

Methoden

Alexander Belyaev* und Christian Diedrich

Erhöhung der Flexibilität und Robustheit zwischen Interaktionspartnern durch das Merkmalmodell

Increasing the flexibility and robustness between interaction partners through the property model

<https://doi.org/10.1515/auto-2018-0103>

Empfangen 13. August 2018; angenommen 10. Oktober 2018

Zusammenfassung: Die Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) in der Automatisierungstechnik ist unverzichtbar geworden. Dadurch kann den hohen Anforderungen an Flexibilität, Qualität und Zuverlässigkeit der Automatisierungskomponenten besser Rechnung getragen werden. Der Einsatz der IuK erfolgt in nahezu allen Phasen des Lebenszyklusses. Kurz: die Digitalisierung und das Konzept der „Smart Factory“ sind ein ungebrochener Trend.

Durch die Digitalisierung von physischen Objekten und Prozessen entsteht ein Cyber Physisches System (CPS). Wesentliche Eigenschaft eines solchen Systems ist es, dass CPS über das Internet der Dinge (IoT) untereinander kommunizieren, kooperieren und für die Abwicklung von Geschäftsprozessen Informationen austauschen können. Dazu müssen die CPS an ihren Schnittstellen Informationen semantisch eindeutig bereitstellen.

Die industriellen und öffentlichen Netzwerke können physisch jedes Datum bereitstellen. Die Modellierung der Bedeutungen der Daten, d. h. die Beschreibung von Dingen und ihrer Funktionen in einer für die automatisierte Verarbeitung geeigneten Art und Weise stellen eine der aktuellen Herausforderungen dar.

In diesem Beitrag soll das Konzept der Verwendung der Merkmale für den Informationsaustausch im operativen Betrieb beschrieben werden. Es soll gezeigt werden, wie anhand der Merkmale ein Übergang von dem Austausch der Informationen mit impliziter Semantik zu dem Austausch der Informationen mit expliziter Semantik erfolgen kann. Es soll gezeigt werden, wie die Erhö-

hung der Robustheit und Flexibilität des Zusammenwirkens zwischen den Interaktionspartnern erreicht werden kann, wenn die Beschreibung von Merkmalen mit einem standardisierten Datenmodell durchgeführt und zur Laufzeit zugreifbar wird.

Schlagwörter: Digitalisierung, Semantik, Merkmale, Fähigkeit, Funktion, Dienstleistung, Industrie 4.0

Abstract: The use of the Information and Communication Technologies (ICT) in Automation Technology has become an essential part. As a result the high requirements of flexibility, quality and better reliability of automation components must be taken into account. The use of the ICT takes place in of almost all phases of the life cycle of an asset. Digitization and the concept of the “Smart Factory” are an unbroken trend.

The digitalization of physical objects and processes creates a Cyber Physical System (CPS). The essential feature of such a system is that CPS can be connected to each other via the Internet of Things (IoT). CPS intercat, cooperate and work together.

To do this, the CPS must provide semantically unambiguous information on their interfaces. The modeling of the meanings of data, i. e. the description of assets and their functions in a machine readable way is one of the current challenges.

In this article, the concept of the use of the standardised properties for the exchange of information between CPS is introduced. It is shown how by describing of properties with a standardized data model the robustness and flexibility of interaction between the interaction partners can be increased.

Keywords: digitization, semantic, property, interaction, capability, function, functionality, skill, service, industry 4.0

*Korrespondenzautor: Alexander Belyaev,

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Automatisierungstechnik, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Germany, E-Mail: alexander.belyaev@ovgu.de

Christian Diedrich, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Automatisierungstechnik, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Germany, E-Mail: christian.diedrich@ovgu.de

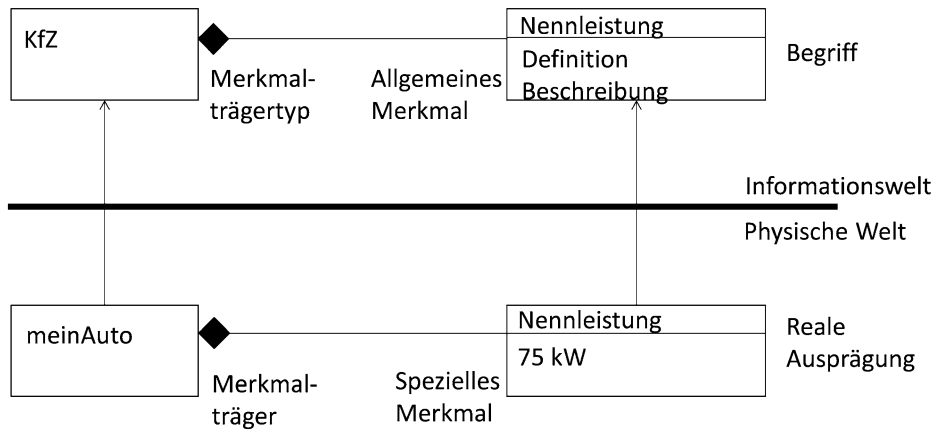


Abb. 1: Merkmalsmodell [6].

1 Einführung des Merkmalskonzeptes

Ein Asset kann durch seine Eigenschaften und durch die Beziehungen zwischen Eigenschaften beschrieben werden. 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.

Ursprünglicher Einsatzfall von Merkmalbeschreibung war die Klassifikation von Produkten und Komponenten für den Einkauf. Dabei wurde ein Merkmal als eine allgemein erkennbare Eigenschaft eines Betrachtungsgegenstandes angesehen, die zu einer Klassifizierung des Betrachtungsgegenstandes genutzt werden kann [5].

Da die Verarbeitung von Merkmalen in der Software erfolgt, existiert eine Abbildung der Beschreibung eines Merkmals auf ein maschinell bearbeitbares Datenmodell, das in der Norm IEC 61360 definiert ist. Die Strukturelemente dieses Datenmodells werden in IEC 61360 als Attribute bezeichnet. Die Attribute sind Eigenschaften, die die wesentlichen Aspekte für das Verständnis der Bedeutung eines Merkmals abbilden.

Das in der IEC 61360 festgelegte Datenmodell definiert für jedes Merkmal einen maschinenlesbaren Iden-

tifier, Benennung, eine Definition und weitere Informationen (auch als Meta-Daten bezeichnet), die zusätzliche Bedeutungsträger des Merkmals festschreiben, z. B. Wert, Wertformat, Maßeinheit, Abkürzung (falls vorhanden), graphisches Symbol, Berechnungsgleichungen, Verweise auf Standards, in dem das Merkmal definiert wird. Beschreibungen von Maschinendaten werden damit zu maschinell bearbeitbaren Informationseinheiten, da diese in eindeutig definierten Datenstrukturen mit fester Zuordnung zu deren Bedeutungsinhalten verfügbar sind.

„Hervorzuheben ist der Unterschied zwischen den Attributen „Benennung“ und „Identifizierer“. Die Benennung dient dem menschlichen Verständnis und ist z. B. abhängig von der Landessprache. Der Identifizierer ist alphanumerisch und im gesamten Einsatzgebiet eindeutig und damit für die maschinelle Verarbeitung verwendbar. Aus terminologischer Sicht ist der Identifizierer für die Verwaltung synonyme Benennungen sowie zur Gestaltung multilingualen Eintragsstrukturen sinnvoll“ [7] (s. Abb. 2).

Maschinen, Anlagen und ihre Komponente haben einen Lebenszyklus, den sie in die Produktionsanlage einbringen. Der Lebenszyklus schließt die Planung, die Installation und Inbetriebnahme sowie den operativen Betrieb und die Instandhaltung für jede einzelne Komponente als auch für die gesamte Produktionsanlage ein. Im Projekt SemAnz40 [3, 4] konnte gezeigt werden, wie Prozessgrößen, Parameter und Zustände von AT-Komponenten als Merkmale modelliert und durchgängig im Engineering verwendet werden können. Angesichts dessen werden im Folgenden die Merkmale als Oberbegriff für Eigenschaften, Parameter und Zustände verwendet.

In nächsten Kapiteln wird auf die Verwendung von Merkmalen für den Informationsaustausch im operativen Betrieb detaillierter eingegangen.

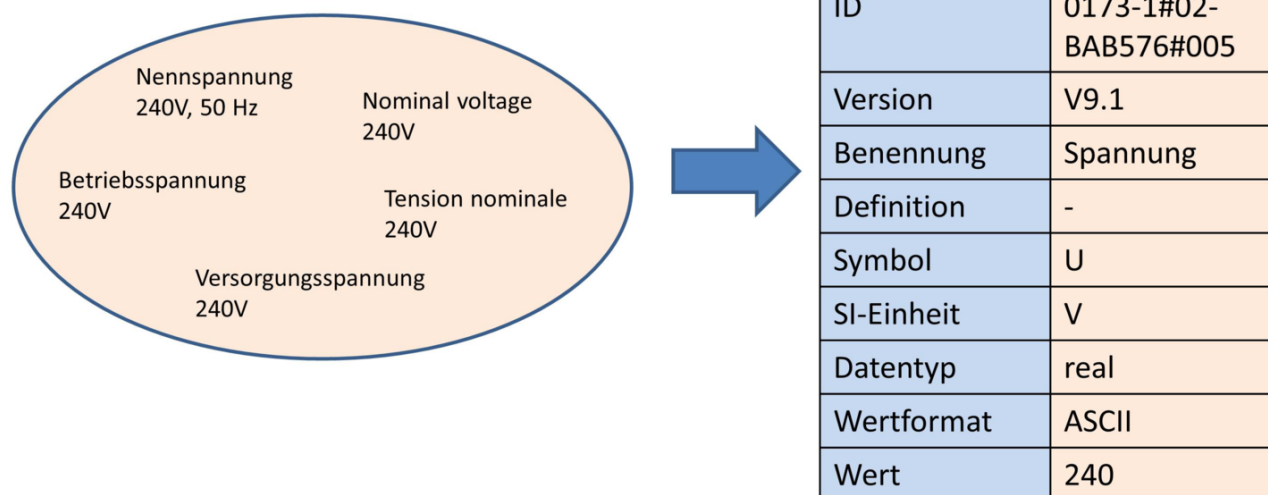


Abb. 2: Verwendung von ID.

2 Rolle der Semantik bei dem Informationsaustausch

Ausgehend von der Rolle der Semantik beim Informationsaustausch wird in diesem Kapitel erläutert, wie eindeutige Informationen zwischen den I4.0-Komponenten ausgetauscht werden können, indem merkmalsbasierte, maschinenlesbare Beschreibungen, referenziert durch eindeutige Identifizierer, für die interagierenden Partner zur Verfügung stehen.

2.1 Zusammenhang zwischen den Werten, dem Kontext, der Bedeutung und „Semantik“

Der Begriff der Semantik kommt aus den Sprachwissenschaften und befasst sich mit der Beziehung zwischen Zeichen und ihrer Bedeutung.

Für den Informationsaustausch zwischen technischen Systemen werden Zeichen verwendet. Damit die Maschinen kooperieren und gemeinsam die Aufgaben in den Wertschöpfungsketten erledigen können, müssen diese in die Lage versetzt werden, die Bedeutung von ausgetauschten Zeichen automatisiert zu verstehen. Die Bedeutung eines Zeichens hängt dabei von dem Verwendungskontext ab. Damit die ausgetauschten Zeichen gleich von den Interaktionspartnern verstanden werden, muss der entsprechende Kontext den jeweiligen Interaktionspartnern bekannt sein.

Auf der Abb. 3 wird der Zusammenhang zwischen einem Zeichen, einem Kontext und einer Bedeutung dargestellt. Die Zeichen bekommen eine Bedeutung durch die Zuordnung in einen Kontext. Kommt zu einem Verwendungskontext ein zusätzlicher Kontext dazu, verändert sich dementsprechend die Bedeutung des Zeichens.

In der Sprachwissenschaft werden als Kontext alle Elemente einer Kommunikationssituation bezeichnet, die das Verständnis einer Äußerung bestimmen.

Konzeptioneller Ausgangspunkt für die Datenübertragung zwischen technischen Systemen ist das semiotische Dreieck [2]. Das semiotische Dreieck besagt, dass zwischen den Sendern und Empfängern zunächst nur vereinbarte Zeichen ausgetauscht werden, die jedoch auf eine Beschreibung referenzieren. Die Zeichen beziehen sich auf ein Objekt, das physisch oder konzeptionell sein kann. In der Beschreibung wird das Objekt so dargestellt, dass der Sender und Empfänger das gleiche Verständnis dafür entwickeln können. Das bedeutet, dass die Beschreibung eines Zeichens seinen Verwendungskontext erklärt.

Objekte sind in dem hier betrachteten Sinne Prozessgrößen, Parameter und Variablen der technischen Systeme (d. h. Maschinen, Anlagen und ihren Komponenten).

2.2 Stand heute: Informationsaustausch mit impliziter Semantik

In der heute üblichen industriellen Praxis wird die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation so gestaltet, dass

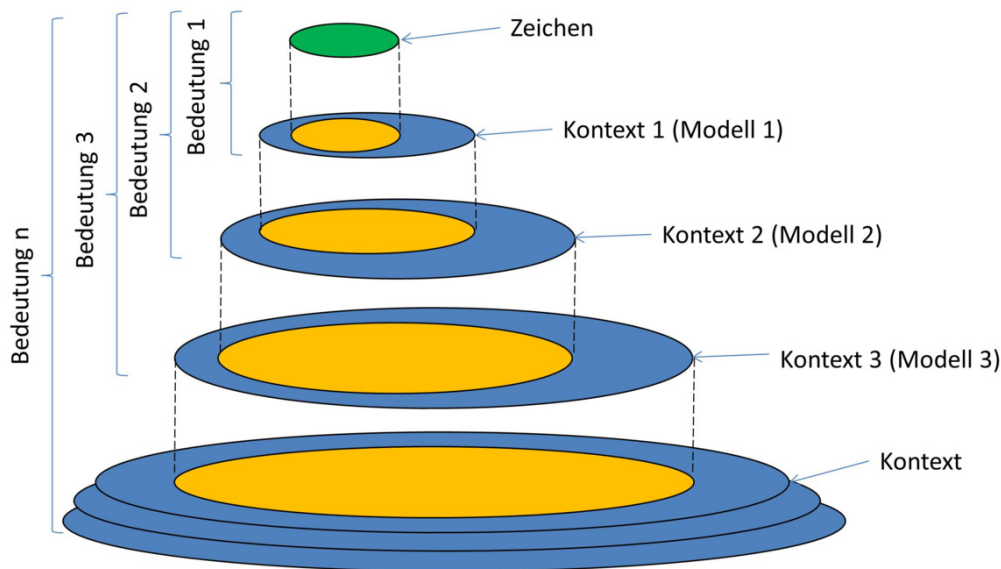


Abb. 3: Zusammenhang zwischen einem Zeichen, einem Kontext einer Bedeutung.

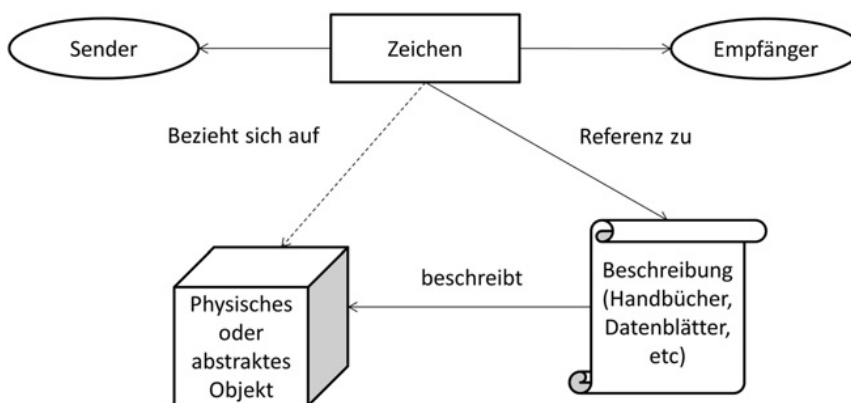


Abb. 4: Semiotisches Dreieck beim Informationsaustausch [2].

die Kommunikationspartner Zeichen, z. B. Bitmuster zwischen einander austauschen. Die Verwendung der ausgetauschten Bitmuster mit der richtigen Bedeutung wird dadurch sichergestellt, dass die Entwickler von Maschinensoftware vom Sender und vom Empfänger von Daten das gleiche Verständnis von ausgetauschten Zeichen haben und Interpretationslogik der Maschinen so gestalten, dass den Zeichen durch die feste Zuordnung der Verwendung im Programm eine richtige Bedeutung zugewiesen wird. Nach dem heutigen Stand der Technik wird der Informationsaustausch zwischen AT-Geräten (z. B. SPS und Feldgerät) genau so gestaltet.

Diese Art des Informationsaustausches wird als Informationsaustausch mit „impliziter Semantik“ (der vom Sender gemeinter Bedeutung) bezeichnet (s. Abb. 5). Die CPS kommunizieren und kooperieren über IoT untereinander

der in einem Unternehmen oder über Unternehmensgrenzen hinweg. Durch die Zusammenarbeit von eigenständigen, unabhängig von einander agierenden technischen Systemen, kann eine feste Zuordnung von ausgetauschten Zeichen zur Verwendung im Programm nicht mehr gewährleistet werden.

Damit die technischen Systeme interoperabel Informationen austauschen können, ist ein Mechanismus zur Übertragung des Kontextes eines Zeichens (z. B. eines Wertes) erforderlich.

2.3 Informationsaustausch mit expliziter Semantik

Wie im Kapitel 1 eingeführt, dienen die Attribute eines Merkmals für die Beschreibung seiner Bedeutung. Wird

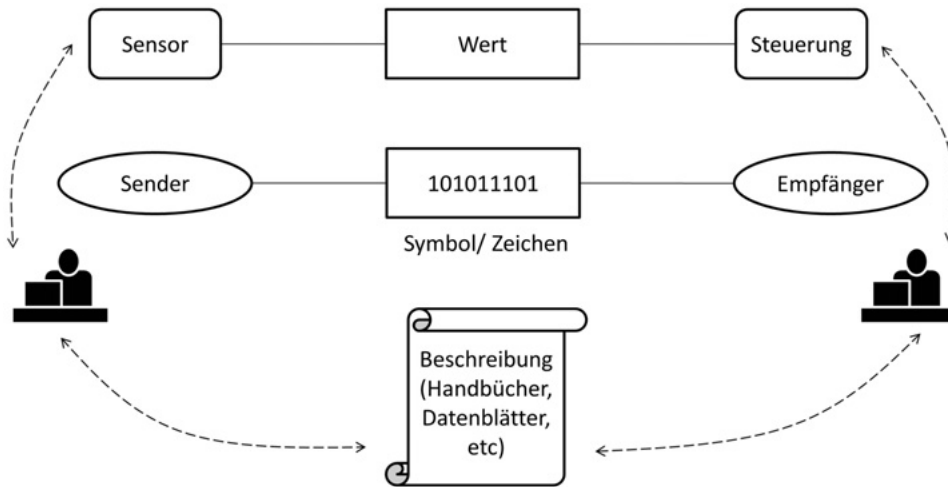


Abb. 5: Informationsaustausch mit impliziter Semantik.

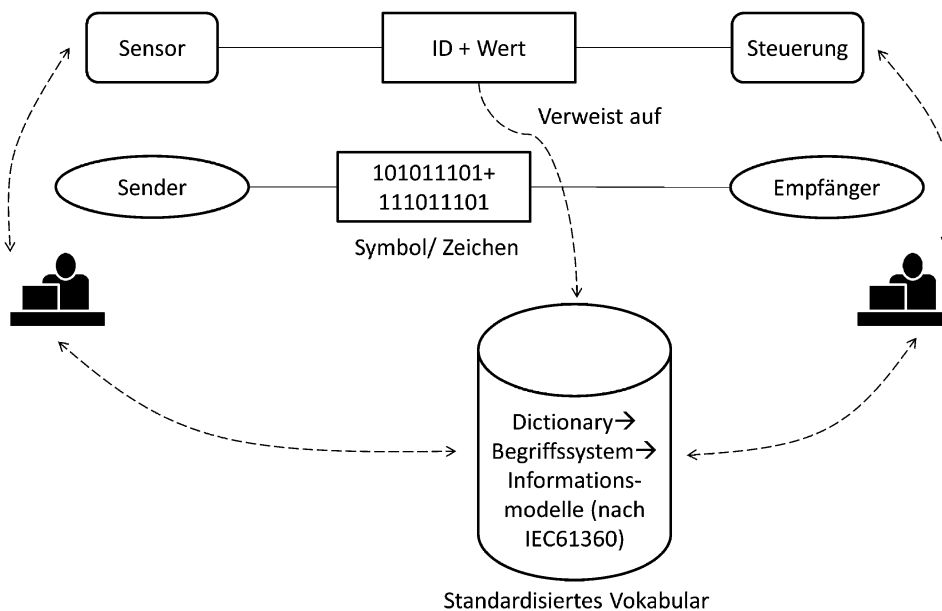


Abb. 6: Informationsaustausch mit expliziter Semantik.

zwischen den Interaktionspartnern nicht nur ein Wert, sondern ein Identifizierer und weitere Merkmalsattribute ausgetauscht, wird somit ein Kontext für den übertragenden Wert mitgegeben. Ein Informationsaustausch solcher Art wird als ein Informationsaustausch mit expliziter Semantik bezeichnet (s. Abb. 6). Der Austausch über Identifizierer und Wert ist möglich, wenn die Interaktionspartner das gleiche semantische Modell verwenden. Der Identifizierer verweist auf eine Typbeschreibung eines Merkmals. Eine Typbeschreibung kann Benennung, Definition, SI-Einheit, Werteformat, Datentyp und weitere Attribute beinhalten, die unveränderbar während der

gesamten Lebenszeit eines Merkmals sind und zur Beschreibung eigentlicher Bedeutung eines Merkmals dienen.

Eine Typbeschreibung liefert somit einen minimal notwendigen Kontext für das Verständnis der Bedeutung eines Wertes.

Damit das skizzierte Szenario wie beschrieben ablaufen kann, müssen die Interaktionspartner ihre Informationen in eigenen Informationsmodellen halten. Die Informationsmodelle stellen die relevanten Informationen über Maschinen und Anlagen und über ihre Kernfunktionalitäten abstrahiert zur Verfügung. Werden die

Typbeschreibung		Instanzbeschreibung	
Attribut	Merkmal „Frequenz“	Attribut	Merkmal „Frequenz“
ID	0173-1#02-BAC403#004	ID	0173-1#02-BAC403#004
Version	V9.1	(Referenz auf den Datenelementtyp)	
Benennung	Frequenz	Instanzkennzeichnung	0173-1#02-BAC403#004:001
Definition	Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit	Wert	50
Kurzname	-	Status	good
Symbol	-	Zeitstempel	1407463327
SI-Einheit	Hz	Ausprägungsaussage	Anforderung
Gültiger Wertebereich	0..10	...	
Werteformat	ASCII	...	
Datentyp	Real	...	

Weitere Attribute nach DIN SPEC 92000

Abb. 7: Typ- und Instanzbeschreibung eines Merkmals.

se Informationen in einer gleiche Art und Weise im Informationsmodell beschrieben, so lassen sich die Maschinen, Anlagen und ihre Komponente auf eine gleiche Art und Weise integrieren und verwenden [13]. Der in dieser Arbeit verfolgte Ansatz setzt die Verwendung der Merkmale für die Erstellung von Informationsmodellen voraus.

Zur Identifikation der relevanten Merkmale existieren verschiedene Möglichkeiten. Im einfachsten Fall findet man die Eigenschaften in den Handbüchern und Datenblättern der Produkte. Viele der technischen Merkmale werden in einschlägigen Normen der IEC-CDD, ecl@ss, ISO oder UNSPCS standardisiert.

Alternativ kann eine eigene Standardisierung (z. B. innerhalb einer Branche) durchgeführt werden oder eigene herstellereigenspezifische oder branchenspezifische Vokabulare mit den benannten Attributen aufgebaut werden.

In den standardisierten Vokabularen werden die Beschreibungen der Merkmale durch Attribute als Typbeschreibungen vorgenommen.

Es gibt jedoch Attribute, bspw. der Wert oder die Maßeinheit, die für jede einzelne Verwendung des Merkmals (für jede Instanz eines Merkmals) unterschiedlich sein können. Außerdem können für einzelne Anwendungen auch weitere Attribute hinzukommen, wie z. B. der Zeitstempel, eine Aussage über die Gültigkeit des Wertes (ein sogenannter Status), Aussagelogik (kleiner, gleich, größer), Ausprägungsaussage (Zusicherung, Anforderung, Messwert, Setzwert, Schätzwert, Berechnungs-

wert). Hier wird nur ein Ausschnitt aus dem Gesamtmodell betrachtet. Das Gesamtmodell wird in DIN SPEC 92000: „Datenaustausch auf der Grundlage von Eigenschaftsausprägungsaussagen“ [12] beschrieben.

Das weist darauf hin, dass ergänzende Attribute bei dem Informationsaustausch zusätzlich zu einem Identifier (der auf eine Typbeschreibung verweist) und dem Wert übertragen werden können. Damit werden die ausgetauschten Daten mit einem zusätzlichen Kontext bzw. zusätzlicher Bedeutung angereichert (s. Abb. 8). Die Angabe von diesen Informationen, die den aktuellen, sich auf einen Zeitpunkt beziehenden Aspekt des Merkmals beziehen, sind zum Verständnis der Bedeutung des übertragbaren Wertes notwendig. Beispielhaft wird der konkrete Temperatursensor (s. Abb. 3) in diesem Artikel in das dementsprechende Modell oder den Kontext eingeordnet. In der DIN SPEC 92000 [12] wird die hier gezeigte Einordnung in den Kontext als „Sachbezug“ bezeichnet und wird durch die „Carrier-ID“ hergestellt.

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 [1]. Definitionen zur Erweiterung der Merkmalbeschreibung um zusätzliche Aspekte der aktuellen Situation, in dem ein Merkmal verwendet wird, sind in DIN SPEC 92000 [12] vorhanden. Diese zusätzlichen, sich auf die Instanz beziehenden Meta-Daten der Merkmale werden in [12] als „Qualifier“ bezeichnet.

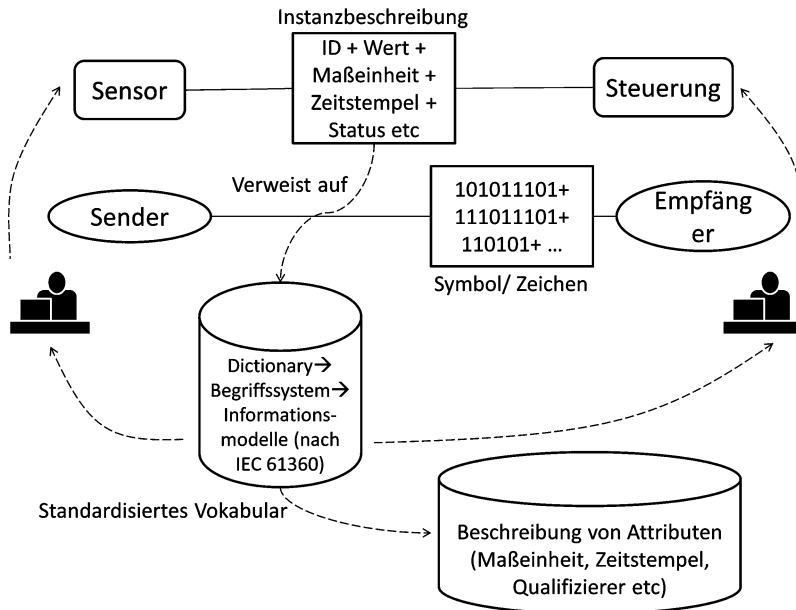


Abb. 8: Übertragung von ID und instanzbezogenen Attributen von Datenelementen im operativen Betrieb.

2.4 Woher kommen die Merkmale, die zwischen Interaktionspartnern ausgetauscht werden?

Es hat sich jedoch gezeigt, dass für den operativen Umgang mit den Merkmalen eine Spezialisierung des Typ- und Instanzkonzeptes notwendig ist. Die wesentliche Ursache ergibt sich daraus, dass seitens der Anwendungen des jeweiligen Interaktionspartners auf die Attribute der Merkmale wie z. B. Datentyp, erlaubter Wertebereich, Maßeinheit, Zeitstempel zugegriffen werden muss.

Als Ausgangspunkt steht die Frage: Woher kommen die Merkmale, die im operativen Betrieb ausgetauscht werden? Zunächst befinden wir uns in der Informationswelt. Es bedarf also einer Abbildung des Systems „Asset“ in den Informationsraum. Zunächst hat ein technisches System Funktionen, Struktur und Verhalten [3, 4, 5]. Nimmt man zunächst an, dass das technische System der physischen Welt zuzuordnen ist, sind sich dynamisch ändernde Prozessgrößen (z. B. Temperaturen, Konzentrationen, Abstände, Drehmomente) abzubilden. Die Prozessgrößen weisen einige Eigenschaften aus, wie z. B. ein Wertebereich, der aus physikalischer Sicht eingenommen werden kann (z. B. Temperatur nicht kleiner als 0K), eine Maßeinheit und einen Zeitpunkt der Bestimmung des Wertes. Aus den Prozessgrößen werden für eine Transformation in die Informationswelt zunächst Signale, bei denen physikalische Größen, z. B. Spannungs- oder Stromamplitude, Phase und Frequenz die Träger der Informationen sind.

Diese Informationsträger werden in digitale Signale, d. h. Daten abgebildet. Für diese Abbildungen sind technische Systeme zuständig. Diese sind aus Sicht der abzubildenden technischen Systeme zusätzliche Systeme (im Weiteren als Geräte bezeichnet). Auch diese bringen hinsichtlich der Prozessgrößen weitere Eigenschaften hinzu, wie z. B. eine bestimmte Kodierung der Daten in Datentypen (z. B. Integer, Float). Eine Prozessgröße weist also eine Reihe von Eigenschaften auf, die für die weitere Verarbeitung in der Informationswelt von Bedeutung sind. Für die Erfassung und Abbildung der Prozessgrößen in den Geräten sind eine ganze Reihe von Fähigkeiten notwendig, die eigene Einflussgrößen haben, die typischerweise als Parameter und Variablen bezeichnet werden. Diese haben, wie die oben beschriebenen Prozessgrößen, auch die gleichen Eigenschaften, wie z. B. Datentyp und Wertebereich. Die Transformation eines Assets in den Informationsraum erbringt also eine ganze Reihe von Prozessgrößen, Parametern und Variablen, alle behaftet mit einer Reihe von Eigenschaften. Erst die richtige Einstellung aller Parameter und Variablen entlang einer Abbildungskette für eine Prozessgröße erbringt einen richtig interpretierbaren Wert und damit das Verständnis des Assets.

2.5 Anwendungsszenarien für standardisierte Merkmalattribute

Wie oben angeführt, referenzieren die Identifizierer (ID) auf eine Liste der Attribute der Merkmale. Die Attribute

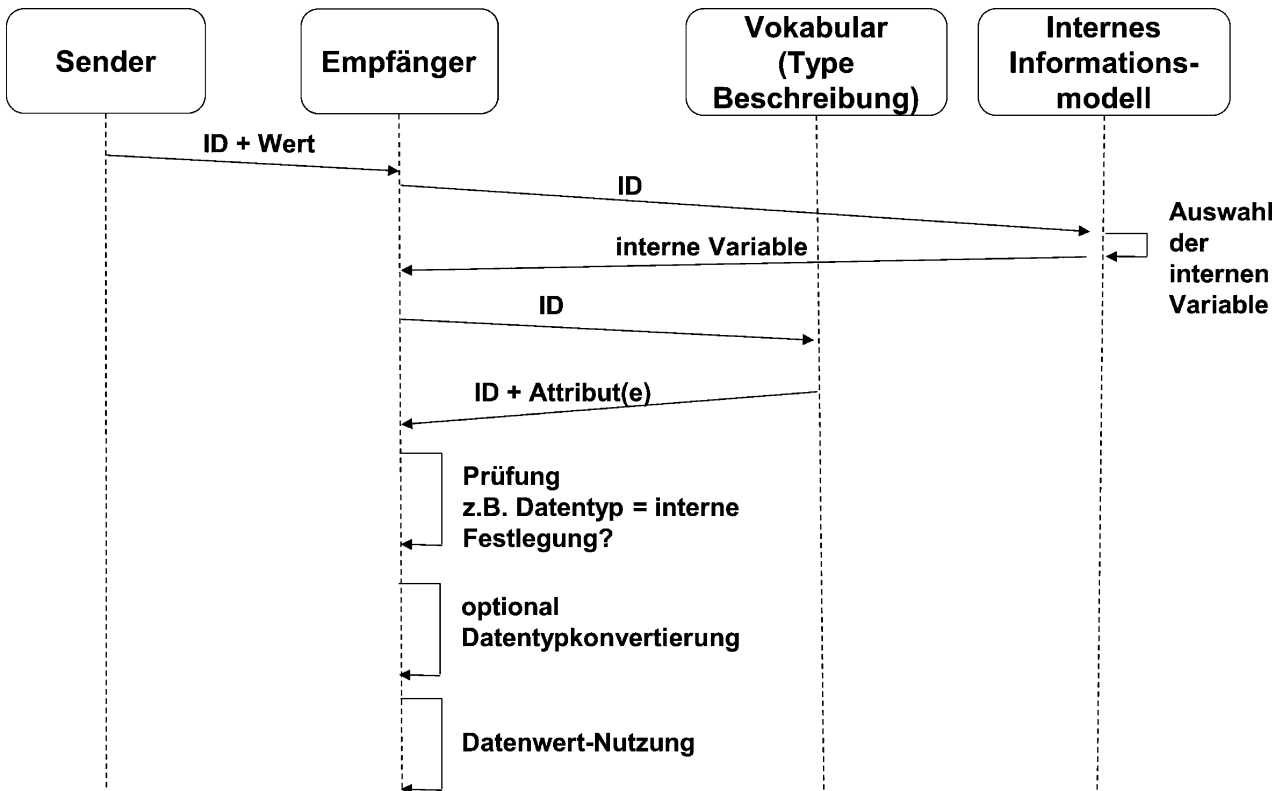


Abb. 9: Ablauf auf Empfängerseite bei ID basierter Verarbeitung. Benutzung des Attributes Datentyp.

enthalten die Beschreibungen der Merkmale. Referenziert die ID auf eine standardisierte Attributliste, so kann die Anwendung z. B. den Datentyp aus der Attributliste auslesen und die eventuell notwendige Datentypkonvertierung für den übertragenen Wert zur Laufzeit vornehmen. Dadurch ist es nicht mehr notwendig, für jeden Nachrichtentyp und Struktur den Datentyp festzulegen. Kommt der Identifier aus verschiedenen Ökosystemen, können in den Nachrichten sogar Merkmale unterschiedlicher Herkunftsgebiete miteinander vermengt werden. Die Nachrichtentypen sind sehr wandelbar. Gleiches gilt z. B. auch bei Nutzung des Attributs Maßeinheit, indem die durch ID referenzierte Maßeinheitenfestlegung mit der lokal verwendeten verglichen werden kann und bei Bedarf umgewandelt werden kann. Die Anwendung gewinnt an Flexibilität und vor allem Robustheit gegenüber den Änderungen der Interaktionspartner.

Ursprünglicher Einsatzfall von Merkmalbeschreibung war die Klassifikation von Produkten und Komponenten für den Einkauf. Im Einkauf werden die Merkmale verwendet, die in den Handbüchern die zugesicherten Fähigkeiten beschreiben, nicht jedoch die beim Einsatz tatsächlichen messbaren Werte. Sie charakterisieren eben die Instanzen aller Geräte und Komponenten dieser Klasse. Will

man die Merkmale jedoch auch in anderen Engineeringphasen verwenden, z. B. im operativen Betrieb und bei der Instandhaltung, muss man auch deren Aktualwerte erfassen. Es gibt auch Prozessgrößen, Parameter und Variablen, die für den Auswahlprozess keine Rolle spielen, wohl aber für den Betrieb wie z. B. einen Betriebsstundenzähler, der Gerätezustand, ein Messrohrwert und die Gehäusetemperatur. In dem hier vorgestellten Konzept sollen aber auch diese Merkmale mit den gleichen Mitteln eingebunden werden können wie die typbeschreibenden Merkmale. Konsequenz ist, dass zwischen den typ- und instanzbeschreibenden Attributen unterschieden werden muss.

Instanzbezogene Attribute von Merkmalen bekommen erst Bedeutung, wenn diese sich in einer sich dynamisch wandelnden Umgebung befinden. Merkmale bekommen dann einen Bezug zum Zeitpunkt, an dem sie ermittelt worden sind. Auch die Feststellung, ob der Wert Ergebnis einer korrekten Bestimmung ist, d. h. gültig ist, kann für deren Verwendung von Bedeutung sein, insbesondere dann, wenn auf deren Basis weiterführende Aktivitäten ausgelöst werden. Zeitstempel und Wertequalifizier sind typische Beispiele. Das hier genutzte Konzept der Merkmalsmodellierung wird auf der Abb. 10 dargestellt.

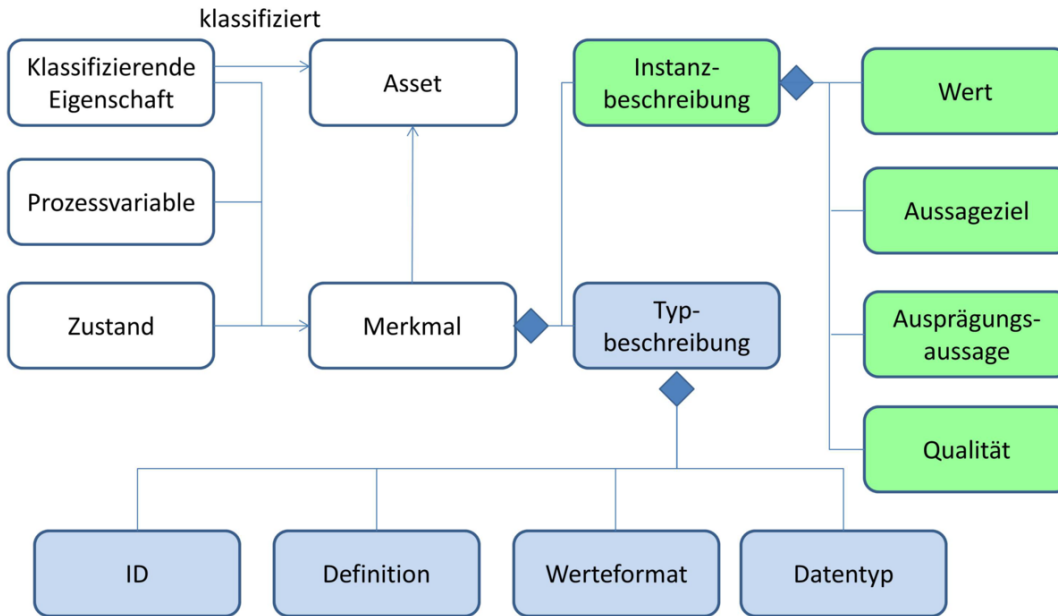


Abb. 10: Spezialisierung des Typ- und Instanzkonzeptes (nach [3]).

Änderungen beim Kommunikationspartner kann es auch geben, wenn sich Attribute ändern, die bisher den Typbeschreibenden zuzurechnen sind. Dies ist beispielsweise die Maßeinheit. Menschen können die Maßeinheit z. B. während des Betriebes ändern (Schichtwechsel mit Bedienpersonal aus anderem Kulturkreis) oder Werteänderung, die aus Gründen der Genauigkeit einen Maßeinheitenwechsel sinnvoll macht. In diesem Zusammenhang steht auch das Attribut erlaubter Wertebereich. Die Prüfung eines Wertes innerhalb seines Gültigkeitsbereiches kann dann kontinuierlich, d. h. auch bei Wechsel dieses Bereiches durchgeführt werden. Dies ist eine weitere Erhöhung der Flexibilität und Robustheit von Kommunikationspartnern.

2.6 Ablage der Merkmalbeschreibungen für den operativen Betrieb

Es ergibt sich aber auch die Frage, wo die Typbeschreibung gehalten wird. Prinzipiell kann man zwischen der lokalen Haltung in der Komponente, die die Daten hält, in den internen IT-Systemen der Produktionsstätten oder der externen Ablage in Clouds unterscheiden. Hinzu kommt, wie es heute üblich ist, dass keine Ablage erfolgt, sondern durch apriori Wissen, d. h. durch exakte Kenntnis der IDs mit ihren Attributlistenwerten, die Behandlung der aus- und eingehenden Werte ausprogrammiert. Der letzte Fall ist möglich, wenn eine vollständige Typbeschreibung vorliegt, die

sich zur Laufzeit nicht mehr ändert. Natürlich sind Mischformen möglich.

Eine Bewertung der verschiedenen Varianten ist aus heutiger Sicht nur theoretisch möglich, da Umsetzungen noch nicht erfolgt sind. Auch wurde bisher keine Studie vorgenommen. Es kann prinzipiell festgestellt werden, dass die Wartbarkeit und Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Anforderungen mit einer externen Ablage steigt. Insbesondere die Cloudlösung bietet für alle Beteiligten einen hohen Wert, da Interoperabilität zwischen Partnern unterschiedlicher Firmen damit gut unterstützt wird. Die lokale Haltung in der Komponente erfordert vermehrt Speicherkapazität. Wahrscheinlich ist, dass es Mischvarianten geben wird.

3 Modellierung von Funktionen, Prozessen und Dienstleistungen mit Merkmalen

In den vorherigen Kapiteln wurde erklärt, wie die Eigenschaften, Parameter und Zustände von Geräten mit Merkmalen modelliert werden können. Die nächste Herausforderung ist es zu beschreiben, wozu die Geräte geeignet sind, um ihre Verwendung exakt definieren zu können. Damit ein Asset in einem CPS eingebunden werden kann, muss dieser Gegenstand relevante Informationen und die formale Beschreibung seiner Fähigkeiten bereit-

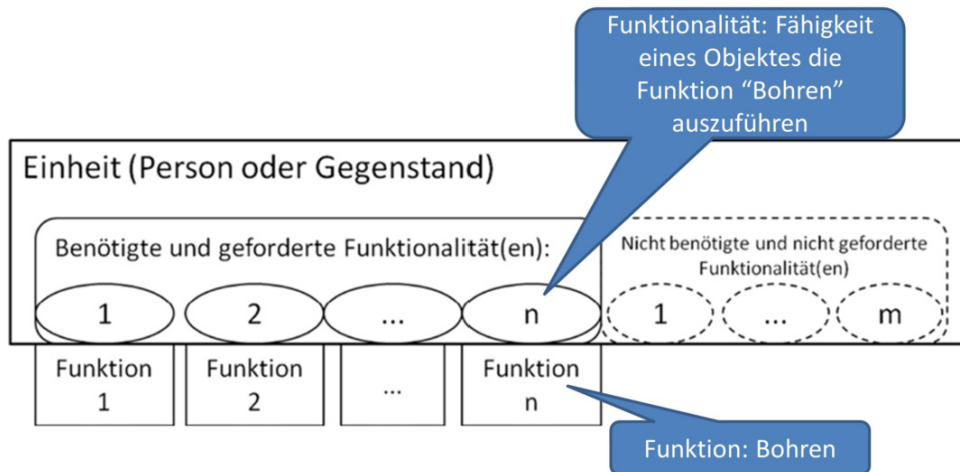


Abb. 12: Funktionen und Fähigkeiten eines Assets (nach [9]).

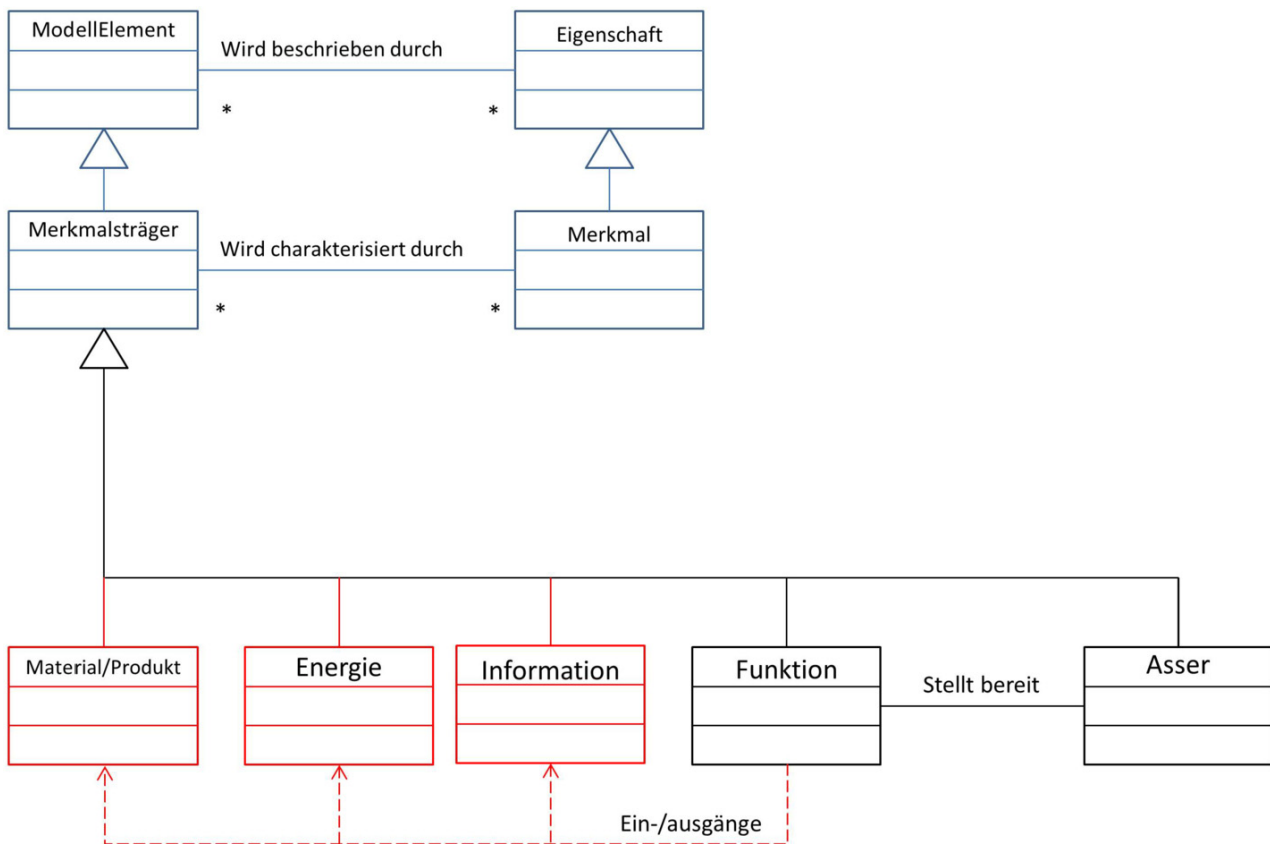


Abb. 13: Funktion als Merkmalsträger.

Eingangsgrößen in die Zustandsmengen der Ausgangsgrößen beschreibt, ist es zur vollständigen Modellierung einer Funktion notwendig, die Eingangs- und Ausgangsgrößen zu beschreiben. Deswegen werden das umzuwandelnde Produkt, die Energie und die Information als Ein- und

Ausgangsgrößen einer Funktion dargestellt. Dabei werden das Produkt, die Energie und die Information als Merkmalsträger aufgefasst (s. Abb. 13).

Mit diesem Modell kann eine Wirkung einer technischen Ressource semantisch eindeutig beschrieben wer-

den. Es kann damit ausgedrückt werden, dass eine Bohrmaschine eine Fähigkeit „Bohren“ besitzt und ein Transportroboter eine Fähigkeit „Transportieren“.

Verbal wird oft die Funktion durch die Kombination aus einem Objekt und einem Verb (bezeichnet Art, wie auf das Objekt eingewirkt wird) beschrieben. Z.B. Reinigung von Fahrzeugen, Multiplikation von Zahlen, Transport von Gefahrgütern usw. Objektbezogene Modellierung von Funktionen kann ebenfalls mit dem dargestellten Modell durchgeführt werden. Da das eingewirkte Objekt selbst ein Merkmalträger ist, ist es mit diesem Modell möglich, die genaue Änderung von Eigenschaften eines Objektes durch Einwirkung des technischen Systems mit Hilfe von Merkmalen eindeutig zu beschreiben.

3.2 Modellierung von Prozessen

Wird die Ausführung einer Funktion beschrieben, so muss der entsprechende Prozess beschrieben werden. „Unter einem Prozess versteht man eine Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System durch die Materie, Energie oder Information umgeformt, transportiert oder gespeichert wird. Prozesse sind reale Vorgänge, in denen der Zeitverlauf eine Rolle spielt. Die semantische Bindung an den Zeitverlauf ist ein typisches Merkmal eines Prozesses. Dies gilt grundsätzlich für alle Arten von Prozessen, für natürliche Prozesse, für technische Prozesse, für physische Prozesse und auch für Prozesse in der Informationswelt. Die Multiplikation zweier Zahlen ist aus informationstechnischer Sicht kein Prozess, sondern eine Aktion (Autoren: hier den Begriff „Aktion“ dem Begriff „Funktion“ gleichzusetzen). Die Ausführungszeit spielt hier keine semantische Rolle. Beschreibt man jedoch die Multiplikation als eine Aufgabe für einen μ -Kontroller und betrachtet Taktzyklus für Taktzyklus die Folge der Bearbeitungsschritte, dann handelt es sich um einen Rechenprozess. Hier spielt der Zeitverlauf eine wesentliche Rolle zum Verständnis“ [9].

In [5] werden Durchsatz (beschreibt mögliche bearbeitete Produkt-Menge pro Zeiteinheit) und Ort als weitere Merkmale eines Prozesses vorgeschlagen.

Wird die Funktion mit Eingangs- und Ausgangsgrößen als Funktion eines Systems aufgefasst, dann entspricht der Prozess der Anordnung von der Funktion in Zeit und Raum, mit einem Anfangszustand und einem Endzustand. Jeder Prozess ist einmalig [9] und beschreibt die Ausführungseigenschaften einer Funktion. Das bedeutet, dass ein Prozess durch die ausgeführte Funktion, durch zeitliche Merkmale (z. B. Anfangszeit, Zeitdauer) sowie durch Durchsatz und Ort beschrieben werden kann. Die Einord-

nung des Prozesses in das Funktionsmodell wird auf der Abb. 14 dargestellt.

3.3 Modellierung von Dienstleistungen

Laut [9] bietet ein Dienst (Service/ Dienstleistung) einen Zugang zur Ausführung eines Prozesses. In [7] werden folgende Definitionen für einen Dienst gesammelt:

„Die Definition eines Dienstes nach [10] ist: „A service is a mechanism to enable access to one or more capabilities, where the access is provided using a prescribed interface and is exercised consistent with constraints and policies as specified by the service description. A service is provided by an entity – the service provider – for use by others, but the eventual consumers of the service may not be known to the service provider and may demonstrate uses of the service beyond the scope originally conceived by the provider.“ Die Dienstdefinition nach [11] lautet: Dienst – Abgegrenzter Funktionsteil, der von einer Entität oder Organisation über Schnittstellen angeboten wird. Bezogen auf den semantischen Aspekt von Diensten hält die OASIS Spezifikation [10] fest: „[...] Note that, for the most part, it is not expected that service consumers and providers would actually exchange descriptions of terms in their interaction but, rather, would reference existing descriptions – the role of the semantics being a background one – and these references would be included in the service descriptions.“ und „[...] Specific domain semantics are beyond the scope of this reference model; but there is a requirement that the service interface enable providers and consumers to identify unambiguously those definitions that are relevant to their respective domains.“

Daraus folgt, dass die Schnittstellenspezifikation der Dienste durch zusätzliche Mittel eindeutig zu beschreiben ist.

Ein Dienst kann durch den ausgeführten Prozess, eine Dienstqualität, einen Zeitplan für die Ausführung des Prozesses und z. B. durch den Preis charakterisiert werden. In der Abb. 15 wird eine Einordnung des Dienstes in das Funktion-Prozess-Modell dargestellt. Dieses Modell bietet eine Grundlage für die Modellierung eines Dienstes/ einer Dienstleistung mit Merkmalen.

Auf der Abb. 16 wird beispielhaft eine Modellierung einer Funktion, eines Prozesses und eines Dienstes mit Merkmalen gezeigt. Es wird angenommen, dass eine Funktion „Bohren“ mit einem Satz von Merkmalen beschrieben werden kann (s. Kap. 3.1). Die Merkmalbeschreibung eines Prozesses „Bohren“ beinhaltet eine Beschreibung der Funktion „Bohren“ und einen Satz von prozessbeschreibenden Merkmalen (z. B. Durchsatz, Zeitdauer, Anfangs-

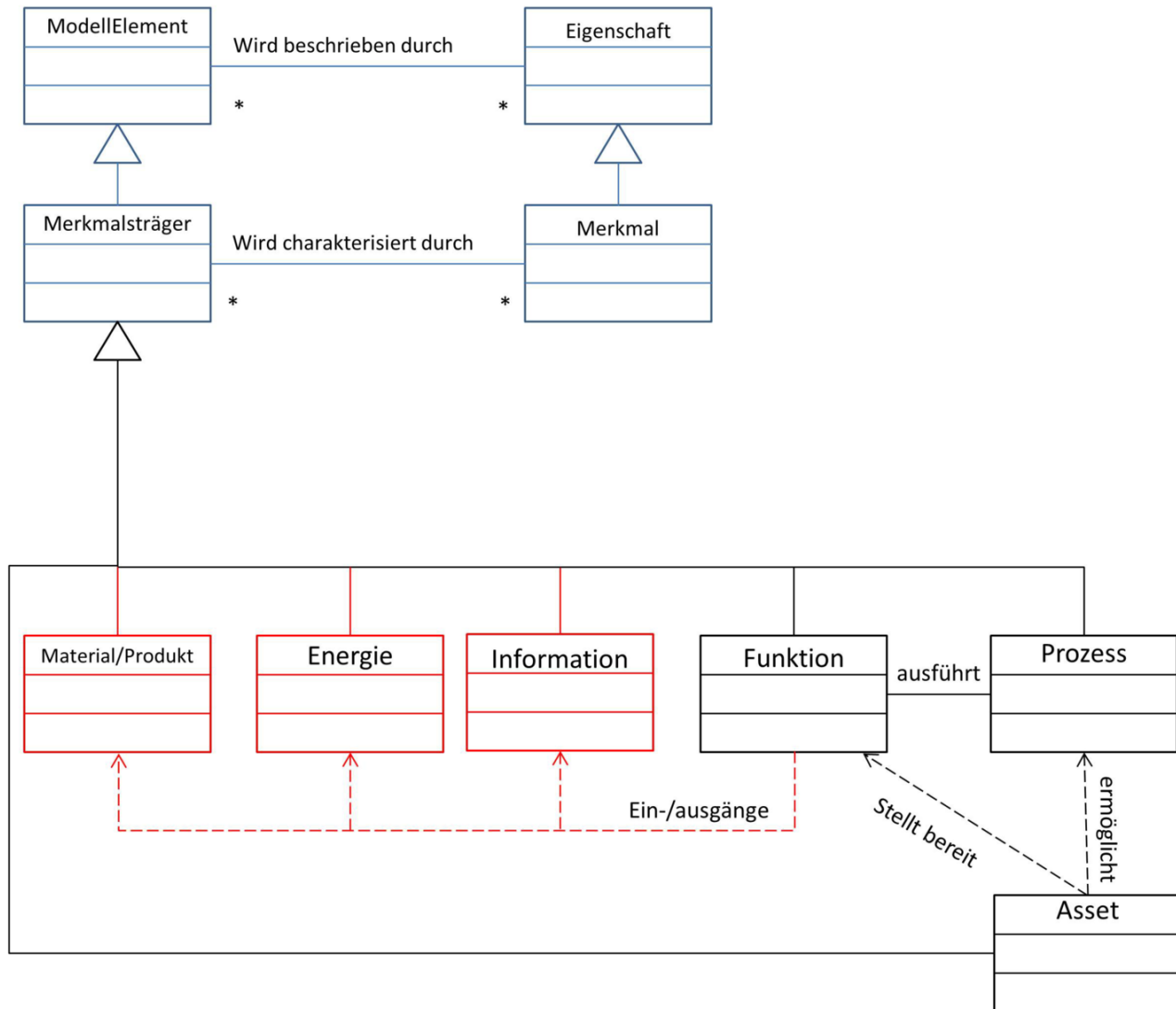


Abb. 14: Funktion-Prozess-Modell.

zeit und Ort). Ein Dienst wird zusätzlich zu den funktions- und prozessbeschreibenden Merkmalen mit den dienstbeschreibenden Merkmalen beschrieben (z. B. Preis und Dienstqualität).

Die Merkmalsätze für die Beschreibung von unterschiedlichen Funktionen sind funktionspezifisch und können für jede technische Funktion in Produktbeschreibungsstandards (z. B. eCl@ss) zur Verfügung gestellt werden. Die Autoren sind der Auffassung, dass die Sätze von prozess- und dienstbeschreibenden Merkmalen funktionsunabhängig für eine größere Gruppe von Funktionen sind, d. h. jeweils gleich sein können. Sie sind jedoch spezifisch für die Beschreibung von Prozessen und Diensten.

Schlussfolgend wird eine Tabelle mit der Zuordnung der einschlägigen Begriffe zur Beschreibung einer Wirkung eines Systems zu dem in diesem Kapitel abgeleiteten

Funktions-, Prozess-, -Dienstmodell dargestellt. Soll zum Beispiel ein Skill oder eine Fähigkeit mit Merkmalen modelliert werden, so kann dafür ein Funktionsmodell verwendet werden. Die Begriffe „Service“, „Dienstleistung“ und „Dienst“ sind im Kontext dieses Beitrages als Synonyme gesehen, die sich ebenfalls mit einem Dienstmodell abbilden lassen.

4 Zusammenfassung

Wird davon ausgegangen, dass den Merkmalen bei der Digitalisierung erhöhte Bedeutung zukommt, so ist deren Nutzung im Engineering und im operativen Betrieb näher zu untersuchen. In diesem Beitrag wird dargestellt, wie

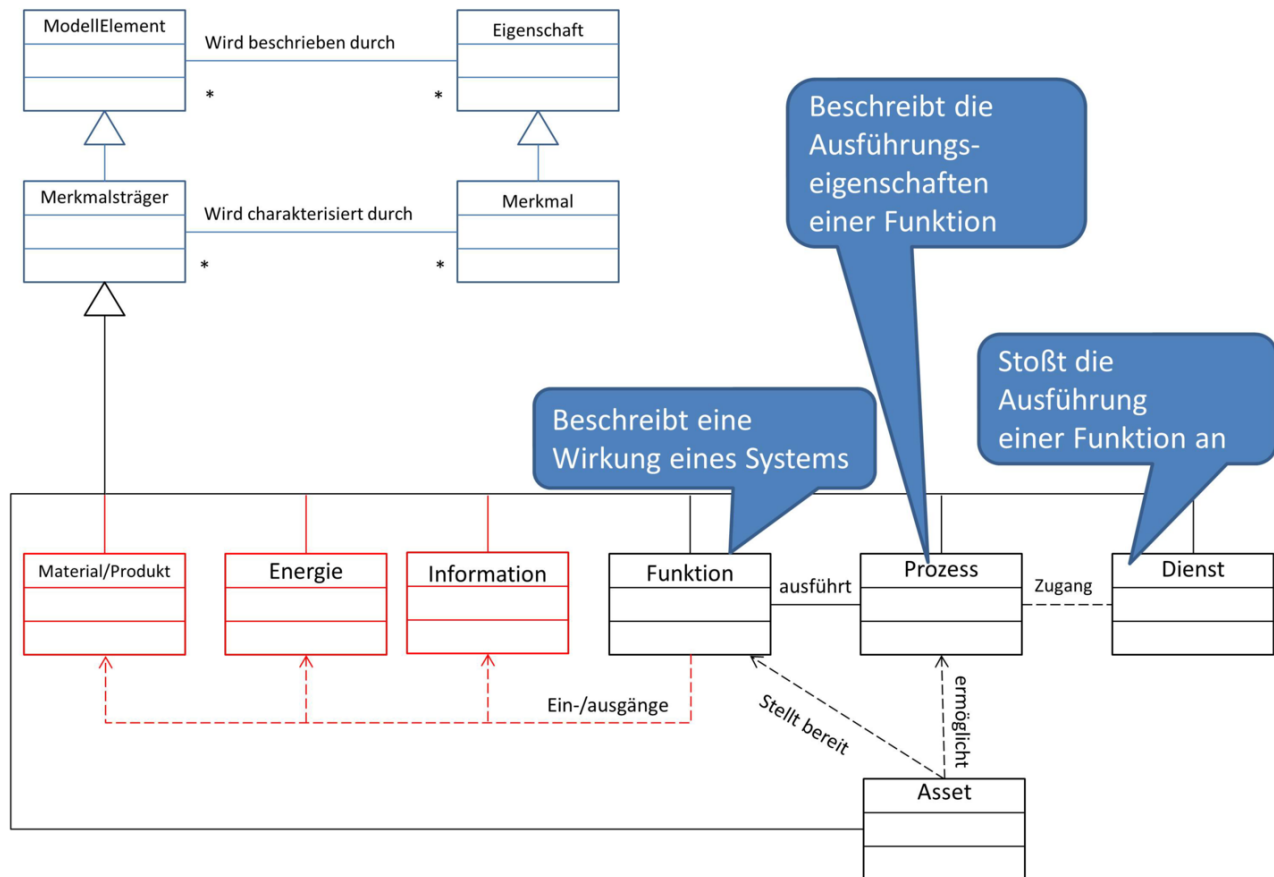


Abb. 15: Funktion ist ein Merkmalsträger, Asset ist ein Merkmalsträger, Prozess ist ein Merkmalsträger, Dienst ist ein Merkmalsträger.

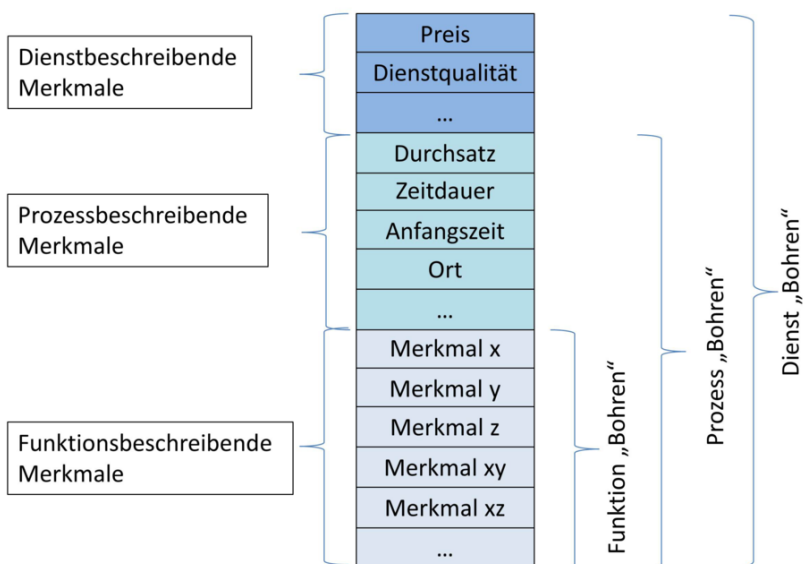


Abb. 16: Beispielhafte Modellierung von einer Funktion, einem Prozess und einem Dienst.

Tab. 1: Zuordnung von einschlägigen Begriffen zu dem Funktions-, Prozess-, Dienstmodell.

Modell	Funktionsmodell				Prozess-modell	Dienstmodell		
Begriff	Fähigkeit	Funktionalität	Funktion	Skill	Prozess	Service	Dienstleistung	Dienst

anhand von Merkmalen eindeutige Informationen zwischen Interaktionspartnern im operativen Betrieb ausgetauscht werden können. Es wird die Nutzung von typ- und instanzbezogenen Attributen näher untersucht und deren Potentiale zur Flexibilisierung von Anwendungen dargestellt. Es wird gezeigt, wie die Funktionen, Prozesse und Dienstleistungen anhand von Merkmalen semantisch eindeutig beschrieben werden können.

Literatur

1. IEC 62832: Industrial process measurement, control and automation – Digital factory framework – Part1: General principles, 2016.
2. C. Diedrich, T. Hadlich und M. Thron, „Semantik durch Merkmale für Industrie 4.0,“ in *Handbuch Industrie 4.0*, Springer.
3. A. Scholz, C. Hildebrandt, A. Fay, T. Schröder, T. Hadlich, C. Diedrich, M. Dubovy, C. Eck und R. Wiegand, „Semantische Inhalte für Industrie 4.0 – Semantisch interpretierbare Modellierung von technischen Systemen in kollaborativen Umgebungen,“ *atp edition*, Bd. 59, pp. 34–43, 2017.
4. C. Hildebrandt, A. Scholz, A. Fay, T. Schröder, T. Hadlich, C. Diedrich, M. Dubovy, C. Eck und R. Wiegand, „Semantic Modeling for Collaboration and Cooperation of Systems in the Production Domain,“ in *Emerging Technologies and Factory Automation*, At Limassol, Cyprus, 2017.
5. T. Hadlich, Merkmale beim engineering von Systemen. Dissertationsschrift, Magdeburg: Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, 2015.
6. U. Epple, „Merkmale als Grundlage der Interoperabilität technischer Systeme,“ *at – Automatisierungstechnik*, Bd. 59, pp. 440–450, 59 2011.
7. S. Höme, J. Grützer, T. Hadlich, C. Diedrich, D. Schnäpp, S. Arndt und E. Schnieder, „Semantic Industry: Herausforderungen auf dem Weg zur rechnergestützten Informationsverarbeitung der Industrie 4.0,“ *at – Automatisierungstechnik*, Bd. 63, pp. 74–86, 2015.
8. A. Gaag, Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche in der Produktentwicklung, München: Technische Universität München, 2010.
9. „DIN SPEC 40912: Kernmodelle – Beschreibung und Beispiele,“ Beuth Verlag, Berlin, 2014.
10. „Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0,“ ASIS Standard, 2006.
11. VDI/VDE-GMA-Fachausschuss „I4.0“, Industrie 4.0 Statusreport: Auf dem Weg zu einem Referenzmodell, 2014.
12. DIN SPEC 92000: Datenaustausch auf der Grundlage von Eigenschaftsausprägungsaussagen. Entwurf.

13. Industrie 4.0 Kommunikation mit OPC UA. Leitfaden zur Einführung in den Mittelstand, VDMA, 2017.

Autoreninformationen



Alexander Belyaev

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Institut für Automatisierungstechnik,
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg,
Germany
alexander.belyaev@ovgu.de

M.Sc. Alexander Belyaev (1987) studied electrical engineering at TU Donezk and OvGU Magdeburg. There he has been a research assistant at the Institute for Automation Engineering since 2014. His main research areas are systems architecture for the interaction of I4.0 – components and the semantic methods for interoperability in the digital factory. He works on standardization of I4.0 – concepts in several working groups at ZVEI, eCl@ss e.V. and VDI/VDE-GMA.



Prof. Christian Diedrich

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Institut für Automatisierungstechnik,
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg,
Germany
christian.diedrich@ovgu.de

Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich has a German Diplom Ingenieur degree in electrical engineering with the option Automation since 1985 and got his PhD in 1994 in the field of semi-formal specification of fieldbus interfaces and fieldbus profiles. His activity field covers the entire engineering life cycle of field devices of production systems. He has worked in many German and European research and development projects (main topics are industrial communication, engineering of automation systems, formal description methods as well as information, semantic and knowledge modelling) and is active in national and international standardisation activities. Mr. Diedrich has been deputy head of ifak e.V. Magdeburg since 2005 and has been the chair of “Integrated Automation” at the Otto-von-Guericke-University of Magdeburg-Germany since April 2006. He is head of the Institute of Control Technology of the Otto-von-Guericke-University of Magdeburg.