

DISKUSSIONSPAPIER

I4.0-Sprache

*Vokabular, Nachrichtenstruktur und semantische
Interaktionsprotokolle der I4.0-Sprache*

In Kooperation mit



VDE

VDI/VDE-Gesellschaft
Mess- und Automatisierungstechnik

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft
und Energie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwi.de

Redaktionelle Verantwortung

Plattform Industrie 4.0
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin

Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

Stand

April 2018

Druck

Silber Druck oHG, Niestetal

Bildnachweis

D3Damon – iStock (Titel)
Olivier Le Moal – iStock (S. 3)
© fotogestoeber – Fotolia (S. 4)
D3Damon – iStock (S. 7)
alvarez – iStock (S. 18)
Sergey Tarasov – Shutterstock (S. 22)

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Nicht zulässig ist die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben von Informationen oder Werbemitteln.



Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie ist mit dem audit berufundfamilie® für seine familienfreundliche Personalpolitik ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von der berufundfamilie gGmbH, einer Initiative der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung, verliehen.



Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Referat Öffentlichkeitsarbeit
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
www.bmwi.de

Zentraler Bestellservice:
Telefon: 030 182722721
Bestellfax: 030 18102722721



Inhalt

1	Vorwort	3
2	Einführung	4
	Ableitung des Interaktionsbedarfs	5
3	Konzeptvorstellung	7
3.1	Vokabular der I4.0-Sprache	9
3.2	Struktur von Nachrichten	12
	Identifikationsbereich	12
	Datenbereich	12
3.3	Interaktionsprotokolle	13
3.3.1	Anforderungen an eine I4.0- Interaktionssemantik	13
3.3.2	Interaktionsprotokoll Ausschreibungsverfahren	14
3.3.3	Entscheidungsfähigkeit	16
4	Beispiel	18
5	Fazit	22
6	Referenzen	23

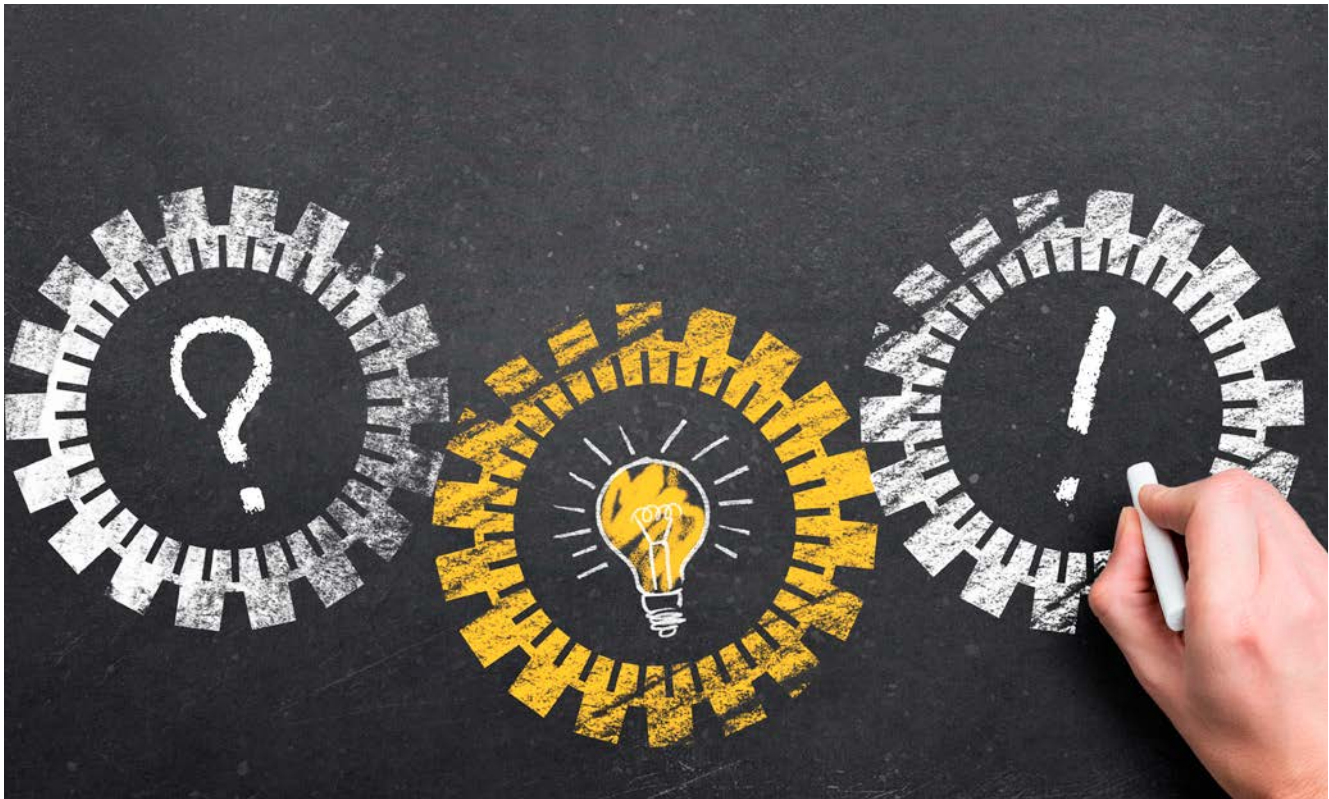


1 Vorwort

Industrie 4.0 verspricht eine neue Stufe der Organisation und der Steuerung von Wertschöpfungsketten. Durch die Vernetzung zu einem Internet der Dinge mit Hilfe von Daten und Diensten sowie einer umfassenden Kooperation von Komponenten eines Industrie 4.0-Systems entstehen dynamische, selbstorganisierende, selbstoptimierende und unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke.

Die gewünschten Anwendungsszenarien in Industrie 4.0 werden dann verwirklicht, wenn alle Daten und Informationen maschinell lesbar sind und Maschinen sich untereinander mittels einer genauen und eindeutigen Sprache verstehen.

Die Arbeitsgruppe „Semantik und Interaktion von I4.0-Komponenten“ der GMA, auch bekannt als UAG der AG 1 der Plattform I4.0, erarbeitet ein Konzept für die Sprache zwischen den I4.0-Komponenten. Dieses Diskussionspapier verwendet die Beiträge aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Arbeitskreises.



2 Einführung

Basis für dynamische, selbstorganisierende, selbstoptimierende und unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen zu einem geforderten Zeitpunkt. Einmal entstandene Informationen sollen da verfügbar sein, wo sie gebraucht werden. Die Voraussetzung dafür ist eine hinreichende digitale Abbildung der physischen Welt in die Informationswelt und die Möglichkeit, die Informationen interoperabel auszutauschen.

Ein I4.0-System besteht aus I4.0-Komponenten. I4.0-Komponenten wiederum bestehen jeweils aus einem Asset und seiner sogenannten Verwaltungsschale. Die wesentlichen funktionalen Elemente sind die Teilmodelle, welche Eigenschaften, Konfigurationsparameter, Zustände, Fähigkeiten und angebotene Services des Assets in einer maschinenlesbaren Form widerspiegeln und beschreiben.

Um die Zusammenarbeit zwischen Verwaltungsschalen bzw. ihren Assets herzustellen, müssen sich Verwaltungsschalen über den Inhalt ihrer Teilmodelle interoperabel austauschen können.

Zur Durchführung von I4.0-Szenarien interagieren die I4.0-Komponenten miteinander. Diese Interaktionen können horizontal sein, d.h. zwischen Komponenten derselben Betriebs- und Fabrikebene, oder vertikal, d.h. von der Produkt- und Sensor-Ebene bis hin zur Geschäftsebene innerhalb oder sogar über die Grenzen eines Unternehmens hinaus.

Das Konzept der intelligenten Produktion umfasst auch neue Funktionalitäten wie beispielsweise Verhandlungen über die Nutzung von I4.0-Komponenten, um eine bestimmte Aufgabe mit definierten Eigenschaften in einem definierten Zeitraum mit einer definierten Servicequalität zu erfüllen und mit einer definierten Kostenspanne zu verknüpfen.

Die relevanten Daten von Assets, etwa die formale Beschreibung von Eigenschaften, Konfigurationsparametern, Zuständen, Prozessfähigkeiten usw. werden in seiner Verwaltungsschale abgelegt und sollen für die anderen I4.0-Komponenten auslesbar sein.

Der „Sprache der Industrie 4.0“ kommt bei diesen Szenarien eine hohe Bedeutung zu, da diese gewährleisten soll, dass die ausgetauschten Informationen gleich verstanden werden und die notwendigen Interaktionsmuster abgewickelt werden können.

Ableitung des Interaktionsbedarfs

In diesem Diskussionspapier wird das Konzept der I4.0-Sprache vorgestellt und gezeigt, wie die für die Orchestrierung des I4.0-Systems notwendigen Interaktionen mit der I4.0-Sprache abgewickelt werden können. Die Ableitung und Veranschaulichung des entstehenden Interaktionsbedarfes in diesem Beitrag erfolgt anhand des Szenarios „Auftragsgesteuerte Produktion“ der Plattform Industrie 4.0 [3].

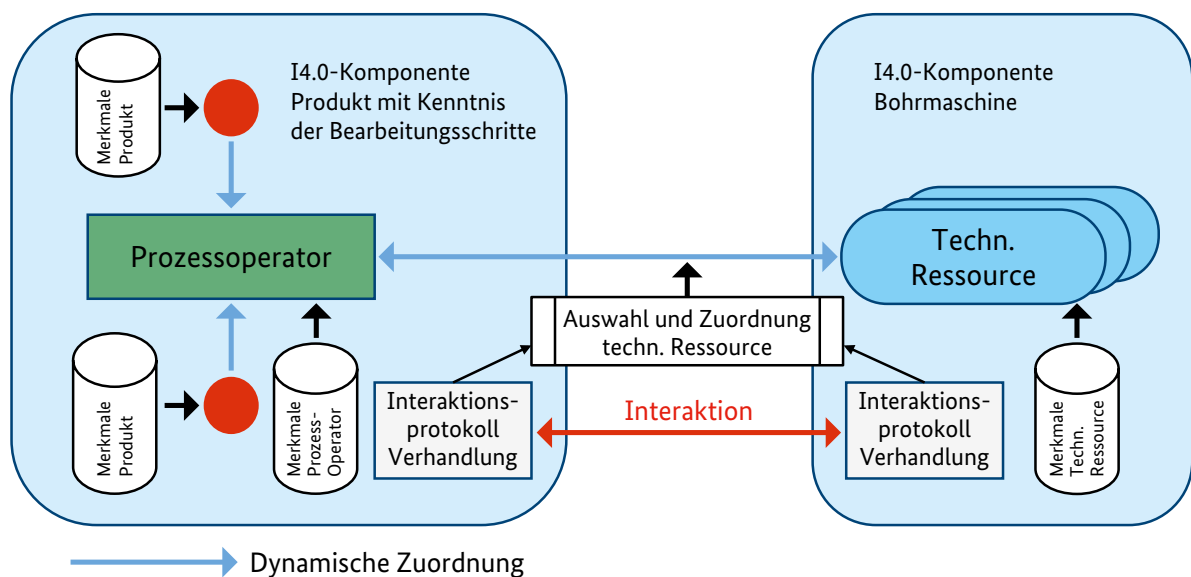
Der Fokus der auftragsgesteuerten Produktion liegt auf der autonomen und automatisierten Vernetzung der Produktionsfähigkeiten mit dem Ziel einer automatisierten Auftragsplanung, -vergabe und -steuerung, sodass alle

notwendigen Produktionssysteme automatisch und in Echtzeit entsprechend der momentanen Situation in den Produktionsablauf eingebunden werden. Dazu sind Informationen über das Produkt, den Prozess, der das Produkt transformiert und die den Prozess realisierenden technischen Ressourcen notwendig. Diese Informationen werden im Rahmen der Arbeitsplanung entsprechend der aktuellen Situation evaluiert und es wird ein Arbeitsplan erstellt. Der Arbeitsplan stellt genau dar, welche Produkte durch welche Prozesse und unter Zuhilfenahme welcher technischen Ressourcen, umgewandelt werden.

Im Rahmen von Industrie 4.0 sind nicht nur Produktionsplanungs- und Steuerungsaufgaben, sondern auch Arbeitsplanungs- und Steuerungsaufgaben zu automatisieren, um angemessen auf die steigende Umweltdynamik reagieren zu können.

Zur Ableitung des Interaktionsbedarfs bei der auftragsgesteuerten Produktion wird die Formalisierte Prozessbeschreibung [2] als Mittel zur Beschreibung der Produktionsfähigkeit eingeführt.

Abbildung 1: I4.0-Komponenten legen durch Verhandlung die Zuordnung von Prozessoperator und Technischer Ressource fest [4]



Soll z. B. eine Bohrung in ein Werkstück eingebracht werden, so werden die geometriebezogenen Merkmale des Eingangsprodukts verändert. Es können aber auch weitere Merkmale des Produkts von Bedeutung sein, wie z. B. die Materialzähigkeit. Die Produktumwandlung wird durch den Prozessoperator, im Beispiel das Bohren, beschrieben. Eine Bohrmaschine, eine Laserschneidmaschine oder eine Fräsmaschine kann die technische Ressource sein, die die Produktumwandlung ausführt. Zu den Merkmalen des Prozesses gehören z. B. Qualitätsmerkmale wie Toleranzen der Bohrung, Oberflächenrauigkeit und die Dauer der Umwandlung. Die Technische Ressource hat Merkmale, die die Fähigkeiten der Maschine beschreiben wie z. B. die möglichen Bohrdurchmesser, die Rotationsgeschwindigkeiten, den Bereich der Eingriffswinkel und die genannten Qualitätsmerkmale.

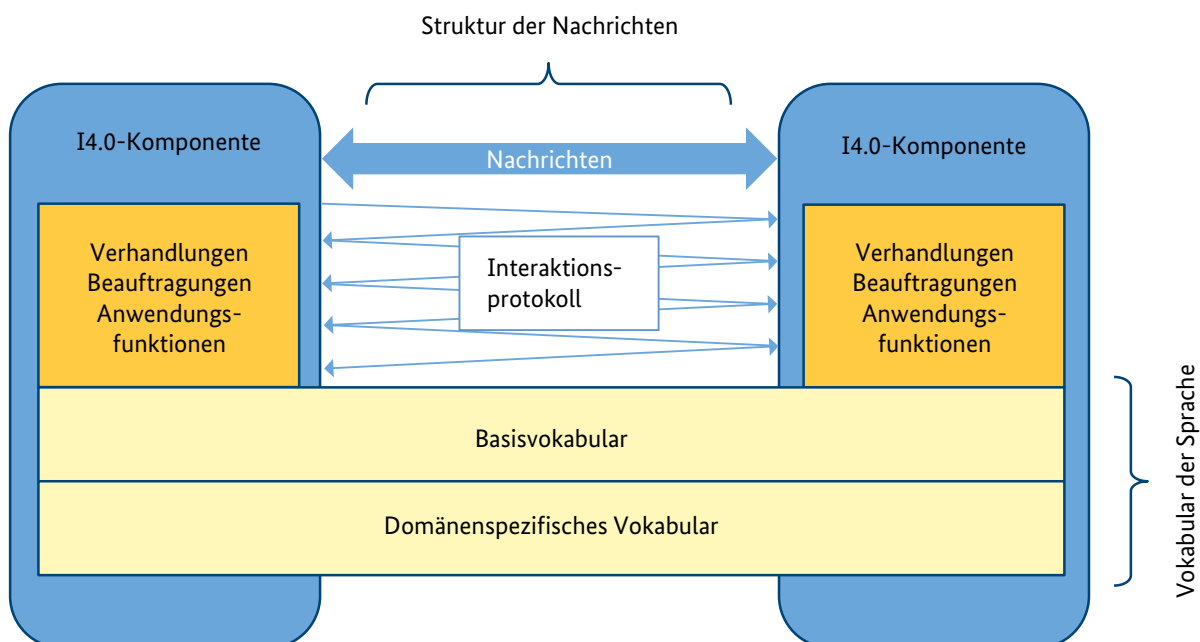
Um einen Produktionsschritt durchzuführen, muss die Umwandlung vom Eingangs- zum Ausgangsprodukt festgelegt und das dafür benötigte Produktionssystem (Technische Ressource) ausgewählt werden. In I4.0-Systemen sollen dafür das Produkt und der Prozessoperator sowie die technische Ressource als eine I4.0-Komponente beschrieben werden. Praktisch heißt das, dass diese durch je eine

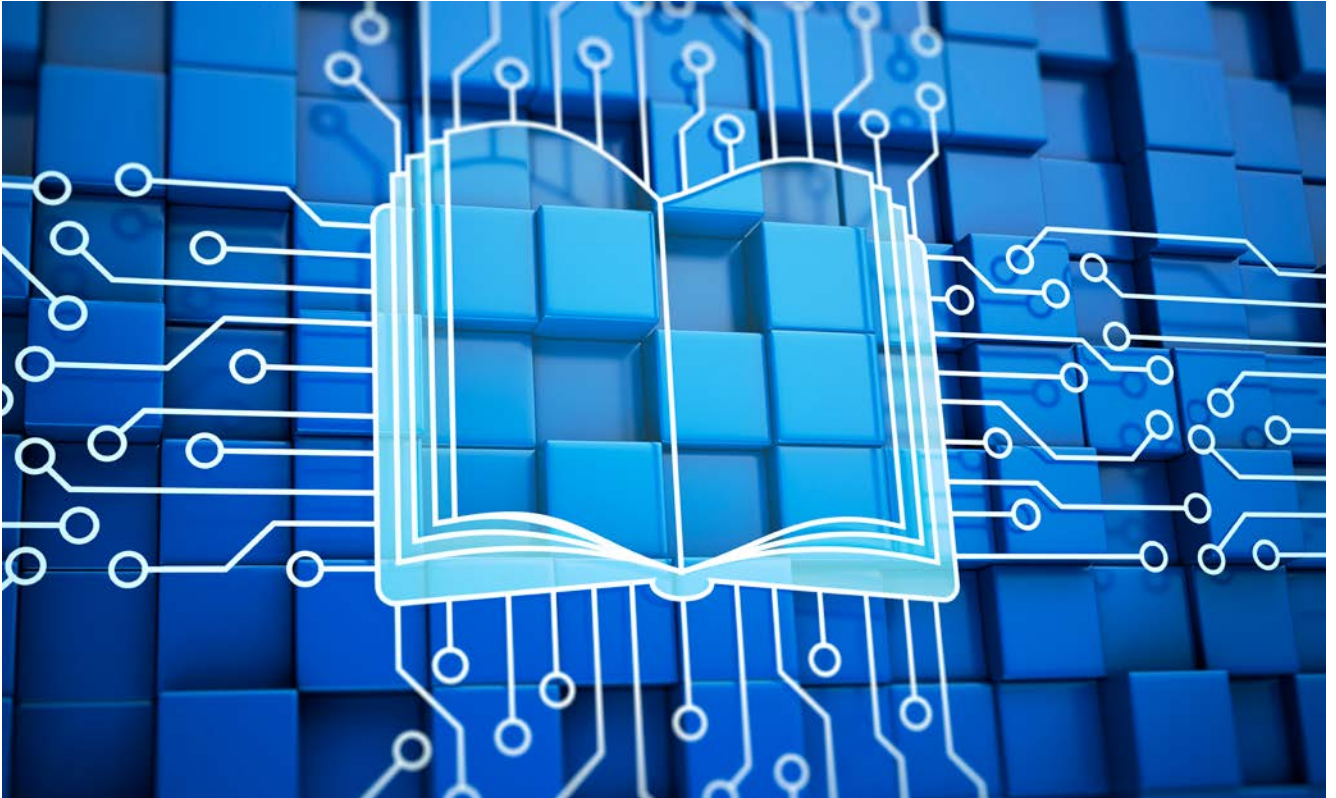
Verwaltungsschale repräsentiert werden, die mit dem Zweck interagieren, die Durchführbarkeit der Operation zu evaluieren. Dadurch wird es möglich, die Zuordnung des Prozessschrittes zu den technischen Ressourcen für die Produktumwandlung nicht manuell, sondern durch Zuordnung während des operativen Betriebs durchzuführen. Abbildung 1 stellt dies dar.

Weitere Interaktionen werden während des operativen Betriebs zur detaillierten Steuerung und Beobachtung der Produktionsprozesse sowie für Instandhaltungs-, Wartungs- und Diagnoseprozesse an den technischen Ressourcen benötigt [3].

Das prinzipielle Konzept sieht vor, dass I4.0-Komponenten für die Durchführung der beispielhaft benannten Interaktionen Nachrichten austauschen (Abbildung 2), die durch einen Interaktionsmanager behandelt werden. I4.0-Komponenten müssen für ihre kooperativen Aufgaben eine gemeinsame Sprache sprechen. Die Nachrichtentypen und die Inhalte müssen jeweils den Kooperationspartnern eindeutig bekannt sein. Außerdem müssen die dafür prinzipiell notwendigen Abläufe und die dahinterliegenden Regeln gegenseitig richtig verarbeitet werden können.

Abbildung 2: Prinzipielles Interaktionskonzept (nach [4])





3 Konzeptvorstellung

Die Anforderungen an die I4.0-Sprache sind sehr heterogen adressieren aber in jedem Fall eine hohe Nutzungsbreite in den verschiedensten Domänen und unterschiedliche Aussagestärken. Es wird offensichtlich, dass es **nicht EINE einzige I4.0-Sprache gibt**. Vielmehr wird durch Untergliederung der Sprache in einzelne Teilaspekte die notwendige Anpassung an die Anwendung gewährleistet.

Um den sich aus dem I4.0-Konzept ergebenden Anforderungen (z. B. [5], [6]) gerecht zu werden, wird die I4.0-Sprache als ein Regelsystem, bestehend aus drei Ebenen betrachtet (Abbildung 3). Der Begriff I4.0-Sprache wird als übergreifende Bezeichnung für die verschiedenen Aspekte des gegenseitigen Verstehens von I4.0-Komponenten verwendet. Er repräsentiert die Sprache mehr im linguistischen Sinne und nicht die formale Definition für die Anwendung in Softwarewerkzeugen.

Die I4.0-Sprache zwischen I4.0-Komponenten wird untergliedert in:

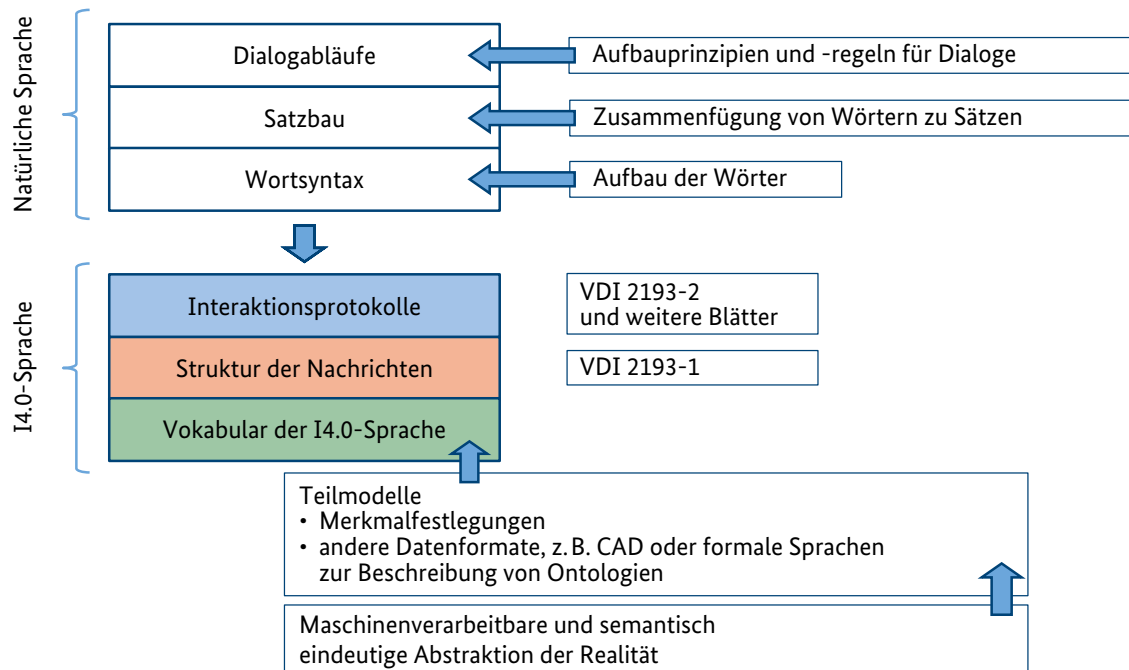
- **Vokabular der Sprache:** Die Merkmale, Merkmallisten, oder andere Annotationsformen von Datenelementen, die in den Nachrichten verwendet werden. → entspricht der Wortsyntax (siehe 3.1)

- **Struktur der Nachrichten:** Struktur, die die Anordnungen der Inhalte und die für deren gegenseitige Einordnung notwendigen Elemente organisiert. → entspricht dem Satzbau (siehe 3.2)
- **Interaktionsprotokolle:** Abläufe in den Dialogen zwischen I4.0-Komponenten, die die zu erfüllenden Aufgaben organisieren. → entspricht dem Dialogablauf (siehe 3.3)

Die verschiedenen Aspekte werden in der Richtlinienreihe VDI/VDE 2193 mit den folgenden Inhalten definiert (Bild 4):

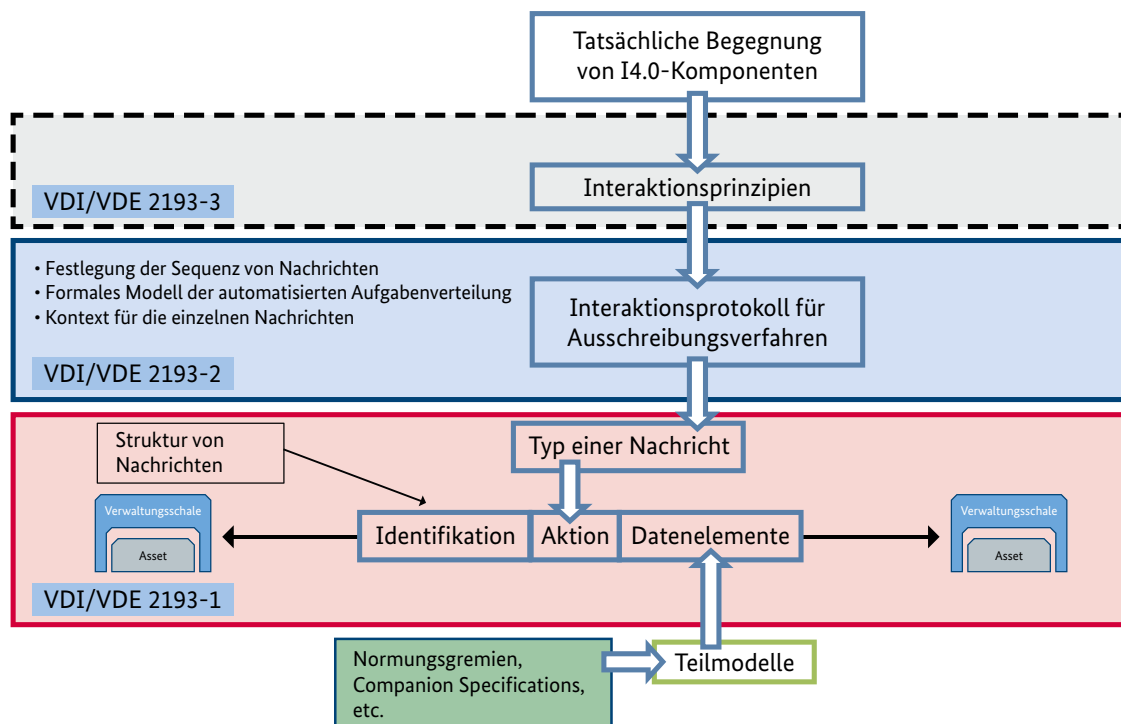
- VDI/VDE 2193-1: Beschreibt den Aufbau der Nachrichten. In diesen befinden sich die Merkmale der Teilmodelle der Verwaltungsschale. Diese bilden das wesentliche Vokabular der I4.0-Sprache. Die Definition der Verwaltungsschale und der Teilmodelle wird in einer entsprechenden Publikation erarbeitet.
- VDI/VDE 2193-2: Beschreibt ein wichtiges Interaktionsprotokoll, das Ausschreibungsverfahren.
- VDI/VDE 2193-3: Interaktionsprinzipien für vertikale und horizontale Interaktionen zwischen I4.0-Komponenten

Abbildung 3: Einteilung der I4.0-Sprache



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Abbildung 4: Übersicht der Richtlinienreihe VDI/VDE 2193



Quelle: Plattform Industrie 4.0

3.1 Vokabular der I4.0-Sprache

Will man ein Asset beschreiben, kann dies durch seine Eigenschaften und deren Beziehungen erfolgen (Abbildung 5). Eine Schraube hat z. B. eine Länge, einen Gewindedurchmesser, einen bestimmten Kopftyp (z. B. Kreuzschlitz) und einen Materialtyp. Für die Nutzung der Schraube sind dies wesentliche Eigenschaften, die beispielsweise für die Auswahl, aber auch für Bestimmung des notwendigen Werkzeugs und die erlaubten Drehmomente, oder die Behältergröße für deren Lagerung benötigt werden. Für die Verarbeitung in digitalen Systemen müssen die Eigenschaften auch maschinenlesbar ausgewertet werden können. Dafür ist eine Notation mit eindeutigen Inhalten und Formaten notwendig. Bei Eigenschaften, die in dieser digitalen Form verfügbar sind, spricht man von Merkmalen. Für tiefergehende Information zu dem Merkmalmodell siehe auch [7] und [8].

Im Rahmen von I4.0 werden Merkmale standardisiert beschrieben. Dies fordert, dass die Merkmale durch eine Reihe sogenannter Attribute beschrieben werden (Abbildung 6). Dazu gehören der Name des Merkmals, eine Definition, wenn vorhanden ein Symbol, eine Maßeinheit, der Datentyp, das Werteformat und natürlich der Wert. Man spricht auch von Metadaten für die Merkmale. Nun ist es

so, dass der Name für ein Merkmal nicht zwingend eindeutig ist, sei es, weil es von verschiedenen Nutzergruppen (z. B. Herstellern eines Produktes) unterschiedlich benannt wird oder weil es in verschiedenen Sprachen unterschiedlich heißt (Abbildung 6). Deshalb ist für jedes Merkmal ein eindeutiger Identifier (ID) anzugeben. In der I4.0-Community werden zwei Konventionen zur Definition von IDs favorisiert:

- Eine folgt der ISO 29002-5, die bei ecl@ss oder IEC „Common Data Dictionary – CDD“ verwendet wird.
- Für die Eigenschaften und Parameter, die keine ID nach ISO 29002 besitzen, ist es möglich URI/URL zu definieren, die von Organisationen wie der deutschen NAMUR- oder von Feldbusorganisationen (z. B. PNO oder ODVA – <http://NAMUR/NE131/PROPERTY/TAG>) zur Verfügung gestellt werden können. Herstellerspezifische URI sind auch möglich.

Da Merkmale über lange Zeit gültig sein müssen und sich evtl. Änderungen oder Korrekturen ergeben können ist die Merkmalbeschreibung auch mit einer Version versehen. Es ist eben eine digitale Entität. Die Attribute werden in der Norm IEC 61360 definiert.

Abbildung 5: Beschreibung von Assets durch ihre Eigenschaften [5]

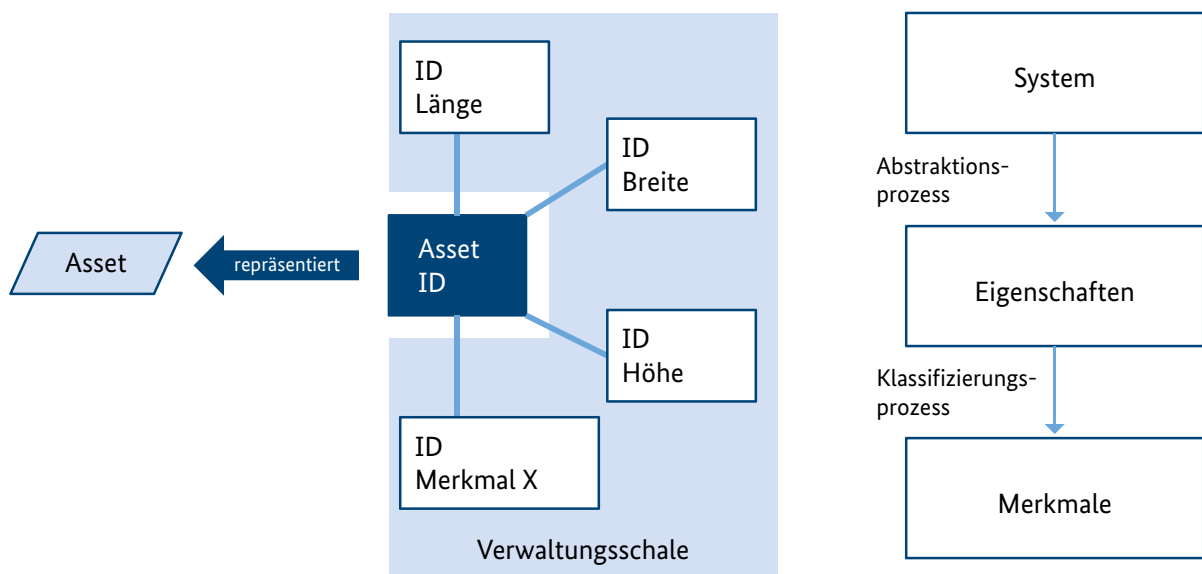
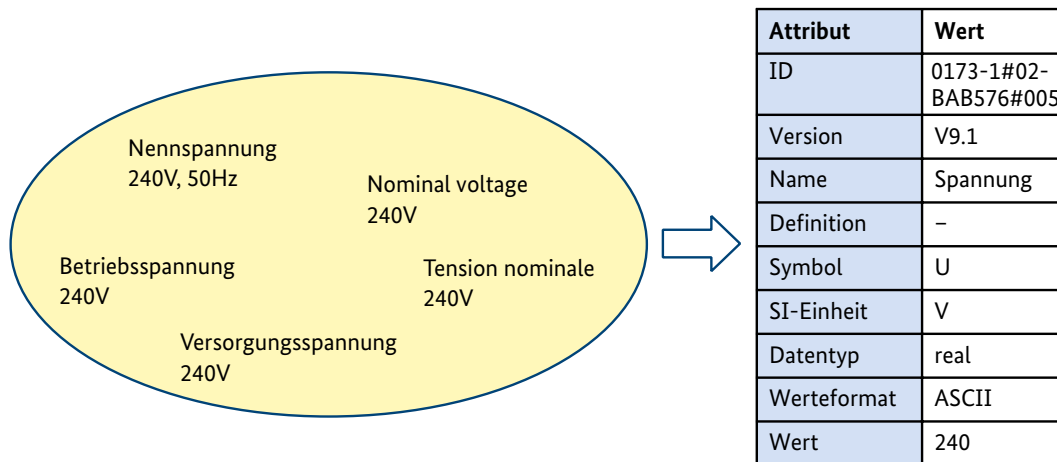


Abbildung 6: Attribute von Merkmalen



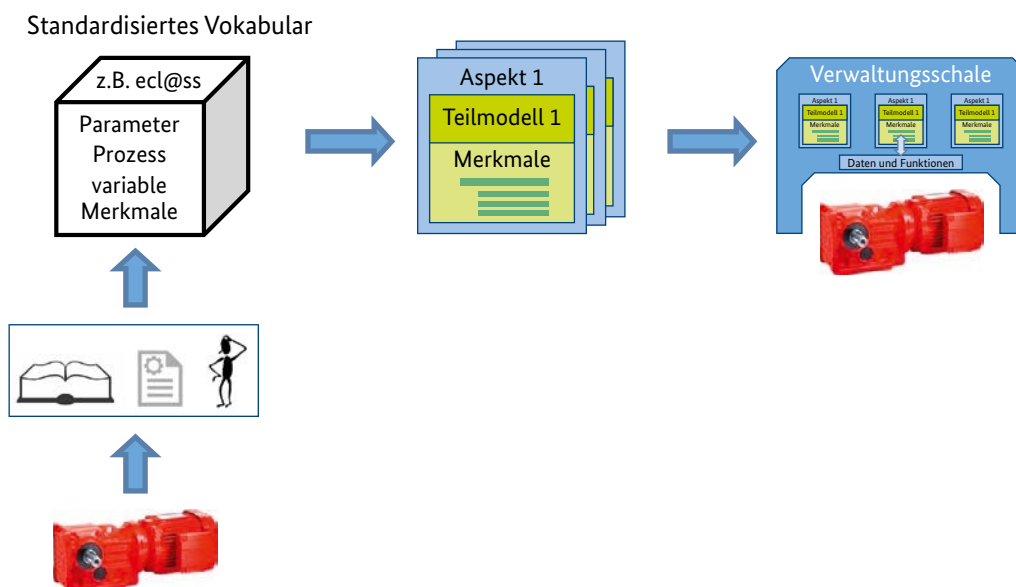
Quelle: Plattform Industrie 4.0

Zur Identifikation der relevanten Merkmale existieren verschiedene Möglichkeiten. Im einfachsten Fall findet man die Eigenschaften in den Handbüchern der Produkte. Ansonsten ist zunächst in einschlägigen Normen der IEC-CDD, ecl@ss, ISO oder UNSPCS nachzuschauen, ob die richtigen Merkmale schon standardisiert vorliegen. Dann sollten diese auch verwendet werden. Ist das nicht der Fall, kann man entweder eine Standardisierung durchführen (z.B. innerhalb einer Branche) oder eigene herstellereigene

sche oder branchenspezifische Merkmalskataloge mit den benannten Attributen aufbauen.

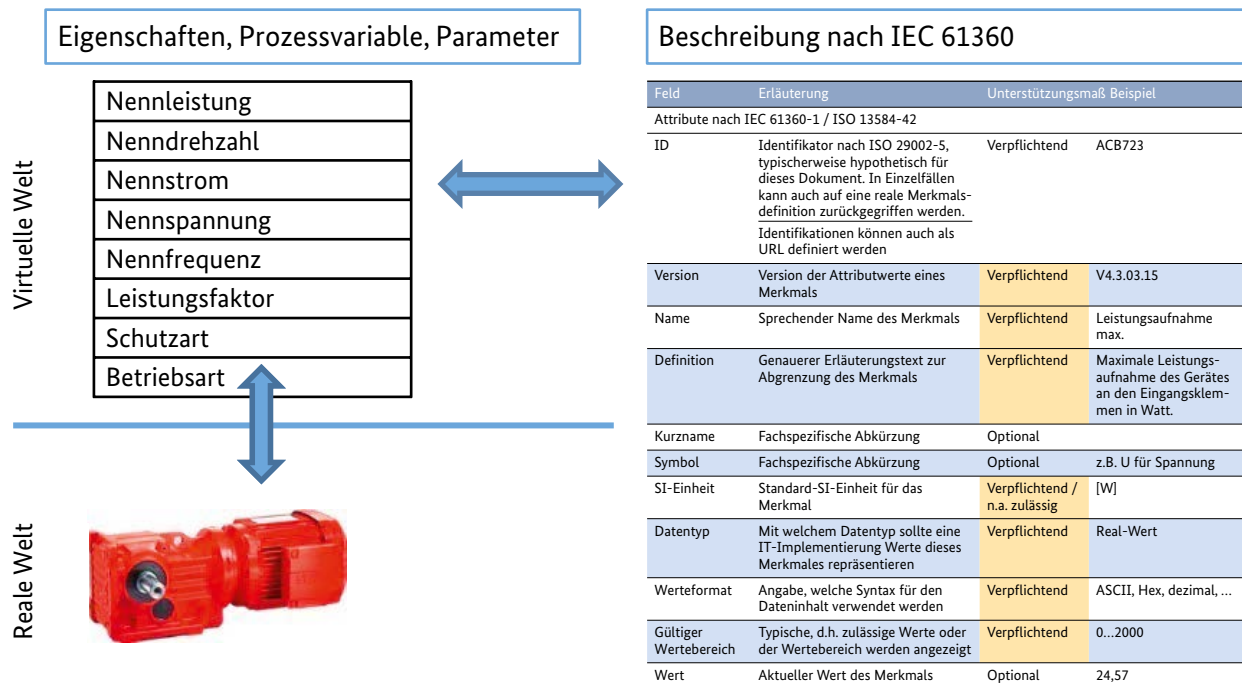
In einer Verwaltungsschale sind die Merkmale in Teilmodellen organisiert. Die Gesamtheit aller Merkmale wird so zerlegt und gruppiert, wie es für die Teilmodelle notwendig ist (Abbildung 7 und Abbildung 8). Beispiele dafür sind auch in [5] enthalten.

Abbildung 7: Benutzung von standardisierten Vokabularen



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Abbildung 8: Beispiel für Merkmale für Antriebe



Hier muss ergänzend hinzugefügt werden, dass auch Attribute Standards unterliegen können, wie z. B. Maßeinheiten. Auch diese sind dann durch eine ID referenzierbar.

Soweit zum Stand der Merkmalnutzung, wie er schon seit längerer Zeit im Gebrauch ist. Eines der wesentlichen Charakteristika ist es, dass die Beschreibungen der Merkmale durch Attribute als Typbeschreibungen vorgenommen werden. Praktisch heißt dies, dass sie damit unveränderbar während der gesamten Lebenszeit eines Merkmals festgelegt sind. Nun gibt es jedoch auch Attribute, bspw. den Wert, aber auch die Maßeinheit die für jede einzelne Verwendung des Merkmals unterschiedlich sein können. Außerdem kommen für einzelne Anwendungen auch zusätzliche Attribute hinzu, wie z. B. der Zeitstempel oder eine Aussage über die Gültigkeit des Wertes (ein sogenannter Qualifier).

Nun ist es aber so, dass die Merkmalwerte auch während des operativen Betriebs ausgetauscht werden sollen. Nicht der Mensch nutzt die Werte und prüft deren Plausibilität, sondern das wird durch die Anwendungen selbst vorgenommen. Mit anderen Worten, die Merkmale benötigen auch instanzbezogene Attribute. Dies kommt durch die Nutzung von Merkmalen in der Interaktion zwischen

I4.0-Komponenten neu in das Merkmalkonzept hinzu. Daraus folgt aber auch, dass diese instanzbezogenen Attribute standardisiert vorliegen müssen. Nähere Informationen zur Nutzung von Merkmalen als Typen und Instanzen sind in dem IEC-Standard Digital Factory – IEC 62832 beschrieben [15]. Definition zur Nutzung der Merkmalbeschreibung als Instanzbeschreibungen sind im Rahmen von IEC 61987 und in einer neu entstehenden DIN-SPEC vorhanden.

Es gibt noch einen weiteren neuen Aspekt bei der Merkmalbehandlung. Bisher wurden in der Regel Eigenschaften beschrieben, d. h. durch Substantive ausgedrückte Dinge. Bei der Interaktion muss aber auch ausgedrückt werden, welche Aktion bei dem Partner ausgeführt werden soll. Das sind streng genommen keine Eigenschaften, sondern Funktionalitäten oder Dienstleistungen. Dafür gelten aber im Sinne der Repräsentanz der Fähigkeiten eines Assets die gleichen Digitalisierungsvoraussetzungen. Die Funktionalitäten müssen mit den gleichen Prinzipien beschrieben werden, wie die Merkmale, wobei es natürlich Attribute gibt, die nicht sinnvoll sind, wie z. B. hat „Bohren“ keine Maßeinheit oder Wertformat. Es wird deshalb ein Subset der Attribute verwendet. Hier müssen zunächst noch Erfahrungen gesammelt werden. Die entsprechenden Standardisierungsbestrebungen haben auch erst begonnen.

Das Vokabular der I4.0-Sprache besteht aus Merkmalen, die sowohl die Eigenschaften als auch Funktionalitäten beschreiben. Die Merkmale sind im Format von IEC 61360 zu beschreiben. Jedes Merkmal ist eindeutig durch eine ID zu kennzeichnen. Sie treten sowohl als Typ als auch als Instanz auf. Die Merkmale werden in Teilmodellen strukturiert in der Verwaltungsschale hinterlegt.

Für die Nutzung anderer technologischer Konzepte als linearer Merkmalskataloge für die Notation des Vokabulars wie z. B. Ontologien ist noch Forschungsbedarf erforderlich.

3.2 Struktur von Nachrichten

Satzbau der I4.0-Sprache ist ein Regelwerk, mit dem das Vokabular der I4.0-Sprache in die Nachrichten eingebettet wird. Damit sollen die Voraussetzungen für ein gemeinsames Verständnis der Nachrichten geschaffen werden.

Informationsaustausch zwischen I4.0-Komponenten erfolgt nachrichtenbasiert. Damit die Nachrichten von den interagierenden Komponenten korrekt verstanden und bearbeitet werden können, wird in der I4.0-Sprache eine Struktur von Nachrichten festgelegt.

Eine Nachricht besteht aus einem Identifikations- und einem Datenbereich.

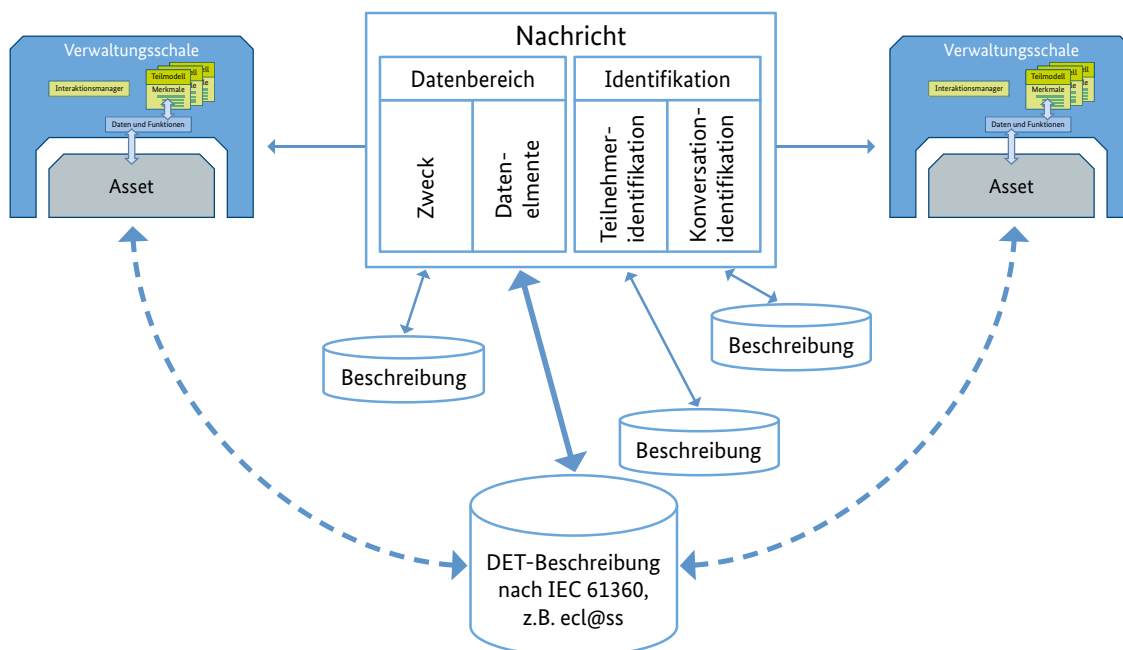
Identifikationsbereich

Durch die Eingabe von Absender und Empfänger einer Nachricht werden die Teilnehmer einer Konversation identifiziert. Es besteht die Möglichkeit, die einzelnen Konversationen und Nachrichten ebenfalls zu identifizieren und zu referenzieren (analog zu dem in der Geschäftswelt üblichen: „Ich beziehe mich auf Ihre Nachricht vom ...“). Dadurch wird die Ausdruckstärke der I4.0-Sprache an den für Dialoge notwendigen Umfang angepasst.

Datenbereich

Der Zweck definiert die Intention der Nachricht, wie z. B. „call for proposal“, „accept-propose“ oder „inform“. Die Datenelemente referenzieren einerseits Eigenschafts-, Parameter-, Zustands-, Fähigkeits- und weitere relevanten Informationen, andererseits können sie auch Werte enthalten, die den Teilmodellen von Assets zugeordnet sind.

Abbildung 9: Struktur von Nachrichten



3.3 Interaktionsprotokolle

3.3.1 Anforderungen an eine I4.0- Interaktionssemantik

Ein semantisches Interaktionsprotokoll definiert die Abfolge von ausgetauschten Nachrichten zwischen I4.0-Komponenten für einen bestimmten Anwendungsfall. Unter einem Interaktionsprotokoll verstehen die Autoren ein Regelwerk, nach dem einzelne Konversationen ablaufen können. Die Interaktionsprotokolle sorgen dafür, dass ein Sprecherwechsel stattfindet, die Beiträge von interagierenden Parteien auf einander bezogen sind und ein Dialog ein erkennbares Ziel hat.

Um die Notwendigkeit der Definition von Aufbauregeln und Dialoge für I4.0-Komponenten zu erläutern, werden beispielhaft Parallelen zu menschlicher (natürlicher) Sprache gezogen [9].

*„A: Der Eifelturm ist höher als der Kölner Dom!
B: Nein!
A: Doch!
B: Nein!
A: Doch!
[...]“*

In diesem Dialog besitzen die Teilnehmer A und B unterschiedliche Meinungen zu einer Aussage bzw. Behauptung. Der daraus resultierende Dialog, in dem beide Teilnehmer auf ihren Aussagen beharren, würde auf die maschinelle Interaktion bezogen, in einer Endlosschleife verlaufen. Somit ist eine der Rahmenbedingungen der I4.0-Interaktionssemantik, dass solche **Endlosschleifen** unbedingt zu **vermeiden** sind. Des Weiteren kann hier die Frage nach der Sinnhaftigkeit des Dialoges gestellt werden. Abgesehen davon, dass eine Endlosschleife sinnlos ist, ist der zuvor vorgestellte Dialog nicht konstruktiv. Das bedeutet, dass selbst mit einer Begrenzung des Dialoges kein konstruktives Ergebnis entsteht. Beide Dialogteilnehmer würden auf ihren Meinungen beharren. Hieraus lässt sich eine weitere Eigenschaft der I4.0-Interaktionssemantik ableiten. Dialoge zwischen I4.0-Komponenten müssen **konstruktiv** sein. Ein Dialog muss folglich ein definiertes Ziel besitzen, auf das die Teilnehmer hinarbeiten. Bezogen auf das oben genannte Beispiel sollte das Ziel des Dialoges sein, die Behauptung durch Argumente oder Beweise zu untermauern oder zu widerlegen.

Ein weiteres Beispiel ist die Verhandlung eines Preises zwischen I4.0-Komponenten. Hierbei besitzen Auftragnehmer

und Auftraggeber verschiedene Preisvorstellungen. Ziel der Verhandlung sollte dann die Annahme oder Ablehnung des Auftrages durch den Auftragnehmer sein.

Eine weitere Rahmenbedingung für eine Interaktionssemantik ist die richtige Reihenfolge der Dialogfragmente. Hierbei muss zwingend die richtige Reihenfolge eingehalten werden. Ist dies nicht der Fall, verstehen sich die Komponenten nicht. Folgt z.B. auf ein „call for proposal“ die Aktion „done“, ist dies nicht nur aus dem Zusammenhang gerissen, sondern auch sinnfrei. Ein Beispiel für einen solchen menschlichen Dialog ist wiederum in [9] zu finden:

*„A: Ich hätte gern so zwei Pfund davon.
B: Auf Wiedersehen!
A: Ja, bitte
B: Was darf es sein?
A: Guten Tag!
B: Zwei Pfund von dem hier?“*

Es darf angezweifelt werden, ob die Gesprächsteilnehmer sich in der Realität verstanden hätten. Auf die Interaktion zwischen I4.0-Komponenten trifft das Gleiche zu. Die nächsten Anforderungen an eine Interaktionssemantik können aus der Thematik des Dialoges abgeleitet werden. Beispielsweise ist für eine erfolgreiche Interaktion notwendig, dass die Teilnehmer über das **gleiche Thema** sprechen. Es bedarf keiner Erläuterung dieser Anforderung, da feststeht, dass, wenn die Teilnehmer eines Dialoges über verschiedene Themen sprechen, keine sinnvolle Interaktion zustande kommen kann. Arbeitet jeder Teilnehmer mit derselben Thematik, so ist jedoch der Kontext zu beachten. Ein weiteres Beispiel ist:

*„A: Autos verschmutzen die Umwelt.
B: Nein, mein Auto muss in die Werkstatt.
A: Obwohl man mit dem Auto manchmal schon schneller als mit dem Zug ist. Oder?
B: Oh ja! Autofahren wird immer teurer.
A: Ich bin schon ganz gern Beifahrer im Auto.“*

An diesem Beispiel ist zu sehen, dass die Thematik das Auto ist. Zwar sprechen die Dialogteilnehmer über das Auto, der Kontext ist indes immer ein anderer. Folglich versteht eine der beiden Komponenten entweder den Kontext nicht oder die ausgelöste Aktion in einer der Komponenten ist falsch. Somit sind zwei weitere Anforderungen der **Kontextbezug**, so wie das Auslösen von **standardisierten Aktionen** durch andere Dialogteilnehmer. [10]

Eine I4.0-Interaktionssemantik muss folglich die folgenden Voraussetzungen erfüllen:

- Begrenzung der Interaktion
- Konstruktive Interaktion
- Interaktion über dieselbe Thematik
- Kontextbezug der Interaktion
- Einheitliche, standardisierte Aktionen

3.3.2 Interaktionsprotokoll Ausschreibungsverfahren

Das in diesem Beitrag vorgestellte Interaktionsprotokoll „Ausschreibungsverfahren“ bietet die Möglichkeit einer hochflexiblen Erzeugung von Kooperationsbeziehungen zwischen I4.0-Komponenten, insbesondere wenn die Aufgaben verteilt werden müssen. Genau solche dynamischen Beziehungen sollen im Sinne der flexiblen Auftragsfertigung kostengünstig realisiert werden, um freie interne oder externe Fertigungskapazitäten möglichst selbstständig und automatisiert in die eigenen Unternehmensabläufe einbinden zu können. Einzelne Prozessschritte in der Produktion können so wesentlich flexibler miteinander kombiniert und ihre spezifischen Fähigkeiten besser genutzt werden [6].

Das Interaktionsprotokoll „Ausschreibungsverfahren“ lehnt sich an das Kontraktnetzprotokoll [11] an und ist beispielhaft auf der Abbildung 10 dargestellt. Das Kontraktnetzprotokoll ist einer der verbreitetsten Ansätze zur formalen Beschreibung von automatisierten Verhandlungen.

Sofern die I4.0-Komponenten das Interaktionsprotokoll „Ausschreibungsverfahren“ unterstützen, können sie sofort Aufgaben übernehmen, indem sie auf Ausschreibungen reagieren oder selbst Aufgaben zur Bearbeitung ausschreiben. Die Ausschreibung und das Angebot beinhalten eine technische und kaufmännische Beschreibung der zu vereinbarenden Aufgabe, die mit dem Vokabular der I4.0 verfasst wird.

Die interagierenden Komponenten werden in zwei Gruppen aufgeteilt. Eine anfragende Komponente (Auftraggeber) spaltet die zu lösende Aufgabe in die Teilaufgaben auf und sucht nach anderen Komponenten, die diese Teilaufgaben erledigen können.

Die Besonderheit gegenüber den starren hierarchischen Strukturen besteht darin, dass keine zentrale Kontrolle über die Aufgabenausführung existiert und die Verbindungen zwischen I4.0-Komponenten nicht vom zentralen Element des Systems fest vorgegeben sind. Vielmehr kann je nach Aufgabe jede Komponente in Verbindung mit beliebigen anderen I4.0-Komponenten treten, die dann spontan die Rolle des Anbieters oder Erbringers einer Dienstleistung übernehmen.

Die angefragten Komponenten (Auftragnehmer, in der Regel die Anbieter von Dienstleistungen) übernehmen die Teilaufgaben oder werden selbst zu anfragenden Komponenten und zerlegen die Teilaufgaben weiter, um sie an andere I4.0-Komponenten zu delegieren.

Eine anfragende I4.0-Komponente hat die Möglichkeit, nach einem neuen Kooperationspartner zu suchen, falls die zuvor kooperierende Komponente nicht in der Lage ist, eine zufriedenstellende Lösung zu liefern.

Anhand von eingegangenen Angeboten kann die anfragende I4.0-Komponente entscheiden, ob die nächste Iteration endgültig ist und ein Teil der Angebote angenommen und der Rest abgelehnt wird.

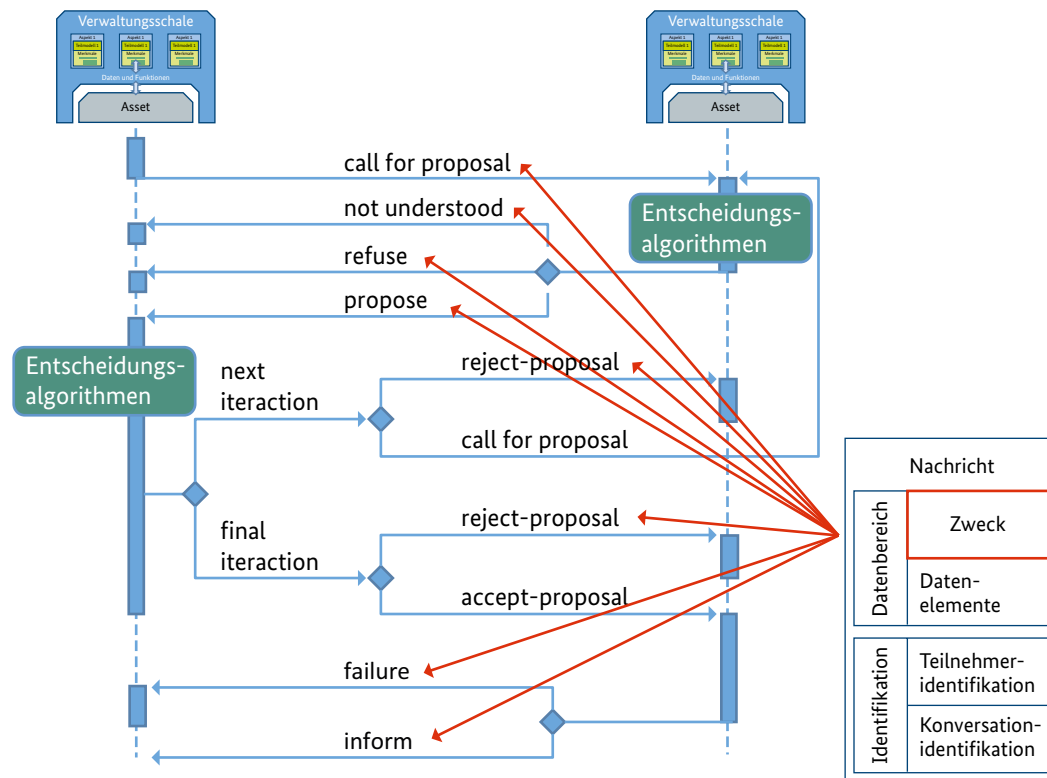
Alternativ kann die anfragende Komponente eine Verhandlung starten und neue Konditionen aushandeln. Dafür wiederholt die angefragte Komponente den Prozess, indem sie eine modifizierte Ausschreibung herausgibt.

Die Absicht ist, dass die anfragende Komponente versucht, bessere Gebote von den potentiellen Kooperationspartnern zu erhalten, indem sie die Ausschreibung überarbeitet und neue Angebote anfordert.

Die Interaktionsprotokolle bieten einen Kontext für die einzelnen Nachrichten und vermitteln den Nachrichten eine Bedeutung.

Jede I4.0-Komponente beherbergt einen bestimmten Satz an diesen Interaktionsmustern, die ihrem Zweck entsprechen, d.h. den funktionalen Inhalten und der Position in einer Wertschöpfungskette und der Lebenszyklusphase [13].

Abbildung 10: Interaktionsprotokoll „Ausschreibungsverfahren“ [14]



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Legende zu Abbildung 10**call for proposal**

Mit dem call for proposal (kurz CFP) wird eine I4.0-Komponente aufgefordert, ein Angebot abzugeben. Dieses Angebot bezieht sich auf das übermittelte Substantiv. Antworten auf einen CFP könnten beispielsweise *refuse*, *not-understood* oder *propose* sein. [12]

refuse

Ein *refuse* bedeutet, dass eine Komponente eine gewünschte Operation nicht ausführen kann oder will. Beispielsweise weil die angefragte Aktion von der Komponente nicht ausgeführt werden kann. [12]

not-understood

Das Verb *not-understood* sagt aus, dass eine Komponente die andere nicht verstanden hat. In Bezug auf das Ausschreibungsverfahren wird dieses Verb verwendet, wenn eine Komponente das angefragte Teilmodell nicht besitzt und somit nicht weiß, welche Aktion durch die Anfrage ausgelöst werden soll. [12]

propose

Im Ausschreibungsverfahren bedeutet ein *propose*, dass eine I4.0-Komponente ein Angebot für eine andere Komponente bereitstellt. Eine Komponente bietet somit an, eine angefragte Aktion auszuführen. [12]

accept-proposal und reject-proposal

Mit *accept-proposal* und *reject-proposal* wird einer Komponente, welche ein Angebot abgegeben hat, mitgeteilt, ob ihr Angebot angenommen oder abgelehnt wurde. [12]

inform

Damit Komponenten an einen Wissensaustausch teilnehmen können, müssen Verben existieren, welche diesen unterstützen. Eines dieser Verben ist *inform*. Eine Komponente muss einer anderen Komponente glauben, dass eine Aussage wahr ist. Beispielsweise wird im Ausschreibungsverfahren dieses Verb benutzt, um mitzuteilen, wie der Auftragsstatus zu einem vergebenen Auftrag ist. [12]

3.3.3 Entscheidungsfähigkeit

Wird die Zusammenarbeit von I4.0-Komponenten nach dem Interaktionsprotokoll „Ausschreibungsverfahren“ orchestriert, entstehen mindestens zwei Situationen, in denen Verwaltungsschalen Entscheidungen treffen müssen. Dies betrifft zum einen die Entscheidung, ob ein Asset in der Lage ist eine Anfrage zu bearbeiten. Dafür werden technische und wirtschaftliche Aspekte betrachtet, welche eine Entscheidung erfordern. Dies ist z. B. bei der Angebotserstellung der Fall. Zum anderen muss die anfragende Komponente entscheiden, welches der eingegangenen Angebote angenommen wird. Die Algorithmen können mehrere Ziele verfolgen. Beispielsweise sollen die besten wirtschaftlichen Konditionen ausgehandelt werden. Das übergeordnete Ziel ist dabei, dass Komponenten autonom handeln und somit das menschliche Verhalten imitieren sollen.

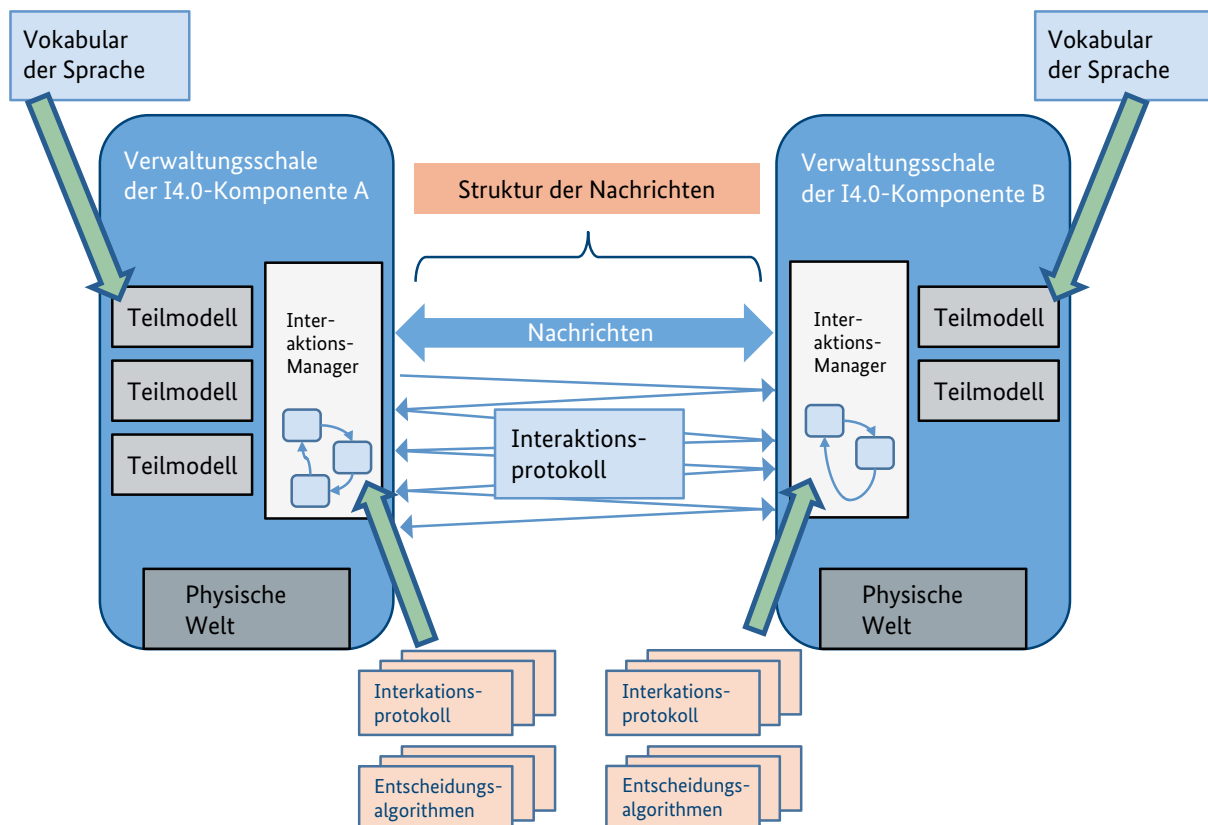
In dem hier vorgestellten Interaktionsmechanismus können die Entscheidungsalgorithmen relativ einfach gehalten

werden. Beispielsweise vergleicht ein Algorithmus in simpler Weise die Merkmale miteinander, prüft die Anforderungs- und Zusicherungsaussagen und sucht nach einem besten Preis.

Auffällig ist nun, dass bisherige Anforderungen und Strukturen nicht die Frage klären, an welcher Stelle eine I4.0-Komponente Entscheidungen trifft, obwohl erst diese Eigenschaft die I4.0-Komponenten autark interagieren lässt. [10]

Außerdem wurde bisher nicht besprochen, welche Entität die Interaktionen und die potentiell dafür notwendigen Entscheidungen und Regeln beheimatet. Konzeptionell ist dies ein Interaktionsmanager der z. B. mittels Automaten für die Umsetzung von verschiedenen Interaktionsprotokollen und die Entscheidungsalgorithmen zuständig ist. Über seine Einordnung in die Struktur der Verwaltungsschale wird an dieser Stelle keine Aussage getroffen.

Abbildung 11: Interaktionen zwischen I4.0-Komponenten



Die Entscheidungsprozesse der Verhandlungspartner, die zu einer Erstellung eines Angebots oder zur Annahme eines Angebotes führen sind rechtlich nicht vorgegeben. Diese Entscheidungsprozesse laufen sozusagen in einer individuell zu gestaltenden, privaten Black-Box. Bei den Implementierungen von selbstständig agierenden Vertragsverhandlungsmodulen in der I4.0 Komponenten sind die Verhandlungsregeln und -strategien individuell festzulegen und werden den Verhandlungserfolg maßgeblich bestimmen.

Entscheidungsalgorithmen liegen damit eindeutig im wettbewerblichen Bereich und damit außerhalb der Standardisierungsaktivitäten.

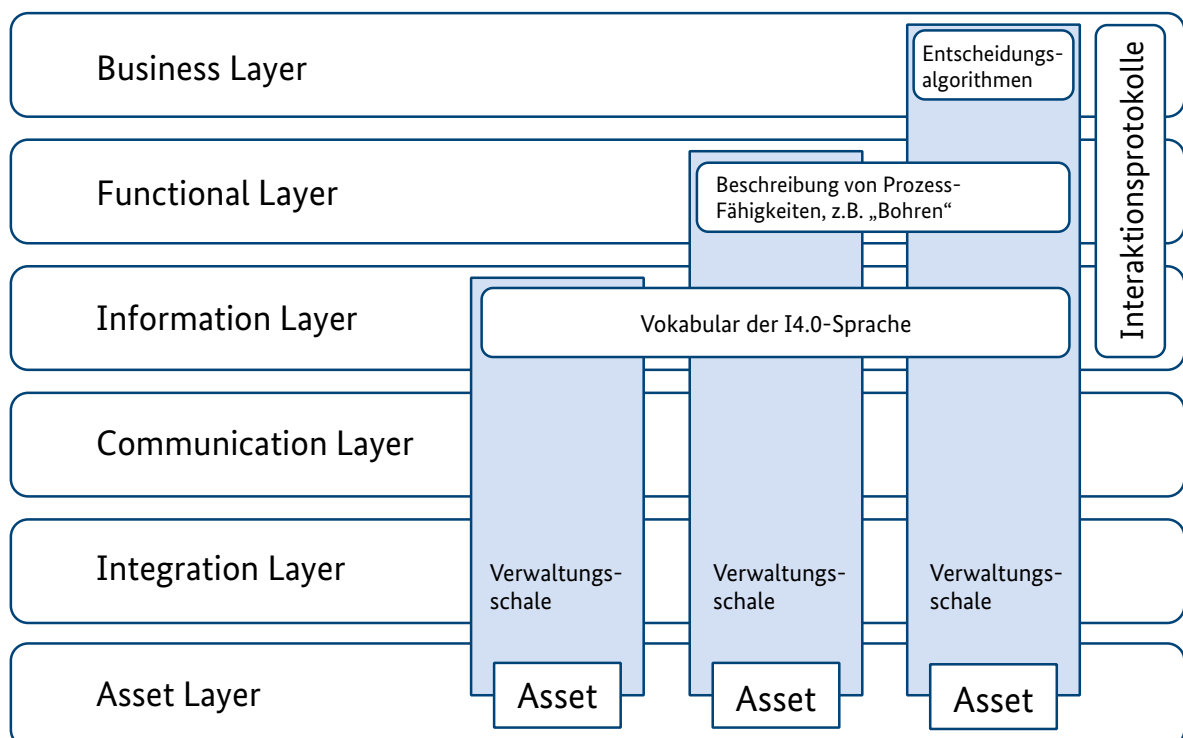
Interaktionsprotokollen und Entscheidungsmechanismen in das Modell beschrieben. Die Interaktionsprotokolle des Interaktionsmanagers entsprechen der Nutzung des Ressourcenmodells der Informationsschicht, den Prozessfähigkeiten der Funktionsschicht und den Entscheidungsalgorithmen der Businesssschicht. In der Businesssschicht werden technische und ökonomische Entscheidungen mit Hilfe der mehr oder weniger komplexen Algorithmen getroffen. Sie repräsentieren somit geschäftliche Abläufe. Nicht alle I4.0-Komponenten müssen Business-Services bereitstellen. I4.0-Komponenten, die Business-Services bereitstellen, unterstützen beispielsweise vertragliche Verhandlungen zur Erbringung von Produktionsleistungen.

3.3.3.1 Einordnung in RAMI4.0

Das RAMI 4.0 dient zur Einordnung von Industrie 4.0-relevanten Modellen, Methoden und Technologien. Deshalb wird hier eine Anordnung von Vokabularen,

Die Autoren schlagen vor, zwischen I4.0-Komponenten zu unterscheiden, die Business-Services bereitstellen, und I4.0-Komponenten, die keine Business-Services bereitstellen.

Abbildung 12: Einordnung in RAMI4.0





4 Beispiel

Das folgende Beispiel zeigt eine Umsetzung des Szenarios „Auftragsgesteuerte Produktion“[5] unter Verwendung von Konzepten der I4.0-Sprache.

Ausgangspunkt der behandelten Wertschöpfungskette ist eine automatisierte Bildung und Konfiguration einer flexiblen Fertigungslinie und anschließende Ausführung von notwendigen Prozessschritten anhand der Anforderungen zur Fertigung eines bestimmten Produkts [5]. Bei dem in der Abb. 13 dargestellten Beispiel kann der Produktionsschritt 2 auf verschiedenen Maschinen (A1, B2 oder C3) ausgeführt werden.

Basierend auf dem Interaktionsprotokoll „Ausschreibungsverfahren“ wird in der Abbildung 14 ein beispielhafter Ablauf von Nachrichten zwischen einem intelligenten Produkt und den potentiellen Auftragnehmern dargestellt. Die interagierenden Komponenten werden in zwei Gruppen aufgeteilt. Ein intelligentes Produkt wird zu einem Auftragsgeber. Er spaltet die zu lösende Aufgabe in die Teilaufgaben auf und sucht nach anderen Komponenten,

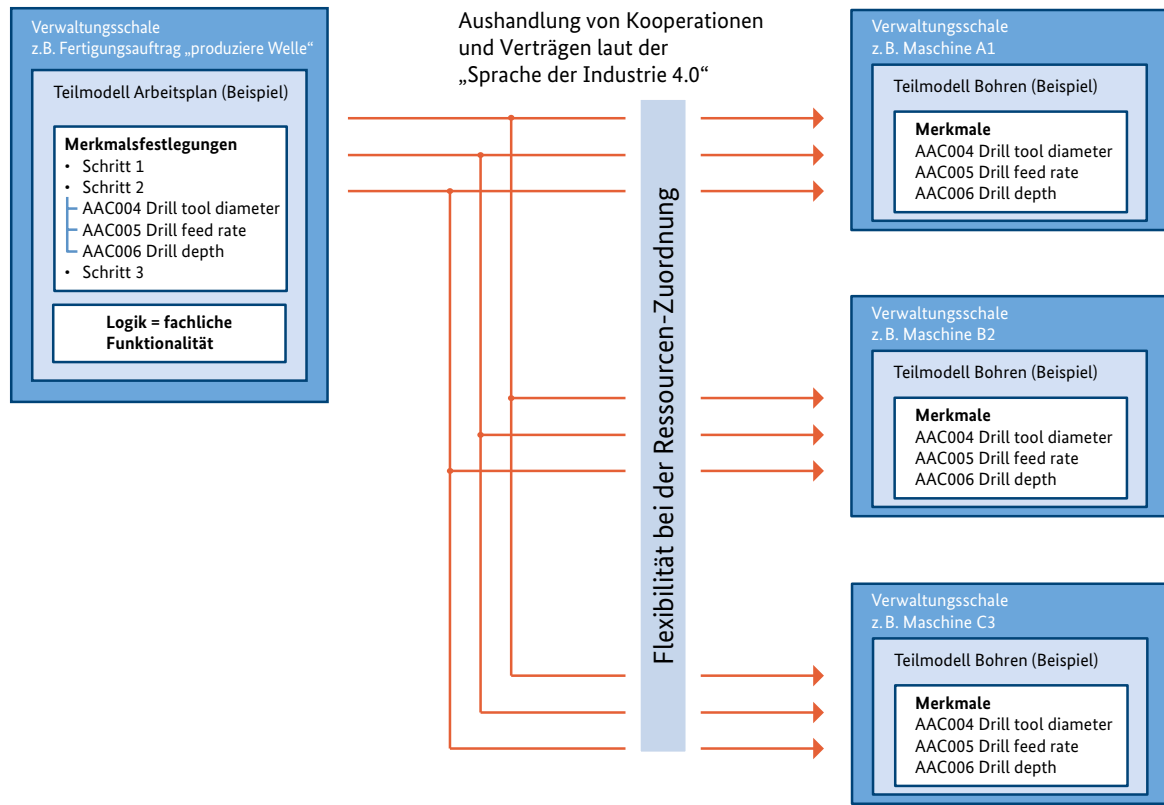
die diese Teilaufgaben erledigen können. Die Maschinen (A1, B2 und C3) werden zu potentiellen Auftragnehmern. Dabei werden der erforderliche Prozessschritt „Bohren“ und die Fähigkeiten zum Bohren von dem Produkt und allen drei Maschinen auf die gleiche Weise repräsentiert.

Im ersten Schritt sendet der Auftragsgeber eine Nachricht „call for proposal“ an potentielle Auftragnehmer. Diese Nachricht enthält die technische Beschreibung der Dienstleistung „Bohren“, den erwarteten Preisrahmen, ein Qualitätsmerkmal und den gewünschten Liefertermin (Abbildung 15).

Nach Erhalt der Ausschreibung evaluieren die angefragten Komponenten die Anforderungen und senden eine Antwort an den Auftraggeber zurück.

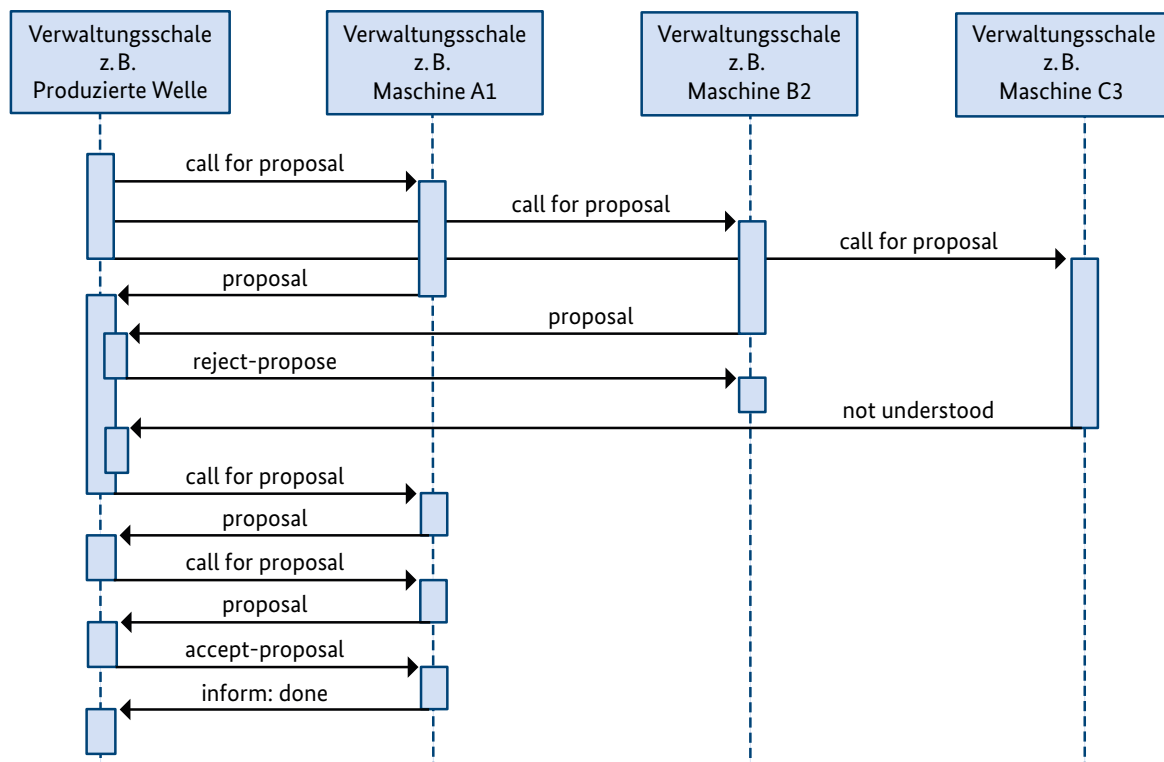
Sind Auftragnehmer in der Lage, die angefragte Dienstleistung zu erfüllen, senden sie ein Angebot („proposal“-Nachricht) mit der Beschreibung der zugesicherten Eigenschaften an den Auftraggeber.

Abbildung 13: Nutzung gemeinsamer Merkmale zur Beschreibung von Fähigkeiten [5]



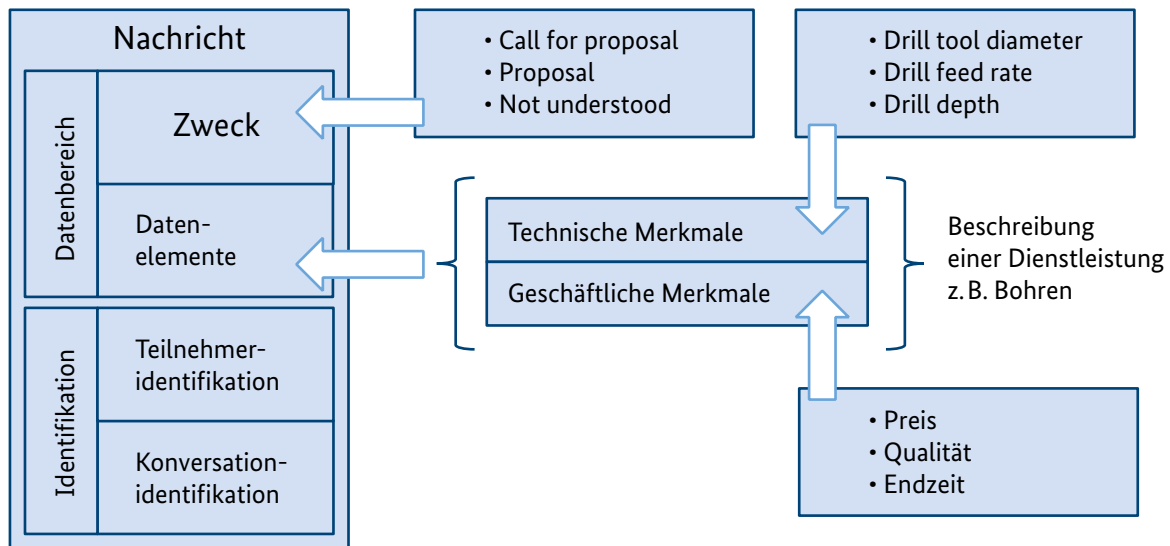
Quelle: Plattform Industrie 4.0

Abbildung 14: Beispielhafter Ablauf der Interaktionen



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Abbildung 15: Inhalt einer Nachricht



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Für die Maschine C3 sind die in der Ausschreibung verwendeten Datenelemente nicht bekannt. Als eine Antwort folgt die Nachricht vom Typ „nicht verstanden“.

Nach dem Erhalt der Angebote muss der Auftraggeber über die Annahme entscheiden. Diese Auswahl wird mit Hilfe eines Algorithmus getroffen. Im einfachsten Fall können die Parameter der „Ausschreibung“ und den erhaltenen Angeboten abgeglichen werden.

In dem hier dargestellten Beispiel erfolgt in der ersten Iteration keine Auftragsvergabe. Das Angebot der Maschine B2 wird mit einer Nachricht „reject-proposal“ abgelehnt.

Anhand des Angebotes der Maschine A1 entscheidet der Auftraggeber die Ausschreibung zu überarbeiten und an die Maschine A1 erneuert herauszugeben. Die Absicht ist, ein besseres Angebot von der Maschine A1 zu bekommen.

Nachdem ein Algorithmus über die Annahme eines Angebotes entschieden hat, kann der Auftrag an die entsprechende Komponente vergeben werden. Die Auftragsvergabe findet im einstufigen Ausschreibungsverfahren durch die Nachricht „accept-proposal“ statt. Die Annahme eines

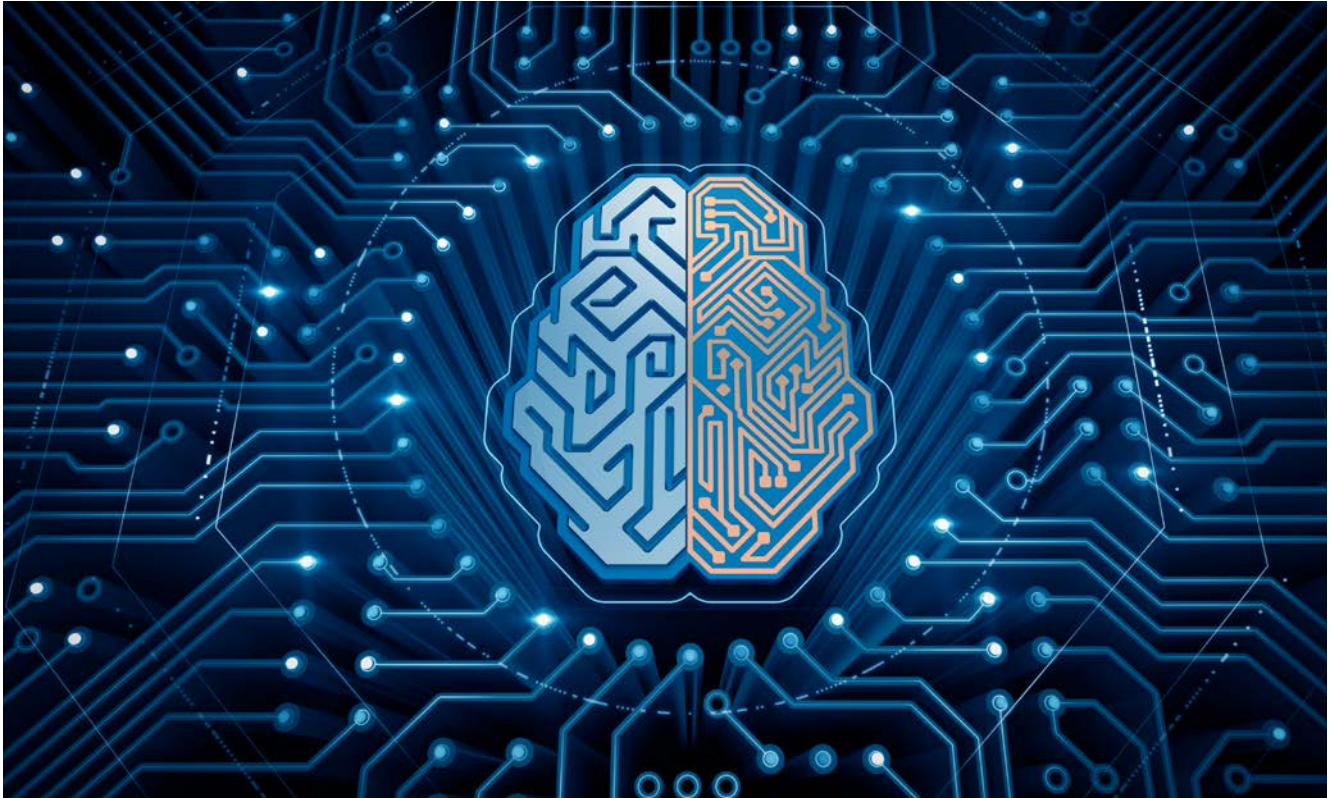
Angebotes führt zu einem Vertragsabschluss zwischen den interagierenden Komponenten. Damit werden die Eigenschaften der zu erbringenden Dienstleistung zugesichert. Nach dem Vertragsabschluss erfolgt die gegenseitige Erfüllung der im Vertrag vereinbarten Leistungen.

Die interne Art und Weise, wie die Leistung erstellt wird, ist dem Vertragspartner freigestellt. Diese Art der Verbindung von Vertragspartner ist kongruent mit den Grundlagen der IT Architektur SOA (Service-oriented Architecture), in der ebenfalls IT Komponenten externe Services anbieten oder anfragen, ohne dadurch die innere Organisation und Aufbau der Komponente vorzugeben.

Die vorgestellte Sprachdefinition soll zunächst unabhängig von einer konkreten Umsetzung verstanden werden. Zur Veranschaulichung (Tabelle 1) wird eine einzige Nachricht in JSON notiert. Hier sind URI- und ISO 29002-5-basierte IDs zu sehen, es werden die Nachrichtenelemente (Zweck, Datenelemente, Sender, Receiver, ...) und die Einbettung der Merkmale sichtbar.

Tabelle 1: JSON-Notation einer Nachricht

Bereich	Nachrichten- element	Inhalt
Daten	Zweck	Call for propose
	Datenelemente	<pre> „TeilmodellID“: „GMA/7_20/Teilmodell/Beispiel/1/1/TeilmodellTypBohren“, „Merkmale“: [{ „Merkmal_id“: „GMA/7_20/Merkmal/Beispiel/1/1/MerkmalTyp#DrillToolDiameter“, „Unit of measure“: „mm“, „Value“: „100“ }, { „Merkmal_id“: „GMA/7_20/Merkmal/Beispiel/1/1/MerkmalTyp#DrillFeedRate“, „Unit of measure“: „mm/s“, „Value“: „0.5“ }, { „Merkmal_id“: „GMA/7_20/Merkmal/Beispiel/1/1/MerkmalTyp#DrillDepth“, „Unit of measure“: „mm“, „Value“: „1“ }, { „Merkmal_id“: „GMA/7_20/Merkmal/Beispiel/1/1/MerkmalTyp#Preis“, „Unit of measure“: „Euro“, „Value“: „10“ }, { „Merkmal_id“: „GMA/7_20/Merkmal/Beispiel/1/1/MerkmalTyp#Qualität“, „Unit of measure“: „-“, „Value“: „1“ }, { „Merkmal_id“: „GMA/7_20/Merkmal/Beispiel/1/1/MerkmalTyp#Enddatum“, „Unit of measure“: „dd.mm.yy“, „Value“: „23.04.18“ }] </pre>
Identifikation	Sender	urn/zvei/zvei_sub/1/1/demoSender
	Receiver	urn/zvei/zvei_sub/1/1/demoReceiver
	ConversationID	Conversation_ID_1
	NachrichtID	Nachricht_ID_1
	Reply-by	60s



5 Fazit

Die Verschmelzung von IT und Produktion (auch OT – Operation Technology genannt) verspricht eine Flexibilisierung der Wertschöpfungsketten, Steigerung der Vielfalt und Gesamteffizienz der Produktionsleistungen sowie völlig neue Geschäftsideen und -modelle. Die Arbeitsgruppe 7.20 „Semantik und Interaktion von I4.0-Komponenten“ und UAG der Plattform I4.0 AG1 schlägt ein Konzept der I4.0-Sprache vor. Dadurch können die Automatisierungskomponenten Informationen interoperabel austauschen, Aufgaben in der Wertschöpfungskette aushandeln und aktivieren.

6 Referenzen

- [1] Plattform Industrie 4.0: Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0.
http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/fortschreibung-anwendungsszenarien.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- [2] VDI/VDE 3682: VDI-Richtlinie VDI/VDE 3682 Blatt 1:2015-05: Formalisierte Prozessbeschreibungen. Beuth Verlag 2015.
- [3] Pethig, F., Diedrich, C., Belyaev, A., Bock, J., Gössling, A., Hänisch, R., Koziolk, H., Kraft, A., Reich, J., Vialkowitsch, J., Vollmar, F., Wende, J.: Grammatik für Industrie 4.0-Komponenten. VDE-Kongress 2016 – Internet der Dinge, Mannheim
- [4] Plattform Industrie 4.0 (Hrsg.): Interaktionsmodell für Industrie 4.0-Komponenten. November 2015
- [5] Plattform Industrie 4.0: Beziehungen zwischen I4.0-Komponenten – Verbundkomponenten und intelligente Produktion Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente SG Modelle und Standards. Ergebnisrapport Juni 2017. http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/beziehungen-%20i40-komponenten.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- [6] Plattform Industrie 4.0 (Hrsg.): Anwendungsszenario trifft Praxis: Auftragsgesteuerte Produktion eines individuellen Fahrradlenkers. April 2017
- [7] U. Epple: Merkmale als Grundlage der Interoperabilität technischer Systeme. In: at – Automatisierungstechnik 59 (2011) Nr.7, S. 440–450.
- [8] Christian Diedrich, Thomas Hadlich, Mario Thron: Semantik durch Merkmale für I4.0. Beitrag in B. Vogel-Heuser et al. (Hrsg.), Handbuch Industrie 4.0, Springer NachschlageWissen, DOI 10.1007/978-3-662-45537-1_63-1. Online ISBN 978-3-662-45537-1.
- [9] Schade, S.: Dialogmodelle und Dialogmodellierung – Grundlagen und Methoden der maschinellen Simulation von Gesprächen, Duisburg-Essen, 2007
- [10] Beier, B.: Masterarbeit: Konzipierung und prototypische Umsetzung einer I4.0-Komponente, Magdeburg, März 2018
- [11] Smith, R.: The Contract Net Protocol: High Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver. IEEE Transactions on Computers, C-29(12):1104–1113, December 1980.
- [12] Verein Deutscher Ingenieure: Semantik und Interaktion für I4.0-Komponenten – Sprache für I4.0-Komponenten, Düsseldorf, Internes Arbeitspapier der GMA 7.20, Blatt 1
- [13] Plattform Industrie 4.0 (Hrsg.): Weiterentwicklung des Interaktionsmodells für Industrie 4.0-Komponenten. November 2016
- [14] Verein Deutscher Ingenieure: Semantik und Interaktion für I4.0-Komponenten – Sprache für I4.0-Komponenten, Düsseldorf, Internes Arbeitspapier der GMA 7.20, Blatt 2
- [15] IEC 62832 – 1: Industrial-process measurement, control and automation – Digital Factory framework – Part 1: General principles. Geneva 2017.

AUTOREN

Jens Vialkowitsch | Otto Schell | Alexander Willner | Friedrich Vollmar | Thomas Schulz | Florian Pethig | Jörg Neidig | Thomas Usländer | Johannes Reich | Daniel Nehls | Matthias Lieske | Christian Diedrich | Alexander Belyaev | Jürgen Bock | Torben Deppe

Diese Publikation ist ein Ergebnis der UAG Semantik und Interaktion für I4.0-Komponenten der AG Referenzarchitekturen, Standards und Normung (Plattform Industrie 4.0) in Kooperation mit der VDI/VDE-Gesellschaft.

