available: <https://datasharingcoalition.eu/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [77] Sitra, Rulebook for a fair data economy. [Online]. Available: <https://www.sitra.fi/en/publications/rulebook-for-a-fair-data-economy/> (accessed: Nov. 1 2022).
-

-
- [78] DSBA, The Data Spaces Business Alliance – Data Spaces Business Alliance. [Online]. Available: <https://data-spaces-business-alliance.eu/> (accessed: Dec. 18 2022).
-
- [79] DSBA, The Data Spaces Business Alliance – Data Spaces Business Alliance. [Online]. Available: <https://data-spaces-business-alliance.eu/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [80] OWASP Foundation – CycloneDX, OWASP CycloneDX Software Bill of Materials (SBOM) Standard. [Online]. Available: <https://cyclonedx.org/> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [81] NIST, Executive Order 14028, Improving the Nation’s Cybersecurity. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/itl/executive-order-14028-improving-nations-cybersecurity> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [82] European Commission, Cyber Resilience Act: Policy and legislation – Publication. [Online]. Available: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/cyber-resilience-act> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [83] GDPR, General Data Protection Regulation (GDPR) Compliance Guidelines. [Online]. Available: <https://gdpr.eu/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [84] European Commission, Europäisches Daten-Governance-Gesetz. [Online]. Available: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/data-governance-act> (accessed: Dec. 18 2022).
-
- [85] EDPB, EDPB | European Data Protection Board. [Online]. Available: https://edpb.europa.eu/edpb_en (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [86] IETF, Home – Internet Engineering Task Force (IETF). [Online]. Available: <https://www.ietf.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [87] Gaia-X, Introduction | Gaia-X Trust Framework. [Online]. Available: <https://compliance.gaia-x.eu/guide/#latest-release> (accessed: Dec. 18 2022).
-
- [88] Plattform Industrie 4.0 and rri, IIoT Value Chain Security – The Role of Trustworthiness: International Paper. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/IIoT_Value_Chain_Security.pdf?__blob=publicationFile&v=9
-
- [89] A. Bendel and E. Latniak, „Soziotechnisch – agil – lean: Konzepte und Vorgehensweisen für Arbeits- und Organisationsgestaltung in Digitalisierungsprozessen,“ *Gr Interakt Org*, vol. 51, no. 3, pp. 285–297, 2020, doi: 10.1007/s11612-020-00528-8.
-
- [90] A. Tisch and S. Wischniewski, Eds., *Sicherheit und Gesundheit in der digitalisierten Arbeitswelt: Kriterien für eine menschengerechte Gestaltung*, 1st ed. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2022. [Online]. Available: <https://portal.dnb.de/opac.htm?method=simpleSearch&query=Sicherheit%2%A0und%2%A0Gesundheit%2%A0in%2%A0der%2%A0digitalisierten%2%A0Arbeitswelt>
-
- [91] Opensource.org, The Open Source Definition | Open Source Initiative. [Online]. Available: <https://opensource.org/osd> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [92] Joinup, JLA – Find and compare software licenses. [Online]. Available: <https://joinup.ec.europa.eu/collection/eupl/solution/joinup-licensing-assistant/jla-find-and-compare-software-licenses> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [93] ifaa, ifaa-Beispielsammlung „Digitalisierung & Industrie 4.0“. [Online]. Available: <https://www.arbeitswissenschaft.net/angebote-produkte/checklistenhandlungshilfen/ue-che-tw-beispielsammlung> (accessed: Nov. 1 2022).
-

-
- [94] DIN/DKE, Szenarien zur Digitalisierung der Normung und Normen: Whitepaper. [Online]. Available: <https://www.dke.de/idis-whitepaper-1-de> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [95] DIN/DKE, Whitepaper. Anwendungsfälle von SMART Standards. [Online]. Available: <https://www.dke.de/resource/blob/2184670/57d8b37f0af3927334664e7cff57502a/idis-whitepaper-2-de---download-data.pdf> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [96] CENELEC, Smart Standards -What is it? [Online]. Available: <https://experts.cenelec.eu/key-initiatives/smart-standards/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [97] DKE, Harbsafe2. [Online]. Available: <https://experts.cenelec.eu/key-initiatives/smart-standards/> (accessed: Nov. 1 2022).
-



DIN e.V.

Am DIN-Platz
Burggrafenstraße 6
10787 Berlin
Tel.: +49 30 2601-0
E-Mail: info@din.de
Internet: www.din.de

Stand: Januar 2023



**VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik
Informationstechnik e. V.
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik
Informationstechnik in DIN und VDE**
Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel.: +49 69 6308-0
E-Mail: service@vde.com
Internet: www.dke.de