

DIN EN IEC 63339

ICS 25.040.01; 35.240.50

Einsprüche bis 2023-09-28

Entwurf**Einheitliches Referenzmodell für Smart Manufacturing
(IEC 65/930/CD:2022);
Text Deutsch und Englisch**

Unified reference model for smart manufacturing
(IEC 65/930/CD:2022);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-07-28 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Merianstraße 28, 63069 Offenbach am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 191 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 65/930/CD:2022-05 „Unified reference model for smart manufacturing“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 65 „Industrial-process measurement, control and automation“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine "JA/NEIN"-Entscheidung möglich ist, wobei eine "NEIN"-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 931 „Systemaspekte der Automatisierung“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	8
1 Anwendungsbereich.....	12
2 Normative Verweisungen.....	12
3 Begriffe und Konventionen.....	12
3.1 Begriffe.....	12
3.2 Abkürzungen und Akronyme.....	17
3.3 Konventionen.....	18
4 Konformität.....	18
4.1 Vorgesehene Verwendung.....	18
4.2 Volle Konformität.....	18
4.3 Teilweise Konformität.....	19
4.3.1 Konformität mit dem Zweck und den Anforderungen des Kontexts.....	19
4.3.2 Konformität mit Dimensionen und Kohärenz.....	19
4.3.3 Konformität mit der semantischen Modellierung von Aspekten.....	19
4.3.4 Konformität mit Facetten und Rahmen.....	19
5 Das URMSM für intelligente Fertigungskonzepte.....	19
6 Referenzmodellkonzepte.....	20
6.1 SM-Modellierung.....	20
6.2 Modellierungszweck.....	21
6.3 Modellierungsdimensionen.....	22
6.4 Dimensionskohärenz.....	23
6.5 Geschäftsinteressent.....	24
6.6 Bedenken.....	24
6.7 Anwendungsfall.....	25
6.8 Sichten und Ansichten.....	26
6.9 Perspektiven.....	26
6.9.1 Verwendung von Perspektiven.....	26
6.9.2 Geschäftsinteressent-Perspektiven.....	27
6.9.3 Analytischer Rahmen.....	27
6.10 Aspekte.....	27
6.11 Lebenszyklusmodellierung.....	28
6.12 Semantische Modellierung von SM.....	29
6.12.1 Übersicht über die semantische Modellierung.....	29
6.12.2 Formen der semantischen Darstellung.....	31
6.12.3 Granularität der semantischen Modelle.....	32
7 Dimensionen des URMSM.....	32
7.1 Identifizierung von Aspektinteraktionen und Modellierung von Dimensionen in der intelligenten Fertigung.....	32
7.2 Festlegen der Modellierungsdimensionen.....	32

7.2.1	Gruppen von Aspekten als Dimensionen der intelligenten Fertigung.....	33
7.2.2	Gruppen von Dimensionen als analytischer Rahmen für die intelligente Fertigung.....	34
7.2.3	Gruppen von Lebenszyklusphasen als Dimensionen der intelligenten Fertigung.....	35
7.3	Verwendung eines semantischen Modells für analytische Schlussfolgerungen in der intelligenten Fertigung.....	36
7.4	Identifizierung sinnvoller Interaktionen von Dimensionen.....	36
7.5	Auswahl der Dimensionen von Facetten basierend auf Bedenken.....	37
7.6	Rahmen als Darstellung von Interaktionen.....	39
8	Verwendung des URMSM.....	43
8.1	Nutzen eines Referenzmodells für die intelligente Fertigung.....	43
8.2	Industriespezifische Anwendung des URMSM.....	43
8.3	Spezialisiertes URMSM.....	44
8.3.1	Spezifische Nutzung des URMSM und Regeln für Ableitungen von SMRM.....	44
8.3.2	Anpassung der Referenzmodelle an den Zweck der Modellierung.....	45
9	Anwendungsfälle des URMSM.....	46
9.1	Analyse des Anwendungsfalls.....	46
9.1.1	Untersuchung der Interaktionen an den Schnittpunkten von Aspekten.....	46
9.1.2	Untersuchung der Interaktionen in der Nähe der Schnittpunkte von Aspekten.....	47
9.1.3	Hinzufügen neuer Funktionen zur Analyse.....	47
9.2	Synthese von Anwendungsfällen.....	47
9.2.1	Identifizierung der erforderlichen Abdeckung von Aspektinteraktionen.....	47
9.2.2	Sequenzierung von Aktivitäten auf Grundlage von Abhängigkeiten.....	48
9.3	Simulation im SMRM.....	48
9.4	Anwendungsfall der Implementierung.....	49
10	Familie von Referenzmodellen auf Grundlage des URMSM.....	51
10.1	Eine Basis der wesentlichen SM-Modellierungsdimensionen.....	51
10.2	Neuanordnung der Dimensionen des Rahmens.....	52
10.3	Ergänzende Rahmen für dieselbe Situation.....	52
10.4	Verwendung mehrerer SMRMs zum Erreichen des Zwecks.....	53
Anhang A (informativ) Konzeptbereiche von SM.....		55
A.1	Aspekte der Produktion und Produkte.....	55
A.2	Perspektiven der Geschäftsinteressenten für Produktion und Produkte.....	55
A.3	Erwägungen zum Lebenszyklus.....	56
A.4	Modellierung von Produkten und Produktion mit semantischen Modellen.....	56
A.5	Semantische Modelle.....	58
Anhang B (informativ) Formale Grundlage für URMSM.....		60
B.1	Modellierungsrahmen für URMSM.....	60
B.1.1	Hinweis zum Formalismus.....	60
B.1.2	Formalismus für den Modellierungsrahmen.....	61
B.1.3	Verwendung eines URMSM-Rahmens.....	64

B.1.4	Semantische Modelle von Dimensionen, die aus Aspekten bestehen.....	65
Anhang C (informativ) Positionierung von URMSM unter Referenzmodellen.....		68
C.1	Positionierung von URMSM unter Referenzmodellen.....	68
Anhang D (informativ) Metamodell für die Analyse von Referenzmodellen.....		69
D.1	Metamodell-Analyse.....	69
D.2	Verwendung eines Metamodells.....	69
D.2.1	Allgemeines.....	69
D.2.2	Annahmen, Einschränkungen und Leitfaden.....	69
D.2.3	Konzepte.....	70
Anhang E (informativ) Grundsätze der semantischen Modellierung.....		76
E.1	Konzeptionelles Modell der obersten Ebene.....	76
E.2	Semiotisches Konzeptmodell.....	78
E.3	Modelldomänen der obersten Ebene.....	82
Anhang F (informativ) Modellierungsaktivitäten des Anwenders bei der systematischen Nutzung von URMSM.....		84
F.1	Ableitung von Bedenken, Aspekten und Perspektiven für Anwendungsfälle.....	84
F.2	Beziehung zwischen den Aspekten einer Dimension und den Modellinhalten.....	86
F.2.1	Allgemeines.....	86
F.2.2	Auswirkung der Dimension des Lebenszyklus.....	87
F.2.3	Auswirkung der Dimension der intelligenten Technologie.....	87
F.2.4	Auswirkung der Dimension der Unternehmenshierarchie.....	88
F.2.5	Implikation der Dimension der Fähigkeitsebene.....	88
F.3	Konzept des schrittweisen Ansatzes.....	88
F.3.1	Hinweis zum Formalismus.....	88
F.3.2	Verfahren in der Praxis.....	89
Anhang G (informativ) Anwendungsfall: Wertstrom.....		91
G.1	Übersicht.....	91
G.2	Fördersystem-Projekt.....	91
G.3	SM-Anwendungsfall.....	92
G.4	Dimensionen.....	94
G.4.1	Informationen im Kontext.....	94
G.4.2	Kohärenz der Dimensionen durch semantische Modelle.....	94
G.4.3	Interaktionen zwischen Dimensionen.....	94
G.4.4	Dimension S – die Lieferkette.....	95
G.4.5	Dimension C – Produkt-/Produktionssystementwurf.....	95
G.4.6	Dimension D – Produktionssystem.....	95
G.4.7	Dimension H – Betriebsmanagement (im Rahmen der Dimension D, Produktionssysteme, dargestellt).....	95
G.4.8	Dimension I – Steuer-/Prozessebene 1 (dargestellt innerhalb Dimension D).....	96
G.5	Projekfluss und -interaktion.....	96

G.5.1	Produktkonzept (Ctx)-Angebot.....	96
G.5.2	Produktbestellungsprozess.....	97
G.5.3	Neues Produktkonzept (Ctx)-Angebot.....	98
G.5.4	Interaktionsmatrix.....	98
	Literaturhinweise.....	100
Bilder		
Bild 1	– Verwendung des URMSM.....	9
Bild 2	– Wiederverwertung von Facetten aus Sicht eines Entwicklers von SM-Normen.....	38
Bild 3	– Projektionsschritte für Entwickler von Normen.....	39
Bild 4	– Eine eindimensionale Rahmendarstellung.....	41
Bild 5	– Eine zweidimensionale Rahmendarstellung.....	41
Bild 6	– Verschachtelte Prozesse (mittleres Oval) und Benutzermitglieder (rechts).....	42
Bild 7	– URMSM-Abstraktionsstapel.....	44
Bild 8	– Beispiel für ein Modell für Anwendungsfall Nr. 1.....	49
Bild 9	– Unterschiedliche intelligente Fertigungssysteme, die von verschiedenen Geschäftsinteressenten erwartet werden.....	50
Bild 10	– Grundstruktur für eine Familie von SMRM mit alternativen 3D-Darstellungen.....	53
Bild A.1	– Kontextuelle SM-Beziehungen.....	57
Bild A.2	– Semiotisches Dreieck mit drei semiotischen Bereichen und drei Morphismen (Beziehungen zwischen Paaren von Artefakten semiotischer Bereiche).....	58
Bild A.3	– Konzeptmodell für Produktstandardkatalog.....	59
Bild B.1	– Dimensionen des semantischen Modellszenarios.....	66
Bild B.2	– Semantisches Modellszenario als Beziehungendiagramm.....	66
Bild C.1	– Beispiel für die Kaskadierung von Referenzmodellen.....	68
Bild D.1	– Metalmodell für SMRM.....	74
Bild E.1	– Konzeptionelles Modell der obersten Ebene, „Semantisches Dreieck“.....	76
Bild E.2	– Wissensontologie (K-Pyramide) erklärt durch die drei farbigen Ecken des semiotischen Dreiecks (Konzept Symbol Phänomen).....	77
Bild E.3	– I4.0-Methodik / Theorie der Daten: Abflachung der Wissens-/Datenpyramide.....	78
Bild E.4	– Zyklische semiotische Beziehungen (Morphismen).....	79
Bild E.5	– Eine erste Konsolidierung der Interaktionen auf hoher Ebene (I) - einschließlich der IIoT-Kontrollstruktur.....	80
Bild E.6	– Zusammenstellung von SM-Wissen aus verschiedenen SM-Domänen.....	81
Bild E.7	– Konzeptmodell der oberen Ebene für Modelldomäne.....	82
Bild E.8	– Konzeptmodell des natürlichen Aspekts – Dynamik.....	83
Bild F.1	– Nutzung des URMSM durch eine Modellierungsaktivität von SM-Anwendern.....	84
Bild F.2	– Projektionsschritte für SM-Anwender.....	85
Bild F.3	– Beziehung zwischen den Aspekten einer Dimension und den Modellinhalten.....	87
Bild F.4	– Potenzielles Problem der Modellierungsaktivität von SM-Anwendern.....	89
Bild F.5	– Schrittweiser Ansatz.....	90

Bild G.1 – Produktmodellinteraktionen.....	93
Bild G.2 – Dimension D, Produktionssystem.....	96

Tabellen

Tabelle B.1 – Semantisches Modellszenario.....	65
Tabelle B.2 – Semantisches Modellszenario als N-Quadrat-Diagramm.....	66
Tabelle B.3 – Semantisches Modellszenario, direkte Schnittpunkte.....	67
Tabelle B.4 – Semantisches Modellszenario, indirekte Schnittpunkte.....	67
Tabelle G.1 – Interaktionsmatrix.....	99

Einleitung

Der Begriff „Fertigung“ bezieht sich auf eine Reihe menschlicher Tätigkeiten, vom Handwerk bis zur Hochtechnologie, und wird üblicherweise auf die industrielle Produktion angewandt, bei der Rohstoffe und Teile in kleinen bis großen Mengen durch eine Reihe miteinander verbundener Prozesse in Endprodukte umgewandelt werden. Intelligente Fertigung (en: smart manufacturing, SM) ist eine neue Form der Fertigung, die durch digitale Technologien ermöglicht wird. Sie wird schrittweise durch die digitale Transformation aufgebaut, kombiniert Diversität und Einheitlichkeit und ermöglicht eine dauerhafte Wertschöpfung durch eine hochkomplexe Reihe von Prozessen, die auf verschiedenen Zeitskalen zusammenwirken. Im heutigen Fertigungsumfeld wird die Fertigung nicht mehr als eine Reihe von seriellen Prozessen betrachtet, sondern als eine stark vernetzte Reihe von dezentralen Prozessen, die auf unterschiedlichen Zeitskalen zusammenwirken können. Eine Reihe von Überwachungsprozessen sorgt für die Koordinierung dieser dezentralen Prozesse mithilfe von Schnittstellen, die eine dynamische Reaktion auf sich ändernde Bedingungen in den Bereichen Nachfrage, Versorgung, Umwelt, Energie und andere von Menschen oder der Natur verursachte probabilistische Ereignisse ermöglichen. Da diese probabilistischen Ereignisse vor ihrem Auftreten nicht bekannt sind, verursachen sie häufig Störungen und führen zu veränderten Bedingungen.

Der Zweck der intelligenten Fertigung besteht darin, diese Störungen zu mildern und gleichzeitig die Einführung neuer Technologien und Verfahren auf koordinierte Weise für die verschiedenen Kunden, Lieferanten und Geschäftsinteressenten in den verschiedenen Phasen der Wertschöpfungskette zu unterstützen.

Aufbauend auf den gemeinsamen Erkenntnissen und Ergebnissen in IEC TR 63319 [4] – „A meta-modelling analysis approach to smart manufacturing reference models“ und wie in Bild 1 dargestellt, legt dieses Dokument das einheitliche Referenzmodell für die intelligente Fertigung (en: unified reference model for smart manufacturing, URMSM) fest, um zweckgebundene Domänen- und Anwendungsreferenzmodelle für Initiativen zur intelligenten Fertigung zu erstellen, indem es die notwendige Struktur und Terminologie zur Formulierung solcher Modelle festlegt. Das URMSM ist in vielen Bereichen und Anwendungen eines Fertigungsunternehmens anwendbar.

Referenzmodelle für die intelligente Fertigung (en: smart manufacturing reference models, SMRM), die den Spezifikationen dieses Dokuments entsprechen, bieten Entwicklern von SM-Normen und SM-Anwendern bessere Möglichkeiten für die Einführung von Modellen für Produktionssysteme und Produkte, die die technologischen Innovationen voll ausschöpfen. Diese Innovationen entstehen bei

- der Analyse und Synthese mithilfe von Fertigungsmodellen,
- der Anwendung neuer Materialien, Prozesse und Fertigungseinrichtungen,
- Sicherstellung des Verständnisses hinsichtlich des Aufkommens des Konzepts der digitalen Zwillinge und Technologien für die intelligente Fertigung.

Das URMSM ist nicht nur ein Modell oder eine Modellvisualisierung. Das URMSM ist eine Spezifikation für eine Reihe von Referenzmodellen, die gemeinsame strukturelle und verhaltensbezogene Eigenschaften aufweisen, die zur Förderung der Interoperabilität bestimmt sind.

ANMERKUNG Abschnitt 8.2 enthält weitere Informationen über Beziehungen zwischen Modellen und Ableitungsbeziehungen.

Das URMSM führt Konzepte aus bestehenden Arbeiten zusammen, sowohl aus Normen als auch aus der Praxis, um die Vielfalt bestehender Referenzmodelle, die Anpassung bestehender Referenzmodelle für neue Anwendungen und die Entstehung neuer Referenzmodelle zu unterstützen, die alle von der Entwicklung der Fertigungstechnologien profitieren.

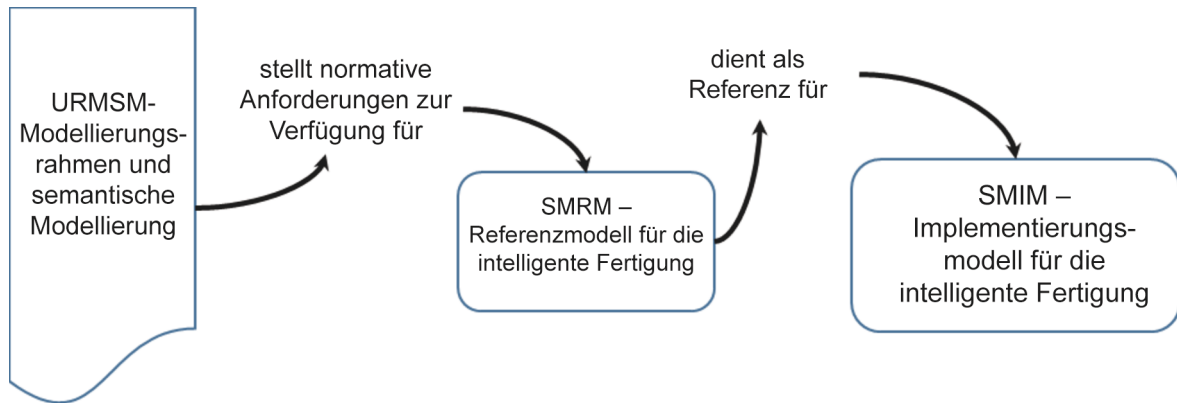


Bild 1 – Verwendung des URMSM

Der modellbasierte Ansatz des URMSM hat zwei wesentliche Komponenten. Bei der ersten handelt es sich um einen Modellierungsrahmen zur Unterstützung verschiedener Anordnungen von Fertigungselementen in konzeptionellen Konfigurationen, die für die Fachbereiche von Fertigungsunternehmen als sachdienlich erachtet werden. Die zweite ist die Konzeptionalisierung der semantischen Modelle, die sich innerhalb des Modellierungsrahmens befinden. Eine übersichtliche URMSM-Terminologie unterstützt sowohl den Modellierungsrahmen als auch die konzeptionellen semantischen Modelle.

Da es sich bei der intelligenten Fertigung im Wesentlichen um ein menschliches Konzept verbesserter Fertigungstechnologien und -praktiken handelt, können Unterschiede in der Auslegung dieses Konzepts dazu führen, dass einige Anwender die komplizierte Art der Interaktion von Perspektiven und Eigenschaften in den heutigen Fertigungssystemen zu sehr vereinfachen. Die Versachlichung des Begriffs „intelligent“ für die Fertigung stellt eine Herausforderung dar, da Entwickler und Anwender bereits seit über 200 Jahren die Fertigung intelligenter gestalten.

Für die Arbeit der IEC in einem ähnlich komplexen Bereich fasst der Verfasser von [1] „Intelligenz“ im Bereich der Smart Cities wie folgt zusammen: Intelligenz ist eine aufkommende Eigenschaft eines Systems,

- das durch digitale Technologien ermöglicht wird,
- das ausdrücklich zur Reduzierung der Komplexität entworfen und entwickelt wurde,
- das durch die digitale Transformation schrittweise aufgebaut wird,
- das permanent für Wertschöpfung sorgt,
- das Diversität und Einheitlichkeit kombiniert,
- das für die Koordination und Kooperation zwischen allen Geschäftsinteressenten sorgt.

In Anbetracht dieser Charakterisierung bietet das URMSM die Möglichkeit, Referenzmodelle für die intelligente Fertigung zu schaffen, die das Entstehen von stärker digital ausgerichteten, technischen Lösungen zur Steigerung des Mehrwerts von Fertigungsbetrieben ermöglichen. Das Ergebnis sind verbesserte Leistungsaspekte mit integrierter und intelligenter Nutzung von Prozessen und Ressourcen in der digitalen, physischen und menschlichen Sphäre zur Erstellung und Bereitstellung von Produkten und Dienstleistungen, die auch mit anderen Fachbereichen innerhalb der Wertschöpfungsketten von Unternehmen zusammenwirken [2].

Dieses Dokument beschreibt eine Reihe von Kriterien für die Anordnung von Aspekten der intelligenten Fertigung als Referenzmodelle. Die wichtigen Beziehungen zwischen den Elementen der Fertigung ermöglichen eine hilfreiche Untersuchung und Ableitung praktischer Entwürfe, um einen festgelegten Zweck zu erfüllen und das sich daraus ergebende System durch Verfahren zur Analyse und Synthese zu erhalten und zu verbessern.

Das URMSM bietet einen Einblick in die Modellierung von Aspekten der Fertigung, die bei der Entwicklung neuer Elemente berücksichtigt werden müssen. Intelligente Verfahren zur Unterstützung dieser Entwicklung oder Anpassung können eine Entwicklung von der bestehenden Praxis hin zu einem einheitlicheren modellbasierten Ansatz erfordern.

Dieses Dokument kann verwendet werden, um die Entwicklungsprozesse für die intelligente Fertigung zu unterstützen und um die Einheitlichkeit und Kompatibilität bei der Entwicklung von Normen sicherzustellen.

Dieses Dokument zeigt Wege auf, wie diese Aspekte der Fertigung und die Fähigkeiten, die für die Entwicklung eines intelligenten Fertigungsmodells für ein bestimmtes Industrieunternehmen unerlässlich sind, angewendet werden können.

Das URMSM geht über die Darstellungsmerkmale von Fertigungselementen hinaus und ermöglicht die Untersuchung von Interaktionen zwischen diesen Elementen durch die Verwendung von Modellen, um Probleme zu lösen, die im Verlauf von Initiativen zur intelligenten Fertigung entstehen.

Die Erwartungen an das Ergebnis eines erfolgreichen URMSM sind:

- Ermöglichung der Untersuchung von Werten innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerks;
- Bereitstellung einer Reihe geeigneter Bibliotheken, wie z. B. Anwendungsfälle, Schnittstellendefinitionen, Semantikmodelle, Informations- und Datenmodelle sowie internationale Normen als modellierte Ansichten in Bezug auf Modellierungszwecke für bestimmte Situationen im Bereich der intelligenten Fertigung;
- Ermöglichung der Darstellung als mehrdimensionaler Raum, der sich aus verschiedenen Gruppen von Aspekten zusammensetzt, um bestimmte Modellierungszwecke zu realisieren, z. B. Aspekte der Produktion, Aspekte des Produkts, Aspekte der intelligenten Technologie und ihre Beziehungen über ihre jeweiligen Lebenszyklen;
- Ermöglichung der Sicherstellung, dass Informationen unter Verwendung von Normen für Informationen, Daten und Modellierungssprachen einheitlich strukturiert sind, ohne mehrdeutige Bedeutung, durch Anwendung semantischer Modelle und Techniken;
- Ermöglichung einer optimalen Benutzerfreundlichkeit für die Erstellung maßgeschneiderter Modelle für die intelligente Fertigung, die auf die besonderen Belange einer Interessengruppe eingehen.

Das URMSM unterstützt alle drei Modalitäten der Interoperabilität (vereinheitlicht, integriert und föderiert), die innerhalb eines Modellierungsrahmens nebeneinander bestehen können, wenn auch mit unterschiedlichem Grad an Effektivität und Effizienz (siehe ISO 11354). Ein formales Verständnis der Modellierungsrahmen ermöglicht eine effektivere und effizientere Nutzung der Rahmenwerke.

In Abschnitt 4 ist der Grad der Konformität mit dem URMSM festgelegt, der auf der Erfüllung der Anforderungen und Empfehlungen in ihrer Gesamtheit (vollständige Konformität) oder für bestimmte Unterabschnitte (teilweise Konformität) beruht.

Abschnitt 5 beschreibt Aspekte der Fertigung, die gemeinhin mit „intelligenter Fertigung“ in Verbindung gebracht werden.

Abschnitt 6 beschreibt Modellierungskonzepte, die für die Erstellung geeigneter Referenzmodelle im Bereich der intelligenten Fertigung unerlässlich sind.

Abschnitt 7 legt Prüfungs- und Ableitungskriterien für die Interoperation von Aspekten in der Fertigung fest.

Abschnitt 8 zeigt Möglichkeiten auf, wie die Benutzungsspezifikationen von URMSM zur Erstellung von zweckgebundenen Referenzmodellen verwendet werden können.

Abschnitt 9 enthält Anwendungsfälle für das URMSM und eine Reihe von Fähigkeitsmarkern, die den Reifegrad der Anwendung des URMSM aufzeigen.

In Abschnitt 10 werden Möglichkeiten zur Bearbeitung und Verwendung von Referenzrahmen für die erweiterte Analyse und Synthese von Systemen für die intelligente Fertigung erläutert.

Anhang A stellt Konzeptbereiche für die intelligente Fertigung vor.

Anhang B enthält eine formale Grundlage für den URMSM-Ansatz einschließlich eines Modellierungsrahmens für das URMSM.

Anhang C enthält ein beispielhaftes Bild der Kaskadierung von Referenzmodellen.

Anhang D enthält eine Zusammenfassung des Metamodells für die Analyse von Referenzmodellen aus IEC TR 63319 [4].

Anhang E enthält eine Einführung in die Grundsätze der semantischen Modellierung.

Anhang F enthält die Modellierungsaktivitäten eines Anwenders im Rahmen einer systematischen Verwendung des URMSM.

Anhang G enthält ein erweitertes Beispiel für die Anwendung des URMSM in einem mehrdimensionalen Fertigungsszenario.

Einheitliches Referenzmodell für Smart Manufacturing

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt das einheitliche Referenzmodell für die intelligente Fertigung (URMSM) anhand einer Terminologie und einer Struktur fest und legt Kriterien für die Erstellung von Referenzmodellen als Spezialisierungen fest, die die intelligente Fertigung unterstützen. Die Terminologie und die Struktur umfassen eine Reihe von gemeinsamen Modellierungselementen, ihre Verknüpfungen und Konformitätskriterien. Diese gemeinsamen Modellierungselemente betreffen Aspekte und Perspektiven von Produkten und Produktion und den Überlegungen bezüglich ihres Lebenszyklus.

Das URMSM ermöglicht einen Ansatz zur Erstellung mehrerer Modelle auf Grundlage eines Referenzmodells, das für das Verständnis der wesentlichen Beziehungen zwischen den an der intelligenten Fertigung (SM) beteiligten Entitäten und für die Entwicklung von Normen und anderen Spezifikationen geeignet ist.

Die URMSM-Spezifikationen in diesem Dokument ermöglichen einheitliche, kohärente und kompatible Spezialisierungen für relevante Aspekte von Fertigungssystemen, die aus Anlagen, Produkten und Dienstleistungen im Bereich der Fertigung bestehen. Die Bestimmungen dieses Dokuments gelten für ein neues Referenzmodell der intelligenten Fertigung (SMRM) oder für die Ausarbeitung bestehender SMRM-Fähigkeiten, z. B. für die Verbesserung der Fähigkeiten zur Analyse von Möglichkeiten und zur Synthese von technologischen Fortschritten sowie für die Verbesserung der Interoperabilität zwischen neuen und bestehenden Systemen.

Dieses Dokument dient nicht dazu, Erwägungen zur Interoperabilität oder Datenschemata von Modellen vorzuschreiben. Die Standardisierung des Inhalts in Bezug auf die Modelle wird Gegenstand anderer Normen und Texte sein, die sich auf diese Modellbereiche beziehen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 15704:2019, *Enterprise modelling and architecture – Requirements for enterprise-referencing architectures and methodologies*

ISO/IEC/IEEE 42010, *Systems and software engineering – Architecture description*

3 Begriffe und Konventionen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

Aspekt

Bezeichnung für eine Sammlung von Konzepten in einem bestimmten Kontext

BEISPIEL funktional, strukturell, Information, Sicherheit, Verfügbarkeit, Kunde

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Aspekt wird oft als eine Ansicht über ein oder mehrere Modelle für ein Fertigungssystem ausgedrückt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Elemente eines Aspekts können funktionale, nicht-funktionale oder andere Arten von Deskriptoren haben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Identifizierung eines Aspekts ist oft das Ergebnis von Vorwissen, Erfahrung und Praxis in dem Bereich, auf den sich der Aspekt bezieht.

3.1.2

Aspektinteraktion

Beziehung zwischen zwei oder mehr *Aspekten* (3.1.1), bei der ein Aspekt einen anderen Aspekt beeinflusst oder von ihm beeinflusst wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Einfluss umfasst unter anderem Abhängigkeit und Kontrolle.

3.1.3

Geschäft

Reihe von Vorgängen, die mehr als eine Organisation betrifft, durch den Austausch von Informationen durchgeführt wird und zu einigen beiderseitig vereinbarten Zielen über eine Zeitspanne führen soll. Dabei stellt jeder Vorgang für sich einen klar verständlichen Zweck dar.

[QUELLE: ISO/IEC 15944-20:2015(en), 2.2]

3.1.4

komplexer Kontext

Entscheidungssituation, die durch ungeordnete Entscheidungsvariablen und unbestimmte Kategorien, Kriterien und Abhängigkeiten gekennzeichnet ist

3.1.5

komplizierter Kontext

Entscheidungssituation, die durch aufgezählte Entscheidungsvariablen und klar definierte Kategorien, Kriterien und Abhängigkeiten gekennzeichnet ist

3.1.6

Bedenken

Sachverhalt, der für einen *Geschäftsinteressenten* (3.1.20) in Bezug auf ein Fertigungssystem oder ein Element davon relevant oder wichtig ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Erklärte Bedenken sind nützlich, wenn sie für den Zweck der Modellierung relevant sind und sich eher auf spezifische als auf kategorische Schwierigkeiten, Probleme oder Anforderungen beziehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Ausdruck „Bedenken“ kann viele Formen annehmen, unter anderem: als Fragen zu Merkmalen oder Eigenschaften, als Schlüsselwort für viele verbundene Angelegenheiten und als erwartete Qualitätsmerkmale des Fertigungssystems oder seiner Produkte und Dienstleistungen.

[QUELLE: ISO/IEC/IEEE/FDIS 42010 Ed2, 3.10, hinzugefügt – „in Bezug auf ein Fertigungssystem oder ein Element davon“]

3.1.7

Dimension

einheitliche Gruppe von *Aspekten* (3.1.1), die für einen *Bereich der Fertigung* relevant sind (3.1.12)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anforderung an die Einheitlichkeit der Dimension kann zu einer Reihe von Aspekten führen, die ungeordnet, teilweise geordnet, vollständig geordnet, auf andere Weise miteinander verbunden oder in keiner Weise geordnet sind (weitere Informationen hierzu sind in Abschnitt 6.4 über die Einheitlichkeit der Dimension enthalten).

3.1.8

Facette

Rahmen, der aus einer oder mehreren *Dimensionen* besteht (3.1.7)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Regeln für die Zusammensetzung einheitlicher Dimensionen unterscheiden Facetten von anderen Modellierungsrahmen.

3.1.9

Granularität

Detailgenauigkeit oder Spezifität

Anmerkung 1 zum Begriff: Der mögliche Umfang reicht von grob bis fein.

3.1.10

Lebenszyklus

Lebensweg

Reihe von unterscheidbaren Stufen und Schritten innerhalb von Stufen, die eine Entität von ihrer Erschaffung bis zum Ende ihrer Existenz durchläuft

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Stufen eines verschachtelten Unternehmens können Schritte innerhalb des Lebenszyklus des enthaltenen Unternehmens sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Verwendung der Begriffe „Stufe“ und „Schritt“ impliziert keine vorgeschriebene zeitliche Abfolge der Arten von Aktivitäten. Der Begriff „Lebensverlauf“ beschreibt das Auftreten von Aktivitäten.

[QUELLE: ISO 15704:2019(en), 3.12, geändert durch Hinzufügen von „Lebenszyklus“ und Alternativen für „Lebenszyklus“ sowie Anmerkung 2 zum Begriff]

3.1.11

Herstellung

alle oder einzelne Aktivitäten in den Bereichen Gestaltung, Beschaffung, Konstruktion, Inbetriebnahme, Einsatz, Screening, Prüfung, Produktion, Lagerung, Kennzeichnung, Verpackung oder Verteilung von Produkten und Produktionssystemen

3.1.12

Fertigungsbereich

Teil eines *Geschäfts* (3.1.3), der sich mit der *Fertigung* (3.1.11) von Produkten beschäftigt

3.1.13

Element

materieller oder immaterieller Bestandteil eines Fertigungssystems oder eines Produkts

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Bestandteil kann von Atomen von Rohstoffen oder logischen Konstrukten oder Informationen über Fertigungsmodelle oder Ausrüstung und ganze Fabriken oder Lieferketten und Wertschöpfungsnetzwerke bis hin zu Endprodukten sowie Software und Dienstleistungen reichen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Während der Begriff in seiner Definition eine umfassende Bedeutung hat, enthält die Bezeichnung einer spezifischen Bedeutung für ein Element der Fertigung oder ein hergestelltes Produkt ein Adjektiv, um die Bedeutung für dieses spezielle Fertigungselement einzuschränken.

Anmerkung 3 zum Begriff: In einer Spezifikation ausgedrückte Anforderungen sind die Art der Informationen für ein bestimmtes Element im Bereich der Fertigung.

3.1.14

Metamodell

Beschreibung von Modellierungselementen zur Verwendung bei der Erstellung von *Modellen* (3.1.15), die sich auf einen Fachbereich beziehen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Metamodell ist immer relativ zu dem Modell, in dem seine Modellierungselemente

erscheinen.

[QUELLE: ISO 19440:2020, 3.47]

3.1.15

Modell

vereinfachte, zweckmäßige Darstellung bestimmter Entitäten und ihrer Merkmale und Beziehungen entweder (a) unter Verwendung eines Formalismus oder (b) unter Verwendung eines etablierten oder Ad-hoc-Modellierungsparadigmas, -ansatzes oder -verfahrens

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Ad-hoc-Modell ist mit einer etablierten Gestaltungstechnik schwieriger umzusetzen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Modell kann eine Teilmenge eines breiter gefassten Modells sein.

[QUELLE: ISO 15704:2019, 3.15, geändert durch Hinzufügen von „vereinfachte, zweckmäßige“ und „und Beziehungen“]

3.1.16

Modellart

Kategorie eines *Modells* (3.1.15), das sich durch seine Hauptmerkmale und Modellierungskonventionen auszeichnet

BEISPIEL Funktionale Modelle, Aktivitätsmodelle, strukturelle Modelle, Anwendungsfallmodelle, geopolitische Modelle, analytische Modelle und wirtschaftliche Modelle.

[QUELLE: ISO/IEC/IEEE/FDIS 42010 Ed2, 3.15]

3.1.17

Referenzarchitektur

Satz einheitlicher Architekturelemente für einen bestimmten Fachbereich und ihre allgemeinen Beziehungen, aus denen eine spezifische Architektur abgeleitet werden kann, um einen bestimmten Zweck innerhalb dieses Fachbereichs zu erfüllen

3.1.18

Referenzmodell

Gerüst für das Verständnis wesentlicher Beziehungen zwischen den Entitäten einer bestimmten Umgebung und für die Entwicklung widerspruchsfreier Normen oder Spezifikationen, die diese Umgebung unterstützen

[QUELLE: ISO 19165-1:2018(en), 3.30]

3.1.19

semantisches Modell

Modellart (3.1.16), die eine Bedeutung in Bezug auf die Elemente des *Modells* (3.1.15) oder auf das Modell als Ganzes vermittelt

3.1.20

Geschäftsinteressent

en **stakeholder**

Rolle, Position, Person, Organisation oder Klassen davon, die ein Interesse, ein Recht, einen Anteil oder einen Anspruch an einer Entität haben

BEISPIEL Endanwender, Betreiber, Erwerber, Eigentümer, Lieferanten, Architekten, Entwickler, Bauträger, Instandhalter, Regierungsbehörden, Steuerzahler, Zertifizierungsstellen und Märkte.

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Modellierer, d. h. jemand, der im Rahmen seines üblichen Arbeitsprogramms Modelle verschiedener Art entwirft, konstruiert und anwendet, wird häufig als Geschäftsinteressent für das Projekt oder Produkt betrachtet, mit dem er sich beschäftigt.

[QUELLE: ISO/IEC/IEEE/FDIS 42010 Ed2, 3.17, englische Fassung geändert durch Änderungen von „entity of

interest (3.12)“ zu „entity“ sowie Hinzufügen von „Note 1“ zum Begriff.]

3.1.21

Lieferkette

Reihe von Organisationen mit miteinander verbundenen Ressourcen und Prozessen, von denen jede als Erwerber, Lieferant oder beides agiert, um aufeinanderfolgende Lieferantenbeziehungen zu bilden, die durch eine Bestellung, einen Vertrag oder eine andere formale Beschaffungsvereinbarung entstehen

[QUELLE: ISO/IEC 27036-1:2014(en), 3.11]

3.1.22

System

Kombination sich gegenseitig beeinflussender Elemente, organisiert, um eine oder mehrere der angegebenen Zwecke zu erfüllen

[QUELLE: ISO/IEC/IEEE 15939:2017(en), 3.38]

3.1.23

Anwendungsfall

en use case

Technik zur Erfassung potenzieller funktionaler Anforderungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei dieser Technik werden ein oder mehrere Szenarien verwendet, um zu vermitteln, wie das System mit dem Endanwender oder einem anderen System interagiert, um ein oder mehrere bestimmte Ziele zu erreichen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Typischerweise behandeln Anwendungsfälle das System als Blackbox, und die Interaktionen mit dem System, einschließlich der Systemreaktionen, werden von außen wahrgenommen. Anwendungsfälle sind beliebt, da sie die Beschreibung der Anforderungen vereinfachen und das Problem vermeiden, Annahmen darüber zu treffen, wie die Funktionalität erreicht werden soll.

[QUELLE: IEC TS 62443-1-1:2009, 3.2.132]

3.1.24

Wertschöpfungskette

gesamte Reihenfolge von Aktivitäten oder Parteien, die einen Wert in Form von Produkten oder Dienstleistungen liefern oder erhalten

[QUELLE: ISO 27917:2017(en), 3.1.4]

3.1.25

Ansicht

Arbeitsergebnis, das eine selektive Wahrnehmung oder Darstellung eines *Modells* zum Ausdruck bringt (3.15), die ein bestimmtes Merkmal oder eine bestimmte Eigenschaft hervorhebt und andere vernachlässigt

[QUELLE: ISO 19439:2006, 3.25, geändert — in der englischen Fassung „work product expressing a“ vor „selective“ hinzugefügt, „an enterprise model that“ zu „a model (3.15), which“, „aspect“ zu „specific feature or characteristic“ geändert.]

3.1.26

Sicht

Identifizierung einer oder mehrerer Arten von *Modellen* (3.15), die geeignet sind, eine Reihe miteinander verbundener *Bedenken* (3.6) der *Geschäftsinteressenten* (3.20) zu berücksichtigen

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der Begriff „Sicht“ ohne Einschränkung verwendet wird, bezieht er sich auf den allgemeinen Fall. Wenn der Begriff „Sicht“ mit einem Kennzeichner verwendet wird, bezieht sich die Perspektive auf eine bestimmte Gruppe von Bedenken, z. B. Perspektive für den Betrieb, Sicht für die Fähigkeiten, Perspektive für die Dienstleistungen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine Sicht identifiziert ein oder mehrere Modelle, die erforderlich und ausreichend sind, um eine

oder mehrere Sichten auf das Unternehmensmodell auszudrücken, die sich mit einer bestimmten Gruppe von Bedenken der Geschäftsinteressenten befassen.

[QUELLE: ISO 15704:2019, 3.24]

3.2 Abkürzungen und Akronyme

ADT	abstrakter Datentyp (en: abstract data type)
ALEI	Authoritative Legal Entity Identifier
AM	additive Fertigung (en Additive Manufacturing)
CAD	rechnerunterstütztes Entwerfen (en: Computer Aided Design)
EDI	elektronischer Datenaustausch (en: Eletronic Data Interchange)
IDEFO	Integration DEFinition for Function modelling
IIC	The Industry IoT Consortium
IoT	Internet der Dinge (en: Internet of Things)
GERA	Allgemeine Unternehmensreferenzarchitektur (en: Generic Enterprise Reference Architecture)
GUI	graphische Benutzerschnittstelle (en: Graphical User Interface)
IT	Informationstechnik (en: Information Technology)
IVRA	Industrielle Wertketten-Referenzarchitektur (en: Industrial Value chain Reference Architecture)
KPI	Leistungskennzahl (en: Key Performance Indicator)
MES	Produktionsleitsystem (en: Manufacturing Execution System)
ML	maschinelles Lernen (en: Machine Learning)
MOM	Betriebsmanagement (en: Manufacturing Operations Management)
NC	numerische Steuerung (en: Numerical Control)
NIST	Nationales Institut für Standards und Technologie (en: National Institute of Standards and Technology)
NLP	natürliche Sprachverarbeitung (en: Natural Language processing)
OMG	Object Management Group
OT	Betriebstechnologien (en: Operation Technology)
OWL	Web-Ontologiesprache (en: Web Ontology Language)
QC	Qualitätskontrolle (en: Quality Control)
QCD	Qualität, Kosten, Lieferung (en: Quality Cost, Delivery)
RA	Ressourcenautorität (en: Resource Authority)
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (en: Reference Architecture Model Industry 4.0)
RDFS	Ressourcen-Beschreibungssystem-Schema (en: Resource Description Framework Schema)
SM	intelligente Fertigung (en: Smart Manufacturing)
SM2	Normenzuordnung für die intelligente Fertigung (en: Smart Manufacturing Standards Map)
KMU	kleine und mittelständische Unternehmen
SMIM	Implementierungsmodell für die intelligente Fertigung (en: Smart Manufacturing Implementation Model)
SMRM	Referenzmodell für die intelligente Fertigung (en: Smart Manufacturing Reference Model)
SMU	Intelligente Fertigungseinheiten (en: Smart Manufacturing Units) (IVRA)
SSIF	Scandinavian Smart Industry Framework
SysML	Systemmodellierungssprache (en: System Modelling Language)

UML	universelle Modellierungssprache (en: Universal Modelling Language)
URI	universeller Ressourcenbezeichner (en: Universal Resource Identifier)
URL	einheitlicher Quellenanzeiger (en: Uniform Resource Locator)
URMSM	einheitliches Referenzmodell für die intelligente Fertigung (en: Unified Reference Model for Smart Manufacturing)
UUID	universell eindeutiger Bezeichner (en: Universally Unique Identifier)
VMES	virtuelles Produktionsleitsystem (en: Virtual Manufacturing Execution System)
XML	erweiterbare Auszeichnungssprache (en: Extensible Markup Language)

3.3 Konventionen

Die Formulierung „einer oder mehrere“ wird als „einer oder mehr als einer“ interpretiert und erfordert daher eine Verbform im Singular.

Eine Abkürzung aus 3.2 steht sowohl für die Singular- als auch für die Pluralform.

In Anhang A und Anhang E werden Farben in Bildern verwendet, um verschiedene Ecken des semiotischen Dreiecks zu kennzeichnen. Blau kennzeichnet die Konzeptecke, grün die Symbolecke und grau die Phänomenecke in den Bildern A.2, E.1, E.2, E.4, E.5 und E.6.

Anhang B enthält eine Reihe von Symbolen, die ein Alphabet in AR HERMANN-Schrift fett klein mit tiefgestellten und hochgestellten Buchstaben und French Script MS für Großbuchstaben fett als Elemente von logischen Ausdrücken verwenden, um die Modellierungsgrundlage für URMSM zu kennzeichnen.

Anhang D enthält eine Reihe von Symbolen, die aus einem „*“ gefolgt von einem kursiv gedruckten Wort oder einer Wortfolge bestehen, z. B. „*Aspekt“, die ein Konzept innerhalb des aus IEC TR 63319 [4] extrahierten Metamodells kennzeichnen.

4 Konformität

4.1 Vorgesehene Verwendung

Die in diesem Dokument für ein URMSM festgelegten Anforderungen beziehen sich immer auf ein SMRM (oder SMIM). Der Benutzer dieses Dokuments ist eine Person, die die genannten Anforderungen des URMSM anwendet, um ein SMRM oder möglicherweise ein SMIM zu erstellen. Die Konformität mit diesem Dokument erfolgt nur durch Anwendung der URMSM-Anforderungen auf ein SMRM oder SMIM. Es gibt nur ein URMSM, wie in diesem Dokument festgelegt. Es kann kein anderes URMSM existieren.

Die Anforderungen dieses Dokuments sind durch die Verwendung des Verbs „müssen“ gekennzeichnet. Empfehlungen sind durch die Verwendung des Verbs „sollen“ gekennzeichnet. Erlaubte Handlungen werden durch die Verwendung des Verbs „dürfen“ gekennzeichnet.

Dieses Dokument ist so konzipiert, dass eine „Anpassung“ für seine Verwendung weder erforderlich noch zulässig ist, wenn Ansprüche auf Konformität gestellt werden.

4.2 Volle Konformität

Ein SMRM kann volle Konformität mit URMSM beanspruchen, wenn das SMRM nachweisen kann, dass die Spezifikation des SMRM mit den URMSM-Anforderungen der Abschnitte 6, 7, 8, 9 und 10 übereinstimmt.

In diesem Dokument werden auch vier Situationen aufgeführt, in denen eine teilweise Übereinstimmung mit den Bestimmungen des URMSM beansprucht werden kann.

4.3 Teilweise Konformität

4.3.1 Konformität mit dem Zweck und den Anforderungen des Kontexts

Wenn Konformität für Zweck und Kontext des SMRM beansprucht wird, muss die Beanspruchung aufzeigen, dass die Spezifikation des SMRM die Anforderungen der Abschnitte 6.2, 7.1, 7.4, 7.6, 8.1, 8.3.1, 8.3.3 und 9.1.1 erfüllt.

4.3.2 Konformität mit Dimensionen und Kohärenz

Wenn die Konformität mit den Dimensionen und der Kohärenz des SMRM beansprucht wird, muss die Beanspruchung aufzeigen, dass die Spezifikation des SMRM die Anforderungen der Abschnitte 6.3, 6.4, 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3.2 und 7.5 erfüllt.

4.3.3 Konformität mit der semantischen Modellierung von Aspekten

Wenn Konformität für die semantische Modellierung von Aspekten durch das SMRM beansprucht wird, muss die Beanspruchung aufzeigen, dass die Spezifikation des SMRM die Anforderungen der Abschnitte 6.9, 6.10, 6.11, 8.3.2 und 9.2.2 erfüllt.

4.3.4 Konformität mit Facetten und Rahmen

Wenn Konformität für Facetten und Rahmen beansprucht wird, muss die Beanspruchung aufzeigen, dass die Spezifikation des SMRM die Anforderungen der Abschnitte 7.6 und 10 erfüllt.

5 Das URMSM für intelligente Fertigungskonzepte

Unter Verwendung einer Reihe von Modellen, bei denen viele zweckdienliche Modelle aus demselben übergreifenden Paradigma abgeleitet werden können, qualifiziert das URMSM Methoden zur Untersuchung der Auswirkungen intelligenter Technologien im Kontext von SM-Initiativen und ermöglicht die Identifizierung vieler Bedenken, die Anwender bei der Umsetzung von SM-Programmen berücksichtigen müssen. Darüber hinaus wird das URMSM zu einer Reihe von Grundsätzen und Praktiken in Bezug auf Folgendes:

- Erstellung von Repräsentationsrahmen für SM;
- Anleitungen für die Umsetzung von SM-Referenzmodellen;
- Vorschläge oder Beispiele für bestehende oder mögliche Darstellungen von SM-Referenzmodellen; und
- Kriterien für die Erfassung der Modellierungselemente, die für die Entscheidungsfindung in einem SM-Kontext erforderlich sind.

Zur Verbesserung der Darstellung und anschließenden Prüfung von SM-Initiativen werden in diesem Dokument drei nützliche Kategorien identifiziert, die für alle Situationen in der Fertigung gelten und die den gesamten Lebenszyklus der Fertigung und ihrer Lieferkette abdecken können. Diese grundlegenden Kategorien für das Verständnis von SM-Chancen und das Erreichen von optimalen Resultaten sind:

- die Elemente, aus denen die Fertigung und die Produkte bestehen, von den Rohstoffen bis zu den Endprodukten im Betrieb;
- die Beziehungen zwischen diesen Elementen, die die dynamischen Interaktionen der Elemente der Fertigung und der Produkte erfassen; und
- Produktions- und Produktlebenszyklen in einer Fertigungsumgebung.

Diese grundlegenden Kategorien lassen sich zur Charakterisierung von SM-Initiativen in vielerlei Hinsicht kombinieren. Im Mittelpunkt dieses Dokuments steht ein Referenzmodell, das eine einheitliche Möglichkeit bietet, die Vielfalt und den Einsatz von Modellen zur Untersuchung der Interaktionen von Elementen in der Fertigung im Kontext von SM darzustellen.

Aus der Sicht der Entwickler von Normen besitzt ein Modellierungsrahmen, einschließlich der Art von Rahmen, die für die Verwendung als Referenz in Bereichen der intelligenten Fertigung vorgesehen ist (siehe Anhang B), zwei primäre Qualitäten im Zusammenhang mit der zielgerichteten Zusammenwirkung von Elementen der Fertigung: 1) analytisch, um Elemente der Fertigung und ihre Beziehungen zu identifizieren, die ein Ganzes für das Fertigungsunternehmen im Hinblick auf ein Zielbetriebssystem bilden; und 2) synthetisch, um Elemente und Beziehungen innerhalb des Fertigungsunternehmens zu identifizieren, die zusammenwirken müssen, um ein neues Ganzes oder einen Teil davon als ein Betriebssystem zu schaffen.

Die analytische Qualität bietet einen Dekompositionsansatz, während die synthetische Qualität einen Kompositionsansatz bietet. Bei der intelligenten Fertigung ermöglicht die analytische Qualität die Untersuchung der potenziell störenden Auswirkungen, die sich ergeben, wenn eine neue Technologie und eine neue Methodik in ein etabliertes Betriebssystem integriert werden. Die synthetische Qualität ermöglicht die Schaffung neuer Konfigurationen von Fertigungselementen und -beziehungen, die intelligente Fertigungstechnologien und -methoden einschließen, nachdem alle störenden Einflüsse beseitigt sind und neue Möglichkeiten der Zusammenarbeit deutlich werden.

Die Nutzung der analytischen und synthetischen Qualitäten bildet die Grundlage für die wichtigsten Anwendungsfälle für Referenzmodelle in der intelligenten Fertigung. Sowohl für die analytischen als auch für die synthetischen Qualitäten sind das Verständnis einer soliden Grundlage für die Modellierung, der Nutzen einer solchen Grundlage und die Eignung dieser Grundlage zur Erreichung des Modellierungszwecks von wesentlicher Bedeutung für die effiziente und effektive Nutzung des Rahmens [5].

Dieses Dokument identifiziert vier Konzeptbereiche, die mit SM in Verbindung stehen (siehe Anhang A):

- Aspekte der Produktion und Produkte, die die Elemente der Fertigung innerhalb eines bestimmten Fachbereichs von SM identifizieren,
- Produktions- und Produktperspektiven, die die für die Geschäftsinteressenten in diesem Fachbereich wichtigen Merkmale identifizieren, und
- Erwägungen zum Lebenszyklus, die diese Aspekte und Perspektiven beeinflussen,
- Modellierung von Elementen der Fertigung anhand semantischer Modelle.

ANMERKUNG 1 Aspekte beziehen sich auf Merkmale des Produkts oder Produktionssystems (das zu modellierende Objekt); Perspektiven beziehen sich auf die Erwägungen der Geschäftsinteressenten (der Benutzer des Objekts).

In diesem Dokument wird die semantische Modellierung als Mittel zum Ausdruck von Modellierungsinhalten für die drei mit SM verbundenen Konzeptbereiche bezeichnet. Verschiedene Ausprägungen der semantischen Modellierung ermöglichen eine ausreichende Ausarbeitung von SM-Aspekten, die die Analyse von Möglichkeiten, die Synthese fortschrittlicher Technologien und eine verbesserte Zusammenwirkung im Zusammenhang mit diesen Konzeptbereichen von SM ermöglichen.

ANMERKUNG 2 Anhang A enthält zusätzliche Informationen über die drei Konzeptbereiche und die Verwendung der semantischen Modellierung.

ANMERKUNG 3 A.2 bietet eine Anwenderperspektive für die Verwendung von URMSM in SMIM.

6 Referenzmodellkonzepte

6.1 SM-Modellierung

Die Modellierung ist ein sehr effektiver Ansatz zur Systematisierung von Systementwicklungs- und Betriebsaktivitäten durch den Einsatz fortschrittlicher Informationstechnologie. Die digitale Transformation der Modellierungsaktivitäten in den letzten 30 Jahren ermöglicht heute eine Verarbeitungsleistung und einen Umfang an Repository-Funktionen, die erforderlich sind, um die Darstellung sehr komplizierter Systeme in einer Weise zu verwalten, die früher nicht möglich war. Um jedoch unnötige Überschneidungen zu vermeiden und die Interoperabilität von Komponenten und Systemen sicherzustellen, ist es erforderlich, die Gemeinsamkeiten der vielfältigen Modelle von SM zu identifizieren und zu verstehen.

Ein Referenzmodell bietet einen Einblick in die Aspekte eines Systems, die bei der Entwicklung eines neuen Systems oder der Anpassung eines bestehenden Systems berücksichtigt werden müssen, und kann Mechanismen für die Durchführung dieser Entwicklung oder Anpassung bereitstellen. Referenzmodelle, die auf dem URMSM basieren, bieten eine einheitliche Grundlage für die Entwicklung von Einzelsystemen und ermöglichen deren Interpretation als Gesamtsystem durch Wiederverwertung der gemeinsamen Merkmale der Einzelsysteme.

ANMERKUNG 1 Bild 7 und Bild C.1 verdeutlichen, wie Referenzmodelle Inhalte von allgemeinen über spezifischere bis hin zu besonderen Modellen von SM-Initiativen liefern.

ANMERKUNG 2 Anhang B enthält Einzelheiten zur Struktur des URMSM-konformen SMRM.

In diesem Dokument wird anerkannt, dass nicht alle SMRM mit den URMSM-Anforderungen und -Empfehlungen übereinstimmen. Der Zweck dieses Dokuments besteht jedoch darin, die Erstellung von URMSM-konformen SMRM zu ermöglichen, entweder als neue Modelle oder durch die Ausarbeitung bestehender SMRM, üblicherweise durch die Formulierung der zugehörigen semantischen Modelle und die Festlegung von Kohärenzkriterien.

Die Verwendung des Begriffs SMRM in diesem Dokument bezieht sich immer auf SMRM, die den Anforderungen und Empfehlungen des URMSM entsprechen. Viele bestehende SMRM entsprechen zumindest teilweise dem URMSM.

Das URMSM legt fest, dass relevante Aspekte der Fertigung mit angemessenen Abstraktionen ihre einzelnen Aktivitäten, Prozesse, Ressourcen und Informationen sowie deren Beziehungen umfassen. Ausgehend von einem SMRM können auf systematische Weise spezifischere Modelle abgeleitet werden, um die angestrebte Systemkonfiguration und -implementierung zu erreichen.

Die Präzisierung und Normung des URMSM auf verschiedenen Abstraktionsebenen im SMRM ist erforderlich, um die Effizienz der Entwicklungsprozesse durch die Wiederverwertung der einzelnen Ressourcen in der Systementwicklung und im Betrieb zu verbessern. Dieses Dokument kann auch als Anleitung zur effektiven Nutzung bestehender Normen und zum Aufspüren von Lücken in Bezug auf fehlende Normen verwendet werden.

ANMERKUNG 3 Anhang D gibt einen Überblick über das in IEC TR 63319 [4] verwendete Metamodell zur Analyse von Gemeinsamkeiten verschiedener Referenzmodelle für SM.

Um die Einheitlichkeit semantischer Modelle zu verbessern und die relevanten Beziehungen zwischen Produktion, Produkt und den externen Effekten beider zu verdeutlichen, sollte ein SMRM eine Vielzahl von Perspektiven zulassen und Möglichkeiten bieten, jene Perspektiven herauszufiltern, die für einen bestimmten Zweck wenig oder überhaupt nicht relevant sind (siehe 6.9).

6.2 Modellierungszweck

Voraussetzung für jede Aktivität, die die Erstellung eines Modells umfasst, ist ein klares Verständnis des Zwecks, zu dem die Modellierung durchgeführt werden soll. Da jedes Modell eine Abstraktion, entweder physisch oder logisch, eines identifizierbaren Artefakts ist, muss dieser Zweck außerdem eindeutig mit einem oder mehreren Aspekten dieses Artefakts in Verbindung stehen.

Es muss genau darauf geachtet werden, dass zwischen dem Modell des Artefakts und dem instanziierten Artefakt selbst klar unterschieden wird. Diese Unterscheidung wird oft von Korrespondenz zu verschmolzener Identität umgewandelt, d. h. das Modell wird so behandelt, als wäre es das Artefakt und nicht eine Darstellung des Artefakts. Diese Unterscheidung ist im Kontext von Analyse und Synthese hinsichtlich des Zwecks von Referenzmodellen von großer Bedeutung, da das Artefakt üblicherweise ein anderes Modell und nicht die reale Instanziierung ist. Ein in einem Referenzmodell festgelegter Aspekt bezieht sich wahrscheinlich auf Eigenschaften einer Instanz, die doppelt oder mehr von ihrer domänenspezifischen logischen, physischen oder beschreibenden Identifikation entfernt ist. Die Gesamtheit der Eigenschaften des Aspekts erscheint in aufeinanderfolgenden Modellen, die mit den Lebenszyklusphasen verbunden sind, oder in Modellierungselementen in Implementierungsmodellen.

BEISPIEL 1 In der Pharmaindustrie ist der Begriff des Impfstoffs (die Instanz) eine reale Implementierung. Wenn man jedoch das Konzept eines neuen Impfstoffs betrachtet, sind die Schritte zur Überführung des Impfstoffs aus dem Labor in die Massenproduktion äußerst kompliziert. Das „Modell“ zur Herstellung des Impfstoffs erfordert eine gründliche Integration der Lieferkette, von der Beschaffung (Glasfläschchen, Substrat für den Impfstoff usw.) über die Reaktoren für die Impfstoffherstellung, die Abfüllung und Verpackung der Fläschchen, die Rückverfolgung des Impfstoffs unter Sicherstellung ordnungsgemäßer Umweltkontrollen und die Verteilung bis hin zur Bereitstellung an die Öffentlichkeit.

Das Artefakt eines Implementierungsmodells ist das tatsächliche betriebsbereite Fertigungssystem. Da dieses System viele Aspekte hat, können mehrere Implementierungsmodelle für dasselbe Fertigungssystem vorhanden sein. Jedes Implementierungsmodell bezieht sich auf einen oder mehrere Aspekte des Artefakts, das das Fertigungssystem darstellt. Aufgrund der begrenzten kognitiven Fähigkeiten der Personen, die Modelle erstellen, und der Personen, die die erstellten Modelle verwenden, muss jede Modellierungsaktivität mit einem wohldefinierten Zweck beginnen, der den Kontext und die Ziele der Modellierungsbemühungen definiert und den Fokus der Modellierungsaktivität bestimmt.

ANMERKUNG Ziele können auf verschiedene Art und Weise ausgedrückt werden, z. B. als Anforderungen, Zielvorgaben, Möglichkeiten oder gewünschte Auswirkungen. Das Erreichen von Zielen gestaltet sich schwieriger, wenn keine Anwendungsfälle zur Verfügung stehen, mit denen sich Ziele ausarbeiten und Sichten gestalten lassen.

Während ein Referenzmodell mitunter auf die gleiche Weise wie ein Implementierungsmodell verwendet werden kann, bildet ein Referenzmodell in den meisten Fällen die Grundlage für die Erstellung spezifischerer Implementierungsmodelle. Ein Referenzmodell kann somit mehr als einem möglichen Zweck eines Implementierungsmodells dienen. Im Rahmen dieses Dokuments dient ein Referenzmodell daher dazu, die Erstellung und das Verständnis von Implementierungsmodellen im Bereich der SM zu ermöglichen.

BEISPIEL 2 Siehe Anhang C für eine Beschreibung der Position, die das URMSM in einer Hierarchie von Spezifikationen einnimmt, die für SM-Anwender relevant sind.

Aufgrund der enormen Vielfalt, die moderne Fertigungssysteme aufweisen, sind heutzutage zahlreiche bereichsspezifische Referenzmodelle im Einsatz. Einige dieser bereichsspezifischen Referenzmodelle sind Gegenstand internationaler Normen und Spezifikationen von Konsortien [6]. Der Zweck des URMSM ist die Festlegung von Kriterien, die bei der Entwicklung künftiger bereichsspezifischer Referenzmodelle, sei es zur Referenz oder zur Implementierung, für den gesamten Fertigungsbereich mit besonderem Augenmerk auf die Einbeziehung des SM-Paradigmas und die Weiterentwicklung desselben.

6.3 Modellierungsdimensionen

Fertigungsunternehmen bestehen aus einer komplizierten und häufig komplexen Zusammenstellung von Ressourcen, Menschen, Prozessen und Produkten, die jeweils aus vielen verschiedenen Variablen bestehen. Um im Kontext der Fertigung effektiv und effizient arbeiten zu können, indem das Wissen über Gestaltung und Management der Produktion genutzt wird, um Produkten, Waren und Dienstleistungen einen Mehrwert zu verleihen, ist ein Verständnis des Umfangs und der Beziehungen zwischen diesen Variablen erforderlich. Diese Variablen sollten in Modellen erfasst werden, mit denen das Ausmaß und die Beziehungen zwischen den Variablen dargestellt werden können. Der Modellierer setzt vorhandenes Wissen ein, um ein oder mehrere Modelle zu erstellen, die die Bedenken der Geschäftsinteressenten mithilfe geeigneter Modellierungstechniken abbilden. Diese Modelle werden verwendet, um Modellansichten zu erstellen, die sich an den vom Modellierer festgelegten Sichten orientieren, um ein oder mehrere Bedenken und mögliche Wege zur Berücksichtigung der Bedenken am besten auszuarbeiten.

Diese Modellansichten, gegebenenfalls als Teilbereiche oder Auszüge eines größeren Modells, umfassen eine Reihe von Konzepten in einem bestimmten Kontext und erfüllen somit die Definition eines Aspekts. Einige Aspekte ergeben sich aus der Zusammenfassung oder Zusammenstellung von Ansichten aus mehr als einem Modell. Die Vielzahl möglicher Aspekte bildet einen Lösungsraum, der dem durch die Bedenken ermittelten Problemraum entspricht. Allerdings sind meist weder alle Bedenken der Geschäftsinteressenten noch alle Aspekte, die Ansichten beinhalten, für den Zweck der Modellierung relevant.

Um das in den Aspekten der Fertigung vorhandene Wissen bestmöglich zu analysieren und zu nutzen, müssen die Aspekte in Gruppen von Aspekten angeordnet werden, die von allen identifizierten Aspekten so getrennt sind, dass die Gruppen von Aspekten durch Einheitlichkeit zwischen den Modellansichten, die die Aspekte

unterscheiden, gekennzeichnet ist. Eine einheitliche Gruppe von Aspekten, die sich aus Modellansichten zusammensetzt, ist eine Modellierungsdimension. Viele solcher Fertigungsdimensionen finden sich in Normen.

BEISPIEL Die Normenreihe ISO/IEC 62264 [43] legt mehrere Dimensionen fest, und zwar die funktionale Hierarchie, die rollenbasierte Ausstattungshierarchie und die Ausstattungshierarchie für physische Assets. ISO 15704 beschreibt in der generischen Unternehmensreferenzarchitektur von Anhang B verschiedene Dimensionen eines Industrieunternehmens, z. B. Lebenszyklusphasen, Modellierungssichten und Generizität (Instanziierung).

Wenn das Verständnis von SM fortschreitet, neue Technologien signifikante Chancen bieten und sich die Fertigungssysteme weiterentwickeln, werden sich die Modellierungsdimensionen voraussichtlich entsprechend ändern. Das URMSM berücksichtigt sowohl bestehende Modellierungsdimensionen, die Weiterentwicklung bestehender Modellierungsdimensionen als auch Möglichkeiten, neue Dimensionen zu schaffen.

6.4 Dimensionskohärenz

Damit eine Dimension Kohärenz aufweist, muss die Dimension zwei Hauptkriterien erfüllen: 1) jeder Aspekt der Dimension hat einen wohldefinierten Kontext; und 2) die Kontexte der Aspekte der Dimension weisen eine wohldefinierte gemeinsame kontextuelle Beziehung auf. Die Kriterien für den Kontext von Aspekten und Dimensionen können eine Rangfolge zwischen den Aspekten vorgeben, obwohl diese Rangfolge keine Reihenfolge, Abhängigkeit oder Hierarchie zwischen den Aspekten darstellen muss, d. h. es kann sich um eine Rangfolge von unabhängigen Aspekten handeln, die in Bezug auf den Modellierungszweck gleichwertig sind und für diesen Zweck angeordnet werden und daher für einen anderen Zweck neu angeordnet werden können (siehe 7.2.1).

ANMERKUNG 1 Die beiden Hauptkriterien für die Definition von Kontexten können ohne Rücksicht auf die Reihenfolge oder Abfolge von Leistungen auftreten. Manchmal hat jeder Aspekt einen wohldefinierten Kontext und aus dieser Gruppe von Aspekten wird der Kontext der Dimension abgeleitet. In anderen Fällen wird der Kontext der Dimension wohldefiniert und die einzelnen Aspekte innerhalb dieses Kontextes der Dimension werden durch Auswahl des Teils ihres individuellen Aspektkontextes bestimmt, der zu dem Kontext der Dimension passt.

Aspektmodelle können von sehr abstrakten grafischen Informationsmodellen oder Textbeschreibungen bis hin zu sehr detaillierten Datenmodellen oder Aktivitätsmodellen reichen. Diese Modellarten gehören zu einer Vielzahl von Modellierungs- und Beschreibungsmethoden, die Modellierer einsetzen können. Häufig sind verschiedene Modellierungsmethoden für denselben Kontext erforderlich, um effektiv mit verschiedenen Geschäftsinteressenten und Planern von Fertigungselementen zu kommunizieren.

Häufige kontextuelle Beziehungen zwischen den Kontexten eines Aspekts können so einfach sein wie identische Modellartefakte, die in jedem Kontext eines Aspekts vorkommen, wodurch sie ein gemeinsames Element oder eine gemeinsame Beziehung erhalten, oder so kompliziert wie ein einziges semantisches Modell, das sich über alle Aspekte der Dimension erstreckt.

Um den Bedürfnissen von Anwendern von SM und Entwicklern von SM-Normen gerecht zu werden, sind ein klar definierter Kontext und die dazugehörigen Details in einer dem Modellierungszweck angemessenen Granularität und Detailtreue innerhalb dieses Kontexts erforderlich. SM-Anwender erhalten häufig einen mehrdeutigen oder zu weit gefassten Kontext, der beispielsweise stark verallgemeinert ist, und gleichzeitig werden ihnen Einzelheiten vorgegeben, ohne dass ein angemessener Kontext für deren Anwendung besteht. Die Folge ist, dass sie Informationen ohne den entsprechenden Kontext erhalten und dann von einem Kontext ausgehen, der nicht vorgesehen war. Diese Situation kann eintreten, wenn mehrere Normen verwendet werden, die für die Interoperabilität nicht harmonisiert sind, d. h. es gibt keine Bedingung, unter der sich die Normen auf denselben Kontext beziehen.

ANMERKUNG 2 Manchmal können die Segmente einer Dimension angepasst oder neu angeordnet werden, um die Normen an einen Kontext anzugleichen.

BEISPIEL 1 Unter Verwendung des NIST AM-Modells [7] wirken die Dimensionen der Maschine, des Materials und des Produkts im Kontext der Betriebsabläufe zur Fertigung eines Teils zusammen, sind aber ansonsten nahezu voneinander getrennt.

ANMERKUNG 3 Unterabschnitt 7.2.1 legt die Anforderungen in Bezug auf den Kontext formaler fest, d. h. als allgemeinen Typ, definierte Zusammenhänge und Relevanz für den jeweiligen Zweck.

Der Nutzen der Modellierungsdimension für die Analyse und Synthese im Bereich SM steht in direktem Zusammenhang mit der Granularität und Detailtreue der semantischen Modelle, die die Beschreibungen des Kontextes der Aspekte und der gemeinsamen Kontextbeziehungen zwischen den Aspekten der Dimension liefern. Mit zunehmender Granularität und Detailtreue der semantischen Modelle, die sich immer mehr an der Realität der Fertigung orientieren, steigt auch die Empfindlichkeit der Modelle, die Folgen von störenden Veränderungen in der Fertigungsumgebung zu erkennen und zu identifizieren.

BEISPIEL 2 Das Marketing benötigt eine andere Dimension der Granularität als die Fertigung, oder aber sie können die gleiche Dimension verwenden, allerdings mit unterschiedlicher Granularität. Wenn der Zweck der Modellierung darin besteht, beiden Geschäftsinteressenten zu dienen, dann muss das semantische Modell beide Verwendungszwecke unterstützen, indem es spezifische Ansichten ermöglicht, die aus einem oder mehreren Modellen extrahiert werden, die die Bedenken beider Seiten abdecken.

BEISPIEL 3 In der pharmazeutischen Fertigung erfordert die Herstellung des Impfstoffs (des Produkts) ein detailliertes Modell für die Gestaltung und den Betrieb des Reaktors. Änderungen der Rezeptur für den Impfstoff können zu detaillierten Änderungen des Reaktormodells oder zu einer einfacheren Reihe von operativen Rezepturschritten führen; Änderungen der Rezeptur für den Reaktor können sich auch auf die Fertigungslinie auswirken, auf der der Impfstoff in Fläschchen abgefüllt und verpackt wird.

ANMERKUNG 4 Der Schwerpunkt und die Bemühungen, „digitale Zwillinge“ zu erstellen, sind ein direktes Ergebnis der Erkenntnis, dass digitale semantische Modelle mit hoher Granularität und Detailtreue für bestehende Elemente der physischen Fertigung von Nutzen sind.

6.5 Geschäftsinteressent

Von den vielen Geschäftsinteressenten, deren Bedenken im Kontext von SM relevant sind, sind in erster Linie zwei Arten von Geschäftsinteressenten, nämlich die Entwickler von SM-Normen und die Anwender von SM, an der Verwendung dieses Dokuments beteiligt, das als Referenz für detailliertere Tätigkeiten dient, die sich auf alle Arten von Geschäftsinteressenten eines Fertigungsunternehmens und seiner Liefer- und Wertschöpfungsketten auswirken.

Entwickler von SM-Normen sind jene Personen und Organisationen, die damit beauftragt sind, die Anforderungen für die Durchführung von SM-Systemaktivitäten festzulegen. Ihre Tätigkeit reicht von Referenzmodellen für die Beschreibung von Unternehmens- und Systemarchitekturen über die Entwicklung von Anwendungsszenarien bis hin zu Techniken für die semantische Modellierung von Fertigungselementen. Entwickler von SM-Normen sollten Ressourcen für nachgelagerte SM-Initiativen bereitstellen, z. B. Tools und Modelldokumentation.

SM-Anwender sind jene Personen und Organisationen, die an der Anwendung von Tools, Technologien und Verfahren in der Lieferkette oder der Wertschöpfungskette zur Umsetzung von SM-Initiativen beteiligt sind. SM-Anwender entwerfen, konstruieren und unterstützen SM-Betriebe und -Produkte, unabhängig davon, ob sie eine bestehende Norm, ein etabliertes Protokoll oder einen neuen Ansatz verwenden.

Sowohl Entwickler von SM-Normen als auch SM-Anwender können Modelle verschiedener Art konzipieren, konstruieren oder nutzen.

6.6 Bedenken

Ein Bedenken ist eine substanzielle, fokussierte Interessenbekundung zu einem oder mehreren Elementen eines Fertigungssystems aus der Perspektive eines oder mehrerer Geschäftsinteressenten. Das Hauptanliegen der Entwickler von SM-Normen sollte darin bestehen, den Bedenken der SM-Anwender Rechnung zu tragen, indem sie die Mittel und Verfahren bereitstellen, um eine kohärente Sicht in Bezug auf diese Bedenken festzulegen.

Die Bedenken der SM-Anwender beziehen sich im Allgemeinen auf bereichsspezifische und zweckgebundene Informationen, Verfahren und Erwartungen an die Modellierung von Ergebnissen, die sie direkt zur

Unterstützung von SM-Initiativen anwenden können. Da sich die Bedenken der SM-Anwender aus einer stark fokussierten praktischen Anwendungsperspektive ergeben, sollten die Entwickler von SM-Normen ein umfassendes Referenzmodell mit einer breiten Palette von Funktionen bereitstellen, um die Aktivitäten der SM-Anwender auszudrücken, zu untersuchen und zu ermöglichen.

Der Ausdruck von Bedenken kann viele Formen annehmen. Am nützlichsten sind Bedenken, die als Fragen zu Merkmalen oder Eigenschaften formuliert werden, als Schlüsselbegriff für viele verwandte Themen und als erwartete Qualitätsmerkmale des Fertigungssystems oder seiner Produkte und Dienstleistungen. Bedenken ergeben sich auch aus detaillierten Anwendungsfällen, die viele verschiedene Bedenken im Zusammenhang mit einem SM-Szenario beinhalten können.

6.7 Anwendungsfall

Eine effektive Möglichkeit für SM-Anwender, ihre Bedenken zu dokumentieren, besteht darin, einen Anwendungsfall zu erstellen, der ein oder mehrere Szenarien beinhaltet, um zu veranschaulichen, wie ein Element der Fertigung mit den Endanwendern oder anderen Elementen der Fertigung zusammenwirkt, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Ein Anwendungsfall bietet die Möglichkeit, ein oder mehrere Bedenken auszuführen, um den SM-Modellierern, ob Entwicklern von Normen oder Anwendern, bei der Ermittlung von Sichten und der Erstellung von Ansichten, die für eine Vielzahl von Geschäftsinteressenten von Bedeutung sind, als Anleitung zu dienen. Ein Anwendungsfall eignet sich besonders gut zur Kennzeichnung und Darstellung von Verhaltensweisen für innovative neue Technologien oder neuartige Anwendungen bestehender Technologien.

Um die Entwickler von SM-Normen zu unterstützen, sollten SM-Anwender Anwendungsfälle vorbereiten, die in angemessenem Umfang ein Fertigungsszenario und die erwarteten Ergebnisse beschreiben, um als Quelle für Bedenken aus Sicht der SM-Anwender zu dienen.

Bei Anwendungsfällen mit mehreren Szenarien und Bedenken werden oft mehrere Sichten verwendet, um den Anwendungsfall zu beschreiben. Diese komplizierteren Anwendungsfälle können den Modellierern zusätzliche Informationen in Bezug auf die Eignung der Sichten für ein zufriedenstellendes Modellierungsparadigma für den Zweck der SM-Modellierung liefern.

ANMERKUNG 1 Der Anwendungsfall ist am relevantesten, wenn der Anwendungsbereich des Anwendungsfalls vollständig in den Zweck der SM-Modellierung fällt, für die er vorgelegt wird, und wenn die im Anwendungsfall beschriebenen Ergebnisse eindeutig sind.

Ein Anwendungsfall kann je nach Granularität und Detailtreue des Zwecks, für den er erstellt wird, eine von mehreren Formen annehmen. Ein Anwendungsfall kann abstrakte Situationen oder sehr spezifische Situationen abdecken. Geschäftliche Anwendungsfälle sind in der Regel abstrakter und verwenden eine Reihe von Begriffen aus dem Wirtschaftssektor. Sie können auf verschiedenen Ebenen einer Organisation vorhanden sein, aber je detaillierter die Anwendungsfälle werden, desto mehr weichen die Terminologie und die Methodik voneinander ab und die Verbindung zu einem Geschäftsfall wird weniger klar.

Die Anwendungsszenarien für Anwendungsfälle können zwar branchenübergreifend sein, jedoch ist ein Repository von Anwendungsfällen für Unternehmen innerhalb einer Branche häufig am nützlichsten.

ANMERKUNG 2 Das Thema Anwendungsfall-Repository ist im URMSM nicht ausdrücklich abgedeckt.

Es gibt mehrere Vorlagen für Anwendungsfälle und eine wachsende Zahl von Anwendungsfall-Repositories, zum Beispiel IEC 62559 [8]. Beide können Ressourcen für die Anpassung an bereichsspezifische Bedenken sein.

Fertigungseinrichtungen haben eine Reihe verschiedener Geschäftsinteressenten und unterschiedliche Anwendungsperspektiven und Anforderungen, von denen einige oft gemeinsam genutzt werden können oder sich überschneiden. IEC TR 63283 beschreibt diese Überschneidungen im Zusammenhang mit der Terminologie.

ANMERKUNG 3 Da ein Aspekt mit der durch Anwendung einer Sicht abgeleiteten Ansicht zusammenhängt und eine Sicht auf den Inhalt eines Anwendungsfalls zurückgreift, ist ein Anwendungsfall konzeptionell eine Grundlage für einen SM-Aspekt.

Entwickler von SM-Normen und SM-Anwender sollten Anwendungsfallmethoden einsetzen, um Bedenken zu überprüfen und vorgeschlagene Modellansichten mit den Geschäftsinteressenten zu validieren.

6.8 Sichten und Ansichten

Modellierungsbemühungen im Bereich SM profitieren von einer klaren Darstellung des Modellierungsgegenstandes und der Methodik sowie der erwarteten Ergebnisse. Eine Modellierungssicht dient dazu, Sachverhalte in Form von klar formulierten Bedenken der Geschäftsinteressenten zu erfassen und Konventionen für die Erstellung, Interpretation, Analyse und Verwendung von Modellansichten im Hinblick auf die erfassten Bedenken festzulegen. Diese Sicht sollte relevante Bedenken von Anwendern einbeziehen und bekannte Modellierungsbedenken berücksichtigen, um eine klar definierte Möglichkeit für die Erstellung von Modellen und Modellierungsansichten sicherzustellen, die diese speziellen Bedenken berücksichtigen. Konventionen für Sichten können ein oder mehrere Modellierungsparadigmen oder Modelltypen festlegen, die bei der Konstruktion eines entsprechenden Modells, üblicherweise in einer Form von technischem Modell, verwendet werden. Die Konventionen können auch weniger formale Deskriptoren enthalten, um den Ausdruck der Ansicht zu steuern.

Die Modellansichten, entweder als ganzes Modell oder als Teile eines oder mehrerer Modelle, sollten den Geschäftsinteressenten die Ergebnisinformationen liefern, die sie benötigen, um fundierte Entscheidungen über weitere Modellierungs- oder Implementierungsaktivitäten zu treffen.

ANMERKUNG Siehe ISO/IEC/IEEE 42010 für weitere Informationen über Sichten, Modellarten, Modelle und Ansichten, die bei der Beschreibung von Unternehmens- und Systemarchitekturen verwendet werden.

6.9 Perspektiven

6.9.1 Verwendung von Perspektiven

Das URMSM bietet Möglichkeiten, das/die semantische(n) Modell(e) aus verschiedenen Perspektiven in Bezug auf einen bestimmten Modellierungszweck anzuordnen oder zu untersuchen.

Der Begriff „Geschäftsinteressent-Perspektive“ bezeichnet die Art und Weise, wie ein Geschäftsinteressent konzeptionell über das SM-System denkt, das ihn interessiert. Ein semantisches Modell eines relevanten SM-Systems muss die Elemente jedes Aspekts der Fertigung berücksichtigen, die für den Zweck der Modellierungsaktivität von Bedeutung sind, so wie es in den Bedenken der Geschäftsinteressenten in Bezug auf diesen Zweck zum Ausdruck kommt.

Um die vielen Aspekte des Systems, die für den jeweiligen Modellierungszweck von Interesse sind, darzustellen und die Bedenken der Geschäftsinteressenten zu berücksichtigen, gruppiert ein Modellierer die Darstellung der Fertigungselemente in Modelle, die diese Elemente miteinander in Beziehung setzen. Ausgehend von diesen Modellen erarbeitet der Modellierer Ansichten, um Aspekte des relevanten Systems, das die Elemente der Fertigung umfasst, zu beschreiben, die mit dem festgelegten Modellierungszweck vereinbar sind. Häufig werden stark zusammenhängende Aspekte in Dimensionen zusammengefasst, um den Geschäftsinteressenten das Verständnis dieser Beziehungen zu erleichtern. Der Begriff „analytische Perspektive“ bezeichnet die Art und Weise, in der der Modellierer die Elemente der Fertigung in Aspekte der Fertigung gruppiert.

ANMERKUNG 1 Häufig werden die relevanten Aspekte eines Modells in einem deskriptiven Rahmen angeordnet, um die Perspektive eines Geschäftsinteressenten für die Entscheidungsfindung zu berücksichtigen. Ein Modellierungsrahmen ordnet typischerweise relevante Aspekte an, um einen Modellierungszweck zu erfüllen. Er kann mehrere Perspektiven der Geschäftsinteressenten umfassen, indem er relevante Aspekte, die für den Geschäftsinteressenten von Interesse sind, abbildet, oder er kann den analytischen Rahmen bieten, der für bestimmte Analyseverfahren und -methoden erforderlich ist.

Geschäftsinteressent-Perspektiven liegen üblicherweise außerhalb oder an der Grenze eines SM-Systems, denn Perspektiven sind Denkweisen über das System. Der analytische Rahmen enthält üblicherweise interne Erwägungen, die sich aus den Modellierungsaktivitäten ergeben, die durch die externen Perspektiven angetrieben werden.

ANMERKUNG 2 Die Geschäftsinteressent-Perspektive kann als Eingabe für die Modellierung betrachtet werden, während der analytische Rahmen als Ergebnis der Modellierung angesehen werden kann. Während der Modellierungsaktivität legen Modellierungssichten die Art und Weise fest, wie die Perspektiven der Geschäftsinteressenten in die Erstellung des analytischen Rahmens einfließen.

6.9.2 Geschäftsinteressent-Perspektiven

Die Geschäftsinteressent-Perspektiven von SM-Initiativen ergeben sich aus ihren Verantwortlichkeiten, Kompetenzen, Kenntnissen und Erfahrungen im Bereich der Fertigung. Diese Geschäftsinteressent-Perspektiven treiben die Entwicklung von Anwendungsfällen und Bedenken voran, aus denen Sichten abgeleitet werden, die diese Antriebsfaktoren widerspiegeln.

6.9.3 Analytischer Rahmen

Ein analytischer Rahmen befasst sich mit der Erstellung und Anordnung von Aspekten in Gruppen, die als Dimensionen von SM bezeichnet werden. Jede Dimension oder Schnittmenge von Dimensionen bildet eine analytische Orientierung, die die Geschäftsinteressent-Perspektiven ergänzt. Ein analytischer Rahmen ordnet die Ergebnisse der Modellierungssicht, um die Untersuchung von Aspekten in Bezug auf den Modellierungszweck zu ermöglichen.

6.10 Aspekte

Ein Aspekt ist eine Möglichkeit, die Struktur, die Qualität oder das Verhalten eines Elements im Bereich der Fertigung als ein einziges Konzept zu charakterisieren, das sich möglicherweise aus vielen Konzepten zusammensetzt. Eine Kennzeichnung oder ein Name identifiziert den Aspekt der Konzeptualisierung, der üblicherweise viele weitere spezielle Konzepte umfasst. Diese Charakterisierung gilt üblicherweise für das Element der Fertigung in Bezug auf einen bestimmten Kontext, und die Charakterisierung kann entsprechend sich ändern, wenn sich der Kontext ändert. Daher werden Aspekte meist umfassend charakterisiert, so dass sie in vielen Kontexten anwendbar sind, ohne dass der Fokus auf den Merkmalen oder Eigenschaften liegt, die den Aspekt auszeichnen. Gut festgelegte Aspekte bieten eine Möglichkeit, Merkmale und Eigenschaften von Elementen zu kategorisieren, so dass sie zusammen referenziert und in verschiedenen Situationen bewertet werden können, d. h. in verschiedenen Ansichten desselben Aspekts, aber in verschiedenen Kontexten.

Jeder Aspekt innerhalb eines SMRM muss durch ein semantisches Modell dargestellt werden, das den Kontext und alle Bestandteile dieses Kontexts festlegt, die für den Aspekt, wie er im SMRM verwendet wird, gelten. Das semantische Modell sollte hinreichend geeignet sein, um den Aspekt in eine einheitliche Gruppe von Aspekten aufnehmen zu können.

Da Aspekte in verschiedenen Situationen anwendbar sind, werden sie häufig als „bereichsübergreifende Bedenken“ bezeichnet, d. h. sie sind in viele verschiedene Bedenken von Geschäftsinteressenten eingebunden, die die gleiche grundlegende Charakterisierung haben, aber für den Kontext der Bedenken ausgearbeitet wurden. Eine Sicht kann diese Einbettung nutzen, um Aspekte festzulegen, die bei der Konstruktion eines Modells einbezogen werden sollen, um eine oder mehrere Ansichten zu erstellen. Umgekehrt kann eine Sicht eine oder mehrere Ansichten festlegen, um einen Aspekt zu charakterisieren. Ein Aspekt kann durch Ansichten aus mehr als einer Sicht gekennzeichnet sein.

ANMERKUNG In manchen Situationen kann ein Aspekt als die Ansicht aus einer bestimmten Sicht betrachtet werden.

Aspekte werden oftmals unter Bezugnahme auf einen Kontext mit einem prägnanten Begriff gekennzeichnet, z. B. Sicherheit, Schutz, Elementmerkmale. Aspekte können üblicherweise in Teilkontexte für bestimmte Bereiche aufgeteilt werden, z. B. physische Sicherheit. Der mit einem Aspekt verbundene Kontext kann funktional oder häufiger auch nicht-funktional sein, wie im Englischen beispielsweise bei den „-ilities“ für verschiedene Qualitätsattribute, z. B. „sustainability“ (Nachhaltigkeit) und „compatibility“ (Kompatibilität). Aspekte sind die primären Unterscheidungsmerkmale in Modellierungsrahmen, z. B. dem „OMG Unified Architecture Framework“ [10].

BEISPIEL Die Aspekte der Produktspezifikation für ein Teil (Fertigungselement) können eine Reihe von Merkmalen und eine Materialspezifikation enthalten. Merkmale, die auf dem Kontext der Produktgestaltung basieren, werden

im Kontext des Produktionssystems berücksichtigt. Die Anforderungen des Marktes bestimmen die Spezifikationen für die Produktgestaltung, wie z. B. Materialien und Merkmale für das Teil. Eine Änderung des Materials und der Merkmale verändert die für die Herstellung des Teils erforderlichen Fertigungsprozesse; eine Änderung des Materials könnte sich auf die Geschwindigkeiten und Vorschübe eines Bearbeitungsprozesses auswirken. Bereitstellung von Werkzeugen, Vorrichtungen, verbrauchte Energie, Ausschuss und Materialhandhabung sind Prozesse, die mit dem primären Bearbeitungsprozess zusammenhängen. Die Anforderungen an die Menge und den Durchsatz des Teils könnten andere Erwägungen einbeziehen, wie zum Beispiel die additive Fertigung. Ein einmaliges Fertigungslos im Vergleich zu einer umfangreichen Losgröße oder bestimmte Materialeigenschaften wirken sich auf diese Erwägungen aus, ebenso wie die Größe, das Gewicht und die Frage, ob mehrere Maschinen und Prozesse für die Produktmerkmale erforderlich sind. Für ein Produkt mit hoher Stückzahl kann eine Spezialmaschine in Betracht gezogen werden. Die Modellierung des Teils, das auf diesen Spezifikationen basiert, sowie der Produktionssysteme kann es ermöglichen, Kompromisse sinnvoller zu gestalten, wenn das Produkt- und das Produktionsmodell über entsprechende semantische Modelle verfügen.

Die Identifizierung und Charakterisierung von Aspekten eines Fertigungselements im richtigen Kontext, unabhängig davon, ob es sich bei diesem Element um ein ganzes Fertigungsunternehmen oder die Fähigkeit einer Komponente handelt, ist für die Konfiguration und Nutzung des URMSM zur Erstellung eines SMRM oder Implementierungsmodells unerlässlich.

Um das Potenzial semantischer Modelle von Aspekten für die Analyse und Synthese von Aspektinteraktionen im Kontext von SM zu maximieren, sollten Modelle von Aspekten die semantisch aussagekräftigste digitale Darstellung verwenden, die verfügbar ist.

6.11 Lebenszyklusmodellierung

Der Begriff des Lebenszyklus stammt aus der Biologie, wo jedes Lebewesen das gleiche Muster durchläuft – Geburt, Wachstum, Reife, Verfall und Tod – der Zyklus des Lebens. Dieses Muster gilt für alle Lebewesen und kann durch Abstraktion auf konzeptionelle Dinge, z. B. Systeme, ausgedehnt werden. Im weiteren Sinne gilt der Begriff des Lebenszyklus auch für SM-Unternehmen, Dienstleistungen und Produkte, von denen jede Instanz während ihrer Lebensdauer das Muster eines Lebenszyklus aufweist. Dasselbe Grundmuster des Lebenszyklus lässt sich auf viele verschiedene Arten für unterschiedliche Zwecke und Situationen anwenden. Da jedes Unternehmen oder System aus vielen verschiedenen Elementen besteht, gibt es viele Lebenszyklen, einen für jedes Element. Jedes Projekt, jede Komponente, jedes Artefakt und jedes Produkt hat einen Lebenszyklus, und da einige Bestandteile von anderen sind, wiederholen sich die Lebenszyklusaktivitäten und überschneiden sich nahezu immer.

SM erkennt an, dass es sich bei der Charakterisierung des Lebenszyklus um eine Segmentierung in Lebenszyklusphasen im Hinblick auf gegenseitige Abhängigkeiten und Ähnlichkeit der Modellinhalte handelt und nicht um eine angenommene chronologische Abfolge. Verschiedene Lebenszyklusphasen können unterschiedliche Modelle haben und in einer einzelnen Lebenszyklusphase können unterschiedliche Modelle vorhanden sein. Lebenszyklusphasenmodelle können gleichzeitig, wiederholt oder leer sein, je nachdem, wie es die Modellierungssituation erfordert.

ANMERKUNG 1 Die Übertragung von Modellinformationen in den Lebenszyklusphasen ermöglicht eine wertschöpfende Wiederholung von Prozessen zur Verbesserung der Qualität. Eine Phasenaktivität kann das Modell einer vorangegangenen Phasenaktivität ändern oder erweitern, um es an die sich entwickelnden Bedürfnisse einer nachfolgenden Phasenaktivität anzupassen.

Der Begriff des Lebensverlaufs umfasst die Chronologie der Aktivitäten der Lebenszyklusphasen, wie sie im Laufe eines Lebens auftreten. Der Lebensverlauf wird oft in Phasen unterteilt. Während ein Referenzmodell meist statische Modellrepräsentationen festlegt, kann das Verständnis der Folgen von Veränderungen die Kenntnis der chronologischen Abfolge der Aktivitäten erfordern, die eine bestimmte Entität während ihrer gesamten Lebensdauer durchläuft. ISO 15704 enthält eine ausführliche Erklärung der Konzepte Lebenszyklus und Lebensverlauf.

ANMERKUNG 2 Andere Normen, insbesondere diejenigen, die sich an ISO/IEC/IEEE 15288 orientieren, verwenden den Begriff Lebenszyklusphase anstelle von Lebensverlaufsphase.

6.12 Semantische Modellierung von SM

6.12.1 Übersicht über die semantische Modellierung

Um zu verstehen, was es bedeutet, wenn Aspekte zusammenwirken, ist eine einheitliche Ausdrucksform erforderlich, um ihre jeweiligen Eigenschaften und ihr Verhalten vergleichen und gegenüberstellen zu können. Digitale Modelle bieten syntaktische Ausdrucksformen, die eine schnellere Prüfung durch Menschen in einem breiteren Spektrum von Situationen ermöglichen. Um die Vorteile digitaler Technologien voll auszuschöpfen, um die menschliche Untersuchung von Aspektinteraktionen zu ergänzen oder darüber hinauszugehen, muss die Ausdrucksform für die maschinelle Berechnung geeignet sein. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, stellen digitale Modellierungssprachen nur die semantische, d. h. die Sinnhaftigkeit ergänzende Form der Terminologie zur Verfügung, nicht aber die Axiome, die für die auf diesen Modellen basierende Inferenzverarbeitung erforderlich sind, die die Automatisierung von Analyse und Synthese ermöglicht.

Bei den meisten Modellen, die auf grafischen Darstellungen basieren, beschränkt sich die Bedeutung der Modellelemente und ihrer Beziehungen auf syntaktische Ausdrücke, die sich für die Interaktion eignen, wenn die Semantik eindeutig als Text angegeben wird, aber nicht für die Analyse und Synthese, wenn die Bedeutung nur durch Implikation oder Inferenz erkennbar ist. Die Bedeutung des Modells hängt dann von der Interpretation durch einen menschlichen Beobachter ab, was häufig unterschiedliche Interpretationen zur Folge hat.

ANMERKUNG 1 Viele grafische Modellierungstools ermöglichen auch einen nicht-grafischen Ausdruck des Modells, jedoch meist ohne expliziten semantischen Informationsgehalt und vollständige Spezifikation der Semantik.

Verschiedene Darstellungen wie Textbeschreibungen, abstrakte Informationsmodelle und Daten- oder Aktivitätsmodelle können Aspekte modellieren, die funktionale oder nicht-funktionale Merkmale von Produkten oder der Produktion umfassen. Im Falle von SM sind die grundlegenden Modellierungsartefakte Informationen, Daten und Aktivitäten, die in Aspektmerkmalen erkennbar sein müssen. Ein einheitliches semantisches Modell, das auf Graphen- und Datentyp-Algebren basiert, sollte die Darstellung, Analyse und Synthese eines interoperablen SM-Netzwerks unterstützen, das sich mit Informationen, Daten und Aktivitäten im Kontext von SM befasst.

Modelle und ihre Werkzeuge, die Graphen- und Datentyp-Algebren verwenden, sind semantische Modelle, die symbolisch ausführbar sind und somit die Grundlage für eine semantische Analyse und vorausschauende Wartung bilden.

ANMERKUNG 2 Durch die Anwendung der grafischen Oberfläche (GUI) von Tools mit zugrundeliegenden Graphen- und Datentyp-Algebren ermöglicht eine Art Sprachunterstützung für das Schreiben semantischer Ausdrücke eine toolgestützte Analyse, die über die strukturelle Analyse durch XML oder OWL hinausgeht [11].

In mehreren Artikeln und Whitepapers [12] [13] werden die Probleme bei der Konzeption und Verwendung von Modellen mit ausreichendem semantischen Inhalt zur Unterstützung der Interoperabilität digitaler Systemdarstellungen ausführlich besprochen. Insbesondere zwei Modellierungsformalismen ermöglichen den Austausch von Informationen zur Unterstützung der automatisierten Interoperabilität – XML Schema [14] und die Modellierungssprache OWL [15], wobei erstere „zur Charakterisierung der syntaktischen Struktur und letztere zur Charakterisierung der semantischen Struktur (oder Bedeutung) vorgesehen ist“ [16].

ANMERKUNG 3 OWL nutzt das RDFS (Resource Description Framework Schema), um Kenntnisse über Dinge, Gruppen von Dingen und Beziehungen zwischen Dingen in einer auf Berechnungslogik basierenden Sprache darzustellen. In OWL ausgedrücktes Wissen kann von Computerprogrammen genutzt werden, z. B. um die Einheitlichkeit dieses Wissens zu verifizieren oder um implizites Wissen explizit zu machen [15].

BEISPIEL 1 In diesem einfachen Beispiel, das sich mit einem Teil eines Designs an sich befasst, kann die Klasse, die das Laufrad innerhalb des Pumpenmodells „WBX-456A“ ist, mithilfe einer OWL-Restriktion wie folgt definiert werden:

```
ex -des: ImpellerInWBX -456A
  owl: equivalentClass [
    owl: intersectionOf (
      ex -rdl: Impeller
      [ owl: onProperty Ici: partOf ;
        owl: allValuesFrom ex -des: WBX -456A ]
    )
  ] ;
rdfs: subClassOf ex -des: WI -57SS .
```

Aus dieser Einschränkung lässt sich ableiten, dass ein Laufrad, das zu einer Pumpe vom Typ „WBX-456A“ gehört, vom Typ „WI-57SS“ ist [17].

Modellierungstools, die zur Unterstützung von SM vorgesehen sind, müssen Möglichkeiten für den Austausch von Modellinhalten sowohl in von Menschen lesbarer als auch in maschinell interpretierbarer Form zur Verwendung durch andere Modellierer und Modelle bieten. Als Minimum sollte die Syntax unter Verwendung einer etablierten Norm wohlgeformt sein.

BEISPIEL 2 Modellierungsparadigmen, die XML-Schema-Ausdrucksformen unterstützen, eignen sich im Allgemeinen für Prozesse zum Schemaabgleich, sei es durch menschliche Prüfung oder maschinelle Automatisierung.

ANMERKUNG 4 Modelle, die Bilder mit undifferenziertem Inhalt sind oder solche enthalten, sind zwar für einige Anwendungen mit Aspekten nützlich, eignen sich aber nicht sehr gut für die Automatisierung der Analyse oder Synthese. Das Taggen von Bildern oder das Parsen des Bildes nach integrierten digitalen Inhalten, die sich auf einen oder mehrere andere Aspekte beziehen, kann dem Bild differenzierte Inhalte hinzufügen, die zumindest diesen Teil des Bildes für Berechnungen nutzbar machen.

Modellierungsparadigmen mit einer formalen Syntax, z. B. solche, die mit einer EBNF-Spezifikation ihrer Modellierungssprachensyntax definiert sind [18], können über die einfache syntaktische Darstellungsanforderung hinaus Möglichkeiten bieten, semantische Beziehungen zwischen Aspekten anhand der von der EBNF-Spezifikation bereitgestellten Modellierungsmuster zu erkennen [19] [20]. Einige Methoden zum Abgleich von Modellschemata machen sich diese Funktion zunutze.

Der nächste Schritt bei der Bereitstellung semantischer Modelle für Aspekte ist die Verwendung von Metamodellen für einen bestimmten Anwendungsbereich, der relativ groß sein kann. ISO 19440 (im Kontext der modellbasierten Steuerung) legt Konstrukte für die Unternehmensmodellierung unter Verwendung der Modellierungssprache UML fest, die über eine mit dem XML-Schema konforme Darstellungsfunktion verfügt, und stellt dann Metamodelle sowohl für fertigungs- als auch für dienstleistungsorientierte Unternehmen als Konfigurationen dieser Konstrukte bereit.

An der Spitze der semantischen Modellierungshierarchie stehen ontologische Theorien, die den Konzepten in Bezug auf andere Konzepte Bedeutung verleihen. Bedauerlicherweise sind allgemeine ontologische Theorien für große Wissensbestände nur von geringem Nutzen, da solche Wissensbasen Netzwerke miteinander verbundener Konzepte sind. Diese Theorien bilden jedoch die Grundlage für eine sehr nützliche bereichsspezifische Ontologie, wie sie mit den OWL-Spezifikationen [21] umgesetzt wird.

BEISPIEL 3 Digitale Darstellungen können von der Verwendung formaler Sprachen wie OWL, einer Kombination aus Logik und algebraischen graphentheoretischen Technologien reichen.

Um digitale Modelle zu realisieren, die die für die Inferenzverarbeitung erforderliche semantische, d. h. aussagekräftige, ergänzende Form aufweisen, die eine Automatisierung der Analyse und Synthese ermöglicht, müssen SM-Anwender und Entwickler von SM-Normen die Beziehungen zwischen den grundlegenden semiotischen Konzepten und den Modellierungskonzepten verstehen. Darüber hinaus sind semantische Modelle von Modellierungssprachen selbst Modelle und haben als solche einen Lebensverlauf, in dem sich die Bedeutungen im Laufe der Zeit ändern können.

6.12.2 Formen der semantischen Darstellung

Eine weitere wichtige Erwägung bei der Erstellung eines semantischen Modells für einen Aspekt, das für das Verständnis von Interaktionen mit anderen Aspekten vorgesehen ist, ist die Unterscheidung zwischen statischen Objekten und der Dynamik, durch die sie entstehen, sich verändern und entfernt werden. Da die meisten semantischen Modelle die Form von Informationsmodellen der einen oder anderen Art annehmen, bilden diese Formen den Fokus für die Festlegung geeigneter semantischer Inhalte. Informationsmodelle neigen dazu, entweder statische Dinge zu identifizieren, als Objekte, die mit Beziehungen zwischen diesen Dingen weiterbestehen, oder dynamische Dinge, als Prozesse, die mit Beziehungen als Prozesseingänge und -ausgänge auftreten [22]. Die verwendete Form muss die Darstellung der einschränkenden Beziehungen zwischen zwei oder mehreren Aspekten ermöglichen und kann es ermöglichen, dass diese Darstellung die Prozesse festlegt, die diese Beziehung aufrechterhalten, und zwar als Selbstreferenz auf die Entität, die die Fertigung konzipiert und gestaltet.

ANMERKUNG 1 Alle verfügbaren Tools, die Graphen- und Datentyp-Algebren unterstützen, umfassen zwei wichtige Komponenten für die Durchführung symbolisch dargestellter Spezifikationen von Dingen. Bei der ersten handelt es sich um eine grafische Oberfläche (GUI), die in der Tat Symbole zur Darstellung von untergeordneten Spezifikationen verwendet, z. B. für die Aspekte von Windrädern oder Sonnenkollektoren in einem intelligenten Stromnetzsystem als Ganzes. Die zweite Komponente des Tools ist der regelbasierte Graphen- und Datenmanipulator, der alle festgelegten Aspektregeln ausführt, die in einem bestimmten Kontext und in einer bestimmten Situation, die als Simulation bezeichnet wird, wahr oder falsch werden. Die Fortschritte einer Simulation werden durch wechselnde grafische Objekte auf der GUI dargestellt, die den veränderten Zustand des simulierten Systems zeigen.

Wenn der Zweck der Modellierung von Aspekten mit der Interaktion von Aspekten zusammenhängt, sollten die Beziehungen zwischen statischen Objekten die Prozesse sein, die sie erzeugen, verändern oder beseitigen, üblicherweise unter Verwendung einer syntaktischen Form Substantiv – Verb – Substantiv. Die Versachlichung der Prozesse, d. h. die Umsetzung von Beziehungen in Objekte, führt dann zu einem konsistenten Modell der syntaktischen Form Verb – Substantiv – Verb.

ANMERKUNG 2 Nicht alle Beziehungen zwischen statischen Dingen können als durch Prozesse ermöglichte Transformationen ausgedrückt werden.

In nahezu jeder Situation ist nur ein Teil des Modells für einen Aspekt an dem semantischen Modell beteiligt, das diesen Aspekt mit einem oder mehreren anderen Aspekten in Verbindung bringt. In manchen Situationen kann das Ausmaß der Interaktion jedoch mehr Auswirkungen auf die üblicherweise nicht beteiligten Teile des Modells haben.

ANMERKUNG 3 Die Verwendung offener technischer Wörterbücher wie ISO 22745 [24] und IEC 61360 [23] bieten Verfahren zur Beschreibung von Begriffen und Definitionen, von denen einige im Kontext stehen und andere die Verweisung auf neue Kontexte ermöglichen.

BEISPIEL 1 Bei einem interagierenden Bearbeitungsaspekt können die Spindeldrehzahl und die Schneidevorrichtung bei einigen Anwendungen des Aspekts ignoriert werden, müssen aber möglicherweise angepasst werden, wenn ein neues zu bearbeitendes Material zugeführt wird.

Das semantische Modell, das die Interaktion von Aspekten darstellt, sollte hinreichend detailliert sein, um sowohl die Interaktion aufrechtzuerhalten als auch Änderungen bei den Beteiligten berücksichtigen zu können.

Eine offensichtliche Schwierigkeit ist die unterschiedliche Verwendung von Begriffen innerhalb eines Bereichs, die den bereichsübergreifenden Wissensaustausch zumindest mehrdeutig macht. Eine klare Spezifikation der Syntax und Semantik der Sprache des Bereichs im Kontext sollte dem Versuch eines sinnvollen Informationsaustauschs für diesen Kontext vorausgehen.

BEISPIEL 2 Die semantischen Lücken zwischen der Informationstechnologie und der Betriebstechnologie sind oft die Ursache für Unstimmigkeiten zwischen Abteilungen.

BEISPIEL 3 Im Schiffsbau arbeiten bei der Installation der Pumpen verschiedene technische Fachrichtungen zusammen, und jede Fachrichtung verwendet ihre eigene Sprache.

Alle Elemente eines semantischen Modells, die mit anderen Einheiten außerhalb dieses semantischen Modells zusammenwirken, müssen eindeutig gekennzeichnet und definiert sein, unabhängig davon, ob es sich bei diesem semantischen Modell um ein vollständiges Fertigungsunternehmen oder die Fähigkeit einer Komponente handelt.

6.12.3 Granularität der semantischen Modelle

Zur Maximierung des Nutzens von aspektbezogenen semantischen Modellen für das Verständnis von Aspektinteraktionen muss die Granularität der einzelnen semantischen Modelle ähnlich sein, damit die Elemente eines semantischen Modells in einem anderen verwandten semantischen Modell identifiziert werden können. Manchmal ist eine Übersetzung des Vokabulars des semantischen Modells erforderlich, um die gemeinsamen modellierten Elemente zu erkennen.

Die Einführung der Verfahren UUID [25] und URI [26] zur Referenzierung von Modellelementen bietet zwar Möglichkeiten für präzise Modelle, die durch Referenzierung anderer Artefakte erstellt werden, allerdings bringen diese Referenzierungsverfahren auch viele potenzielle Schwierigkeiten bei der Erweiterung eines einheitlichen semantischen Modells durch die Einbeziehung referenzierter Elemente mit sich. Wenn das Referenzmodell Elemente durch eine Referenz festlegt, muss dieses Referenzmodell das bekannte Potenzial für eine Abweichung von der Integrität des semantischen Modells aufzeigen, entweder aufgrund einer unterschiedlichen Granularität oder einer Störung der festgelegten Kohärenzkriterien. Diese Abweichungsinformationen sind erforderlich, um Grenzbedingungen für die Analyse festzulegen und mögliche nützliche Möglichkeiten zur Leistungssteigerung durch die Synthese neuer Fähigkeiten aufzuzeigen.

Bei der Verwendung eines Referenzmodells für einen bestimmten Zweck führt die Ausarbeitung oftmals zu einer Spezialisierung des Teils des Referenzmodells, der sich auf diesen Zweck bezieht, was zu einem semantischen Modell mit unterschiedlichem Granularitätsgrad der einzelnen Elemente führt. Ein semantisches Modell kennzeichnet Unterschiede in der Granularität der modellierten Elemente, indem es entweder ihre Entfernung aus dem zweckspezifischen semantischen Modell oder die Kennzeichnung der ausgearbeiteten Modellelemente mit einem Kontext-Deskriptor anzeigt, um die Ausarbeitung in einer detaillierteren Granularität darzustellen.

7 Dimensionen des URMSM

7.1 Identifizierung von Aspektinteraktionen und Modellierung von Dimensionen in der intelligenten Fertigung

Ein URMSM-konformes SMRM legt seine Zweckbestimmung in einem relevanten Bereich der Fertigung fest, mit entsprechenden Abstraktionen, einschließlich Aktivitäten, Prozessen, Ressourcen und Informationen sowie deren Beziehungen. Ausgehend von der Spezifikation eines vereinheitlichenden Referenz-Metamodells (siehe IEC TR 63319 [4]) lassen sich systematisch spezifischere Modelle ableiten, um die angestrebte Systemkonfiguration und Implementierung zu ermöglichen.

ANMERKUNG 1 Anhang D gibt einen Überblick über das in IEC TR 63319 [4] verwendete Metamodell zur Analyse von Gemeinsamkeiten verschiedener Referenzmodelle für SM.

BEISPIEL 1 Die im URMSM enthaltenen Grundsätze untermauern die Struktur von ISO/IEC TR 63306-1 [27].

Einige Aspekte von SM-Systemen, sei es auf der Ebene einer komplizierten Lieferkette oder auf der Ebene einer Werkzeugmaschine, können klar spezifiziert und abgegrenzt werden, so dass es, falls überhaupt, nur wenige Überschneidungen von Funktionen oder Strukturen mit anderen SM-Systemen gibt. Die Beziehung zu den anderen SM-Systemen oder SM-Systemkomponenten erfolgt über klar definierte Schnittstellen. Bei vielen anderen Aspekten von SM-Systemen, insbesondere bei solchen, die eher qualitativer Art sind, gibt es keine klar definierten Schnittstellen, und gelegentlich ist der Begriff der Schnittstelle sogar nicht relevant. In beiden Fällen wirken die Aspekte jedoch aufeinander ein, manchmal über klar definierte Schnittstellen und manchmal auf eine Art und Weise, die weder gut bekannt noch offensichtlich ist. Um SM zu ermöglichen, sollten die Aspekte identifiziert werden, von denen erwartet wird, dass sie sich auf die Effektivität und Effizienz der Fertigung auswirken.

BEISPIEL 2 Eine Werkzeugmaschine hat eine Schnittstelle zu Materialtransportsystemen, die unfertige Erzeugnisse, neue Werkzeuge und Einrichtungen befördern. Die Teileprogramme sind dynamisch und basieren auf den Anforderungen des Produktionsbetriebs für die Fertigungseinheit. In dieser Situation haben die Aspekte, die sich auf das Teil beziehen, Wechselwirkungen mit der Maschine, mit der das Teil hergestellt wird. Das Modell des Teils und der Maschine haben jeweils Begrenzungen, die durch Änderungen der Teilespezifikationen wie Ausschuss, Energieverbrauch und Materialhandhabung beeinflusst werden. Einige dieser Aspekte können in einer Dimension wie dem Energieverbrauch des Arbeitsablaufs sowie der Beziehung zum Lebenszyklus zusammengefasst werden.

IEC TR 63319 [4] identifiziert Dutzende von Aspekten, die mit SM zusammenhängen. Die meisten dieser Aspekte verfügen über eine zugrundeliegende Modelldarstellung, wobei jedoch unterschiedliche Modelle für dieselbe Aspektkennzeichnung aus unterschiedlichen Perspektiven für das oder die Bedenken resultieren, die in diesen verschiedenen Modellen innerhalb einer Aspektbeschreibung enthalten sind. Diese unterschiedlichen Perspektiven sind häufig das Ergebnis unterschiedlicher Modellierungszwecke in Bezug auf die SM-Bemühungen. Aspekte, die für die Berücksichtigung in SM-Referenzmodellen vorgesehen sind, müssen im Hinblick auf ihren spezifischen Modellierungszweck und Kontext identifiziert werden. Darüber hinaus müssen die Aspekte als formale Modelle in einer wohlgeformten Notation dargestellt werden, die eine Analyse und Synthese sowohl durch menschliche Untersuchung als auch durch Computerressourcen ermöglicht.

ANMERKUNG 2 Auch wenn Rechenressourcen heute den Einsatz von Modellierungstechnologien mit weitaus größerer Kapazität und Verarbeitungsfähigkeit ermöglichen, als der Mensch sie leisten kann, ist die Prüfung der Berechnungsgrundlage durch den Menschen nach wie vor erforderlich, um die Ergebnisse der Analyse und Synthese zu verifizieren und zu validieren.

Bei geeigneten Modellen gibt es viele Methoden zur Identifizierung gemeinsamer Modellelemente, die als Grundlage für die Identifizierung potenzieller Interaktionen dienen können, entweder zwischen verschiedenen Modellen desselben Aspekts oder zwischen Aspekten mit eher unterschiedlichen Bedenken. Ein expliziter Ansatz für die Interaktion ist der Abgleich von Modellschemata unter Berücksichtigung von Variationen in den Begriffs- und Konzeptdefinitionen [28]. Die Identifizierung struktureller Beziehungen zwischen Aspekten ist ein weiterer expliziter Interaktionsansatz [29]. Einige Interaktionen von Aspekten sind jedoch implizit und lassen sich in einem formalen Modell nicht leicht oder nicht ausreichend darstellen; daher ist eine textuelle Beschreibung erforderlich.

7.2 Festlegen der Modellierungsdimensionen

7.2.1 Gruppen von Aspekten als Dimensionen der intelligenten Fertigung

Ein wesentlicher Grundsatz der Dimensionalität in der Modellierung [30] [31] [32] ist das doppelte Kriterium der Abhängigkeit zwischen den Elementen einer Modellierungsdimension, im Folgenden einfach als Dimension bezeichnet, und der Unabhängigkeit zwischen den Dimensionen für paarweise Betrachtungen bei der Analyse und Synthese. In diesem Sinne ist eine Dimension eine unabhängige Variable innerhalb eines Problemraums. Die Dimension setzt sich aus abhängigen Elementen zusammen – die Frage ist jedoch, „abhängig in Bezug worauf“.

ANMERKUNG 1 Da es sich bei den Dimensionen um denselben Problemraum der Entität handelt, können sie nicht strikt voneinander unabhängig sein, sie können jedoch für den Zweck der Modellierung „ausreichend unabhängig“, d. h. hinreichend unterschiedlich sein.

Die einfache Antwort ist die gemeinsame Teilnahme an einer bestimmten Typendeklaration, die die Bestandteile der Dimension charakterisiert, wobei eine Ähnlichkeitsbeziehung die Merkmale identifiziert, die für diesen Typ kennzeichnend sind. Eine kompliziertere Antwort ergibt sich, wenn „Typ“ als eine Abstraktion betrachtet wird, die nicht nur statische Eigenschaften, sondern auch dynamische Eigenschaften umfasst. Eine Modellierungsdimension ist einheitlich, wenn die Bestandteile ihrer Typendeklaration alle statischen und dynamischen Eigenschaften aufweisen, die durch die Ähnlichkeitsbeziehung für diesen Typ festgelegt sind. Typendeklarationen müssen eine ausreichende Klarheit der Zugehörigkeit bieten, um die Dualitätskriterien der Abhängigkeit der Elemente innerhalb der Dimension und der Unabhängigkeit der Dimensionen für Analyse und Synthese zu erfüllen.

ANMERKUNG 2 Hier wird der Begriff „Typ“ unterschieden, allerdings lässt die Spezifikation der Ähnlichkeitsbeziehung Spielraum bei der Kennzeichnung der Mitglieder eines bestimmten Typs. Die Ähnlichkeitsbeziehung kann als eine Funktion

betrachtet werden, die einen Aspekt auf einen Typ abbildet, um Aspekte mit der gleichen Typbezeichnung in einer Dimension zu erfassen. In IEC TR 63319 [4] wird die Ähnlichkeitsbeziehung als „`*aspect_collection_coherence_rule`“ (Aspektgruppen-Kohärenzregel) und die Modellierungsdimension als „`*aspect_collection`“ (Aspektgruppe) bezeichnet.

ANMERKUNG 3 In Programmiersprachen wird die Typdeklaration als abstrakter Datentyp (ADT) bezeichnet, auch wenn die Eigenschaften und das Verhalten weit über den Begriff der Daten an sich hinausgehen.

BEISPIEL 1 Produktion, Produkt und Lebenszyklus werden häufig als Dimensionen der Fertigung unterschieden, wobei die Mitglieder der Produktion Elemente sind, die an der Produktion eines Ergebnisses beteiligt sind, das Produkt Elemente des erzeugten Ergebnisses enthält und die Elemente des Lebenszyklus Aktivitäten umfassen, die entweder mit der Produktion oder dem Produkt verbunden sind.

Nachdem die Typqualifikation für die Zugehörigkeit zu einer Dimension festgelegt wurde, können die verschiedenen modellierten Aspekte von SM in Bezug auf diese Dimension identifiziert werden, wobei die Aspektmerkmale die Typdeklaration dieser Dimension enthalten.

Die nächste Voraussetzung dafür, dass ein Aspekt Mitglied einer Dimension sein kann, ist die Teilnahme an einer Beziehung zu anderen Mitgliedern der Dimension. Die Beziehung kann mereologischer Natur sein, eine logische Sortierreihenfolge oder eine andere logische Beziehungsdeklaration.

ANMERKUNG 4 Oftmals führt die Typdeklaration zu einer logischen Deklaration zwischen Mitgliedern desselben Typs.

Die letzte Voraussetzung dafür, dass ein Aspekt Mitglied einer Dimension sein kann, ist die Auswahl nach der Relevanz für den Zweck der Modellierungsaktivität. In der Regel wählt der Modellierer aus den Aspekten, die die Bedenken der Geschäftsinteressenten berücksichtigen, diejenigen aus, die die beiden anderen Voraussetzungen erfüllen.

BEISPIEL 2 IEC TR 63319 [4] bietet eine ausführliche Erläuterung der Aspektmitglieder, die von verschiedenen Referenzarchitekturen für drei verschiedene Modellierungsdimensionen nach ihrer Relevanz für den Modellierungszweck ausgewählt wurden: Lebenszyklus, Hierarchie und Schicht.

Die Ähnlichkeitsbeziehung zwischen den Dimensionen, die durch 1) eine Typendeklaration, 2) aspektübergreifende Beziehungen und 3) eine Auswahl nach Relevanz für den Zweck der Modellierung gekennzeichnet ist, kann auch zu einer Einschlussbeziehung führen, die die Beteiligung von Aspekten an einer Dimension einschränkt.

ANMERKUNG 5 Für einen bestimmten Aspekt kann die Zuweisung zu einer Dimension variieren, wenn sich der Zweck der Modellierung, die Typdeklaration und die Aspektbeziehungen oder die Charakterisierung des Aspekts ändern.

7.2.2 Gruppen von Dimensionen als analytischer Rahmen für die intelligente Fertigung

Ein Modellierungsrahmen, wie er in Anhang B beschrieben ist, kann sowohl zur Entwicklung eines neuen Systems oder einer neuen Anwendung als auch als Grundlage für die Analyse eines bestehenden Systems oder einer bestehenden Anwendung dienen. Die Untersuchung der Entitäten und Beziehungen des semantischen Modells, das die Aspekte innerhalb einer Dimension miteinander verbindet, liefert nützliche Informationen für die Bewertung von Problemen und Möglichkeiten im Zusammenhang mit Änderungen am modellierten System oder der Anwendung. Da die Aspekte jedoch vom gleichen Typ und Mitglieder desselben semantischen Modells der Dimension sind, wird diese Untersuchung sehr wahrscheinlich keine Informationen über Aspekte in anderen Dimensionen des Systems oder der Anwendung liefern.

Um die Auswirkungen der Veränderungen, einschließlich potenziell störender Ereignisse, ausreichend zu verstehen, müssen auch die Folgen für Aspekte jenseits der einzelnen Dimensionen untersucht werden. Die Anzahl der sonstigen Aspekte und die Anzahl ihrer jeweiligen Dimensionen hängen zwangsläufig von den verfügbaren expliziten Modellierungsdimensionen, den in diesen Dimensionen enthaltenen Aspekten und der Robustheit des zu jeder Dimension gehörenden semantischen Modells ab. Der Zweck der Modellierung hat erheblichen Einfluss auf die Auswahl der verfügbaren Dimensionen, auf die Auswahl der einzubeziehenden Aspekte und darauf, wie robust ein semantisches Modell ist. Darüber hinaus sollte das Ausmaß der Abstraktion geeignet sein, um die intellektuellen Herausforderungen zu bewältigen, die bei einer hohen Detailgenauigkeit problematisch sein können.

ANMERKUNG Die robuste Qualität eines semantischen Modells bezieht sich sowohl auf die Genauigkeit seiner Darstellung der Realität, die es modellieren soll, als auch auf seine Stabilität gegenüber geringfügigen Änderungen dieser Realität. Verschiedene Arten von semantischen Modellen werden mit unterschiedlichen Methoden bewertet, z. B. können konträre Beispiele dazu beitragen, die Robustheit eines für das maschinelle Lernen verwendeten neuronalen Netzwerks zu bestimmen [33], während Attribute wie Solidität, Vollständigkeit, Klarheit und Lakonie dazu beitragen können, die Robustheit eines Objekt-Prozess-Modells zu bestimmen [34].

Bei der Betrachtung von mehr als einer Dimension muss darauf geachtet werden, dass deren Abstraktionsgrad und Detailgenauigkeit in etwa gleichwertig sind. Daher müssen bei der Konstruktion oder Analyse eines mehrdimensionalen Modellierungsrahmens die beteiligten Dimensionen in etwa den gleichen Abstraktionsgrad aufweisen, in ihren semantischen Modellen ungefähr den gleichen Detaillierungsgrad haben und mit dem Zweck des Modellierungsrahmens vereinbar sein. Fehlt eine solche grobe Äquivalenz, müssen im Analyseprozess disparate Informationsquellen offengelegt und berücksichtigt werden.

Bei der Zusammenstellung von Dimensionen, die Gruppen von Aspekten sind, zu einer Facette mit mehr als einer Dimension, weisen Warfield und Christakis [35] auf zwei weitere Auswahlkriterien hin, die angewendet werden müssen:

- Die Einbeziehung der Dimension ermöglicht eine genauere Beschreibung des Systems, die nicht möglich ist, wenn die Dimension weggelassen wird;
- Die Einbeziehung der Dimension impliziert, dass die bei der Bemessung getroffenen Entscheidungen das Verhalten in einer Weise verändern, die ohne die Dimension nicht möglich wäre.

ANMERKUNG 1 Im Metamodell von IEC TR 63319 [4] wird das Konzept des Modellierungsrahmens als „facette“ (Facette) und das Kriterium für die Aufnahme in einen Modellierungsrahmen als „facet_composition_rule“ (Facetten-Zusammensetzungsregel) gekennzeichnet.

Darüber hinaus ist es mit einem Modellierungsrahmen mit zu wenigen Dimensionen nicht möglich, den Zweck der Modellierung zu erreichen, da die erforderliche Beschreibungsvielfalt nicht vorhanden ist. In technologiebasierten Rahmen fehlt häufig die Berücksichtigung der menschlichen Entscheidungsfindung. Andererseits ist es mit einem Modellierungsrahmen mit zu vielen Dimensionen nicht möglich, den Zweck der Modellierung zu erreichen, da die auferlegten Aspekte die Benutzer überfordern und sie nicht effektiv reagieren können. Ein minimalistischer Ansatz bei der Auswahl der Dimensionen kann das menschliche Urteilsvermögen so fokussieren, dass es die kurzfristigen kognitiven Fähigkeiten nicht übersteigt oder die Physiologie des Menschen nicht überfordert. Schließlich helfen prominente Dimensionen dabei, sicherzustellen, dass bei den Entscheidungen das verfügbare Wissen optimal genutzt wird [35]. So können hervorgehobene Dimensionen von ausreichender, aber minimaler Vielfalt die Detailtreue des Modellierungsrahmens im Hinblick auf den Zweck, für den er erstellt und verwendet wird, sicherstellen. Gründlich ausgewählte Dimensionen von modellierten Aspekten sind die deskriptive Vorstufe zur präskriptiven Analyse.

ANMERKUNG 2 Durch die Lockerung der Beschränkungen einer Gruppe von Aspekten oder eines Rahmens von Dimensionen kann ein analytischer Rahmen geschaffen werden, der mehr Möglichkeiten zur Untersuchung der Interaktionen von Aspekten bietet. Da diese Beschränkungen jedoch gelockert sind, ist die Detailtreue der Analyse gefährdet und es ist große Sorgfalt erforderlich, um die Analyseergebnisse so auszudrücken, dass eine zuverlässige Interpretation sichergestellt ist. Siehe weiterführende Erläuterung in 7.3.

7.2.3 Gruppen von Lebenszyklusphasen als Dimensionen der intelligenten Fertigung

Die in 6.11 vorgestellte Unterscheidung zwischen Lebenszyklusphasen und Lebensverlaufsphasen gewinnt an Bedeutung, wenn beide als Dimension eines analytischen oder synthetischen Modellierungsrahmens betrachtet werden. Das semantische Modell einer Lebenszyklusdimension sollte sich auf Mechanismen zur Identifizierung von Abhängigkeiten und Ähnlichkeiten zwischen den in verschiedenen Lebenszyklusphasen verwendeten Modellen durch die anderen Dimensionen des Modellierungsrahmens konzentrieren. Das semantische Modell einer Lebensverlaufsdimension sollte sich auf Mechanismen zur Erfassung und Aufzeichnung von Instanzen der Ausführung von Lebenszyklusaktivitäten konzentrieren, einschließlich Initiierungsbedingungen, Ausgaben und Abbruchbedingungen. Ersteres ist oftmals nützlicher bei der Synthese unter Verwendung eines Referenzmodells, während letzteres oft nützlicher bei der Analyse unter Verwendung eines Referenzmodells ist.

ANMERKUNG Bei einem semantischen Modell für eine Dimension sind die internen Abhängigkeiten bereits identifiziert

Da sich Lebensverläufe im Allgemeinen nicht oder nur an bestimmten Meilensteinen ausrichten, kann ein Modellierungsrahmen mehr als eine lebensorientierte Dimension erfordern, um seinen Zweck zu erfüllen. So verhält es sich mit einem Modellierungsrahmen, der sowohl eine Produktions- als auch eine Produktdimension benötigt. Sie sind aneinander angeglichen, während das Produkt in der Produktion entsteht, haben aber ansonsten einen relativ unterschiedlichen Lebensverlauf und können abgesehen von der Produktion keine Interaktion ihrer jeweiligen Aspekte haben.

Eine lebensorientierte Dimension muss ihren Zweck innerhalb eines Modellierungsrahmens klar erkennen lassen und angeben, ob sich ihre Aspekte auf die Identifizierung und Segmentierung von Lebenszyklustätigkeiten oder auf die Aufzeichnung des Lebensverlaufs der ausgeführten Tätigkeiten beziehen.

7.3 Verwendung eines semantischen Modells für analytische Schlussfolgerungen in der intelligenten Fertigung

Ein Referenzmodell für SM sollte es ermöglichen, sowohl die bestehenden Fertigungsbetriebe als auch die potenziellen Folgen der Einführung von Veränderungen in dem jeweiligen Betrieb zu analysieren, insbesondere solche Veränderungen, die störender Natur sind. Ein Modellierungsrahmen aus Aspekten und zugehörigen semantischen Modellen ermöglicht die direkte Untersuchung der explizit identifizierten Objekte und Beziehungen der semantischen Modelle. Wenn es Gemeinsamkeiten bei den Objekten oder Mustern zwischen diesen Modellen gibt, sind gewisse Rückschlüsse auf Interaktionen möglich. In manchen Situationen ist diese begrenzte Untersuchung ausreichend.

Um die Untersuchung von Interaktionen zu erleichtern, sollten Such- und Navigationstools zur Verfügung stehen. Bevorzugt werden Tools, bei denen die Suche nach Schlüsselwörtern oder Phrasen und die Navigation auf Grundlage der Suchergebnisse integriert sind und die auf viele verschiedene Arten von Modellierungsrahmen angewendet werden können.

Die Verfügbarkeit leistungsfähiger Analyse-Engines bietet jedoch zusätzliche Möglichkeiten zur Untersuchung, insbesondere im Hinblick auf die Folgen dynamischer Veränderungen. Um die meisten Analyse-Engines oder -Verfahren verwenden zu können, werden für die semantischen Modelle Formulare benötigt, die der Eingabespezifikation der jeweiligen Engine oder des Verfahrens entsprechen.

ANMERKUNG Ein Grund für die Verwendung der in 6.12.1 und 6.12.2 genannten Formulare ist die Erleichterung des Übergangs zu dem für Analyse-Engines und -Verfahren erforderlichen Formular.

Wenn man über die Untersuchung der Interaktionen zwischen den Aspekten innerhalb einer Dimension hinausgeht und die Interaktionen zwischen den Aspekten verschiedener Dimensionen betrachtet, sind zwei Beobachtungen von besonderem Interesse. Erstens, wenn zwei Dimensionen von Aspekten in eine orthogonale Konfiguration gebracht werden, bilden sie eine Matrix, die durch jede der dimensional Gruppen von Aspekten ausgerichtet ist, und bieten die Möglichkeit, verschiedene Verfahren der Matrixmanipulation für die Analyse zu verwenden. Zweitens werden Aspekte vieler Dimensionen als Schichten von Aspekten charakterisiert, die ein geschichtetes Netzwerk von Aspekt-Elementen bilden, das mit dem semantischen Modell der Dimension übereinstimmen kann oder einfach ein Artefakt der Aspekt-Spezifikationen ist. In jedem Fall können die Verfahren der mehrschichtigen Analyse von Netzwerken nützliche analytische Ergebnisse liefern [34].

Es ist auch ein Ansatz möglich, der Matrixmanipulationen in Form von benachbarten Darstellungen und die Analyse von mehrschichtigen Netzwerken kombiniert [36].

7.4 Identifizierung sinnvoller Interaktionen von Dimensionen

Nicht alle Interaktionen von Aspekten, weder innerhalb einer Dimension noch zwischen Dimensionen, haben eine praktische Bedeutung für den Zweck der Verwendung des Referenzmodells. Nur wenn das mit einem Aspekt verbundene semantische Modell ein oder mehrere Merkmale mit anderen Aspekten gemeinsam hat, ist ihre Interaktion potenziell sinnvoll. Innerhalb und über die Dimensionen hinweg muss ein intelligentes Fertigungsmodell alle semantischen Modellmerkmale identifizieren, die mit dem semantischen Modell eines anderen Aspekts gemeinsam auftreten.

ANMERKUNG Gemeinsame Merkmale sind bestimmte Modellierungselemente, die oft in das semantische Modell eingebettet sind und mit Kriterien für die Kohärenz der Dimensionen verbunden sind, die die an einer Interaktion beteiligten Aspekte charakterisieren.

BEISPIEL Eine Dimension des Produktlebenszyklus und eine Dimension des Produktionslebenszyklus haben während der Herstellung des Produkts offensichtlich viel gemeinsam, zu Beginn oder am Ende ihrer jeweiligen Lebenszeit jedoch weit weniger oder überhaupt nichts.

Auch der Zweck der dimensionalen Modellierung von Aspekten kann die Relevanz von Aspektinteraktionen beeinflussen. Aspektinteraktionen zwischen Dimensionen, die über den Zweck der Modellierung hinausgehen, sind üblicherweise für diese Bemühungen bedeutungslos. Daher bestimmt der Zweck der Modellierung der intelligenten Fertigung den Anwendungsbereich der für diesen Zweck bedeutsamen Aspektinteraktionen.

7.5 Auswahl der Dimensionen von Facetten basierend auf Bedenken

Entwickler von SM-Normen sollten über Expertenwissen zu den Bedenken der Geschäftsinteressenten und den damit verbundenen Sichten bei der Anwendung von SM-Technologien verfügen. Aufgrund der Vielfalt der Bedenken und Technologien, mit denen die Entwickler von SM-Normen möglicherweise konfrontiert werden, müssen die Ergebnisse der Modellansicht und der Analyse die beste Auswahl geeigneter Aspekte und Dimensionen zur Strukturierung von Facetten bestimmen, die den Bedürfnissen der Geschäftsinteressenten am meisten entsprechen. Sofern möglich und zweckmäßig, kann eine bestehende Facette oder ein Teil davon verwendet werden.

BEISPIEL Das Zweckkriterium der Sinnhaftigkeit ist die Fähigkeit, eine Anleitung für die systematische Extraktion einer Facette, die aus einer oder mehreren Dimensionen besteht, darzustellen, sei es als Referenz oder für die Implementierung, über die gesamte Fertigung hinweg, mit besonderem Augenmerk auf die Einbeziehung des SM-Paradigmas und die Weiterentwicklung desselben.

Der Rest dieses Unterabschnitts stellt ein Beispiel dar, das die Konzepte des URMSM auf das Problem eines Entwicklers von Normen anwendet, die Bedenken der Geschäftsinteressenten mit den verfügbaren Ressourcen für Aspekte abzugleichen, um diese Bedenken zu beseitigen.

Wenn ein Entwickler von SM-Normen Zugriff auf ein Repository bestehender SM-bezogener Facetten hat, kann er Facetten mit mehreren Dimensionen für eine bestimmte Kombination von Bedenken der Geschäftsinteressenten und damit verbundenen Sichten verwenden. Der folgende Ansatz legt die Reihenfolge der Aktivitäten fest, mit denen Entwickler von SM-Normen geeignete Modellinhalte aus einem Modell-Repository für eine bestimmte SM-Initiative auswählen können. Bei diesem Ansatz wird die Terminologie von ISO/IEC/IEEE 42010 angepasst, um die betrachteten und erzeugten Artefakte durch einen analytischen Mechanismus von der Wahrnehmung des Bedarfs bis zur Realisierung der Facette für die intelligente Fertigung zu kennzeichnen.

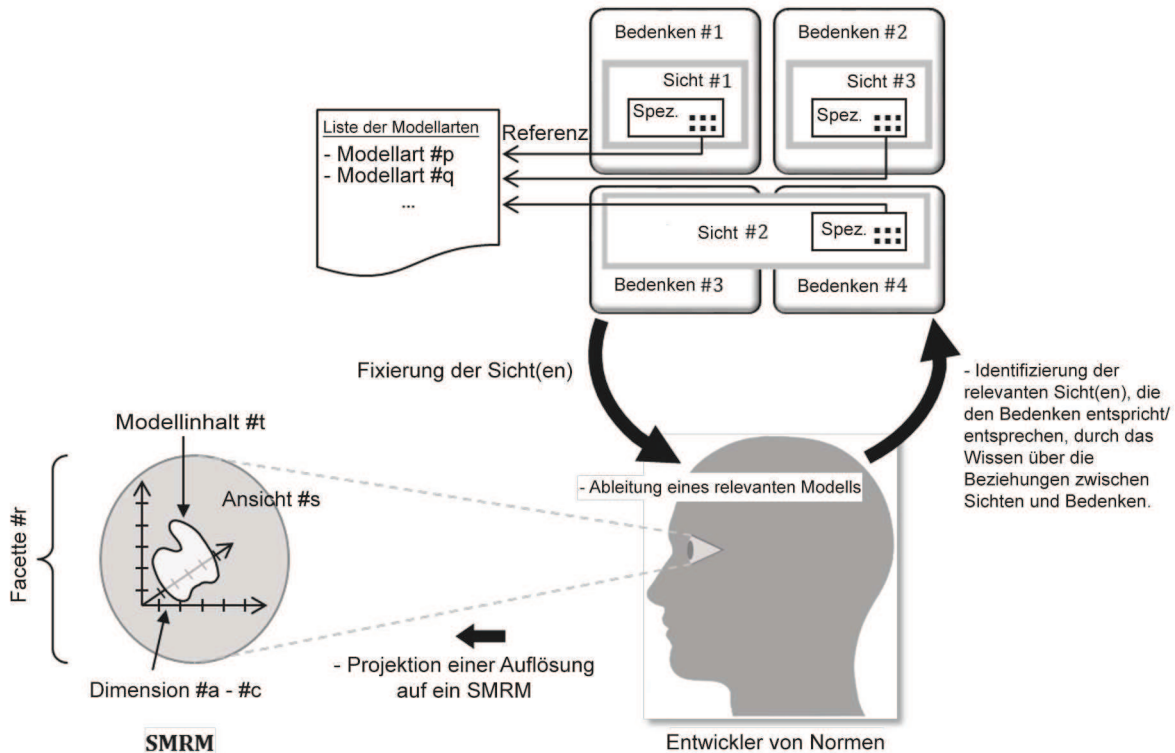


Bild 2 – Wiederverwertung von Facetten aus Sicht eines Entwicklers von SM-Normen

Bild 2 zeigt ein typisches Szenario für die Wiederverwertung von Facetten. Da die Festlegung einer Sicht die Modellarten #p und #q festlegt und die Kombination von Bedenken und Perspektiven zur Identifizierung der Dimensionen #a - #c führt, ist die Facette #r die Quelle für relevante Inhalte aus den zugehörigen semantischen Modellen, die die Paradigmen der Modellarten verwenden.

BEISPIEL 1 Wenn das semantische Modell einer der Dimensionen relevante Normen oder eine Taxonomie der Terminologie enthält, kann der Facetteninhalt eine Liste relevanter Normen und relevanter Terminologien sein, die die Bedenken des Geschäftsinteressenten berücksichtigen.

Bild 3 zeigt den verfahrenstechnischen Rahmen, der sich aus dem typischen Szenario der Wiederverwertung von Facetten ergibt, mit einem Ablauf von rechts nach links. Nachdem die Sicht(en) gefunden wurde(n), die den identifizierten Bedenken der Geschäftsinteressenten Rechnung trägt (tragen), sind sowohl das (die) modellartige(n) Paradigma / Paradigmen als auch die Spezifikation(en) der Sicht(en) verfügbar. Diese Ansicht(en) verweist/verweisen auf den/die Aspekt(e), der/die die Ansicht(en) verwendet/verwenden und somit auf die Dimension(en), in der/denen der/die Aspekt(e) erscheint/erscheinen. Angesichts des/der identifizierten Aspekts/Aspekte und Dimension(en) stehen das/die semantische(n) Modell(e) und sein/ihr Modellinhalt, ausgedrückt in dem Modellartparadigma, zur Verfügung.

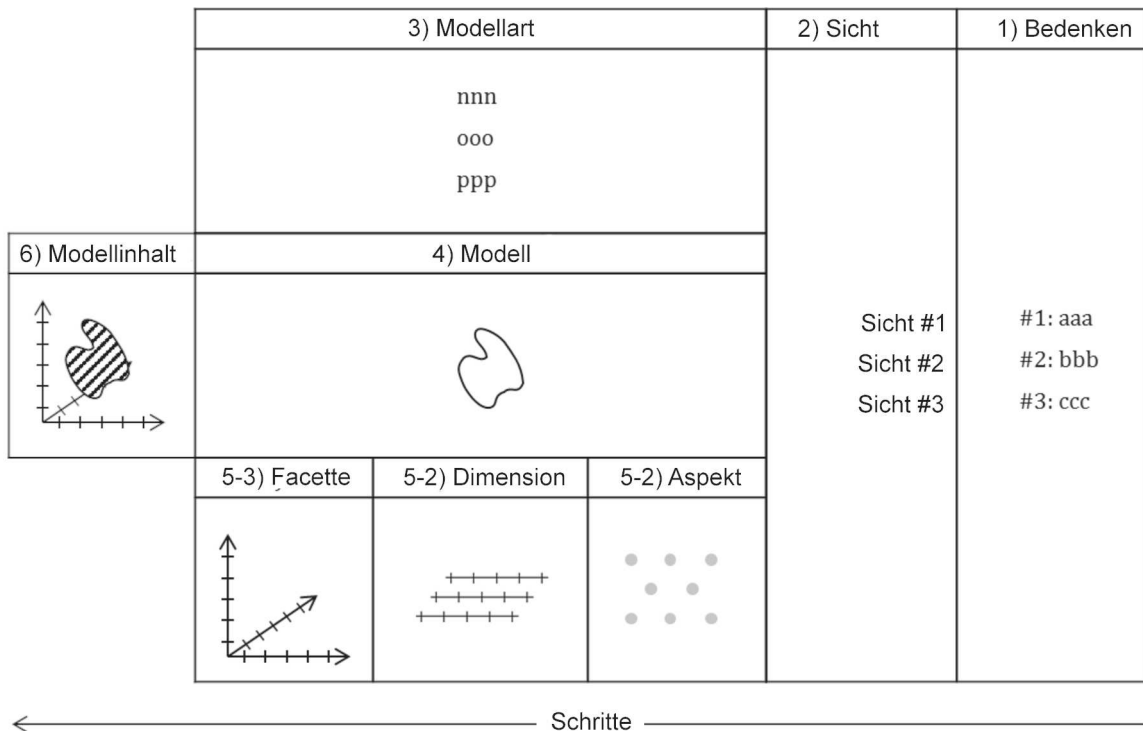


Bild 3 – Projektionsschritte für Entwickler von Normen

Ein ähnlicher Verfahrensablauf ist möglich, wenn keine existierende Facette verfügbar ist, aus der geeignete Inhalte extrahiert werden können, um die Bedenken des Geschäftsinteressenten zu berücksichtigen. In diesem Szenario einer einzigen Modell- und Ansichtsspezifikation wird der Modellinhalt wie folgt erstellt, um den spezifischen Zweck der Modellierung zu erfüllen:

- 1) Anerkennen und Dokumentieren der Bedenken des Geschäftsinteressenten;
- 2) Identifizierung der relevanten Sicht, die den dokumentierten Bedenken entspricht, durch Anwendung von Fachkenntnissen im Bereich SM-Modellierung;
- 3) Verifizierung der entsprechenden Modellart aus der Sicht die Bedenken berücksichtigen kann;
- 4) unter Verwendung des modellartigen Paradigmas die Erstellung eines Modells, bei dem die projizierte Ansicht der Sicht entspricht, die für die Berücksichtigung der Bedenken erforderlich ist;
- 5) Iteration die folgenden Schritte, bis eine erstellte Facette die Anforderungen an die Relevanz erfüllt;
 - i) Erkennen von Aspekten, die aus der Modellansicht zusammengestellt wurden;
 - ii) Festlegung einer geeigneten Dimension für jeden erkannten Aspekt und Verifizieren von Aspekten desselben Typs innerhalb der gleichen Dimension in Bezug auf den Zweck der Modellierung;
 - iii) Konstruktion einer Facette auf Grundlage der identifizierten Dimension;
- 6) Instanziierung von praktischen Modellinhalten der für die Facette festgelegten Modellansichten.

ANMERKUNG Die in IEC TR 63319 [4] enthaltenen nationalen Modelle bieten eine Anleitung dazu, wie die Iteration in 5) in Bezug auf einen bestimmten Zweck der Modellierung erfolgen kann.

7.6 Rahmen als Darstellung von Interaktionen

Die visuelle Darstellung von Aspektinteraktionen kann verschiedene Formen annehmen: grafische Darstellungen semantischer Modelle, Rahmen mit Gruppen von Aspekten oder Aspektmerkmalen, Raster oder Matrizen, verschachtelte grafische Objekte und mehrere Dimensionen als Projektionen von Aspekten oder Gruppen von Aspekten sind häufige Rahmenformen. Gelegentlich werden mehrere Formen der visuellen Darstellung in einer einzigen Visualisierung kombiniert.

ANMERKUNG 1 Grafische Darstellungen sind ebenso repräsentativ wie semantische Darstellungen, die verschiedene Klassen von Artefakten verwenden.

ANMERKUNG 2 Bei der Verwendung von mehr als einer Darstellungsform für eine einzelne Visualisierung muss darauf geachtet werden, dass der Betrachter die Interpretation der verschiedenen Darstellungen nicht mit der Interpretation der einzelnen Visualisierung verwechselt, bei der üblicherweise versucht wird, die verschiedenen Interpretationen zu einer Interpretation auf einer ganz anderen Granularität zusammenzufassen oder zu kombinieren.

ANMERKUNG 3 IEC TR 63319 [4] stellt viele verschiedene Formen der Visualisierung dar. Wenn es sich bei den dargestellten Dimensionen um kohärente Gruppen von Aspekten handelt, ist die sich daraus ergebende Darstellung von Interaktionen eine Facettenvisualisierung.

Wenn Aspekte innerhalb eines semantischen Modells miteinander in Beziehung stehen, werden in dem Modell üblicherweise Beziehungen identifiziert, die als Grundlage für Interaktionen dienen. Je nach dem verwendeten formalen Syntax können die Interaktionen explizit oder implizit sein, wobei erstere als benannte oder gekennzeichnete Interaktionen bezeichnet werden und letztere aus dem Kontext ihrer Spezifikation abgeleitet werden können. Um fehlende oder falsch interpretierte Interaktionen zu vermeiden, müssen Aspekte, die in einem semantischen Modell enthalten sind, soweit dies im Rahmen des Zwecks dieses Modells möglich ist, die Interaktionen mit anderen Aspekten explizit machen. (siehe Anhang G)

ANMERKUNG 4 Fehlende oder falsch interpretierte Interaktionen von Aspekten können erhebliche Risiken mit sich bringen.

Eine URMSM-konforme SMRM-Facette muss aus Containern bestehen, die sich aus semantisch überschneidenden Aspekten innerhalb und zwischen kohärenten Dimensionen ergeben. Wenn Aspekte innerhalb eines Rahmens miteinander verbunden sind, stellt die Struktur des Rahmens Container bereit, in denen Interaktionen stattfinden oder zwischen denen Interaktionen stattfinden. Die Container innerhalb eines Rahmens ergeben sich aus den sich überschneidenden Dimensionen des Rahmens und werden oft als Zellen oder Loci des Rahmens bezeichnet. Sofern der Rahmen nicht über ein entsprechendes semantisches Modell verfügt, z. B. eine URMSM-konforme Facette, sind Aspektinteraktionen über die mögliche Ausführungsreihenfolge hinaus üblicherweise impliziert und Abhängigkeiten zwischen Aspekten oftmals verborgen. Anstelle eines festgelegten semantischen Modells stützen sich Rahmen üblicherweise auf Textbeschreibungen der Erwartungen bezüglich der Inhalte von Rahmencontainern und der Beziehungen zu anderen Containern. Rahmen müssen zumindest Container, z. B. beschriftete Zellen, Loci, Knoten oder Objekte, als Schnittpunkte aufzählen, die Aspekte oder Gruppen von Aspekten bezeichnen, die für die Anwendungsdomäne relevant sind. Grafisch sollten Beziehungen zwischen Containern durch Bögen gekennzeichnet werden, die die Art der Beziehung angeben. Eine SMRM-Facette, die mit URMSM konform ist, muss die Kohärenzkriterien für ihre Gruppe von Aspekten enthalten. Ein semantisches Modell oder mehrere Modelle sollten diese Aspekte zueinander in Beziehung setzen. Siehe Anhang F für Beispiele von Rahmen als IDEF0-Diagramme.

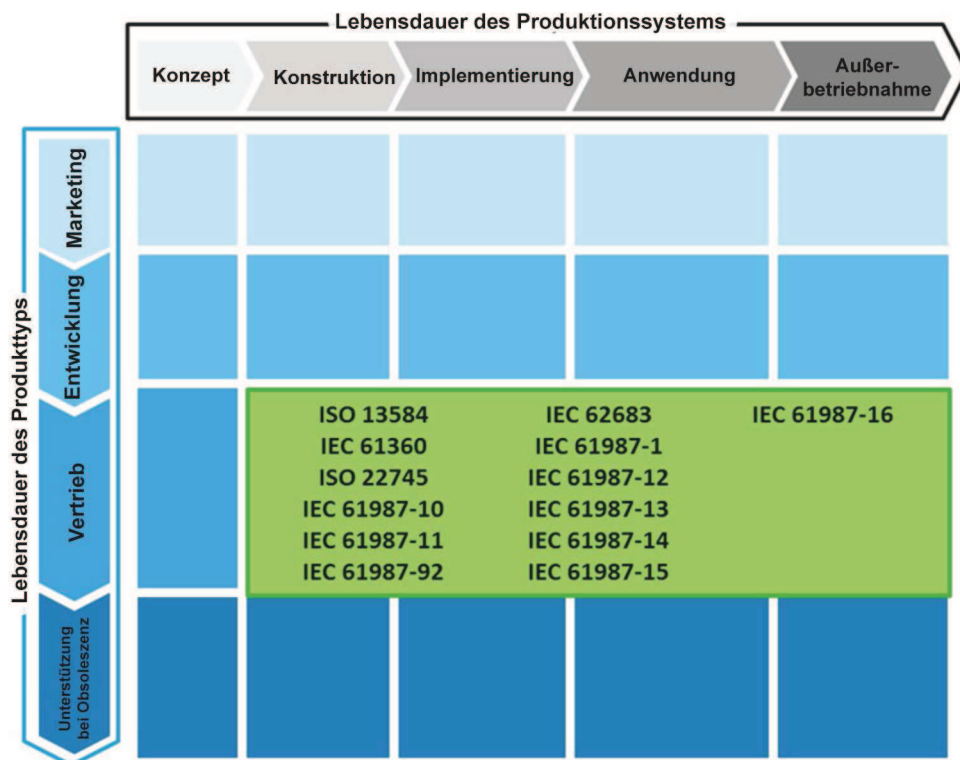
Die Bilder 4 bis 6 zeigen verschiedene Arten von Visualisierungen, die verschiedene Wechselwirkungen zwischen den Aspekten von SM darstellen.

		Identification		Hierarchy										Life cycle										Integration			
Reference		Title		Equipment hierarchy				Functional hierarchy						Product type life cycle			Product instance life cycle			Production system life cycle							
Status	Standard number	Standard title	Enterprise	Facility	Station	Device	Connected world	Business (L4)	Operations management (L3)	Control (L2)	Sensors and actuators (L1)	Process (L0)	Product	Marketing	Development	Sales	Obsolescence support	Manufacturing	Transport & stock	Use	Disposal	Concept	Design	Implementation	Use	Retirement	Integration
Publication	IEC 61158-2	Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part 2: Physical layer specification and service definition	-	-	1	1	-	-	-	1	1	1	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	1	1	1	-	-
Publication	IEC 61158-X-Y	Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part x-y: Data-link & Application layers service definition & protocol specification - Type y elements	-	-	1	1	-	-	-	1	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	1	1	1	1	-	-

Quelle: IEC 63306-1 [27]

Bild 4 – Eine eindimensionale Rahmendarstellung

Wenn Aspekte als Gruppen von Aspekten oder Aspektmerkmalen in einem zweidimensionalen Raster oder einer Matrix miteinander in Beziehung stehen, dienen die Zellen als Container für die Interaktionen der Aspekte. Jede Zelle muss mindestens eine Interaktion zwischen dem Spaltenaspekt, der Gruppe von Aspekten oder einer Modellvariante davon und einer aus dem Zeilenaspekt, der Gruppe von Aspekten oder einer Modellvariante davon enthalten. Viele Analysetechniken stützen sich auf diese Art von Rahmenstruktur, um paarweise Vergleiche von Aspektinteraktionen zwischen benachbarten Zellen zu ermöglichen.

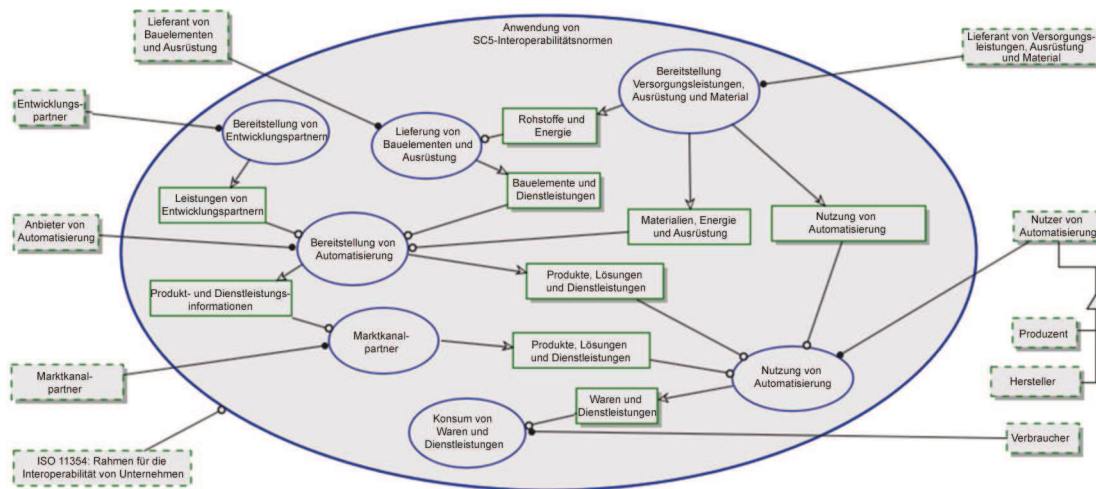


QUELLE: IEC 63306-1 [27]

Bild 5 – Eine zweidimensionale Rahmendarstellung

Wenn Aspekte innerhalb von verschachtelten grafischen Objekten miteinander in Beziehung stehen, schränkt das Ausmaß der Eingrenzung üblicherweise die Interpretation von Aspektinteraktionen ein. Beobachter verwechseln die Einschließung interagierender Objekte innerhalb eines beschrifteten grafischen Symbols häufig mit einem Ausdruck der Gemeinsamkeit oder Gruppenzugehörigkeit zwischen den enthaltenen

Objekten, ähnlich wie bei einer Gruppen- oder Mengenbezeichnung. Grafische Darstellungen müssen eindeutig zwischen Containern, die zur Anzeige von Interaktionsbeziehungen vorgesehen sind, und Containern, die zur Anzeige der Gruppenzugehörigkeit dienen, unterscheiden.



Quelle: ISO/TC 184/SC 5 N1111 [37]

Bild 6 – Verschachtelte Prozesse (mittleres Oval) und Benutzermitglieder (rechts)

ANMERKUNG Hinter den verschachtelten grafischen Objekten ist eine Art Logik erster Ordnung erforderlich, um die Simulation und damit die operative Semantik des festgelegten Gittersystems zu steuern. Die Erwartung einer Analyse, die auf verschachtelten grafischen Objekten basiert, ist irreführend, da verschachtelte grafische Objekte nur der grafischen Benutzeroberfläche des Graphsimulators dienen, der eine Situation darstellt, aber nicht die implizite Semantik hinter der Darstellung, wie sie durch die bezeichneten Interaktionen ausgedrückt wird, ausführen.

Wenn Aspekte über mehr als zwei Dimensionen hinweg miteinander in Beziehung stehen, üblicherweise als Projektionen von Aspekten oder Gruppen von Aspekten aus einer Dimension verwandter Aspekte, findet die Aspektinteraktion sowohl innerhalb als auch zwischen den Loci statt, die sich am Schnittpunkt der Dimensionen bilden. Das Verständnis dieser Interaktionen wird durch die größere Anzahl von interagierenden Aspekten erschwert. Da die Anzahl der interagierenden Aspekte und die entsprechenden Freiheitsgrade im Verhalten interagierender Prozesse und konzeptioneller Objekte zunehmen, geht deterministisches Verhalten häufig in unbestimmte Situationen mit emergentem Verhalten über, was zu einer Komplexität führt, die schwer zu verstehen, zu analysieren und zu verwalten ist.

Angesichts der kognitiven Schwierigkeiten bei der richtigen Interpretation, die Visualisierungen von mehr als drei (3) Dimensionen mit sich bringen, sollten Visualisierungen von Rahmen mit mehreren Dimensionen auf drei (3) Dimensionen beschränkt werden. Diese Empfehlung schränkt jedoch die Verwendung anderer Visualisierungsmethoden nicht ein, um komplizierte oder komplexe Modellierungssituationen grafisch darzustellen. Die folgenden Methoden können nützlich sein, wenn mehr als drei (3) Dimensionen erforderlich sind, um die Bedeutung zu vermitteln:

- 1) Zusammenfassen von zwei Dimensionen zu einer einzigen Dimension mit Revision als ein einziges semantisches Modell der konsolidierten Aspekte;

BEISPIEL 1 Zusammenführung von Geschäft und Produktion in einer Dimension

- 2) Erweiterung eines Locus von sich überschneidenden Aspekten unter Verwendung eines subsidiären Rahmens von einer, zwei oder drei Dimensionen, wobei die sich am Locus überschneidenden Aspekte sich von den Aspekten innerhalb des subsidiären Rahmens unterscheiden;

BEISPIEL 2 Japan IVRA und SMU

- 3) Erzeugung mehrerer Rahmen, indem eine oder zwei Dimensionen in jedem wiederholt werden, bis alle relevanten Dimensionen in einer oder mehreren Rahmenvisualisierungen enthalten sind;

BEISPIEL 3 ISO 11354-1

- 4) Bereitstellung von Annotationen zu einer Rahmenvisualisierung, die auf zusätzliche Aspekte oder Gruppen von Aspekten hinweisen, die für den Zweck der Modellierung von Bedeutung sind;

BEISPIEL 4 RAMI4.0 Hinzufügen von „Produkt“ zur Dimension „Hierarchie“

- 5) Bereitstellung einer Kombination von Visualisierungsformen innerhalb eines einzigen grafischen Bildes;

BEISPIEL 5 OF1-SM2 als Zusammensetzung von SM2 mit linearem Rahmen, 2D-Fläche und 3D-Würfel.

- 6) Bereitstellung von Overlay-Anmerkungen für zusätzliche verwandte Dimensionen.

BEISPIEL 6 SSIF sowie GERA und ANHANG A

8 Verwendung des URMSM

8.1 Nutzen eines Referenzmodells für die intelligente Fertigung

Ein SM-System ist ein kompliziertes und oft komplexes System von Systemen, in dem viele zusammenwirkende, konkurrierende und möglicherweise widersprüchliche Systeme über vereinheitlichte, föderierte oder integrierte Ansätze miteinander verbunden sind [4]. Die Verwaltung dieser komplizierten und oft komplexen Interaktion vieler Entitäten, von denen einige gut definierte Systeme sind, erfordert geeignete standardisierte Schnittstellen und harmonisierte Geschäftsprozesse, um die miteinander verbundenen Interaktionen zu reduzieren. Die Modellierung bietet systematische Verfahren, die den gesamten Lebenszyklus der Systementwicklung, -nutzung und -abschaltung unterstützen und alle SM-Vorteile ermöglichen, während sie gleichzeitig die Schwierigkeiten und die Komplexität der Interaktionen zwischen den einzelnen Komponenten bewältigen. Ein SMRM muss einen Rahmen für die Vorbereitung der Interoperabilität zwischen den Bestandteilen sowie eine Anleitung für die Ableitung der Architektur und den Systementwurf bieten. Entwickler von SM-Systemen und Anwender sollten ein SMRM verwenden, um den Entwicklungsprozess zu unterstützen, und Entwickler von SM-Normen sollten ein SMRM verwenden, um die Kohärenz und Kompatibilität der entwickelten Normen sicherzustellen.

Ein SMRM legt die relevanten Aspekte der Fertigung mit angemessener Abstraktion fest, einschließlich der einzelnen Aktivitäten, Prozesse, Ressourcen und Informationen mit spezifischen Beziehungen zwischen den einzelnen Bestandteilen. Ausgehend von einem URMSM-konformen SMRM können systematisch spezifischere Modelle abgeleitet werden, um ein Modell für die Konfiguration und die Implementierung des Zielsystems zu erhalten.

Die Präzisierung und Normung eines SMRM auf verschiedenen Abstraktionsebenen ist erforderlich, um die Effizienz der Entwicklungsprozesse durch die Wiederverwertung der einzelnen Assets in der Systementwicklung und im Betrieb zu verbessern. Ein SMRM kann auch als Anleitung zur effektiven Nutzung bestehender Normen und zum Aufspüren von Lücken Bezug auf fehlende Normen verwendet werden.

Das URMSM schafft einen Rahmen für die Verwendung von Gruppen von Entitäten und Beziehungen, um die Erstellung von SMRM zu ermöglichen, die eine Anleitung für die Spezifikation von Aspekten der Fertigung bieten, von der Konzeption eines Fertigungssystems oder eines hergestellten Produkts bis zu seiner Außerbetriebnahme oder Entsorgung. Ein SMRM sollte diese Aspekte der Fertigung identifizieren und aufzeigen, wie sie bei der Entwicklung eines SM-Modells für ein bestimmtes Industrieunternehmen anzuwenden sind.

8.2 Industriespezifische Anwendung des URMSM

SM-Systeme werden weltweit entwickelt, was zu vielen möglichen Systemdarstellungen und Referenzmodellen führt, die jeweils für einen anderen Zweck vorgesehen sind. IEC TR 63319 [4] zeigt deutlich die Vielfalt der existierenden SMRM auf und macht deutlich, dass es erforderlich ist, diese Modelle zu harmonisieren, um ein einheitliches Verständnis für die Modellierung von SM-Systemen zu ermöglichen.

Wie in Bild 7 dargestellt, ist das URMSM in vielen Bereichen anwendbar, indem die verallgemeinerte Spezifikation dieses Dokuments auf ein spezialisiertes SMRM für einen bestimmten Fertigungsbereich

angewendet wird. Darüber hinaus kann das URMSM ein Vorläufer für ein sehr zweckgebundenes SM-Modell sein, indem das URMSM zunächst dahingehend spezialisiert wird, ein SMRM für den jeweiligen Zweck zu erstellen und diese Spezialisierung dann zur Erstellung des SM-Modells zu verwenden. Die Instanziierung der Elemente eines spezialisierten SM-Modells ergibt ein implementierbares Modell für eine bestimmte SM-Initiative.

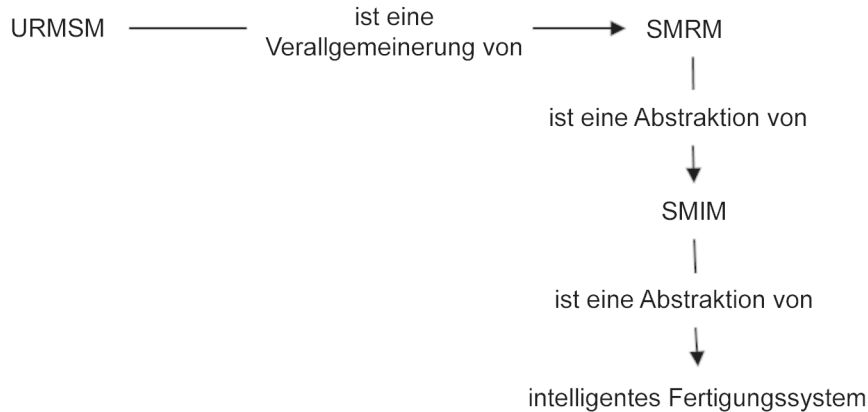


Bild 7 – URMSM-Abstraktionsstapel

Die URMSM-Spezifikation hat zwei große strukturelle Teilmodelle von SMRM und SMIM, die durch zwei abstrakte Beziehungen miteinander verbunden sind: „Normative Anforderungen NR (Bereitstellung)“ und „Implementierungsreferenz IR (Bereitstellung)“.

Die erste Relation, NR, setzt verschiedene Anordnungen von SM-Elementen mit Konfigurationen in SM-Unternehmensbereichen in Beziehung und die zweite Relation, IR, setzt semantische Elemente mit Implementierungskonzepten in Beziehung.

8.3 Spezialisiertes URMSM

8.3.1 Spezifische Nutzung des URMSM und Regeln für Ableitungen von SMRM

Wie in Bild 7 dargestellt, ist das URMSM eine Abstraktion, die Modellierungs- und Darstellungsmerkmale verallgemeinert, die in vielen verschiedenen SMRM identifiziert werden. Das URMSM legt Anforderungen, Empfehlungen und Möglichkeiten zur Nutzung von Funktionen bei der Erstellung von SMRM- oder SM-Implementierungen fest. Die Spezialisierung in Übereinstimmung mit dem URMSM muss durch Anwendung der normativen Spezifikationen dieses Dokuments erfolgen, um die in Abschnitt 6 identifizierten Referenzmodellkonzepte auszuarbeiten, ergänzt um Modellierungselemente, d. h. Entitäten und Beziehungen, die für den vorgesehenen speziellen Zweck der Modellierung geeignet sind.

ANMERKUNG Das URMSM verwendet ein konzeptionelles Modell mit Begriffen, die weitgehend aus ISO/IEC/IEEE 42010 und ISO 15704 abgeleitet sind.

Da in diesem Dokument keine bestimmten Aspekte, Dimensionen oder Facetten festgelegt sind, kann jedes SMRM, das anhand der Spezifikationen dieses Dokuments abgeleitet wird, unterschiedlich sein und sich auf den Bereich und Zweck konzentrieren, für den das SMRM erstellt und verwendet wird. Eine Änderung der Spezifikationen dieses Dokuments bei der Anwendung auf einen bestimmten Bereich und Zweck sollte die Entwicklung und Verwendung des Modells weiter einschränken, anstatt einen größeren Spielraum bei der Modellentwicklung durch Auslassung einer oder mehrerer Spezifikationen zu ermöglichen.

BEISPIEL 1 Eine Organisation kann festlegen, dass bei der Modellentwicklung nur „verwertbare Daten“ verwendet werden sollen oder dass SysML-Modelle über einen ausreichenden semantischen Inhalt verfügen, um die Anforderungen an semantische Modelle zu erfüllen und die Kohärenz der Aspekte in einer Dimension sicherzustellen. Andererseits kann eine Spezialisierung, die „rohe Daten“ verwendet oder eine schematische Darstellung idealisierter Beziehungen zur Implementierung heranzieht, nicht ausreichend präzise sein, um die Anforderungen für die Ausarbeitung des semantischen Modells eines SMRM zu erfüllen.

Die verschiedenen in 7.6 aufgeführten Methoden zur Anpassung von Visualisierungen für bestimmte Zwecke stellen eine Spezialisierung der URMSM-Spezifikationen dar. Die Anpassung von Visualisierungen für bestimmte Zwecke sollte sich an die Anforderungen von URMSM halten, um die Fähigkeiten zur Analyse und Synthese aufrechtzuerhalten, die diese Anforderungen ermöglichen.

BEISPIEL 2 Die Einbettung einer Produktionsdimension in eine Geschäftsdimension, um so eine einzige konsolidierte Dimension zu erhalten, kann erfolgen, wenn sowohl die Produktionsdimension als auch die Geschäftsdimension über semantische Modelle verfügen, die sich zu einem einzigen semantischen Modell zusammensetzen, so dass die Kohärenz erhalten bleibt.

Zu den Spezialisierungen können folgende zählen:

- Aspektpartitionierung, z. B. Aufteilung eines Aspekts und seines semantischen Modells in zwei oder mehr Aspekte;
- Ausarbeitung als neuer Aspekt, z. B. Einfügen eines neuen Aspekts in eine Dimension durch Ausarbeitung des semantischen Modells dieser Dimension;
- Neukonfiguration von Dimensionen, z. B. Neuordnung von Aspekten innerhalb einer Dimension, um sich auf Aspekte zu konzentrieren, die speziell mit dem Zweck verbunden sind;
- Einführung einer neuen Dimension, z. B. Hinzufügen einer spezifischen Dimension der Technologiekompetenz;
- Entfernen von Aspekten oder ganzen Dimensionen.

Da semantische Modelle von eher abstrakt bis sehr detailliert reichen können, hängt ihre Eignung für die Verwendung in einem Referenzmodell vom Zweck des Referenzmodells und den anderen semantischen Modellen ab, die in den Dimensionen des Referenzmodells verwendet werden. Ein enthaltenes semantisches Modell muss die Informationen und den Kontext, auf die verwiesen wird, eindeutig identifizieren. Eine Spezialisierung des URMSM als Referenzmodell für einen praktischen Bereich darf nur die Aspekte der semantischen Modelle ausarbeiten und kennzeichnen, die für diesen Referenzbereich am relevantesten sind; andere, nicht relevante Aspekte müssen nicht ausgearbeitet werden. Mit fortschreitender Analyse oder Synthese können weitere Aspekte an Bedeutung gewinnen. Diese Aspekte müssen identifiziert und im gleichen Detailgrad ausgearbeitet werden, damit relevante Entitäten und Beziehungen in Bezug auf die modellierte Struktur, das Verhalten und den Zweck identifiziert werden können.

BEISPIEL Für physische Entitäten kann der Zerlegungsgrad unter Verwendung der Ausrüstungshierarchie von IEC 62264 [43] oftmals ausreichen, allerdings ist manchmal auch ein Ausrüstungsfähigkeitsprofil erforderlich. Bei Materialien kann die Zerlegung ausreichen, um die Materialeigenschaften zu verstehen, allerdings sind manchmal auch der Standort und der Transport des Materials erforderlich. Für logische Entitäten kann die Funktion der Entität, möglicherweise als Spezifikation der Informationstransformation, ausreichen, allerdings ist manchmal auch die Zuordnung der logischen Funktion zu einem Hardwareteil erforderlich.

ANMERKUNG Die von den Sensoren erfassten Rohdaten sind häufig zu granular für eine Analyse, die einen Durchschnitt oder einen Median strukturierter Daten erfordert [38], die jedoch für die Synthese neuer Fähigkeiten geeignet ist [39].

8.3.2 Anpassung der Referenzmodelle an den Zweck der Modellierung

Für den Erfolg bei der Verwendung eines Referenzmodells für die Analyse oder Synthese sind zwei Erwägungen wesentlich: 1) bringt der Verwendungszweck die Geschäftsinteressenten, ihre Perspektiven und die sich daraus ergebenden Bedenken klar zum Ausdruck oder ermöglicht er deren Ableitung; und 2) identifizieren die im Referenzmodell enthaltenen Aspekte diese Geschäftsinteressenten oder Perspektiven und liefern für diese Bedenken relevantes Wissen oder Informationen, die ausreichen, um die mit der Verwendung des Referenzmodells für den angegebenen Zweck verbundene Analyse oder Synthese durchzuführen.

Während ein stark verallgemeinertes Referenzmodell in der Regel einen weiten Bogen spannt, um alle möglichen Geschäftsinteressenten, ihre Perspektiven und ihre Bedenken zu erfassen, ist die Granularität der semantischen Modelle für Aspekte ebenfalls sehr groß und detailarm. Das Ergebnis ist die fehlende Fähigkeit, die Anwendbarkeit der semantischen Modelle der Aspekte auf bestimmte Geschäftsinteressenten, ihre Perspektiven und Bedenken zu beurteilen. Verallgemeinerte Referenzmodelle sollten so weit spezialisiert

werden, dass die erforderlichen Geschäftsinteressenten, ihre Perspektiven und ihre Bedenken in den semantischen Modellen, die die Aspekte der Fertigung zum Ausdruck bringen, die als Referenz für die Implementierung verwendet werden, klar erkennbar sind.

Da die Verwendung eines Referenzmodells für die Analyse einen anderen Arbeitsaufwand und eine andere Ausrichtung zur Folge hat als die Synthese, können verschiedene Referenzmodelle sinnvoll sein. Für jedes Referenzmodell sollte angegeben werden, ob der Fokus auf der Analyse oder der Synthese oder sowohl auf der Analyse als auch auf der Synthese liegt. Wenn es zur Analyse verwendet wird, kann ein Referenzmodell Spezialisierungen einschränken, um zu vermeiden, dass den Analyseergebnissen relevante Inhalte fehlen. Wenn es für die Synthese verwendet wird, sollte ein Referenzmodell die Einbindung neuer Inhalte ermöglichen, wenn der Reifegrad eines Entwicklungsprojekts zunimmt.

Komplexe Referenzmodelle eignen sich häufig nicht für die Ausarbeitung eines neuen Zwecks. Solche Referenzmodelle können eine erhebliche Präzisierung und ein klares Verständnis der Einschränkungen erfordern, die das Referenzmodell bei der Bestimmung geeigneter Spezialisierungen vorgibt. Jedes Referenzmodell sollte die vorgesehenen Anwendungsbereiche und die bekannten oder erwarteten Einschränkungen der Anwendbarkeit angeben.

Praktische Einschränkungen der kognitiven Kapazität und die manuelle Bearbeitung komplizierter oder komplexer Referenzmodelle haben den Einsatz vieler hochentwickelter Analyseverfahren verhindert, insbesondere in den Bereichen einer erweiterten Lieferkette oder Wertschöpfungskette. Mit dem Aufkommen automatisierter Analysetechnologien lassen sich große Modellräume nun jedoch leichter bearbeiten, auch wenn die Anforderungen an die Datenqualität und -vollständigkeit gestiegen sind [40]. Neuere Techniken für die funktionale Analyse und die Identifizierung von Möglichkeiten zur dauerhaften Verbesserung hängen von der Anpassung großer Modelle ab. Dabei handelt es sich entweder um Modelle, die als bereichsübergreifende Referenzmodelle erstellt wurden, oder um erfasste digitale Zwillinge von Betriebseinrichtungen oder Produkten. Im Rahmen der Beschränkungen der eingebetteten semantischen Modelle muss ein Referenzmodell die Analyseverfahren nennen, die für die Verwendung mit Modellvarianten des Referenzmodells gelten. Einschränkungen der eingebetteten semantischen Modelle können sich aus Beschränkungen des Zugriffs auf verknüpfte semantische Modelle oder aus der Auflösung von widersprüchlichen oder nicht erkennbaren Inhalten aus verknüpften semantischen Modellen ergeben. Dieselben Einschränkungen bieten Möglichkeiten zur betrieblichen Verbesserung durch Beseitigung der Einschränkung, z. B. durch Angleichen des Vokabulars oder Hinzufügen von präzisierenden Modellelementen.

Da der Anwendungsbereich des URMSM eher Referenzmodelle als Modelle ist, die zur Instanziierung als reale Artefakte vorgesehen sind, sind die Inhalte der semantischen Modelle für Aspekte, Dimensionen und Facetten eher Modellierungselemente als Instanzen von Daten oder Informationen, die diese Modellierungselemente beinhalten können. von URMSM in der Anpassung von Darstellungen von Aspekten der intelligenten Fertigung und die eigentliche Daten- oder Informationsanpassung liegt außerhalb des Anwendungsbereichs des URMSM. Referenzmodelle für die intelligente Fertigung sollten anwendbare Verfahren, Normen oder Mechanismen für die Instanziierung entsprechender Artefakte in der realen Welt aufzeigen.

9 Anwendungsfälle des URMSM

9.1 Analyse des Anwendungsfalls

9.1.1 Untersuchung der Interaktionen an den Schnittpunkten von Aspekten

Ein Referenzmodell bietet einen Einblick in die Aspekte eines Systems, indem es die für einen bestimmten Zweck relevanten Aspekte identifiziert und die Art und Weise festlegt, in der diese Aspekte interagieren können. Da das URMSM semantische Modelle erwartet, die Aspekte und ihre Gruppe von Aspekten in kohärenten Modellierungsdimensionen darstellen, müssen diese semantischen Modelle die Grundlage für Erkenntnisse über Aspektinteraktionen sein. Es können zwei Arten der direkten Interaktion zwischen Aspekten auftreten: 1) gemeinsam genutzte Modellelemente in semantischen Modellen von zwei oder mehr Aspekten innerhalb einer einzigen Dimension und 2) gemeinsam genutzte Modellelemente in semantischen Modellen von zwei oder mehr Aspekten in verschiedenen Dimensionen.

ANMERKUNG Die erste Art des Auftretens ist das Ergebnis der Kohärenzkriterien für die Aspekte der Dimension, während die zweite Art des Auftretens das Ergebnis von Interaktionen zwischen modellierten Dimensionen ist, für die die Kohärenzkriterien der jeweiligen Dimensionen des Aspekts nicht gelten.

Für den Anwendungsfall der Analyse sollte die Untersuchung der jeweiligen semantischen Modelle Informationen über identifizierbare Auswirkungen oder Erkenntnisse über die Folgen der direkten Interaktionen des Aspekts liefern.

BEISPIEL Die Dimension der Lieferkette in Anhang G verwendet das Modellierungselement „ALEI“ im semantischen Modell jedes Beteiligten an der Lieferkette, wobei die Qualifikation „ALEI“ eine Voraussetzung für die Beteiligung an der Lieferkette ist.

9.1.2 Untersuchung der Interaktionen in der Nähe der Schnittpunkte von Aspekten

Für jede identifizierte direkte Interaktion zwischen Aspekten können andere Modellierungselemente der jeweiligen semantischen Modelle in den semantischen Modellen „benachbarter“ Aspekte auftauchen und diese anderen Modellierungselemente können ebenfalls zu Aspektinteraktionen beitragen. Diese indirekten Interaktionen mit benachbarten Aspekten können auftreten: 1) in derselben Dimension, aber ohne direkten Bezug zu den Kohärenzkriterien, oder 2) in verschiedenen Dimensionen, die die direkte Interaktion der semantischen Modelle nicht gemeinsam nutzen.

ANMERKUNG „Benachbarte“ Aspekte sind solche, die einen gemeinsamen semantischen Inhalt mit einem Aspekt haben.

Für den Anwendungsfall der Analyse kann die Untersuchung der jeweiligen benachbarten semantischen Modelle Informationen über identifizierbare Auswirkungen oder Erkenntnisse über die Folgen der indirekten Interaktionen des Aspekts liefern. Die Folgen dieser Interaktionen sollten bewertet werden, um festzustellen, ob die Ergebnisse der Interaktion ein inakzeptables Ergebnis oder eine inakzeptable Aktion darstellen.

9.1.3 Hinzufügen neuer Funktionen zur Analyse

Die Verbesserung durch Hinzufügen einer neuen Fähigkeit zum Inhalt eines bestehenden Referenzmodells, um effektive und effiziente Analyseergebnisse zu ermöglichen, hängt sowohl von der semantischen Qualität des Referenzmodells ab, d. h. davon, wie gut das semantische Modell die SM-Situation abbildet, als auch davon, inwieweit eine Spezialisierung des Referenzmodells mit dem Zweck der Analyse übereinstimmt. Die Ausarbeitung der semantischen Modelle, entweder zur Verbesserung der Qualität oder als Spezialisierung, kann den Umfang der Analyse verbessern, kann aber unter den zusätzlichen Kosten der erweiterten Analyse leiden. Die Personen, die die Analyse in Auftrag geben und durchführen, sollten das Kosten-Nutzen-Verhältnis im Zusammenhang mit der Verbesserung der analytischen Fähigkeiten abwägen, bevor sie solche Verbesserungen vornehmen.

9.2 Synthese von Anwendungsfällen

9.2.1 Identifizierung der erforderlichen Abdeckung von Aspektinteraktionen

Ein Referenzmodell für die intelligente Fertigung ist besonders gut geeignet, um Initiativen für die intelligente Fertigung zu steuern, wenn dieses Referenzmodell eine Vielzahl von Aspekten umfasst, die für die jeweilige Fertigungsumgebung relevant sind. Da die meisten Initiativen im Bereich der intelligenten Fertigung in etablierten Produktionsumgebungen stattfinden, sind nicht alle Aspekte eines Referenzmodells für die intelligente Fertigung auf eine bestimmte Initiative anwendbar. Wenn jedoch Aufräum-Aspekte, die als nicht relevant erachtet werden, zu früh in der Initiative ausgeschlossen werden, kann dies die Identifizierung relevanter direkter und indirekter Interaktionen, die für den Erfolg der Initiative wichtig sind, beeinträchtigen.

Durch die Spezialisierung eines SMRM oder einer seiner Modellvarianten mit dem zusätzlichen semantischen Inhalt, der ursprünglich mit der SM-Initiative verknüpft war, werden die SMRM-Aspekte deutlich, die dann Modellierungselemente mit dem zusätzlichen Inhalt der SM-Initiative gemeinsam nutzen. Entwickler von SM-Normen oder SM-Anwender, die ein SMRM mit neuen semantischen Inhalten spezialisieren, sollten diese neu identifizierten gemeinsamen Modellierungselemente nutzen, um potenzielle direkte und indirekte Interaktionen

zwischen Aspekten zu untersuchen und die Folgen dieser Interaktionen auf Parameter der Effektivität und Effizienz der Fertigung zu bewerten.

Neue Technologien können ein Problem für die Synthese im Rahmen von Initiativen zur intelligenten Fertigung darstellen, da ein robustes semantisches Modell für die neue Technologie nicht verfügbar ist. Während die wesentlichen Merkmale der Technologie üblicherweise in Form von Auslegungsspezifikationen und Nutzungsleitfäden verfügbar sind, werden diese Artefakte nur selten in nützlichen semantischen Modellformen wiedergegeben, die für die Verwendung mit SMRM geeignet sind. Anbieter und Forscher sollten semantische Modelle der spezifischen Technologie, die sie anbieten, unter Verwendung standardisierter semantischer Modellierungsmethoden zur Verfügung stellen, um Entwicklern intelligenter Fertigungssysteme das Verständnis und die Nutzung der Technologie für Initiativen zur intelligenten Fertigung zu erleichtern.

9.2.2 Sequenzierung von Aktivitäten auf Grundlage von Abhängigkeiten

Die semantischen Modelle in einem SMRM können viele der Abhängigkeiten zwischen den Elementen der Fertigung identifizieren. Die Ausarbeitung eines SMRM durch Spezialisierung bringt mehr Abhängigkeiten mit sich. Die Untersuchung der Abhängigkeiten innerhalb der Lebenszyklusphasen und über diese hinweg kann Aufschluss über eine oder mehrere mögliche Reihenfolgen von Fertigungsaktivitäten geben, die mit den Prioritätskriterien übereinstimmen, z. B. ein Projektstrukturplan. Nicht alle Abhängigkeiten sind für die Reihenfolge der Aktivitäten relevant, aber üblicherweise haben alle Aktivitäten eine Art von Abhängigkeitskriterien [41].

Die Abhängigkeitskriterien können eine Vielzahl von Formen annehmen, z. B. funktionale Abhängigkeit und physische Abhängigkeit. Die Identifizierung der spezifischen Form ermöglicht die Ermittlung der anwendbaren Abhängigkeitskriterien für ein bestimmtes SMRM oder Implementierungsmodell.

BEISPIEL Zwischen zwei beliebigen Elementen der Fertigung können siebenundzwanzig verschiedene Formen von logischen ternären Beziehungen als Variationen von Reflexivität, Symmetrie und Transitivität bestehen [42].

Ein Modell des Lebenszyklus einer Entität liefert außerdem umfangreiche Informationen über die Abhängigkeiten zwischen den Lebenszyklusphasen.

Ein SMRM muss die Quelle für die Kriterien identifizieren, die es verwendet, um das Vorhandensein von Abhängigkeiten in Modellelementen zu bestimmen. Ein SMRM muss eine Möglichkeit bieten, direkte Abhängigkeiten zwischen Modellelementen als benannte Beziehungen oder Annotationskennzeichnungen zu identifizieren. Systementwickler sollten die Abhängigkeitsinformationen nutzen, um die Reihenfolge oder Priorität der Aktivitäten zu strukturieren, die für die sie betreffenden Entitäten relevant sind.

9.3 Simulation im SMRM

Eine Simulation kann große Vorteile bei der Verringerung des Risikos und des Zeitaufwands bei der Entwicklung von SM-Systemen bieten, wie z. B. die Möglichkeit, eine regulierte Simulationstechnik oder Tools zu verwenden, um das Verhalten von Implementierungsmodellen oder digitalen Zwillingen auf Basis des SMRM oder seiner Spezialisierung zu verstehen.

Die Simulation ist besonders nützlich bei der Synthese mit einer neuen Technologie, bei der das Ergebnis ihrer Einführung nicht vollständig bekannt ist und die Analyse verschiedener möglicher Konfigurationen Simulationsiterationen durchlaufen kann. Es gibt zwei grundlegende Arten der Analyse von Simulationen: 1) Überprüfung des Modells auf Konsistenz und gültige Beziehungen und 2) Export der zugewiesenen oder gemessenen Datenelemente in eine Simulationsausführungseinrichtung.

Üblicherweise findet eine Simulation im Kontext eines semantischen Modells statt. Die in einer Simulation verwendeten Modellierungselemente sollten aus semantischen Modellen stammen, die den gleichen Grad an Granularität und Detailtreue aufweisen. Aufgrund des mehrdimensionalen Charakters und der Lebenszykluselemente in SM und da die Kriterien für die Zugehörigkeit eines Aspekts zu einer Dimension nicht für alle Aspektmitglieder der Dimension dasselbe Maß an Granularität und Detailtreue erfordern, kann eine Simulation, die verschiedene Aspekte in einer Dimension oder über Dimensionen mit sich überschneidenden Aspekten umfasst, dazu führen, dass vor der Simulation semantische Modelle für Aspekte mit einem

durchgängigen Maß an Granularität und Detailtreue ausgearbeitet werden müssen, damit die von der Simulation verwendeten Modellierungselemente in etwa im selben Kontext betrachtet werden können. Bei großen, komplizierten SMRM wird die Anzahl der Entitäts- und Beziehungsmodelelemente zu groß, um sie durch kognitive Prüfung zu verifizieren und zu validieren. Ein SMRM sollte Modellierungswerkzeuge festlegen, mit denen die Konsistenz der Modellelemente innerhalb des Modellierungsansatzes erzwungen werden kann, mit dem die Implementierungsmodelle ausgedrückt werden, die sich aus der Verwendung des SMRM ergeben sollen.

Da bei den meisten Simulationsmethoden Eingaben auf Grundlage realer Szenariodaten erwartet werden, sollte ein SMRM die Möglichkeit bieten, Modellelemente mit Datenelementen zu füllen, die dem Zweck der Modellierung entsprechen, und diese Daten in einer Form zu exportieren, die für die Eingabe in ein Simulationsmodellierungstool geeignet ist.

9.4 Anwendungsfall der Implementierung

Die Konformität mit URMSM kann nicht nur Entwicklern von Normen, sondern auch Anwendern im Bereich der intelligenten Fertigung verschiedene Vorteile bringen. Einer der Vorteile besteht darin, dass die URMSM-Anforderungen und -Empfehlungen bei der Implementierung idealer Fertigungssysteme, wie sie in Anwendungsfällen beschrieben werden, eine Hilfe bei der Planung darstellen.

Der Rest dieses Unterabschnitts ist ein Beispiel, bei dem die Konzepte des URMSM auf die Verwendung des SMRM durch einen SM-Anwender angewendet werden. Zunächst wird im Folgenden eine Beziehung zwischen URMSM-konformen Referenzmodellen und Anwendungsfällen beschrieben.

Bild 8 zeigt die Erstellung von einfachen Ansichten aus Modellen, die durch Sichten festgelegt sind, als Aspekte der Dimension „Ansicht“. Diese Dimension wird von mehreren spezifischen SMRM-Darstellungen, z. B. RAMI [45] und IIC [46], als vertikale Achse erfasst. Jede Ansicht enthält Modellinhalte, die sich mit den Aspekten der anderen Dimensionen überschneiden. In den meisten Situationen bezieht die Sicht nicht nur Bedenken aus einem Anwendungsfall, sondern auch Vorschläge für den Anwendungsfall oder erforderliche Mittel und Mechanismen, um diese Bedenken im Modellinhalt zu berücksichtigen.

Der Modellinhalt, der aus der Modellierungsaktivität unter Berücksichtigung der Sicht des Anwendungsfalls abgeleitet wurde, sollte auf eine oder mehrere Sichten projiziert werden, um die Merkmale des Anwendungsfalls in dem Aspekt darzustellen (siehe Anhang F).

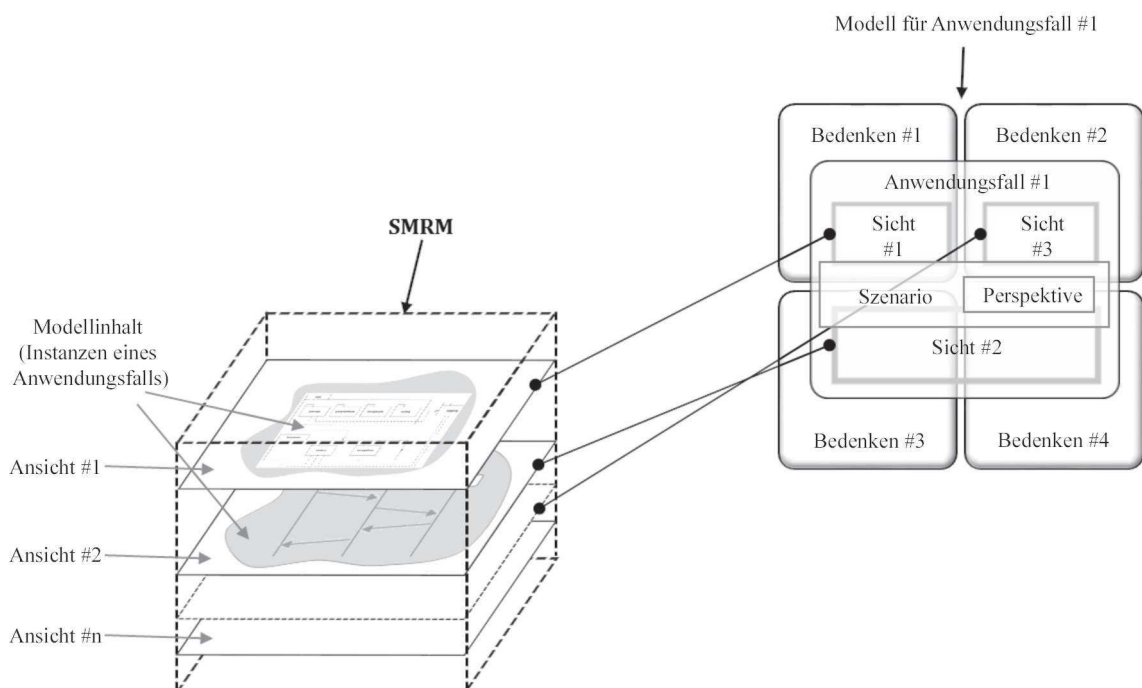


Bild 8 – Beispiel für ein Modell für Anwendungsfall Nr. 1

Die folgenden Annahmen gelten für die Nutzung eines Anwendungsfalls:

- Ein Anwendungsfall deckt einzelne oder mehrere Bedenken ab und trägt zu einer einzelnen oder mehreren Sichten in Bezug auf jedes Bedenken bei, das von ihm abgedeckt wird;
- Ein Anwendungsfall ist durch ein Szenario gekennzeichnet, das Bedenken bezüglich der Erreichung eines bestimmten Ziels aus einer bestimmten Perspektive zum Ausdruck bringt;
- Ein Anwendungsfall muss über den entsprechenden Inhalt verfügen. Allerdings sind nicht alle Anwendungsfälle ausreichend umfangreich, um die notwendigen Informationen für die Erstellung des Inhalts zu erfassen;
- Ein Teil eines Anwendungsfalls wird zur Grundlage für eine Sichtspezifikation, die zu einer oder mehreren Ansichten des Modellinhalts führt;
- Ein Merkmal wie Standort, Abdeckungsfläche und Reifegrad sind als Parameter jeder Sicht möglich, die sich entsprechend einiger vom Geschäftsinteressenten zugewiesener Bedenken durch die Verwendung eines parametrischen Anwendungsfalls ändert.

Bild 9 zeigt eine beispielhafte Situation, in der verschiedene Geschäftsinteressenten, wie z. B. Anwender von intelligenten Fertigungssystemen, ein Referenzmodell verwenden. Typische Beispiele für die Vielfalt der Geschäftsinteressenten sind die Größe, z. B. Großunternehmen oder KMU, und der Führungsstil, z. B. innovativ oder traditionell. Unterschiede in der Funktionalität, der Skalierbarkeit und der Situation der bestehenden Fertigungssysteme in den Fabriken führen zu Unterschieden bei den Verbesserungen und/oder Erweiterungen, die zur Aufrüstung der Systeme erforderlich sind. Darüber hinaus führen unterschiedliche Situationen in den Geschäften der einzelnen Geschäftsinteressenten zu unterschiedlichen Investitionsprioritäten und/oder Unterschieden in der Höhe der Investitionen. Diverse Unterschiede können zu Konflikten und Widersprüchen bei der Modellentwicklung führen, die gelöst werden müssen.

Das Endziel eines Anwendungsfalls für die intelligente Fertigung mag zwar von Natur aus eindeutig sein, jedoch sind die Situationen, mit denen die Geschäftsinteressenten konfrontiert werden, aufgrund der Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Fertigungsmöglichkeiten nicht eindeutig. Geschäftsinteressenten sollten sich daher auf einen oder mehrere Modellinhalte beziehen, um die Ziele des Anwendungsfalls in ihrer Situation zu erreichen (siehe Anhang G).

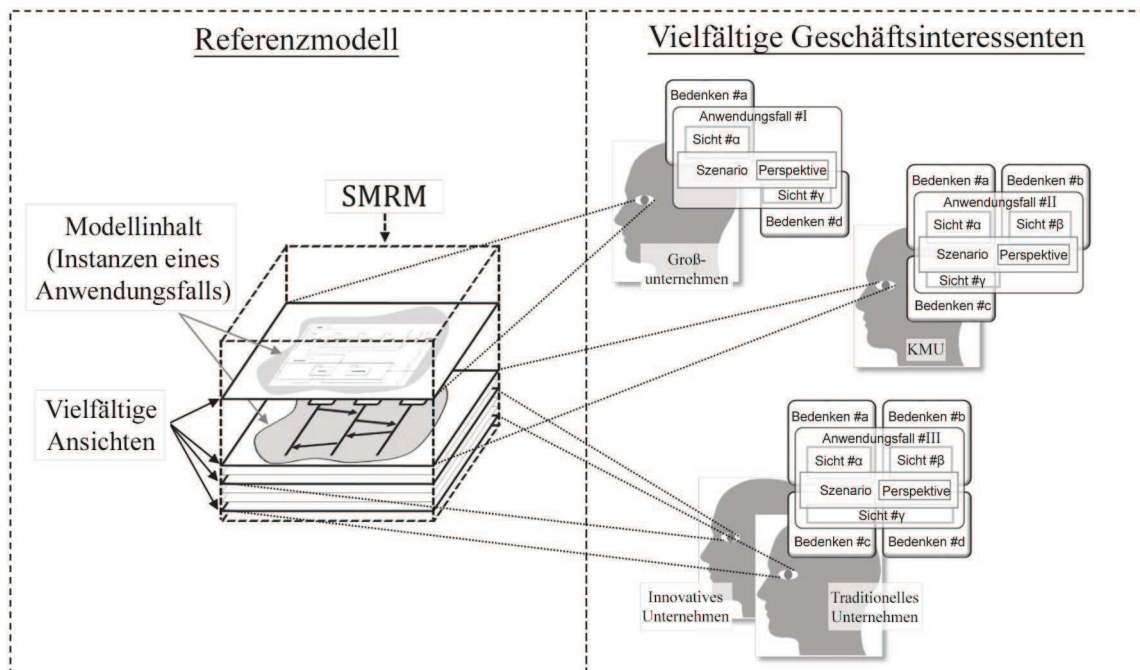


Bild 9 – Unterschiedliche intelligente Fertigungssysteme, die von verschiedenen Geschäftsinteressenten erwartet werden