

DIN und DKE ROADMAP

Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0

Version 4



STANDARDIZATION
COUNCIL
INDUSTRIE 4.0

Herausgeber



DIN e. V.

Saatwinkler Damm 42/43
10787 Berlin
Telefon: +49 30 2601-0

E-Mail: presse@din.de
Internet: www.din.de



DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
Stresemannallee 15
60596 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6308-0
Telefax: +49 69 08-9863
E-Mail: standardisierung@vde.com
Internet: www.dke.de

Stand: März 2020

Fotonachweis Titelbild: Gfalic works/
Stefan Müpfer – stock.adobe.com

Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

vor nunmehr sechs Jahren erlebte die erste Ausgabe der Normungsrroadmap Industrie 4.0 ihre Premiere. Seither ist viel passiert. In den vergangenen sechs Jahren hat sich Industrie 4.0 vom Schlagwort zum praxiserprobten Ansatz entwickelt und beschreibt mittlerweile eine ganz neue Stufe der Produktion sowie der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette. Industrie 4.0 bedeutet technologisch eine Verschmelzung von IT (Information Technology) und OT (Operational Technology).

Dies führt zu einer signifikanten Überschneidung von bislang voneinander getrennten Normungs- und Standardisierungsbereichen. Fragestellungen, Anforderungen und Arbeitsweisen, die zuvor z. B. für die Branche der Informations- und Kommunikationstechnologien relevant waren, betreffen nun in noch stärkerem Maße auch den Maschinenbau und die Elektroindustrie.



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

In der Konsequenz ist es nun an der Zeit, Industrie 4.0 weiter denken: Wie wird ein globales digitales Wertschöpfungssystem aussehen? Wie können wir die richtigen normativen Rahmenbedingungen dafür identifizieren und umsetzen? Das aktuelle [Leitbild 2030 der Plattform Industrie 4.0](#) formuliert hierzu bereits einen ganzheitlichen Ansatz zur Gestaltung digitaler Ökosysteme und richtet die Entwicklung von Industrie 4.0 neu aus. Drei zentrale strategische Handlungsfelder sind dabei maßgebend: **(1)** Souveränität, **(2)** Interoperabilität und **(3)** Nachhaltigkeit. Diesen Gedanken greift das „Standardization Council Industrie 4.0“ (SCI 4.0) auf und setzt sich zum Ziel, die Zusammenführung dieser Lösungsansätze gemeinsam mit DIN und DKE, mittels der Formulierung von normativen Empfehlungen, voranzutreiben.

Mit der Ausgabe „Version 4“ möchten wir eine Vision für Industrie 4.0 formulieren: das Erreichen der Interoperabilität. Darunter verstehen wir, dass Maschinen in vernetzten digitalen Ökosystemen interoperabel miteinander kommunizieren. Nur ein hohes Maß an Interoperabilität, sichert die Vernetzung über Unternehmens- und Branchengrenzen hinweg. Dazu braucht es Standards und Integration, einen einheitlichen regulatorischen Rahmen sowie dezentrale Systeme und Künstliche Intelligenz.

Als Vorsitzender des Beirates freut es mich zu sehen, dass das Standardization Council Industrie 4.0 eine bedeutende und bündelnde Funktion wahrnimmt, um diese Rahmenbedingungen zu identifizieren. Mittels der Normungsrroadmap Industrie 4.0 als „*lebendes Dokument*“ sollen ambitionierte, durchführbare Handlungsempfehlungen für alle Akteure erarbeitet und adressiert werden. Dies beinhaltet dabei ebenso die internationale Dimension, d. h. die internationale Initiierung und Koordination geeigneter Normen.

Positive Nachrichten gibt es bei den Umsetzungen der bisherigen Handlungsempfehlungen zu vermelden. So stehen zum Beispiel die Aktivitäten der „ISO/IEC Joint Working Group 21“ (ISO/IEC/JWG21) zur Harmonisierung von Industrie 4.0-Referenzmodellen, mit dem abschließenden Technical Report vor dem Abschluss. Die wohl neueste Entwicklung ist die Annahme des Normungsantrags zur Verwaltungsschale durch die IEC/TC65,

welcher mit deutlicher Mehrheit angenommen wurde. Damit sind die Weichen gestellt, um die Verwaltungsschale zum zentralen „*Integrationsstecker*“ für digitale Ökosysteme zu machen. Dies sind nur einige prominente Beispiele der Erfolgsgeschichte.

Natürlich widmen wir uns auch in der aktuellen Ausgabe, neuen, in der Vergangenheit nicht betrachteten Themen. Aufgrund der Vielfältigkeit der bestehenden und möglichen Anwendungsgebiete von Künstlicher Intelligenz (KI) und der aktuelle Fokus von Politik, Wissenschaft und Anwendern auf das Thema, gibt es hohe Erwartungen an ihren Einsatz in der Industrie 4.0.

Neuartige Prozesse und Gestaltungsmöglichkeiten durch Künstliche Intelligenz werfen automatisch auch Fragestellungen bezüglich gängiger Standards und Richtlinien auf, die sich häufig, wie zum Beispiel in der funktionalen Sicherheit und beim Arbeitsschutz, auf geplante und zum Teil zertifizierte Verfahren und Systeme beziehen und noch keine Antwort auf die Nutzung dynamischer Entscheidungsprozesse in KI-Systemen kennen.

Das Kapitel stellt eine mögliche „*vertikale*“ Einteilung der Wirkung von KI in der industriellen Produktion – also Industrie 4.0 – in Aussicht und versucht die noch offenen Antworten in Form von Handlungsempfehlungen zu geben.

Der Mensch und sein Wissen spielen bei der Erstellung der Normungsroadmap immer noch die Hauptrolle. Ich bin immer wieder fasziniert von dem hohen Grad der Beteiligung und der Bereitschaft der Experten sich diesem „*Projekt Normungsroadmap*“ zu widmen. Ohne die Bereitschaft Ihr Wissen und Engagement einzubringen, würden wir heute nicht unsere „Version 4“ feiern können. In diesem Sinne, möchte ich mich, auch im Namen des SCI 4.0-Beirates, an dieser Stelle bei allen Autoren und Beteiligten für den unermüdlichen Einsatz bedanken.

Nun gilt es, die Handlungsempfehlungen umzusetzen und den Boden für die nächste Ausgabe bereits heute zu bereiten.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern eine spannende Lektüre.

Ihr

Prof. Dr. Dieter Wegener

Vorsitzender SCI 4.0 Beirat

DKE Vizepräsident

Sprecher ZVEI-Führungskreis Industrie 4.0

Zusammenfassung

In der Tradition der bisherigen Normungsroadmaps zeigt die vorliegende Ausgabe, neben dem aktuellen Normungsstand zu Industrie 4.0, insbesondere die Normungslücken und normativen Inkonsistenzen auf, die es schnellstmöglich zu überarbeiten bzw. anzupassen gilt. Dies resultiert in den zum Ende jeden Kapitels formulierten Handlungs- und Anwendungsempfehlungen.

Seit der Veröffentlichung der Ausgabe 3 vor zwei Jahren konnten wichtige Normungsprojekte zunächst national initiiert und nachfolgend auf internationaler Ebene umgesetzt werden.

Gestaltung einer Metasprache für Referenzarchitekturmodelle

Die Rolle des Menschen ist zunächst die des Entwicklers und Nutzers, der die laufenden Prozesse kontrolliert, überwacht und, falls erforderlich, steuernd eingreift. Die Interaktion und Kommunikation zwischen den Fabriken mit ihren Maschinen jedoch, geht über Betriebs- und Unternehmensgrenzen hinaus. Firmen verschiedener Branchen, wie beispielsweise Zulieferer, Logistikunternehmen und Hersteller, sind auf diese Weise in einem Wertschöpfungssystem miteinander vernetzt. Verschiedenste Systeme müssen miteinander kommunizieren und interagieren. Damit das gelingt, müssen Schnittstellen harmonisiert werden. Dies setzt wiederum voraus, dass sich die Ausgestaltung dieser Schnittstellen an möglichst international abgestimmten Normen und Standards orientiert.

Ein Referenzarchitekturmodell, also eine einheitliche Begriffs- und Methodenstruktur, bildet eine Basis dafür, dass die beteiligten Experten der verschiedenen Disziplinen diese Komplexität beherrschen und eine gemeinsame Sprache sprechen. Sie schafft eine gemeinsame Struktur für die einheitliche Beschreibung und Spezifikation von konkreten Systemarchitekturen. Das in Deutschland entwickelte Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 – RAMI 4.0 – stellt ein solches Modell dar. Dieses Modell ist heute erfolgreich in der internationalen Normungslandschaft eingebracht und als [IEC PAS 63088](#) veröffentlicht.

Beschreibung der Struktur einer Verwaltungsschale und ihrer Teilmodelle

Der nächste große Schritt besteht in der Definition geeigneter Datenstrukturen zum Austausch von Daten und deren festgelegter Bedeutung. Diesen standardisierten Austausch von Daten und deren festgelegter Bedeutung bezeichnet man als semantische Interoperabilität. Für diesen Austausch wurde in Deutschland das Konzept der Verwaltungsschale entwickelt [1]. Hard- und Softwarekomponenten in der Produktion, vom Produktionssystem über die Maschine oder Station bis hin zur einzelnen Baugruppe innerhalb einer Maschine, werden Industrie-4.0-fähig, indem sie diese Eigenschaften erfüllen. Zu diesen Eigenschaften zählt die Kommunikationsfähigkeit der realen Objekte und die dazugehörigen Daten und Funktionen. Das Modell beschreibt so die Voraussetzungen für Industrie-4.0-konforme Kommunikation zwischen den einzelnen Hard- und Softwarekomponenten in der Produktion. Um der in Deutschland definierten Struktur der Verwaltungsschale in der internationalen Normung zum Durchbruch zu verhelfen, erfolgte unter Koordination

des [Standardization Council Industrie 4.0 \(SCI 4.0\)](#) eine Vor-Abstimmung des Konzepts mit Partnern u. a. aus Frankreich, Italien und China.

Mit der Annahme des Normungsantrages zur [IEC 63278-1 ED1](#) „*Asset administration shell for industrial applications – Part 1: Administration shell structure*“ bei IEC/TC 65, ist ein erster wichtiger Schritt getan. Damit sind die Weichen gestellt, um die Verwaltungsschale zum zentralen „*Integrationsstecker*“ für digitale Ökosysteme zu machen. Die Projektarbeiten begannen im Februar 2020.

Deutschland übernimmt Verantwortung in der Industrie-4.0-Normung

Mit dem Förderprojekt GoGlobal Industrie 4.0 unterstützt das BMWi seit Dezember 2017 die globale Harmonisierung nationaler Industrie 4.0-Konzepte durch das SCI 4.0. Auf diese Weise können die in der Normungsroadmap formulierten Handlungsempfehlungen in den internationalen Diskurs getragen werden. Die kooperierenden Länder sind in aller Regel in der internationalen Normung aktiv vertreten, sodass eine frühzeitige, konsensuale Zusammenarbeit zielführend ist. Die Stabilisierung der Konzepte durch den bi- und trilateralen Gesprächskanal ist aus deutscher Perspektive unerlässlich, um diese Arbeiten mit den entsprechenden internationalen Normungsgremien zu synchronisieren. Im Einzelnen sind hier bilaterale Kooperationskanäle mit China, Japan, Südkorea und den USA geöffnet worden und aktiv im Harmonisierungsprozess begriffen. Für den europäischen Kontext hat sich eine trilaterale Kooperation zwischen Frankreich, Italien und Deutschland konsolidiert, die ebenso auf die weitere europäische Industrie-4.0-Community zuarbeitet und den Weg für einen gemeinschaftlichen europäischen Weg bereitet.

Die jeweiligen Kooperationen auf internationaler Ebene adressieren die relevanten ISO- und IEC-Gremien und erfordern wiederum ein hohes Maß an Zusammenarbeit und Transparenz in der Ausgestaltung gemeinsamer Prozesse und Ergebnisse. Diese Vorgehensweise geschieht in Einklang mit der Internationalisierungsstrategie der Plattform Industrie 4.0. So definiert die Normungsroadmap Industrie 4.0 Handlungsempfehlungen für die Normungsarbeit, die in Abstimmung mit den maßgeblichen Arbeitsgruppen in DIN und DKE für die Umsetzung koordiniert werden.

Anders formuliert, es gehört zum Auftrag des Standardization Council, zusammen mit Experten und den internationalen Partnerländern, die passenden Lösungen zu entwickeln und als gemeinsamen, harmonisierten Ansatz mit IEC und ISO zu koordinieren. Diesen Ansätzen folgend, wurden zur Gewährleistung einer besseren und effizienteren Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Disziplinen, zuletzt zwei weitere Gremien ins Leben gerufen, die Deutschland stark unterstützt und forciert hat: die Gründung des [IEC System Committee „Smart Manufacturing“ \(IEC SyC SM\)](#) sowie die Arbeitsgruppe [IEC/TC 65/WG 24](#), in der zukünftig die Aspekte zur Verwaltungsschale eingebracht werden.

In allen Kooperationen sind Erweiterungen der Zusammenarbeit über die bisherigen Themen hinaus vorgesehen. Die tief greifende Veränderung findet Schritt für Schritt in der Veränderung der Organisations- und Wertschöpfungsstrukturen der Unternehmen statt. Die Wertschöpfung verlagert sich durch die Auswertung von Daten auf Plattformen oder in Services. Der bevorstehende Durchbruch von Technologien der Künstlichen Intelligenz (KI) erweitert die Möglichkeiten, Daten zu analysieren und Produktionsabläufe zu beaufsichtigen.

Diese Beispiele zeigen, dass die ersten Umsetzungen zentraler Handlungsempfehlungen bereits in diesem Jahr anlaufen und zukünftig noch intensiviert werden. Die Normungsroadmap soll auch in Zukunft auf Basis neuer Erkenntnisse – beispielsweise aus den Forschungsprojekten und der Arbeit in den Normungsgremien – regelmäßig weiterentwickelt werden. Wir möchten daher dazu aufrufen und motivieren, sich aktiv an diesem Prozess zu beteiligen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	9
1.1 Deutsche Normungsstrategie	9
1.1.1 Handlungs- und Anwendungsempfehlung	11
1.2 Bedeutung der Digitalisierung der Normung	11
1.3 Zusammenarbeit mit der Plattform Industrie 4.0	12
1.3.1 Digitale Ökosysteme gestalten – Leitbild 2030 für Industrie 4.0	12
1.3.2 Umsetzung des Digitalen Ökosystems: Vernetzung der zentralen Akteure	15
1.4 Bedeutung von Anwendungsszenarien	16
1.4.1 Exemplarische Anwendungsfälle (Use Cases)	17
1.5 Technischer Hintergrund – Struktur der Kapitel 2 und 3	20
2 Normungsbedarf in Kernthemen	24
2.1 Use Cases	24
2.1.1 Status und Fortschritte seit Version 3	24
2.1.2 Laufende Entwicklungen	25
2.1.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	29
2.2 Referenzarchitekturmodelle	29
2.2.1 Status und Fortschritte seit Version 3	29
2.2.2 Laufende Entwicklungen	31
2.2.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	33
2.3 Systeme und deren Eigenschaften	34
2.3.1 Fortschritte seit Version 3 und laufende Entwicklung	34
2.3.2 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	49
2.4 Interoperabilität	52
2.4.1 Status und Fortschritte seit Version 3	52
2.4.2 Laufende Entwicklungen	56
2.4.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	60
2.5 Integration	61
2.5.1 Status und Fortschritte seit Version 3	61
2.5.2 Laufende Entwicklungen	63
2.5.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	67
2.6 Kommunikation	68
2.6.1 Status und Fortschritte seit Version 3	68
2.6.2 Laufende Entwicklungen	73
2.6.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	76
2.7 Mensch und Arbeit	77
2.7.1 Status und Fortschritte seit Version 3	77
2.7.2 Laufende Entwicklungen	82
2.7.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	86
3 Normungsbedarf in Querschnittsthemen	92
3.1 Open Source	92
3.1.1 Status und Fortschritte seit Version 3	92
3.1.2 Laufende Entwicklungen	94
3.1.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	95

3.2 Industrielle Sicherheit (Industrial Security)	95
3.2.1 Status und Fortschritte seit Version 3	95
3.2.2 Laufende Entwicklungen	98
3.2.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	98
3.3 Datenschutz/Privacy	101
3.3.1 Status und Fortschritte seit Version 3	101
3.3.2 Laufende Entwicklungen	102
3.3.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	103
3.4 Vertrauenswürdigkeit/Trustworthiness der Wertschöpfungsnetze	104
3.4.1 Status und Fortschritte seit Version 3	104
3.4.2 Laufende Entwicklungen	105
3.4.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	105
3.5 Funktionale Sicherheit	105
3.5.1 Status und Fortschritte seit Version 3	105
3.5.2 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	109
 4 Künstliche Intelligenz in industriellen Anwendungen	 111
4.1 Status und Fortschritte	111
4.2 Laufende Entwicklungen	112
4.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen	117
 Anhang A Weiterführende Informationen funktionale Sicherheit	 119
 Anhang B Übersicht Normungsumfeld Industrie 4.0	 126
B.1 Deutsche Normungs- und Standardisierungsgremien im Kontext Industrie 4.0	126
B.2 Europäische und internationale Normungs- und Standardisierungsorganisationen	127
B.3 Koordinierende Gremien	129
B.4 Industrie 4.0-Initiativen	130
B.5 Standards Setting Organizations (SSO)	131
B.6 Übersicht Politik (Deutschland, Europa)	132
 Abkürzungsverzeichnis	 133
 Autorenteam	 136
 Quellen- und Literaturverzeichnis	 138



1 Einleitung

Eines erscheint gewiss: Das Gelingen des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 erfordert eine nie dagewesene Integration der Systeme über Domänengrenzen, Hierarchiegrenzen und Lebenszyklusphasen hinweg. Dies ist nur auf der Grundlage von konsensbasierten Normen und Standards möglich. Mit der nun erscheinenden Normungsrroadmap Industrie 4.0 hat das Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0), gemeinsam mit DIN und DKE ein strategisches und technisch orientiertes Dokument vorgelegt, in dem Experten aus Wirtschaft, Forschung, Wissenschaft und Politik, disziplinübergreifend den aktuellen Entwicklungsstand von Industrie 4.0 beschreiben, die Anforderungen an Normen, Spezifikationen und Industriestandards skizzieren und Impulse für eine erfolgreiche Umsetzung geben.

Das SCI 4.0 bündelt für eine erfolgreiche Umsetzung die interessierten Fachkreise in Deutschland, entwickelt gemeinsam mit Experten aus Industrie, Forschung und den Normungsorganisationen DIN und DKE eine konsolidierte nationale Grundposition (Nationale Harmonisierung), die sich in den formulierten Handlungs- und Anwendungsempfehlungen widerspiegelt. Am Ende des Prozesses steht das Ziel, Standards der digitalen Produktion zu initiieren und diese national und abschließend international zu koordinieren.

Die in den Kapitel 2–4 formulierten Handlungsempfehlungen stehen eng im Kontext der in Kapitel 1.1 vorgestellten Deutschen Normungsstrategie und stellen eine wichtige Referenz für die tägliche Arbeit zahlreicher Normungsexperten dar.

1.1 Deutsche Normungsstrategie

Für die deutschen Normungsorganisationen DIN und DKE ist die gemeinsame Strategie die Grundlage ihrer Arbeit in den kommenden Jahren. Weitere deutsche Regelsetzer und Plattformen unterstützen die Deutsche Normungsstrategie aktiv. Die Deutsche Normungsstrategie [2] steht im Einklang mit gesetzlichen Rahmenbedingungen und Prinzipien der Normung, wie sie etwa in den WTO-Kriterien, der Europäischen Normungsverordnung, dem Vertrag zwischen der Bundesrepublik Deutschland und DIN und den Grundlagen der Normungsarbeit festgelegt sind.

DIN und DKE stellen auf deutscher Seite die von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft anerkannten Institutionen dar, die durch Normung zur globalen Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft und des Standortes Deutschland beitragen. Im Rahmen der Deutschen Normungsstrategie (DNS) betonen beide deutschen Normungsorganisationen die internationale Relevanz und Anerkennung von ISO und IEC und stärken diese beiden internationalen Institutionen.

Beide Normungsorganisationen verstehen sich überdies als globale Moderationsplattform für Normung und Standardisierung und organisieren Normungsthemen, koordinieren die Zusammenarbeit über die Grenzen der eigenen Organisation hinweg, so auch für Foren und Konsortien und andere Standardisierungsorganisationen. Gemeinsame themenspezifische Lenkungsorgane bei DIN und DKE sind in ihrer Rolle Impulsgeber der Normung und Standardisierung zur digitalen Transformation.

Eine weitere tragende Säule der Normung ist in diesem Zusammenspiel die Wirtschaft. Wirtschaftsunternehmen engagieren sich dauerhaft und kompetent und verstärken mit ihren Technologieexperten die nationale, europäische und internationale Normung. Die Normung und Standardisierung wird von den Führungskräften als strategisches Mittel zur Erreichung der Unternehmensziele genutzt; die Mitarbeit in Gremien wird in den Unternehmen gefördert und gewürdigt.

Im Fokus der Normungsstrategie stehen ebenso die Installation effizienter Prozesse und Instrumente wie auch die Vermeidung von Fortschrittsverzögerungen. In bestimmten Bereichen kann durch einen länger andauernden Normungsprozess allerdings der Fortschritt verzögert werden. Für dynamische Zukunftsmärkte wie z. B. der Industrie 4.0 oder der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) sind daher Veröffentlichungsformen erforderlich, die in einer kurzen Zeitspanne erarbeitet und der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden können. Hier wird bereits versucht über den forcierten Einsatz von Anwendungsregeln, Richtlinien und Spezifikationen entgegenzusteuern. Jedoch benötigen auch diese Publikationsformen schlussendlich eine gewisse Konsistenz und Abstimmung ihrer inhaltlichen Arbeiten, um mit ihren Eigenschaften zu helfen, die nationale Normungsarbeit konsolidiert vorzubereiten [siehe HE 1.1.1].

Diese Möglichkeit bieten die folgenden Publikationsformen, die helfen, die nationale Normungsarbeit vorzubereiten:

- [DIN SPEC](#)
- [VDE Anwendungsregeln](#)
- [VDI Richtlinien](#)
- [VDMA Einheitsblätter](#)

Diverse Forschungsprojekte beschäftigen sich mit zentralen Fragen zum Thema Industrie 4.0 und haben einen Bezug zu Normung und Standardisierung. DIN und DKE begleiten zum Beispiel Projekte der Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) sowie für Wirtschaft und Energie (BMWi) als Partner bei der Erarbeitung von Standards. Für den Erfolg von Industrie 4.0 und zur Umsetzung von Handlungsempfehlungen sind entsprechende Förderprogramme zwingend notwendig.

WIPANO – Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen

Das Technologieförderprogramm „WIPANO – Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) geht ab 2020 in die nächste Runde. Es enthält neue Förderelemente speziell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Außerdem wird die Teilnahme an der Patent- und Normungsförderung erleichtert, um zukünftig noch mehr KMU zu erreichen. Mit dem neuen Förderschwerpunkt „Unternehmen – Normung“ setzt das BMWi eine weitere Maßnahme aus der Industriestrategie 2030 um. KMU und Freiberufler sollen für die Bedeutung von Normung und Standardisierung sensibilisiert und für eine Mitarbeit gewonnen werden.

DIN-Connect

Mit DIN-Connect haben DIN und DKE 2016 ein Programm zur Innovationsförderung ins Leben gerufen. Insbesondere fördern DIN und DKE hier Projekte, die sich Standardisierung als Ziel gesetzt haben. Das Förderprogramm richtet sich vornehmlich an Start-ups und KMUs mit dem Ziel, Innovationen mithilfe von Normen und Standards in den Markt zu überführen.

Die Normungsroadmap soll auch in Zukunft auf Basis neuer Erkenntnisse – beispielsweise aus den Forschungsprojekten, der Arbeit in den Normungsgremien und der stärkeren Einbindung von Klein- und mittelständischen Betrieben – regelmäßig weiterentwickelt werden.

1.1.1 Handlungs- und Anwendungsempfehlung

1.1-1 Normen und Standards sollten bevorzugt bei internationalen Organisationen erarbeitet und veröffentlicht werden, um eine weltweite Akzeptanz zu erreichen. Nationale Publikationsformen können im Sinne von Vorab-Standards angebracht sein, um die nationale Meinungsbildung zu unterstützen. Mögliche Publikationsformen sind z. B. DIN SPEC, VDE Anwendungsregel, VDI Richtlinien, VDMA Einheitsblätter oder andere. Sofern nationale Publikationsformen vorgesehen sind, so ist darauf zu achten, dass die Lizenz- und Nutzungsbedingungen eine spätere reibungslose Internationalisierung ermöglichen.

1.2 Bedeutung der Digitalisierung der Normung

Die Digitale Transformation betrifft nicht nur die Industrie und deren Produkte, Dienstleistungen und Prozesse, sondern auch die Digitalisierung der Normungsarbeit. Mit dem technologischen Fortschritt entwickeln sich die Möglichkeiten und Ansprüche an die Normung immer weiter – über einen verbesserten Zugang zu Informationen bis hin zu maschineninterpretierbaren Inhalten. Normen und Services sind somit ein wesentlicher Teil der digitalen Wertschöpfungskette.

Die Entwicklung und Etablierung solcher „digitaler Normen“ ist das übergeordnete Ziel aktueller nationaler und internationaler Bestrebungen zur digitalen Transformation der Normung. Aufgrund der Komplexität der Thematik existieren zahlreiche Projekte mit unterschiedlichen Schwerpunkten oder Ansätzen. So beschäftigen sich z. B. zwei strategische internationale Gruppen bei ISO und IEC (siehe **Anhang B.3**) mit der generellen Umsetzbarkeit der digitalen Transformation der Normung. Die europäische CEN-CENELEC Taskforce „Digital Content“ sammelt durch Pilotprojekte erste praktische Erfahrungen mit digitalen Normen. Auf nationaler Ebene existieren Pilotprojekte, Workshops, Förderprojekte und Toolentwicklungen von DIN und DKE, um sich der Thematik aus unterschiedlichen Richtungen und mit verschiedenen Partnern zu nähern.

Die Anfang des Jahres 2020 gegründete **Initiative Digitale Standards (IDiS)** treibt die Digitalisierung der Normung durch eine Bündelung von IT- und Transformationsthemen innerhalb der Normungsorganisation voran. Ziel ist neben der Identifizierung relevanter Aktivitäten die Begleitung, Entwicklung und Initiierung von Projekten, die einen Beitrag zur Digitalisierung der Normung leisten können.

Die genannten Umsetzungsbeispiele der Normungsroadmap zeigen, wie das SCI 4.0 seiner Rolle als Schlüssel zur digitalen Transformation gerecht wird. Die Normungsroadmap soll auch in Zukunft auf Basis neuer Erkenntnisse – beispielsweise aus den Forschungsprojekten, der Arbeit in den Normungsgremien und der stärkeren Einbindung

von Klein- und mittelständischen Betrieben – regelmäßig weiterentwickelt werden. Wir möchten daher dazu aufrufen und motivieren, sich aktiv an diesem Prozess zu beteiligen.

1.3 Zusammenarbeit mit der Plattform Industrie 4.0

Industrie 4.0 beschreibt einen grundlegenden Innovations- und Transformationsprozess industrieller Wertschöpfung. Leitmotiv dieses Wandels sind neue Formen des Wirtschaftens und Arbeitens in globalen, digitalen Ökosystemen: Heutige starre und fest definierte Wertschöpfungsketten werden abgelöst durch flexible, hochdynamische und weltweit vernetzte Wertschöpfungsnetzwerke mit neuen Arten der Kooperation. Datengetriebene Geschäftsmodelle stellen Kundennutzen und Lösungsorientierung in den Vordergrund und ersetzen die Produktzentrierung als vorherrschendes Paradigma industrieller Wertschöpfung. Verfügbarkeit, Transparenz und Zugang zu Daten sind in der vernetzten Ökonomie zentrale Erfolgsfaktoren und definieren maßgeblich die Wettbewerbsfähigkeit.

Um diese Transformation anzutreiben und gleichzeitig einen Austausch zwischen allen Beteiligten gesellschaftlichen Akteuren wie Wirtschaft, Politik, Gewerkschaften und Wissenschaft zu ermöglichen, wurde die [Plattform Industrie 4.0](#) gegründet.

1.3.1 Digitale Ökosysteme gestalten – Leitbild 2030 für Industrie 4.0

Als Impulsgeber und Moderator unterschiedlicher Interessen und in der Rolle als Botschafter sorgt die Plattform Industrie 4.0 für den vorwettbewerblichen Austausch aller relevanten Akteure aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Gewerkschaften und Verbänden.

Vor diesem Hintergrund haben sich die Akteure der Plattform Industrie 4.0 dazu entschlossen einen ganzheitlichen Ansatz zur Gestaltung digitaler Ökosysteme zu formulieren. Kerngedanke für die Gestaltung digitaler Ökosysteme sind dabei drei strategische Handlungsfelder, die wir nachfolgend genauer für ihre Bedeutung in der Normung von Industrie 4.0 einordnen wollen: Souveränität, Interoperabilität und Nachhaltigkeit (siehe **Abbildung 1**) [3].

Zwar betrachtet das Leitbild primär den Industrie- und Wirtschaftsstandort Deutschland, hebt jedoch explizit Offenheit und Kooperationsorientierung für Partner in Europa und der Welt hervor.

Mittels des Dialogs mit allen Akteuren der Industriegesellschaft soll so der Handlungsrahmen geschaffen werden, um aufbauend auf der weltweit herausragenden Ausgangsposition der deutschen Industrie die digitale Transformation des Standortes nachhaltig zu gestalten und Industrie 4.0 in der Breite des deutschen Mittelstandes wirtschaftlich erfolgreich zu etablieren.

Alle drei genannten strategischen Handlungsempfehlungen sind eng mit den entsprechenden Industrie 4.0-Normungsaktivitäten verbunden und werden an den entsprechenden Stellen miteinander verknüpft.



Abbildung 1: Leitbild 2030: Gestaltung digitaler Ökosysteme

Folgend werden die strategischen Handlungsfelder kurz erläutert:

Souveränität

Der Leitgedanke der Souveränität betont die Freiheit aller Akteure am Markt (Unternehmen, Mitarbeiter, Wissenschaft, Einzelpersonen), selbstbestimmte, unabhängige Entscheidungen zu treffen und im fairen Wettbewerb miteinander zu agieren – von der Definition und Gestaltung des individuellen Geschäftsmodells bis zur Kaufentscheidung des Einzelnen innerhalb der Industrie 4.0 Ökosysteme. Dies erfordert:

- **Digitale Infrastruktur:** diese Infrastruktur muss für alle Teilnehmer gleichermaßen offen zugänglich sein und ohne Einschränkungen zur Verfügung stehen.
- **Sicherheit:** Datenschutz, IT- und Informationssicherheit stellen einen fest etablierten industriellen und gesellschaftlichen Wert dar. Sie sind eine Grundvoraussetzung für Industrie 4.0 und die Kooperation innerhalb digitaler Ökosysteme. Damit ist industrielle Sicherheit (siehe **Kapitel 3**) ein wichtiges Qualitätsmerkmal.
- **Technologieentwicklung:** Souveränität bei Industrie 4.0 setzt technologie-offene Forschung, Entwicklung und Innovationen in den Kernbereichen der digitalen industriellen Wertschöpfung voraus. Neben der technologischen Führungsrolle der Entwicklungen gilt es dabei insbesondere Datenschutz und Security „by Design“ zu realisieren, genauso wie Nachhaltigkeit und Interoperabilität.

Interoperabilität

Die flexible Vernetzung unterschiedlicher Akteure zu agilen Wertschöpfungsnetzen ist einer der zentralen Kernbausteine. Ein hohes Maß an Interoperabilität, zu der sich alle Partner eines Ökosystems bekennen und gleichermaßen beitragen, ist eine Voraussetzung für die direkte operative und prozessuale Vernetzung über Unternehmens- und Branchengrenzen hinweg. Umgekehrt ermöglichen interoperable Strukturen und Schnittstellen sowohl Herstellern als auch Kunden die unbeschränkte Teilhabe an digitalen Wertschöpfungsnetzen und damit schließlich die Gestaltung neuer Geschäftsmodelle.

- **Standards und Integration:** die Integration von Einzel- zu Systemlösungen von Industrie 4.0 basiert in wesentlichen Teilen auf intensiven und langjährigen Anstrengungen

bei der Entwicklung von Standards. Dies erleichtert die Integration wesentlich und stellt daher eine Basis für Interoperabilität dar. Nicht zuletzt durch branchenübergreifende Referenzarchitekturen und die Etablierung des Konzepts der Verwaltungsschale als digitales Abbild der realen Welt im Digitalen liegen neue Ansätze vor, deren weitere Ausarbeitung nun konsequent in Richtung eines „Integrationssteckers für Industrie 4.0“ vorangetrieben wird. (siehe **Kapitel 2.3**)

- **Konnektivität:** Assets nutzen gemeinsame Kommunikationsprotokolle und den gleichen „Stecker“ zwischen der analogen und der virtuellen Welt.
- **Eindeutige Semantik:** Assets verstehen Sinn und Inhalt einer Information einheitlich. Sie nutzen das gleiche Vokabular, verstehen die Nachrichten eindeutig, die sie digital austauschen und können so kommunizieren, dass sie autonom interagieren und die zu erfüllenden Aufgaben erledigen. (siehe **Kapitel 2.4**)
- **Einbezug von KI-Ansätzen:** alle Akteure können Maschinen- und Nutzerdaten kooperativ nutzen und verknüpfen. Sie können außerdem Künstliche Intelligenz nutzen, um den Weg zu neuen Lösungsansätzen und Geschäftsmodellen zu gehen. Hierzu gehören vor allem dezentrale Systeme und Künstliche Intelligenz. (siehe **Kapitel 4**)

Nachhaltigkeit

Ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit stellen einen fundamentalen Eckpfeiler der gesellschaftlichen Wertorientierung dar. Diese Aspekte fließen einerseits in Industrie 4.0 ein, andererseits ermöglicht Industrie 4.0 bei Erreichung von Nachhaltigkeitsbestrebungen erhebliche Fortschritte. Das Ökosystem aus Innovation und Umsetzung von Industrie 4.0 liefert damit den Nährboden für Nachhaltigkeit durch Industrie 4.0 genauso wie für eine nachhaltige Industrie 4.0 selbst.

- **Gute Arbeit und Bildung:** Mit dem Menschen im Zentrum leistet Industrie 4.0 im sozialpartnerschaftlichen Dialog signifikante Beiträge zur weiteren Verbesserung der Arbeitsbedingungen (siehe **Kapitel 2.7**).
- **Gesellschaftliche Teilhabe:** Industrie 4.0 stellt einen gesamtgesellschaftlichen Transformationsprozess dar. Damit gehen weitreichende Veränderungen für die Beteiligten einher. Übergeordnetes Ziel ist, dass Industrie 4.0 im Sinne einer industriellen und sozialen Innovation diesen Beteiligten nicht nur Herausforderungen auferlegt, sondern vor allem neue Chancen eröffnet.
- **Klimaschutz:** Industrie 4.0 ermöglicht es, zusätzliche Potenziale der Ressourceneffizienz zu heben. In Kombination mit konstruktiven und prozessualen Ansätzen können Stoffkreisläufe über den gesamten Produktlebenszyklus geschlossen werden. Industrie 4.0 ist so ein maßgeblicher Enabler für Kreislaufwirtschaft sowie Umwelt- und Klimaschutz insgesamt. (siehe **Kapitel 2.3.1**)

In der Verknüpfung der Handlungsfelder Souveränität und Interoperabilität hat die Plattform Industrie 4.0 in einem internationalen Netzwerk eine wichtige Grundlage geschaffen: das **Projekt GAIA-X** [4], eine verteilte, offene Dateninfrastruktur für Europa. Auf das Projekt GAIA-X nehmen wir später in Kapitel 4 im Kontext zu Künstliche Intelligenz in industriellen Anwendungen Bezug.

1.3.2 Umsetzung des Digitalen Ökosystems: Vernetzung der zentralen Akteure

In Deutschland existiert, bis dato als weltweit einmaliger Ansatz, ein reaktionsschnelles Gefüge bestehend aus Strategieentwicklung und Konzeption sowie Umsetzung durch Erprobung und Standardisierung.

Die Plattform Industrie 4.0 entwickelt in spezifischen Arbeitsgruppen grundlegende Konzepte, wie Herausforderungen auf dem Weg zu Industrie 4.0- bewältigt werden können und gibt strategische Handlungsempfehlungen für Wissenschaft, Unternehmen und Politik.

Das SCI 4.0 übernimmt die strategischen Handlungsempfehlungen und koordiniert deren Umsetzung in Normen und Standards. Das SCI 4.0 vermittelt also zwischen den Mitgliedern der Plattform Industrie 4.0 und den diversen Normungs- und Standardisierungsorganisationen. In Zusammenarbeit mit der Plattform Industrie 4.0 bündelt das SCI 4.0 in diesem Sinne die interessierten Fachkreise in Deutschland und vertritt die Interessen gegenüber internationalen Gremien und Konsortien.

Das Labs Network Industrie 4.0 (LNI 4.0) ermöglicht speziell den klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) die Umsetzung der strategischen Handlungsempfehlungen, neuen Technologien und Anwendungsszenarien (Use Cases) in Pilotprojekten. LNI 4.0 ermöglicht somit die Erprobung und technische und ökonomische Realisierbarkeit von Industrie 4.0-Konzepten vor der Markteinführung. Durch das Zusammenwirken in verschiedenen Testzentren können marktrelevante Anforderungen generiert und validierte Ergebnisse an das SCI 4.0 transferiert werden, um direkt in den Normungsprozess eingebracht werden zu können.

In **Abbildung 2** wird dargestellt, wie diese Zusammenarbeit erfolgt.

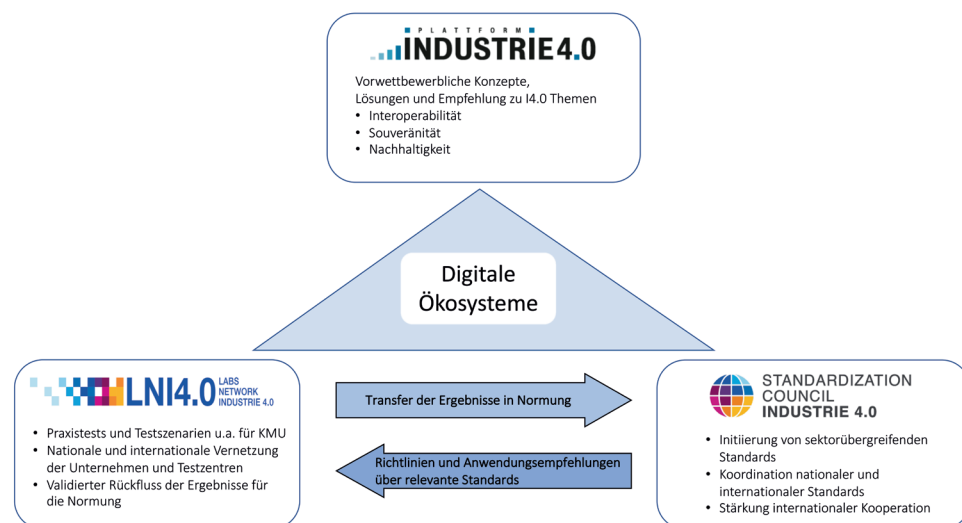


Abbildung 2: Vernetzung der zentralen Akteure

Im Bereich der Internationalisierung treibt die Plattform Industrie 4.0 mit ihren Partnern Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) und Labs Network Industrie 4.0 (LNI 4.0) über zahlreiche bilaterale und multilaterale Kooperationen den nationalen und internationalen Austausch voran.

Durch die Praxiserprobung von Standardisierungsprojekten in Pilotprojekten können neue Industrie 4.0-Lösungen und die darin genutzten Normen und Standards zeitnah getestet werden. Die Ergebnisse fließen wiederum direkt in die Weiterentwicklung dieser Normen und Standards ein. Dieser Ansatz zu agilen Prozessen der Normung wird in **Kapitel 3.1.1** unter dem Aspekt Open Source näher betrachtet.

1.4 Bedeutung von Anwendungsszenarien

Um die zuvor genannten Wege zu veranschaulichen, werden Anwendungsszenarien beschrieben. Sie zeigen, mit welchen Innovationen in Technologie, Arbeitsorganisation, Recht und Gesellschaft die deutsche Industrie in diese digitale Zukunft gehen will. Die Anwendungsszenarien zeigen aber auch auf, wo zentrale Herausforderungen und Fragen beispielsweise in den Bereichen Standards, Forschung, Sicherheit, rechtlicher Rahmen und Arbeit liegen und geben so einen gemeinsamen Rahmen vor.

So ergibt sich ein systematisches Bild der Gestaltung von Industrie 4.0 und es entsteht eine Übersicht, die zeigt, wo und welche Entwicklungen in Form von Anwendungsbeispielen auf die Umsetzung der strategischen Ziele der Vision 2030 einzahlen, und so erste Umsetzungsschritte in den Industrieunternehmen hin zu einer Verwirklichung der entwickelten Vision illustrieren. Umfassende Sammlungen von Industrie 4.0-spezifischen Anwendungsfällen finden sich u. a. beim [Labs Network Industrie 4.0](#) und der [Arbeitsgruppe 2 der Plattform Industrie 4.0](#) [5].

Die vorliegende Normungsroadmap Industrie 4.0 greift die bisher entwickelten Anwendungsszenarien auf und ordnet diese in ein technologisches Gesamtbild ein (siehe **Kapitel 1.5**).

Aus Sicht der Standardisierung wird also ein Ökosystem betrachtet, das aus einem Wertschöpfungsnetz von Firmen besteht, die untereinander Wertversprechen anbieten und dafür eine Gegenleistung wie beispielsweise Geld erhalten. Im Kontext von Industrie 4.0 sind dies:

- Firmen der produzierenden Industrie, die dem Konsumenten oder anderen Firmen physische Produkte anbieten.
- Firmen, die Software und Dienstleistungen anbieten und damit dazu beitragen, Wertschöpfungsprozesse zu unterstützen (beispielsweise Anbieter von Logistik-Dienstleistungen, Software-Applikationen, Engineering- oder Wartungs-Dienstleistungen) bzw. technische Integrationsaufgaben wahrnehmen (wie beispielsweise Systemintegratoren).

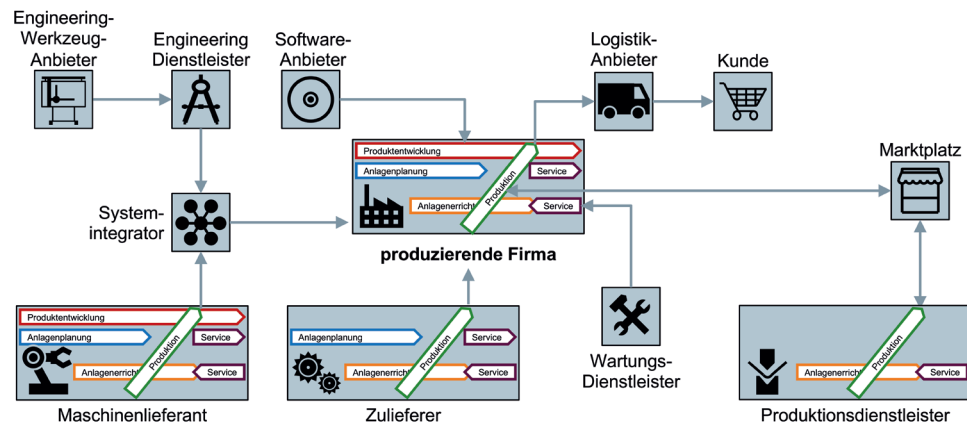


Abbildung 3: Illustration des firmenübergreifenden Wertschöpfungsnetzes

Die **Abbildung 3** illustriert dieses Wertschöpfungsnetz ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Die Wertschöpfungsbeziehungen zwischen den einzelnen Firmen sind durch die grauen Pfeile angedeutet. In Wissenschaft und Betriebspraxis besteht allgemein die Überzeugung, dass Industrie 4.0-Wertschöpfungsnetze und ihre Subsysteme auch auf längere Sicht von Menschen in den unterschiedlichsten Funktionen und Rollen betrieben und weiterentwickelt werden, dass also menschliche Tätigkeiten integraler Bestandteil des Industrie 4.0-Wertschöpfungsprozesses sind und sein werden. Dieser Stellenwert menschlicher Tätigkeiten, und dabei insbesondere die Funktion des Menschen als Ideen- und Impulsgeber, Enabler, Entwickler, Entscheider und Supervisor in Industrie 4.0-Wertschöpfungssystemen, muss noch besser in der Modellbildung abgebildet werden: bei Referenzarchitekturmodellen (siehe **Kapitel 2.2**), Interoperabilität (siehe **Kapitel 2.4**), sowie in den Bereichen der Arbeitssystemgestaltung, Arbeitsgestaltung und Ergonomie (siehe **Kapitel 2.7**).

1.4.1 Exemplarische Anwendungsfälle (Use Cases)

Im Folgenden soll dieses Wertschöpfungsnetz an drei exemplarischen Anwendungsfällen (Use Cases) genauer erläutert werden. Einzelne Anwendungsfälle werden in verschiedenen Kontexten wieder aufgegriffen und spezifisch konkretisiert.

Anwendungsfall 1: „Produktionsmarktplatz“

Im ersten Beispiel wird postuliert, dass sich zukünftig im Markt ein neuer geschäftlicher Spieler etabliert, beispielsweise ein Marktplatzbetreiber, der auf Anfrage einen Anbieter von 3-D-Druck vermittelt. Die wesentlichen Wertschöpfungsbeziehungen zwischen den beteiligten Firmen sind in **Abbildung 4** dargestellt.

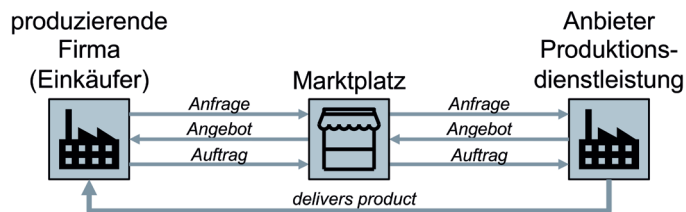


Abbildung 4: Etablierung eines Marktplatzbetreibers

Der Nutzen für den Einkäufer von 3-D-Druck besteht darin, dass er diese Kompetenz am Markt einkaufen kann, ohne bei sich entsprechende Investitionen in Maschinen und Know-how-Aufbau tätigen zu müssen. Der Nutzen für den Anbieter von 3-D-Druck besteht darin, dass ihm über den Marktplatz ein größerer Marktzugang gewährt wird.

Dieses Beispiel ist insofern relevant für die Normungsroadmap, da in Abhängigkeit vom Standardisierungsgrad der Anfragen die Verhandlungen zwischen den Geschäftspartnern automatisiert ablaufen können. Dadurch besteht das Potenzial, derzeit stark verschränkte Wertschöpfungsprozesse zu entkoppeln, wie beispielsweise die Produktentwicklung und das Anlagenengineering, die heute oft über das „design for manufacturing“ eng miteinander verzahnt sind.

Anwendungsfall 2: „Integration einer Werkzeugmaschine beim Anwender mithilfe standardisierter Beschreibung der Fertigungseigenschaften“

Im zweiten Anwendungsfall wird illustriert, wie durch eine Standardisierung von Fertigungseigenschaften von Maschinen die Integration dieser Maschinen bei einem Anwender vereinfacht werden kann. Die wesentlichen Wertschöpfungsbeziehungen zwischen den beteiligten Firmen sind in **Abbildung 5** dargestellt.

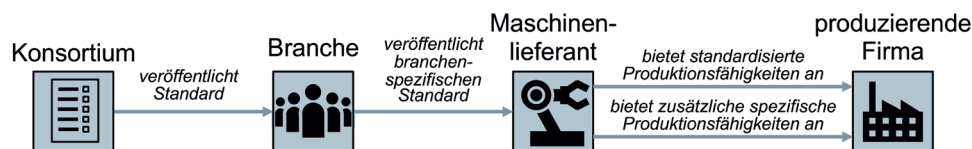


Abbildung 5: Integration einer Werkzeugmaschine beim Anwender mithilfe standardisierter Beschreibung der Fertigungseigenschaften

Ein Konsortium, wie beispielsweise die OPC-Foundation [6], entwickelt eine Spezifikation. Eine Branche, wie beispielsweise die Hersteller von Werkzeugmaschinen einigt sich, den Standard **OPC UA**, welcher auch als Normenreihe **IEC 62541** vorliegt, für ihre Branche auszuprägen, indem sie eine OPC UA Companion Specification für ihre Branche entwickelt. Die einzelnen Hersteller von Werkzeugmaschinen unterstützen dies und bieten dann am Markt Werkzeugmaschinen an, die diese OPC UA Companion Specification implementiert haben, aber zusätzlich noch Alleinstellungsmerkmale besitzen. Der Anwender

von Werkzeugmaschinen hat anschließend den Nutzen einer vereinfachten Integration von Werkzeugmaschinen in seiner Anlage, aber auch herstellerübergreifende Zustandsüberwachung und prädiktive Wartung, eine technologieoffene Optimierung der Produktion oder ein vereinfachtes Retrofit von Bestandsmaschinen.

Dieser Anwendungsfall ist insofern relevant für die Normungsroadmap, da er Möglichkeiten aufzeigt, wie bereits heute am Markt etablierte Mechanismen weiterentwickelt werden sollten, um zusätzlichen Nutzen zu stiften.

Anwendungsfall 3: „Assistenzsystem“

Die Digitalisierung bietet umfassende technische Möglichkeiten, sowohl energetische als auch informatorische Typen von Arbeit mit Assistenzsystemen zu unterstützen: Einerseits gibt es Assistenzsysteme für energetische Tätigkeitsanteile, wie beispielsweise Exoskelette oder die Mensch-Roboter-Interaktion, andererseits stehen informatorische Assistenzsysteme, beispielsweise zur Aufbereitung erfahrungsbasierter Aufgabenbeschreibungen und deren Darstellung, zur Verfügung. Eine beispielhafte Technologie hierfür ist die Datenbrille. Die Möglichkeiten zur Unterstützung einer konkreten Arbeitstätigkeit lassen sich aus den Möglichkeiten zur Unterstützung der beiden Grundtypen der Arbeit bedarfsgerecht zusammenstellen. Einige Wertschöpfungsbeziehungen zwischen den beteiligten Firmen sind in **Abbildung 6** dargestellt.

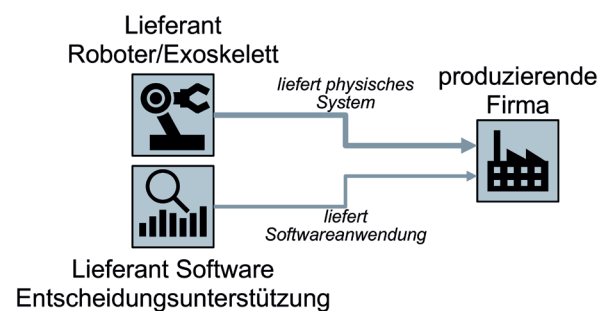


Abbildung 6: Assistenzsystem

In **Kapitel 2.7** wird dies am Beispiel der Endmontage des Innenraumes bei der Automobilproduktion durch einen Montagemitarbeiter exemplarisch konkretisiert. Dieser Anwendungsfall verweist auf die Tatsache, dass auch in Wertschöpfungsnetzwerken menschliche Arbeit weiterhin eine Schlüsselrolle spielt und deshalb soziotechnische Aspekte bei Systemgestaltung und Systembetrieb eine entscheidende Rolle spielen.

Dieser Anwendungsfall zeigt konkrete Normungsbedarfe aus arbeitswissenschaftlicher und systemergonomischer Sicht beispielsweise in den Bereichen von Datenbrillen und Exoskeletten, der Mensch-Roboter-Kollaboration und von Assistenzsystemen, die auf Künstlicher Intelligenz basieren, auf.

1.5 Technischer Hintergrund – Struktur der Kapitel 2 und 3

Um ihr Wertversprechen zu erzeugen, setzen die beteiligten Firmen technische Systeme ein. Aber auch die von den beteiligten Firmen gelieferten Produkte sind – abgesehen von den Dienstleistungen – technische Systeme.

Beispiele dafür sind:

- **(mechatronische) Systeme**, wie beispielsweise eine Fabrik oder Anlage, eine Maschine, Konsumgüter wie Autos oder Lebensmittel oder Komponenten wie Antriebe bis hin zu Schrauben und Unterlegscheiben,
- **Systeme** aus Hardware und Software, wie beispielsweise Leitsysteme für Anlagen, Engineering-Werkzeuge für Produkt- und Anlagen-Design, Informationsplattformen zur systematischen Sammlung von Daten einschließlich Software-Werkzeugen zur Datenanalyse, um darüber neue Erkenntnisse zu erzielen.

Diese technischen Systeme sind in der Regel aus anderen technischen Systemen aufgebaut und stehen in vielfältigen Wechselbeziehungen zueinander. Viele dieser technischen Systeme sind ein Träger unterschiedlicher Informationen und über Technologien wie beispielsweise Kommunikationstechnologien oder Cloud-Plattformen werden Möglichkeiten geschaffen, um solche Informationen zwischen den technischen Systemen entlang entsprechender Wechselbeziehungen zu übertragen. Dies ist in **Abbildung 7** einerseits schematisch und allgemein ohne Anspruch auf Vollständigkeit illustriert und andererseits sind in blauer Schrift exemplarisch mögliche Interpretationen dieser technischen Systeme und deren Wechselbeziehungen dargestellt:

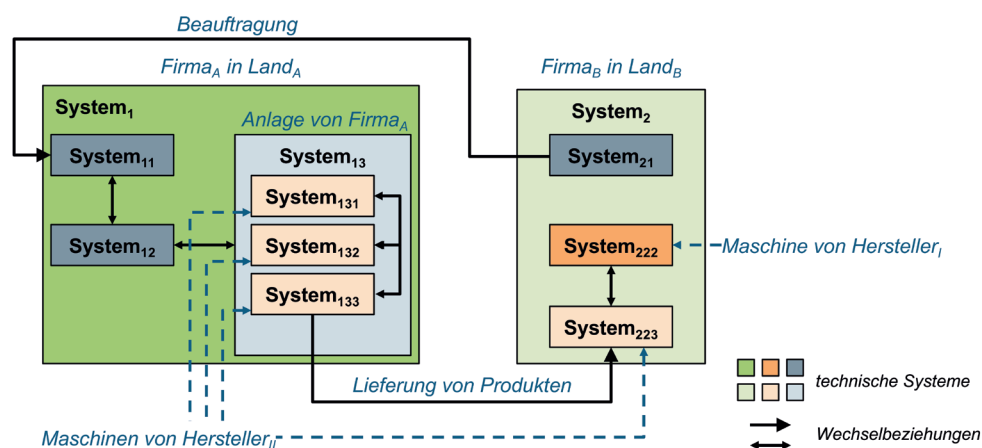


Abbildung 7: Technische Systeme und deren Wechselbeziehungen

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass Standards zu erarbeiten sind, die es ermöglichen, verschiedene Systeme unabhängig voneinander zu entwickeln und dabei trotzdem eine Interoperabilität zwischen ihnen sicherzustellen (siehe **Kapitel 2.4**). Außerdem ist es dann aufgrund der Standards möglich, Einzelkomponenten eines Gesamtsystems aufwandsarm austauschen zu können und so aus einer installierten Basis heraus, in Schritten in eine Ziellandschaft zu migrieren. Dabei müssen die Standards dafür Sorge

tragen, die Souveränität über die eigenen Systeme zu behalten, sodass dadurch insgesamt die Basis für Nachhaltigkeit geschaffen wird.

Aus den Gestaltungsprinzipien des digitalen Ökosystems und aus der Perspektive der nationalen Normung, angelehnt an die Struktur des Referenzarchitekturmodells RAMI 4.0, leiten sich die einzelnen Gesichtspunkte der Normungsroadmap gemäß **Kapitel 3** aus den folgenden Überlegungen ab. Das betrachtete Wertschöpfungsnetz ist komplex und es ist notwendig, ein Verständnis von den charakteristischen und repräsentativen Ausprägungen dieses Wertschöpfungsnetzes zu haben. Es hat sich bewährt, dies über sogenannte Use Cases zu beschreiben. Da diese Use Cases von verschiedenen Interessengruppen unabhängig voneinander entwickelt werden, ist es zielführend, einen allgemeinen Rahmen für die Beschreibung von Use Cases zu schaffen, was nachfolgend in **Kapitel 2.1** beschrieben ist.

Die zum Einsatz kommenden und betrachteten technischen Systeme gemäß **Abbildung 7** sind vielfältig und teilweise auch sehr komplex. Da diese Systeme unabhängig voneinander entwickelt werden, ist es sinnvoll, sich auf allgemeine Modelle zu einigen, nach denen solche Systeme im Sinne einer Referenzarchitektur aufgebaut sind. Neben der Systembetrachtung befassen sich die Architekturen auch mit der Einbettung in ihren Kontext und berücksichtigen nicht nur die dazugehörigen Prozesse, sondern ebenso die an diesen Prozessen beteiligten Akteure. Dies ist in **Kapitel 2.2** beschrieben.

Für die vielfältigen eingesetzten Systeme gemäß **Abbildung 7** ist es zielführend, diese nach allgemeinen Prinzipien zu klassifizieren und die charakteristischen Eigenschaften dieser verschiedenen Systeme übergreifend zu standardisieren, was in **Kapitel 2.3** beschrieben ist.

Damit Systeme überhaupt interagieren können, müssen die einzelnen Systeme interoperabel gestaltet werden. Die zwischen den Systemen ausgetauschten Daten und Informationen sind einerseits vielfältig und andererseits teilweise sehr komplex wie beispielsweise Produktbeschreibungen. Deshalb ist es zielführend, sich über Prinzipien zu verständigen, auf deren Basis die Struktur und Bedeutung dieser Informationen formalisiert sind. Die Interaktionen setzen zwar Kommunikationssysteme voraus, sollten jedoch von der technologischen Umsetzung der Kommunikation unabhängig sein. In **Kapitel 2.4** wird darauf näher eingegangen.

Wie in **Abbildung 7** illustriert, sind technische Systeme aus anderen technischen Systemen aufgebaut, die in der Regel von anderen Firmen zur Verfügung gestellt werden. Deshalb ist es zielführend, sich auf Schnittstellen zu einigen, nach denen solche eine Integration erfolgt. Das betrifft insbesondere auch die Integration aus der Perspektive der IT, was in **Kapitel 2.5** und spezifisch für die industrielle Sicherheit in **Kapitel 3** beschrieben ist.

Die Systeme gemäß **Abbildung 7** müssen untereinander interagieren. Notwendige Voraussetzung ist es, dass sie Daten und Informationen zwischen den Systemen transportieren. Dies umfasst den Aspekt der Netzwerke allgemein und umfasst die industriellen Kommunikationssysteme (z. B. Feldbusse wie **PROFIBUS** und Industrial Ethernet wie **PROFINET**) sowie Middleware-Technologien (z. B. **OPC-UA**), siehe **Kapitel 2.5**). Die Standardisierung der Kommunikationssysteme ist bereits sehr weit fortgeschritten und wird deshalb in der Normungsroadmap nicht weiter betrachtet. Es existieren eine Vielzahl von Middleware-Konzepten und -Lösungen. Es ist davon auszugehen, dass durch den Markt hier eine Konsolidierung erfolgen wird.

In die diversen Wertschöpfungsprozesse (siehe **Abbildung 2**) ist auf der planenden und ausführenden Seite der Mensch beteiligt, sei es als Ingenieur oder Arbeiter. Die Definition und Ausarbeitung von Empfehlungen und Standards für die menschengerechte Arbeits-, Prozess- und Produktgestaltung in der Industrie 4.0 ist in **Kapitel 2.7** beschrieben. Es sollen dabei bereits bestehende Normen erfasst, überprüft und bei Bedarf aktualisiert sowie gegebenenfalls neue Arbeitsfelder aufgezeigt werden. Dazu zählen vor allem Themen wie neue Formen der Arbeitsorganisation, adaptive Gestaltung von Arbeitssystemen der Industrie 4.0 und Software Usability.

Abbildung 8 illustriert den inhaltlichen Zusammenhang zwischen den Themen Interoperabilität (siehe **Kapitel 2.4**), Integration (siehe **Kapitel 2.5**) und Kommunikation (siehe **Kapitel 2.6**).

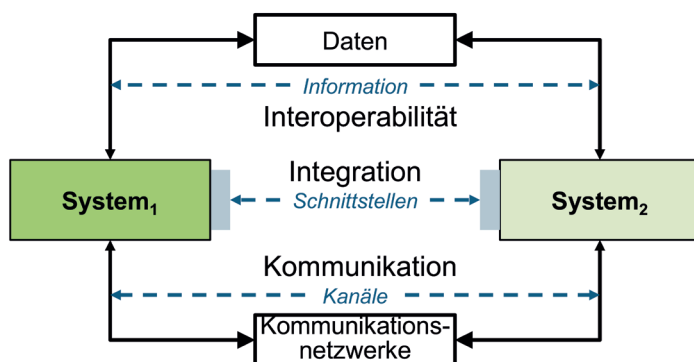


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Integration, Kommunikation und Interoperabilität

Ergänzend zu den beschriebenen Kernthemen werden für Industrie 4.0 wichtige Querschnittsfragen (siehe **Kapitel 3**) unter Einbeziehung des Normungsbedarfs in den Kernthemen Integration, Kommunikation und Interoperabilität miteinander verknüpft.

Wie bereits in der vergangenen Normungsroadmap werden dabei Querschnittsthemen näher beschrieben, die sich über alle Ebenen (Layer) des Referenzarchitekturmodells RAMI 4.0 erstrecken (siehe **Abbildung 9**):

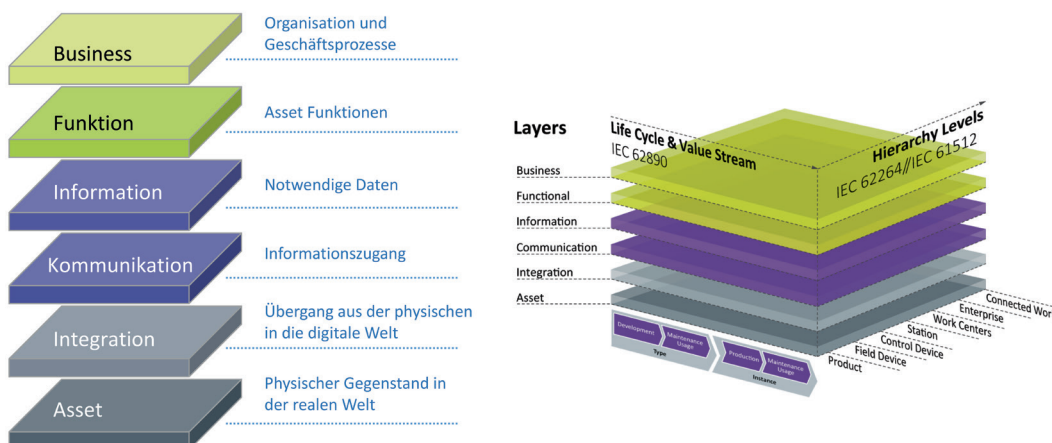


Abbildung 9: Ebenen des RAMI 4.0-Modells

- Bei der Implementierung von Software-Anwendungen setzen Unternehmen verstärkt auf **Open Source**-Software. Damit lassen sich Kosten sparen, Innovationen vorantreiben, der Wissenstransfer beschleunigen und die Interoperabilität verbessern. Neben der Unabhängigkeit von einzelnen Software-Anbietern spielen hierbei außerdem zeitnahe Updates und die eigene Anpassungsmöglichkeit der Software eine wesentliche Rolle. Deshalb wird in **Kapitel 3.1** auf aktuelle Open Source-Projekte näher eingegangen.
- Der Schutz der Informationssicherheit ist unabdingbar für das verlässliche Funktionieren einer Industrieanlage. Angriffe auf Kontrollgeräte oder die zu verarbeitenden Daten können zu erheblichen Schäden an Menschen und Umwelt führen, Infrastrukturen lahmlegen oder die Know-how-Basis eines Unternehmens schädigen. Im Kontext von Industrie 4.0 wird durch die zunehmende Interaktion der beteiligten Firmen der Schutzbedarf deutlich erhöht. **Kapitel 3.2** widmet sich den dadurch entstehenden zusätzlichen Handlungsempfehlungen zur **Industrial Security**.
- Im Industriekontext kam **Privacy** bislang vor allem als Arbeitnehmerdatenschutz vor, weil die eingesetzten Systeme Mitarbeiteraktivitäten erfassen. Industrie 4.0 erweitert das Anwendungsfeld von Privacy, weil Business-to-Consumer-Wertschöpfungsprozesse mit Fertigungssystemen verknüpft werden, beispielsweise bei der Fertigung individualisierter Produkte. Darum müssen Normen mit regulatorischen Vorgaben verträglich sein, sodass Privacy-Funktionen von vornherein in die Prozesse zu integrieren sind. Entsprechende Handlungen empfiehlt **Kapitel 3.3**.
- Die **Vertrauenswürdigkeit** (im Englischen Trustworthiness) aller Geschäftspartner und ihrer Beiträge entlang der gesamten Wertschöpfungskette entscheidet letztlich über die Qualität und Verlässlichkeit des Endergebnisses. Vertrauenswürdigkeit wirkt sich insbesondere auf Eigenschaften wie Reliability, Security, funktionale Sicherheit und Privacy aus. Jeder Beteiligte ist auf die Vertrauenswürdigkeit seiner zugelieferten Komponenten angewiesen und kann ein Werteversprechen über seinen eigenen Wertbeitrag abgeben. Vertrauenswürdigkeit kann mittels Standards und Prozessen zur Konformitätsbewertung im gewissen Rahmen messbar und verifizierbar werden. Aktuelle Entwicklungen und Handlungsempfehlungen werden in **Kapitel 3.4** dargestellt.
- In **Kapitel 4** gehen wir erstmals auf den Einsatz von KI in industriellen Anwendungen ein. Dieser kann, je nach Anwendungszweck und Funktion der KI, Einfluss auf die Erfüllung von in Normen beschriebenen Anforderungen beeinflussen. Wird beispielsweise KI-Technologie eingesetzt, um das Verhalten automatisierter Funktionen anzupassen, muss der Einfluss der Handlungen der KI auf das automatisierte System bei der Konformitätsbewertung berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere auch für industrielle Anwendungen mit Anforderungen hinsichtlich funktionaler Sicherheit. Demzufolge ist es notwendig, stets die Erfüllung normativer Rahmenbedingungen zu prüfen und sicherzustellen, insbesondere auch unter Berücksichtigung der Funktion und Einfluss von KI. Eine objektive Bewertung des Einflussbereichs der KI ist vor allem auch in diesem Zusammenhang notwendig.

2 Normungsbedarf in Kernthemen

2.1 Use Cases

2.1.1 Status und Fortschritte seit Version 3

Es setzt sich mittlerweile international verstärkt die Einschätzung durch, dass neue Standardisierungsaktivitäten insbesondere dann sinnvoll sind, wenn die dahinter liegenden treibenden Use Cases formuliert und klar verstanden sind. Insofern ist ein international einheitliches Verständnis von Use Cases im Kontext von Industrie 4.0 ein zentraler Ausgangspunkt in der Normungsarbeit. Use Cases sind hierbei ein Instrument, um eine Brücke zu schlagen von den treibenden Herausforderungen, denen sich die produzierende Industrie konfrontiert sieht, bis hin zu den entsprechenden möglichen technischen Lösungsansätzen. Use Cases bieten dann auch die Möglichkeit, neue Anforderungen an eine Normung und Standardisierung abzuleiten.

Das „moderne“ Verständnis des Begriffes Use Cases entstammt dem 2011 veröffentlichten Konzept Use Case 2.0 [5]. Es beschreibt eine skalierbare, agile Technik zur Entwicklung von Anforderungen, mit denen die inkrementelle Systementwicklung gesteuert werden kann. Für viele Unternehmen bilden sie das Mittel der Wahl für die Stakeholder-Kommunikation. Sie helfen dabei zu verstehen, wie ein System dazu beiträgt, die vom Anwender angestrebten Ziele zu erreichen und die gewünschten Ergebnisse zu erzeugen. Der Mehrwert von Use Cases liegt in der Integration etablierter Techniken des Requirements Engineering in eine agile Vorgehensweise. Damit bieten Use Cases auch in agilen Projekten viele Vorteile.

Die Bedeutung der Use Cases wurde von der Plattform Industrie 4.0 ebenfalls sehr früh erkannt und evaluiert. Beispielsweise wurden in Deutschland Use Cases in Form von Umsetzungsbeispielen gesammelt, aufbereitet und auf einer Online-Landkarte dargestellt [6]. Diesen Ansatz haben andere Länder ebenfalls aufgegriffen und umgesetzt.

Man hat außerdem frühzeitig eine konzeptionelle Trennung von Problembeschreibungen und Lösungsansätzen erkannt und dies bei der Formulierung der sogenannten Anwendungsszenarien berücksichtigt. Ebenso wurde betont, dass aufgrund der Vielfältigkeit der produzierenden Industrie nicht jeder Use Case für jeden Anwender die gleiche Relevanz hat und dass eine Problembeschreibung durchaus auf unterschiedliche Art und Weise umgesetzt werden kann.

Andererseits wurde dabei immer mehr bewusst, dass der Begriff „Use Case“ doch sehr unterschiedlich verstanden und benutzt wurde. Dies hat u. a. dazu geführt, dass in der Version 3 der Normungsroadmap Industrie 4.0 erstmalig ein eigenständiges Kapitel „Use Cases“ formuliert wurde. Kern dieser Empfehlung ist ein Vorschlag, grundsätzlich drei unterschiedliche Kategorien von Use Cases zu unterscheiden:

- **Business Szenarien**, bei denen aus einer geschäftlichen Perspektive Wertschöpfungsbeziehungen zwischen Firmen sowie deren Geschäftsmodelle beschrieben werden.
- **Use Cases**, bei denen ein technisches System in seinem Anwendungskontext beschrieben wird, und zwar wie Akteure außerhalb des technischen Systems mit diesem und untereinander interagieren.
- **Praxisbeispiele**, bei denen ein konkreter Lösungsansatz beschrieben wird.

Dieser Vorschlag wurde sowohl national, beispielsweise bei ausgewählten Use Cases von Labs Network Industrie 4.0, als auch international, insbesondere im Rahmen der Kooperationen mit USA, China und Japan, aktiv aufgegriffen und umgesetzt.

2.1.2 Laufende Entwicklungen

Die Nutzung des Instruments der Use Cases hat in der letzten Zeit ein zusätzliches Momentum erhalten und wird in einer größeren Breite diskutiert als noch vor zwei Jahren im Zusammenhang mit der Erstellung der Version 3 der Normungsroadmap. Das hat naturgemäß dazu geführt, dass das Verständnis, was unter einem Use Case im Einzelnen verstanden wird, sich keineswegs konsolidiert hat, sondern die Thematik ist eher noch vielschichtiger geworden.

Bei der Beschreibung von Use Cases hat die Diskussion um das benutzte Template oft einen hohen Stellenwert, allerdings wird nach einer Einigung auf ein Template dieses manchmal nicht sehr „gewissenhaft“ ausgefüllt. Generell ist die Formulierung konkreter qualitativ hochwertiger Use Cases aufwendig. Dieses notwendigen Aufwands sollte man sich vorab immer bewusst sein.

Allgemein scheint – aufgrund der zur Verfügung stehenden Ressourcen – der Schwerpunkt auf der Formulierung von Use Cases zu liegen, die eher „einfach“ oder „leichtgewichtig“ zu formulieren sind. Dies mag der Grund dafür zu sein, dass sich die Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 nicht signifikant weiterentwickelt haben, weil einerseits die Repräsentanz der vorhandenen Anwendungsszenarien bereits recht gut ist – und somit kein akuter Handlungsbedarf existiert – und andererseits die Entwicklung eines qualitativ hochwertigen Anwendungsszenarios sehr aufwendig ist. Auch das Template gemäß [IEC 62559-2](#) setzt sich derzeit im Umfeld von Industrie 4.0 nicht flächendeckend durch, da es einen großen Aufwand bedeutet, einen Use Case in dieser Detailtiefe gewissenhaft auszufüllen – und erschwerend kommt hinzu, dass aufgrund der Breite des Themas Industrie 4.0 viele solcher unterschiedlichen Use-Case-Beschreibungen notwendig wären, um insgesamt eine repräsentative Sammlung von Use Cases zu erhalten.

Insbesondere Aktivitäten, in denen Business Szenarien beschrieben werden, haben in der letzten Zeit zugenommen. Erfreulicherweise sind Business Szenarien ein Instrument, um insbesondere mit Geschäftsführern in die Diskussion über Industrie 4.0 zu kommen, sodass aus dieser Richtung ein zusätzliches Momentum zu erwarten ist.

In diesem Umfeld ist es nun die Aufgabe der Normung und Standardisierung, einen zielführenden Weg für sich zu finden [siehe [HE 2.1-A1](#)]. Deshalb ist es zwingend notwendig, sich darüber zu verständigen, weshalb im Kontext der Normung und Standardisierung Use Cases zusammengetragen und konsolidiert werden sollen:

In der Vergangenheit wurden Normungsaktivitäten oft erst dann initiiert, wenn sich Lösungskonzepte im praktischen Einsatz bewährt hatten. Im Gegensatz dazu werden insbesondere im Umfeld der IT-Standardisierungsaktivitäten oft zu einem Zeitpunkt initiiert, in dem Lösungskonzepte erst noch in den Markt getragen werden müssen. Deshalb ist es wichtig, dass man sich aus Sicht der Normung ein klares Bild von zukünftigen Anwendungen machen muss. Um Standards unter der Prämisse von einerseits Marktrelevanz und

andererseits Verbindlichkeit zu schaffen, müssen solche Use Cases hinreichend präzise und repräsentativ sein.

Selbstverständlich kann die Normung Impulse von Aktivitäten aufgreifen, in denen unter diversen Zielen Use Cases gesammelt und beschrieben werden. Es ist aber die ureigenste Aufgabe der Standardisierung, diesen Input im Hinblick auf die notwendige Präzision zu konsolidieren. Dies stellt aus Standardisierungsperspektive eine zwingende Notwendigkeit dar.

Der Wert einer konsolidierten Zusammenstellung von Use Cases für die Standardisierung stellt sich wie folgt dar:

- *Konsolidierung der Vision Industrie 4.0:* über die Use Cases werden die grundlegenden Prinzipien von traditionellen und zukünftigen Wertschöpfungsprozessen in der produzierenden Industrie beschrieben und systematisch zusätzliche Möglichkeiten postuliert, die durch Digitalisierung ermöglicht werden. Konsolidierung von Begriffen und Konzepten: Über die Use Cases kann man sich auf grundlegende Begriffe und Konzepte verständigen und diese in einem Anwendungskontext in ihren Wechselbeziehungen erläutern.
- *Rechtfertigung eines generellen Bedarfs an Normung und Standardisierung:* über die Use Cases können grundsätzliche Lücken in der Normung und Standardisierung identifiziert werden, die geschlossen werden sollen. Allerdings können gewisse Potenziale bereits durch eine konsequente Anwendung bereits existierender Normen und Standards gehoben werden.
- *Formulierung der Anforderungen an die Normung und Standardisierung:* über die Use Cases werden Anforderungen – und keine Lösungsansätze – identifiziert. Daraufhin initiierte Maßnahmen zur Weiterentwicklung oder Neuentwicklung von Normen und Standards können dann durchgängig mit den Anforderungen dazu verknüpft werden.

Folglich sind Use Cases ein zentrales Element im Hinblick auf die Ausgestaltung der zukünftigen Normung. Im Hinblick auf die originären Ziele der Normung und Standardisierung wird deshalb empfohlen, die Vorstellung über ein gemeinsames Verständnis von Use Cases gemäß **Abbildung 10** fortzuschreiben.

Auch im Hinblick auf eine methodische Systementwicklung im Kontext von Industrie 4.0 mittels Systemarchitekturen sind Use Cases ein zentrales Element. Hier ist allerdings zu beobachten, dass andere Domänen wie beispielsweise Smart Grid diese Methodik systematischer und flächendeckender nutzen. Das mag daran liegen, dass die produzierende Industrie vielschichtiger ist als Smart Grid, allerdings ist dies auch ein Indiz dafür, dass perspektivisch die im Umfeld der produzierenden Industrie entstehenden Use Cases weiter detailliert werden sollten.

Zum besseren Verständnis und Einordnung in den Kontext soll kurz der Blick auf die relevanten Arbeiten hierzu gerichtet werden. Bereits im Jahr 2016 hatten die Plattform Industrie 4.0 gemeinsam mit dem Industrial Internet Consortium (IIC) ein Whitepaper erstellt [7], welches die Komplementarität der beiden Referenzarchitekturen in den Mittelpunkt gerückt hatte. Das Konzept des Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) [8], betont die branchenübergreifenden Gemeinsamkeiten sowie Interoperabilität über die Branchen hinweg, während RAMI 4.0 sich auf die Wertschöpfungsketten in der produzierenden Industrie – und damit eine Branche – konzentriert. (siehe **Abbildung 10**)

RAMI 4.0 fokussiert dabei im Wesentlichen auf den Functional Viewpoint gemäß IIRA, sodass der Business und Usage Viewpoint gemäß IIRA zusätzliche Blickwinkel sind, die man auf ein IIoT-System in der produzierenden Industrie einnehmen und beschreiben kann und sollte.

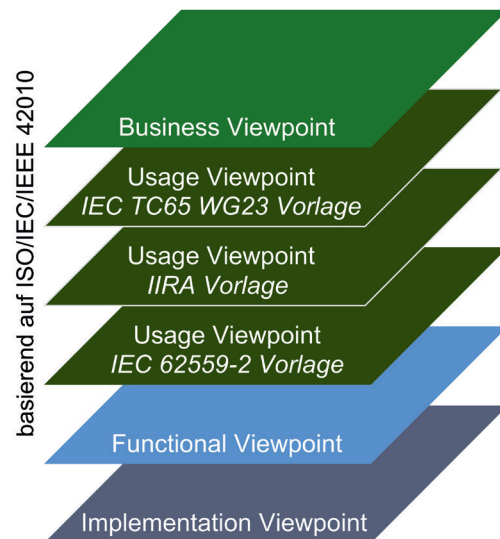


Abbildung 10: Beschreibung von Use Cases aus verschiedenen Perspektiven heraus

Darüber hinaus lautet eine der zentralen Empfehlungen – zwischen Business Szenarien, Use Cases und Praxisbeispielen zu unterscheiden. Gerade im Hinblick auf die Normung ist ein umfassendes Verständnis der geschäftlich treibenden, business-orientierten Anwendungen für Industrie 4.0 notwendig. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Wertschöpfungsprozesse in der produzierenden Industrie sind allerdings die bisher empfohlenen Templates gemäß IIRA bzw. IEC 62559-2 zu mächtig, sodass zunächst einmal im Sinne einer systematischen top-down-Vorgehensweise die Benutzung des IEC TC65 WG23 Template vorgeschlagen wird [siehe HE 2.1-1].

In diesem Zusammenhang werden beispielsweise auch die beiden Anwendungsfälle 1 „Produktionsmarktplatz“ und 2 „Standardisierung der Fertigungseigenschaften von Maschinen“ in Kapitel 2.2 detailliert beschrieben.

Man beachte, dass zwischen den verschiedenen Templates für den Usage Viewpoint wohldefinierte Beziehungen existieren, die in **Abbildung 11** dargestellt sind. Das IIRA Template ist eine Verfeinerung des IEC TC65 WG23 Template und das IEC 62559-2 Template eine Verfeinerung des IIRA Template.

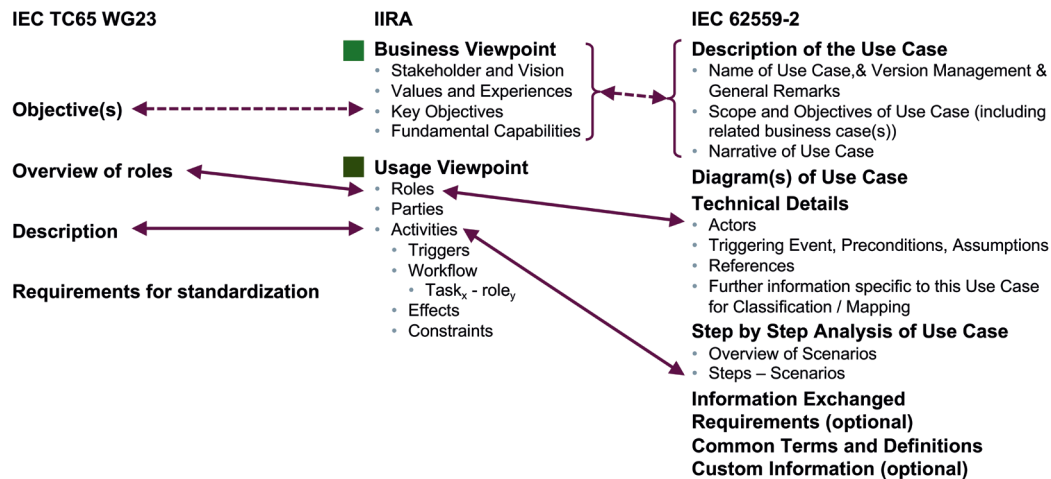


Abbildung 11: Verfeinerungsbeziehungen zwischen den verschiedenen Templates

Nachfolgend seien noch ausgewählte Referenzbeispiele für Business Szenarien und Use Cases benannt, bei denen dieses Gesamtverständnis zugrunde liegt:

- **Business Viewpoint:** hier sind einerseits die Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 [9] sowie die detaillierten Beschreibungen der Anwendungsszenarien „Value-based Service“ [10] und „Durchgängiges und dynamisches Anlagen-Engineering (Seamless dynamic plant engineering)“ [11] erwähnenswert. Daneben sei auf die Business Szenarien, die gemäß der Methodik der Arbeitsgruppe „Digitale Geschäftsmodelle“ der Plattform Industrie 4.0 [12] hingewiesen, die gerade insbesondere in der Zusammenarbeit mit China in mehreren Arbeitsgruppen zur Anwendung kommt [siehe HE 2.1-A2].
- **Usage Viewpoint gemäß IIRA Template:** wie eingangs erwähnt, findet die Usage View nicht nur im Austausch mit dem IIC ihre Beachtung. Die Ausgestaltung der Usage View wird derzeit in bilateralen Länderkooperationen vertieft und verfeinert. So wurden gemeinsame Beschreibungen zu „[Usage view mass customization](#)“ und „[Usage view equipment lifecycle management](#)“ [13] im Rahmen der Chinesisch-Deutschen Unterarbeitsgruppe Industrie 4.0/Intelligent Manufacturing [14] vertieft und evaluiert. Im Rahmen der japanisch-deutschen Kooperation zwischen dem SCI 4.0 und der japanischen Robot Revolution & Industrial IoT Initiative wurden Beschreibungen, wie „[Usage view value-based service](#)“ [15] und „[Usage view asset administration shell](#)“ [16], entwickelt. Ergänzt werden diese Arbeiten durch die von Labs Network Industrie 4.0 in der Ausarbeitung befindliche Beschreibung „Usage view edge configuration“ [siehe HE 2.1-2].
- **Usage Viewpoint gemäß IEC 62559-2 Template:** hier sind die Beschreibungen „[Plug-and-produce for adaptable factories](#)“ von der Plattform Industrie 4.0 [17] und „[Functional View Value-based Service](#)“ von der Robot Revolution & Industrial IoT Initiative und der Plattform Industrie 4.0 [18] zu erwähnen.

Abschließend sei noch betont, dass die systematische Berücksichtigung soziotechnischer Aspekte bei der Formulierung von Use Cases, beispielsweise eine Verfeinerung des Anwendungsfall 3 „Assistenzsystem“ in Kapitel 2.2, ein zielführender Ansatz ist, um in eine gemeinsame Diskussion über zusätzliche Ausprägungen von Industrie 4.0 zu kommen [siehe HE 2.1-2, HE 2.1-A3].

2.1.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

2.1-1 Die Taskforce „Smart Manufacturing Use Cases“ der IEC TC65 WG23 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.

2.1-2 Die diversen Aktivitäten, die Use Cases auf Basis detaillierterer Beschreibungen wie beispielsweise dem IIRA-Template formulieren, sollten weiter fortgesetzt werden. Beispiele hierfür sind die gemeinsamen Aktivitäten mit China und Japan, ausgewählte Aktivitäten von Labs Network Industrie 4.0, aber auch Aktivitäten auf Ebene der Europäischen Union, wie sie insbesondere im Kontext von Künstlicher Intelligenz im Rahmen des AI-PPP geplant sind.

2.1-A1 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 Normungsrroadmap formulierten Verständnisses positionieren, sodass dieses weiter geschärft werden kann.

2.1-A2 Es wird empfohlen, die Formulierung von Business Szenarien, wie sie insbesondere in Kooperationen mit China forciert wird, weiter zu promoten, da Business Szenarien mangels Zuständigkeit – zumindest im Moment – nicht im Scope der WG23 von IEC TC65 liegen.

2.1-A3 Der Diskurs um die Bedeutung von soziotechnischen Aspekten in industriellen Anwendungen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, eine Diskussion zu Industrie 4.0 hinsichtlich Use Cases und Business Szenarien weiter zu intensivieren.

2.2 Referenzarchitekturmodelle

2.2.1 Status und Fortschritte seit Version 3

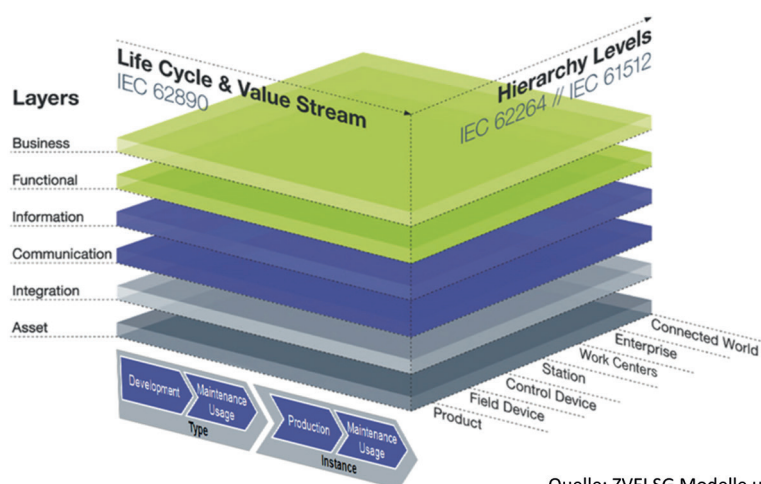
Die Modellierung von Referenzarchitekturen ist ein effektiver Ansatz zur Systematisierung und vereinfachten Nachbildung wesentlicher und oft komplexer Strukturen und Funktionen. Ziel der Normung in diesem Themenbereich ist es, ein standardisiertes Rahmenwerk zu erschaffen, zu dem technische Komponenten verschiedener Hersteller konform sind. Dies soll nicht nur einen effizienten Datenaustausch im industriellen Umfeld, sondern auch eine unkomplizierte Nutzung von Daten über verschiedene Infrastrukturen hinweg, ermöglichen.

Referenzarchitekturmodelle bieten ein logisches Rahmenwerk sowie die nötigen Mechanismen und Werkzeuge, um die Entwicklung eines neuen technischen Systems oder die Änderung eines bestehenden Systems über dessen gesamten Lebenszyklus hinaus zu unterstützen.

Das Rahmenwerk soll im Wesentlichen zur reibungslosen Zusammenarbeit der verschiedenen Stakeholder in digitalen Ökosystemen beitragen. Übertragen auf den **Anwendungsfall 1**: „Produktionsmarktplatz“, sollen in einem Referenzarchitekturmodell alle Akteure und deren Wechselbeziehungen, inklusive Hard- und Software-Komponenten, Anwender- und Anbieterbranchen sowie Produktdesign bis zum Produktrecycling eines 3-D-Produkts betrachtet werden.

In der Informatik fungiert eine Referenzarchitektur als ein Referenzmodell für eine Klasse von Architekturen. Eine Architektur (z. B. Unternehmens-IT-Architektur, Cloud-Architektur, IoT-Architektur u. a.) bestimmt die Struktur eines Systems auf zwei Ebenen: (1) Gegenstandsebene, u. a. durch die Strukturierung des Systems in bestimmte Subsysteme und (2) Regelebene, die bei der Entwicklung des Systems einzuhalten sind. Damit definiert sie die Metaebene der Entwicklung, z. B. durch Muster. Das bedeutet, dass eine Referenzarchitektur als ein spezifisches Modellmuster, d. h. ein idealtypisches Modell für eine bestimmte Klasse (z. B. „IoT“, „Cloud“, „IT“) der zu modellierenden Architekturen, betrachtet wird. Dabei umfasst sie operationale sowie funktionale Aspekte dieser bestimmten Klasse. Aus diesem Grund spezifiziert ein Referenzarchitekturmodell nicht „die“ Architektur schlechthin, sondern lediglich den Rahmen mit Mindestanforderungen bzw. -aspekten.

Im Folgenden geht dieses Kapitel näher auf die bisherigen und aktuellen Standardisierungsaktivitäten ein und erläutert die wesentlichen Anwendungs- und Handlungsempfehlungen zu diesem Themenbereich. In den vergangenen Jahren wurden mehrere Standards für Referenzarchitekturmodelle für verschiedene Zwecke im Umfeld von Industrie 4.0 vorgestellt, u. a. das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) (siehe **Abbildung 12**).



Quelle: ZVEI SG Modelle und Standards

Abbildung 12: RAMI 4.0

Mittlerweile ist RAMI 4.0 in nationalen sowie internationalen Standardisierungsgremien und Kooperationen als internationale [IEC PAS 63088](#) erfolgreich eingebracht. Somit war eine erste Prämisse, ein Modell zu entwickeln, das es erlaubt, einen Gegenstand der physischen Welt in der Informationswelt zu repräsentieren, um ihn in dieser Welt verwalten zu können, erfüllt. Auf dieser Basis wurde eine Positionierung der IEC PAS 63088 mit RAMI 4.0 und Verwaltungsschale zu den international adäquat entwickelten Referenzarchitekturmodelle anderer Länder erarbeitet. In der Folge konstituierte sich die ISO/IEC Joint

Working Group 21 (ISO/IEC JWG 21), um die auf ISO- und IEC-Seite laufenden zahlreichen nationalen Normungsaktivitäten (Frankreich, China, Japan, USA, Südkorea, Schweden) zu Referenzarchitekturmodellen konsistent zu gestalten und zusammenzuführen.

Erinnerung: RAMI 4.0 (IEC PAS 63088)

RAMI 4.0 dient als Orientierungsrahmen für die Stakeholder und Klassifizierung von Anwendungen im industriellen Bereich. RAMI 4.0 führt alle Elemente und IT-Komponenten in einem Schichten- und Lebenszyklusmodell und teilt komplexe Abläufe in überschaubare Pakete ein – inkl. Datenschutz und IT-Sicherheit. Die Referenzarchitektur kann als Modellmuster, also als idealtypisches Modell für die Klasse der zu modellierenden Architekturen betrachtet werden. Industrie 4.0 spezifiziert mit RAMI 4.0 nicht „die“ Architektur schlechthin, sondern lediglich den Rahmen mit Mindestanforderungen. Dazu gehören die Festlegung von Begrifflichkeiten und eine Methodik mit Regeln zur Beschreibung der physischen Welt zum Zweck der Spiegelung (Reflexion) in die Informationswelt [siehe [The Reference Architecture Model RAMI 4.0 and the Industrie 4.0 component](#)] [19]

2.2.2 Laufende Entwicklungen

Mit der derzeitigen Erarbeitung des Technical Reports (TR) Smart Manufacturing Meta-Model „A Meta-modelling analysis approach to Smart Manufacturing Reference Models (SMRM)“, erfolgt bei IEC/TC 65/JWG 21 die Umsetzung der 2018 formulierten Handlungsempfehlungen aus Version 3 der Roadmap. Die zusätzlichen laufenden Normungsentwicklungen weiterer Referenzarchitekturmodelle richten nun ihre Aktivitäten auf die Verzahnung mit der IoT-Welt. Einige dieser Aktivitäten werden in der nachfolgende Übersicht aufgezeigt und verdeutlichen nochmals den Grad der Vernetzung und somit auch den Grad steigender Komplexität.

Das Hauptziel dieser Aktivitäten ist die Entwicklung einer Strategie zur Harmonisierung der aktuellen Normen für Referenzarchitekturen, um ein gemeinsames Verständnis über die Eigenschaften von Referenzarchitekturmodellen und verwandten Normen zu erreichen.

Diese Aktivitäten umfassen so wichtige Themen wie Big Data, Federal Cloud Computing, sicherer Datenaustausch, Systemarchitekturen u. a. So werden immer wieder neue Referenzarchitekturen in Umlauf gebracht, die sich möglicherweise einem bereits existierenden Referenzarchitekturmodell zuordnen ließen. Ebenso werden neue Referenzarchitekturmodelle mit den bestehenden oft nicht verglichen bzw. abgestimmt [siehe **HE 2.2-1**, **HE 2.2-2**].

Da noch kein breites und tieferes Verständnis für die wesentlichen Unterschiede zwischen den Begriffen wie „Referenzarchitektur“ und „Referenzarchitekturmodell“ gegeben ist – herrscht aktuell eine Verwirrung bei der Anwendung dieser Begrifflichkeiten und Benennung neuer Standards. Hierzu ist eine Harmonisierung anzustreben [siehe **HE 2.2-3**].

Harmonisierung und Kompatibilität neuer und bestehender Referenzarchitekturmodelle

Die Verzahnung von RAMI 4.0 mit der IoT-Welt stand von Beginn an im Zentrum der Überlegungen der Arbeitskreise der Plattform Industrie 4.0, die weiterhin neue Dokumente zu diesem Themenkomplex erarbeiten. Hier werden umfassende technische Grundlagen zur Realisierung von Industrie 4.0-Wertschöpfungsnetzwerken, in denen Gegenstände der physischen Welt gemäß RAMI 4.0 für ihre Repräsentation und Verwaltung in der Informationswelt als Industrie 4.0-Komponenten beschrieben, vermittelt.

Bereits in der vergangenen Ausgabe der Normungsroadmap wurde auf die Heterogenität der Lösungen für Referenzarchitekturmodelle hingewiesen. Besonders im Industrie 4.0-Umfeld bestand und besteht weiterhin ein Harmonisierungsbedarf. International befassen sich damit Arbeitsgruppen und Ausschüsse, wie ISO/IEC JTC1/AG8, ISO/IEC JWG 21 und ISO/IEC JTC 1/SC41. Das Hauptziel dieser Aktivitäten ist die Entwicklung einer Strategie zur Harmonisierung der aktuellen Normen für Referenzarchitekturen, um ein gemeinsames Verständnis über die Eigenschaften von Referenzarchitekturmodellen und verwandten Normen zu erreichen.

Hier eine kurze Übersicht zu den Aktivitäten:

→ [ISO/IEC JTC1 AG08](#)

Meta Reference Architecture and Reference Architecture for System Integration

Die AG08 befasst sich mit Harmonisierungskonzepten auf der Metaebene, insbesondere mit der Untersuchung aktueller Verfahren zur Entwicklung von Referenzarchitektur und Metareferenzarchitektur in JTC 1-relevanten Systemintegrationskontexten. Des Weiteren evaluiert das Gremium die Entwicklung von Definitionen, Konzepten, Prozessen, Modellen und Vorlagen für die Metareferenzarchitektur. Hinzu kommt die Zusammenarbeit mit relevanten Standardisierungsorganisationen und (d) der Entwicklung von Empfehlungen für JTC 1 zur erfolgreichen Systemintegration unter Verwendung der entwickelnden Metareferenzarchitektur. Um Doppelarbeit zu vermeiden, sollen diese Aktivitäten mit den parallellaufenden Aktivitäten der ISO/IEC JWG 21 (siehe unten) abgestimmt werden [siehe HE 2.2-1].

→ [ISO/IEC Joint Working Group 21](#)

Smart Manufacturing Meta-Model

„A Meta-modelling analysis approach to Smart Manufacturing Reference Models (SMRM)“

präsentiert einen Metamodellierungsansatz zur Analyse und Beschreibung von Smart Manufacturing Referenzmodellen. Das Dokument verweist auf den spezifischen Bereich von Smart Manufacturing in allgemeinen Industrie 4.0-Umgebungen, wodurch sich eine klare Trennung in den Begrifflichkeiten zu Industrial IoT ergibt. Der Bericht identifiziert aktuell 17 relevante Referenzarchitekturmodelle. Anhand dieser Analysen werden weitere Aspekte aus dem Bereich „Smart Manufacturing“ identifiziert und in die SMRM überführt. Auf dieser Basis kann das SMRM als eine „Metasprache“ von Konzepten und wichtigen Beziehungen charakterisiert werden, die dem Smart Manufacturing-Anwender einen Freiraum über die Abstraktion anbietet. [siehe HE 2.2-2, HE 2.2-3].

→ **ISO/IEC JTC 1 SC41 Industrial Internet of Things IIoT**

Reference Architecture for IoT

Eine zentrale Rolle im Industrial IoT übernehmen Sensoren, Aktoren und technische Systeme, die Produktionsdaten sammeln und über das Netzwerk weiterverteilen, wo diese auf der Ebene des Cloud Computing mittels Algorithmen weiterbearbeitet werden können.

Eine der wichtigsten Normen im Bereich IoT ist die [ISO/IEC 30141 Reference Architecture for IoT](#), veröffentlicht von [ISO/IEC JTC 1 SC41](#). Die Norm bietet eine standardisierte IoT-Referenzarchitektur, basierend auf dem Vokabular ([ISO/IEC 20924](#)) und einem generischen Design unter Verwendung industrieller Best Practice-Anwendungen. Die Norm dient als Grundlage für die Entwicklung kontextspezifischer IoT-Architekturen und damit auch industrieller Sensoren, Maschinen, Anlagen und anderer technischer Systeme. Das generische Design des Konzepts lässt sich mit Hinblick auf andere branchenspezifische Bereiche ausweiten sowie spezifische technologische Anforderungen und national-spezifische Anwendungen einschließen.

→ **ISO/IEC JTC 1/SC41/AG 20 Industrial IoT**

Standardkartierung für Referenzarchitekturmodelle

Zur Unterstützung der Harmonisierungsaktivitäten auf der internationalen Ebene werden aktuell in der ISO/IEC JTC 1 SC 41 AG 20 Industrial IoT diverse Aktivitäten mit dem Ziel zur Standardkartierung bzw. -Mappings durchgeführt. Dabei werden die relevanten IoT-Standards auf die entsprechenden RAMI 4.0-Layer und andere relevanten Bereiche in Kontext von Industrie 4.0 aufgeteilt. Die Kartierung soll den Überblick über die aktuelle Normenlandschaft verschaffen und die möglichen Normungslücken im Bereich Industrial IoT aufdecken. Solch eine Aktivität verlangt eine sehr gute Zusammenarbeit zahlreicher Gremien und soll durch andere Aktivitäten, etwa industrielle Praxis und Forschung, unterstützt werden [siehe HE 2.2-A1].

2.2.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

2.2-1 Nutzung des RAMI 4.0 im Anforderungsmanagement

Es wird empfohlen, eine Nutzung des RAMI 4.0 im Vergleich mit anderen gängigen Methoden für ein durchgängig strukturiertes Anforderungsmanagement zu untersuchen und zu beschreiben.

2.2-2 Differenzierung bzw. Standardisierung von Begriffen „Referenzarchitektur“ und „Referenzarchitekturmodell“

Ein tieferes Verständnis bei den SDOs und Konsortien sowie entsprechenden Standardisierungsaktivitäten (wie etwa Aufnahme in ein Glossar) für die Differenzierung der Begrifflichkeiten „Referenzarchitekturen“ und „Referenzarchitekturmodellen“ scheint notwendig. Die erzeugten Modellmuster einer Referenzarchitektur können nach der Klasse der zu modellierenden Architekturen differenziert werden. Dies bedeutet, dass es eine operationale und funktionale Differenzierung zwischen Referenzarchitekturen und -modellen existiert. Ein einheitliches Verständnis dazu muss in der Standardisierung geschaffen und normativ festgelegt werden.

2.2-3 Harmonisierung und Kompatibilität neuer und bestehender Referenzarchitekturmodelle

Aufgrund heterogener Lösungen für Referenzarchitekturmodelle im Industrie 4.0-Umfeld besteht derzeit ein Harmonisierungsbedarf. Empfohlen wird, dass die Referenzarchitekturmodelle (sowohl bestehende als auch die neuen) kritisch auf funktionale und operative Aspekte geprüft werden, d. h., ob diese durch bestehende Modelle bereits abgedeckt sind. Falls die funktionalen und operativen Aspekte keine Übereinstimmung aufweisen, sollten aber auch keine weiteren Harmonisierungsaktivitäten unternommen werden. Eine Abstimmung ist somit zwischen den Aktivitäten von ISO/IEC JTC1 AG08 und ISO/IEC JWG 21 herbeizuführen.

2.2-A1 Standardisierung in Industrie 4.0-relevanten Forschungsprogrammen

Es wird empfohlen, dass die Forschungsprojekte, sowohl national als auch international, aktiv die aktuellen Normen anwenden, um eine schnellere industrielle Umsetzung zu ermöglichen und mögliche Standardisierungslücken aufzudecken.

2.3 Systeme und deren Eigenschaften

2.3.1 Fortschritte seit Version 3 und laufende Entwicklung

Industrie 4.0-Komponente und das Konzept der Verwaltungsschale

Um Eigenschaften der realen Welt in der Informationswelt verfügbar zu machen, werden Objekte mittels ihrer Eigenschaften so beschrieben, dass diese Beschreibung in der Informationswelt als Ganzes dem jeweiligen Objekt zugeordnet und in Beziehung zu anderen Objekten gesetzt werden kann. Entsprechend des Konzepts der digitalen Fabrik (**IEC TS 62832-1**) wird ein physisches oder logisches Objekt, welches für eine Organisation einen tatsächlichen oder wahrgenommenen Wert besitzt und deswegen verwaltet wird, Asset genannt.

Die Eigenschaften eines Assets sind in seiner „Verwaltungsschale“ (Asset Administration Shell) strukturiert gemäß RAMI 4.0 beschrieben (siehe **Kapitel 2.2**). Asset und Verwaltungsschale sind eindeutig aufeinander bezogen. Zusammen bilden sie die „Industrie 4.0-Komponente“ oder kurz „I 4.0-Komponente“ (siehe **Abbildung 13**). Die Verwaltungsschale kann im Asset gespeichert sein oder sich in einer Datenbank befinden.

Assets können physische Gegenstände sein wie Geräte, Leitungen usw., aber auch nicht greifbare Dinge, wie z. B. Software, Konzepte, Patente, Ideen, Verfahren und Prozesse. Es kann ein einfaches Asset sein (z. B. ein Rohr) oder ein modulares Asset (z. B. Maschine, Anlage, Fabrik). Zum Beispiel sollte die (Selbst-)Beschreibung der Werkzeugmaschine aus **Anwendungsfall 2** in **Kapitel 2.1.1** in der Verwaltungsschale dieser Maschine abgebildet sein.

I 4.0-Komponente

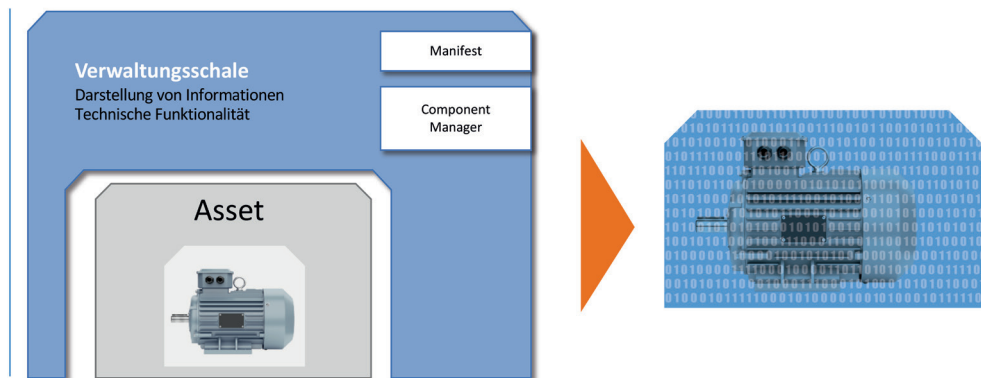


Abbildung 13: Industrie 4.0-Komponente mit Asset und Verwaltungsschale

Der Begriff „Verwaltungsschale“ basiert auf der Idee, dass die Informationswelt das Asset (z. B. Bestandteil einer Industrie 4.0-Komponente) wie eine Schale umschließt [4]. (siehe **Abbildung 14**)

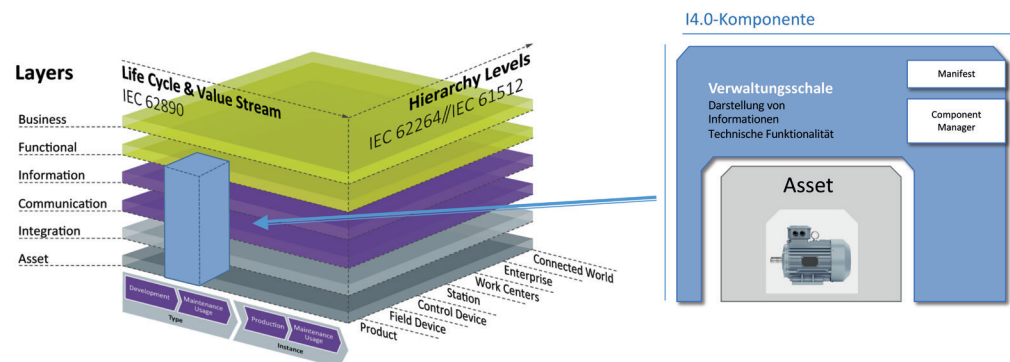


Abbildung 14: Industrie 4.0-Komponente und ihre Einordnung über die entsprechenden RAMI-Schichten hinweg

Wie in der Einleitung dargestellt wurde, kann eine solche Industrie 4.0-Komponente beispielsweise eine Werkzeugmaschine repräsentieren. Die Informationen werden mithilfe von Merkmalen abgelegt, deren Semantik so definiert ist, dass das System die relevanten Informationen standardisiert und über die entsprechenden RAMI 4.0-Schichten verfügbar machen kann.

Die ursprüngliche konzeptionelle Struktur der Verwaltungsschale wurde von der *AG Referenzarchitekturen, Standards und Normung* in Kooperation mit dem ZVEI in dem Ergebnis-papier „**Struktur der Verwaltungsschale**“ [79] vorgestellt. Das Ergebnis-papier enthält keine endgültige IT-Spezifikation oder Implementierungsanforderung und wurde zunächst verwendet, um zu klären, welche Merkmale, Daten und Funktionen typischerweise in einer Verwaltungsschale gespeichert sind.

Das Dokument „[Details of the Asset Administration Shell](#)“ (Teil 1, Version 1.0) [86] beschreibt die Aufbereitung und Strukturierung von Informationen in der Verwaltungsschale. Ziel dieses Dokuments ist es, die Struktur der Verwaltungsschale so zu spezifizieren, dass Informationen über Assets und Industrie 4.0-Komponenten zwischen Industrie 4.0-Komponenten in einem Wertschöpfungsnetzwerk ausgetauscht werden können. In dem Dokument wird die Struktur, also das Serialisierungs- und Austauschformat einer Verwaltungsschale definiert. Der Teil 1 von VWSiD befasst sich im Schwerpunkt mit der exakten Definition des Datenmodells durch ein UML-Diagramm, seiner Serialisierung in XML und JSON und der Definition eines einfachen und sicheren Transportes von Verwaltungsschalen zwischen zwei technischen Infrastrukturen in einem Container (siehe **Abbildung 15**).

Die Erweiterung Version 2.0 [28] der im Jahr 2018 veröffentlichten ersten Fassung beschreibt wie Unternehmen Informationen in der Verwaltungsschale aufbereiten und strukturieren können. Die aktualisierte Version informiert über eine Vielzahl interessanter Themen wie RDF-Implementierung und AML- und OPC-UA-Mappings, die gemeinsam mit AutomationML e.V. und der OPC Foundation entwickelt wurden.

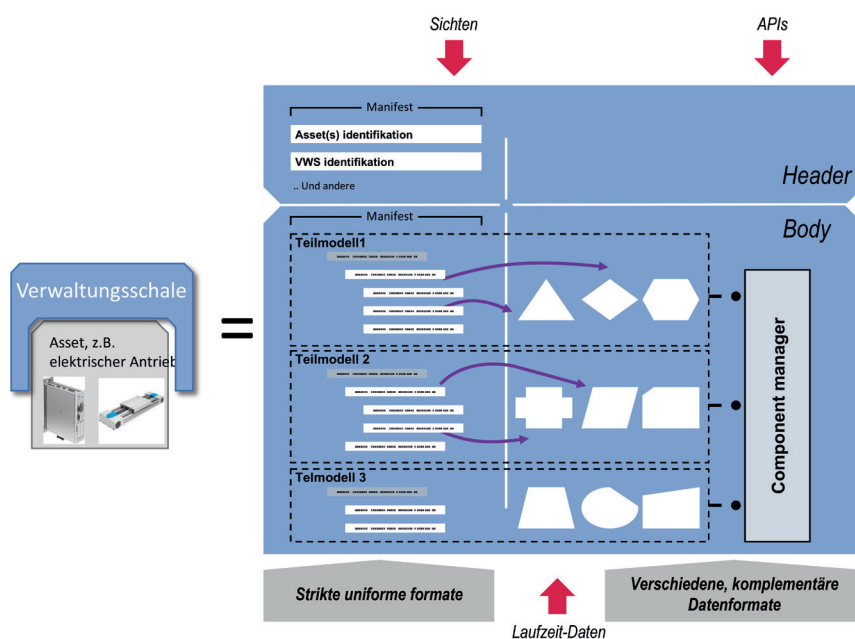


Abbildung 15: Struktur der Verwaltungsschale und ihrer möglichen Teilmodelle

Der inhaltliche und wesentliche Teil einer Verwaltungsschale sind die Teilmodelle. Es gibt unterschiedliche Klassen von Teilmodellen, die nachfolgend näher erläutert werden. Welche Teilmodelle eine Verwaltungsschale trägt, hängt im Wesentlichen von der Art des Assets, vom Lebenszyklus und vom Einsatzszenario ab. Teilmodelle haben eine eindeutige Zuordnung zur Verwaltungsschale, eine eindeutige ID und damit auch einen eindeutigen Bezug zu einem konkreten Asset.

Generische Anforderungen an Teilmodelle

Teilmodelle bestehen im Wesentlichen aus Merkmalen und Verweisen auf Funktionen, Methoden, Dienste, Dokumente und andere komplexe Sachverhalte, die nicht Bestandteil

des Teilmodells selbst sind. Teilmodelle sollten nach Möglichkeit eine abgeschlossene Sicht auf einen Aspekt des Assets und einen gewissen Nutzen haben oder ein Szenario bedienen. Als Beispiel sei hier das Energiemanagement genannt, sodass im Teilmodell Energiemanagement alle dafür relevanten Merkmale über Schnittstellen bereitgestellt werden können.

Neben den Inhalten der Verwaltungsschale spielen die Mechanismen zur Kommunikation und der Integration eine entscheidende Rolle. Die Interoperabilität von Industrie 4.0-Komponenten hängt entscheidend von den Inhalten der Verwaltungsschale ab. So ist es Hauptaufgabe der Verwaltungsschale, die Daten und Funktionen aller relevanten Assets – einschließlich den Produkten und ganzer Produktionssystemen – standardisiert über ihren Lebenszyklus zu registrieren und zur Verfügung zu stellen. Bei IEC/TC 65 wurde das Projekt [IEC 63278-1 ED1 „Asset administration shell for industrial applications – Part 1: Administration shell structure“](#) in der neu gegründeten IEC/TC 65/WG 24 gestartet, um diese Konzepte in einer internationalen Norm zu beschreiben. Damit sind die Weichen gestellt, um die Konzepte der Verwaltungsschale zu einer internationalen Norm bzw. Normenreihe zu entwickeln. Der Normungsantrag greift die Dokumente „Trilateral Perspectives: Structure of the Administration Shell“ und „Usage view of Asset Administration Shell“ auf. Die Plattform Industrie 4.0 und das SCI 4.0 haben diese zusammen mit internationalen Partnern (Frankreich, Italien, China und Japan) entwickelt. Weitere Teile der IEC 63278-Reihe sowie weiterer Normen zur Internationalisierung des Konzepts der Verwaltungsschale sind erforderlich [siehe [HE 2.3-2](#)]. Dabei geht es sowohl um die Beschreibung der Infrastruktur-Mechanismen wie z. B. der Industrie 4.0-Sprache als auch um die Beschreibung von Teilmodellen für bestimmte Klassen von Assets [siehe [HE 2.3-8](#)].

Die aktuellen nationalen und internationalen Aktivitäten haben zum Ziel, die Verwaltungsschale im Detail weiter auszuarbeiten. So veröffentlichte die Arbeitsgruppe der Plattform Industrie 4.0 in der Zwischenzeit mehrere Spezifikationen, welche die spezifischen Aspekte und praxisbezogene Hilfestellungen enthalten.

Die Publikation [„Verwaltungsschale in der Praxis“](#) [29] dagegen fasst die wesentlichen inhaltlichen Aspekte der Verwaltungsschale zusammen und zeigt, wie Unternehmen Daten in der Industrie 4.0 standardisiert nutzen und verwalten können sowie diese konkret in die Praxis umsetzen können. Das zentrale Ziel hierbei ist, dem Anwender einen Leitfaden an die Hand zu geben wie man Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen spezifiziert.

Das Konzept der Verwaltungsschale sollte für einen reibungslosen Datenaustausch mit und zwischen Assets durchgehend verwendet und standardisiert werden [siehe [HE 2.3-1](#)]. In der weiteren Entwicklung sollten auch agentenbasierte Systeme auf Industrie 4.0-Komponenten übertragen werden. Die einzelnen Spezifikationen und Beschreibungen werden in [Kapitel 2.5.1](#) aufgegriffen.

Digitale Fabrik

Der internationale Standard [IEC 62832 „Digital Factory“](#) dient als Vorlage für die Beschreibung von Assets in der Verwaltungsschale (siehe oben). IEC 62832 ist in drei Teile gegliedert und definiert ein Rahmenwerk für die Nutzung von Wörterbucheinträgen (dictionary entries, z. B. Klassen und Merkmale) für die Beschreibung von Asset-Typen und für die Beschreibung von spezifischen Assets. Sie bietet damit eine international verbindliche

Grundlage für die Verwendung von Merkmalen sowohl für das konventionelle Engineering als auch für das Smart Manufacturing.

Diese Beschreibungen können funktionale Anforderungen an Assets, Eigenschaften von Assets, variable Daten, Zuweisung von funktionalen Anforderungen zu spezifischen Assets sowie strukturelle Komposition und andere Beziehungen zwischen Assets beinhalten. Der Standard betrachtet alle Phasen des Asset-Lebenszyklus – also Design, Aufbau, Inbetriebnahme, Betrieb, Wartung und Demontage.

Spezifische Assets („PS Asset“, reale oder logische Gegenstände) werden durch Asset-Beschreibungen („DF-Asset“, Virtuelle Repräsentation) beschrieben (siehe **Abbildung 16**). Typen von Assets werden durch sogenannte Asset-Klassen modelliert und stehen damit jeweils für ein oder mehrere Assets, welche den gleichen Satz von Eigenschaften teilen (z. B. Produkttypen), zur Verfügung. Wenn die beschriebenen Assets eine modulare Struktur haben, können die entsprechenden Asset-Beschreibungen (oder Asset-Klassen) ebenfalls eine modulare Struktur beschreiben. Beziehungen zwischen spezifischen Assets werden durch Asset-Links repräsentiert. Datenelemente können genutzt werden, um statische Eigenschaften oder variable Daten von Assets zu beschreiben. Durch diese Struktur legt die Normenreihe zur Digitalen Fabrik wichtige Grundlagen für Industrie 4.0-Systeme fest. Die Konsistenz zur Beschreibung der Verwaltungsschale ist eine wichtige Voraussetzung für eine widerspruchsfreie Beschreibung [siehe HE 2.3-3].

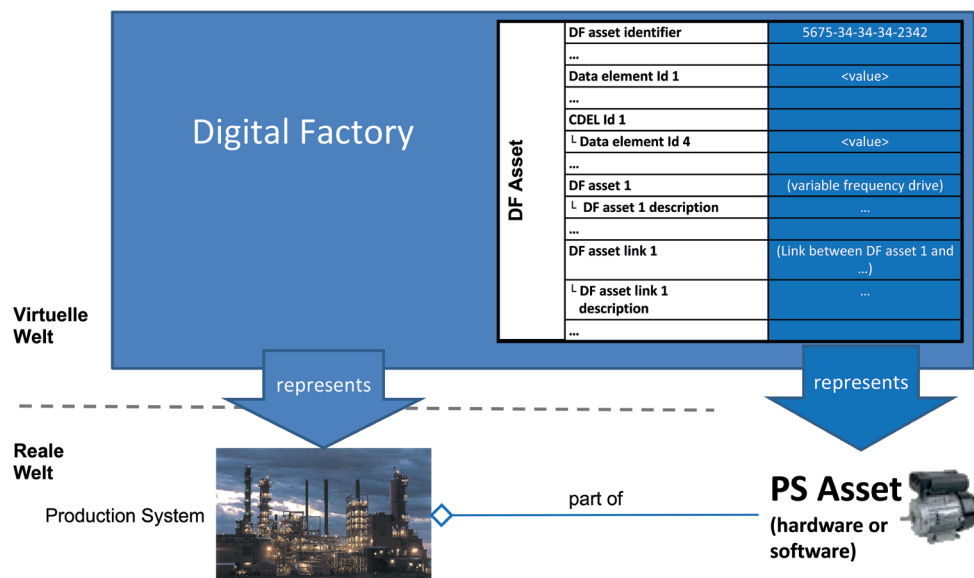


Abbildung 16: Digital Factory und DF Asset beschreiben Produktionssystem und PS Asset

Die Norm IEC 62832 definiert Datentypen, die solche Beschreibungen unterstützen. Die Bedeutung der konkreten Daten (z. B. Produktbeschreibung, Modulbeschreibung, Schnittstellenbeschreibung, Funktionsbeschreibung) wird aus den zugrunde liegenden Wörterbucheinträgen abgeleitet. Diese Wörterbucheinträge können in Wörterbüchern (wie dem common data dictionary, CDD oder der CDP des eCl@ss e. V.) entsprechend [IEC 61360](#) oder [ISO 22745](#) definiert werden.

Eigenschaften und semantische Merkmale

Der Umfang und die Detailtiefe der Eigenschaften legen fest wie genau ein Asset beschrieben ist. Es hat sich für die Eigenschaften mit einer standardisierten Beschreibung der Begriff Merkmal etabliert. Mit der Spezifikation der Verwaltungsschale liegt eine Spezifikation vor, die konsequent auf der Nutzung von Merkmalen zur Informationsmodellierung setzt. Für die Beschreibung von Produkten, Fertigungsmitteln, Komponenten und Einzelteilen als Basis für die Realisierung von Industrie 4.0 müssen Fertigungseinheiten befähigt werden, standardisierte Merkmale kombiniert mit standardisierten Übertragungsformaten zu übertragen. Dadurch wird es für empfangende Systeme möglich, die Daten korrekt zu verstehen und sie in Folgeprozessen wie Bestellungen, Fertigungsaufträgen und Wartungshinweisen zu nutzen. Dieses Konzept wird auch unter dem Begriff „semantische Interoperabilität“ zusammengefasst.

Betrachtet man ein Merkmal detailliert, so hat dieses wiederum Eigenschaften, z. B. einen Datentyp und einen Defaultwert. Um sich zwischen dem Merkmal eines Assets und der/n Eigenschaft(en) des Merkmals zu unterscheiden, spricht man bei den letzteren von Attributen (siehe **Kapitel 2.4.1**). Merkmale und deren Attribute bilden die Grundlage für Integration und Interoperabilität. Jedes einzelne Merkmal wird benannt und mit seinen Attributen als Daten zusammengetragen. Diese Merkmale werden in vielfältigen Phasen des Engineerings in entsprechenden Systemmodellen verwendet. Die vorliegende Normungsroadmap vertieft die Modellierung und die Verwendung der Merkmale in weiteren Kapiteln, insbesondere bei dem Thema Integration (siehe **Kapitel 2.5**). Aktuell haben sich Merkmale im Einkaufsprozess bereits gut etabliert und im Engineering sind erste Anwendungsfelder zu erkennen.

Zukünftig werden Merkmale im gesamten Lebenszyklus zum Einsatz kommen. Dies bewirkt eine Erweiterung der Geräte- und Komponentenklassen, die mittels standardisierter Eigenschaften und Merkmale bei eCl@ss und IEC CDD beschrieben werden. Auch gibt es Geräteklassen, z. B. Antriebe und Pumpen, die OPC UA Companion Standards mit Merkmalen ausstatten (siehe **HE 2.3-4**).

Die Merkmalnutzung in operativen Phasen des Lebenszyklus macht deutlich, dass zusätzlich Merkmale, die für individuelle Assets von Bedeutung sind (z. B. Seriennummer) und Merkmale für Planungsunterlagen aufgenommen werden müssen (siehe **HE 2.3-5**). Auch werden Eigenschaften benötigt, die sich im Asset in Abhängigkeit von dessen Interaktion mit der Maschine oder Anlage dynamisch ändern (siehe **HE 2.3-6, 2.4-1**).

Dies bewirkt, dass weitere Eigenschaftsmerkmale, wie z. B. Zeitstempel und Gültigkeitsaussagen des Wertes von Bedeutung sind. Die **DIN SPEC 92000** (Property Value Statements) zeigt hierfür einen vielversprechenden Weg auf (siehe **HE 2.3-7**).

Die Beschreibung von funktionalen Anforderungen wird in der IEC 62832 unterstützt. Sie ist im Bereich der Prozessgeräte (OLOP in der **IEC 61987**) bereits üblich, wird aber von anderen Bereichen bisher noch nicht umgesetzt (siehe **HE 2.3-9**). In der vorliegenden Roadmap werden vertiefende Aussagen zum Thema Merkmale z. B. im **Kapitel 3.4** gegeben.

Die besondere Stellung der Merkmale in Industrie 4.0-Systemen wird auch an den zahlreichen Projekten und Aktivitäten zur Weiterentwicklung der Nutzung und Methodik von

Merkmale deutlich, aus denen sich zukünftige Anforderungen und Tendenzen ableiten lassen. In dem vom BMWi geförderten Projekt „Semantische Allianz für I4.0“ – SemAnz40“ wurde gezeigt, wie mithilfe von Merkmalen eine geeignete semantische Basis für den Informationsaustausch in den Anwendungsfällen von Industrie 4.0 gebildet werden kann [30]. Weitere Aktivitäten stellen z. B. der VDMA-Leitfaden „Interoperabilität durch standardisierte Merkmale“ [24] des Arbeitskreises NA 060-30-04-05 „Klassifikationssysteme, Produktmerkmale und entsprechende Bibliotheken“, die Aktivitäten zu NAMUR Open Architecture und die ZVEI-Aktivität zum Antrieb 4.0 [31] dar.

Daten werden in Industrie 4.0-Systemen weitergetragen, verarbeitet, kombiniert, aggregiert, bewertet und interpretiert. Auf der Grundlage der im System vorhandenen Daten und daraus gewonnenen Informationen werden in Industrie 4.0-Systemen automatisiert Entscheidungen getroffen und Handlungen gesteuert. Folglich sind die Qualität und Vertrauenswürdigkeit der hinterlegten und eingepflegten Daten von äußerster Wichtigkeit (siehe Kapitel 3.4).

Im Hinblick auf eine sach- und fachgerechte Dateninterpretation und Weiterverwendung in Industrie 4.0-Systemen sind wesentliche Kontextinformationen zu jedem Datenpunkt unabdingbar [siehe HE 2.3-10]. Ziel ist es, auf der Grundlage der genannten und weiterer Kriterien und Informationsbedarfe eine standardisierte Struktur, Inhaltsübersicht und Eingabemaske zu definieren. Es ergibt sich aus der Vielfalt der Daten, dass nicht alle „Informationsfelder“ befüllt werden können oder müssen, jedoch sollten Mindeststandards festgelegt werden. Über den Aspekt eines „berechtigten Interesses an den Daten“ werden die Zugriffsrechte auf die Datendetails bzw. Kontextinformationen geregelt.

Geometrische Produktspezifikation

Für die Umsetzung der Industrie 4.0-Konzepte ist es erforderlich, die Anforderungen an die Produkte präzise, vollständig und eindeutig zu definieren und zu kennzeichnen. Vor diesem Hintergrund wurde das ISO-System für „**Product specification and -verification**“ (GPS) entwickelt, welches nicht mit dem Global Positioning System (ebenfalls GPS) verwechselt werden darf. Die Grundlagen sind in der ISO 14638 beschrieben. Das ISO-System wurde entwickelt, um Standards für die Herstellung der Produkte zu beschreiben, die sich weitestgehend auf GPS-Symbole in den Zeichnungen/Modellen beziehen.

Digitales Typenschild

Für die Verknüpfung der physikalischen Objekte und deren digitalen Abbildungen ist eine robuste, eineindeutig Kennzeichnung zwingend notwendig. Traditionelle maschinenlesbare Kennzeichnungen aus mehreren Datenelementen und Steuerzeichen aus dem Bereich der „nicht-druckbaren ASCII-Zeichen“ wie FNC1 oder RS, GS und EOT sind dafür zu komplex, nur bedingt eineindeutig und bieten keine direkte Verknüpfung zum Internet. Mit der DIN SPEC 91406 liegt ein Ansatz vor, der mit einer eineindeutigen URL in einem prägnant erkennbaren QR-Code diese Herausforderung löst. Diese radikale Vereinfachung ist allerdings im Normenwerk revolutionär und erfordert neben der Internationalisierung der DIN SPEC 91406 an sich auch Anpassungen in fast allen Anwendungsnormen zur maschinenlesbaren Kennzeichnung.

Aufgrund spezieller Anforderungen im Explosionsschutz wurde seitens des Expertengremiums DKE/K 241 (*Schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel*) die Normung für ein elektronisches Typenschild vorangetrieben und als Entwurf die

Vornorm DIN VDE V 0170-100 veröffentlicht. Die erarbeiteten Konzepte sind universell anwendbar und lassen sich daher auf praktisch alle Industriezweige übertragen und erweitern [siehe HE 2.3-11, 2.3-12].

System-Lebenszyklus, Lebenslaufakte

Sowohl in der Produktion als auch im gesamten Lebenszyklus der Produkte, der technischen Anlagen und der ganzen Produktionssysteme fallen viele Daten an, die nutzbar gemacht werden können. Im Idealfall werden die gesamten Lebenslaufdaten von technischen Anlagen und allen Industrie 4.0-Komponenten in gleicher Form in Verwaltungsschalen gesammelt und über den gesamten Lebenszyklus (mit spezifischen Zugriffsrechten) hinweg zur Verfügung gestellt. Dabei sind die Inhalte in Typ- und Instanz-Lebenslaufdaten zu unterscheiden.

Die Entwicklungen und Festlegungen zur Lebenslaufakte adressieren u. a. aktuelle Herausforderungen:

- zum durchgängigen Engineering [25],
- zu Nutzung,
- zu Wartung, Reparatur, Umbau und Umnutzung,
- bis hin zur fachgerechten Entsorgung.

Die Norm **DIN 77005-1 für „Lebenslaufakten für technischen Anlagen“** legt fest, wie Informationen zu Anlagen und ihren Teilen strukturiert verwaltet werden. Hierfür stehen verschiedene Arten von Lebenslaufakten zur Verfügung, die hierarchisch gegliedert sind. Metadaten helfen den Anwenderinnen und Anwendern bei der Zuordnung von Verantwortlichkeiten, der Suche nach Informationen sowie Definition von Beziehungen zwischen den Informationen. Eine Anwendungsmethode stellt sicher, dass Lebenslaufakten einheitlich geführt, stets aktuell und vollständig sind. Lebenslaufakten nach DIN 77005-1 sind selbstbeschreibend und damit für alle Beteiligten in allen Lebensphasen verständlich. Sie können als Grundlage für Lebenslaufakten für alle Industrie 4.0-Komponenten dienen.

Teil 1 der Normenreihe **DIN 77005** ist bewusst technologieneutral gehalten. Das Grundprinzip von Lebenslaufakten ist auch ohne umfassenden Einsatz von IKT möglich und sinnvoll. Die Mehrwerte der beschriebenen Strukturen und Methoden lassen sich jedoch vorwiegend durch den Einsatz moderner Informationstechnologie erschließen.

Unter einer digitalen Lebenslaufakte wird nachfolgend eine ganzheitliche informationstechnische Unterstützung zur Umsetzung der Anforderungen in **DIN 77005-1** verstanden. Sie implementiert einen interdisziplinären Informationsraum, in dem sämtliche Informationen zur Anlage und ihrer Teile zeitlich zusammengefasst und strukturiert sind. Die Strukturierung dieses Informationsraums erfolgt durch ein Modell. Das Modell der Lebenslaufakte basiert auf einer Serie von Modellen aus der Normung und Standardisierung.

Als wichtige zu integrierende Modelle sind **IEC 82045-2**, **IEC/TS 62771**, **W3C SOSA** und **IEC 62507** zu nennen. Das Modell der Lebenslaufakte muss weiterhin die in **IEC 62890** zum Lifecycle-Management eingeführte Trennung zwischen Typ und Instanz sowie den unterschiedlichen Lebenszyklusmodellen konsequent abbilden. Der Aufbau des Objektes muss unter Einbindung der verschiedenen Aspekte nach **IEC 81346** chronologisch nachvollzieh-

bar abgebildet werden. Sämtliche Informationen müssen mit dem Objekt bzw. dessen Teile verknüpft sein.

Die Lebenslaufakte und die Verwaltungsschale für Industrie 4.0-Komponenten verfolgen grundlegend dieselben Ziele und teilen sich eine breite normative Basis. Daher ist die Lebenslaufakte geeignet, als Teilmodell der Verwaltungsschale in die Normungsarbeiten zur Industrie 4.0 einzufließen. Das Modell der Lebenslaufakte geht über das bereits veröffentlichte Verwaltungsschalenteilmodell zur [VDI 2770](#) weit hinaus. Fragen zur Integration des betrieblichen Kontextes und des Anlagenkontextes sind noch zu diskutieren.

Neben der Integration und Aggregation von Informationen stellt die digitale Lebenslaufakte die langfristige Verfügbarkeit dieser Daten sicher. Die Datenintegration muss so robust sein, dass die Anforderungen an die Langzeitspeicherung der Informationen gewährleistet ist.

Bei den Arbeiten zur Lebenslaufakte steht der Mensch mit seinen individuellen Informations- und Entscheidungsbedürfnissen im Mittelpunkt. Sichten auf Lebenslaufakten und den darin enthaltenen Informationen sind hierfür von besonderer Bedeutung. Sichten helfen den Menschen aber auch bei der Bewertung der Informationen mit Bezug auf ihren rollenspezifischen Kontext und unterstützen durch die Anbindung von Hintergrundwissen die Einleitung notwendiger Maßnahmen. Diese erweiterten Betrachtungsweisen sollten auf Industrie 4.0-Komponenten und deren Verwaltungsschalen übertragen werden [siehe [HE 2.3-13](#)]. Demnach hilft die digitale Lebenslaufakte den Akteuren, Informationen und (automatisiert getroffene) Entscheidungen zusammengefasst zu bewerten und bei Bedarf zu korrigieren. Die Struktur der Lebenslaufakte stellt dabei eine durchgängige Nachvollziehbarkeit sicher.

Wartbarkeit (Maintainability)

Eine wichtige Eigenschaft eines technischen Systems ist wie gut seine Instandhaltung ermöglicht und unterstützt wird. Dies bezeichnet man als „Wartbarkeit“ (engl. maintainability). Die hieraus resultierenden Anforderungen, wie die Möglichkeit zur Fehlerdiagnose und zur vorbeugenden Wartung, die Austauschbarkeit von Komponenten, Modularität usw. sind bereits bei der Planung und Konzeption von technischen Systemen zu beachten.

Grundsätzliche Aspekte der Wartbarkeit sind bereits in der [DIN EN 60300-3-10:2015-01](#) beschrieben. Insbesondere aus der vertikalen und horizontalen Integration von Systemen ergeben sich in der Industrie 4.0 neue Möglichkeiten, die eine Ergänzung dieser Aspekte erfordern. Ein gemeinsames Verständnis aller Beteiligten im Instandhaltungsprozess von Industrie 4.0-Anlagen soll durch weitere Grundlagennormen zur Instandhaltung gefördert werden. Im europäischen Gremium CEN/TC 319 „Maintenance“ wird derzeit in verschiedenen Working Groups u. a. an Normen zum „Maintenance Management“ und zum „Maintenance Engineering“ gearbeitet. Mit diesen Normen sollen grundsätzliche Aufgaben, Rollenverständnisse und Methoden im Instandhaltungsprozess von Industrie 4.0-Anlagen konkretisiert und standardisiert werden [siehe [HE 2.3-14](#)].

Ein weiterer Aspekt zur Wartbarkeit von Industrie 4.0-Systemen ist die Berücksichtigung der unterschiedlichen Lebenszyklen der jeweiligen Teilsysteme. Die Obsoleszenz (Veralten) eines Teilsystems darf nicht zur Obsoleszenz des integrierten Gesamtsystems führen, da sonst die Instandhaltbarkeit des Gesamtsystems nicht mehr gegeben ist.

Normen für Industrie 4.0-Systeme sind folglich auch unter diesem Aspekt zu verfassen [siehe HE 2.3-19].

Die [DIN EN 62402-09](#) legt Anforderungen an das Obsoleszenz-Management von Objekten fest und behandelt alle Arten von Objekten, deren Verfügbarkeit während des Produktlebenszyklus enden kann. Bereits bei der Konzeption und Entwicklung von Anlagen und Produkten der Industrie 4.0 sind derartige Anforderungen des Obsoleszenz-Managements mit zu berücksichtigen [siehe HE 2.3-17].

Die Instandhaltung von Industrie 4.0-Anlagen wird grundsätzlich von einem intensiven Zusammenspiel unterschiedlicher Service-Provider für die Instandhaltung (Hersteller, Betreiber, Industrieservice) gekennzeichnet sein [siehe **Abbildung 17**].

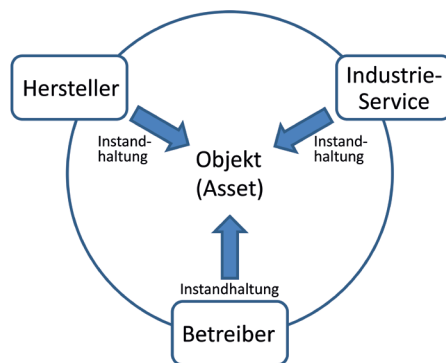


Abbildung 17: Zusammenspiel unterschiedlicher Service-Provider für die Instandhaltung (Hersteller, Betreiber, Industrieservice)

Grundlage für dieses Zusammenspiel ist eine gemeinsame „Sprache“ der jeweiligen Komponenten und Akteure. Eine solche gemeinsame „Sprache“ basiert u. a. auf einem einheitlichen Begriffsverständnis sowie abgestimmter Prozesse für die Instandhaltung. Objektneutrale Grundlagennormen zur Instandhaltung liefern die Basis für fach- oder branchenspezifische Normen in Instandhaltungs-Aspekten. Dabei ist mit der [DIN EN 13306: 2018-02](#) eine einheitliche Definition der Grundbegriffe für alle Arten der Instandhaltung und des Instandhaltungsmanagements formuliert worden, unabhängig von der Art der betrachteten Objekte und der Instandhaltungsakteure [siehe HE 2.3-15].

Die wesentlichen Prozesse einer übergreifenden Instandhaltungsorganisation mit ihren wechselseitigen Beziehungen sind detailliert in der [DIN EN 17007](#) beschrieben, womit für ein einheitliches Prozessverständnis aller Akteure in der Instandhaltung gesorgt ist [siehe HE 2.3-16].

Das Rollenverständnis und damit auch die Schlüsselposition der Instandhaltung im Lebenszyklus einer Industrie 4.0-Anlage zeigt die [DIN EN 16646](#) zur Instandhaltung innerhalb des Asset Management auf.

Reaktive und periodisch-vorbeugende Instandhaltungsstrategien werden künftig mehr und mehr durch vorausschauende Strategien der „Predictive Maintenance“ abgelöst. Intelligente und vernetzte Industrie 4.0-Anlagen erkennen zukünftig einen Großteil ihrer

möglichen Störungen noch bevor sie auftreten. Basis hierfür bilden die Technologien des Condition Monitoring, bei denen möglichst umfassend Daten einer Anlage mittels entsprechender Sensorik erfasst und ausgewertet werden. Normative Grundlage für das Condition Monitoring bildet die [ISO 13374](#) zur Zustands-Überwachung und -Diagnostik von Maschinen bei Verarbeitung, Austausch und Darstellung von Daten. Ferner beschreibt die [ISO 13381](#) die Grundlagen zur Prognose im Rahmen der Zustands-Überwachung und -Diagnostik von Maschinen.

Einen weiteren aktuellen Standardisierungsschwerpunkt stellen die Dokumentation und der Austausch von instandhaltungsrelevanten Daten und Informationen über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage dar, sodass diese Daten und Informationen auch unternehmensübergreifend zur Verfügung stehen und genutzt werden können (siehe Abschnitt System-Lebenszyklus weiter oben in diesem Kapitel).

Der im Fach- und Berufsverband für Technische Kommunikation tekom entwickelte Standard [iIRDS](#) (intelligent information Request and Delivery Standard) ermöglicht die Bereitstellung intelligenter wartungsrelevanter Information unabhängig von Branchen und Herstellern. Hersteller können Kunden die benötigten Nutzungsinformationen auf standardisierte Weise bereitstellen, Kunden wiederum können Informationen diverser Hersteller standardisiert in ihre Systeme integrieren. Erreicht wird dies durch die zugrundeliegenden standardisierten Metadaten, die Inhalte semantisch erschließbar machen.

Ein Ziel des 2018 gegründeten iIRDS-Konsortiums ist die Spezifikation von standardisierten Mechanismen und eines standardisierten Vokabulars, die es im Kontext von Industrie 4.0 ermöglichen, situationsbezogene kontext-spezifische Information für die im Produktlebenszyklus vorkommenden Fälle zu erzeugen. Als Empfänger werden dabei zwar oft nur Menschen genannt, die Mechanismen sind aber auch zur Information zwischen Maschinen erforderlich. Dabei sollen u. a. folgende Funktionen Industrie 4.0-konform erfüllt werden [32]:

- sich dynamisch an Benutzer und Anwendungskontext anpassen
- zielgerichtete Informationen für alle Lebenszyklusphasen liefern, von der Spezifikation bis zur Wartung
- zum ausgelieferten System passen, auch nach Konfigurationsänderungen und Updates
- Assistenz- und Sensorinformationen sowie Betriebsparameter dynamisch integrieren
- vielfältige Such- und Filterfunktionen unterstützen.

Die Metadaten des iIRDS bilden damit ein standardisiertes *Vokabular* für die technische Dokumentation ab [siehe [HE 2.3-18](#)]. Das iIRDS-Konsortium kooperiert derzeit mit dem Richtlinienausschuss des [VDI 2770](#) „Digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie“, um die Kompatibilität der Standards zueinander zu sichern [siehe [HE 2.3-19](#)].

Predictive Maintenance ist ein anderer aktueller Standardisierungsschwerpunkt zur Maintainability. Im Rahmen der Deutsch-Chinesischen Kommission Normung (DCKN) wurde im Jahr 2019 ein Update der „[Standardisation Roadmap of Predictive Maintenance for Sino-German Industrie 4.0](#)“ erarbeitet, in der die Grundzüge zur Standardisierung der Predictive Maintenance aufgezeigt werden. Zentrale Inhalte sind in das Projekt IEC 63270 ED1 „Industrial automation equipment and systems – Predictive maintenance“ bei IEC/SC 65E eingeflossen [siehe [HE 2.3-20](#)].

Auch beim Thema Predictive Maintenance ist zu beachten, wie die Handlungen menschlicher Akteure in einem solchen System Berücksichtigung finden. So ist es im Falle der Zustandsüberwachung von Anlagen grundsätzlich wichtig, dass Verhaltensänderungen der Anlage auf die jeweilige Ursache zurückgeführt werden können. Dafür müssen auch manuelle Einwirkungen wie Ölwechsel, dem System so aktuell wie möglich mitgeteilt werden. Die in den letzten Monaten entwickelte Richtlinie [VDI/VDE 3711](#) Blatt 1 zur „Eingabe und Übertragung von Instandhaltungsinformationen für das Condition Monitoring – Digitalisierung von Offline-Informationen“ standardisiert die Schnittstelle zwischen menschlichen Akteuren und Condition-Monitoring-Systemen und muss auch in Ansätzen der Predictive Maintenance berücksichtigt werden. Der Anwendungsbereich der VDI/VDE 3711 Blatt 1 erstreckt sich von den Systemherstellern von Zustandsüberwachungssoftware und Datenanalysetools über die Anlagenhersteller bis zum Kunden/Anwender. Für die angestrebte Internationalisierung der VDI/VDE 3711 Blatt 1 wird derzeit geprüft, sie über DKE/K 931 „Systemaspekte der Automatisierung“ bei der IEC als Projektvorschlag einzureichen [siehe [HE 2.3-21](#)].

Validierung und Test

Formale Beschreibungsmethoden dienen zur Effizienzsteigerung und zur Beachtung von ökonomischen Prinzipien bei der Erstellung von Standards, Testspezifikationen und -methoden. ETSI TC MTS hat die Testsprache ‚TTCN-3‘ u. a. mit objektorientierten Features, Conformance Test Sites, Test Description Language (TDL), zur Test Purpose Language (TPLan) weiterentwickelt. Testprozeduren werden definiert und klassifiziert als ‚Conformance‘, ‚Interoperability‘, ‚Security‘ und ‚Performance‘ (CISP) Tests. Damit steht ein operatives Rüstzeug (Testing Plattform) für die Varianten CISP Testing zur Verfügung. CISP stellt auch nachprüfbare Eigenschaften (Morphismen) dar, wie im weiter oben definierten semiotischen Zusammenhang bereits dargestellt. Für jeden CISP Morphismus können Testprozeduren geschrieben werden, die an der Industrie 4.0-Komponente sowohl in der Informationswelt (siehe [Kapitel 2](#)), als auch in der physischen Welt (Asset), angewendet werden können.

Die CISP-Tests finden im besten Fall viele Fehler, die korrigiert werden können; erfolgreiche Tests sind aber kein Beleg für die Abwesenheit von Fehlern, was der Verifikation mit formalen Methoden vorbehalten ist. Im Prinzip ist Testing eine Form der Validierung, weil unter bestimmten Annahmen und Voraussetzungen, eine Reihe von Tests durchgeführt werden können, mit welchen man die Annahmen als falsch oder richtig prüfen, also validieren, kann. Validierung geht genauso gut, wenn nicht besser, mit einem semantischen Werkzeug zur Simulation von Modellen.

Das Technische Komitee TC ‚Methods for Testing and Specification – Testing Working Group (MTS – TST WG) in ETSI, entwickelt Richtlinien, Testkataloge und Testspezifikationen für IC-Technologien [33]. Dabei nutzt die Arbeitsgruppe TST die Erkenntnisse aus bereits im Einsatz befindlichen Testentwicklungssprachen und -methoden [siehe [HE 2.3-22](#)].

Es wird die jüngste technologische Entwicklung im IoT Anwendungsbereich berücksichtigt, indem man auf Basis des Network Layers, Testprozeduren für Kommunikationsprotokolle, für die Evaluierung der Konnektivität zwischen verbundenen Systemen (Knoten), für IT-Sicherheit und Performanz schreibt und empfiehlt. Derzeit werden insbesondere Testspezifikationen und Empfehlungen für MQTT, CoAP, LoRaWAN sowie ein Katalog für Security

Testziele eines von IEC 62443 abgeleiteten Profils erstellt. Die aktuelle Entwicklung und der Status ist einsehbar in ETSI Portal unter [34].

ETSI MTS/TST hat Verbindungen zu weiteren Normungs- und Standardisierungsorganisationen wie ETSI TC SmartM2M, oneM2M, AIOTI, IETF, ISO/IEC JTC1/WG10, ISA, OASIS, OPC Foundation, OMA, Eclipse etc. Darüber hinaus arbeitet das TC MTS/TST sehr eng mit dem ETSI Centre for Testing and Interoperability (CTI) [35] zusammen. CTI unterstützt u. a. die Testentwicklungen von oneM2M und für Intelligent Transport Systeme (ITS).

Umweltsimulation/Produktqualifikation

Die Umweltsimulation ist eine ingenieurwissenschaftliche Disziplin, die breit und interdisziplinär angelegt ist. Sie ist ein wesentliches Werkzeug zur Verbesserung und Bewertung der Qualität von Produkten und kann als Baustein im Produktentwicklungsprozess wesentlich zur Ressourceneffizienz und zur Nachhaltigkeit eines Produkts in den einzelnen Lebensabschnitten (Life Cycle Engineering) beitragen. Sie umfasst die Teilschritte:

- Messen und Bewerten von Umwelteinflüssen,
- Simulieren der Umwelteinwirkungen unter kontrollierten Randbedingungen, sowohl im Labor wie auch virtuell,
- Beurteilen der Wirkungen der Umwelt auf ein Objekt,
- Beurteilung der Wirkungen eines Objekts auf die Umwelt.

Der Ablauf und die Anforderungen an die Methodik einer Produktprüfung, sind z. B. in der [DIN EN 60068-2](#) definiert und dargelegt.

Die Umweltsimulation ist ein systematisches Werkzeug zur Technologie wie auch zur Methodik, um Daten zu erfassen und auszuwerten, bezogen auf die Funktionalität und die Lebensdauer von Produkten unter Berücksichtigung aller relevanten Umwelteinflüsse. Durchgeführt wird die Umweltsimulation von der Gesellschaft für Umweltsimulation GUS e.V. [26].

In einem auf Initiative der Gesellschaft für Umweltsimulation entstandenen Forschungsprojekt wurde gezeigt, dass es möglich ist, die Lebensdauer von Produkten in Abhängigkeit der Umwelteinflüsse numerisch zu untersuchen und vorhersagen zu können. Zwei Dinge sind dazu notwendig: zum einen müssen die Umwelteinflüsse digital erfasst werden, was in weiten Teilen möglich ist, da diese meist physikalischer oder chemischer Natur sind. Zum anderen muss die Wirkung dieser Einflüsse auf die Produkte, bzw. direkt auf die ihnen zugrunde liegenden Materialien erfasst, quantifiziert und in eine digital greifbare Form gebracht werden. Das Erfassen und Quantifizieren ist bereits Gegenstand der Umweltsimulation mit ausgereifter Methodik und Erfahrung. Die Herausforderung der Produktqualifikation in der Industrie 4.0 ist, die Wirkung der Umwelt so in eine digitale Form zu bringen, dass sie in bereits existierende Simulationsverfahren integriert werden kann, um so ein umfassendes digitales Abbild von Umweltwirkungen in der Verwaltungsschale schaffen zu können.

Umweltsensorik und Umweltdaten

Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz gehören zu den Leitlinien 2030 der Industrie 4.0 [1]. Um die Einflüsse der Umwelt auf eine industrielle Produktion oder auf Materialien oder Güter in einer Logistikkette zu untersuchen oder umgekehrt, die Auswirkungen der industriellen Produktion auf die Umwelt, ist der Einsatz von passender Umweltsensorik

(z. B. Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Emissionen, UV-Strahlung, multispektrale Bilder) notwendig. Derartige Umweltsensoren liefern Umweltsensordaten zumeist mit Zeit- und Ortsbezug, die in Zeitreihen und Karten (auch kombiniert) dargestellt werden können. Diese werden dann mit den Produktions- und Qualitätsinspektionsdaten aus der industriellen Produktion und Logistik fusioniert.

Der Fokus eines weiteren Forschungsvorhabens zu Umweltdaten in Industrie 4.0 des Umweltbundesamts (UBA) liegt auf den Daten von Industriebetrieben und den eng damit verknüpften Prozessen. Umweltdaten werden systematisiert und auf ihre Verfügbarkeit sowie Datenformate hin überprüft. Hindernisse werden in Bezug auf die vollständige Interoperabilität und Nachverfolgbarkeit identifiziert und Lösungsansätze in der betrieblichen Praxis getestet. Als Projektergebnisse werden neben Handlungsempfehlungen für die Politik und die praktische Umsetzung in Unternehmen auch konkrete Empfehlungen für die Standardisierung und Normung für 2021 erwartet. Die Handlungsempfehlungen der [Normungsroadmap Industrie 4.0 Version 3](#) werden mit diesem Projekt adressiert, weiterentwickelt und konkretisiert.

Hier steht die Normung vor der herausfordernden Frage der richtigen Prozessempfehlung, d. h. wie sie für Industrie 4.0-Systeme interoperabel gestaltet werden können.

Industrial Cloud Platforms

Im Bereich „Industrielle Cloud-Plattformen“ setzt Industrie 4.0 auf standardisierte IT-Landschaften und unterstützt die Vernetzung von Industrie 4.0-Komponenten sowohl im Unternehmen (vertikale Integration) als auch über die Unternehmensgrenzen hinweg (horizontale Integration). Vor diesem Hintergrund setzen sich immer mehr Unternehmen zum Ziel, ihre bestehenden technischen Systeme durch cloud-fähige Lösungen zu ersetzen und damit neue IT-Architekturen im Unternehmen einzuführen.

Die vertikale Integration wird durch das Zusammenspiel diverser Prozesse in Abhängigkeit unterschiedlicher Unternehmensebenen, wie in der Automatisierungspyramide (siehe **Abbildung 18**) dargestellt. Industrie 4.0 fordert die Auflösung solcher unbeweglichen Hierarchien, die über die letzten Jahrzehnte historisch gewachsen sind. Dies geschieht mit dem großen Ziel im Hintergrund, eine durchgehende Vernetzung aller Produktionssysteme, -prozesse und -services in einem Unternehmen, von der Feldebene bis zur Unternehmensebene hinweg, zu erreichen. Dabei dürften in Zukunft Cloud-Plattformen eine entscheidende Rolle spielen, da diese die nötigen Werkzeuge zur Verfügung stellen, um eine schnelle Migration zu flexiblen IT-Architekturen umzusetzen.

Die Migration der bisherigen server-orientierten Lösungen hin zu Cloud-Lösungen erfordert, dass in der Cloud Anwendungsprogramme ablaufen, die bislang in speicherprogrammierten Steuerungen „vor Ort“ abgelaufen sind. Hierzu müssen auf die Ablaufplattform der Cloud abgestimmte Backend-Prozesse mit „Realtime-Anforderungen“, Speicher und Schnittstellen entwickelt werden. Dabei müssen die im industriellen Umfeld vorhandenen Bedingungen erfüllt werden. An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass die Standardisierung der oben genannten Konzepte über die letzten Jahre hinweg eine sehr gute praktische Unterstützung genießt, sowohl von den nationalen, europäischen, als auch internationalen SDOs, Industrieverbänden und Forschungsprojekten, welche eine Praxisumgebung für die entwickelten Standards zur Verfügung gestellt haben (wie z. B. LNI 4.0)

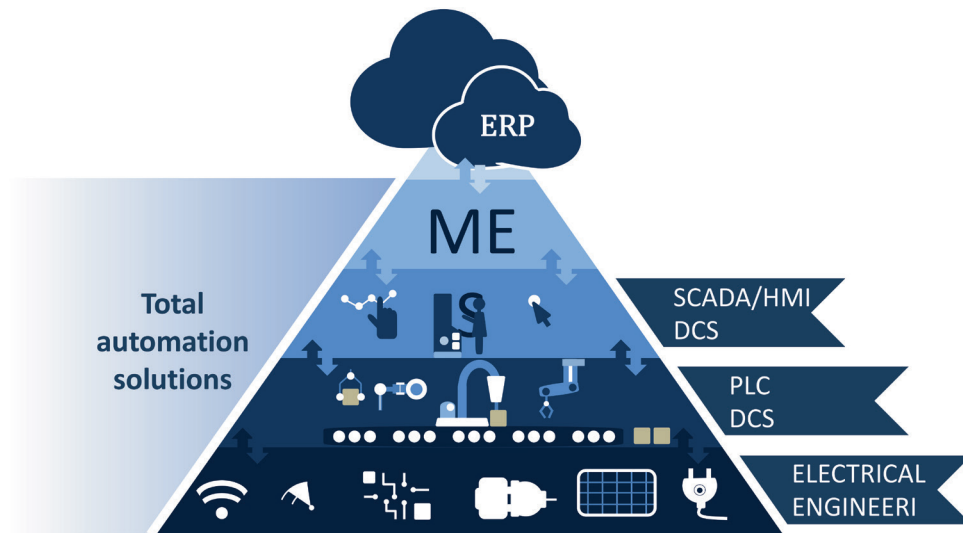


Abbildung 18: Automationspyramide

Industrielle Cloud-Plattformen werden bereits aktiv in der Produktion eingesetzt [36]. Sie können auf mehreren Technologien und Konzepten aufbauen und mehrere Standards in sich vereinen (Cloud Computing, Edge Computing, IoT, Security etc.). Möchte ein Hersteller seine Produkte vernetzen und digitale Services anbieten bzw. nutzen, kann er derzeit aus mehr als 500 kommerziellen Angeboten wählen. Unternehmen brauchen eine dynamische, flexible und standardisierte Cloud-IT-Infrastruktur, um schneller zu sein als der Wettbewerb. Denn wenn Unternehmen Standardtechnologien und -prozesse in ihre IT-Architektur integrieren, haben sie mehrere Vorteile, wie etwa schnellere Bereitstellung von IT-Systemen und Anwendungen, Kompatibilität durch die Nutzung bewährter Standards und Reduzierung von Fehlern.

In Industrie 4.0 sollten Cloud-IT-Architekturen eines Unternehmens auf Normen und Referenzarchitekturmodelle aufsetzen (z.B. [RAMI 4.0](#), [IDSA-RAM](#), [IIRA](#)). Abhängig von den jeweiligen Anforderungen an die IT-Architektur und von dem Framework, auf die das Unternehmen seine Geschäftsmodelle aufsetzt, sollen gezielt passende Normen eingesetzt werden.

Geeignete Interoperabilitätsnormen sollen den Datenaustausch effizient unterstützen und eine nahtlose Integration zwischen den Komponenten ermöglichen. Dafür müssen IKT- und OT-Technologien weitgehend harmonisiert werden. Hier entsteht aktuell ein Bedarf an ein offenes und verteiltes sowie echtzeitfähiges und sicheres Betriebssystem für die Produktion, das die genannten Technologien auf Grundlage von Standards zusammenführt, wie in [38] gezeigt wird. Dabei soll ein offener IT-Backbone, mit standardisierten Schnittstellen für die wandlungsfähige Automatisierung der Fabrik der Zukunft als Grundlage für ein Ökosystem, u. a. für datengetriebene Dienste für Künstliche Intelligenz bilden. Hierzu kann eine flexible und erweiterbare Architektur für zukünftige Anforderungen von Cloud, über Edge, bis auf den Shopfloor in die Maschine für Echtzeitanwendungen ermöglicht, genormt werden [siehe [HE 2.3-23](#)].

2.3.2 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

2.3-1 Verwaltungsschalenkonzept durchgehend verwenden und 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 Verwaltungsschalenkonzept erreicht, wenn die Verwaltungsschalen bzw. deren generische Teilmodelle sowie deren Kommunikation zwischen Industrie 4.0-Komponenten in Normen festgelegt sind (siehe **Kapitel 1**). Es wird empfohlen, die Aktivitäten der [IEC/TC65 WG 24 IEC 63278-1 ED1 Asset administration shell for industrial applications – Part 1: Administration shell structure](#) zu unterstützen und voranzutreiben.

2.3-2 Internationalisierung weiterer Teile der Normenreihe zur Verwaltungsschale

Es wird vorgeschlagen, sich national hinsichtlich der Vorgehensweise zur weiteren Struktur der Normenreihe an den Arbeiten der Plattform Industrie 4.0/AG 1 zu orientieren. In diesem Zusammenhang wird auf die Abstimmung mit den Aktivitäten der IEC/TC65/JWG 21 TF 8 „Digital Twin and Asset Administration Shell“ sowie IEC/TC 65/WG 24 hingewiesen. Eine Ausarbeitung der digitalen Lebenslaufakte gemäß der Ausarbeitungen der DIN 77005-1 wird nachfolgend in **HE 2.3-15** aufgegriffen.

2.3-3 Digitale Fabrik

Prüfung der Konsistenz von [IEC TS 62832-1](#) und Verwaltungsschale [IEC 63278-1 ED1 Asset administration shell for industrial applications – Part 1: Administration shell structure](#) sowie der weiteren geplanten Teile der Norm mit den Normungsaktivitäten zur Verwaltungsschale in der IEC/TC65/WG 24.

Eigenschaften und Merkmale

2.3-4 Vorhandene Feldbusprofile, Companion Specification und andere Spezifikationen, die Geräte- und Komponenteneigenschaften definieren sollten in standardisierte Dictionaries, wie z. B. eCl@ss und IEC CDD überführt werden. Außerdem sollen sie in einer geeigneten semantischen Weise (z. B. Graphisch/Algebraisch) darstellbar sein.

2.3-5 Eigenschaften von konzeptionellen Assets, wie z. B. Planungsunterlagen sollten in standardisierte Dictionaries wie IEC SC 3D aufgenommen werden, z. B. die Festlegungen in der **VDI 2770**. Zusätzlich sollen Planungsunterlagen zwischen Mensch und Maschine/Industrie 4.0-Komponente kommunizierbar sein.

2.3-6 Es müssen Voraussetzungen geschaffen werden, dass neben den Stammdaten auch Parameter und Zustandsvariablen in standardisierte Dictionaries aufgenommen werden können, was ebenso für die Nutzung semantischer Methoden gilt, die sich auf die Darstellung und Analyse von Eigenschaften beziehen.

2.3-7 Erweiterte Instanz bezogene Attribute müssen durch Standards abgedeckt werden. Dazu ist z. B. eine Überführung der **DIN SPEC 92000** in die Serie **IEC 61360** geeignet.

2.3-8 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/Pflicht-Merkmale und Basis/Pflicht-Funktionen geben muss, die über individuelle Merkmale und Funktionen durch einen Industrie 4.0-Partner erweitert werden können. Dies bedeutet, dass zum Beispiel bei Energiebetrachtungen für verschiedene Assets gleiche verpflichtende Merkmale und Funktionen vorliegen müssen, sodass man zum Beispiel für alle Komponenten einer Anlage oder Anlagen eines Werkes diese einfach konsolidieren oder gleich ansteuern kann. Spezifische Ergänzungen bleiben möglich.

2.3-9 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.

2.3-10 Eine standardisierte Struktur mit grundlegenden, essenziellen Basis- sowie Kontextinformationen sollte allen Daten, die in Industrie 4.0-Systeme integriert werden, beige-fügt sein und klare Mindestanforderungen für die Integration enthalten. Die Festlegung der Struktur und Mindestanforderungen sollte genormt werden. Die notwendige, systematische Verknüpfung mit den Modellen ist dabei zu bedenken.

Die folgenden Informationen sollten Inhalte eines „Daten-Steckbriefs“ sein, welcher in standardisierter Form zu Daten, die ins System integriert werden, „mitgeliefert“ wird. Der „Daten-Steckbrief“ kann als Teilmodell der Verwaltungsschale ausgestaltet werden.

- Möglichst genaue Beschreibung des Informationsgehalts der Daten, Angaben zur Präzision der Daten, Angabe der Einheiten, Zeiträume etc. in denen die jeweiligen numerischen Werte standardmäßig dargestellt werden (z. B. Kilogramm, EURO, pro Jahr)
- Möglichst genaue Beschreibung wie der numerische Wert ermittelt wurde und wie viele Einzeldaten diesem zugrunde liegen, Beschreibung (Eigenschaften und Merkmale) der Messtechnik, Erfassungs- und Berechnungsverfahren, die dabei angewendet wurden
- Dokumentation des geografischen Standorts der Datenquelle mit genauer Position und Angabe der Zeit z. B. in einem Produktionsprozess
- Dokumentation der Rechtsbereiche, die von den Daten tangiert werden (z. B. Produkt-, Umwelt-, Abfallrecht) mit konkreten Rechts- und Verwaltungsvorschriften auf nationaler, EU- und internationaler Ebene, die mit diesen Daten direkt in Verbindung stehen (z. B. EU Industrieemissionsrichtlinie, REACH, UN-Klimaabkommen)
- Festlegung definierter, rechtlich verankerter Zugriffsrechte für diejenigen, die ein berechtigtes Interesse an den Daten haben (z. B. Staat, Behörde, Unternehmen, Hersteller, Konsument)
- Dokumentation des Eigentümers der Daten, gleichzeitig oder zusätzlich Ansprechpartner für weitergehende Informationen zu den Daten.

Digitales Typenschild

2.3-11 Die Ansätze für ein Digitales Typenschild gemäß [DIN SPEC 91406](#) (nach dem PAS-Verfahren) und der [VDE V 0170-100](#) sind fortzuführen und in geeigneter Form international umzusetzen.

2.3-12 Anpassungen in allen Anwendungsnormen zur maschinenlesbaren Kennzeichnung in Anlehnung an **DIN VDE V 0170-100** und unter Verwendung von **DIN SPEC 91406**

System-Lebenszyklus, Lebenslaufakte

2.3-13 Das Modell zur digitalen Lebenslaufakte basierend auf der DIN 77005-1 ist als Teilmodell der AAS (Asset Administration Shell, Verwaltungsschale) zu betrachten. Mit der seit Ende 2018 verfügbaren Spezifikation des Metamodells der AAS liegen die notwendigen Grundlagen hierfür vor. Es wird empfohlen, das Teilmodell zur Lebenslaufakte weiter auszuarbeiten und in die internationalen Normungsarbeiten zur Verwaltungsschale in IEC/TC65 WG 24 einfließen zu lassen. (siehe **HE 2.3-1**, **HE 2.3-2**)

Wartbarkeit

2.3-14 Beachtung der Instandhaltungsaspekte sowohl aus Hersteller- wie auch aus Sicht des Betreiber- bzw. Nutzers-, auch und insbesondere bezüglich Normen zu Predictive Maintenance

2.3-15 Verwendung der einheitlichen Terminologie zur Instandhaltung gemäß **DIN EN 13306:2018-02** in allen Normen mit Instandhaltungsaspekten

2.3-16 Berücksichtigung abgestimmter Prozessschnittstellen gemäß **DIN EN 17007:2018** in allen Normen mit Prozessfestlegungen zur Instandhaltung

2.3-17 Bewertung sämtlicher Festlegungen zu Industrie 4.0-Lösungen unter dem Aspekt der Beherrschbarkeit möglicher Obsoleszenz-Risiken gemäß **DIN EN 62402-09**

2.3-18 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

2.3-19 Prüfung einer Internationalisierung der **VDI 2770 Blatt 1** zu Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen

2.3-20 Aktive Mitarbeit deutscher Experten im Normungsprojekt IEC 63270 ED1 „Industrial Automation Equipment and Systems – Predictive maintenance“ unter chinesischer Koordination

2.3-21 Internationalisierung der **VDI/VDE 3711 Blatt 1** „Eingabe und Übertragung von Instandhaltungsinformationen für das Condition Monitoring – Digitalisierung von Offline-Informationen“. Eine rechtzeitige Prüfung der Internationalisierungsbestrebungen ist durch das nationale Spiegelgremium DKE/K 931 durchzuführen.

Validierung und Test

2.3-22 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.

Industrielle Cloud-Plattformen

2.3-23 Offenes, verteiltes, echtzeitfähiges und sicheres Betriebssystem

Standardisierungsaktivitäten für eine flexible und erweiterbare Architektur für zukünftige Anforderungen von kognitiven Diensten, Echtzeitanwendungen und Datenmarktplätzen 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.

2.4 Interoperabilität

2.4.1 Status und Fortschritte seit Version 3

Bei einer vernetzten Produktion müssen sich alle Akteure eines dynamischen und offenen Ökosystems über die zu verfolgenden Ziele und die entsprechenden Begrifflichkeiten im gegenseitigen Informations- und Wissensaustausch untereinander einigen. Solche komplexen, dezentral organisierten Strukturen müssen so aufgebaut sein, dass sie den Bedürfnissen einer Industrie 4.0-konformen Kommunikation entsprechen und letztendlich eine nahtlose Zusammenarbeit [74] zwischen allen beteiligten Akteuren ermöglichen [75] – dies wird als Interoperabilität bezeichnet. Als Beispiel sei hier der **Anwendungsfall 2** in **Kapitel 1.4.1** genannt.

Hier tauschen diverse Werkzeugmaschinen Informationen über ihre jeweils aktuellen Produktionsfähigkeiten, die in den Kontexten von Industrie 4.0-Fertigungsverbünden und Fertigungsaufträgen zu bewerten sind, aus. Dabei müssen komplexe Informationen aus verschiedenen (Teil-)Systemen einer Werkzeugmaschine bereitgestellt, verarbeitet und interpretiert werden. Die Interaktionen zwischen den Verwaltungsschalen der beteiligten (Teil-)Systemen (bzw. I 4.0-Komponenten) orchestrieren das Industrie 4.0-System zur Umsetzung der Wertschöpfungsketten [76] eines Ökosystems. Dafür benötigen die Verwaltungsschalen eine gemeinsame Sprache, um ein hohes Maß an Interoperabilität bei der Speicherung, dem Austausch und der Verarbeitung von Informationen in so einem technischen System auf der Informationsebene herzustellen.

Auf der Grundlage der **IEC PAS 63088** und der Struktur der Verwaltungsschale wurde diese gemeinsame Sprache anhand von Interaktionsmustern, die aus semantisch wohldefinierten Nachrichten bestehen, entwickelt und in den Richtlinien **VDI/VDE 2193 Teil 1 und 2** definiert [siehe **HE 2.4-5**].

Für die strukturierte Darstellung der Entstehung von Wissen kann die Wissenspyramide nach Fuchs-Kittowski (siehe **Abbildung 19**) als grundlegendes Paradigma herangezogen werden. Das System kann in der Zusammenarbeit nicht nur Daten (Syntax) als Rohmaterial bieten und verarbeiten, sondern auch Informationen und Wissen. Dafür ist es wichtig, Bedeutungen und Kontextinformationen bereitzustellen.

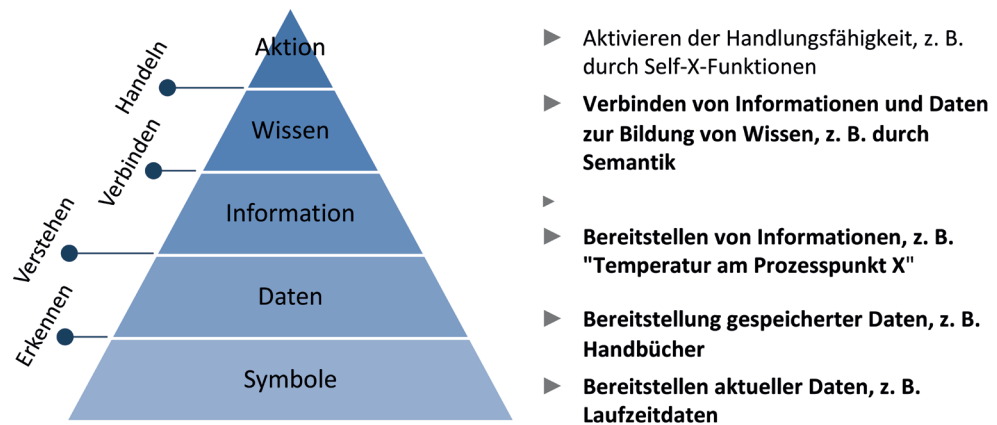


Abbildung 19: Wissenspyramide nach Fuchs-Kittowski (Quelle: nach [19]).

Die auszutauschenden Daten müssen bei der Maschine-zu-Maschine-Kommunikation und Maschine-zu-Mensch-Kommunikation für alle kommunizierenden Partner die gleiche Bedeutung haben. Dies wird erreicht, wenn

- (1) ein gemeinsames Vokabular verwendet wird (Merkmalmodell),
- (2) der Kontext bekannt ist, in dem die einzelnen Vokabeln verwendet werden (Informationsmodelle),
- (3) vereinbarte Bildungsregeln für Sätze für den Nachrichtenaustausch (Bildungsregeln für Nachrichten) eingehalten werden und
- (4) die Folge des Austausches der Vokabeln bzw. der Sätze in der beabsichtigten Art und Weise interpretiert werden (Interaktionsmodelle) [77].

Aus der Vernetzung von Informationen (Semantik) kann dann Wissen (Pragmatik) entstehen, aus dem automatisiert und kontinuierlich optimierend Aktionen (Handlung oder Entscheidung) abgeleitet werden. Wie die Informationen mit logischen Relationen verknüpft sind, wird durch Ontologien festgelegt. Diese sollen explizit die formale Entstehung einzelner Begriffe spezifizieren, um so Wissen im jeweiligen Kontext abzubilden.

Interoperabilität ist die Schlüsselkomponente für eine reibungslose Kommunikation und eine nahtlose Integration zwischen den Akteuren und spielt daher eine besondere Rolle bei der Normung, wie im Folgenden ausführlich erläutert wird [74, 75].

Datenmodelle

Daten werden in Datenbanksystemen gespeichert, die vor allem anhand des eingesetzten Datenmodells klassifiziert werden. Während Daten Objekte sind, entsteht ‚Information‘ durch Beobachtung und ist daher eng mit dem Begriff des ‚Ereignisses‘ verknüpft. Ein Ereignis ist z. B. der Wurf einer Münze mit den möglichen Ergebnissen ‚Kopf‘ oder ‚Zahl‘. Aus der, aus dem Wurf sich zufällig ergebenden Lage der Münze erhält man also die Information ‚K ODER Z‘, wobei ‚K‘, ‚Z‘ Repräsentationen, d. h. Datenelemente aus dem Alphabet des Münzwurfs sind. In der Nachrichtentechnik sind ‚K‘ und ‚Z‘ Nachrichten, die für die Kommunikation zwischen einem Sender (die Münze) und einem Empfänger (der Zuschauer) sind. Es ist also sinnvoll, zwischen Kodierung, Daten und Informationen zu unterscheiden. Dieses Prinzip der Differenzierung kann auch auf ‚höherer Ebene der Kommunikation‘ beibehalten werden. So können Daten und Informationen typisiert oder zu einem Datenmustermodell zusammengefasst werden. Datentyp- und Datenmuster-

modelle können mithilfe von Expertenwissen zur Analyse von Systemzuständen oder zur Prüfung der Interoperabilität zwischen Systemkomponenten, verwendet werden.

Semantik

Semantik ist die Lehre von der Bedeutung von Zeichen. Im semiotischen Dreieck (siehe **Abbildung 20**) wird dies dargestellt über die Beziehung zwischen der beschreibenden ontologischen Domäne und der semantischen erklärenden Domäne. In allgemeinen Worten beschäftigt sich dieses Wissensgebiet mit der Beschreibung von Worten, Zeichen (z. B. emojis, Verkehrsschilder), Zeichenketten, Sätzen und anderen Darstellungsformen von Dingen des Interesses.

Sollen Systeme mit anderen Systemen zusammenarbeiten und Informationen austauschen, müssen sie sich untereinander verstehen. Die Informationen müssen also einer einheitlichen Semantik folgen. Das gilt für Maschinen, die Produktionsaufträge selbstständig untereinander (um-)verteilen, genauso wie für Sensordaten, die aus verschiedenen Messungen zusammengeführt werden. Doch was genau ist „Semantik“ eigentlich? Die Semantik befasst sich mit der Beziehung zwischen Symbolen und ihrer Bedeutung. Ein Symbol kann ein grafisches Zeichen (z. B. Verkehrszeichen) sein oder eine alphanumerische Einheit (etwa ein Wort), die ein Ding benennt. Das Ding – der Betrachtungsgegenstand – ist dabei ein realer oder ein konzeptueller Gegenstand, der semantisch bestimmt werden soll. Beschrieben wird dieses Ding durch einen Begriff – die Definition. Durch eine Benennung (mit einem Symbol) wird das Ding identifiziert. Gleichzeitig wird die Beschreibung des Dings (der Begriff) referenziert, die erklärt, was gemeint ist. Die Beziehung zwischen Benennung, Begriff und Ding wird im sogenannten „semiotischen Dreieck“ beschrieben. Die Dinge gehören der realen Welt an. Symbole und Begriffsdefinitionen sind Bestandteile der Informationswelt.

Semantik wird also benötigt, wenn zwei oder mehrere Partner (z. B. Sender und Empfänger) Informationen austauschen. Ohne gemeinsame Semantik wären zwar Signale vorhanden, die Partner könnten aber deren Bedeutung nicht verstehen. Menschen arbeiten gemeinsam an Aufgaben. Dabei kommunizieren sie mit Worten (Symbolen). Sie verstehen sich dann, wenn sie die gleichen Begriffe (Definitionen) für die verwendeten Benennungen haben. Sie haben sich also auf eine Semantik der Dinge, über die sie sich austauschen, geeinigt.

In der Mensch-Maschine-Kommunikation stehen sich Mensch und Maschine wechselseitig als Sender und Empfänger gegenüber. Maschinen verarbeiten Daten, Menschen denken in Begriffen. Damit sie sich verstehen, muss die Semantik der Maschine mit den Begriffen des Menschen übereinstimmen. Maschinen verwenden Symbole, ohne deren Bedeutung zu verstehen. Da die Maschinen von Menschen gestaltet werden, kann den Symbolen die passende Bedeutung zugeordnet werden. Dazu muss der Entwickler bei der Programmierung der Maschinensoftware vom gleichen Begriffsverständnis wie die Nutzer ausgehen und für die Nutzer die richtigen Benennungen für die zu kommunizierenden Begriffe bereitstellen.

Die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation setzt voraus, dass beide Seiten sich sowohl syntaktisch (Zusammensetzung von elementaren Symbolen) als auch semantisch (Beschreibung der Bedeutung) verstehen. Es muss ein eindeutiges Einverständnis für die Interpretation der Daten auf beiden Seiten geben. Dieses Einverständnis wird erzielt, wenn

die Daten mit zusätzlichen Beschreibungen, zum Teil auch in Form von maschinenlesbaren Daten, angereichert werden. Aus Daten werden so Informationen.

Informationsmodelle

Im mathematisch-algebraischem Sinne ist ein Informationsmodell ein zusammengesetzter Abstrakter Datentyp (ADT) mit mehreren Grundmengen (Sorten), Variablen und Axiomen, Regeln und Funktionen zwischen den Sorten. Es repräsentiert daher die Bedeutung zusammengesetzter Daten als Abstrakter Datentyp (mathematisch: Termalgebra), wobei nur der Anteil der Bedeutung im Modell enthalten ist, der auch in die Beschreibung aufgenommen worden ist. In einem digital vorliegenden Informationsmodell mit für Menschen verständlicher textuellen Form des Modells, wäre diese nur schwer maschineninterpretierbar. Eine mathematische Form ist für beide, die Maschine und den Menschen verständlich, d. h. interpretierbar. Deshalb ist eine mathematische Form des Informationsmodells, z. B. als ADT vorzuziehen.

Die Anleitungen zur Erstellung von Informationsmodellen sind vielfältig und reichen von Glossaren und Thesauri über objektorientierte Klassifikationen (z. B. AutomationML) bis zu Modellen auf formaler Logik (z. B. Ontologien) und semantischer Darstellungen. Die Informationsmodelle bilden eine Brücke zwischen semi-formalen oder formalen Modellen und der linguistischen Repräsentation der Semantik, d. h. Morphismen im Semiotischen Dreieck (siehe **Kapitel 2**). Zum Schluss bildet die Semantik eine Basis zur Erzielung von Interoperabilität zwischen Systemen in heterogenen Kontexten.

Ein Informationsmodell ist ein Satz von Datenobjekttypen und deren Abhängigkeitsbeziehungen, die alle zusammen als ADT beschrieben, ihre mathematisch-algebraische Bedeutung definieren. Ein Informationsmodell ist dann gleich seinem semantischen Datenmodell. Es sind bereits eine Vielzahl von Informationsmodellen erstellt worden. Markante Beispiele sind Feldbusprofile (Festlegung von Parametern und Verhalten von Mess- und Stellgeräten mit industriellem Kommunikationsanschluss), OPC UA Companion Specifications, aber auch abstrakte Modelle, wie z. B. EDDL (Electronic Device Description Language) und AutomationML, die ein Beschreibungsmittel für Informationsmodelle bereitstellen. Aus Sicht der Semantik ist hier Domänenwissen in Informationsmodelle überführt worden und dies stellt damit einen wichtigen Beitrag für die Interoperabilität dar.

Ontologien

Als formales Mittel zur Herstellung von Interoperabilität zwischen Informationssystemen beschreiben **Ontologien** zentrale Entitäten und Aspekte als übergreifend zu verstehende Informationsmodelle. Daher widmen sich verschiedene Akteure der Bereitstellung von Ontologien für unterschiedliche Anwendungsbereiche und -zwecke.

Die erwähnten ‚logischen Relationen‘ einer Ontologie sind ‚entity-relationship‘-Strukturen, die wiederum als ‚Knoten-Kanten‘ Datenstrukturen in einem Graph dargestellt werden können. Andererseits werden Graphen auch für die Interoperabilität von Prozessen verwendet, sodass beides Prozess- und Datenstrukturen in der gleichen Art- und Weise, als Graph, dargestellt werden können. Die ‚logischen Relationen‘ der ontologischen Datenstrukturen bekommen so über die Dynamisierung der statischen Graphstrukturen, d. h. dem Einfügen gerichteter Kanten, eine simulationsfähige Graph-Manipulations-Semantik. Mit geeigneten Werkzeugen können sowohl Ontologien als auch Verarbeitungs-Netzwerke validiert werden [siehe **HE 2.4-2**].

Begriffe

Die **VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)** und der **VDMA** begleiten und unterstützen ihre Mitglieder auf dem Weg zu Industrie 4.0 und setzen sich bereits seit einigen Jahren für die Erarbeitung der in Industrie 4.0-relevanten Begriffe ein. So entstanden im Zusammenhang mit dem Thema Industrie 4.0 bereits viele Begriffe, z. B. Industrie 4.0-Komponente, Industrie 4.0-System oder Industrie 4.0-Plattform.

Ebenso wurden fachfremde Begriffe, die im technischen Umfeld der Automatisierung wenig genutzt worden, wie z. B. Ökosystem und Wertschöpfungsnetzwerk, im VDI-Statusreport „Industrie 4.0 Begriffe/Terms“ (April 2017) formuliert [78].

2.4.2 Laufende Entwicklungen

Aktuelle Trends in Standardisierung in Bezug auf Interoperabilität befassen sich mit weiteren Herausforderungen, wie semantische Interoperabilität und Ausdruck von Bedeutung, Anwendung von semantischen Netzen und Data Lakes für die Abbildung von Informationen aus dem gesamten Datenbestand, Entwicklung standardisierter Mechanismen und Werkzeuge für die Übersetzung von Interoperabilität in technische nutzbare Artefakte sowie Standardisierung neuer Begrifflichkeiten im Kontext von Industrie 4.0.

Semantische Interoperabilität

Im Auftrag des MSB (Marketing Strategic Board) des IEC wurde das Whitepaper „**Semantic interoperability – Challenges in the digital transformation age**“ [80] entwickelt. Dieses Whitepaper bietet eine Bewertung der aktuellen und zukünftigen Herausforderungen im Zusammenhang mit der semantischen Interoperabilität in Industriebereichen und verwandten branchenspezifischen Standards.

Das Hauptziel des Papiers ist es, Bedingungen zu identifizieren, unter denen die Anwendung semantischer Technologien zusammen mit bereits vorhandenen Informationsmodellen zur Verbesserung der Interoperabilität innerhalb und zwischen Anwendungen und Domänen verwendet werden kann, und Empfehlungen auf der Grundlage einer Überprüfung von Use Cases im Vergleich zu bestehenden Technologien und Standards zu formulieren.

Die semantische Interoperabilität beeinflusst den gesamten Informationslebenszyklus, sowohl horizontal zwischen Geräten und Systemen als auch vertikal über verschiedene Systeme hinweg. Daher wendet sich dieses Whitepaper mit seinem Inhalt an ein breites Publikum:

- (1) IEC-Entscheidungssträger;
- (2) Manager, die mit der Entscheidung beauftragt sind, Ressourcen für die Informationsmodellierung/Wissensrepräsentation bereitzustellen;
- (3) Personen, die für das Lebenszyklusmanagement von Produkten und Systemen verantwortlich sind;
- (4) Ontologieentwickler und semantische Technologen;
- (5) Ingenieure, die an der Entwicklung von Anwendungen semantischer Interoperabilität in Tools beteiligt sind.

IoT-Interoperabilität

Das internationale Gremium ISO/IEC JTC 1/SC 41 befasst sich mit horizontalen Aspekten von Internet of Things (IoT). Die [ISO/IEC 21823](#)-Normenreihe soll ein gemeinsames Verständnis von Interoperabilität aufbauen. Ziel der [ISO/IEC 21823-1](#) Norm ist es, technische Systeme in einem Framework so zu entwickeln, dass diese in der Lage sind, Informationen auszutauschen und effizient miteinander zu nutzen. Zurzeit werden weitere Entwürfe aus der Reihe erarbeitet: ISO/IEC 21823-2 [82] für Interoperabilität und Transportmechanismen sowie Kompatibilität der Kommunikationsinfrastruktur und ISO/IEC 21823-4 für syntaktische Interoperabilität, Ontologien und Datenformate.

Insbesondere die Norm ISO/IEC 21823-3 [83] definiert semantische Interoperabilität als die „Fähigkeit, Daten, die von Systemen gemeinsam genutzt werden, auf der Ebene vollständig definierter Domänenkonzepte zu verstehen (siehe [ISO 18308-1](#)). In dieser Spezifikation wird ein ontologiegetriebener Ansatz für die semantische Interoperabilität angegeben, damit die Sensoren, Geräte, Systeme und Dienste ihre Kontextinformationen und Daten durch Anwenden der Ontologien zum Erreichen der semantischen Interoperabilität ausdrücken können. [siehe [HE 2.4-3](#)]

Die Arbeit basiert auf [ISO/IEC 30141](#), die als Ontologie modelliert ist und sich auf die fünf Facetten der semantischen Interoperabilität von ISO 21823-1 konzentriert, nämlich Transport-, syntaktische, semantische, Verhaltens- und Richtlinieninteroperabilität. Motivation für diesen Standard ist es, die vielfältigen bereits existierenden IoT-Plattformen und die unterschiedlichen vertikalen Domänen (z. B. Smart Factory, Smart Cities usw.) in eine IoT-Referenzarchitektur einordnen zu können. Der Hauptbeitrag dieses Teils der semantischen Interoperabilität ist ein domänenbasiertes IoT-Referenzmodell mit einer OWL-Spezifikation der IoT-Referenzarchitektur. Außerdem werden bereits vorhandene Ontologien beschrieben.

Das Folgende sind allgemeine Erkenntnisse aus der vom IEC/SC 65E erarbeiteten [IEC PAS 63178 „Smart manufacturing service platform – Service-oriented integration requirements of the manufacturing resource/capability“](#):

- Die Heterogenität der domänenübergreifenden Informationsmodelle muss überwunden werden.
- Bevorzugt werden die Multi-Ontologie- und Hybrid-Ontologie-Ansätze mit einer domänenspezifischen Top-Level-Ontologie und einem entsprechenden Basiswert.
- Das domänenbasierte IoT-Referenzmodell wird von einer formalen maschinenlesbaren Beschreibung begleitet.

Die IEC PAS 63178 legt den Fokus auf die vertikale Integrations- und Systembetriebsphase im Hinblick auf die semantische Interoperabilität in der Industrie. Die Normungsroadmap zeigt, dass mehrere Lebenszyklusphasen durch semantische Interoperabilität abgedeckt werden müssen (siehe [Kapitel 2.3](#) und siehe [HE 2.4-2](#)). Einen entsprechenden Einblick in Anforderungen, Herausforderungen und potenzielle Handlungsfelder zur semantischen Interoperabilität gibt das zuvor genannte IEC Whitepaper „[Semantic Interoperability – Challenges in the digital transformation age](#)“. [80]

International werden derzeit weitere Standards für die Interoperabilität von IoT-Systemen entwickelt. Beispielsweise der ETSI Bericht [TR 103 535 V0.2.2](#) (2019-03) SmartM2M [81] fokussiert sich auf die Richtlinien für die Verwendung der semantischen Interoperabilität

und beschreibt das Ziel wie folgt: „Das Hauptziel dieses Dokuments besteht darin, die semantische Interoperabilität im Internet der Dinge voranzutreiben, um das Bewusstsein für ihre Bedeutung für die Industrie zu schärfen und den potenziellen wirtschaftlichen Wert zu erschließen. Ein Hauptaugenmerk liegt auf der Entwicklung von Richtlinien zur Verwendung der semantischen Interoperabilität in der Industrie.“

Der Bericht beschreibt den Stand der Technik und verweist auf vorhandene Lösungen aus Wissenschaft, Normung und Industrie, mit Schwerpunkt auf europäischen Projekten und Konsortialprojekten. Es werden nur einige Standards erwähnt. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Vorteile der semantischen Interoperabilität noch nicht so genutzt werden, dass sie zur Reifung der erforderlichen Technologie beitragen. Sie beschreiben meist organisatorische und subjektive Gründe für diese Situation und geben Empfehlungen zur Überwindung der Einschränkungen. Die Analyse kann als Beitrag in die Diskussion in den relevanten Gremien aufgenommen werden. Die Ergebnisse des ETSI TR sind jedoch nicht ausreichend.

Um die Entwicklung von domainübergreifenden IoT-Diensten zu ermöglichen, wurden Standards wie oneM2M entwickelt, die in kommerziellen IoT Plattformen zum Einsatz kommen. Ein Beispiel eines derartigen domainübergreifenden IoT-Dienstes ist im „[ETSI TR 103 545 SmartM2M](#); Pilot test definition and Guidelines for testing cooperation between oneM2M and Ag equipment standards“ exemplarisch für eine Kooperation zwischen verschiedenen Standards wie [AEF ISO 11783](#), [ETSI EN 302 637-3](#) und oneM2M ausgeführt [siehe HE 2.4-1].

Information Data Lake

Für technische Systeme stellt aktuell das Konzept des Information Data Lake (IDL) den globalen strukturierten Container aller Merkmale, Daten und Informationen unterschiedlicher Domänen dar, die mit standardisierten Operationen zwischen Erzeugern (publisher) und Verbrauchern (subscriber) kommuniziert werden. Dazwischen liegt das Anreichern der rohen publizierten Daten mit Informationen (Attribute des Informationsmodells) aus den datenverarbeitenden Prozessen und gegebenenfalls auch aus KI-Näherungsverfahren zur Erkennung unbekannter Datenmuster (siehe **Abbildung 20**).

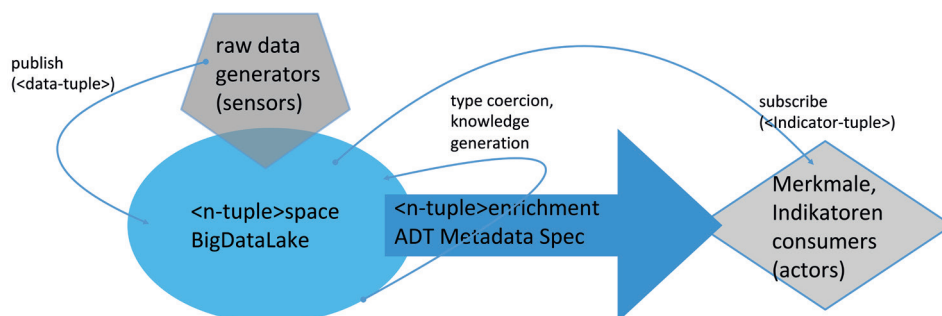


Abbildung 20: Semantische Aspekte des Verstehens bei der Erzeugung von Wissen über Dinge im sog. Big Data Lake Concepts (Quelle: [ETSI GS ISI 006 v1.1.1](#)(82019-02) – ISI Enrichment Process (Data Lake))

Ontologien

Weltweit gibt es verschiedene Aktivitäten im Bereich von Ontologien. So adressieren verschiedene Gremien (z. B. OMG, W3C, IDSA, oder die Industrial Ontologies Foundry am NIST) mit unterschiedlich hohem Abstimmungsgrad standardorientierte Ontologien, die aus Sicht des jeweiligen Gremiums einen domänenspezifischen Standard und somit eine Basis für Interoperabilität darstellen sollen. Für derartige Szenarien der verteilten Entwicklung von Ontologien existieren zwar Mechanismen, Prozesse und Vorgehensmodelle, jedoch kann im Moment die Integration mehrerer solcher zugelieferter Ontologien in einen Wissensraum anhand dieser Artefakte nicht formal abgesichert werden, ob alle Akteure denselben Prozess befolgen, ob dieselben Muster zur Wissensmodellierung verwendet und ob Ergebnisontologien nach demselben Prozess verwendet und weiterentwickelt werden können. Treffen so verschiedene Domänen aufeinander, was ein wesentliches Merkmal von Industrie 4.0 darstellt, so führt dies zu erhöhten und vermeidbaren Integrations- und Wartungsaufwänden.

Entwickeln sich diese Domänen weiter, so werden Veränderungen langfristig schwer nachvollziehbar. Dies offenbart eine Lücke im Lebenszyklus aus Ontologieerstellung, -verwendung und -weiterentwicklung, da selbst bei abgestimmten Erstellungsprozessen für eine Domäne die resultierenden Aufwände bei Kombination mit anderen Domänen nur schwer erkannt werden können [siehe HE 2.4-2].

Begriffe

Zahlreiche Aktivitäten wurden angestoßen, um die neuen Begriffe im Umfeld von Industrie 4.0 zu definieren. Beispielsweise, im Fachausschuss VDI/VDE-GMA 7.21 „Industrie 4.0“ wird aktuell in der Arbeitsgruppe »Begriffe« weiter an einem einheitlichen Verständnis der grundlegenden Begrifflichkeiten, Referenzmodelle und Architekturkonzepte für Industrie 4.0 gearbeitet. Ziel ist es, die Begriffe in Abstimmung mit den relevanten Arbeitsgruppen aus nationalen Gremien, Verbänden und industriellen Konsortien zu entwickeln und so ein gemeinsames Verständnis der grundlegenden Begriffe zu erreichen. Das erarbeitete Glossar [78] wurde zweisprachig (Deutsch/Englisch) publiziert und ist öffentlich über die Plattform Industrie 4.0-Webseite zugänglich [85].

Die Gruppe ist beständig aktiv und erweitert den Umfang des Glossars sowie konsolidiert die Einträge mit nationalen und internationalen Gremien wie z. B. IEC/TC 65/WG 23 *TF Terms and definitions* und IEC/TC 65/WG 1 *Terms and definitions*.

Auf internationaler Ebene wurden neue Begriffe im Zusammenhang mit IoT unter [ISO/IEC 20924](#) veröffentlicht. Die Norm enthält eine Reihe von Begriffen, die eine fundierte terminologische Grundlage für das IoT bilden. Weiterhin hat IEC/TC 65/WG 1 ein Vorschlag für die Erarbeitung von Begriffen zur Informationstechnik vorgeschlagen.

In der Fachliteratur und in normativen Dokumenten auf nationaler und internationaler Ebene zirkulieren immer noch verschiedene Dopplungen und widersprüchliche Begriffe, die aus Nutzersicht die Bereitschaft zur Anwendung deutlich senken können. Aus diesem Grund ist auch nicht klar, wie diese Begriffe den Anwendungsbereichen in RAMI 4.0 zugeordnet werden können [siehe HE 2.4-4].

2.4.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

2.4-1 Analyse der Ergebnisse des ETSI TR 103 535 V0.2.2 (2019-03)

Die Analyse kann als Beitrag in die Diskussion in den relevanten Gremien mit Schwerpunkt „Semantische Interoperabilität“ aufgenommen werden:

- Viele semantisch relevante Informationsmodelle existieren bereits in Branchen-, öffentlichen oder Konsortialstandards, die eine Grundlage für die semantische Interoperabilität bilden. Diese Modelle fallen nicht in den Geltungsbereich des ETSI TR.
- Der Begriff der semantischen Interoperabilität im ETSI TR spiegelt nur die Informationswelt wider. Es scheint, dass sich der Bericht nur auf den vertikalen Informationsfluss zu datenintensiven Anwendungen konzentriert. Der Industriebereich umfasst auch den horizontalen Datenfluss und muss auch die realen Reaktionen berücksichtigen (siehe **Abbildung 18**).
- Der ETSI TR scheint sich ausschließlich auf die Betriebszeit zu konzentrieren. Der Lebenszyklus von Produkten und Anlagen, der von der Planung über den Betrieb bis zur Wartung reicht, spiegelt sich nur teilweise wider.
- Die Zusammenarbeit zwischen IT-Ontologie und OT-Informationsmodellierung ist noch nicht gegeben. Dies wäre jedoch dringend erforderlich.

Als Beispiel eines domainübergreifenden IoT-Dienstes ist im „ETSI TR 103 545 SmartM2M; Pilot test definition and guidelines for testing cooperation between oneM2M and Ag equipment standards“ verschiedenen Standards wie AEF ISO 11783, ETSI EN 302 637-3 und oneM2M ausgeführt. Diese Aktivitäten gilt es zu beachten und bei Bedarf zu harmonisieren.

2.4-2 Lebenszyklusübergreifende und robuste Auszeichnung von Ontologien

Empfohlen wird die Entwicklung eines Standardmechanismus, -vokabulars und -methodik zur lebenszyklusübergreifenden und robusten Auszeichnung von Ontologien gemäß der in ihnen verwendeten Elemente und Muster. Anhand dessen sollen in einem formalen Verifikationsschritt die Qualität des Zusammenpassens verschiedener Ontologien bei ihrer Zusammenführung in einem Wissensraum überprüft sowie Handlungsempfehlungen für Knowledge Engineers abgeleitet werden können. Relevante Aspekte in diesem Kontext sind etwa die Unterschiedlichkeit von Domänen mit ihren individuellen Dynamiken und Prozessen zur Wissensbereitstellung, wie auch Dezentralität des Wissensengineerings und unterschiedliche Versionsstände von Ontologien.

2.4-3 Konformität zur ISO/IEC-21823-Reihe

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 zu Industrie sorgfältig überprüfen und im Spiegelgremium rückmelden. Weitere Gremien in DIN/DKE zum Thema Semantik sollen einbezogen werden.

2.4-4 Dopplungen in Begrifflichkeiten

Dopplungen in Begrifflichkeiten, insbesondere bezüglich deren identischen oder synonymen Anwendung, sollen in den zuständigen Gremien identifiziert, überprüft, differenziert und/oder angepasst werden, um die fälschliche Anwendung in weiteren normativen Dokumenten zu vermeiden. Empfehlenswert ist die Konsolidierung der Begriffe mit den aktuellen internationalen Normen, wie z. B. ISO/IEC 20924 und laufenden Aktivitäten zur Terminologie in IEC/TC 65/WG 23 zum Vokabular.

2.4-5 Empfehlung der VDI/VDE 2193 Teile 1 und 2 zur IEC Standardisierung

Die bestehende VDI/VDE 2193 (Sprache von Industrie 4.0-Komponenten) steht seit Januar 2020 als Weißdruck zur Verfügung. Zusammen mit dem Teil 1 der Verwaltungsschale im Detail bildet diese eine wesentliche Grundlage für die Interoperabilität zwischen Industrie 4.0-Komponenten. Deshalb sollte diese Richtlinie ebenfalls in den Kanon der IEC Standards der Verwaltungsschale aufgenommen werden. Bei bestehenden Konzepten wie der VDI/VDE 2193 sind soziotechnische Aspekte bei der Interaktion zu berücksichtigen (beispielsweise Human Asset Administration Shell, Verwaltungsschalen von Menschen). Es wird empfohlen, dies in einem Forschungsvorhaben auszuarbeiten.

2.5 Integration

2.5.1 Status und Fortschritte seit Version 3

Die Integration betrachtet üblicherweise die Fähigkeit unterschiedlicher Systeme und deren Komponenten, sich möglichst nahtlos und unter der Eingliederung in ein größeres Ganzes, z. B. eine gemeinsame semantische Basis, anzukoppeln. Betrachtet man den **Anwendungsfall 1** „Produktionsmarktplatz“ (siehe **Kapitel 1.4.1**), so ist es absolut notwendig, dass sich die an der Wortschöpfung beteiligten Systeme und Prozesse aller Akteure (Einkäufer, Marktplatzbetreiber, Anbieter) nahtlos miteinander verbinden können.

So kann z. B. der Einkäufer aus Anwendungsfall 1 die 3-D-Druck-Anfrage an den Lieferanten vermitteln und im Nachgang einen Fertigungsauftrag (z. B. in Form von CAD-Daten) automatisiert über eine standardisierte Schnittstelle an 3-D-Drucker versenden. Die Integration ist aber nicht allein für die effektive und erfolgreiche Vernetzung verantwortlich, sondern ist immer im Zusammenhang mit Interoperabilität (siehe **Kapitel 4**) und Kommunikation (siehe **Anhang B**) zu sehen.

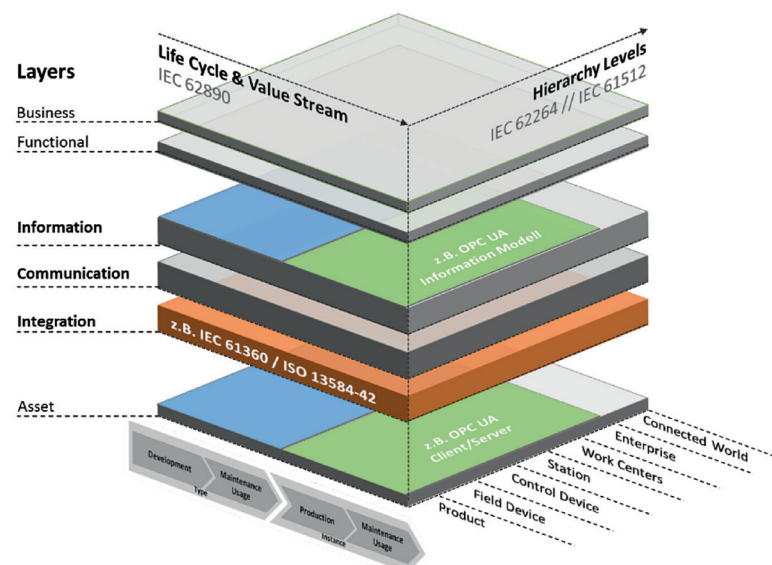


Abbildung 21: Integrationsschicht in RAMI 4.0 (Quelle: nach Plattform Industrie 4.0 [41])

Die Verbindungen zwischen den beteiligten Systemen und Prozessen werden in der Informationswelt durch entsprechende Merkmale beschrieben. Die Merkmale, welche die jeweiligen Schnittstellen eindeutig beschreiben, werden miteinander in Beziehung gesetzt und dementsprechend in der Verwaltungsschale, formal und maschinenverarbeitbar, abgebildet [57]. Die Rolle des Engineerings übernimmt an dieser Stelle eine zunehmende Bedeutung. Oft müssen die vorhandenen Engineering-Lösungen für so eine nahtlose Integration angepasst, erweitert und standardisiert werden, wie die folgenden Kapitel aufzeigen.

Das Engineering liefert bei der Entwicklung normativer Integrationskonzepte einen Beitrag, bei denen die wichtigen Beziehungsinformationen zwischen den einzelnen Systemen als Industrie 4.0-konforme Informationselemente für weitere Systeme und deren Komponente bereitgestellt werden sollen. Integrationsstandards sind dabei von großer Bedeutung, da sie die Brücke zwischen der physischen Welt und der Informationswelt darstellen.

In Informationssystemen werden im laufenden Betrieb zahlreiche Daten zwischen den Komponenten gesammelt, verarbeitet und ausgetauscht. Beim Engineering wird durch die Verbindung von diesen Einzelkomponenten eine neue, höhere Funktionalität im Vergleich zu derjenigen erzeugt, die die jeweiligen Einzelkomponenten einer Anlage allein aufweisen [57]. Die Kooperation der Komponenten und der Datenaustausch erfolgt dabei oft auf Basis heterogener Schnittstellen, die zum Zeitpunkt des Engineeringprozesses unterschiedliche Datenstrukturen in den zu verbindenden Komponenten aufweisen. Das bedeutet, dass keine Komponente die Datenstrukturen der anderen Komponente kennt und daher immer angepasst werden muss. So sind Hersteller und Anwender beim Gerätetausch immer mit hohem Aufwand konfrontiert. Standardisierte Integrationsverfahren spielen hierbei eine wesentliche Rolle und können diesen Integrationsaufwand wesentlich minimieren.

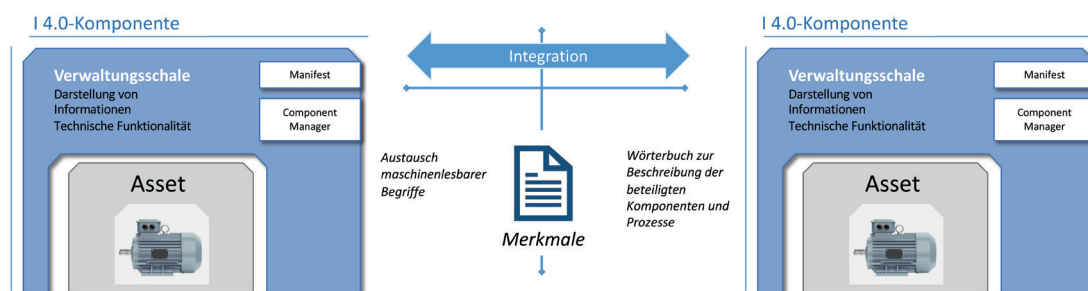


Abbildung 22: Merkmalaustausch zwischen Industrie 4.0-Komponenten

Ein technisches System ist in der Regel durch die Summe der erkennbaren Eigenschaften, d. h. Merkmale, gekennzeichnet. Diese werden als maschinenlesbare Begriffe zwischen den an der Kommunikation beteiligten Komponenten ausgetauscht (siehe **Abbildung 22**). Daher sind Merkmale das Hauptkriterium für die Beschreibung der relevanten Eigenschaften einer Industrie 4.0-Komponente. Die umfassende Definition der Merkmale, z. B. in einem Wörterbuch zur Beschreibung der beteiligten Komponenten und ihrer Prozesse, hilft sowohl dem Hersteller als auch dem Anwender, die Systemeigenschaften strukturiert in seiner Umgebung anzuwenden. Gleichzeitig entfällt an den Schnittstellen aufgrund der übergreifenden und genormten Semantik der Merkmale die bislang übliche „Übersetzung“ vom einen Datenmodell auf das andere. Für derartige Kommunikation bedarf es aber auch

einer strukturunabhängigen Abstraktion, sodass verschiedene aber semantisch gleiche Strukturen kein Hindernis im Kommunikationsprozess darstellen. Das leistet die heutige Merkmalsbeschreibung noch nicht.

Werden die Prozesse mit dem RAMI 4.0-Modell einheitlich strukturiert und die standardisierten Formate von Merkmalen genutzt, entstehen zueinander kompatible Prozessbeschreibungen, die mittels der RAMI 4.0-Zeitachse auch zeitlich zueinander in Beziehung gesetzt werden können. Da in Industrie 4.0 die Forderung nach „automatisiertem Engineering“ besteht, ist eine solche Lösung von fundamentaler Bedeutung. Beispielsweise wird es künftig nicht genügen, einem vorkonfigurierten MES einen Auftrag aus dem ERP-System zu erteilen. Vielmehr benötigt das MES zusätzliche Informationen zur Identifikation der produktgerechten Fertigungslinie und weitere Parameter wie max. Preis der Fertigung, geforderte Lieferzeit u. a., damit der Production Manager des MES daraus die erforderlichen Aktionen ableiten kann, was bis zur Ablehnung des Auftrags führen kann.

In den vergangenen Jahren fanden zahlreiche Standardisierungsaktivitäten statt, um unterschiedliche Gerätetypen und Geräte für den industriellen Prozess anhand strukturierter Eigenschaftslisten zu beschreiben. Beispielsweise entwickelte der Arbeitsausschuss NA128-00-01 AA „Merkmalexikon Grundlagen und Regeln“ in der Dokumentenreihe [DIN 4002](#) ein Verfahren zur Erarbeitung und Normung von Strukturelementen, kompatibel zu den internationalen Dokumentenreihen [ISO/IEC Guide-77](#), [ISO 13584](#), [IEC 61360-1](#), [ISO 29002](#) festgelegt.

Weitere Normen bildeten eine Grundlage für die Strukturierung und Merkmalsbeschreibung der Produktdatentechnologien, wie z. B. [IEC 61987-Reihe](#), für die Beschreibung von Prozesskontrollgeräten, Mess-, Steuer- und Regelgeräten sowie deren Betriebsumgebungen und Betriebsanforderungen, sowie [IEC 61360](#) Common Data Dictionary (IEC CDD) für ein gemeinsames Repository von Konzepten für alle elektrotechnischen Bereiche, der auf der Methodik und dem Informationsmodell der IEC 61360-Reihe basiert. Die CDD Datenbank, IEC-Referenzsammlung von Standarddatenelementtypen und Komponentenklassen ist über den IEC Webstore frei zugänglich und wird vom IEC Unterkomitee 3D (IEC SC 3D) betreut. Darüber hinaus bietet IEC 61360 eine detaillierte Einführung in die Struktur des Vokabulars und seine Verwendung (IEC 61360-1), spezifiziert das detaillierte Datenmodell (IEC 61360-2) und legt wichtige Qualitätskriterien für den Inhalt des Vokabulars fest (IEC 61360-6).

Darüber hinaus hat sich eCl@ss international als eine der wichtigsten ISO/IEC-konformen Industrienormen (gemäß IEC 61360/ISO13584-41) etabliert und ist derzeit einer der wichtigsten Referenzdatenstandards für die Klassifizierung und eindeutige Beschreibung von Produkten und Dienstleistungen. Durch den Einsatz eines zentralen Produktstammdaten-servers und den Aufbau einer einheitlichen Klassifizierungsstruktur auf Basis von eCl@ss wird der Pflegeaufwand für Materialstammdaten und Datenduplikate reduziert und mehr Transparenz über die Daten geschaffen [43].

2.5.2 Laufende Entwicklungen

Das Thema „Integration“ und die Standardisierung von Merkmalsystemen und weiteren Integrationskonzepten für industrielle IoT-Plattformen und -Anwendungen beschäftigen

verschiedene internationale Gruppen, wie z. B. IEC, ISO, eCl@ss und W3C. Auf der nationalen Ebene beschäftigen sich insbesondere der VDI/VDE, insbesondere dessen Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik GMA, sowie der Fachverband Automation des Zentralverbands Elektrotechnik und Elektronikindustrie (ZVEI) und die Arbeitsgruppe „Referenzarchitekturen, Standards und Normung“ der Plattform Industrie 4.0 mit den Fragen zur Systemintegration und Integrationsaspekten durch Merkmale. Diese und weitere Aktivitäten werden im Folgenden erläutert.

eCl@ss und CDD

Mit über 40.000 Produktklassen und mehr als 18.000 Merkmalen deckt eCl@ss einen Großteil gehandelter Waren und Dienstleistungen der jeweiligen Branchen ab. Im Frühjahr 2017 gründete der eCl@ss-Vorstand eine Expertengruppe, die Digitalization Expert Group (DEG), um die Standardisierungslücken aufzudecken und die Themen rund um Digitalisierung und Industrie 4.0 zu behandeln. U. a. übernimmt DEG die Koordination aller eCl@ss-Aktivitäten zur Digitalisierung, das Sammeln von Anforderungen und Einleiten von Kooperationen mit anderen Gremien und Verbänden [44].

IEC und eCl@ss kooperieren seit 2015 mit dem Ziel, eine nachhaltige Harmonisierung der sich überschneidenden Inhalte im IEC CDD und in eCl@ss zu erreichen. Obwohl Standards für die beschreibenden Eigenschaften von Assets bereits in IEC und ISO existieren, sind diese noch nicht im ausreichenden Maß gegeben [siehe HE 2.5-1 und HE 2.5-2].

W3C Web of Things Ansatz

Das World Wide Web Consortium ([W3C](#)) entwickelt offene Integrationsstandards für IoT-Plattformen und Anwendungsdomänen. Insbesondere werden im Rahmen der Normungsarbeit des W3C zahlreiche Domänen behandelt, die für zukünftige webbasierte Anwendungen der Industrie 4.0 von vorbereitender Bedeutung sein könnten (siehe **Anhang B.5**). Basierend auf diesem Innovationsmodell wird derzeit innerhalb von W3C intensiv am *Web of Things* als „Enabler“ von Interoperabilität zwischen IoT-Plattformen und Anwendungsdomänen gearbeitet [siehe HE 2.5-3]. Das Konsortium arbeitet derzeit an einem formalen Modell mit einer gemeinsamen Darstellung für eine *Web of Things (WoT) Thing Description*, das u. a. die Metadaten und Schnittstellen eines Assets (hier: *thing*) beschreibt. Das Erscheinungsbild und das Verhalten des *Web of Things* soll dabei möglichst vollkommen identisch zum Verhalten der Interaktionsmodelle von Menschen im Internet (also im Web) sein und somit eine Transformation vom *Web of People* zum *Web of Things* ermöglichen [45].

Das „Thing“-Architekturmodell nach WoT wird anhand von fünf wesentlichen Elementen klassifiziert: (1) Verhalten, (2) Interaktionsformen, (3) Datenschemen sowie (4) Sicherheitskonfigurationen und (5) Protokollanbindungen [46]. Die Integration wird als Muster, z. B. (Integrations-) Pattern (siehe Implementierungsmorphismen im semiotischen Dreieck (siehe **Abbildung 24**), angesehen und wird in unterschiedlichen Beziehungen, wie etwa *thing-to-thing* oder *cloud-to-gateway*, abgeleitet. Dabei ist die Bereitstellung, insbesondere für Maschinen verständliche (Meta-)Daten in Form von Beschreibungen (WoT Thing Descriptions) und die Fähigkeit zur Selbsterklärung dieser Daten (Inhärenz) bei den Interaktionsformen von zentraler Bedeutung (siehe **Abbildung 23**).

Das in **Abbildung 23** dargestellte Konzept enthält mehrere Interaktionstypen, womit auf der Grundlage eines kleinen Vokabulars, verschiedene Geräte als auch verschiedene

Anwendungen integriert werden können. Beispielsweise soll das WoT die Anwendungsmethoden (Vorgehensstrukturen) zur formalen Beschreibung von Schnittstellen definieren. Auf Grundlage dieser formalen Beschreibung können IoT-Endgeräte und -Dienste (ggf. auch Microservices) ohne Wissen über bzw. Rücksicht auf die dabei zugrunde liegende Implementierung, als auch über mehrere Netzwerkprotokolle hinweg, kommunikativ miteinander interagieren. Darüber hinaus bietet das WoT eine standardisierte Möglichkeit, das IoT-Verhalten zu definieren und daraus eine Programmerstellung abzuleiten. Eine der Herausforderungen dabei ist die Entwicklung standardisierter Schnittstellen, die im Gegensatz zu den „klassischen“ Integrationsschnittstellen auf den verbindenden (gegenüber dem trennenden) Charakter von Elementen in einem (Integrations-) Pattern [siehe HE 2.5-3] fußen.

Das WoT im W3C referenziert hierfür normativ die folgenden existierenden RFC's (Requests-for-comments) als Basis zur Implementierung [47–61].

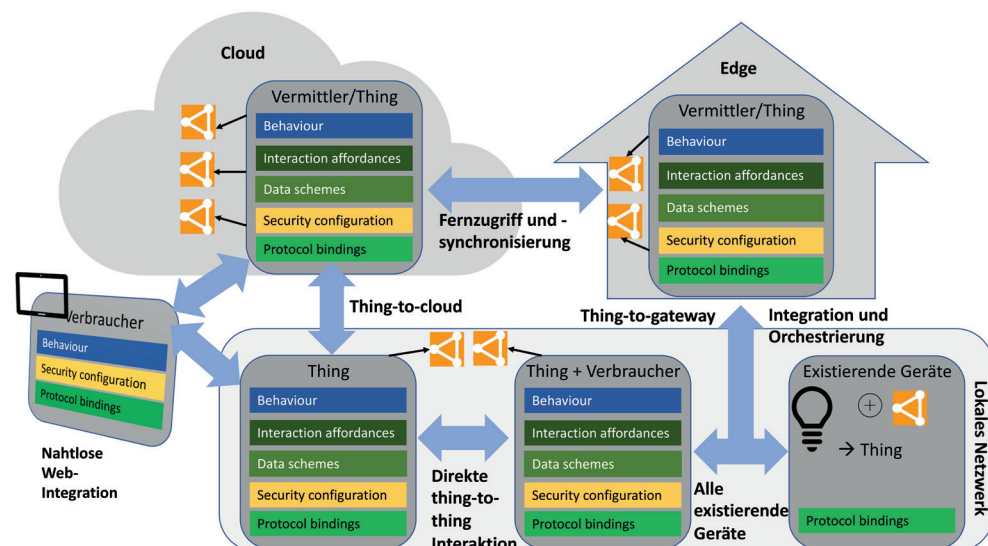


Abbildung 23: Gesamtschaubild zur Interaktion der Dinge über semantische Aspekte des Verstehens von „Interaktionsformen“

Im Hinblick auf die Anwendung in der Arbeitswelt, die aus Sicht der Industrie 4.0 in Zukunft immer mehr IIoT-basiert sein wird, erscheint eine entsprechende Standardisierung zwingend erforderlich – Insbesondere die Ausarbeitung normativer Vorgaben zur Interoperabilität und den Aspekt der Semantik, abgestimmt auf das natürliche Verhalten eines Menschen im Web.

Ebenso ist es notwendig, eine entsprechende semantische Konzeption zu berücksichtigen, die in gleicher Weise wie bei bestehenden oder aktuell entwickelten Standards berücksichtigt wird.

Bei der Betrachtung der einzelnen Implementierungsbeziehungen werden mögliche semantische Relationen – sog. Morphismen – zwischen den drei relevanten Domänen, der Technikdomäne (für reale oder konzeptuelle technische Gegenstände), der Ontolo-

giedomäne (zur sprachlichen Darstellung von Merkmalen bzw. Eigenschaften) sowie der Semantikdomäne (zur Darstellung und Kalkulation der Bedeutung eines Werkstücks, in Form mathematischer Calculi, hier Graph und algebraische Datentyptheorien), erstellt [62]. Alle drei Relationen, graphisch als Linie zwischen 2 Domänen dargestellt, sind im Semiotischen Dreieck veranschaulicht (siehe **Abbildung 24**) und können als standardisierte „Guidelines zur Implementierung“ verstanden werden. D. h., es werden Standards, die die Vergleichbarkeit für drei miteinander in Bezug stehende „Implementierungen“ hergestellt.

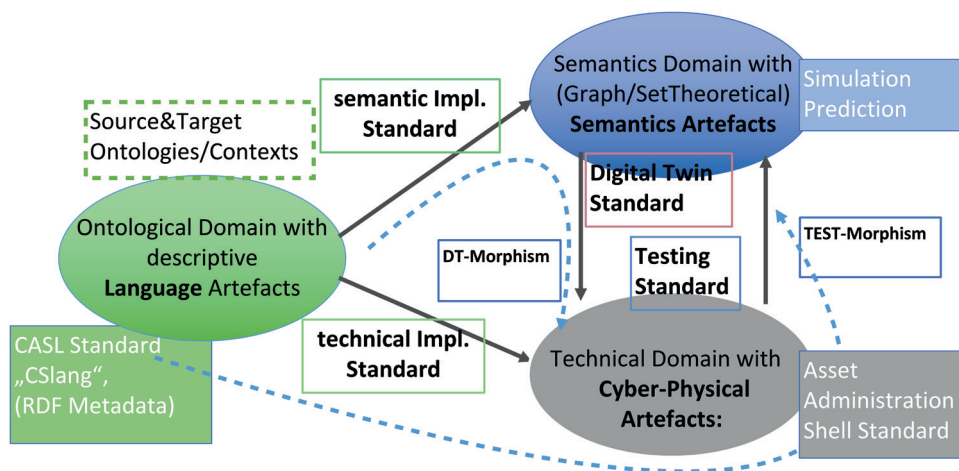


Abbildung 24: Semantische Aspekte des Verstehens der Interaktion zwischen den drei Domänen Ontologie – Technik – Semantik im Semiotischen Dreieck (Quelle: DINCONNECT Vorhabenspezifikation (09-2018)).

Integrationskonzepte auf Basis der IoT

Parallel zu den grundlegenden Themen wie einheitliche Terminologie, Referenzarchitekturen und Interoperabilität führt ISO/IEC JTC 1 aktuell intensive Arbeit im Bereich der Systemintegration, wie etwa [ISO/IEC 30161](#) *Internet of Things (IoT) – Requirements of IoT data exchange platform for various IoT services*. Der Standard beschreibt eine Datenaustauschplattform für IoT, welche aus Middleware-Komponenten besteht. Die Komponenten sind mit Netzwerkfunktionalitäten verbunden und beinhalten die Netzwerkkonfigurationen, Kommunikationsmechanismen sowie diverse funktionale Merkmale von Komponenten für IoT.

Aktuelle internationale Standardisierungsaktivitäten (ISO/IEC JTC 1/AG 8, IEC/TC/65/WG 23) betrachten die Integration nicht nur aus der Sicht eines Systems, sondern beschäftigen sich mit der Integration im komplexen Zusammenhang, und zwar im Hinblick auf die vollständige Integration zwischen den gängigen Referenzarchitekturmodellen. Ein gutes Beispiel dafür ist die Erstellung eines Metamodells im Smart Manufacturing Bereich (siehe **Kapitel 2.2.2**). Illustriert wird dies in **Anhang B.5**.

Nationale Aktivitäten

Auf der nationalen Ebene finden zahlreiche Aktivitäten zum Thema „Integration“ statt. Beispielsweise der DIN NA 043-01-41 AA, der in Deutschland die Arbeiten der JTC1/SC 41 „Internet of Things and related technologies“ spiegelt, trägt regelmäßig zu den aktuellen

Integrationskonzepten auf Basis der IoT Referenzarchitektur (ISO/IEC 30141) sowie Harmonisierungsaktivitäten mit Expertenwissen bei (Verweis auf den NIA Jahresbericht 2019).

Der **ZVEI Arbeitskreis Systemaspekte**, der sich aus Teilnehmern aus den Mitgliedsunternehmen des Fachverbands Automation und Experten aus der Forschung zusammensetzt, widmet sich seit mehreren Jahren den Themen und Herausforderungen aus Sicht von Herstellern und Nutzern von Produkten und Systemen der Automatisierungstechnik. Bereits im Jahr 2010 stellte der Arbeitskreis im Leitfaden „*Life-Cycle-Management für Produkte und Systeme der Automation*“ die Definition allgemeingültiger Modelle, Begriffe, Abläufe und Strategien vor, die eine grundlegende Basis für ein gemeinsames Verständnis zwischen Betreibern und Herstellern zum Thema Life-Cycle-Management darstellen. Die Ergebnisse flossen später nicht nur in die internationale Normung ([IEC 62890](#)) ein, sondern fanden auch wesentliche Anwendung im Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0).

In der Prozessleittechnik (PLT) arbeitet seit Jahren die NAMUR in Fortführung der Projektgruppe, PROLIST (Project Group „Lists of Characteristics“) mit dem Ziel, die Merkmale und Merkmalleisten aus der PLT-Community zu spezifizieren, um diese sowohl in die internationale Normung einzuführen als auch der Öffentlichkeit aus der industriellen Branche zur Verfügung zu stellen [63]. Die Ergebnisse sind heute in der eCl@ss-Datenbank in den zugehörigen Sachgruppen der Produkte niedergelegt. Ferner ist ein großer Teil dieser Merkmale in der IEC CDD verfügbar.

2.5.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

2.5-1 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 eCl@ss sind auf dieser Basis codiert. Verwaltungsschalen bzw. Submodelle erfordern jedoch für den operationalen Betrieb gegenüber den reinen beschreibenden Eigenschaften eines Assets weitere Merkmals-typen. 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.

2.5-2 Nachhaltige und durchgehende Harmonisierung der Merkmale zwischen eCl@ss 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 eCl@ss sind zu koordinieren:

Die Aktivitäten zur Harmonisierung der Merkmale müssen bei den beteiligten Gremien von eCl@ss 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 eCl@ss 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, eCl@ss und zukünftig wohl auch ISO. Die Ergebnisse sollen öffentlich zugänglich gemacht werden.

2.5-3 Normung im Kontext von Web of Things

WoT Integrationskonzepte sollen in relevanten nationalen Gremien beobachtet und auf die Anwendbarkeit in nationalen Standardisierungsaktivitäten analysiert werden.

Hierbei sollte insbesondere aufgrund der Komplexität dieses Themas auf eine intensiv verstärkte Zusammenarbeit durch Liaisons zwischen den Standardsetzern aber auch Kategorie-C, Liaisons zwischen Standardsetzern und Open Source und Industriekonsortien geachtet werden.

Im Gegensatz zur bestehenden „klassischen“ Protokollstandardisierung, die eben bis dato zumeist Gateway-basiert funktioniert und unter Umständen die Anforderungen moderner direkter Kommunikation nicht erfüllen kann, soll eine nahtlose Integration der Industrie 4.0-Komponenten über aller Layer mit voller semantischer Unterstützung (siehe **Anhang A**) entwickelt werden. Diese Klasse von Standards sollten dabei vorschlagshalber grundsätzlich der IoT-Referenzarchitektur (ISO/IEC JTC1/SC41/30141) folgend initiiert werden bzw. aufgebaut sein.

2.6 Kommunikation

2.6.1 Status und Fortschritte seit Version 3

Ein wesentlicher Aspekt der Umsetzung von Industrie 4.0 ist die Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen. Das betrifft beispielsweise die Realisierung von Produktmarktplätzen (siehe **Anwendungsfall 1**, siehe **Kapitel 1.4.1**) oder von Assistenzsystemen (siehe **Anwendungsfall 2**, siehe **Kapitel 1.4.1**).

Bei der Realisierung von Produktmarktplätzen steht zunächst die globale Kommunikation zwischen Dienstnutzer, Marktplatz und Dienstleister im Vordergrund. Ein durchgängiges Datenkonzept erfordert aber auch eine nahtlose Kommunikation bis in den Fertigungsbereich.

Zukünftige Assistenzsysteme erfordern zusätzlich Breitbandkommunikation z. B. für Augmented Reality Anwendungen und deterministische Kommunikation für eine möglichst große Synchronität zwischen Produktionsprozess und Assistenzfunktionen.

Die heute verwendeten Kommunikationssysteme werden durch neue Entwicklungen ergänzt bzw. ersetzt werden. Beispiele sind Time Sensitive Networking (TSN) oder Entwicklungen der 5th Generation Mobile Networking (5G).

Kommunikationsstandards von IEEE oder 3GPP spezifizieren für den Nutzdatenverkehr die Bitübertragungsschicht (Physical Layer) und den Mediumszugriff (Medium Access Control Sub-Layer). Sollen oder können für industrielle Kommunikationssysteme keine höheren Schichten des Internets wie IP, TCP oder HTTP genutzt werden, stehen entsprechende Normen für Dienste, Protokolle und Profile in den Standardreihen [IEC 61158-1](#) und [IEC 61784-2](#) zur Verfügung. Industrielle Funkkommunikationssysteme sind in [IEC 62591:2016](#) (WirelessHART), [IEC 62601](#) (WIA-PA), [IEC 62734](#) (ISA100a) und [IEC 62948](#) (WIA-FA) genormt. Darüber hinaus seien die Normenreihe zum Koexistenzmanagement für Funkkommunikationslösungen [IEC 62657-2](#) erwähnt.

Die Anforderungen an die Kommunikation in Industrie 4.0 werden sehr vielfältig sein. Demzufolge werden auch sehr verschiedene leitungsgebundene und drahtlose Kommunikationssysteme zum Einsatz kommen. Mit OPC UA ist ein Schnittstellenstandard etabliert, der die Heterogenität der industriellen Kommunikationssysteme sowohl auf Kommunikations- als auch auf Informationsebene überbrückt. Dieser Schnittstellenstandard ergänzt die bestehenden Kommunikationslösungen. Er basiert auf Konzepten, wie einer service-orientierten Architektur (SOA) und Informationsmodellen (OPC UA Companion Specification) zur Beschreibung von Geräten und ihren Fähigkeiten. Eine SOA ermöglicht es Komponenten, Maschinen und Anlagen flexibler zu agieren, wenn diese nicht für eine spezifische Produktionsaufgabe konfiguriert und programmiert werden, sondern ihre grundsätzlichen Fähigkeiten als Dienste anbieten. Dazu gehört die Fähigkeit, Daten von Geräten (Messwerte, Stellwerte und Parameterwerte) nicht nur zu transportieren, sondern auch maschinenlesbar semantisch zu beschreiben.

Ausgangssituation leitungsgebundene Kommunikation

Industrielle Kommunikationssysteme bieten für hohe Anforderungen bereits heute ausgereifte Lösungen für leitungsgebundene Kommunikation auf Basis von [IEEE 802.3](#) (Ethernet). Bei Industrie 4.0-Netzwerken, welche nicht nur den Shop-floor, sondern auch den Office-floor umfassen, kommen aber zu den bisherigen Anforderungen noch weitere bezüglich der Modularisierung, des flexiblen Hinzufügens, Wegnehmens und Neuaneordnens von Modulen. Zusätzlich zur hierarchielosen Vernetzung der Komponenten bringt die zunehmende Anzahl von Sensoren und Stellgeräten sowie erweiterte Netzwerkanbindungen von Betriebsmitteln für z. B. Diagnosezwecke nicht nur zunehmenden Datenverkehr, sondern auch geänderte Bedürfnisse hinsichtlich der Topologie der Netzwerke.

Bezüglich der Topologie gibt es heute zwei Welten. Zum einen die in der Industrieautomation gängige, aktive, lineare Topologie, bei der in jedem Teilnehmer ein Switch vorhanden ist, der sowohl die ankommende, die abgehende Leitung als auch die interne Verbindung zum Gerät herstellt. Demgegenüber haben wir in der strukturierten Gebäudeverkabelung eine sternförmige Verkabelung mit den drei Hierarchiestufen Campus, Gebäude und Etage.

Ausgangssituation funkbasierte Kommunikation

Die Kommunikationsressourcen für funkbasierte Kommunikation können nicht im gleichen Maße erweitert werden, wie es für die Sicherstellung der schnell wachsenden Kommunikationsanforderungen erforderlich wäre. Insbesondere das Funkspektrum ist sehr begrenzt. Heute nutzt die Funkkommunikation Funkspektren, die in der Regel nicht exklusiv für eine einzige Anwendung zur Verfügung stehen. Eine Priorisierung von Funkanwendungen findet gegenwärtig nur durch die Frequenzvergabe durch die Regulatorischen Behörden statt. Die Flexibilität der Produktionsprozesse und die Mobilität der Instanzen ermöglichen allerdings auch die Anpassung von Kommunikationsbeziehungen an das jeweils erforderliche Maß. Mit der Norm [IEC 62657-2](#) wird beispielsweise ein frequenzunabhängiges Koexistenzmanagement beschrieben, das manuell oder automatisiert umgesetzt werden kann. Management- und Steuerungsdienste werden durch flexible Kommunikationssysteme (wie Mobilfunksysteme) angeboten, um das Kommunikationssystem im Betrieb an die jeweiligen Kommunikationsanforderungen anzupassen.

Mit der **5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA)** hat sich in Deutschland ein internationales Fachgremium etabliert, in dem Mobilfunkausrüster, Mobilfunkbetreiber, Automatisierer und Anwender industrieller funkbasierter Kommunikation sich austauschen und Standardisierungsvorhaben für die 5. Mobilfunkgeneration vorbereiten [siehe **HE 2.6-A1**].

Die laufenden Entwicklungen und Umsetzungen zur industriellen Netzwerkkommunikation, die in der Ausgabe vor zwei Jahren adressiert wurden, stellen sich wie folgt dar:

Heterogene industrielle Netzwerke

Für die industrielle Kommunikation werden gegenwärtig Technologien wie TSN, 5G, neue WLAN-Entwicklungen und OPC-UA diskutiert. In einem Whitepaper [64] der 5G-ACIA werden Konzepte zur Integration industrieller Ethernet-Lösungen in 5G erörtert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit den gegenwärtig verfügbaren Mobilfunklösungen IP-Verkehr übertragen werden kann, nicht aber Ethernet Pakete. Ziel der Arbeiten ist die vertikale Integration. Deshalb steht bei 5G-ACIA auch die Integration von TSN und OPC-UA auf dem Plan. Für künftige WLAN-Lösungen sind solche Aktivitäten nicht bekannt. Eine Verbindung mit TSN ist anzunehmen. Die Umsetzbarkeit nahtloser Übergänge durch Normung ist noch unklar. Daraus leitet sich [siehe **HE 2.6-1**] ab.

Netzwerkmanagement

Die industrielle Kommunikation ist geprägt durch unterschiedlichste Netzwerke mit jeweils eigenen Geräte- und Netzwerkmanagementlösungen. Die Erkenntnislage reicht derzeit nicht aus, um eine Standardisierung von Managementdiensten für 5G, Ethernet, Internet, TSN, WLAN usw. für die industrielle Kommunikation anzustoßen. Zunächst wäre zu klären, welchen Gerätetypen und welche Parameter bei einem interoperablen Management zu berücksichtigen sind. Insbesondere für 5G-Netze ist unklar, inwieweit eine Standardisierung diesbezüglich möglich ist. Darauf bezieht sich [siehe **HE 2.6-2**].

Für das Koexistenzmanagement industrieller Funklösungen stehen die Teile 1 [65] und 2 [66] der [IEC 62657](#) zur Verfügung. Die Teile 3 und 4 der Normenreihe sind in Arbeit.

Integration in Industrie 4.0

Die Anforderungen an die einheitliche Handhabung von Kommunikationssystemen unterschiedlichster Technologien im Lebenszyklus von Produktionsanlagen wirken sich auch auf die Rolle dieser Kommunikationssysteme aus. Sie sind nicht nur Mittel zum (Kommunikations-)Zweck, sondern auch Bestandteil der Produktionsanlage. Im Gegensatz zur Bürokommunikation kommen von der Automatisierungsanwendung wechselnd Anforderungen an die industrielle Kommunikation aufgrund des flexibler werdenden Produktionsprozesses.

Deshalb sollten Kommunikations-Assets ebenfalls zu Industrie 4.0-Komponenten entwickelt werden. Hier ist zunächst zu prüfen, für welche Assets sinnvollerweise digitale Repräsentationen zu definieren sind. Zur Diskussion steht, ob neben den aktiven Assets wie Modems, Switches, Base Stations etc. auch die passiven Assets wie Leitungen, Stecker oder Antennensystem mit Verwaltungsschalen beschrieben werden sollen. Die gegenwärtige Erkenntnislage ist für eine Normung nicht hinreichend, weshalb [siehe HE 2.6-3] formuliert ist.

Datenverkehrsmodelle

Beim Mobilfunk werden für die Auslegung der Netzwerke Datenverkehrsmodelle verwendet. Das ist bei der industriellen Kommunikation bisher nicht üblich. Mit Industrie 4.0 werden auch vermehrt Video-Übertragungen, Augmented Reality Anwendungen und taktile Steuerungen zum Einsatz kommen. Deshalb wird auch für die industrielle Kommunikation die Spezifikation von Datenverkehrsmodellen erforderlich werden. Darauf basierend können für beispielsweise TSN, 5G-Network-Slices, Ethernet und WLAN die erforderlichen Einstellungen für unterschiedliche Datenverkehrsklassen vorgenommen werden. In einem 5G-ACIA Whitepaper [67] werden erste Konzepte dazu vorgestellt. [siehe HE 2.6-4] schlägt die Fortsetzung dieser Arbeiten als Vorbereitung einer Normung vor.

Zuverlässigkeitsbewertung

Die verstärkte Orientierung auf Kommunikationstechnologien für Massenmärkte sowie die mit Industrie 4.0 wachsende Komplexität der Kommunikationsnetze sorgt für eine stärkere Trennung zwischen Anbieter und Nutzer von Kommunikationsdienstleistungen. Damit ergibt sich auch die Notwendigkeit, Anforderungen an die Bereitstellung von Kommunikationsdiensten klar und abrechenbar zu formulieren, zu ermitteln und zu prüfen, vor allem, wenn die Bereitstellung der Kommunikationsdienste kostenpflichtig ist.

In der **VDI/VDE-Richtlinie 2192** [68] werden Kenngrößen und Einflussgrößen interaktiver technischer Systeme zur Verwendung in der Normung von Industrie 4.0-Systemen spezifiziert. Dabei wird auf die nicht-funktionalen Eigenschaften fokussiert, die quantitative Aussagen über die Dienstleistung der Systeme gestatten. Diese Aussagen werden auf Kenngrößen abgebildet, die als Dienstgüte/Quality of Service (QoS) bezeichnet werden“ [68]. [siehe HE 2.6-5]

Bewertung von Echtzeitkommunikation

Echtzeit ist eine wesentliche Eigenschaft von CPS-Systemen (Cyber Physical Systems). Für die zu erwartenden Diskussionen der Thematik in weit vernetzten flexiblen, adaptiven und autonomen Systemen ist es dringend erforderlich, dass die relevanten Konzepte und Eigenschaften (Merkmale) von industriellen Echtzeitsystemen in einer Norm zusammenfassend und einheitlich festgelegt werden. Einen ersten Ansatz liefert der Teil 4 der

VDI/VDE-Richtlinie 2185 [69] für industrielle Funkkommunikationssysteme. [siehe **HE 2.6-6**]

Validierung und Test

Die hohen Anforderungen der industriellen Kommunikation an die Funktionalität und Zuverlässigkeit der Geräte und Systeme machen eine klare Teststrategie erforderlich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Funktionalitäten, die nicht verpflichtend sind, zu Inkompatibilitäten führen können. Weiterhin ist zu beachten, dass unterschiedliche Stack-Architekturen möglich sind, deren Bestandteile von verschiedenen Standardisierungsorganisationen spezifiziert werden (z. B. 3GPP, IEEE, ETSI, IETF, IEC). Es sind Festlegungen zu treffen, wie Konformität und Interoperabilität der Kommunikationsimplementierungen nachzuweisen sind. Eine Strategie zur Konformitätsbewertung ist wegen der vielen potenziellen Hersteller von industriellen Kommunikationsgeräten angeraten.

Es liegt ein Whitepaper [70] der 5G-ACIA vor, in dem Aspekte des Tests von 5G Komponenten diskutiert werden. Die Schlussfolgerungen sind auch auf andere Kommunikationstechnologien anwendbar. Darüber hinaus ist die Erkenntnislage für eine Normung noch nicht hinreichend. [siehe **HE 2.6-7**]

Security

In der AG3 der Plattform Industrie 4.0 wird das Thema Informationssicherheit (IT-Security) auch für die Kommunikation diskutiert. Zusätzliche Anforderungen ergeben sich beispielsweise aus der Flexibilität der Anwendungen und der damit notwendigen Agilität der Kommunikation und den Eigenschaften der Kommunikationstechnologien (z. B. Notwendigkeit von Zellwechsel, Adaptivität der Verbindungen). Aktuelle Entwicklungen, Handlungs- und Anwendungsempfehlungen zur Security werden in **Kapitel 3.2** behandelt.

Frequenzspektren

Die Arbeiten zur weltweiten Zuweisung von Frequenzspektren für die Nutzung durch industrielle Automatisierungsanwendungen wurden aktiv durch Experten der Mess- und Automatisierungstechnik begleitet. Die 5G-ACIA erarbeitete einen Technical Report, um die Harmonisierung des Frequenzspektrums für die industrielle Automatisierung auf der World Radio Conference 2019 (WRC-19) zu unterstützen. Es wurden 14 neue Anwendungsfälle der industriellen Automation beschrieben. Die Einreichung der Ergebnisse dieser Arbeiten bei der ITU-R (WP5A, WP5D) und bei RSPG (Advisory Body to EU Commission) wurde vorbereitet. Dies geschah in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen staatlichen Stellen und Verwaltungen.

Mit der Verwaltungsvorschrift für Frequenzuteilungen für lokale Frequenznutzungen im Frequenzbereich 3.700-3.800 MHz (VV Lokales Breitband) [71] stellt die Bundesnetzagentur diesen Bereich für lokale Anwendungen bereit. Damit können diese Frequenzen entsprechend den angemeldeten Bedarfen insbesondere für die Industrieautomation bzw. Industrie 4.0 eingesetzt werden [siehe **HE 2.6-8**].

Lokale Mobilfunknetze für die Industrie

In der 5G-ACIA haben die Diskussionen zur Nutzung von 5G-Technologien für nicht-öffentliche Netzwerke begonnen [72]. Die Entkopplung industrieller 5G-Netze vom öffentlichen Mobilfunknetz erhöht die Akzeptanz für 5G als ein Baustein für Industrie 4.0. Die Umsetzbarkeit über Normung ist allerdings noch unklar. [siehe **HE 2.6-10**]

Industrielle Weitverkehrsnetze

Network-Slicing-Konzepte sollen ermöglichen, dass nicht-öffentliche, industrielle 5G-Subnetze in öffentlichen 5G-Netzen virtualisiert werden können. Das Konzept sieht vor, dass mehrere logische Netzwerke mit zugeschnittenen Qualitätsgarantien die gleiche physikalische Infrastruktur nutzen können. Damit sollen die unterschiedlichen Kommunikationsanforderungen der industriellen Automation bedient werden können.

Die grundlegenden Anforderungen an das Network-Slicing und die entsprechende technische Spezifikation, um das Network-Slicing in der 5G-Architektur zu ermöglichen, wurden von 3GPP SA1 und SA2 erarbeitet. Zur Nutzung des Network-Slicing ist noch zu spezifizieren, wie die spezifischen Anforderungen der Anwendung berücksichtigt werden können [siehe HE 2.6-10]. Ob über die Arbeiten der 3GPP hinaus Normung erforderlich ist, ist noch unklar.

Industrielles Lokationsmanagement

Die Lokalisierung von Objekten gehört gegenwärtig zu den vordringlichen Anforderungen der industriellen Automation. Es ist eine Vielzahl von Lösungsansätzen unterschiedlicher Auflösung und Genauigkeit bekannt. Offen ist der Punkt des Austausches der Positionsdaten und damit zusammenhängender Informationen. Es ist zusammenzutragen, welche Anforderungen an die Übertragung von Positionsdaten bestehen, welche Dienste- und Parameterspezifikationen es gibt. Der Stand der Technik ist zu bewerten und passende Spezifikationen zu wählen bzw. weiterzuentwickeln. Trotz des Bedarfs der Lokalisierung ist im Moment wenig Interesse der Industrie zur Normung festzustellen. Dadurch besteht die Gefahr vieler individueller und proprietärer Lösungen, die nicht einheitlich in Automatisierungssystemen genutzt werden können [siehe HE 2.6-11].

2.6.2 Laufende Entwicklungen

Die heutigen sowie zukünftigen Entwicklungen der industriellen Kommunikation lassen sich wie folgt charakterisieren:

Die Kommunikation innerhalb und zwischen den Hierarchieebenen der Fabrik wird erheblich zunehmen. Die Kommunikation zwischen räumlich und organisatorisch verteilten Instanzen muss oft aus Flexibilitätsgründen oder wegen der Mobilität der Instanzen drahtlos erfolgen.

Kommunikationsanforderungen bestehen nicht permanent über den gesamten Lebenszyklus einer Produktionsanlage in gleicher Weise, sondern ändern sich entsprechend der Flexibilität der Produktion. Die Volatilität der Industrie 4.0-Prozesse erfordert auch eine Kommunikation zwischen Anwendungsprozess und Kommunikationsprozess.

Heterogene industrielle Netzwerke

Die 5G-ACIA hat zwei Work Items zu diesem Thema begonnen. Im ersten WI „Integration of 5G with Time-Sensitive Networking for Industrial Automation“ werden Konzepte zur Integration von TSN entsprechend dem Projekt IEEE/IEC 60804 [73] (IEC 61672-1, IEC 61672-2) erarbeitet. Im zweiten Work Item „Integration of OPC UA with 5G network“ sollen die Möglichkeiten der Integration von 5G und OPC-UA erörtert werden [siehe HE 2.6-1].

Netzwerkmanagement

Im Work Item „5G Network Exposure Interface for Enterprises“ der 5G-ACIA werden Maßnahmen diskutiert, um einheitlich auf die Netzwerkressourcen nicht-öffentlicher Netzwerke oder dedizierter Netzwerkdienste von Mobilfunkbetreibern zugreifen zu können. Der Zugriff auf das Netzwerk über eine gut spezifizierte und einfach zu bedienende Schnittstelle soll die Verwaltung der Geräteverbindungen, die Konfiguration und Verwaltung von Kommunikationsdiensten unterstützen. Managementfunktionen wie beispielsweise zum Netzwerkanlauf oder zum Verbindungsaufbau (Plug and Work) sind anzugleichen. In der in Entwicklung befindlichen [DIN SPEC 16593-2](#) „Mechanismen für Bootstrap, Bekanntmachung und Auffinden von industriellen IoT-Komponenten“ z. B. soll ein einheitlicher Mechanismus für die dynamische Vermittlung von Kommunikationspartnern in Industrial IoT definiert werden. Hierdurch können sich Kommunikationspartner – unabhängig von einer konkreten Umsetzungstechnologie der IIoT-Komponente in einem Industrie 4.0-System finden.

Es ist geplant folgende Mechanismen zur Vermittlung der Kommunikationspartner zu betrachten:

- Kommunikationsinfrastruktur für die Startphase einer IIoT-Komponente (engl. bootstrap) mit integraler Betrachtung der Security-Aspekte für diese Phase
- Bekanntmachen der Kommunikationsendpunkte, um diese nachschlagen zu können (engl. advertisement)
- Nachschlagen von Kommunikationsendpunkten (engl. lookup).

Im Zuge der Aktivitäten dieser DIN SPEC wird neben der konzeptionellen Spezifikation eines einheitlichen Mechanismus für eine dynamische Vermittlung von IIoT-Komponenten eine detaillierte, für eine Umsetzung vollständige Spezifikation der technologischen Umsetzung festgelegt, sodass der Standard für Entwickler als Spezifikation für die Umsetzung des Mechanismus genutzt werden kann. Dabei soll der DIN SPEC Workshop als Möglichkeit angeboten und genutzt werden, alle aktuell parallel in Entwicklung befindlichen Lösungen inhaltlich gegenüberzustellen und als Ausgangslage für die Spezifikation zu nutzen. Auch sollen hierdurch die Expertise unterschiedlicher Fachbereiche (IT, Security und Cloud, Maschinen- und Anlagenbau etc.) vereint werden, wodurch eine definierte Lösung für die hier zugrunde gestellte Fragestellung (interdisziplinär) konsolidiert werden kann. Diese DIN SPEC soll sich ferner in die existierende Normlandschaft und Empfehlungen entsprechender Gremien, wie z. B. der Plattform Industrie 4.0, einbinden.

Im Rahmen der DIN SPEC werden insbesondere:

- mögliche Kommunikationspartner ermittelt und Anforderungen an die Vermittlung dieser Kommunikationspartner auf Basis möglicher Einsatzszenarien abgeleitet,
- konkrete existierende Lösungen zur (dynamischen) Vermittlung von Kommunikationspartnern gegenübergestellt und bewertet,
- die Integrale Betrachtung von Security Mechanismen dieser Lösungen die Anforderungen an ein Lösungsmuster für die Umsetzung definiert,
- die Beschreibung eines Lösungsmusters abgeleitet und
- die konkrete Umsetzung beschrieben.

Ausgehend davon leitet sich **HE 2.6-2** ab. Die „VV Lokales Breitband“ (Verwaltungsvorschrift) sieht für die lokalen Frequenznutzungen im Frequenzbereich 3.700–3.800

MHz Absprachen zwischen benachbarten Nutzern vor. Hier wird geprüft werden, ob die [IEC 62657-2](#) diesen Prozess unterstützen kann.

Zuverlässigkeitsbewertung

Das Work Item „[Key Performance Indicator \(KPI\)](#) for 5G technology enabled connected industries.“ der 5G-ACIA adressiert auch die Zuverlässigkeitsbewertung. Zusammen mit der **VDI/VDE-Richtlinie 2192** könnten das die Grundlagen für eine standardisierte Zuverlässigkeitsbewertung industrieller Kommunikationslösungen sein [siehe **HE 2.6-5**] formuliert.

Bewertung von Echtzeitkommunikation

In den Work items „Performance testing – Field trial – Objectives, Requirements and Methodology“ und „5G Performance Evaluation for Connected Industries and Automation“ der 5G-ACIA werden Methoden zur Bewertung des Echtzeitverhaltens von industriellen 5G-Lösungen diskutiert. Die Ansätze und Schlussfolgerungen sollten aus Sicht heterogener industrieller Netzwerke bewertet und ggf. angepasst werden [siehe **HE 2.6-6**].

Frequenzspektren

Die Diskussionen zur Weiterentwicklung der Frequenzregulierungen (d. h. Bedingungen der gegenwärtigen und künftigen Zuweisung von Frequenzspektrum) sowie die Erörterung des Einflusses auf die Industrie werden in der 5G-ACIA fortgeführt. Ein weiteres Thema sind Optionen der Ressourcennutzung, um 5G Industrie 4.0-Lösungen zu ermöglichen, einschließlich Network-Slicing. Verschieden Modelle zur Bereitstellung von Spektrum für Industrie 4.0 werden in Europa und global diskutiert. [siehe **HE 2.6-8**]

Die bestehenden, bzw. in Entwicklung befindlichen Normen sind bzgl. ihrer Anwendbarkeit zu prüfen. Gegebenenfalls sind Profile zu spezifizieren, die eine Konformitätsprüfung und somit die Interoperabilität der Produkte verschiedener Hersteller ermöglichen.

Hier sollte untersucht werden, wie eine ideale Netzwerkstruktur für Industrie 4.0 aussieht, wobei auch die drahtlose Kommunikation mit betrachtet wird. Dies umfasst Kommunikation innerhalb von Industrie 4.0-Komponenten als auch die Vernetzung zwischen den verschiedenen, teilweise mobilen, Industrie 4.0-Komponenten, die Kommunikation mit übergeordneten Automatisierungsgeräten sowie die Anbindung an die Office-ITEDV, bis hin zur Cloud für die Datenablage und Cloud-basierten Diensten. Die gefundenen Lösungen sind zu standardisieren. Um Diagnose- und Überwachungsfunktionen in einem Industrie 4.0-Netzwerk realisieren zu können, benötigen die Infrastrukturkomponenten der leitungsgebundenen Kommunikationssysteme, aktive (Router, Switches, Repeater etc.) wie passive (Leitungen und Stecker) eine virtuelle Repräsentanz. Die Merkmale (produktbeschreibende und einsatzbezogene Daten) und die Zustandsinformationen der Infrastrukturkomponenten sind zu standardisieren, um eine einheitliche Sicht darauf zu ermöglichen.

Zur Nutzung dieser Dienste im Anwendungsprozess erscheint es sinnvoll, Kommunikationsgeräte als Industrie 4.0-Komponenten zu betrachten und die Aspekte gemäß RAMI 4.0-Layer bei deren Entwicklung zu berücksichtigen. Neue Kommunikationstechnologien sowie die beschriebene Adaptivität der Kommunikationssysteme stellen auch neue Anforderungen an die Security. Des Weiteren müssen Kommunikationssysteme wegen der

Mobilität und wegen des Determinismus der Anwendungen Dienste zur Ortung und zur Zeitsynchronisation bereitstellen.

2.6.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

2.6-1 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.

2.6-2 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.

2.6-3 Kommunikationsgeräte mit adaptiven Funktionen zum Geräte- und Netzwerkmanagement sind als Industrie 4.0-Komponente zu modellieren. Für ein Kommunikationsteilmodell einer Verwaltungsschale sind entsprechende Merkmale und Dienste zu spezifizieren.

2.6-4 Für die Planung von Kommunikationsnetzen (leitungsgebunden und drahtlos) ist ein Modell zu entwickeln, mit dem industrielle Datenkommunikationsszenarien spezifiziert werden können.

2.6-5 Normen für die Zuverlässigkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und Kommunikationsdiensten sind zu erarbeiten, die eine quantitative, transparente und vertrags-sichere Bewertung aus Sicht industrieller Anwendungen an der Schnittstelle zwischen Bereitsteller und Nutzer zulassen.

2.6-6 Kenngrößen und Methoden zur Bewertung von industriellen Echtzeitkommunikationssystemen (leitungsgebunden und drahtlos) sind in einer Norm zusammenfassend und einheitlich festzulegen.

2.6-7 Kommunikationsnormen für Industrie 4.0 haben Testspezifikationen bereitzustellen, die zum Nachweis der Performanz, der Konformität und der Interoperabilität von Produkten herangezogen werden können.

2.6-8 Die Arbeiten zur weltweiten Harmonisierung von Frequenzspektren für die Nutzung durch industrielle Automatisierungsanwendungen sollten weiter aktiv durch Experten der Mess- und Automatisierungstechnik begleitet werden. Industrieverbände und 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.

2.6-9 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 „Non-public Networks“ [72] sein.

2.6-10 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.

2.6-11 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.

2.6-A1 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.

2.7 Mensch und Arbeit

2.7.1 Status und Fortschritte seit Version 3

In Arbeitsprozessen der Industrie 4.0 ist der Mensch mit verschiedenen Aufgaben als Akteur im sozio-technischen Arbeitssystem einbezogen, z. B. als Bediener von Maschinen, als Instandhalter, Produktionsplaner oder Programmierer. Bei der Neu- und Umgestaltung von Arbeitssystemen können die Kriterien menschengerechter, nachhaltig erfolgreicher Arbeit vorausschauend in der Planung berücksichtigt werden. Wenn man den Menschen mit seinen Fähigkeiten, Fertigkeiten, seinem Leistungsvermögen und seinen Leistungsgrenzen in die Gestaltung einbezieht, dann entstehen ergonomische, effiziente und flexible Arbeitssysteme.



Abbildung 25: Kriterien menschengerechter Arbeit nach Hacker (2005)

Die Kriterienhierarchie menschengerechter Arbeit (siehe **Abbildung 25**) ist für die Normungsarbeit im Bereich der Ergonomie handlungsleitend. Das grundlegende Kriterium ist die Ausführbarkeit von menschlicher Arbeit im Rahmen des physischen und psychischen Leistungsvermögens des Menschen. Darüber hinaus muss Arbeit schädigungslos sein, Unfälle und Gesundheitsschäden, aber auch Fehlhandlungen sind also durch eine angemessene Gestaltung zu vermeiden. Werden Assistenzsysteme und Automatisierungslösungen in die ergonomische Gestaltung integriert, ermöglichen sie heute und in Zukunft die Übernahmen von oder Unterstützung bei ansonsten nicht ausführbaren oder gesundheitsschädigenden Aufgaben. Adaptive und adaptierbare Technologien erlauben, diese Unterstützung individuell auf den jeweiligen Beschäftigten anzupassen. Ist Arbeit beeinträchtigungsfrei, ist sie belastungsoptimal gestaltet, sodass Über-, aber auch Unterforderung physischer und psychischer Art vermieden werden.

Die Entwicklungen der Industrie 4.0 wie dynamische cyber-physische Systeme, hohe Informationsverfügbarkeit und komplexe Mensch-Technik-Interaktion können dazu beitragen, Beeinträchtigungen zu vermindern. Bei nicht geeigneter Gestaltung kann dies aber auch zu gegenteiligen Entwicklungen führen: z. B. kann Monotonie entstehen, wenn der Mensch eher ein Zuarbeiter der Technik wird und vornehmlich einförmige, anspruchslose Resttätigkeiten ausführt. Es gilt, beide Belastungsextrema (Über- und Unterforderung) zu vermeiden. Als höchstes Kriterium gilt es, Arbeit persönlichkeitsförderlich zu gestalten, indem Lernen und Kompetenzentwicklung ermöglicht werden. Durch stetige und individualisierte Qualifizierung der Beschäftigten, durch die Übertragung von Verantwortung für einen Teil des Arbeitssystems und eine ergonomische Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion kann Dequalifizierung vermieden und Lernförderlichkeit erreicht werden.

Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen

Die Norm **DIN EN ISO 6385** mit dem aktuellen Stand 2016 ist die international akzeptierte Grundlagennorm für Arbeitssysteme. Sie bildet die Basis für die ergonomische Gestaltung der Interaktion von Arbeitenden und Arbeitsmitteln mit Mensch-Technik-Schnittstellen in einer Arbeitsorganisation zur Bearbeitung von Arbeitsaufgabe und -tätigkeiten in einem

Arbeitsraum bzw. am Arbeitsplatz und einer Arbeitsumgebung (siehe **Abbildung 26**). Ihre Inhalte haben Gültigkeit für verschiedene Arbeitssysteme, d. h. beispielsweise für Systeme in der Produktion, bei Dienstleistungs- und Wissensarbeit oder in der Logistik. In ihr sind grundsätzliche Konzepte von menschenzentrierter Gestaltung eines Arbeitssystems und Gebrauchstauglichkeit von gegebenen Arbeitsmitteln verankert. Zudem sind zentrale Begriffe für die ergonomische Arbeitsgestaltung definiert und auch die wesentlichen Bestandteile eines Arbeitssystems benannt, die gestaltet werden müssen.

Gestaltung von...



Abbildung 26: Gestaltbare Elemente eines Arbeitssystems nach DIN EN ISO 6385

An diesen Elementen orientiert sich auch die vorliegende Kapitelstruktur. Wesentlich sind jedoch nicht nur die einzelnen Gestaltungselemente des Arbeitssystems, sondern, gerade in Zeiten vernetzter, dynamischer und komplexer Produktionssysteme, vor allem die Wechselwirkungen zwischen den Elementen. Da Menschen in Industrie 4.0-Arbeitssystemen häufig mit technischen Arbeitsmitteln (z. B. Maschinen, Werkbank) interagieren, werden dabei rechtliche Vorgaben relevant, die sich einerseits auf ihre Herstellung (z. B. [Maschinenrichtlinie 2006/42/EG](#), [2009/127/EG](#)) und andererseits auf ihren Einsatz im betrieblichen Alltag (z. B. Arbeitsstättenverordnung) beziehen.

In Ländern der Europäischen Union spielt diese Aufteilung eine besondere Rolle, da in zugrunde liegenden Regelwerken zur weiteren Information und Konkretisierung auch auf sogenannte harmonisierte Normen verwiesen werden kann, die dann eine Vermutungswirkung für eine erfolgreiche Umsetzung auslösen können. So sind sicherheitstechnische und ergonomische Anforderungen in der Maschinenrichtlinie beschrieben und mithilfe von Verweisen auf Normen spezifiziert. Orientiert sich nachweislich die ergonomische Gestaltung von Arbeitsaufgaben an der Reihe [DIN EN 614](#) und von Interaktions- und Informationsschnittstellen an der [Reihe DIN EN 894](#), so sind damit wesentliche Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitsaufgaben und Tätigkeiten an Maschinen umgesetzt. Natürlich können zur Gestaltung auch andere Anforderungen oder nicht-harmonisierte Normen (z. B. Reihe [DIN EN ISO 9241](#)) herangezogen werden, wenn bei Bedarf auch der Nachweis der Vergleichbarkeit erbracht wird. Im Bereich der Gestaltung der Sicherheit von Maschinen wird daher empfohlen, sich von den ergonomischen Anforderungen aus Normen der Maschinenrichtlinie leiten zu lassen.

Exemplarischer Use Case „Assistenzsystem Fahrzeugmontage“

Wie bereits in **Anwendungsfall 3** (siehe **Kapitel 1.4.1**) kurz dargestellt, bietet die Digitalisierung umfassende technische Möglichkeiten verschiedene Typen von Arbeit mit Assistenzsystemen zu unterstützen. Der folgende fiktive und modellhafte Use Case integriert Aspekte dieser Funktionen. Das Anwendungsfeld ist die Endmontage des Innenraumes bei der Automobilproduktion durch eine/n Montagemitarbeiter/in.

Als Technologie kommen ein Exoskelett als dynamische Sitzunterstützung, ein handhabungsunterstützender, kollaborativer Roboter zum Handling und Einbau großer Teile der Fahrzeuginneneinrichtung und eine situativ nutzbare Datenbrille zum Einsatz. Diese dient der Informationsbereitstellung für variantenspezifische Montage- und Qualitätssicherungshinweise und gleichzeitig durchameratechnik zur Prozessdokumentation sowie situativ zur Aufnahme (auch verbal) von Verbesserungsvorschlägen oder ähnlichen Informationen durch das Montagepersonal. Zusätzlich sind Kommunikationsmöglichkeiten mit Vorgesetzten, Spezialisten etc. enthalten.

Die Akteure sind hier: Montagepersonal, Montageleitung, Arbeitssystemplaner, Arbeitsablaufplaner, Montagesteuerung, Personal zur Wartung und Instandhaltung von Mechanik und Elektrik, Personal zur Wartung und Instandhaltung der Hard- und Software der assistiven Systeme und Funktionen. Um einen Stopp des Montagebandes bei Ausfall eines technischen Hilfsmittels zu vermeiden, soll der Montageablauf auch ohne robotische und assistive Systeme möglich bleiben. Ebenso sollten Grenzwerte nicht über- bzw. unterschritten werden. Das Ergebnis des Prozesses ist die Montage eines Innenraumbauteils (z. B. Sitzbank, Armaturenbrett).

Fahrzeug und Innenraumbauteil stehen am Band zur Verfügung und werden von einer Person mit Exoskelett-Stuhl und Handhabungsroboter kraftunterstützt ins Fahrzeug geführt. Die Grob- und Feinpositionierung des Bauteils erfolgt mittels Mensch-Roboter-Kollaboration. Für die Verschraubungen können optional variantenspezifische Informationen mittels einer Datenbrille abgefragt werden, die gleichzeitig auch zur Erfassung von Verbesserungsvorschlägen per Bild oder Sprache genutzt werden kann. Die Dokumentation des Arbeitsschritts erfolgt ebenfalls über das Kamerasystem der Datenbrille.

Gestalten des Arbeitssystems

Industrie 4.0 kann Unternehmen neuartige Flexibilisierungspotenziale zur Gestaltung der Arbeits- und Wertschöpfungsprozesse eröffnen. Eine ergonomische Gestaltung von Arbeitssystemen unterstützt die Planung, Einführung und den Betrieb von Lösungen der Industrie 4.0 durch ein systematisches und strategisches Vorgehen.

Gestalten der Arbeitsorganisation

Die Arbeitsorganisation umfasst die Ablauf- und die Aufbauorganisation. Die Gestaltung der Ablauforganisation erfordert, die Abläufe im Unternehmen dahingehend zu organisieren, dass die Herstellung von Produkten bzw. die Erbringung von Dienstleistungen gewährleistet ist. Die Aufbauorganisation erfordert, Aufbaustrukturen zu gestalten, mit denen die vorgesehene Ablauforganisation ermöglicht und unterstützt wird. [siehe HE 2.7-2]

Gestalten der Aufgaben und Tätigkeiten

Eine ergonomische Gestaltung von sich verändernden sowie neuen Aufgaben und Tätigkeiten bietet auch zukünftig die Chance zur Erhaltung und Verbesserung von Leistungsfähigkeit, Gesundheit, Sicherheit und Wohlbefinden der Arbeitenden. Als Prinzipien zur dauerhaften Optimierung der Arbeitsbelastung können folgende Beispiele genannt werden:

- Überforderungen, Unterforderungen unnötige Wiederholungen vermeiden, anderenfalls entstehen unausgeglichene Arbeitsbeanspruchung, körperliche Störungen oder Empfindung von Monotonie, psychischer Sättigung, Langeweile, Unzufriedenheit.
- Arbeitenden aussagefähige Rückmeldungen zu ihrer Aufgabenbearbeitung geben

- Ein isoliertes Arbeiten von Arbeitenden ohne Gelegenheiten zu sozialen und fachbezogenen Kontakten vermeiden.
- Arbeitenden einen angemessenen Grad an Entscheidungsfreiheit hinsichtlich Vorrang von Aufgaben, Tempo und Vorgehensweise einräumen.

Gestalten der Produkte, Arbeitsmittel und Schnittstellen

Arbeitsmittel umfassen laut [DIN EN ISO 6385](#) Werkzeuge, Hard- und Software, Maschinen und weitere Komponenten, die in einem Arbeitssystem verwendet werden. Die Interaktion mit Beschäftigten erfolgt über Schnittstellen, deren Gestaltung an den Merkmalen und Eigenschaften des Menschen orientiert sein sollte. Für das Ziel einer sicheren und gesunden Arbeitsgestaltung erscheint das Leitbild einer ergonomischen Arbeitssystemgestaltung umfassender und weitreichender als das einer für den Gebrauch tauglichen Gestaltung von Arbeitsmitteln.

In der [DIN EN ISO 10075-2](#) „Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung“ (aktuell in Überarbeitung) wird beispielsweise empfohlen, Wechsel in der Darstellungsmodalität von Signalen zu ermöglichen, um Monotonie zu vermeiden sowie eine individuelle Ausführungsweise von Aufgaben zuzulassen. Chancen und Risiken, die diesbezüglich mit Technologien der Industrie 4.0 einhergehen, werden im Rahmen der aktuellen Überarbeitung der Norm diskutiert.

Smart Devices, Wearables und ähnliche Technologien, die mit Diensten vernetzt sind, führen zu einer Aufweichung der Grenzen zwischen Produkt, System und Diensten. In der Folge können neue Interaktionen zwischen Menschen und Maschine oder technischer Anlage entstehen, die eine Herausforderung für die Beurteilung möglicher Gefährdungen sowie die ergonomische Gestaltung darstellen. Themen wie „Bring-your-own-device“ oder „User Experience“, die einen verstärkten Raum in der Diskussion und auch in der Normung (siehe Definition von „User Experience“ in [ISO 9241-210](#)) einnehmen, belegen, dass eine erfolgreiche und wirtschaftliche Anwendung von Systemen in hohem Maß von der erlebten Qualität der Benutzung dieser Systeme abhängt.

Gestalten der Arbeitsumgebung, Arbeitsraum, Arbeitsplatz

Die [DIN EN ISO 6385-12](#), enthält Begriffsdefinitionen sowie Anforderungen an eine menschengerechte Gestaltung von Arbeitsumgebung, Arbeitsraum und Arbeitsplatz unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit anderen Elementen des Arbeitssystems (wie beispielsweise Arbeitsmitteln). Die Arbeitsumgebung umfasst demnach physikalische, chemische, biologische, organisatorische, soziale und kulturelle Faktoren, die einen Arbeitenden umgeben. Die Norm fordert u. a., objektive und subjektive Bewertungen der Umgebung zu berücksichtigen, anerkannte Grenzen für die Aufrechterhaltung von Gesundheit, Sicherheit und Wohlbefinden einzuhalten und eine Beeinflussbarkeit durch die Arbeitenden zu ermöglichen.

Der Arbeitsraum ist der Raum, der einer oder mehreren Personen innerhalb des Arbeitssystems zur Durchführung der Arbeitsaufgabe zugeordnet wird. Der Arbeitsplatz bezeichnet die Kombination und räumliche Anordnung der Arbeitsmittel innerhalb der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben erforderlichen Bedingungen. In der Norm sind u. a. folgende Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitsraum und Arbeitsplatz festgelegt:

- Einnahme einer stabilen als auch einer beweglichen Körperhaltung ermöglichen

- Bereitstellen einer sicheren und stabilen Basisfläche, von der aus Körperkräfte angewendet werden können
- Körpermaße, Körperhaltung, Muskelkraft und Körperbewegungen berücksichtigen.

Spezifische Aspekte der Arbeitsumgebung werden in existierenden Normen behandelt (z. B. die Beleuchtung von Arbeitsstätten in [DIN EN 12464-1](#)). Daneben existieren VDI-Richtlinien (z. B. [VDI 2058 Blatt 3](#) Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten). Wesentliche Anforderungen sind in den Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) enthalten, welche die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) konkretisieren.

Lernförderliche Arbeitsgestaltung und Kompetenzentwicklung

Arbeitsaufgaben, die nicht nur ausführbar, schädigungslos und beeinträchtigungsfrei gestaltet sind, sondern auch Möglichkeiten zur persönlichen Entwicklung und Entfaltung bieten, erfüllen die wesentlichen Kriterien der menschengerechten Arbeitsgestaltung (siehe [Abbildung 22](#)) und gelten als gesundheits- und lernförderlich – sowie infolgedessen als motivierend und produktiv [siehe [87]–[90]].

In Normen wird Lernförderlichkeit meist im Zusammenhang mit ergonomischer Gestaltung thematisiert. So kann die Auseinandersetzung mit den Anforderungen einer Arbeitsaufgabe und die damit einhergehende psychische Belastung und Beanspruchung zur Initiierung eines Lernprozesses führen und damit lernförderlich sein ([DIN EN ISO 10075-1](#)). Zudem geben vorhandene Normen Hinweise zur Softwaregestaltung, um Dialoge zwischen Menschen und technischem System lernförderlich aufzubauen ([DIN EN 29241-ff/ISO 9241-ff](#)).

Am Beispiel des skizzierten Anwendungsfalls (siehe [Kapitel 1.4.1](#) „Assistenzsystem“) bedeutet dies, dass die Ausführung der Montageaufgabe und die damit verbundene mentale Auseinandersetzung einen Lernprozess darstellen. Dabei kann der Mensch die Ausführung der Aufgabe erlernen, es können Bewegungsabläufe kontinuierlich verbessert werden und das Wissen über Bauzusammenhänge und mögliche Fehlerquellen sowie das Systemverständnis können zunehmen.

2.7.2 Laufende Entwicklungen

Gestalten des Arbeitssystems

Verschiedene aktuelle Studien bestätigen, dass Industrie 4.0 nur dann erfolgreich und nachhaltig in einem Arbeitssystem eingeführt werden, wenn dieses einen gewissen Reifegrad hat: Die Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 der acatech [67] benennt als wichtigste Kompetenzbedarfe bei Unternehmen mit 60,6 % die Datenauswertung und -analyse, gefolgt vom Prozessmanagement (53,7 %). Erst danach folgen IT-spezifische Kompetenzen. Ergebnis der Studie „I 4.0 im Mittelstand“ von Deloitte zu konkreten Industrie 4.0-Projekten im Mittelstand in den letzten zwölf Monaten war, dass 86 % der Befragten Prozessoptimierungen durchführten. Vor diesem Hintergrund ist die Gestaltung des Arbeitssystems immer parallel zur technischen Planung einer Lösung der Industrie 4.0 durchzuführen.

Die [DIN EN ISO 6385-12](#) definiert die Gestaltung von Arbeitssystemen als einen iterativen und strukturierten Prozess, der eine Anzahl von Gestaltungsphasen umfasst und zu einer Neugestaltung oder einer Umgestaltung führt. Neben ihr sind in verschiedenen weiteren Normen relevante Einzelaussagen zum Prozess der Arbeitssystemgestaltung enthalten: So benennen z. B. die Normen [DIN EN ISO 27500:2017-07](#), [DIN ISO 45001:2018-06](#) oder [DIN EN ISO 9000](#) ff. Rahmenbedingungen zur Arbeitssystemgestaltung, während z. B. die Norm [DIN EN 16710-2:2016-10](#) Analysemethoden zur Arbeitssystemgestaltung vorstellt. Konkrete Hinweise für die betriebliche Umsetzung fehlen aufgrund der Komplexität des Themas in allen Normen, sodass diese betriebsspezifisch abgeleitet werden müssen.

Wichtige Impulse sind im März 2019 durch den internationalen ISO Normungsworkshop „Ergonomics standards for robotic, intelligent and autonomous systems“ entstanden. Ergebnisse der Arbeitsgruppen zur Robotic, intelligent, Autonomous Systems fließen in die zu novellierende [ISO/TR 9241-810](#) ein. Zudem wird diese Gruppe die verschiedenen Aktivitäten im Bereich von Ergonomie, Smart Manufacturing und Exoskeletten evaluieren. National ist innerhalb des Normenausschusses Ergonomie der Arbeitsausschuss „Arbeits- und Produktgestaltung in der Industrie 4.0“ damit befasst, den Novellierungsbedarf der Ergonomienormung detailliert zu ermitteln [siehe [HE 2.7-1](#) und [HE 2.7-2](#)].

Zur Betrachtung der Rolle des Menschen in Industrie 4.0-Wertschöpfungssystemen ist eine soziotechnische Sichtweise von großem Nutzen für die vorausschauende Arbeitsgestaltung. Eine Schlüsselfrage für den soziotechnischen Prozess der Arbeitssystemgestaltung ist das Vorgehen zur Beteiligung der Arbeitenden. Oft ist der Anwendungskontext von I 4.0-Komponenten noch unbekannt, sodass eine Beteiligung der Arbeitenden nicht realisierbar erscheint. Gleichzeitig ist die Nutzerbeteiligung ein gut beschriebener Stand der Technik (z. B. in [DIN EN ISO 9241](#) als Weg zur Gebrauchstauglichkeit). Entsprechende soziotechnische Use Cases können hierbei hilfreich sein [siehe [HE 2.7-3](#)].

Gestalten der Arbeitsorganisation

Durch die Digitalisierung kann insbesondere die Handhabung von Informationen und Datenflüssen technisch unterstützt und verändert werden, sodass Informationen zunehmend sowohl horizontal und vertikal als auch inner- und überbetrieblich integriert werden. Auf dieser Grundlage lassen sich organisatorische Aufgaben teilweise oder vollständig an technische Unterstützungssysteme übertragen. Für den oben beschriebenen Use Case bedeuten diese Entwicklungen, dass bspw. bei der Personaleinsatzplanung mehr Kriterien bessere Berücksichtigung finden können als bisher. Neben Anwesenheit und Qualifikation lassen sich bspw. ergonomische Aspekte systematisch berücksichtigen, um Beanspruchungswechsel einzuplanen.

Die Digitalisierung erweitert zudem die Möglichkeiten der organisatorischen Zuordnung physisch stark belastender Tätigkeitsanteile an technische Systeme – dies kann teilweise (bspw. bei der Mensch-Roboter-Interaktion) oder vollständig (bspw. bei fahrerlosen Transportsystemen) geschehen. Dadurch entstehen Freiräume, die sowohl für die Erhöhung der Ganzheitlichkeit von Arbeitsaufgaben entlang des Arbeitsablaufs bzw. Wertschöpfungsprozesses als auch für Aktivitäten der kontinuierlichen Verbesserung (bspw. Weiterentwicklung der Organisation) nutzbar sind. In diesem Zusammenhang wird auch eine Flexibilisierung von Arbeitszeiten und -orten ermöglicht bzw. verbessert. Zu deren Gelingen sind angepasste und teilweise dezentrale Führungs-, Abstimmungs-, und Kollaborationsprozesse erforderlich, die das gesamte Spektrum von Präsenz im Unternehmen

über Präsenz in virtuellen Räumen bis hin zu eingeschränkter Erreichbarkeit abdecken und die informatorische Reichhaltigkeit jeweils genutzter Kommunikationswege bzw. -medien berücksichtigen.

Die Nutzung digitaler Technologien erfordert eine Interaktion des Menschen mit diesen Technologien. Ersetzt die Interaktion mit Technik die Interaktion mit Menschen in hohem Maße, so wird befürchtet, der Mensch könne sozial isoliert werden. Dies erscheint bspw. bei mobiler Arbeit, im Rahmen der Mensch-Roboter-Kollaboration oder bei vernetztem Arbeiten an/mit mehreren Maschinen möglich. Im Hinblick auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz ist die Vermeidung sozialer Isolation Teil der Organisationspflicht des Arbeitgebers. [siehe HE 2.7-4]

Auf dieser Grundlage können die Ablauforganisation in Abhängigkeit der Auftragslage agil rekonfiguriert werden (auch bspw. bei spät kommunizierten Änderungswünschen des Kunden) und ergonomische Aspekte, wie bspw. altersgerechte Arbeitsgestaltung, verstärkt berücksichtigt werden, sodass sich die Arbeits- und Leistungsfähigkeit der Beschäftigten über das gesamte Arbeitsleben verbessert. Gleichermaßen lassen sich Lern- und Qualifizierungsinhalte auslastungsabhängig einplanen und in Arbeitstätigkeiten integrieren, sodass die Dynamik der technologischen Entwicklung auch im Hinblick auf die Vermittlung der zu ihrer Nutzung notwendigen Kenntnisse und Kompetenzen Berücksichtigung finden kann. Dies betrifft sowohl Beschäftigte als auch Führungskräfte. [siehe HE 2.7-5, HE 2.7-6]

Die Aufbauorganisation bzw. -struktur ist so zu gestalten, dass sie vor dem Hintergrund der hohen Entwicklungsdynamik im Bereich der Digitalisierung Entscheidungen auf kurzen Wegen ermöglicht werden. Dezentrale und funktionsorientierte Ansätze bieten sich dazu an und unterstützen kooperationsorientierte, projektbezogene Arbeitsweisen. Dies bedeutet auch, dass Veränderungen an Prozessen Anpassungen an Aufbaustrukturen erfordern können. Die Aufbauorganisation in Unternehmen, die digitale Transformationsprozesse erfolgreich durchgeführt haben, wird geprägt sein durch Querschnitts-Arbeitsgruppen. [siehe HE 2.7-7, HE 2.7-8, HE 2.7-9]

Gestalten der Aufgaben und Tätigkeiten

Ein Einsatz von Elementen der Industrie 4.0 wirkt sich auch auf die Gestaltung von Aufgaben und Tätigkeiten aus: Weiterhin werden Funktionen zwischen Menschen und/oder Maschinen aufgeteilt werden. Eine Funktionszuweisung sollte dynamisch gestaltet werden, damit sie flexibler variieren kann. An sozio-technischen Systemen wie z. B. Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) ist dies schon heute sichtbar: Ein Roboter kann Arbeitsaufgaben von Beschäftigten komplett oder teilweise übernehmen (und umgekehrt) bzw. ein Beschäftigter wird bei seiner Arbeitsaufgabe durch einen Roboter oder ein Assistenzsystem in Teilen seiner Arbeitsaufgabe unterstützt. Zukünftige Mensch-System-Interaktionen werden vielfältige Gestaltungsformen annehmen. [siehe HE 2.7-11]

Zukünftig sind neben stationären Bedienelementen häufiger Leitwarten, Leitstände oder mobile Bediensysteme (z. B. Tablet, Smartphone) zur Mehrmaschinenbedienung verbreitet. Maschinenbedienern wird es dadurch ermöglicht, mehrere Maschinen gleichzeitig zu überwachen, zu steuern, zu warten und instand zu setzen. Die Beschäftigten stimmen ihre Aufgaben am stationären und mobilen Leitstand ab. Eine variable und gleichzeitig eindeu-

tige Zuordnung von Aufgabenfunktionen zu Maschinen und Aufträgen sowie Rückmeldungen über aktuelle Zustände und Veränderungen sind für den Beschäftigten erforderlich.

Prozesse und Produkte werden in Arbeitssystemen der Industrie 4.0 in unterschiedlicher Ausprägung durch Künstliche Intelligenz bzw. selbstlernende Algorithmen gesteuert; sie agieren somit teilweise autonom. Kollaborative Roboter oder andere z. B. KI-gestützte Systeme können ihre Arbeitsweise selbstständig optimieren. Informatorische Assistenzsysteme werden eingesetzt, wie z. B. zur Aufbereitung erfahrungsbasierter Aufgabenbeschreibungen und deren Darstellung über Datenbrillen. Auswirkungen auf die Funktionsallokation und auch Handlungsspielräume von Beschäftigten sollten sich an Anforderungen an die ergonomische Gestaltung von Aufgaben und Tätigkeiten orientieren. [siehe HE 2.7-12]

Die Digitalisierung bietet umfassende technische Möglichkeiten, z. B. informatorische Arbeit mit Assistenzsystemen zu unterstützen, also u. a. die aufgabenangemessene, transparente Filterung und Darstellung bzw. Visualisierung komplexer Informationen. Diese Informationen werden z. B. von einem Datenanalysten unter Anwendung von Algorithmen aus unstrukturierten und mehrdimensionalen Daten (aus mehreren (Sensor-)quellen) gewonnen und einem Maschinenbediener anschließend bereitgestellt, damit dieser sie auf Maschinen nutzen bzw. „real“ abarbeiten kann. Die Gestaltung zukünftiger Arbeitsaufgaben in Industrie 4.0 ermöglicht dem Beschäftigten einen Probelauf eines Arbeitsprozesses (z. B. eine Simulation mit der Verwaltungsschale, virtueller Realität). Das erlaubt quantitative und qualitative Prognosen der Zielerreichung sowie Vorhersagen und Planungen zu Arbeitsabläufen. Ein über Simulation ermittelter Arbeitsablauf wird auf die Maschine übertragen und dort abgearbeitet. Aktuelle Lösungen aus der Prozessindustrie werden zukünftig ähnlich für Maschinen, Anlagen oder Automaten entstehen und dem Beschäftigten erlauben Aufgaben zu planen, dabei zu entscheiden, auszuführen und zu evaluieren. [siehe HE 2.7-13]

Interaktionen mit zukünftigen vernetzten technischen Systemen werden den Handlungsspielraum, ggf. auch situationsabhängig, verändern. Hieraus werden sich neue Gestaltungs- und Qualifikationsbedarfe ergeben. Kollaborative Roboter ermöglichen im Gegensatz zu vollautomatisierten Industrierobotern ein Anlernen bzw. Lehren durch Beschäftigte. So kann ein Beschäftigter beispielsweise seine Aufgaben mehrfach wechseln, indem er auch durch Handführung einen Roboter für die Fertigung einer neuen Produktvariante einrichtet. [siehe HE 2.7-14, HE 2.7-15]

Es ist davon auszugehen, dass sich vermehrt Überwachungs-, Kontroll-, Planungs- und Steuerungsaufgaben für den Menschen ergeben werden. Dadurch ergeben sich neue Anforderungen an Funktionsteilung, an die Interaktionen und die Informationsbereitstellung.

Gestalten der Produkte, Arbeitsmittel und Schnittstellen

Neue Technologien wie Datenbrillen, Exoskelette oder kollaborative Roboter erfordern neue Konzepte der Gestaltung der Mensch-Maschinen-Schnittstellen bezogen auf die jeweiligen Aufgaben. Diese werden aktuell in verschiedenen Normungsgremien und -aktivitäten diskutiert (z. B. Überarbeitung der Reihe [DIN EN 614](#) und geplante Überführung auf ISO-Ebene).

Neben den harmonisierten Normen sowie spezifischen Produktnormen bietet die Normenreihe **DIN EN ISO 9241** eine mögliche Orientierung für das Themenfeld der Gestaltung von Produkten, Arbeitsmitteln und Schnittstellen. Die Norm **DIN EN ISO 9241-210** beschreibt die Aktivitäten bei der menschenzentrierten Gestaltung von Mensch-System-Interaktionen im vorgegebenen Nutzungskontext: sie fordert u. a. das iterative, agile Vorgehen, das auf dem regelmäßigen Einbezug und Rückmeldung der Benutzer beruht. Daneben liefert **DIN EN ISO 9241-112** umfangreiche Prinzipien der Informationspräsentation, die so grundlegende Gültigkeit haben, dass sie auch in virtuellen oder augmentierten Schnittstellen Anwendung finden können. Die Übertragbarkeit dieser Prinzipien der Informationsdarbietung auf Produkte wie kollaborative Roboter, die sich neben der Schnittstelle vor allem auch durch eine physische Interaktion und daraus resultierende Besonderheiten sowie auch Gefährdungen auszeichnen, wird aktuell in der Forschung untersucht. [siehe HE 2.7-19]

Gestalten der Arbeitsumgebung, Arbeitsraum, Arbeitsplatz

In den Gremien ISO/TC 159/SC 3 Anthropometry and biomechanics und NA023-00-03 Gemeinschaftsausschuss Anthropometrie und Biomechanik sind dazu aktuell die folgenden Aspekte in der Diskussion bzw. Entwicklung: Aktualisierung der Daten zu Körpermaßen und Nutzung neuer Technologien (z. B. 3-D-Body-Scan, digitale Ergonomie) zur Erhebung von Daten sowie Anforderungen an die Technologien als Voraussetzung zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen. In Verbindung mit adaptiven Arbeitsmitteln soll somit eine individuelle Anpassung des Arbeitsplatzes an die Arbeitenden ermöglicht werden. [siehe HE 2.7-27]

Lernförderliche Arbeitsgestaltung und Kompetenzentwicklung

Die hohe Entwicklungsdynamik der Digitalisierung führt dazu, dass sich Arbeitsaufgaben und teilweise auch organisationale Strukturen schneller verändern als bisher. Dementsprechend unterliegen auch die Anforderungen (Qualifikationen, Kompetenzen, Fertigkeiten etc.) an den Menschen dynamischeren Veränderungen. Folglich nimmt die Bedeutung von Kompetenzen zum Umgang mit neuen oder veränderten Arbeitssituationen ebenso zu wie die Bedeutung der kontinuierlichen Weiterentwicklung des Wissens (lebenslanges Lernen) bei allen Beteiligten – Führungskräften und Mitarbeitern. Gleichzeitig bietet die Digitalisierung stark erweiterte Möglichkeiten, um Arbeit lernförderlich zu gestalten bzw. um arbeitsplatzbezogenes Lernen über entsprechende Lernsituationen in den Prozess der Arbeit zu integrieren. Dazu zählen erfahrungsbasierte Aufgabenbeschreibungen ebenso wie die regelmäßige Zuordnung bestimmter Aufgaben, um einen hohen Übungsgrad zu erhalten oder um inkrementelle Änderungen an der Arbeitsaufgabe zu erlernen. Es ist anzustreben, auf diese Weise, die mit der Digitalisierung verfolgten Effizienz- und Innovationsziele der Unternehmen und die mitarbeiterbezogenen Ziele einer lern- und kompetenzförderlichen Arbeitsgestaltung und eines „Lernens durch Arbeit“ in Einklang zu bringen. [siehe HE 2.7-29, HE 2.7-30]

2.7.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

Gestalten des Arbeitssystems

2.7-1 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.

2.7-2 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.

2.7-3 Soziotechnische Use Cases

Arbeitsorganisation und -gestaltung sind zentrale Elemente und Erfolgsfaktoren eines Arbeitssystems. In jedem Use Case sollte beschrieben sein, welches Zielbild für Arbeitsorganisation und Aufgabenstruktur dem Use Case zugrunde liegt und welche Maßnahmen zur Umsetzung der Nutzerbeteiligung vorgesehen sind. Weiterer Kernbestandteil der Arbeitssystemgestaltung ist die aufgabenangemessene, ergonomische Gestaltung der Arbeitsmittel (z. B. gem. DIN EN ISO 6385). In jedem Use Case sollte daher beschrieben sein, mit welchen Mitteln diese Anforderung realisiert werden soll. Soziotechnische Use Cases implizieren typischerweise neue Kompetenzanforderungen, es sollte in jedem UC beschrieben sein, wie der Bedarf an Kompetenz und Kompetenzentwicklung ermittelt oder zumindest abgeschätzt werden soll, in welcher Weise die Gestaltung der I 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 nutzen.

Gestalten der Arbeitsorganisation

2.7-4 Eine zukünftig zu erwartende, ggf. sogar dynamische, Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine erzeugt Handlungsebenen unterschiedlicher Freiheitsgrade vom autonomen Funktionieren der Maschine über eine Teilung des jeweiligen Handlungs- und Entscheidungsspielraums bis zum selbstständigen Entscheiden des Menschen. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf ergibt sich hieraus z. B. bei den Normen [DIN EN 614-2](#), [ISO/TS 15066](#) und [DIN EN ISO 10218-2](#).

2.7-5 Die Führung von Beschäftigten wird sich unter den Rahmenbedingungen der Industrie 4.0 verändern. Um menschenzentrierte Aspekte der Führung in diesem Kontext zu organisieren, weiterzuentwickeln und zu schulen, erscheint die Schaffung einer organisationalen Rolle in Unternehmen hilfreich. Zu ihren Aufgaben zählt es, Akzeptanz für Industrie 4.0 im Unternehmen zu schaffen und eine Digitalisierungsstrategie aus der Vision und Mission des Unternehmens herzuleiten. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf ergibt sich z. B. bei den Normen Entwurf [DIN EN ISO 27500](#), [ISO 9241](#) ff. und [ISO 26800](#).

2.7-6 Sammlung, Speicherung und Verarbeitung von Daten in großem Umfang wird ein wesentlicher Bestandteil der Industrie 4.0 sein. Schutzziele sind in diesem Zusammenhang u. a. die Verfügbarkeit, die Integrität, die Vertraulichkeit und der rechtskonforme

Umgang mit den Daten. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf entsteht daher z. B. bei den Normen Entwurf DIN EN ISO 27500, ISO 924 ff. und ISO 26800.

2.7-7 Die zunehmenden Möglichkeiten, Arbeit unabhängig von Zeit und Ort zu organisieren, führen zu einer weiteren Verbreitung mobiler Arbeit. Deren Gestaltungsmöglichkeiten unterscheiden sich wesentlich von denen stationärer Arbeit. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf besteht z. B. bei DIN EN ISO 9241-1:1997.

2.7-8 Eine fortschreitende Automatisierung und Technisierung der Arbeitsorganisation kann dazu führen, dass Interaktionsprozesse zwischen Menschen reduziert werden. Es ist darauf zu achten, Aspekte der sozialen Isolation bezüglich ihrer möglichen Auswirkungen auf die psychische Belastung von Beschäftigten zu erkennen und zu bewerten. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf besteht bei folgenden Regelwerken: DIN EN ISO 10075-2, DIN EN ISO 10075-2, DIN EN 6142.

2.7-9 Die fortlaufende Anpassung der Arbeitsorganisation an die technischen Entwicklungen erfordern ein angepasstes Lern- und Qualifizierungsverhalten Beschäftigter. Lebenslanges Lernen ist durch eine lernförderliche Arbeitsgestaltung zu unterstützen. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf besteht z. B. bei den Normen Entwurf DIN EN ISO 27500, ISO 9241-11, -20, -100, -171, und -210, ISO 26800 und DIN EN ISO 10075-2. Zudem entsteht zu diesem Thema eine Richtlinie im Fachausschuss 7.22 des VDI.

2.7-10 Das Verständnis einer Organisation und ihres Umfeldes sollte aufgrund des sich verändernden Kontextes in Industrie 4.0 bzw. erweiterter Rahmenbedingungen erweitert werden. Prozesse, die möglicherweise rein digital ablaufen, erfordern es, auch die virtuelle Umgebung einer Organisation zu betrachten. Ergänzungs- bzw. Änderungsbedarf kann sich z. B. bei der Norm DIN EN ISO 9001:2015 ergeben.

Gestalten der Aufgaben und Tätigkeiten

2.7-11 Interaktionen zwischen Mensch und Maschine/Anlage sollten, bezogen auf Abstufungen zu Aufgaben, Interaktionen und Informationen, dynamisch ausgestaltet werden können. Auf diesen Ebenen ergeben sich Handlungen unterschiedlichen Grades, z. B. vom automatisierten Funktionieren der Maschine über eine Teilung von Handlungen bis zum vollständigen und alleinigen Handeln des Menschen. Es resultiert Anpassungsbedarf z. B. für DIN EN 614-2, DIN EN 894-1,3, ISO/TS 15066, DIN EN ISO 10218-2, 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.

2.7-12 Zukünftig werden sich technische Anlagen an Produktionsprozesse automatisiert, kurzfristig und dynamisch anpassen. Rekonfigurationsprozesse beeinflussen die Mensch-Maschine-Funktionsteilung und sollten daher als adaptierbare Automatisierung abgebildet werden. Anpassungsbedarf entsteht z. B. für DIN EN 614-2, DIN EN 894-1, DIN EN ISO 29241-2.

2.7-13 Zukünftig werden lebenslanges Lernen und Digitalkompetenz wichtiger. Durch neue Möglichkeiten der technischen Unterstützung von Qualifikationen der Beschäftigten können sie wiederum andere und vielfältigere Aufgaben bearbeiten. Es resultiert Anpassungsbedarf für z. B. Entwurf DIN EN ISO 27500, DIN EN ISO 9241-11, -20, -100, -171, und -210, DIN EN ISO 26800, DIN EN ISO 10075-2.

2.7-14 Es ist zukünftig zu berücksichtigen, dass Maschinen und andere technische Systeme auch Beschreibungsmerkmale des Menschen (z. B. Größe, Körperhaltung, Gesichtsausdruck) erkennen und sich daran anpassen können sollen. Als Reaktion darauf ändern Menschen ihre Verhaltensweisen. Dadurch ergeben sich neue Anforderungen an die Gestaltung von Aufgaben und Tätigkeiten. Anpassungsbedarf entsteht für z. B. DIN EN ISO 6385, DIN EN 614-2, DIN EN 894-1, DIN EN ISO 29241-2.

2.7-15 Mensch-System-Schnittstellen sind für mehrere parallel arbeitende Beschäftigte, für mehrere Maschinen und für verschiedene Produkte und Mengen unterscheidbar zu gestalten. Die Anforderungen an die ergonomische Aufgabengestaltung sollten berücksichtigen, dass Schnittstellen zukünftig ausgelegt werden müssen für mehrere Maschinen, mehrere stationäre und mobile Steuerungs- und Überwachungseinheiten, mehrere darauf laufende Prozesse und eine Nutzung durch mehrere Beschäftigte gleichzeitig. Diese Empfehlung ist nicht nur für die Gestaltung der Aufgabenschnittstelle, sondern auch für die Gestaltung von Interaktions- und Informationsschnittstellen erforderlich. Anpassungsbedarf entsteht z. B. für Reihen DIN EN ISO 9241, 10218 und 11064 sowie DIN EN 614 und 894, C-Normen für Maschinen.

2.7-16 Zukünftige Arbeitsaufgaben sollen Beschäftigten einen Probelauf eines Arbeitsprozesses (z. B. eine Simulation mit der Verwaltungsschale, virtueller Realität) ermöglichen. Änderungen ergeben sich durch die ergonomische Gestaltung von Aufgaben durch Probanden, durch nachfolgende reale Umsetzungen und durch veränderte Gestaltungsanforderungen für Arbeitsorganisation und Arbeitsplatz. Anpassungsbedarf resultiert z. B. für Reihen DIN EN ISO 11064, 894, 9241, DIN EN 614-2, C-Normen für Maschinen.

2.7-17 Assistenzsysteme können die Reihenfolge der Abarbeitung von Aufgaben bzw. dem dahinterstehenden System, im Sinne betriebsorganisatorischer Ziele, wie Wegoptimierung, Zeitersparnis, Auftragsreihenfolge o. Ä., vorgeben. Die Schnittstellengestaltung soll den Beschäftigten entscheiden lassen, wann er den nächsten Auftrag annehmen möchte, wie er den nächsten Auftrag durchführen möchte usw. Der Beschäftigte muss Kontrolle über den Prozess haben und entscheiden können. Anpassungsbedarf entsteht z. B. für DIN EN 614-2, DIN EN ISO 10075-2, C-Normen für Maschinen.

2.7-18 Rückmeldungen eines (Assistenz-)Systems an den Bediener sind bzgl. Stand, Struktur, Prozess und Inhalt an die Aufgabenbearbeitung anzupassen. Dabei sind zunächst die Aufgaben zu gestalten. Die Anzeigengestaltung folgt der Aufgabengestaltung und ist darauf ausgerichtet. Anpassungsbedarf resultiert z. B. für DIN EN 894-2, DIN EN ISO 11064-1 sowie Normen zur Gestaltung von Assistenzsystemen.

Gestalten der Produkte, Arbeitsmittel und Schnittstellen

2.7-19 Arbeitsprozesse mit Assistenzsystemen im Kontext von Industrie 4.0 fordern Beschäftigte durch Überwachungs- und Kontrolltätigkeiten, die im Gegensatz zu üblichen Arbeiten nicht jederzeit unterbrochen werden können und die durch Eigendynamik die Steuerungsmöglichkeiten beeinflussen. Änderungsbedarfe entstehen für Normen der Reihen DIN EN 894, DIN EN ISO 9241, DIN EN ISO 11064.

2.7-20 Im Kontext von Industrie 4.0 wollen statische bis hin zu dynamischen Interaktionen und Informationsdarstellungen mit geeigneten Schnittstellen ausgestaltet werden.

Arbeitssysteme mit eigendynamischen Komponenten technischer Systeme machen auch dynamische Interaktionen und Informationen erforderlich. Überarbeitungsbedarfe sind zu finden bei den Normen: Reihe DIN EN 894, DIN EN ISO 9241-110, -112, DIN EN ISO 11064-5.

2.7-21 Gestaltungsanforderungen an Schnittstellen für Interaktionen mit potenziell gefährlichen oder sicherheitskritischen Systemen gehen über gebrauchstaugliches Gestalten hinaus, da letztere keine Beziehungen zur sicheren (i. S. v. funktionale Sicherheit, IT-Sicherheit und Zuverlässigkeit) Gestaltung aufgreifen. Relevante zu prüfende Normen sind: DIN EN ISO 13849-1, 2, DIN EN ISO 26800, DIN EN 894, DIN EN ISO 9241-11, -210. Für den Anwendungskontext der Maschinengestaltung ist ein Erläutern und Aufgreifen eines Bezugs zu solchen Gestaltungszielen erforderlich.

2.7-22 Das einfache Darstellen komplexer Informationen sollte für Maschinenbediener im Kontext von Industrie 4.0 unterstützt werden, damit vom Maschinenbediener verarbeitbare Informationsmengen ausgewählt und eine Maschine die Daten abhängig von der gewählten Menge visualisieren kann (Auswahl relevanter Normen: z. B. DIN EN ISO 9241-112).

2.7-23 Die Nutzung autonomer oder vollautomatisierter Prozesse und Produkte in Arbeitssystemen soll für Beschäftigte transparent sein. Interaktionen sollen vorhersagbar und nachvollziehbar sein und ein adäquates Situationsbewusstsein der Beschäftigten ermöglichen. Erreicht werden kann dies z. B. durch die Bereitstellung von Ankündigungen, Hinweisen und Erklärungen. (Interaktion und generell Verhalten sind nicht immer vorhersehbar, das hängt ganz vom Zustand und der Situation ab. Aber diese Zustände und Situationen sind bei gegebener Semantik simulierbar) Überarbeitungsbedarf resultiert z. B. für DIN EN 894-1, ISO/TS 15066, DIN EN ISO 10218-2, Normen zu Künstlicher Intelligenz (ISO/IEC JTC1 SC42) und zu selbstlernenden Algorithmen (siehe **Kapitel 4.1**).

2.7-24 Anpassungsbedarf bei Anforderung „Darstellung komplexer Informationen“

Die Bereitstellung der Informationen sollte so erfolgen, dass die jeweilige Informationsmenge vom Maschinenbediener ausgewählt werden kann und die Informationen maschinennah visualisiert werden. Diese Form der Mensch-Maschine-Interaktion bezieht sich u. a. auf unterschiedliche Aufgaben (z. B. Bestücken, Überwachen) und Betriebsarten (z. B. Wartung, Störungsbeseitigung, Instandhaltung). Die ergonomische Gestaltung von Informationen soll sich an der erforderlichen Darstellung und Aufbereitung ausrichten. Anpassungsbedarf wird z. B. bei folgenden Normen gesehen: DIN EN ISO 9241-112, DIN EN 894-1.

2.7-25 Der Prozess des Anlernens bzw. Teachens von kollaborativen Robotern durch Beschäftigte sollte ergonomisch gestaltet (z. B. erwartungskonform, fehlertolerant und selbstbeschreibungsfähig) sein. Überarbeitungsbedarf entsteht z. B. für ISO/TS 15066, DIN EN ISO 10218-2.

2.7-26 Anforderungen an Exoskelette sind in der Normung zu konkretisieren. Es liegen noch keine einschlägigen Normen vor, neue Vorhaben sollten initiiert werden.

2.7-27 Der Einsatz von körpergetragenen Assistenzsystemen wie z. B. Exoskeletten kann kraftaufwendige Tätigkeiten reduzieren. Neue Risiken für den einmaligen oder variieren-

den lang- und kurzfristigen Einsatz solcher Systeme sollten vermieden werden. Überarbeitungsbedarf entsteht z. B. für DIN 33411 und DIN EN 1005.

Gestalten der Arbeitsumgebung, Arbeitsraum, Arbeitsplatz

2.7-28 Bei der Gestaltung von Arbeitsraum und Arbeitsplatz sollte der mögliche Einsatz neuer Technologien wie Exoskelette, Datenbrillen oder mobile Roboter, fahrerlose Transportsysteme (siehe Use Case) in Betracht gezogen werden, es entstehen z. B. neue Anforderungen an Verkehrs- und Fluchtwege.

Lernförderliche Arbeitsgestaltung und Kompetenzentwicklung

Aus den skizzierten, teilweise sehr dynamischen und noch andauernden Entwicklungen ergeben sich verschiedene Ansatzpunkte für die Normung.

2.7-29 Bei Konstruktion und Design der technischen Systeme, insbesondere bei der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen, sind die Aspekte einer lernförderlichen Gestaltung zu berücksichtigen. Hierbei gilt es, vorausschauend die betrieblichen Prozesse (Steuerungs- und Informations-/Kommunikations- sowie Feedbackprozesse) zu berücksichtigen.

2.7-30 Vorgehensweisen zur Etablierung lebenslangen Lernens und von Problemlösungskompetenzen sollten als Teil kontinuierlicher Verbesserung beschrieben werden (bspw. bestehendes Fachwissen durch inkrementelles Lernen aktualisieren).

3 Normungsbedarf in Querschnittsthemen

3.1 Open Source

3.1.1 Status und Fortschritte seit Version 3

Open Source gewinnt, auch im Umfeld von Industrie 4.0, zunehmend Bedeutung im Zusammenspiel mit Normung und Standardisierung. Ähnlich wie im Falle von Normen und Spezifikationen handelt es sich bei Open Source um offene Technologien, die in kollaborativen Prozessen entwickelt, und offen für alle Marktteilnehmer bereitgestellt werden. Dementsprechend ist die Thematik auch als Zielsetzung in die neue Deutsche Normungsstrategie (DNS, siehe **Kapitel 1.1**) aufgenommen worden: „DIN und DKE etablieren Partnerschaften und suchen Wege zur effektiven Zusammenarbeit mit Open Source-Projekten und zur Nutzung von Open Source-Techniken bzw. Methoden in der Normung und Standardisierung.“ Zur Erfüllung des Ziels hat DIN eine Initiative zur Etablierung von Partnerschaften gestartet und DIN und DKE beteiligen sich auch an ähnlichen Projekten bei CEN-CENELEC und ISO/IEC.

Allerdings darf Open Source auch nicht mit Standardisierung gleichgesetzt oder verwechselt werden. In Open Source-Projekten wird kollaborativ Quellcode erstellt und Software entwickelt, die dann als quelloffene Software dem Markt bereitgestellt wird. Die Veröffentlichung erfolgt unter bestimmten Lizenzbedingungen, die sich über die Jahre am Markt etabliert haben und die auf die spezifischen Bedingungen und Anforderungen von Open Source-Projekten zugeschnitten sind. Wer Open Source-Software verwenden oder sogar verändern oder erweitern möchte, muss sich diese verschiedenen Lizenzbedingungen genauer anschauen, da sie festlegen, was der Anwender mit der Software machen darf.

Ein in diesem Zusammenhang wichtiger Begriff ist das sogenannte Copyleft, nach dem Open-Source-Lizenzen kategorisiert werden. 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 (schwaches Copyleft) und solche, die ganz auf das Copyleft verzichten (siehe **Tabelle 1** mit einer Auswahl an Beispielen). Möchte der Anwender unterschiedliche Open Source-Software zu einer neuen Software erweitern, so muss er darauf achten, dass sich die Lizenzen in einem Quelltext miteinander kombinieren lassen. Beispielsweise könnte er nicht den Quelltext aus einem GPL-Projekt in einem Eclipse-Projekt verwenden.

Open Source-Projekte ergänzen die Normung und Standardisierung auf verschiedene Art und Weise.

- Die Norm/der Standard wird in Open Source-Software umgesetzt: Open Source ist zunehmend ein Weg, um Technologien schnell am Markt zu positionieren – inklusive der Normen und Standards, die dabei jeweils in Open Source implementiert sind (Beispiel: open62541/Eclipse Milo).
- Die Spezifikation wird im Rahmen eines Open Source-Projekts entwickelt: Im Bereich von Interoperabilitätsschnittstellen und ähnlichen Interoperabilitätstechnologien finden Entwicklungen in Open Source statt, die zum einen, wie oben erläutert, direkt in quelloffener Form dem Markt zur Verfügung stehen oder wiederum in die Normung und Standardisierung zurückfließen.

→ Gemeinsame Entwicklung von Norm- und Open Source-Implementierung: Neben der Verbreitung der Technologien über Open Source fließt im Gegenzug Information über Funktionalitäten 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 27** dargestellten Ansatzes der „Agilen Normung“ strukturiert werden. Dieser Ansatz wird auch vom LNI 4.0 durch Tests und Validierungen verfolgt, um Feedback in die Standardisierung zu geben (beispielhaft AASX Package Explorer, BaSys/BaSyx). [siehe HE 3.1-1]

Tabelle 1: Copyleft Kategorien mit Beispiel-Lizenzen

Starkes Copyleft	Schwaches Copyleft	Kein Copyleft
→ GPL (General Public License)	→ LGPL (Lesser GPL) → MPL (Mozilla Public License) → EPL (Eclipse Public License)	→ Apache 2.0 → BSD (Berkeley Software Distribution) → MIT (Massachusetts Institute of Technology)
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.	Um die Verbreitung freier Bibliotheken zu fördern, wurde mit der LGPL eine abgeschwächte Copyleft-Lizenz kreiert. Sie gestattet das Zusammenlinken 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.	Diese freien – auch permissive genannten – 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.

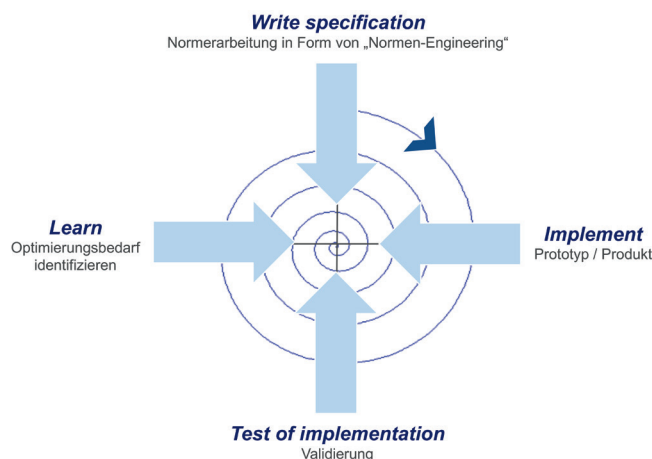


Abbildung 27: Agile Normung

3.1.2 Laufende Entwicklungen

Im Folgenden werden aktuelle Open Source-Technologien und Projekte vorgestellt, die unmittelbare Relevanz für Industrie 4.0 und einen engen Bezug zur Standardisierung haben:

Projekt: open62541/Eclipse Milo

Bereits in **Kapitel 1.4.1 im Anwendungsfall 2** „Standardisierung der Fertigungseigenschaften von Maschinen“ ist auf den Standard OPC UA eingegangen worden und er ist auch im weiteren Verlauf der Roadmap immer wieder referenziert worden. Dieser Standard wurde als Normenreihe **IEC 62541-100:2015** veröffentlicht und es gibt dazu eine Reihe von relevanten Open Source-Implementierungen. Hier sei das in C implementierte Projekt open62541 und das in Java implementierte Projekt Eclipse Milo erwähnt. Eclipse Milo ist unter Eclipse EPL-2.0 lizenziert und open62541 unter Mozilla MPL-2.0. Beides sind schwache Copyleft Lizenzen, sodass die Bibliotheken auch in proprietärer Software eingesetzt werden könnten, wenn sie nicht verändert werden. Die Projekte können über [Github](#) heruntergeladen werden.

Projekt: AASX Package Explorer

Der AASX Package Explorer ist eine Beispielimplementierung als Open Source-Projekt für Verwaltungsschalen (siehe **Kapitel 2.3**). Mit diesem Softwaretool können Verwaltungsschalen erzeugt und editiert werden und einfach miteinander ausgetauscht werden. Im AASX Package Explorer ist die für Industrie 4.0 zentrale Spezifikation „Details of the Asset Administration Shell – Part 1“ realisiert. Das Tool erzeugt Verwaltungsschalen in den Formaten XML und JSON und legt diese mit den weiteren Dateien in einem AASX Container ab. Es werden Concept Descriptions mit ecl:ss IRDIs automatisch angelegt und referenziert. Mit Import- und Exportfunktionen für z. B. BMEcat, AutomationML oder OPC UA können sehr schnell andere Datenformate und echte Firmendaten integriert werden. Der AASX Package Explorer ist unter Eclipse EPL-2.0 lizenziert und kann in GitHub [91] heruntergeladen werden.

Projekt: BaSyx

Im Forschungsprojekt **BaSys 4.0** ging es um die Entwicklung eines Basissystems für Produktionsanlagen, das die effiziente Wandelbarkeit eines Produktionsprozesses realisiert. Die im Rahmen des Projektes entwickelten Konzepte wurden im Open Source-Projekt BaSyx umgesetzt. BaSyx implementiert eine Middleware, die Verwaltungsschalen, Kommunikationsdienste und Submodelle für dienstbasierte Produktion implementiert. In BaSyx sind Dienste für Registry und Discovery definiert, die als Basis für Teil 2 und Teil 3 der Verwaltungsschale im Detail dienen. BaSyx stellt SDKs zur Vereinfachung der Implementierung in den Programmiersprachen Java, C++ und C# zur Verfügung. BaSyx ist unter Eclipse EPL-2.0 lizenziert und kann in GitHub [92] heruntergeladen werden. Das Folgeprojekt BaSys 4.2, bei dem es um die Weiterentwicklung der BaSyx Middleware im Hinblick auf das kontinuierliche Engineering von Produktionsprozessen geht, ist Mitte 2019 gestartet.

Technologie: Distributed Ledger/Blockchain

In der Version 3 der Normungsroadmap wurde die Distributed Ledger Technologie/Blockchain (DLT/BC), die als offene Technologie in Open Source-Projekten wie beispielsweise Hyperledger entwickelt wird, vorgestellt. Für den industriellen Einsatz ist vor allem eine

Vereinheitlichung dieser Technologie notwendig, woran in unterschiedlichen Standardisierungsorganisationen aktuell gearbeitet wird. Besonders sei hier auf DIN NA 043-02-04 AA: Blockchain und Technologien für verteilte elektronische Journale, Spiegel-Komitee zu ISO TC 307 hingewiesen. Ein guter Überblick über diese Tätigkeiten findet sich in Kapitel 4.4 der „Blockchain-Studie: Automation und Digitalisierung“ des ZVEI [93].

An dieser Stelle sei auf die Entstehung erster Marktplätze für Daten auf Basis dieser Technologie hingewiesen. So gibt es Ansätze, Verwaltungsschalen für die Interaktion zwischen Wertschöpfungspartnern mit Blockchains zu nutzen. Über solche Marktplätze lassen sich Daten von IoT-Geräten verkaufen, Fahrzeugdaten können sicher erfasst werden und Maschinen unterschiedlicher Hersteller werden miteinander vernetzt.

Ergänzend zu den zuvor genannten Projekten wurde zur Pilotierung der Zusammenarbeit von Normung und Standardisierung mit Open Source sowohl bei DIN und DKE als auch bei CEN-CENELEC Initiativen zur Zusammenarbeit von Normung und Standardisierung mit Open Source gestartet. Bei CEN-CENELEC wurde ein Pilotprojekt im Bereich eInvoicing bei CEN/TC 434 gestartet. Parallel zur Normungsarbeit, haben Experten aus dem Technischen Komitee eine Open Source-Validierungssoftware entwickelt. Im Rahmen des Pilotprojektes wird überprüft, inwieweit die Software durch CEN-CENELEC als Arbeitsergebnis des Komitees anerkannt werden kann und welche Regeln dafür gelten müssen. Außerdem analysiert die Gruppe, welche Veröffentlichungs- und Erarbeitungsform sich am besten für die Zusammenarbeit mit Open Source-Communities eignet.

Hinweise auf notwendige Änderungen bei den Rahmenbedingungen gibt auch die JRC Studie „The relationship between Open Source-Software and Standard Setting“, die Empfehlungen für Normungsorganisationen ausspricht, sowie der Bericht der IEC SMB ahG 76 Masterplan Implementation – „New ways of working“. [siehe HE 3.1-2]

3.1.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

3.1-1 Es wird empfohlen, die agile Normung durch Pilotprojekte weiter auszubauen und somit die Zusammenarbeit von Normung und Standardisierung mit Open Source zu verstärken. Dabei können Spezifikationen (bspw. [DIN SPEC](#) oder [VDE SPEC](#)) im Rahmen von Industrie 4.0 eine gute Möglichkeit für die Pilotierung bieten.

3.1-2 Um die Verbreitung von Industrie 4.0 zu beschleunigen, sollte die Entwicklung von Beispielimplementierungen als Open Source noch stärker vorangetrieben werden. Mithilfe von Lizenzempfehlungen und Rechtsgutachten ist sicherzustellen, dass der Einsatz und speziell die Mitarbeit an Open Source-Projekten einfach möglich sind.

3.2 Industrielle Sicherheit (Industrial Security)

3.2.1 Status und Fortschritte seit Version 3

Informationssicherheit stellt einen fest etablierten industriellen und gesellschaftlichen Wert dar. Sie ist eine Grundvoraussetzung für Industrie 4.0 und die vertrauensvolle Koope-

ration innerhalb digitaler Ökosysteme. Bei allen damit verbundenen Herausforderungen schaffen 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 sind keine typischen Schutzziele der Industrial Security. Diese Themen werden in den **Kapitel 3.4 und Kapitel 3.5** behandelt.

Zukünftige Normen müssen mit regulatorischen Vorgaben verträglich sein, welche sowohl nationalen Charakter (siehe „**Deutsches IT-Sicherheitsgesetz**“) als auch europäischen Ursprungs sein können. Hier hat insbesondere der „**European Cyber Security Act**“ das Ziel, über einheitliche Regulierung ein EU-weites Cyber Security Rahmenwerk zur EU-weiten Zertifizierung von digitalen Produkten, Diensten und Prozessen zu definieren und damit die Voraussetzung für einen europäischen „**Digital Single Market**“ für Produkte mit vergleichbaren Sicherheitsniveaus zu schaffen. In besonderer Hinsicht wird hier zukünftig das Verhältnis zwischen **New Legislative Framework** (NLF) und EU Cybersecurity Act zu beurteilen sein. Kernkonzept des NLF ist, in entsprechenden europarechtlichen Richtlinien nur die grundlegenden Anforderungen an Produkte festzulegen, wohingegen die Konkretisierung der technischen Rahmenbedingungen durch harmonisierte Normen erfolgt. Der EU Cybersecurity Act greift den NLF bisher selbst nicht explizit auf, sodass das Zusammenspiel zwischen beiden Regulierungsansätzen weiterer Klärung bedarf. Dies erfordert zeitnah eine konstruktive und umfassend angelegte Abstimmung zwischen Behörden, Gesetzgeber und Normungsorganisationen. Internationale Standardisierungsaktivitäten, die zukünftigen Zertifizierungen im Umfeld Industrial Security unterstützen, finden insbesondere bei IEC/TC65, IECCE CMC WG31 und ISO/IEC JTC1/SC27 statt. [siehe **HE 3.2-1**]

Inzwischen ist für Industrial Security das Entwicklungsprinzip „Security by Design“ allgemein akzeptiert. Dies hat als Konsequenz, dass Security-Funktionen von Anbeginn im Planungs-, Entwicklungs- und Herstellungsprozess integriert werden und damit auch insbesondere passende Prozess- und Produkt- sowie Anforderungs- und Zertifizierungsstandards erforderlich sind.

Seit der Veröffentlichung der Normungsrroadmap Industrie 4.0 Version 3 haben sich besonders im Bereich der Industriellen Sicherheit und Datenschutz wichtige neue Entwicklungen ergeben. Demzufolge besteht die Erkenntnis, 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 (siehe **Kapitel 2.6**), Lebenszyklen von Industriekomponenten (siehe **Kapitel 2.3.1**), und Anforderungen an die durchgehende Verfügbarkeit industrieller Anlagen bestimmt.

Gleichzeitig ist es für Industrial Security unumgänglich, durchgehende Sicherheitsarchitekturen zu realisieren, die sowohl die IT-Bereiche als auch die OT-Bereiche eines Unternehmens (bzw. eines gesamten Industrie 4.0 Anwendungsszenarios) umfassen.

Dies führte zu verschiedenen/zahlreichen Initiativen zur Definition von Standards zur Sicherheit mit dem besonderen Aspekt/Randbedingungen der Industrietauglichkeit, die entlang der Wertschöpfungskette Anwendung finden sollen (IEC/TC 65, ISO TC 292). Es ist

zu beobachten, dass ein stetig steigender Bedarf existiert, industrielle Anwendungen und Systeme direkt (d. h. auf Anwendungsebene) zu schützen und sich nicht auf das alleinige 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 realisiert werden.

Die Kommunikation zwischen Industrie 4.0-Domänen über öffentliche Bereiche hinweg muss durch industrietaugliche Sicherheitsmechanismen geschützt werden können. Die Sicherheit der Kommunikation von Geräten, Maschinen und Anlagen über Unternehmensgrenzen hinweg muss unabhängig vom (externen) Telko-Anbieter von den Beteiligten Industrie 4.0-Partnern kontrolliert und garantiert werden können.

Insbesondere der Schutz von Anwendungen, die durch Mechanismen Künstlicher Intelligenz unterstützt werden, erzeugt neue Anforderungen: Hier sollten Sicherheitsfunktionen dafür sorgen, dass eine Anwendung im Sinne der Vertrauenswürdigkeit genau die Funktionalität liefert, die der Benutzer 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/SC42](#)).

Für Industrielle Sicherheit hat die Erwartung an die Vertrauenswürdigkeit (engl. Trustworthiness) entlang der Wertschöpfungskette an Bedeutung zugenommen. Damit werden Schutz und Nachweis der Integrität von Daten, Systemen und Prozessen entlang einer „Supply-Chain“ von hoher Wichtigkeit, was sich in zukünftigen Standards niederschlagen wird (ISO/IEC JTC1 WG13).

Zukünftige Standards sollen neben Sicherstellung von Interoperabilität und Vergleichbarkeit von Sicherheitsniveaus auch zur Überwindung von Implementierungs-Hemmnissen beitragen (siehe [ISO/IEC JTC1/SC41](#)).

Solche „wahrgenommenen“ Hindernisse sind:

- unklarer 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.
- fehlende globale Vertrauensinfrastruktur, die z. B. die Möglichkeit einer global durchgängigen Verschlüsselung der Übertragung von Kommunikations- und Kontroll-Daten bietet
- das Fehlen allgemein gültiger und industrietauglicher Implementierungsstandards mit moderaten Zertifizierungsaufwänden für vertrauenswürdige Lösungen
- fehlende Bewertung der Vertrauenswürdigkeit/Trustworthiness der Wertschöpfungsnetzwerke für Industrie 4.0 in Bezug auf Datenschutzerfordernungen [siehe [HE 3.2-10](#)]
- Furcht vor erhöhter Systemkomplexität durch Sicherheitsmaßnahmen, die in herkömmlichen etablierten Prozessen für Entwicklung und Operations nicht bewältigt werden kann [siehe [HE 3.2-11](#)]

3.2.2 Laufende Entwicklungen

Die Arbeiten zu Industrie 4.0-relevanten Security-Normen wurden in letzten Jahren (seit der Veröffentlichung der Normungsroadmap Version 3) in folgenden Gremien aufgenommen und teilweise abgeschlossen (siehe **Anhang B**) sowie in neuen Arbeitskreisen/Gremien (mit angepassten Scope/Erweiterungen) thematisiert

- DIN, DKE und CEN-CENELEC: Spiegelung der internationalen Gremien aus IEC, ISO und ISO/IEC JTC1
- IEC/TC 65/WG10: Standardizing IEC 62443
- IEC/TC 65/SC 65E/WG 8: OPC: Client/server SW Interface inclusive security
- IEC/TC 65/WG 23 Taskforce Cyber Security: Identify cyber security relevant smart manufacturing scenarios and requirements
- IECEE CMC WG31 Cyber Security Certifications
- ISO/TC 292/WG4: Authenticity, Integrity & Trust for Products and Documents/ Anticounterfeiting
- ISO/TC 292/WG8: Supply Chain Security
- JTC1/SC27/WG3 Security evaluation, testing and specification
- JTC1/SC27/WG4 Security controls and services
- JTC1/SC 31 „Automatic identification and data capture techniques“
- JTC1/SC 41 Internet of Things and related technologies
- JTC 1/SC 42 Artificial Intelligence
- JTC1/WG 13 Trustworthiness

3.2.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

3.2-1 Harmonisierung EU Cybersecurity Act und New Legislative Framework

Eine konstruktive und umfassend angelegte Abstimmung zwischen Behörden, Gesetzgeber und Normungsorganisationen bezüglich des Zusammenspiels der beiden Regulierungsansätze von EU Cybersecurity Act und New Legislative Framework sollte zeitnah erfolgen.

3.2-2 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, Langzeittauglichkeit, (benutzerdefinierte) Vertrauenswürdigkeit über lokale Rechtsräume hinweg und unabhängig von lokalen Rechtsräumen.

Domänen-übergreifende Governance-Strukturen zur Unterstützung sicherer Industrie 4.0-Kommunikation müssen definiert und standardisiert werden. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit aller industriellen Stakeholder. 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.

3.2-3 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 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 Qualitäts-Zertifikate
- Definition Trustworthiness Profile – Capabilities, Supply Chain, Traceability, (Cloud Trustworthiness), JTC 1/SC41 Trustworthiness Framework

3.2-4 Methoden zur Bestimmung der Sicherheitseigenschaften von zusammengesetzten Produkten auf der Basis der Sicherheitseigenschaften der enthaltenen/interagierenden Komponenten.

Die Sicherheitseigenschaften eines Systems werden durch die entsprechenden Eigenschaften der Komponenten (SW sowie HW) und deren Konfiguration in komplexer, meist nichtlinearer Weise bestimmt. Dieses Forschungsthema sollte weiter vertieft werden und bei entsprechender Reife der Standardisierung zugänglich gemacht werden.

3.2-5 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.

3.2-6 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 3.2-2](#)] und zur Zugriffssteuerung [siehe [HE 3.2-5](#)] abgestimmt sein.

3.2-7 Standardisierter Security-Entwicklungs-Prozess für Integratoren und Betreiber

[IEC 62443-4-1](#) definiert einen Security-Entwicklungs-Prozess 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.

3.2-8 Generische Schnittstelle für Sicherheitselemente in Embedded Systemen

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

3.2-9 5G Security for Industry

Die fünfte Generation Mobilfunk (5G) soll vielseitigen Anforderungen an Verfügbarkeit, Sicherheit und Kapazität gerecht werden. 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 dessen 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 Mobilfunk Providern

Neue 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. 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.

3.2-10 Industrie 4.0 Security Management Prozesse

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

3.2-11 Leitfaden „Security Training“

IT-Sicherheitsaspekte müssen schon in der Planung und Entwicklungsphase von Produkten und Systemen berücksichtigt werden („Security-by-Design“). Mitarbeiter 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.

3.3 Datenschutz/Privacy

3.3.1 Status und Fortschritte seit Version 3

Der Schutz persönlicher Daten nutzt nicht nur dem Einzelnen, sondern auch der Gesellschaft: Menschen, die wissen, was mit ihren Daten passiert und darauf Einfluss haben, können souveräner mit Digitalisierung umgehen. Im Kontext industrieller Prozesse ist Datenschutz bislang vorwiegend als Arbeitnehmerdatenschutz vorgekommen, weil digitalisierte Prozesse und Systeme Daten über Mitarbeiteraktivitäten erfassen und diese auch zur Leistungsüberwachung genutzt werden können. Industrie 4.0 erweitert das Anwendungsfeld, weil Business-to-Consumer-Aspekte und -Systeme mit den industriellen Fertigungssystemen verknüpft werden. Am augenfälligsten ist dies bei industrialisierter Fertigung maßgeschneiderter und/oder individualisierter Produkte (Losgröße 1). Beispiele sind Zahnprothesen, für deren Produktion eine Vielzahl persönlicher Gesundheitsdaten benötigt wird, oder individualisierte Kleidung, die z. B. mit privaten individuell erstellten Fotos bedruckt wird. In beiden Fällen werden den Fertigungssystemen persönliche Daten übergeben, die zu schützen sind.

Entsprechend müssen Normen mit regulatorischen Vorgaben verträglich sein und sollten diese unterstützen. Im wissenschaftlichen Diskurs wird inzwischen wie für Security auch für das Thema Privacy die Bezeichnung bzw. Implementierung „...by Design“ allgemein als Entwicklungsprinzip akzeptiert. Dies hat auch für Privacy-Funktionen die Konsequenz, von Anfang in den Entwicklungs- und Herstellungsprozess sukzessive integriert zu werden, wodurch auch für Privacy passende Prozess- und Zertifizierungsstandards erforderlich sind. In der Datenschutznormung, speziell bei ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5 hat sich dieses Prinzip auch bereits in Normprojekten und „Standing Documents“ niedergeschlagen.

Seit der Veröffentlichung der Normungsroadmap Version 3 haben sich im Bereich des Datenschutzes wichtige neue Entwicklungen ergeben. Ausgehend von den damals formulierten HE sind dies:

Die [General Data Protection Regulation](#) (GDPR) der EU ist im Mai 2018 in Kraft getreten. Sie enthält nicht nur Anforderungen im Bereich Privacy by Design, sondern wirkt über das Marktortprinzip auch über die EU hinaus, nämlich überall dort, „wo“ Unionsbürger

als Leistungsempfänger auf Leistungsanbieter treffen. Damit sind auch Anbieter mit Sitz außerhalb der EU betroffen. Entsprechend werden internationale Normen von ISO/IEC JTC 1 und ISO erarbeitet.

Bei Anwendungen von Mechanismen Künstlicher Intelligenz stellen sich weitere Probleme, die auch das Thema Datenverarbeitung und Big Data betreffen. Gerade die Datenschutz-Compliance wird durch das Thema zunehmend erschwert, da mehr und mehr Anwendungen (insbesondere im Bereich Machine Learning) darauf angewiesen sind, mit umfassenden Datensätzen zu arbeiten, was Grundprinzipien des geltenden Datenschutzrechts, wie z. B. der Datensparsamkeit/Datenminimierung und dem Zweckbindungssatz zuwiderläuft. Darüber hinaus verändern KI-Anwendungen oft ihr Verhalten, etwa weil sie „dazulernen“. Das macht die Sicherheitsevaluation aber auch die Datenschutzrisikoabschätzung schwierig bis unmöglich.

Geräte des „Internet der Dinge“ kommen in privaten Haushalten an, einerseits als Haushaltsgeräte, andererseits als Spielzeuge (für Kinder wie für Erwachsene). Viele dieser Geräte brauchen grundsätzlich oder zur Erweiterung des Funktionsumfanges den Kontakt zum Hersteller oder einem „Cloud“-Dienstleister und liefern Daten aus dem Haushalt heraus dorthin. Besonders augenfällig war das bislang bei Spielzeugen, etwa der Puppe Cayla, die „intelligent“ auf Kinderfragen antwortet, indem sie diese an eine Spracherkennung im Internet weiterleitet und die Antwort einholt. Weitere Spielzeuge, etwa Roboter mit Kameras liefern „Bilder aus dem Kinderzimmer“ an die jeweiligen Kontaktpartner oder Plattformen. Der Bezug zu Industrie 4.0 ergibt sich aus dem Trend zu „Servitisation“: Ehemals isoliert arbeitende Geräte nutzen vernetzte Dienste und liefern Daten dorthin. Oft sind die entsprechenden Schnittstellen nicht oder nur ungenügend dokumentiert und abgesichert. Gleichzeitig feiern aus Ressourcengründen primitive und unsichere Protokolle, wie z. B. Telnet „Wiederauferstehung“, was die Schutzprobleme vergrößert.

3.3.2 Laufende Entwicklungen

Arbeiten zu Normen zum Thema Privacy im Kontext von Industrie 4.0 wurden in den letzten Jahren (seit der Veröffentlichung der Normungsroadmap Industrie 4.0 Version 3) in folgenden Gremien aufgenommen und teilweise abgeschlossen sowie in neuen Arbeitskreisen/Gremien mit angepassten Erweiterungen thematisiert.

- DIN und DKE: Spiegelung der internationalen Gremien aus IEC, ISO und IEC/ISO JTC1
- ISO/IEC JTC 1/SC 27 „Information security, cybersecurity and privacy protection“
- ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5 „Identity management and privacy technologies“
- ISO/PC 317 „Consumer protection: Privacy by design for consumer goods and services“
- CEN-CENELEC/JTC 13 „Cybersecurity and Data protection“
- CEN-CENELEC/JTC 13/WG 5 „Data Protection, Privacy and Identity Management“

Die Schwerpunkte der aktuellen Arbeiten sind prozessorientierte Privacy-Standards und Standards, die Privacy für Nutzer und Konsumenten ermöglichen.

3.3.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

3.3-1 Vertrauenswürdigkeit 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

3.3-2 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.

3.3-3 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 (Hausgeräte, Spielzeuge usw.) und deren Kommunikationsbedarf (auch zurück zum Hersteller) greifen.

3.4 Vertrauenswürdigkeit/Trustworthiness der Wertschöpfungsnetze

3.4.1 Status und Fortschritte seit Version 3

Der Begriff Vertrauenswürdigkeit bzw. Trustworthiness ist von zunehmender Wichtigkeit in verschiedenen Standardisierungsaktivitäten und wird in verschiedenen Gremien in unterschiedlichen Kontexten benutzt. Die Advisory Group ISO/IEC JTC1 AG7 hatte die Aufgabe übernommen, für die SCs in der JTC1, JTC 1/WGs, andere ISO und IEC Komitees und SDOs den gegenseitigen Stand der Arbeiten zu sichten und eine gemeinsame Definition für JTC1 abzuleiten. Inzwischen wurde die JTC1 AG7 terminiert und JTC1 WG13 „Trustworthiness“ gegründet.

Nach JTC1 korrespondiert „Trustworthiness“ zur Fähigkeit, die Erwartungen der betroffenen „Stakeholder“ auf verifizierbare Weise zu erfüllen. Trustworthiness kann Eigenschaften, wie z. B. Verlässlichkeit, Verfügbarkeit, Resilienz, Security, Privacy, Safety, Zurechenbarkeit/Accountability, Transparenz, Integrität, Authentizität, Qualität oder Bedienfreundlichkeit/Usability betreffen. Vertrauenswürdigkeit/Trustworthiness kann gemäß JTC1 als Attribut sowohl für Produkte, Technologien, Services/Dienste, Daten und Informationen als auch im Kontext von Governance für Organisationen zutreffen. Für Industrie 4.0 ist Trustworthiness insbesondere entlang der Wertschöpfungskette von besonderer Bedeutung: Ein Hersteller will seinem Kunden ein Qualitätsversprechen für eine der genannten Eigenschaften (z. B. Security) geben, ist dabei aber auch von der Zusicherung der Qualität durch seine Lieferanten abhängig. Streng genommen kann ein Hersteller lediglich die Qualitätssicherung für die eigene Wertschöpfung an der Industrie 4.0-Komponente/dem Industrie 4.0-System garantieren. Zur Beurteilung der Qualität der zugelieferten Anteile/Komponenten benötigt er nachvollziehbare und beweisbare Kriterien.

Demnach bildet „Trustworthiness“ die Basis für Entscheidung zur Nutzung einer Zulieferung/Komponente oder eines Gerätes/Systems oder auch für die Zusammenarbeit im Rahmen einer Geschäftsbeziehung (z. B. Vertragsschlüsse oder auch Einstellung von Mitarbeitern). Es geht dabei immer um risikobehaftete Entscheidungen, die letztendlich oberhalb einer Basis von nachprüfbaren/beweisbaren Fakten getroffen werden. Damit entstehen für die (zukünftige) Standardisierung zwei Handlungsstränge:

- Die Basis der nachprüfbaren Fakten so hoch wie möglich zu halten, etwa durch Prozess- oder Zertifizierungsstandards
- Den risikobehafteten Prozess oberhalb dieser Basis zu organisieren.

Bei Mechanismen zur Nachprüfbarkeit sind solche für Authentizität und Integrität besonders wichtig. Allerdings ist jeder klassischen Kontrolle einer Logistik-Kette vor der Zulieferung (=„Up-Stream“) naturgemäß Grenzen bzgl. Aufwand oder auch Datenschutz/Privacy der Geschäftspartner gesetzt: Welcher Lieferant will schon seinem Kunden seinen Business-Case vollständig offenlegen. Hier kommen allerdings durch die Digitalisierung im Rahmen von Industrie 4.0 auf Methoden wie Track & Trace oder Distributed Ledgers neue Einsatzmöglichkeiten zu, die auch zu Normierungsprojekten führen werden. Auch sind allgemeine Management-Prozesse zur Sicherheit für Supply Chain von hoher Bedeutung, damit auch alle damit verbundenen Standardisierungsaktivitäten; Vertrauenswürdigkeit/

Trustworthiness betrifft alle Phasen eines Use-Cases über den gesamten Lebenszyklus, von der Vertragsgestaltung bis zur Dekommissionierung eines Produktes. Bei Letzterem ist es zum Beispiel wichtig, die unautorisierte Wiederverwendung (z. B. von sicheren Identitäten, oder auch von verunreinigten Komponenten) außerhalb eines kontrollierten Recyclings zu verhindern. Bei KRITIS oder Verbraucherschutz werden dabei Standardisierungsprojekte mit nationalen und internationalen Regulierungen abzustimmen sein.

3.4.2 Laufende Entwicklungen

Einen Schwerpunkt bilden die Arbeiten bei JTC1 WG 13. Andere Aktivitäten existieren bei JTC1 in verschiedenen SCs sowie bei ISO TC 292, IIC, ZVEI, VDMA, Industrie 4.0-Projekten mit Japan und NIST.

3.4.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

3.4-1 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

3.4-2 Bewertung in Bezug auf Datenschutzanforderungen

Die Vertrauenswürdigkeit/Trustworthiness der Wertschöpfungsnetzwerke für Industrie 4.0 sollte in Bezug auf Datenschutzanforderungen bewertet werden.

3.5 Funktionale Sicherheit

3.5.1 Status und Fortschritte seit Version 3

Hinsichtlich der Sicherheit (engl. safety) von Maschinen und Anlagen auch im Kontext der Industrie 4.0 sind die Aspekte Produkt- und Betriebssicherheit zu berücksichtigen. Die Auslegung und Bewertung der Sicherheit von Maschinen und Anlagen ist ein grundsätzliches, komplexes Unterfangen, welches unter Berücksichtigung aller anwendbaren Vorschriften und Gefährdungen zu erfolgen hat. [IEC Guide 116/CENELEC Guide 32](#) referenziert z. B. grundlegende Gefahren, welche auch im Hinblick auf Industrie 4.0 Use Cases zu betrachten sind.

Die häufig referenzierte funktionale Sicherheit (nach Grundnorm [IEC 61508](#)) [94], als Maßnahme zur Risikominderung (insbesondere im Maschinenumfeld [IEC 62061](#) oder [ISO 13849](#)), hat durch ihren Einsatz von Software und programmierbarer Hardware eine

natürliche Nähe zu Techniken im Zusammenhang der Industrie 4.0, ist aber nur ein Teilbereich von Anlagen und Arbeitssicherheit.

Die Funktionale Sicherheit stellt einen wichtigen Baustein der Risikoreduzierung dar. Die Systeme der funktionalen Sicherheit dienen dem Ziel, in Fällen, in welchen das betriebliche Risiko einer Einrichtung zu hoch ist, dies so weit zu reduzieren, dass das akzeptable Betriebsrisiko (Grenzrisiko) unterschritten wird. Die Anforderungen an Systeme der funktionalen Sicherheit erstrecken sich über alle Lebenszyklen einer Einrichtung, beginnend mit den ersten Design-Überlegungen bis hin zur Außerbetriebnahme und Entsorgung einer Einrichtung. Die im Zusammenhang mit der Funktionalen Sicherheit zu betrachtenden Funktionseinheiten erstrecken sich auf den gesamten, für eine Risikoreduzierung notwendigen Funktionsumfang inkl. der Aktuatoren, der Logikverarbeitung (Steuerung), der Sensorik sowie aller notwendigen Interfaces und Installationen. Darüber hinaus sind funktionshemmende externe Einflüsse, wie z. B. Ausfall der Hilfsenergieversorgung (Elektrik aber auch Hydraulik und Pneumatik) zu berücksichtigen.

Entsprechend der Thematik fordern die Normen zur Funktionalen Sicherheit die Einhaltung diverser Methoden und Strategien zur Beherrschung von Fehlern innerhalb von Systemen für den Einsatz als Sicherheitseinrichtungen an Maschinen und Anlagen. Grundsätzlich gilt im Hinblick auf Einrichtungen der Funktionalen Sicherheit, dass eine aus der jeweiligen Anwendung abgeleitete Risikoreduzierung erreicht werden muss, und zwar unabhängig von der für die jeweilige Applikation gewählten Technologie.

Ausgewählte bestehende Safety-Normen mit Anforderungen an die Funktionale Sicherheit sind

- **DIN EN ISO 12100**: Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze
- **IEC 61508-1**: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme
- **IEC 61511-1**: Funktionale Sicherheit – Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie
- **ISO 13849-1**: Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
- **IEC 62061**: Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme
- **IEC 61131**: Speicherprogrammierbare Steuerungen
- **ISO 13850**: Not-Halt Einrichtungen
- **DIN EN 50156-1-03; VDE 0116-1-03**: Elektrische Ausrüstung von Feuerungsanlagen und zugehörige Einrichtungen
- **ISO 23125**: Drehmaschinen

All diesen Normen ist gemeinsam, dass für Entwicklung und Anwendung von Komponenten für die funktionale Sicherheit Maßnahmen gegen das Auftreten von zufälligen und systematischen Fehlern gefordert wird. Darüber hinaus sind Maßnahmen vorzusehen, um die Konsequenzen des Auftretens von Fehlern beherrschen zu können.

Die im Einzelfall anzuwendenden Maßnahmen richten sich nach der jeweils angestrebten Risikoreduzierung sowie der zum Einsatz kommenden Technologie. Details sind in den einschlägigen Grundnormen, wie ISO 13849-1, IEC 61508-1, IEC 62061 oder IEC 61131 beschrieben.

Darüber hinaus gibt es anwendungsspezifische Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen und deren Einsatz, wie z. B. in DIN EN 81, DIN EN 201, DIN EN 692/DIN EN 693, DIN EN 746-1/DIN EN 746-2, DIN EN 50156-1 oder IEC 61511 formuliert. Diese reflektieren anwendungsspezifische Besonderheiten. Weitere Erläuterungen und Darstellung sind im **Anhang A** dargestellt und zusätzlich erläutert. Die **ISO 12100** bildet dabei den Ausgangspunkt der Risikobetrachtung und leitet u. a. Anforderungen an die Funktionale Sicherheit ab.

Die heutigen sicherheitstechnischen Konzepte (vor allem bezüglich Safety) sowie die Methoden zur Sicherheitsnachweisführung beruhen bislang zentral auf der Annahme eines deterministischen, vorhersagbaren Systemverhaltens [97]. Von diesem deterministischen Verhalten konnte bisher ausgegangen werden, wenn in der Konstruktions- und Designphase definierte Anlagen zugrunde gelegt werden, in denen zwar variable aber vorab klar definierte Prozesse ablaufen. Die sicherheitstechnischen Standards gehen heute davon aus, dass ein System vor seiner sicherheitstechnischen Abnahme und Zulassung vollständig entwickelt und konfiguriert ist (siehe **DIN EN 61508-3/VDE 0803-3:2011-02**). Danach dürfen keine sicherheitsrelevanten Veränderungen (auch Reparaturen) vorgenommen werden, ohne dass eine erneute sicherheitstechnische Überprüfung und Abnahme zumindest der betroffenen Teilsysteme erfolgt [98].

Der bisherige Stand der Sicherheitstechnik folgt dem deterministischen Sensor-Logik-Aktor-Prinzip. Es ist allerdings zu erwarten, dass in der stärksten Ausprägung von Industrie 4.0 Algorithmen aus dem Bereich des Maschinellen Lernens zukünftig auch bei Betriebsfunktionen im Maschinen- und Anlagenbau Verwendung finden werden, um die Produktionsprozesse flexibel und intelligent miteinander zu verknüpfen [99].

Zukünftig werden im Kontext von Industrie 4.0 wandlungsfähige Fertigungsanlagen durch auftragsbezogene Rekombination von Fertigungsmodulen diskutiert. Die Wandlungsfähigkeit einer Anlage beschreibt dabei ihr Vermögen und Potenzial, mit minimalem Aufwand beliebig umgestaltet zu werden [95]. Diese Wandlungsfähigkeit wird erreicht, indem einzelne Fertigungsmodule auftragsbezogen zu Fertigungsinseln rekombiniert, vernetzt und automatisch konfiguriert werden. Einzelmodule (Industrie 4.0-Komponenten, siehe **Kapitel 2.3**) werden dazu flexibel und zumeist funkbasiert miteinander vernetzt.

Dadurch ergeben sich zur Laufzeit der Anlage Systeme aus (Teil-)Systemen, die zu einer grundlegenden Steigerung der kombinatorischen Komplexität des Gesamtsystems führen. Die Struktur und das Gesamtverhalten sowie die Abhängigkeiten der Systemkomponenten untereinander können zur Entwicklungszeit der Einzelsysteme nicht oder nur schwer vorhergesagt werden. Diese Eigenschaften führen zu Unsicherheiten in der Aussage über das zu erwartende Gesamtsystemverhalten. Dadurch kommen die heute üblichen Methoden zur Analyse und Bewertung von Safety-Risiken und der Funktionalen Sicherheit an ihre Grenzen, da solche dynamischen Systeme und Szenarien von den aktuellen Sicherheitsnormen nicht erfasst bzw. in deren Anwendungsbereich explizit ausgeschlossen werden [96].

Damit sind die in der Fachwelt diskutierten Industrie 4.0-Anwendungsszenarien mit den heutigen Methoden zur Analyse und Bewertung der Safety nicht oder nur mit erheblichen Einschränkungen hinsichtlich der zur Laufzeit zulässigen Dynamik, Variabilität, Wandelbarkeit und Lernfähigkeit der Maschinen bzw. der verfahrenstechnischen Anlagen validier-

bar. Daher ergibt sich der Bedarf, die heutigen sicherheitstechnischen Methoden an die neuen bzw. geänderten Anforderungen wandlungsfähiger Fertigungsanlagen anzupassen oder weiterzuentwickeln [siehe **Abbildung 28** und HE 3.5-1].

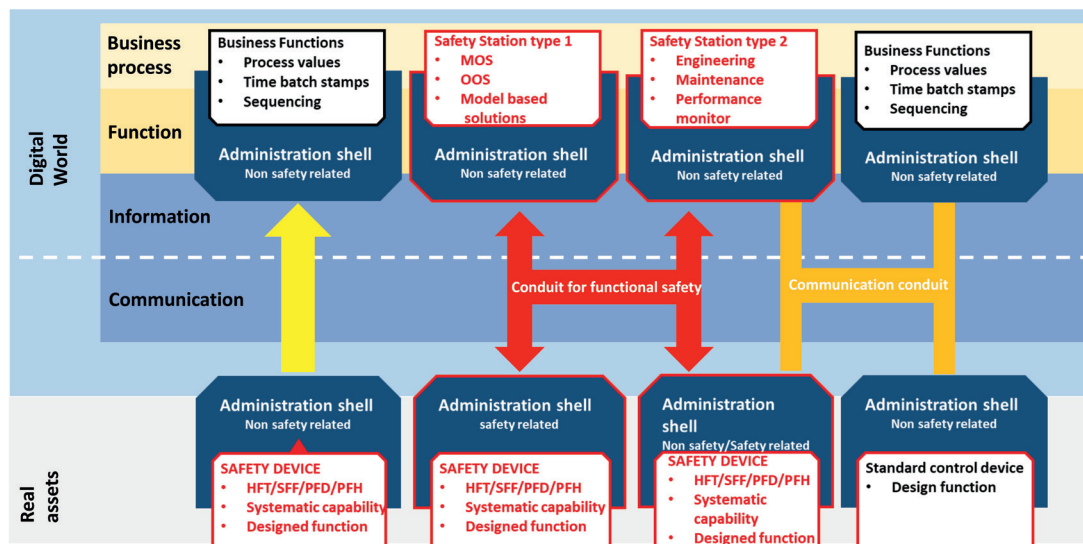


Abbildung 28: Anforderungen wandlungsfähiger Fertigungsanlagen an funktionale Sicherheit

Exemplarisch sei hier die Rückwirkung von Industrie 4.0 Use Cases auf klassische Sicherheitsarchitektur aufgezeigt. Die dynamische Konfiguration von Anlagen in einer Fertigungshalle, also die physikalische Auswahl und Anordnung von Maschinen könnte Auswirkungen haben auf z. B.:

- Flucht- und Rettungswege in einer Anlage oder Rückwirkung auf Brandschutzkonzepte,
- Veränderung von Sicherheitsabständen zwischen Anlagenteilen, Einrichtung und Gebäudeteilen oder Menschen im Fertigungsbereich,
- Rückwirkung auf den Explosionsschutz, durch Auswahl und Verortung von unzureichend qualifizierten Teilen oder Prozessen,
- Veränderung von Gefährdungen durch falsche Kombination von Werkstücken und Fertigungsprozessen bzw. Chemikalien und Prozessen,
- nicht bestimmungsgemäßer Einsatz von Maschinen- oder Anlagenteilen bzw. Sicherheitseinrichtungen.

Daher ist es notwendig, dass Industrie 4.0 Use Cases, bezogen auf deren Umsetzung in einer Anlage, mit den Methoden zu Risikomanagement (wie z. B. HAZOP oder Risikoanalyse nach IEC/ISO 12100) bewertet werden. Insbesondere die Herausforderungen der höheren Komplexität, Vernetzung und schnelleren Konfigurationsanpassungen verlangen neue Ansätze, zu Risikomanagement und Informationsbereitstellung, über den kompletten Lebenszyklus von Systemen.

Das Zusammenspiel zwischen den Definitionen der Industrie 4.0-Umgebung (siehe **Abbildung 28**) speziell der Verwaltungsschale und der Betrachtung der funktionalen Sicherheit wurde im Rahmen der Industrie 4.0-Länderkooperation zwischen China und Deutschland

erörtert. Mit dem dort erstellten „[SINO-German Whitepaper on Safety for Industrie 4.0 and Intelligent Manufacturing](#)“ wurde ein Denkansatz präsentiert, welcher es erlaubt, die Sichtweise beider Bereiche zu verstehen und anzuwenden. Das Whitepaper schlägt eine Erweiterung des Konzepts der Verwaltungsschale um das Merkmal „funktional sicher“/ „nicht funktional sicher“ vor. Abhängig von der Ausgestaltung dieser Verwaltungsschale (funktional sicher/nicht sicher) besteht die Möglichkeit Sicherheitsfunktionen nebst zugehörigem Engineering und Überwachungsfunktionen innerhalb eines Industrie 4.0-Work-space zu verteilen und somit flexibel auf notwendige Anpassungen reagieren zu können. Somit können Aspekte der funktionalen Sicherheit Merkmal semantischer Interoperabilität modelliert und im gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden [siehe HE 3.5-2].

Wie bereits beschrieben werden im Kontext von Industrie 4.0 wandlungsfähige Fertigungsanlagen durch auftragsbezogene Rekombination von Fertigungsmodulen diskutiert. Daher waren Fragestellungen zu Angriffs- und Manipulationssicherheit der verwendeten Informations- und Netzwerk-Technologie (engl. security) sowie die möglichen Einflüsse durch neue Technologien (wie Künstliche Intelligenz) bereits im Fokus. Beide Aspekte können aber grundsätzlich Rückwirkungen auf die Safety insgesamt haben und es gilt Vorgehensweisen für eine zielgerichtete und effiziente Betrachtung weiter entwickeln.

Ein erster Entwurf einer gemeinsamen Anwendung von Normen zur Funktionalen Sicherheit und Informationssicherheit wurde durch die IEC mit dem Technical Report [TR 63069](#) vorgelegt. [siehe HE 3.5-4] Die in diesem Report umrissene Strategie beschreibt ein Vorgehen, dessen Ziel es ist, durch aus der Risikoanalyse abgeleiteten Maßnahmen zur Informationssicherheit ein „Security Environment“ zu schaffen, welches es ermöglicht, eine Produktionsanlage inklusive ihrer Sicherheitseinrichtungen ausreichend sicher („secure“) zu betreiben. Technische Anforderungen werden in diesem Zusammenhang in der IEC 62443 beschrieben.

3.5.2 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

3.5-1 Die Umsetzung der Industrie 4.0-Konzepte führt zu einer weiteren Modularisierung von Anlagen und Komponenten mit großen Auswirkungen auch auf den Engineering-Prozess. 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.

3.5-2 Standardisierte Verfahren und Methoden, welche ein On-Time Risikomanagement entlang des Lebenszyklus ermöglichen, ohne dabei die Vertraulichkeit der technischen Dokumentation zu kompromittieren, sollten erarbeitet werden. Entsprechend der zuletzt erarbeiteten Deutsch-chinesischen Vereinbarungen sollte zunächst ein Leitfaden entwickelt werden ([Sino-german Whitepaper on Functional Safety in I4.0](#)), der die Stakeholder hinsichtlich der möglichen Rückwirkungen (Risikoerhöhungen oder Kompromittierung von risikoreduzierenden Maßnahmen) verschiedener Industrie 4.0-Anwendungsszenarien auf die Anlagensicherheit (Safety) sensibilisiert.

3.5-3 Die Auswirkungen der Verwendung von KI-Systemen im industriellen Umfeld auf die Anlagensicherheit sollten betrachtet werden. Hierbei sollen aktuelle Erkenntnisse

der KI-Forschung und Anwendung, wie z. B. explainable AI daraufhin betrachtet werden, inwieweit beim Einsatz von KI-Anforderungen an die Sicherheit erfüllt werden können und wie diese Anforderungen normativ beschrieben werden können.

3.5-4 Die Arbeiten zu Safety und Security sollten weiter vertieft und konkretisiert werden. Dies sollte im Rahmen der Überarbeitung der IEC TR 63069 geschehen. Eine Weiterentwicklung zu Publikationsformen Technical Specification (TS) oder International Standard (IS) ist zu diskutieren.

4 Künstliche Intelligenz in industriellen Anwendungen

4.1 Status und Fortschritte

Künstliche Intelligenz (KI) wird als wichtige Schlüsseltechnologie gesehen, die für den Erhalt der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit Deutschlands notwendig ist. Im Hinblick auf Abläufe und Prozesse im Kontext von Industrie 4.0 weist KI ein hohes Potenzial für die Wertschöpfung im produzierenden und im dienstleistenden Gewerbe auf. Zukünftig sollen vordefinierte, starre Fertigungs- und Wertschöpfungsketten in flexible und veränderbare, dynamische Produktions- und Dienstleistungs-Ökosysteme überführt werden. Traditionelle, aber auch neugestaltete Produktionsabläufe und angrenzende Prozesse, wie z. B. Logistikprozesse, können durch KI verbessert werden. Hierdurch können optimierte, adaptive, fehlertolerantere oder bis dato – u. a. aufgrund der Komplexität – nicht realisierbare Produkte, Prozesse, Dienstleistungen oder neue Geschäftsmodelle realisiert werden. Hierfür ist die eine hohe Adaption- und Problemlösungsfähigkeit des technischen Systems ausschlaggebend.

In [ISO/IEC 2382](#) wird Künstliche Intelligenz als ein Zweig der Informatik beschrieben, der sich der Entwicklung von Datenverarbeitungssystemen widmet, die Funktionen ausführen, die normalerweise mit der menschlichen Intelligenz verbunden sind, wie z. B. logisches Denken, Lernen und Selbstvervollkommenung. Aus Sicht der Industrie sind Technologien der KI als „Methoden und Verfahren zu verstehen, die es technischen Systemen ermöglichen, ihre Umwelt wahrzunehmen, das Wahrgenommene zu verarbeiten, selbständig Probleme zu lösen, neue Lösungswege zu finden, Entscheidungen zu treffen, insbesondere aus Erfahrungen zu lernen, dadurch besser Aufgaben zu lösen und zu handeln“ (Russell und Norvig 1995).

In Deutschland hat das Thema Normung von Künstlicher Intelligenz – nicht zuletzt aufgrund der nationalen Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung – einen wesentlichen Stellenwert. Aus diesem Grund wird das Thema Künstliche Intelligenz nun auch erstmals im Rahmen der hier vorliegenden Version 4 der Normungsroadmap Industrie 4.0 explizit und dediziert adressiert.

Bei der Normung zu KI in industriellen Anwendungen ist zwischen horizontalen und vertikalen Aspekten zu unterscheiden. Einerseits gibt es horizontale Normen, welche eine anwendungsbereichsübergreifende Gültigkeit aufweisen. Dies können beispielsweise allgemein gültige Normen zu Qualitätsmessung von (technischen oder informationellen) Systemen sein (siehe **Abbildung 29**). Im Gegensatz dazu existieren Normen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen, wie z. B. Industrie 4.0. In diesen Anwendungsbereichen werden spezifische Normen erarbeitet, welche die konkreten Anwendungen und spezifischen Anforderungen des Anwendungsbereichs widerspiegeln.

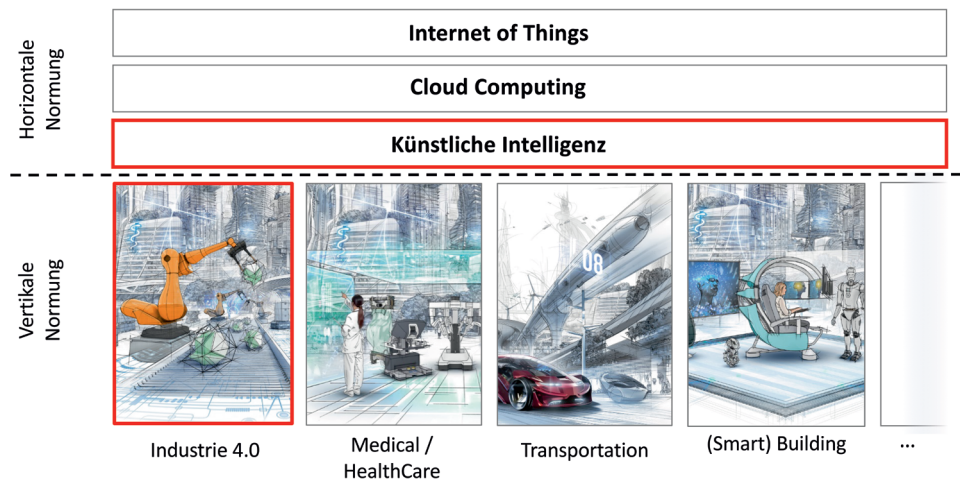


Abbildung 29: Beziehung der horizontalen und vertikalen Normung

4.2 Laufende Entwicklungen

In der deutschen Industrie hat das Thema Künstliche Intelligenz und verwandte Themenbereiche bereits seit mehreren Jahren einen wesentlichen Stellenwert. Im Rahmen der Aktivitäten der Verbände VDMA, ZVEI und Bitkom befassen sich diverse Arbeitsgruppen mit verschiedenen Aspekten und unterschiedlichen Anwendung von KI. Hierbei werden eine Vielzahl unterschiedlicher Beschreibungen der Anwendung von KI in Form von Anwendungsszenarien oder Anwendungsbeispielen betrachtet, deren Austauschbarkeit und Vergleichbarkeit national und international aus diversen Gründen (z. B. fehlende einheitliche Beschreibungsmethodik, heterogene Betrachtungswinkel und stark unterschiedliche Abstraktionsniveaus) bis dato nicht gegeben ist [siehe HE 4.1-2].

Ein verbreitetes Teilgebiet der KI ist das Maschinelle Lernen. Es gibt aktuell einige Herausforderungen, wie beispielsweise die Auswahl geeigneter Daten für die Lernverfahren [siehe HE 4.1-4A, HE 4.1-8A]. Die Datenqualität, deren Beschaffung geeigneter Daten und deren Integrität, Sicherheit und Souveränität spielen beim Einsatz von KI eine grundlegende Rolle. National wie auch international werden diese Aspekte beispielsweise durch verschiedene Zusammenschlüsse, wie z. B. der europäischen öffentlich-privaten Partnerschaft Big Data Value Association betrachtet und im internationalen Gremium ISO/IEC JTC 1/SC 42 „Artificial Intelligence“ behandelt. Im Zuge des Projekt **GAIA-X** soll eine vernetzte Dateninfrastruktur zur Stärkung des europäischen Ökosystems entstehen. Normen können gerade hierbei eine grundlegende Rolle spielen, um die Anforderungen an Interoperabilität, Datenintegrität, Souveränität und Sicherheit zu konkretisieren und deren technische Umsetzung zu formulieren, um letztendlich einer erfolgreichen Anwendung von KI den Weg zu ebnet [siehe HE 4.1-9]. So kann auch die Schnittstelle zwischen regulatorischen Rahmenbedingungen eines GAIA-X Ökosystems und privatwirtschaftlich erarbeiteten Normen im europäischen Rechtsrahmen definiert werden.

Obwohl die Projektarbeiten am GAIA-X Ökosystem noch andauern, zeigen sich bereits Handlungsfelder ab. Zum Jahresbeginn 2019 wurde unter Führung der Arbeitsgruppe 2 „Technologie- und Anwendungsszenarien“ (AG2) der Plattform Industrie 4.0 eine arbeits-

gruppenübergreifende Projektgruppe KI initiiert. Die Projektgruppe beschäftigt sich mit der allgemeinen Aufarbeitung und Positionierung des Themas „Künstliche Intelligenz“ im Kontext von Industrie 4.0 auf Basis von Anwendungsszenarien. Die definierten Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 und deren Weiterentwicklung im Rahmen der Arbeiten der AG 2 und der Projektgruppe KI der Plattform Industrie 4.0 stellen einen Ausgangspunkt zur Ableitung konkretisierter Handlungsempfehlungen, Standardisierungs- und Normungsbedarfe dar. Eine weitere Verfeinerung sowohl der (technologieunabhängige) Anwendungsszenarien als der Anwendungsbeispiele mit konkretem Technologiebezug ist notwendig [siehe HE 4.1-2].

Im Rahmen der Aktivitäten der Projektgruppe KI der Plattform Industrie 4.0 wurde ferner der Bedarf eines allgemeinen, für Industrie 4.0 geeigneten Verortungsrahmen für Technologien und Methoden der Künstlichen Intelligenz identifiziert. Der Verortungsrahmen soll (technologieneutral) die Auswirkung der Anwendung von Künstlicher Intelligenz als auch ein Rahmenwerk bilden, um mögliche, einzusetzende Technologien (wie z. B. das durch BITKOM erarbeitete Periodensystem KI) in einen Zusammenhang setzen zu können, wie zum Beispiel eine zunehmend mögliche Autonomie in Form von Autonomieklassen [siehe HE 4.1-3, HE 4.1-4A].

Der Einsatz von KI in industriellen Anwendungen kann, je nach Anwendungszweck und Funktion der KI, Einfluss auf die Erfüllung von in Normen beschriebenen Anforderungen beeinflussen. Wird beispielsweise KI-Technologie eingesetzt, um das Verhalten automatisierter Funktionen anzupassen, muss der Einfluss der Handlungen der KI auf das automatisierte System bei der Konformitätsbewertung berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere auch für industrielle Anwendungen mit Anforderungen hinsichtlich funktionaler Sicherheit. Demzufolge ist es notwendig, stets die Erfüllung normativer Rahmenbedingungen zu prüfen und sicherzustellen, insbesondere auch unter Berücksichtigung der Funktion und Einfluss von KI [siehe HE 4.1-4A]. Eine objektive Bewertung des Einflussbereichs der KI ist vor allem auch in diesem Zusammenhang notwendig [siehe HE 4.1-3].

Das derzeitige hohe Interesse an KI führt zu einer Vielzahl unterschiedlicher Aktivitäten bei verschiedenen Verbänden, Institutionen, Konsortien und Vereinen hinsichtlich Anwendung und Normung von KI. Um parallele Mehrarbeit im Kontext der Normung von KI für industrielle Anwendungen zu vermeiden, den Austausch zwischen diesen verschiedenen Aktivitäten zu fördern und letztendlich ein möglichst harmonisiertes nationales Meinungsbild zu erarbeiten, wurde durch Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) der Expertenrat für Künstliche Intelligenz in industrielle Anwendungen ins Leben gerufen. Die Zielstellung: nationale Koordination und Harmonisierung der Normungsaktivitäten, zur Entwicklung eines konsolidierten Bildes der Anforderung und Normungsbedarfe im Kontext von KI in Industrie 4.0 der deutschen Wirtschaft und Koordination geeigneter Normungsaktivitäten (siehe **Abbildung 30**).

Der Expertenrat für Künstliche Intelligenz in industriellen Anwendungen spielt hierbei eine essenzielle Rolle und stellt den Dreh- und Angelpunkt für normative Diskussionen und Koordination im Bereich Künstliche Intelligenz für industrielle Anwendungen dar. Die Aufgaben umfassen dabei sowohl die Sammlung von Anwendungsfällen [siehe HE 4.1-2] und der darauf aufbauenden Ableitung von Normungs- und Standardisierungsbedarfen, die Erarbeitung und Spezifikation von Handlungsempfehlungen sowie deren Einbringung in unterschiedliche, aktuell und zukünftig in Erarbeitung befindliche, nationale und inter-

ationale Normungsroadmaps, als auch die Koordination nationaler und internationaler Standardisierungsaktivitäten [siehe HE 4.1-1, HE 4.1-7].

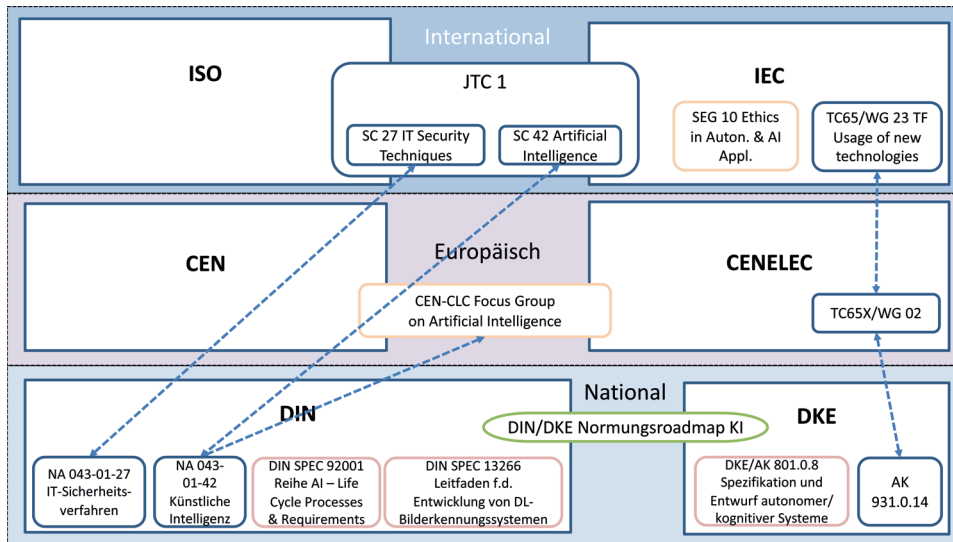


Abbildung 30: Übersicht der nationalen und internationalen Normungsgremien im Kontext von KI für Industrie 4.0

Um die Ziele der KI-Strategie der Bundesregierung im Kontext der Normung geeignet zu adressieren, wurden zwei Normungsroadmaps initiiert, die die verschiedenen Aspekte der KI detailliert und fortwährend beleuchten. Im November 2018 wurde ein Projekt zur Identifikation von Ethikaspekten in der Normung und Standardisierung für KI in autonomen Maschinen und Fahrzeugen initiiert. Das Projekt soll einen Überblick geben, wie ethische Regeln in der Normung und Standardisierung von Anforderungen an Technik, Prozessen und Dienstleistungen einfließen können. Die Ergebnisse dieses Projektes gehen in die DIN/DKE Normungsroadmap Künstliche Intelligenz ein, die im Herbst 2020 in einer ersten Version erscheinen soll.

Die Normungsroadmap Künstliche Intelligenz soll vor allem die folgenden sieben Themen betrachten: Grundlagen (Daten, Terminologie, Klassifikation, KI-Elemente), Ethik/ Responsible AI, Qualität und Zertifizierung, IT-Sicherheit bei KI-Systemen, industrielle Automation, Mobilität und Logistik, KI in der Medizin. Die vorliegenden Ergebnisse werden anschließend weiter bearbeitet und in die Normungsroadmap Künstliche Intelligenz integriert.

Aktuell werden national bereits einige horizontale Aspekte in Form von DIN SPEC Standards erarbeitet, diese und die im weiteren beschriebenen Zusammenhänge der Gremien werden in **Abbildung 30** dargestellt. Die **DIN SPEC 92001**-Reihe befasst sich mit dem Lebenszyklus und den Qualitätsanforderungen von Künstlicher Intelligenz. Teil 1 der DIN SPEC 92001-Reihe bietet ein allgemeines Qualitätsmetamodell für Künstliche Intelligenz, das in erster Linie die wichtigsten Aspekte der KI-Qualität beschreibt; Teil 2 der DIN SPEC 92001-Reihe konzentriert sich auf das Thema Robustheit und stellt die KI-spezifischen Qualitätsanforderungen des Qualitätsmodells aus Teil 1 dar. Die **DIN SPEC 13266** beschreibt einen Leitfaden für die Entwicklung von Deep-Learning-Bildererkennungssystemen.

men und wird voraussichtlich in Q2/2020 veröffentlicht. Die DIN SPECs konzentrieren sich auf allgemeine KI-Aspekte und können im Nachgang genutzt werden, um Industrie 4.0 spezifische Standards und Normen zu erarbeiten. Im Rahmen des DKE/AK 801.0.8 wird eine VDE-Anwendungsregel [VDE-AR-E 2842-61-1 „Spezifikation und Entwurf autonomer/kognitiver Systeme“](#) entwickelt, in der Begriffe und Konzepte für den Umgang mit autonomen/kognitiven Systemen definiert werden. Es wird dabei ein Referenzmodell für System- und Applikationsarchitekturen erarbeitet, das den gesamten Lebenszyklus betrachtet, mit dem Ziel, vertrauenswürdige Systeme zu erhalten. Einige Ansätze aus dem Bereich der Funktionalen Sicherheit werden auf dieses Referenzsystem übertragen, so z. B. Safety Integrity Level (SIL) oder Lambda (Ausfallwahrscheinlichkeit). Dabei adressiert die Anwendungsregel horizontale Aspekte, wie z. B. Management-Anforderungen, die Entwicklung von AI-Blueprints sowie Aspekte der Marktüberwachung.

In der Entwicklung und dem Betrieb von Komponenten, Maschinen und Anlagen spielt die Einhaltung von in Normen beschriebenen Anforderungen wie z. B. dort definierten Grenzwerten, Vorgehen oder Richtwerten eine grundlegende Rolle. Aktuell liegen Normen und Standards zumeist in Dokumentenform vor, mit dem Ziel von Menschen gelesen, verstanden und geeignet berücksichtigt zu werden. Daher sind eine maschinelle Verarbeitung und Interpretation der normativen Informationen aktuell nur eingeschränkt möglich. Sollen normative Informationen beim Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz effizient berücksichtigt werden, müssen diese in geeigneter Weise vorliegen und für eine maschinelle Verarbeitung vorbereitet sein. Dazu sind Datenstrukturen, (Austausch-)Formate, eine Formalisierung bzw. Mathematisierung der Inhalte sowie entsprechende Zugriffsmöglichkeiten zu schaffen [siehe **HE 4.1-8A**].

Es bleibt festzuhalten, dass das Thema „digitale Normen“ über die Anwendung von KI hinaus von wichtiger Bedeutung ist. Industrie 4.0 kann eine Vorreiterrolle in der Anwendung digitaler Normen einnehmen; KI stellt hierbei eine mögliche Applikation dar, welche hiervon profitieren kann [siehe **HE 4.1-8A**]. Im Gegensatz zur bisherigen Betrachtung verändert sich in diesem Fall der Blickwinkel der Normung: Während bisher Normen über die KI betrachtet wurden, wird in diesem Kontext (auch) die Anwendung und Auswertung von Normen durch KI betrachtet. In unterschiedlichen Gremien wird das Thema KI oder damit in Beziehung stehende Aspekte betrachtet.

Im Gemeinschaftskomitee ISO/IEC JTC1 wurde im April 2018 das Gremium SC42 „Artificial Intelligence“ gegründet. Als Schwerpunkt der Standardisierung der KI innerhalb von ISO und IEC betrachtet die Programmarbeit von SC 42 das gesamte KI-Ökosystem. Darüber hinaus ist das SC 42 als Orientierungshilfe für ISO- und IEC-Komitees gedacht, die Anwendungen der Künstlichen Intelligenz entwickeln. Das aktuelle Portfolio des Gremiums umfasst u. a. die Standardisierung in den Bereichen Terminologie und Konzepte der KI, Machine Learning, Big Data, KI-Vertrauenswürdigkeit (z. B. security, safety, privacy, robustness, resiliency, reliability, transparency, controllability), Anwendungen und Anwendungsfälle von KI, Governance-Implikationen von KI, Rechenansätze von KI, ethische und gesellschaftliche Anliegen, Risikomanagement, Datenqualität in Bezug auf KI und Qualitätsanforderungen. (siehe **Abbildung 30**).

Die Motivation für die Entwicklung solcher Standards besteht darin, eine hochrangige Beschreibung des Gebiets und der verschiedenen Komponenten zu geben und ein grund-

legendes Verständnis und eine gemeinsame Sprache für eine Vielzahl von Interessengruppen zu vermitteln.

Das Gremium ISO/IEC JTC 1/SC 27 befasst sich mit den Themen Informationssicherheit, Cybersicherheit und Schutz der Privatsphäre. In diesem Kontext werden aktuell zwei Studien erarbeitet: Eine Studie zum Einfluss von KI auf die Privatsphäre sowie eine weitere Studie zum Thema Vertrauenswürdigkeit.

Das IEC/SEG 10 befasst sich mit Ethikaspekten in autonomen Anwendungen und KI als wichtigen Ansatz zur Technikakzeptanz. Hierbei werden insbesondere gesellschaftlich relevante Aspekte betrachtet und Empfehlungen an das IEC Standardization Management Board (SMB) erarbeitet.

Die Taskforce „Usage of new technologies“ des IEC/TC 65/WG 23 führt eine Evaluation neuer Technologien und deren Normungsrelevanz im Bereich „Smart Manufacturing“ durch.

Hierbei wird als eine Zukunftstechnologie die Künstliche Intelligenz in industriellen Anwendungen betrachtet. Die nationale Spiegelung dieses vertikalen KI-Bereiches erfolgt im Arbeitskreis DKE/AK 931.0.14.

Die europäische Ebene wird in **Abbildung 30** ebenfalls dargestellt. So wurde bei CEN-CENELEC im April 2019 die Focus Group on Artificial Intelligence gegründet. Die Fokusgruppe berät CEN und CENELEC bei der Entwicklung und Verbreitung von KI in Europa. Die Gruppe konzentriert sich bei ihrer Arbeit auf Möglichkeiten, um auf die besonderen europäischen Bedürfnisse einzugehen, während allgemein global relevante Fragen nach Möglichkeit auf globaler Ebene gelöst werden. U. a. soll die Fokusgruppe die Leitlinien der High Level Expert Group on Artificial Intelligence, eingesetzt durch die Europäische Kommission und der **COM (2018) 237** zum Thema Artificial Intelligence for Europe, berücksichtigen. Die Fokusgruppe erarbeitet eine gemeinsame Vision hinsichtlich der europäischen KI-Normung. Im Rahmen des technischen Komitees CLC/TC 65X bei CENELEC werden Aspekte der Nutzung von KI in der industriellen Automation auf europäischer Ebene betrachtet.

Das nationale Spiegelgremium von ISO/IEC JTC 1/SC 42 „Artificial Intelligence“ und der CEN CENELEC Focus Group on AI ist der Arbeitsausschuss Künstliche Intelligenz (NA 043-01-42 AA) im Normenausschuss Informationstechnik und Anwendungen bei DIN. Industrie 4.0 wird hier – wie in der horizontalen Normung üblich – als einer von vielen Anwendungsbereichen gesehen, dessen Anforderungen über Use Cases abgedeckt werden. Der SCI 4.0 Expertenrat KI für industrielle Anwendungen wurde als Bindeglied zwischen diesem horizontalen Gremium und den Gremien der industriellen Anwendung – speziell von IEC/TC 65 – eingerichtet [siehe **HE 4.1-7**].

Im Rahmen des durch die EU im Rahmen von Horizon 2020 geförderten Konsortialprojektes **Stand.ICT.eu** wird ein Überblick über laufende Aktivitäten im Umfeld der KI-Normung und Standardisierung auf europäischer und internationaler Ebene erarbeitet. Eine aktualisierte Version des Dokuments ist in Vorbereitung [siehe **HE 4.1-6**, **HE 4.1-7**].

4.3 Handlungs- und Anwendungsempfehlungen

Die Standardisierung von KI-relevanten Technologien sollte bestrebt sein, ausgewogen zwischen horizontalen Themen (z. B. Terminologie) und sektorspezifischen Notwendigkeiten zu differenzieren.

4.1-1 Standardisierte Terminologie von Künstliche Intelligenz für 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 präzisiert werden. Identifizierte Widersprüche und Anwendungshürden sollen in entsprechenden Normungsgremien eingebracht werden.

4.1-2 Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele

Ausgehend von den Vorarbeiten der Arbeitsgruppe 2 der Plattform Industrie 4.0 sollen national abgestimmte Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele für Künstliche Intelligenz in Industrie 4.0 erarbeitet und in bilaterale und internationale Arbeits- und Expertengruppen, sowie Normungsgremien, eingebracht werden. Die Nutzung eines einheitlichen Templates und Anwendung der IIRA Viewpoints soll angestrebt werden.

4.1-3 Standardisierter Bewertungsrahmen für die Anwendung von KI-Methoden

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 weiterer Anforderungen, Konzepte und Methodiken, sollten durch vertikale Normungsgremien adressiert und geeignet in Normungsgremien eingebracht werden.

4.1-4A Überprüfung inwieweit KI-Methoden die Anforderungen an Funktionen, wie sie in existierenden Normen beschrieben sind, erfüllen

Vor dem Einsatz von Künstlicher Intelligenz in industriellen Anwendungen muss geprüft werden, ob hierdurch die Anforderungen relevanter Normen erfüllt werden können.

4.1-5 Vertrauenswürdigkeit („Trustworthiness“) von KI

Die Bedeutung von Vertrauenswürdigkeit von Künstlicher Intelligenz bzw. Systemen in denen KI-Verfahren, Technologien oder Methoden zum Einsatz kommen soll detailliert untersucht werden (siehe HE 4.1-1, HE 4.1-2), insbesondere ist hierbei auch der grundlegende Bezug zu Querschnittstechnologien wie IT Sicherheit und funktionale Sicherheit zu berücksichtigen.

4.1-6 Aufbau und kontinuierliche Aktualisierung einer Normungslandkarte und Ableitung von Handlungsstrategien

Zur Wahrnehmung der unterschiedlichen, in dieser Normungsroadmap für KI beschriebenen Handlungsempfehlungen (siehe HE 4.1-1, HE 4.1-2, HE 4.1-4A, HE 4.1-5), wird der Aufbau und die kontinuierliche Aktualisierung einer Normungslandkarte für Künstliche Intelligenz 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 Stand.ICT.eu oder der Fokusgruppe Künstliche Intelligenz) aktiv forciert werden [siehe HE 4.1-7].

4.1-7 Synchronisation, Abstimmung und Austausch mit (nationalen und internationalen) Normungsroadmaps und Guidelines

Der gremienübergreifende Austausch zwischen den Normungs- und Standardisierungsaktivitäten im Kontext von Künstlicher Intelligenz, die Wahrung und Sicherstellung der Anforderungen der industriellen Automation in horizontalen Normungsgremien sowie die Koordination und Harmonisierung von Anforderungen und Normungsaktivitäten von Künstlicher Intelligenz für Industrie 4.0 im Sinne einer vertikalen Normung muss gestärkt werden. Insbesondere der Austausch zwischen horizontalen Normungsgremien (wie z.B. ISO/IEC JTC/1 SC/42) und vertikalen Bedarfen und Anforderungen aus dem Bereich in Industrie 4.0 ist notwendig und kann lediglich durch eine Beteiligung industrieller Vertreter in diesen Gremien sowie nationaler, institutioneller Vertreter vertikaler und horizontaler Normungsorganisationen sichergestellt werden. Mit dieser Aufgabe sollte ein Gremium zur Koordination und Harmonisierung von Normungsaktivitäten im Kontext von Industrie 4.0 betraut werden, welches in enger Abstimmung mit Gremien der horizontalen Normung arbeitet und explizit das Thema Künstliche Intelligenz adressieren.

4.1-8A Digital formulierte Normen und Standards für eine automatisierte Auswertung

Industrie 4.0 und hierbei speziell der Einsatz von KI kann eine Vorreiterrolle bei der Anwendung digital formulierter Normen und Standards einnehmen. Hierzu ist sowohl die Verfügbarkeit digital formulierter Normen notwendig als auch geeignete Auswertungsverfahren. Die Anwendung digital formulierter Normen für eine automatisierte Auswertung sollte untersucht und vorangetrieben werden. Beispielsweise können maschineninterpretierbare Normen zur automatischen Auswertung in der Entwicklung von Komponenten-, Maschinen- und Anlagen eingesetzt werden, um automatisiert die Normkonformität der Entwicklungen zu prüfen (siehe hierzu HE 4.1-4A).

4.1-9 Normung zur Sicherstellung von Datensouveränität, -integrität und -sicherheit

Die Anwendung der Normung zur Verwaltung, Speicherung, Austausch und Nutzung von geeigneten Daten und der Sicherstellung von Datensouveränität, Datenintegrität und Datensicherheit soll untersucht und forciert werden, um den Bedarf an geeigneten, integren Daten für automatische Lernverfahren im Kontext von KI sicherzustellen.

Anhang A Weiterführende Informationen funktionale Sicherheit

Tabelle 2: Die grundsätzliche, allen aktuellen einschlägigen Normen zugrundeliegende prinzipielle Vorgehensweise, für das Design von Sicherheitseinrichtungen gestaltet sich dabei wie folgt:

1. Es wird eine Risikoanalyse ausgeführt, in welcher das zu erwartende Risiko einer Einrichtung abgeschätzt wird.
2. Den identifizierten Risiken werden Schutzfunktionen zugeordnet.
3. Den Schutzfunktionen werden Risiko-Reduzierungsfaktoren zugeordnet.
4. Die technische Ausgestaltung der Schutzfunktionen wird spezifiziert.
5. Die Schutzfunktion wird implementiert.
6. Die Schutzfunktion wird in Betrieb genommen.
7. Die Schutzfunktion wird betrieben.
8. Die Schutzfunktion wird modifiziert.
9. Die Schutzfunktion wird außer Betrieb genommen.
10. Die Schutzfunktion wird entsorgt.

Diese Sequenz von Aktivitäten wird als Sicherheitslebenszyklus (safety Lifecycle) bezeichnet.

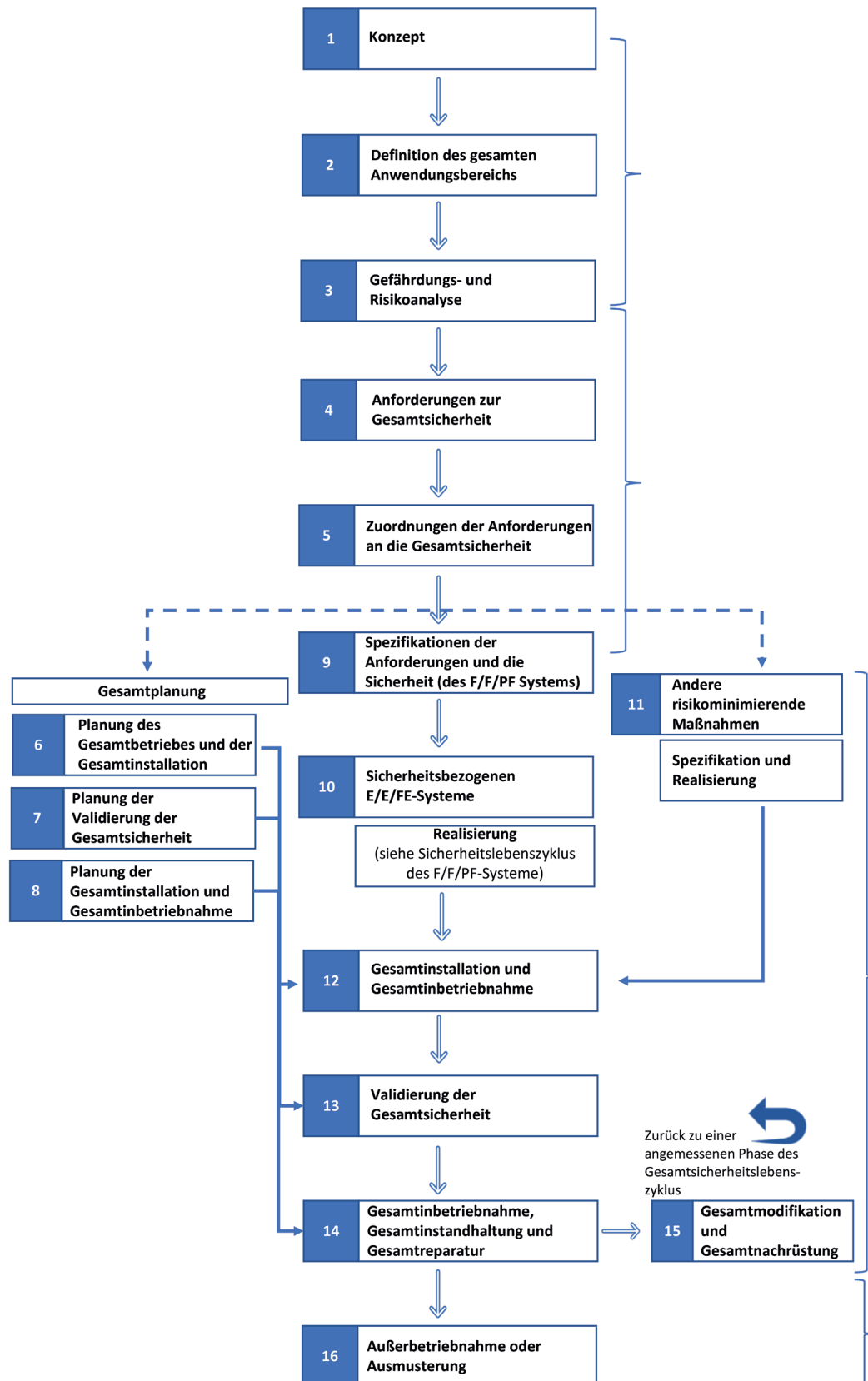


Abbildung 31: Sicherheitslebenszyklus nach IEC 61508-1

Im Schritt 1 des Lebenszyklus wird eine Risikoanalyse vorgenommen. Beispielhaft sei hier der der ISO 12100 zugrunde liegende Prozess betrachtet.

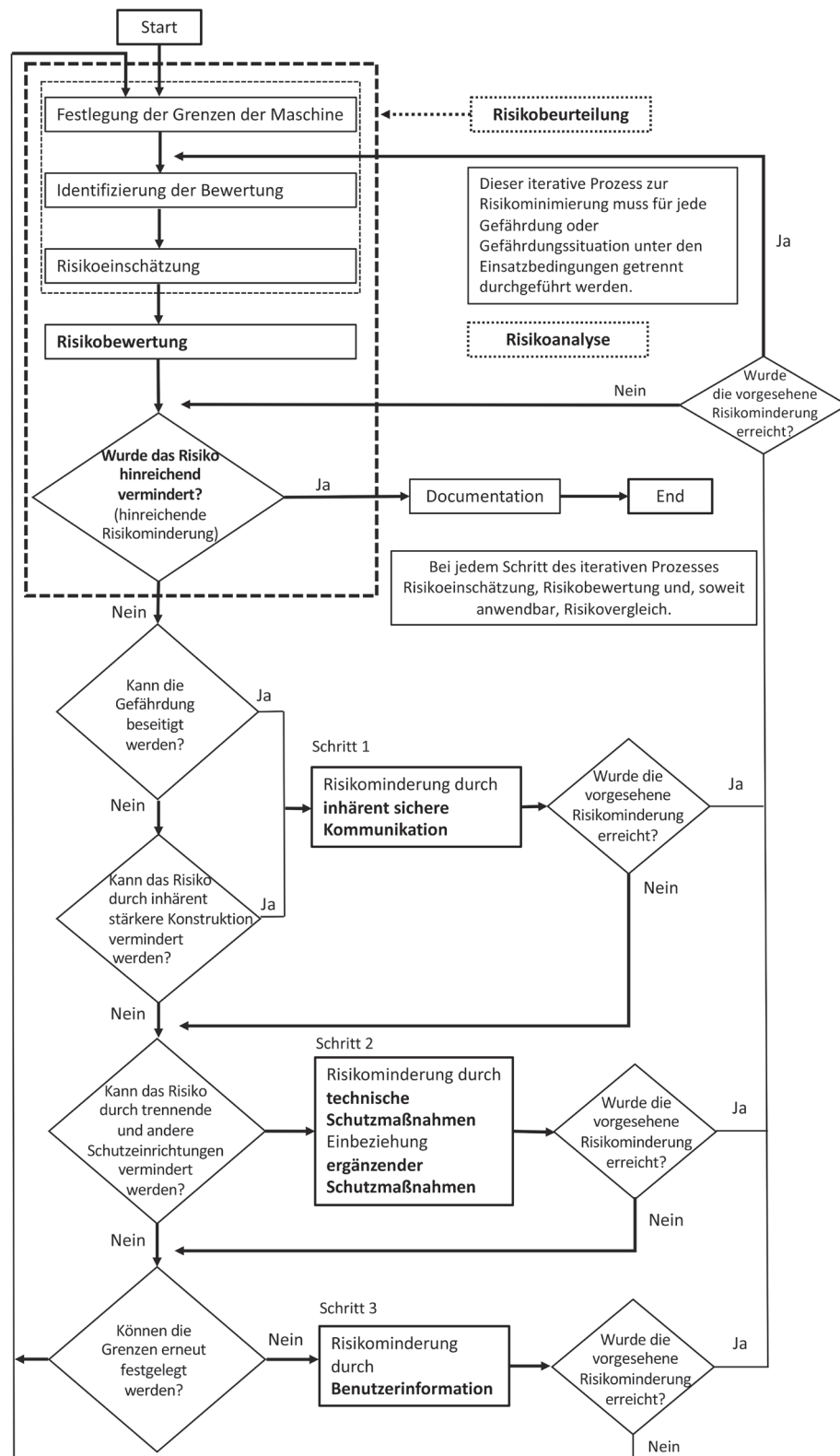


Abbildung 32: Festlegung der notwendigen Risikoreduzierung gem. ISO 12100

Werden gemäß eines solchen Prozesses (neben dem oben beschriebenen gibt es eine Reihe von Alternativen) technische Risikoreduzierungen gefordert, so gibt es verschiedene Möglichkeiten, die notwendigen technischen Anforderungen zu formulieren.

Häufig kommen dabei qualitative Methoden zur Anwendung:

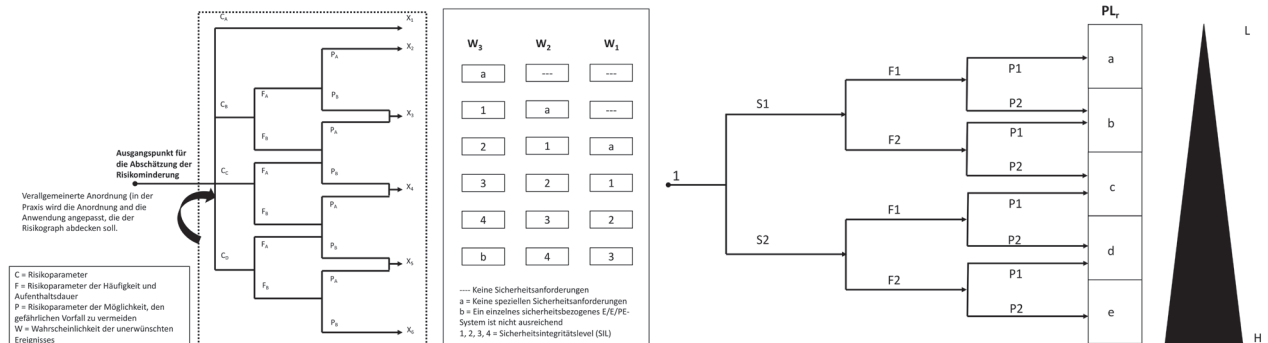


Abbildung 33: Umsetzung der Risikoreduzierung nach IEC61508/ISO13849

Bei der Anwendung dieser Methoden ist es wichtig, eine entsprechende Kalibrierung der Entscheidungsparameter vorzunehmen. Beim Abschluss der Lebenszyklusphasen 2 bis 6 ist jeweils ein Assessment gefordert, um nachzuweisen, dass die im vorangegangenen Schritt definierten Anforderungen erfüllt wurden. In den Schritten 5 und 6 sind zusätzlich Funktionsprüfungen statt. Im Schritt 7 des Lebenszyklus finden regelmäßige Prüfungen der korrekten Funktionalität einer Sicherheitseinrichtung statt. Im Schritt 8 des Lebenszyklus ist es erforderlich neben dem technischen Änderungsprozedere einen Entscheidungsprozess zu etablieren, welcher es erlaubt, die Lebenszyklusphasen zu identifizieren, welche im Falle einer Änderung zu betrachten sind. In den Schritten 9 und 10 ist sicher stellen, dass die Wirksamkeit einer Sicherheitseinrichtung bis zum kompletten Rückbau der Risikoquelle in angemessener Weise aufrechterhalten bleibt.

Um die aus diesen Überlegungen resultierenden Anforderungen für Entwicklung von Komponenten für Sicherheitsfunktionen applikationsneutral zu formulieren, wurden in den einschlägigen Grundnormen (ISO 13849 bzw. IEC 61508) generische Anforderungsniveaustufen formuliert, welche in folgenden Festlegungen resultieren:

Tabelle 3: Gegenüberstellung normativer Anforderungen

ISO 13849			IEC 61508 (Hohe/kontinuierliche Anforderung)			IEC 61508 niedrige Anforderung		
Forderung	Geforderte Zulässigkeit		Forderung	Geforderte Zulässigkeit		Forderung	Geforderte Zulässigkeit	
PL	Untere Grenze	Obere Grenze	SIL	Untere Grenze	Obere Grenze	SIL	Untere Grenze	Obere Grenze
a	1,00E-04	1,00E-05	-			-		
b	1,00E-05	3,00E-06	1	1,00E-05	1,00E-06	1	1,00E-01	1,00E-02
c	3,00E-06	1,00E-06	1			1		
d	1,00E-06	1,00E-07	2	1,00E-06	1,00E-07	2	1,00E-02	1,00E-03
e	1,00E-07	1,00E-08	3	1,00E-07	1,00E-08	3	1,00E-03	1,00E-04
			4	1,00E-08	1,00E-09	4	1,00E-04	1,00E-05

Beim Vergleich der technischen Forderungen beider Normen sind primär folgende Aspekte zu beachten:

Die Gliederung der Anforderungen nach ISO 13849 (Performance Level PL) und IEC 61508 (Safety Integrity Level SIL) unterscheiden sich dadurch, dass bei der Festlegung des PL eine Spreizung der Festlegungen erfolgte (PL b und c), welche den Bereich häufiger Anwendungen fokussiert, während die IEC 61508 eine lineare Aufteilung der betrachteten Risikoreduzierung vornimmt.

Die IEC 61508 unterscheidet zwei Betriebsarten von Sicherheitseinrichtungen. Dies trägt dem Umstand Rechnung, dass es Anwendungsbereiche gibt, in welchen davon ausgegangen wird, dass die jeweilige Sicherheitsfunktion im Rahmen des Normalbetriebes nicht in Tätigkeit gesetzt wird. Aus dieser Überlegung resultieren sowohl anders zu betrachtende Fehlermodelle als auch andere Anforderungsparameter (Fehler je Anforderung vs. Fehler je Betriebsstunde).

Die Grundnormen formulieren Anforderung und Entwurf, Entwicklung und Fertigung von Komponenten für Sicherheitsfunktionen.

Diese Anforderungen umfassen Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlern, Erkennung von Fehlern und Beherrschung von Fehlern um die generischen, in **Tabelle 3** formulierten Anforderungen zu erfüllen.

Zu betrachten sind dabei sowohl zufällige als auch systematische Fehler. Darüber hinaus sind sowohl Hard- wie Softwarefehler als auch externe Einflüsse wie Ausfall der Hilfsenergie zu betrachten. Die o. g. Anforderungen beziehen sich sowohl auf Einzelkomponenten als auch auf applikationsspezifische Kombinationen von Geräten.

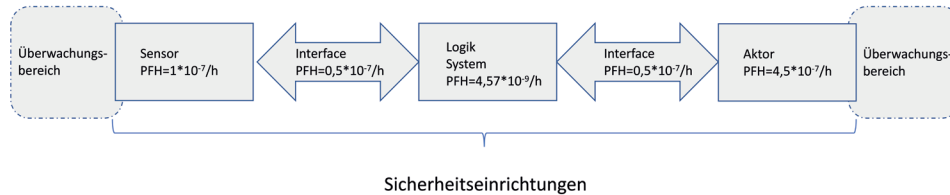


Abbildung 34: Abgrenzung einer Sicherheitseinrichtung

Die zu betrachtende **Abbildung 34** erstreckt sich von der Verbindung der Sensoren mit dem Überwachungsbereich bis zur Verbindung der Aktoren zur Risikoquelle. Da der Ausgangsparameter die erforderliche Risikoreduzierung der Gesamtanordnung ist, besteht die Notwendigkeit alle Komponenten sowohl einzeln als im Zusammenspiel zu betrachten. In einfachen Konfigurationen, kann die Zuverlässigkeit der Gesamtanordnung durch Addition der Zuverlässigkeit der Einzelkomponenten erfolgen. Neben den beteiligten Komponenten sind auch die Interfaces zu betrachten.

Darüber hinaus sind ggf. vorhandene Diagnose-Funktionen zu betrachten, weshalb in **Abbildung 28** alle Interfaces bidirektional wirkend dargestellt sind. Anwendungsabhängig ist neben der Zuverlässigkeit der Gesamtanordnung gegenüber zufälligen, nach einem statistischen Muster eintretenden Fehlern, auch die Betrachtung systematischer Fehlerquellen, wie z. B. Verschleiß aber auch der Einfluss der zu überwachenden Medien (z. B. durch Korrosion) zu betrachten.

Neben den oben beschriebenen Hardwarefehlern sind auch Softwarefehler zu betrachten. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass Softwarefehler grundsätzlich einen systematischen Charakter haben, d. h., sie sind in einer Software vorhanden – oder nicht. Aus dieser Überlegung ergibt sich die Anforderung nach entsprechenden Softwareentwicklungsprozessen, welche hinreichend mit Prüfungen und Funktionstests unterlegt sind.

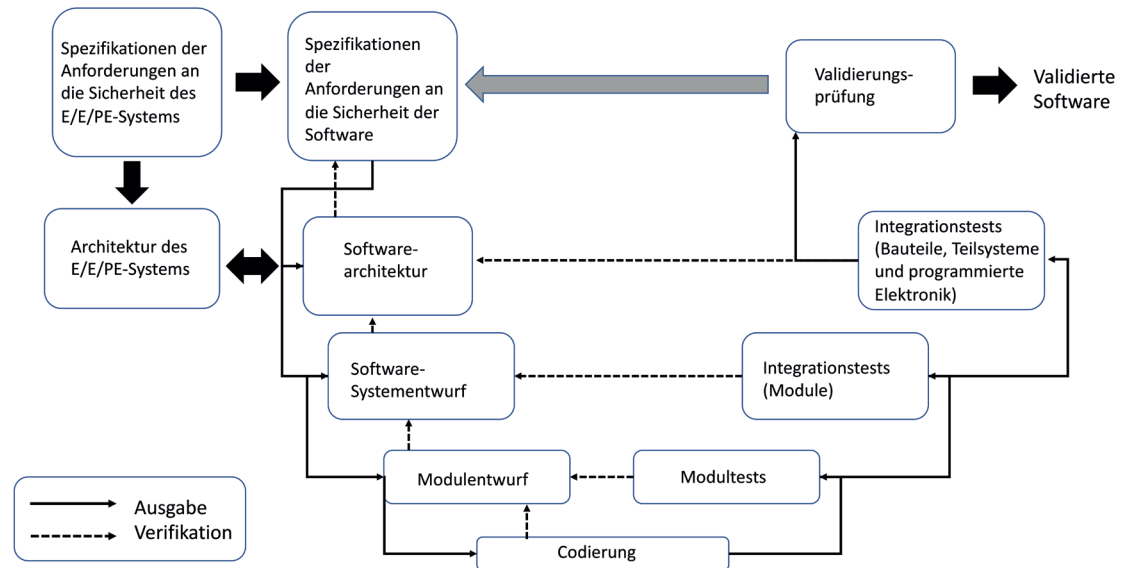


Abbildung 35: Softwareentwicklungsprozess nach IEC 61508-1 zeigt den von IEC 61508-3 vorgegebenen Softwareentwicklungsprozess.

Für die Ausgestaltung der einzelnen Aktivitäten finden sich in IEC 61508-3 Vorschläge für die Definition individueller Maßnahmenbündel zu Sicherstellung eines hinreichenden Qualitätsniveaus für die zu erstellende Software.

Anhang B Übersicht Normungsumfeld Industrie 4.0

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

www.din.de/go/industrie4-0

www.dke.de/Normen-Industrie40

B.1 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 043-01-27 AA	Informationssicherheit, Cybersicherheit und Datenschutz
NA 043-01-41 AA	Internet of Things
NA 043-01-42 AA	Künstliche Intelligenz
DIN NA 060	Normenausschuss Maschinenbau
NA 060-30 FB	Fachbereich industrielle Automation und Integration
VDI/VDE (Gesellschaft für Messe – und Automatisierungstechnik)	
VDMA	
Companion Specifications	

B.2 Europäische und internationale Normungs- und 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 System Architecture
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
JTC 1/SC 27/WG 3	Security evaluation, testing and specification
JTC 1/SC 27/WG 4	Security controls and services
JTC 1/SC 31	Automatic identification and data capture techniques
ISO/IEC JTC 1/SC 41	Internet of Things and Related Technologies
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 und Technologien für verteilte elektronische Journale
CEN – European Committee for Standardization	
CEN/TC 114	Machinery Safety
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	Multi-access Edge Computing
oneM2M	
SmartM2M & SAREf	Smart App Reference Ontology
ITU-T	
FG-5GML	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 2-4, 3-3, 4-1 and 4-2

B.3 Koordinierende Gremien

CEN-CENELEC ETSI	
CEN-CLC-ETSI/SMa-CG Coordination Group on Smart Manufacturing	Die CEN-CENELEC-ETSI „Coordination Group on Smart Manufacturing“ (SMa-CG) wurde 2019 gegründet und 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 System Committee Smart Manufacturing	Das unter deutschem Vorsitz stehende Gremium IEC/SyC „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 sind neben der Koordination der Normungsaktivitäten, der Identifikation von Lücken und Überschneidungen insbesondere in der Zusammenarbeit relevanter Normungsorganisation und Konsortien.
IEC/SyC Communication Technolo- gies and Architectures	Mitte 2019 entstand zusätzlich das IEC/SyC „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.

B.4 Industrie 4.0-Initiativen

Standardization Council Industrie 4.0

www.sci40.de

Plattform Industrie 4.0

www.plattform-i40.de/

Arbeitsgruppe 1: Referenzarchitekturen, Standards und Normung

Arbeitsgruppe 2: Technologie- und Anwendungsszenarien

Arbeitsgruppe 3: Sicherheit vernetzter Systeme

Arbeitsgruppe 4: Rechtliche Rahmenbedingungen

Arbeitsgruppe 5: Arbeit, Aus- und Weiterbildung

Arbeitsgruppe 6: Digitale Geschäftsmodelle in der Industrie 4.0

Labs Network Industrie 4.0

www.lni40.de

GAIA – X

www.data-infrastructure.eu

iDIS – Initiative Digitale Standards

5G ACIA – Alliance for Connected Industries and Automation

B.5 Standards Setting Organizations (SSO)

OPC – Unified Architecture	
Standard für den Datenaustausch als plattformunabhängige, service-orientierte Architektur	
AutomationML	
Offener Standard für neutrales, XML-basiertes Datenformat für die Speicherung und zum Austausch von Anlagenplanungsdaten	
ecl@ss	
Datenstandard für die Klassifizierung und eindeutige Beschreibung von Produkten und Dienstleistungen mithilfe von standardisierten ISO-konformen Merkmalen	
Namur	
Arbeitskreis 2.8: „Automatisierungsnetzwerke und -dienste“ (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 (Spinoff:) und somit Performanz für browser-basierte 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 Modell-Schichten 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

B.6 Übersicht Politik (Deutschland, Europa)

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung

Europäische Kommission

Multi Stakeholder Platform (MSP)
Digitising European Industry (DEI)

Abkürzungsverzeichnis

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AAL	Ambient Assisted Living
acatech	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
AE	Anwendungsempfehlung
AK_STD	Arbeitskreis Standardisierung
AAS	Asset Administration Shell
AASX	Asset Administration Shell Explorer
ADT	Abstrakter Datentyp
AML	Automation Markup Language
B2B	Business-to-Business
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEcat	Katalogstandard für ihr E-Business
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BSD	Berkeley Software Distribution
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
BZKI	Begleitforschung für zuverlässige Kommunikation in der Industrie
CDD	Common Data Dictionary
CEN	Comité Européen de Normalisation/European Committee for Standardization
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique/European Committee for Electrotechnical Standardization
CPPS	Cyber Physical Production System
CPS	Cyber Physical System
CVRF	Common Vulnerability Reporting Framework
DEI	Digitising European Industry
DG CONNECT	Directorate Generale CONNECT
DG GROW	Directorate General GROW
DG RTD	Directorate General Research and Innovation
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DIN SPEC	DIN-Specification
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE
DNS	Deutsche Normungsstrategie
DSVGO	Datenschutz-Grundverordnung
EBN	Entwicklungsbegleitende Normung
EDDL	Electronic Device Description Language
EN	Europäische Norm
EPL	Eclipse Public License
ERP	Enterprise Resource Planning
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	Europäische Union
GDPR	General Data Protection Regulation
GL	Grundlagen
GMA	VDI/VDE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik
GUI	Graphic User Interface
HAZOP	Hazard and Operability Process

HE	Handlungsempfehlung
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IACS	Industrial Automation and Control System
IEC	International Electrotechnical Commission
IECEE	IEC System of Conformity Assessment Schemes for Electrotechnical Equipment and Components
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IML	Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
IOSB	Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung
ICT	Fraunhofer-Institut für Information und Kommunikationstechnologie
IoT	Internet of Things
IPA	Fraunhofer-Institut für Prozessautomation
IIoT	Industrial Internet of Things
IPA	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
IP45G	Informationsplattform für 5-G – Industrielles Internet
ISA	International Sociological Association
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
ITA	Industry Technical Agreement
ITG	Informationstechnische Gesellschaft im VDE
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector
JETI	JTC1 Emerging Technology and Innovation
JIS	Joint Initiative on Standardization
JTC	Joint Technical Committee der IEC und ISO
JSON	JavaScript Object Notation
JWG	Joint Working Group
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Klein- und Mittelständische Unternehmen
LGPL	Lesser General Public License
LNI 4.0	Labs Network I 4.0
M2M	Machine-2-machine
MOM	Manufacturing operations management
MPL	Mozilla Public License
MRK	Mensch-Roboter-Kollaboration
NA/NIA	Normenausschuss/Normung und Standardisierung in der Informationstechnik im DIN
NAMUR	Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie
NIST	National Institute for Standards and Technology (USA)
NLF	New Legislative Framework
DNS	Deutsche Normungsstrategie
OGC	Open Geospatial Consortium
OMG	Object Management Group
OPC-UA	Open Platform Communications – Unified Architecture
OpenAAS	Open Asset Administration Shell

OT	Operational Technologies
PAiCE	Platforms, Additive Manufacturing, Imaging, Communication, Engineering
PAS	Public Available Specification
PPP	Public Private Partnership
prEN	Draft European Standard [englisch], europäischer Norm-Entwurf [deutsch]
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell I 4.0
RDF	Resource Description Framework hinzufügen
RoboPORT	Crowd-Engineering-Plattform für Robotik
RM-SA	Referenzmodell-Systemarchitektur
ROSIN	Qualitätsgesicherte ROS-Industrial-Softwarekomponenten
SC	Standards committee
SCI 4.0	Standardization Council I 4.0
SDO	Standards Developing Organization
SDK	Software Development Kit
SemAnz40	Semantische Allianz 4.0
SeRoNet	Service Roboter Netzwerk
SG	Strategiegruppe/Strategy Group
SIL	Safety Integrity Level
SMCC	Smart Manufacturing Coordinating Committee (ISO)
SMB	Standardization Management Board (IEC)
SOA	Service-orientierte Architektur
SSO	Standards Setting Organization
SyC SM	System Committee Smart Manufacturing (IEC)
TACNET 4.0	Taktils Internet – Konsortium
TC	Technical Committee
TCP	Transmission Control Protocol
TR	Technical Report
TS	Technical Specification
UK	Unterkomitee
UML	Unified Modelling Language
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.
VDE AR	VDE Anwendungsregel
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI/VDE GMA	VDI/VDE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VV	Verwaltungsvorschrift
VWS	Verwaltungsschale
VWSiD	Verwaltungsschale im Detail
W3C	World Wide Web Consortium
WG	Working Group
WTO	World Trade Organisation
WoT	Web of Things
XML	Extensible Markup Language
ZDKI	Zuverlässige drahtlose Kommunikation
ZVEI	ZVEI Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

Autorenteam

Autorenverzeichnis Normungsroadmap Industrie 4.0	
Adolph, Dr. Lars	BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
Ammon, Ernst	Technische Hochschule Nürnberg
Becker, Jochen	CERT@VDE, VDE e.V – Verband Deutsche Elektrotechnik, Frankfurt am Main
Bedenbender, Dr. Heinz	VDI – Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf
Bellinghausen, Vanessa	BSI – Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn
Börkircher, Dr. Mikko	Metall NRW – Verband der Metall- und Elektro-Industrie Nordrhein-Westfalen e. V., Düsseldorf
Braunmandl, Dr. – Ing. Andre	BSI – Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn
Brumby, Prof. Dr. Lennart	Duale Hochschule Baden-Württemberg, Mannheim
Cäsar, Joachim	Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal-Berghausen
Czarny, Damian	DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik im DIN und VDE, Frankfurt am Main
de Meer, Jan	Smart Space Lab GmbH, Berlin
Diedrich, Prof. Dr. Christian	ifak – Institut für Automation und Kommunikation e. V., Magdeburg
Fliehe, Marc	VdTÜV – Verband der TÜV e. V., Berlin
Friedrich, Dr. Jochen	IBM Deutschland GmbH, Mannheim
Focke, Guido	thyssenkrupp AG, Essen
Gayko, Dr. Jens	SCI 4.0 – Standardization Council Industrie 4.0, Frankfurt am Main
Gobert, Dr. Jonas	Plattform Industrie 4.0, Berlin
Harner, Andreas	CERT@VDE
Hartmann, Dr. Wilfried	BASF SE, Ludwigshafen
Heidel, Roland	Heidelcom Kommunikationslösungen e.K., Kandel
Hörcher, Dr. Günter	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Jännicke, Dr. Lutz	Phoenix Contact GmbH & Co KG, Blomberg
Jeske, Dr. Tim	ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V., Düsseldorf
Jochem, Michael	Robert Bosch GmbH, Stuttgart
Diller, Jürgen	Huawei Technologies GmbH, Düsseldorf
Kenji-Kipker, Dr. Dennis	Universität Bremen, CERT@VDE
Kirchhoff, Britta	BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
Klasen, Dr. Wolfgang	Siemens AG, München
Köpp, Thomas	Südwestmetall – Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e. V., Reutlingen
Korfmaier, Dr. Sebastian	KAN – Kommission Arbeitsschutz und Normung, Sankt Augustin
Kötter, Wolfgang	GITTA mbH – Gesellschaft für interdisziplinäre Technikforschung Technologieberatung Arbeitsgestaltung mbH, Berlin
Lachenmaier, Dr. Jens	Universität Stuttgart
Laible, Holger	Siemens AG, Erlangen
Lamm, Andreas	DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin
Lange, Holger	DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik im DIN und VDE, Frankfurt am Main

Leboucher, Yves	SCI 4.0 – Standardization Council Industrie 4.0, Frankfurt am Main
Legat, Dr. Christoph	Hekuma GmbH, Hallbergmoos
Löwen, Prof. Dr. Ulrich	Siemens AG, Erlangen
Metzger, Theo	BnetzA – Bundesnetzagentur Mainz
Meurer, Dr. Doris	UBA – Umweltbundesamt, Dessau
Meyer, Olga	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Mosch, Dr. Christian	VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. Frankfurt am Main
Müller, Andreas	Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Nürnberg
Nickel, Peter	Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin
Orzelski, Andreas	Phoenix Contact GmbH & Co KG, Blomberg
Petschulies, Anna	DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin
Rannenberg, Prof. Dr. Kai	Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main
Rauchhaupt, Dr. Lutz	ifak – Institut für Automation und Kommunikation e. V., Magdeburg
Reischle-Schedler, Gunther	IBM Deutschland GmbH, Düsseldorf
Rennoch, Axel	Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, Berlin
Rohrmus, Dr. Dominik	LNI 4.0 – Labs Network Industrie 4.0, Berlin
Sammer, Robert	SGS-TÜV Saar GmbH, Saarbrücken
Schmidt, Johannes	InfAI – Institut für Angewandte Informatik e. V., Leipzig
Schrundner, Robert	ident.one, Bruchsal
Sehnert, Katharina	DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin
Sieber, Peter	HIMA Paul Hildebrandt GmbH, Brühl
Stock, Petra	Refa – Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung, Darmstadt
Tenhagen, Detlef	Harting Stiftung & Co. KG, Espelkamp
Tausch, Alina	BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
Usländer, Dr. Thomas	Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB), Karlsruhe
Uslar, Dr. Matthias	OFFIS – Institut für Informatik, Oldenburg
Voß, Dr. Stefan	BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
Weber, Ingo	Siemens AG, Karlsruhe
Wegener, Prof. Dr. Dieter	Siemens AG, München

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] Plattform Industrie 4.0, Details of the Asset Administration Shell Part 1 – The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0, [Online], 2018
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Die Deutsche Normungsstrategie [Online], März 2017
- [3] Plattform Industrie 4.0, *Leitbild 2030 für Industrie 4.0: Digitale Ökosysteme global gestalten*. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Leitbild-2030-f%C3%BCr-Industrie-4.0.pdf?__blob=publicationFile&v=10## [accessed: Jan. 14 2020].
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), *Das Projekt GAIA-X: Eine vernetzte Dateninfrastruktur als Wiege eines vitalen, europäischen Ökosystems*. [Online]. Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/das-projekt-gaia-x.html##> [accessed: Feb. 20 2020].
- [5] OPC Foundation, *OPC-F Working Groups*. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/about/working-groups/opcf-wg/##> [accessed: Jan. 14 2020].
- [6] R. Heidel, M. Hoffmeister, M. Hankel, and U. Döbrich, Eds., *Industrie4.0 Basiswissen RAMI4.0: Referenzarchitekturmodell mit Industrie 4.0-Komponente*, 1st ed. Berlin, Berlin, Wien, Zürich: VDE Verlag GmbH; Beuth Verlag GmbH, 2017. [Online]. Available: <https://content-select.com/de/portal/media/view/58a1b07c-9f54-4f96-80ea-0d61b0dd2d03>
- [7] Ivar Jacobson, Ian Spence, Kurt Bittner, *Learn the Agile Way to Do Use Cases: The Guide to Succeeding with Use Cases*. Use-Case 2.0. [Online]. Available: <https://www.ivarjacobson.com/publications/white-papers/use-case-ebook##> [accessed: Jan. 14 2020].
- [8] Plattform Industrie 4.0, *Landkarte »Anwendungsbeispiele Industrie 4.0«*. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/Karte/SiteGlobals/Forms/Formulare/karte-anwendungsbeispiele-formular.html?oneOfTheseWords=Suchbegriff+eingeben##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [9] Shi-Wan Lin (Thingswise), Brett Murphy (RTI), Erich Clauer(SAP), Ulrich Loewen (Siemens), Ralf Neubert (Schneider Electric), Gerd Bachmann (VDI), MadhusudanPai (Wipro), Martin Hankel (Bosch Rexroth), *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.iiconsortium.org/pdf/JTG2_Whitepaper_final_20171205.pdf## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [8] Industrial Internet Consortium, *Industrial Internet Reference Architecture V1.9*. [Online]. Available: <https://www.iiconsortium.org/pdf/IIRA-v1.9.pdf##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [9] Plattform Industrie 4.0, *Aspects of the Research Roadmap in Application Scenarios*. Working Paper. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/aspects-of-the-research-roadmap.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D10## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [10] Plattform Industrie 4.0, *Benefits of Application Scenario Value-Based Service*. Working Paper. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/benefits-application-scenario.pdf?__blob=publicationFile&v=7## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [11] VDI Status Report *Seamless and Dynamic Engineering of Plants*. Application Scenario SDP. [Online]. Available: <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-status-report-seamless-and-dynamic-engineering-of-plants##> [accessed: Dec. 12, 2019].
- [12] Plattform Industrie 4.0, *Digitale Geschäftsmodelle für die Industrie 4.0*. Ergebnispapier. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/digitale-geschaeftsmodelle-fuer-industrie-40.pdf?__blob=publicationFile&v=7## [accessed: Jan. 14 2020].
- [13] Standardization Council Industrie 4.0, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, *Use Case "Equipment Lifecycle Management": Sub-Working Group Industrie 4.0/Intelligent Manufacturing of the Sino-German Standardisation Cooperation Commission*. [Online]. Available: https://sci40.com/files/assets_sci40.com/img/sci40/190506_AK_EquipmentLifeCycleManagement.pdf## [accessed: Dec. 12 2019].
- [14] GLOBALPROJEKT Qualitätsinfrastruktur, Ed., "Unterarbeitsgruppe Industrie 4.0: Ansätze für Normungsarbeit vertieft," Dec. 2018. Accessed: Jan. 14 2020. [Online]. Available: https://www.gpqi.org/news_de-details/unterarbeitsgruppe-industrie-4-0-ansaezte-fuer-normungsarbeit-vertieft.html
- [15] Plattform Industrie 4.0, *Usage Viewpoint of Application Scenario Value-Based Service*. Discussion Papier. [Online]. Available : https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-usage-viewpoint.pdf?__blob=publicationFile&v=8## [accessed: Jan. 14 2020].
- [16] Plattform Industrie 4.0, *Usage View of Asset Administration Shell*. Discussion Papier. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/2019-usage-view-asset-administration-shell.pdf?__blob=publicationFile&v=6## [accessed : Jan. 14 2020].
- [17] Plattform Industrie 4.0, *Industrie 4.0 Plug-and-Produce for Adaptable Factories: Example Use Case Definition, Models, and Implementation*. Working Papier. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Industrie-40-Plug-and-Produce.pdf?__blob=publicationFile&v=7## [accessed: Jan. 14, 2020].

- [18] Robot Revolution Initiative, *International Standardization Collaboration Progress Report: WG1: "Functional Viewpoint of Application Scenario Value-Based Service"*. based on the joint statement between Plattform Industrie 4.0 and RRI. [Online]. Available: <https://www.jmfrri.gr.jp/english/document/library/877.html##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [19] R. Heidel, M. Hoffmeister, and M. Hankel, *Industrie 4.0: The reference architecture model RAMI 4.0 and the Industrie 4.0 component*, 1st ed., 2019.
- [20] NAMUR, *Willkommen bei der Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie*. [Online]. Available: <https://www.namur.net/de/##> [accessed: Feb. 20, 2020].
- [21] The Open Group, *About Us*. [Online]. Available: <https://www.opengroup.org/##> [accessed: Feb. 20, 2020].
- [22] NAMUR, *NAMUR Open Architecture*. Accessed: Jan. 14, 2020. [Online]. Available: <https://www.namur.net/de/fokusthemen/namur-open-architecture.html>
- [23] International Data Spaces Association, *About the International Data Spaces Association*. [Online]. Available: <https://www.internationaldataspaces.org/##> [accessed: Feb. 20 2020].
- [24] VDMA, *Interoperabilität durch standardisierte Merkmale: Neuer Leitfaden des VDMA ab sofort verfügbar*. [Online]. Available: <https://sud.vdma.org/viewer/-/v2article/render/39398565##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [25] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, *Anwendungsszenario DDA – Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen*. Statusreport. [Online]. Available: http://jahresbericht.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-Statusreport_Anwendungsreport_DDA_-_Durchgaengiges_und_dynamisches_Engineering_von_Anlagen.pdf## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [26] Gesellschaft für Umweltsimulation GUS e. V., *Home: Willkommen bei der GUS e. V.!* [Online]. Available: <https://www.gus-ev.de/##> [accessed: Jan. 14 2020].
- [27] Plattform Industrie 4.0, *Verwaltungsschale in der Praxis: Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen*. Diskussionspapier. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2018-verwaltungsschale-im-detail.pdf?__blob=publicationFile&v=10## [accessed: Jan. 14 2020].
- [28] Plattform Industrie 4.0, *Details of the Asset Administration Shell: Part 1-The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 2.0)*. Specification. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Details-of-the-Asset-Administration-Shell-Part1.pdf?__blob=publicationFile&v=3## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [29] Plattform Industrie 4.0, *Verwaltungsschale in der Praxis: Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen*. Diskussionspapier. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2019-verwaltungsschale-in-der-praxis.pdf?__blob=publicationFile&v=7## [accessed: Jan. 14 2020].
- [30] Semantische Allianz für Industrie 4.0, *SemAnz40: Semantische Allianz für Industrie 4.0*. [Online]. Available: https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/21871937/SemAnz40_1510217473136.pdf/dc1cc7f4-42f4-4086-9d38-38caa91f6f0e## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [31] ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., *Antrieb 4.0 – Vision wird Realität: Merkmale, Daten und Funktionen elektrischer Antriebssysteme in Industrie 4.0 für Hersteller, Maschinenbauer und Betreiber*. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/November/Antrieb_4.0_-_Vision_wird_Realitaet_-_erweiterte_Auflage/ZVEI_BR_Vision_Antrieb_4.0_2018_DOWNLOAD.pdf## [accessed: Jan. 14 2020].
- [32] Ulrike Parson, *iIRDS – der neue Auslieferungsstandard für die Technische Dokumentation*. [Online]. Available: <https://www.parson-europe.com/de/wissensartikel/427-iirds-auslieferungsstandard-technische-dokumentation.html##> [accessed: Feb. 20, 2020].
- [33] *Terms of Reference (ToR) for ETSI TC MTS TST WG (Testing)*.
- [34] ETSI, *ETSI Portal*. [Online]. Available: <https://portal.etsi.org/tb.aspx?tbid=860&SubTB=860##> [accessed: Jan. 12, 2020].
- [35] ETSI, *Testing, Interoperability and Technical Quality*. [Online]. Available: <https://portal.etsi.org/Services/Centre-for-Testing-Interoperability##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [36] Bitkom Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., *IoT-Plattformen – aktuelle Trends und Herausforderungen: Faktenpapier*. Handlungsempfehlungen auf Basis der Bitkom Umfrage 2018. [Online]. Available: <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/180424-LF-IoT-Plattformen-online.pdf>
- [37] *Digital Reality in Zero Defect Manufacturing: QU4LITY*. Grant agreement ID: 825030. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/825030##> [accessed: Dec. 12, 2019].

- [38] „FabOS – offenes, verteiltes, echtzeitfähiges und sicheres Betriebssystem für die Produktion“, 2019. Accessed: Dec. 12, 2019. [Online]. Available: <https://www.fab-os.org/>
- [39] OpenStack, *The OpenStack Foundation*. [Online]. Available: <https://www.openstack.org/foundation/##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [40] Apache Software Foundation, *The World's Largest Open Source Foundation*. [Online]. Available: <https://www.apache.org/##> [accessed: Dec. 12 2019].
- [41] Plattform Industrie 4.0, *Plattform Industrie 4.0: Die Verwaltungsschale im Detail*. von der Idee zum implementierbaren Konzept. [Online]. Available : https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/verwaltungsschale-im-detail-pr%C3%A4sentation.pdf?__Bob=publication-File&v=3## [accessed: Jan. 14 2020].
- [42] Plattform Industrie 4.0, *Beziehungen zwischen I 4.0-Komponenten – Verbundkomponenten und intelligente Produktion: Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente SG Modelle und Standards*. Erlebnispapier. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2017/Juni/Beziehungen_zwischen_I4.0_Komponenten/Beziehungen-zwischen-I 4.0-Komponenten-zvei.pdf## [accessed: Jan. 14 2020].
- [43] eCl@ss, *eCl@ss IN DER ANWENDUNG -USE CASES UND BEST PRACTICE*. [Online]. Available: https://www.eclclass.eu/fileadmin/downloads/ecl_BestPractice-de.pdf## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [44] eCl@ss, *MIT DATEN UND SEMANTIK AUF DEM WEG ZUR Industrie 4.0*. Ein Whitepaper des eCl@ss e.V. [Online]. Available: https://www.eclclass.eu/fileadmin/downloads/ecl-Whitepaper_2018_DE_klein.pdf## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [45] W3C, *Web of Things Working Group Charter*. [Online]. Available: <https://www.w3.org/2016/12/wot-wg-2016.html##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [46] W3C, *Web of Things (WoT) Architecture: W3C Candidate Recommendation 6 November 2019*. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/wot-architecture/##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [47] IANA, *Link Relations*. [Online]. Available: <https://www.iana.org/assignments/link-relations/link-relations.xhtml##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [48] OASIS, *MQTT: OASIS Standard*. [Online]. Available: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [49] S. Bradner, *Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels.: Best Current Practice*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc2119##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [50] T. Berners-Lee, R. Fielding, and L. Masinter, *Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax: Internet Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc3986##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [51] M. Duerst and M. Suignard, *Internationalized Resource Identifiers (IRIs): Proposed Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc3987##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [52] T. Hansen, T. Hardie, and L. Masinter, *Guidelines and Registration Procedures for New URI Schemes: Best Current Practice*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc4395##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [53] E. D. Crocker and P. Overell, “Augmented BNF for Syntax Specifications: ABNF: Internet Standard,” IETF, Jan. 2008. Accessed: Jan. 14, 2020. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc5234>
- [54] N. Freed, J. Klensin, and T. Hansen, *Media Type Specifications and Registration Procedures: Best Current Practice*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc6838##> [accessed: Jan. 12, 2020].
- [55] C. Bormann and P. Hoffman, “Concise Binary Object Representation (CBOR): Proposed Standard,” IETF, Oct. 2013. Accessed: Jan. 12, 2020. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7049>
- [56] E. R. Fielding and E. J. Reschke, *Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Semantics and Content: Proposed Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7231##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [57] Z. Shelby, K. Hartke, and C. Bormann, *The Constrained Application Protocol (CoAP): Proposed Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [58] B. Leiba, “Ambiguity of Uppercase vs Lowercase in RFC 2119 Key Words: Best Current Practice,” IETF, May. 2017. Accessed: Jan. 12, 2020. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc8174>
- [59] E. T. Bray, *The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format: Internet Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc8259##> [accessed: Jan. 14, 2020].
- [60] M. Nottingham, *Web Linking: Proposed Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc8288##> [accessed: Jan. 14, 2020].

- [61] Sebastian Käbis and Takuki Kamiya, *Web of Things (WoT) Thing Description: W3C Candidate Recommendation 6 November 2019*. W3C Working Draft. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/wot-thing-description/>## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [62] Institut für Automatisierungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, *Semantik für Industrie 4.0-Systeme: Die Basis für den Informationsaustausch in Industrie 4.0-Anwendungsszenarien*. [Online]. Available: https://www.eclass.eu/fileadmin/images/content/projekte/semanz/Broschuere_Semanz40.pdf## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [63] Wolfgang Ahrens, Hasso Drathen, Oskar Kroll, Günter Löffelmann, Peter Zgorzelski, *Standardisierte Merkmale als Schlüssel für den unternehmens-weiten Datenaustausch im Engineering-Umfeld*. [Online]. Available: https://www.eclass.eu/static/documents/wiki/prolist/2006/EKA206_01.pdf## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [64] 5G-ACIA, "Integration of Industrial Ethernet Networks with 5G Networks," (White Paper), November 2019. Accessed: Dec. 12, 2019. [Online]. Available: https://www.5g-acia.org/fileadmin/5G-ACIA/Publikationen/5G-ACIA_White_Paper_Integration/WP_5G_Integration_of_Industrial_Ethernet_Networks_with_5G_Networks__Download_19.11.19.pdf
- [65] IEC/EN 62657-1:2015 "Industrial communication networks – Wireless communication networks – Part 1: Wireless communication requirements and spectrum considerations".
- [66] IEC/EN 62657-2 Ed.2.0:2017 – "Industrial communication networks – Wireless communication networks – Part 2: Coexistence management".
- [67] 5G-ACIA, "A 5G Traffic Model for Industrial Use Cases (White Paper)," Nov. 2019.
- [68] VDI/VDE 2192 Blatt 1 „Quality of Service – Beschreibung und Beispiele.“, Gründruck 2019.
- [69] VDI/VDE 2185 Blatt 4, „Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik Mess-technische Performancebewertung von Funklösungen für industrielle Automatisierungsanwendungen“, 2019.
- [70] 5G-ACIA, "Selected Testing and Validation Considerations for Industrial Communication with 5G Technologies," (White Paper), Nov. 2019.
- [71] Bundesnetzagentur, "Verwaltungsvorschrift für Frequenzuteilungen für lokale Frequenznutzungen im Frequenzbereich 3.700-3.800 MHz: VV Lokales Breitband," Nov. 2019.
- [72] 5G-ACIA, "5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios," White Paper, Jul. 2019.
- [73] IEC 60802: Time-sensitive networking profile for industrial automation
- [74] Plattform Industrie 4.0, *The Asset Administration Shell: Implementing digital twins for use in Industrie 4.0: A starter kit for developers*. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/VWSiD%20V2.0.html>## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [75] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), *Positionspapier – Interoperabilität: Interoperabilität – Unsere Vision für Industrie 4.0: Maschinen sprechen in vernetzten digitalen Ökosystemen interoperabel miteinander*. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Positionspapier-Interoperabilität.pdf?__blob=publicationFile&v=3## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [76] Plattform Industrie 4.0, *Weiterentwicklung des Interaktionsmodells für Industrie 4.0-Komponenten*. Diskussionspapier. [Online]. Available : https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/interaktionsmodell-i40-komponenten-it-gipfel.pdf?__blob=publicationFile&v=5## [accessed: Jan. 14 2020].
- [77] German Standardization Roadmap Industrie 4.0. DIN/DKE – Roadmap. [Online]. Available: <https://www.din.de/blob/65354/57218767bd6da1927b181b9f2a0d5b39/roadmap-i4-0-e-data.pdf>## [accessed: Dec. 12 2019].
- [78] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, *Industrie 4.0 – Begriffe/Terms*. [Online]. Available: <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/industrie-40-begriffeterms>## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [79] Plattform Industrie 4.0, *Struktur der Verwaltungsschale: Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente*. Ergebnispapier. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/april/Struktur_der_Verwaltungsschale/Struktur-der-Verwaltungsschale.pdf## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [80] Christian Diedrich et.al, *Semantic interoperability: challenges in the digital transformation age: IEC White Paper*. [Online]. Available: <https://www.iec.ch/whitepaper/>## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [81] ETSI, *ETSI TR 103 535 V0.2.2 (2019-03): SmartM2M; Guidelines for using semantic interoperability in the industry*. Technical Report. [Online]. Available: <https://docbox.etsi.org/SmartM2M/Open/AIOTI/ST547/Draft%20TR%20103%20535v0.2.2%20consultation.pdf>## [accessed: Dec. 12, 2019].

- [82] ISO IEC/CD 21823-2 "Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT Systems – Part 2: Transport interoperability.
- [83] ISO/IEC 21823-3 Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT Systems – Part 3: Semantic interoperability.
- [84] ETSI, *ETSI GS ISI 006 V1.1.1 (2019-02): Information Security Indicators (ISI); An ISI-driven Measurement and Event Management Architecture (IMA) and CSlang – A common ISI Semantics Specification Language*. Group Specification. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ISI/001_099/006/01.01.01_60/gs_isi006v010101p.pdf## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [85] Plattform Industrie 4.0, Glossar. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Industrie40/Glossar/glossar.html>## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [86] Plattform Industrie 4.0, *Details of the Asset Administration Shell: Part 1 – The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 1.0)*. Specification. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2018-verwaltungsschale-im-detail.pdf?__blob=publicationFile&v=8## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [87] W. Hacker, *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit*, 2nd ed. Bern: Huber, 2005.
- [88] C. Schlick, H. Luczak, and R. Bruder, *Arbeitswissenschaft*. Heidelberg: Springer, 2010. [Online]. Available: <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10361974>
- [89] H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke, and E. Westkämper, *Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung*, 3rd ed. s.l.: Springer-Verlag, 2009. [Online]. Available: <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10288838>
- [90] M. Patterson, P. Warr, and M. West, "Organizational climate and company productivity: The role of employee affect and employee level," *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, vol. 77, no. 2, pp. 193–216, 2004, doi: 10.1348/096317904774202144.
- [91] aorzelskiGH, *admin-shell/aasx-package-explorer: aasx-package-explorer/builds/*. [Online]. Available: <https://github.com/admin-shell/aasx-package-explorer/tree/master/builds>## [accessed: Jan. 12, 2020].
- [92] Eclipse Foundation, *Eclipse BaSyx*. [Online]. Available: <https://projects.eclipse.org/projects/technology.basys/downloads>## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [93] ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., *Automation und Digitalisierung: Potenzial und Einsatz von Blockchain- und Distributed-Ledger-Technologien in der Automatisierungstechnik*. Studie. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2019/Februar/Blockchain-Studie/Blockchainstudie_14.02.19.pdf## [accessed: Jan. 14, 2020].
- [94] *Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme – Teil 3: Anforderungen an Software (IEC 61508-3:2010)*.
- [95] D. Steegmüller and M. Zürn, "Wandlungsfähige Produktionssysteme für den Automobilbau der Zukunft," in *Springer Reference Technik, Handbuch Industrie 4.0: Bd. 1: Produktion*, B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Eds., 2nd ed., Berlin: Springer Vieweg, 2017, pp. 27–44. Accessed: Jan. 14 2020.
- [96] Kasper, Björn, Stefan Voß, "Neue Anforderungen an die Sicherheitsnachweisführung von Maschinen und Anlagen im Kontext von Industrie 4.0," in *sicher ist sicher*. [Online]. Available: https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Aufsaeetze/artikel2093.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- [97] P. Liggesmeyer and M. Trapp, "Safety in der Industrie 4.0," in *Springer Reference Technik, Handbuch Industrie 4.0: Bd. 1: Produktion*, B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Eds., 2nd ed., Berlin: Springer Vieweg, 2017, pp. 107–123.
- [98] B. Kasper, "Maschinen und Anlagen in der digitalen Produktion – Neue Anforderungen an die Sicherheitsnachweisführung," in *baua: Aktuell*.
- [99] K. Wickert, "Algorithmen: Chance und Herausforderung für die Maschinensicherheit," in *sicher ist sicher*.
- [100] ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., *Menschenzentrierte Künstliche Intelligenz in der Industrie: Zehn Handlungsempfehlungen für Deutschland und Europa: Positionspapier*. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Juli/Menschenzentrierte_Kuenstliche_Intelligenz_in_der_Industrie/Menschenzentrierte-Kuenstliche-Intelligenz-in-der-Industrie-Positionspapier.pdf## [accessed: Feb. 20, 2020].
- [101] Big Data Value Association (BDVA), *Home*. [Online]. Available: <http://www.bdva.eu/>## [accessed: Feb. 20, 2020].

- [102] European Union, *Artificial Intelligence: Public-Private Partnerships join forces to boost AI progress in Europe*. Shaping Europe's digital future. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/artificial-intelligence-public-private-partnerships-join-forces-boost-ai-progress-europe##> (accessed: Feb. 20, 2020).
- [103] Plattform Industrie 4.0, *Exemplification of the Industrie 4.0 Application Scenario Value-Based Service following IIRA Structure*. Working Paper. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/exemplification-i40-value-based-service.pdf?__blob=publication-File&v=7## (accessed: Feb. 17, 2020).
- [104] Bitkom Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., *Digitalisierung gestalten mit dem Periodensystem der Künstlichen Intelligenz: Ein Navigationssystem für Entscheider*. [Online]. Available: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2018-12/181204_LF_Periodensystem_online_0.pdf## (accessed: Feb. 17, 2020).
- [105] DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., *Ethikaspekte in der Normung und Standardisierung für Künstliche Intelligenz in autonomen Maschinen und Fahrzeugen*. [Online]. Available: <https://www.din.de/de/din-und-seine-partner/presse/mitteilungen/ethikaspekte-in-der-normung-und-standardisierung-fuer-kuenstliche-intelligenz-in-autonomen-maschinen-und-fahrzeugen-322602##> (accessed: Feb. 17, 2020).
- [106] DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN SPEC 92001-1:2019-04: Künstliche Intelligenz – Life Cycle Prozesse und Qualitätsanforderungen – Teil 1: Qualitäts-Meta-Modell*. [Online]. Available: <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-92001-1/303650673##> (accessed: Feb. 17, 2020).
- [107] Ralph Welge, Henrik J. Putzer, Janina Laurila-Dürsch und Stefan Heusinger, *Entwurfsmethodiken für Systeme mit Komponenten der Künstlichen Intelligenz*.
- [108] P. Rauh and C. Wischusen, *Standards of the Future*.

DIN e. V.

Saatwinkler Damm 42/43
10787 Berlin
Telefon: +49 30 2601-0
E-Mail: presse@din.de
Internet: www.din.de

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
Stresemannallee 15 · 60596 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6308-0
Telefax: +49 69 08-9863
E-Mail: standardisierung@vde.com
Internet: www.dke.de