

ERGEBNISPAPIER



**Beziehungen zwischen I4.0-Komponenten – Verbundkomponenten und intelligente Produktion**

*Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente SG Modelle und Standards*

In Zusammenarbeit mit

**ZVEI:**  
Die Elektroindustrie  
entstanden.

## Impressum

### Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Energie (BMWi)  
Öffentlichkeitsarbeit  
11019 Berlin  
[www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

### Redaktionelle Verantwortung

Plattform Industrie 4.0  
Bertolt-Brecht-Platz 3  
10117 Berlin

### Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

### Stand

Juni 2017

### Druck

Unterleider Medien GmbH, Rödermark

### Bildnachweis

Fotohansel – Fotolia (Titel)

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](mailto:publikationen@bundesregierung.de)  
[www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

Zentraler Bestellservice:  
Telefon: 030 182722721  
Bestellfax: 030 18102722721



# Inhalt

1.	Vorbemerkungen.....	4
1.1	Zielsetzung und Methodologie dieses Dokumentes.....	4
2.	Relevante Inhalte aus verschiedenen Quellen.....	5
2.1	Idee der Teilmodelle.....	5
2.2	Grobe Struktur der Verwaltungsschale.....	6
3.	Beziehungen.....	7
3.1	Allgemeines zu Kooperationen.....	7
3.2	Strukturierte Assetbeschreibung.....	7
3.2.1	Begriffe.....	7
3.2.2	Merkmale.....	7
3.3	Kooperation von Assets.....	8
3.3.1	Prinzipielle Basis-Dienste zur Erkundung der Fähigkeiten von Assets.....	9
3.3.2	Das Szenario der flexiblen Fertigungslinie.....	10
3.4	Assetverbünde und Beziehungskomplexe.....	11
3.4.1	Assethierarchien.....	12
3.4.2	Verbindungen und Beziehungen.....	14
3.4.3	Modellierung von Beziehungen in einer Beziehungstabelle.....	15
3.4.4	Beziehungen sind Assets.....	16
3.4.5	Beziehungen zwischen DF Assets nach IEC 62832.....	16
3.4.6	Beziehungsarten und Sichten.....	17
3.4.7	Beziehungskomplex als Repräsentanz einer I4.0-Anordnung.....	20
3.4.8	Beispielhafte I4.0-Beziehungskomplexe.....	21
4.	Konzept der Verbundkomponenten.....	24
4.1	Verbundkomponenten ordnen Assets einem Ziel unter.....	24
4.2	Industrie 3.0 und Industrie 4.0.....	26

4.3	Teilmodelle für verschiedene Engineering-Disziplinen	26
4.4	Abstrakte Konzepte für Teilmodelle von Verbundkomponenten	27
4.4.1	Bill of Material (BOM)	28
4.4.2	Beziehungen zwischen Assets	28
4.4.3	Merkmals-Typisierung von Beziehungen	31
4.4.4	Merkmals-Festlegungen	32
4.4.5	Anwendungsdaten	33
4.4.6	Speicherung von detaillierten Plänen mittels komplexen Datenformaten	33
4.5	Automation ML	34
4.6	VDMA 66415	36
4.7	Festlegungen für einzelne Engineering-Disziplinen	38
5.	Intelligente Produkte und Auftragsgeführte Produktion	41
5.1	Szenarien für die Abbildung von Arbeitsplänen auf Maschinen und Anlagen	41
5.2	Flexibilität bei der Ressourcen-Zuordnung als Ausgangspunkt	42
5.3	Direkte Abbildung auf einen Fertigungsprozess	43
5.4	Übersetzungsleistung durch Verwaltungsschale der Ressource	44
5.5	Übersetzungsleistung durch Vermittler	46
5.6	Produkt übersetzt auf mehrere Fertigungsprozesse	47
5.7	Bedeutung der ‚Sprache der Industrie 4.0‘	49
5.8	Anforderungen aus den verschiedenen Szenarien	49
	Literaturverzeichnis	52

# 1. Vorbemerkungen

Dieses Dokument entstand zwischen Mai 2016 und Mai 2017 im Rahmen der Diskussionen der ZVEI SG Modelle und Standards und wurde nach einer breiten Diskussion im Anschluss durch die AG1 der Plattform Industrie 4.0 validiert.

Für die bessere Lesbarkeit wird bei zusammengesetzten Begriffen konsequent die Abkürzung ‚I4.0‘ für ‚Industrie 4.0‘ verwendet. Alleinstehend wird weiterhin ‚Industrie 4.0‘ verwendet.

Im Hinblick auf eine Angleichung mit DIN SPEC 91345 wird im Folgenden der Begriff ‚Asset‘ anstatt von ‚Gegenstand‘ genutzt.

## 1.1 Zielsetzung und Methodologie dieses Dokumentes

Das RAMI4.0-Modell erlaubt es, beliebige Assets von Industrie 4.0 zu beschreiben. Die I4.0-Komponente erlaubt es mittels der Verwaltungsschale, beliebige Assets informationstechnisch an die Industrie 4.0 anzubinden.

Ziel dieses Dokumentes ist es, eine informationstechnische Struktur zu beschreiben, mit Hilfe derer verschiedene I4.0-Komponenten miteinander in Beziehung gesetzt werden können und zu zweckgerichteten Verbänden organisiert werden können. Eine solche Ordnung, zum

Beispiel auch eine Modularisierung nach dem Prinzip der Schachtelbarkeit [1, Seite 59], soll nicht nur eindimensional sondern nach verschiedenen Ordnungskriterien, Betrachtungsgegenständen und Engineering-Disziplinen möglich sein. Um kompatibel mit den getätigten Festlegungen zu sein, soll eben diese informationstechnische Struktur wiederum als Verwaltungsschale abgebildet werden können.

Die Ausführungen dieses Dokumentes richten sich gleichwertig an die Industrien der Fabrik- als auch Prozessautomatisierung. Begriffe wie ‚Fabrik‘, ‚Fertigung‘ und ‚Shopfloor‘ meinen damit auch Einrichtungen der prozesstechnischen Industrie.

## 2. Relevante Inhalte aus verschiedenen Quellen

Dieser Abschnitt zeigt wichtige Inhalte aus vorangegangenen Diskussionen oder aus anderen Arbeitskreisen auf. Er soll damit die Vernetzung zu anderen Themen darstellen und fördern. Neue Inhalte werden hier nicht eingeführt.

### 2.1 Idee der Teilmodelle

Die grundsätzliche Idee der I4.0-Komponente besteht darin, jeden Gegenstand der Industrie 4.0 mit einer sogenannten ‚Verwaltungsschale‘ zu umgeben, die jeweils geeignet ist, den Gegenstand bzgl. den Anwendungsfällen der Industrie 4.0 minimal aber hinreichend in der Informationswelt zu beschreiben. D.h. auch existierende Standards passend in der jeweiligen Verwaltungsschale einordnen zu können.

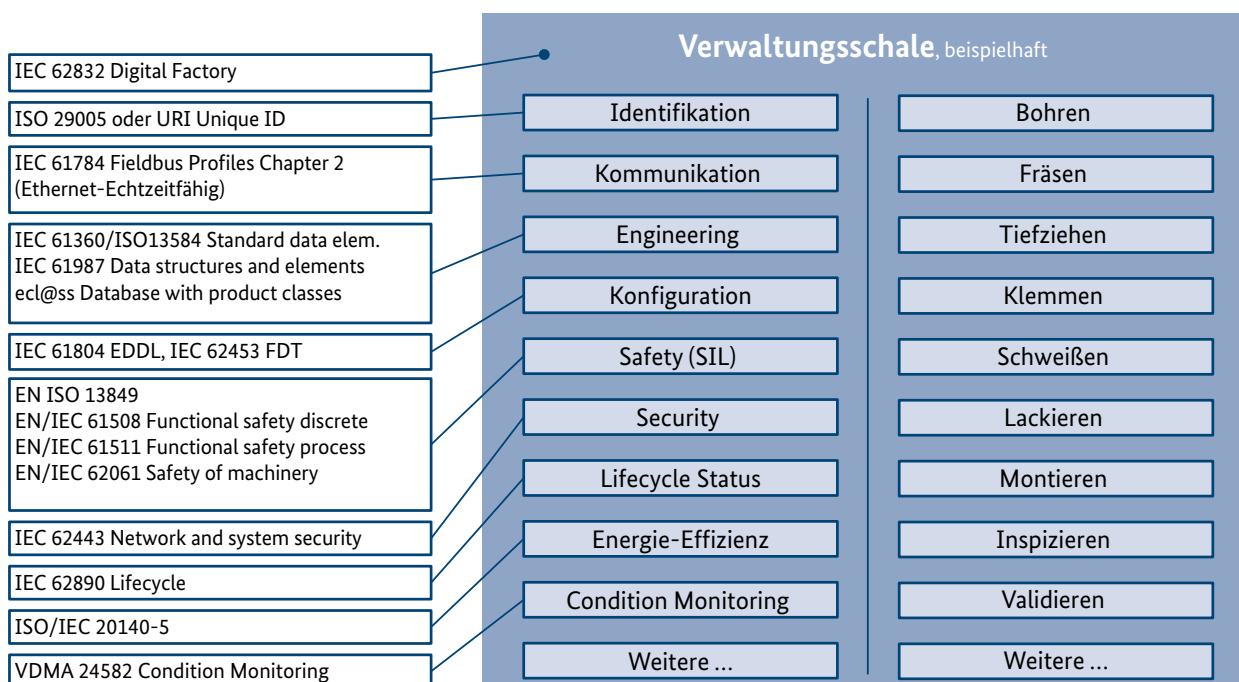
Aus diesem Grund setzt sich die Verwaltungsschale jeweils aus einer Reihe sogenannter ‚Teilmodelle‘ zusammen, welche unterschiedliche Aspekte des jeweiligen Gegenstandes

repräsentieren. Solche Aspekte können zum Beispiel hinsichtlich Safety oder Security beschreibend sein, aber auch beispielsweise verschiedene Prozessfähigkeiten wie Bohren oder Montieren umreißen.

Es wird angestrebt, dass pro unterschiedlichem Aspekt/fachlicher Domäne nur jeweils ein Teilmodell standardisiert wird. Auf diese Weise kann z.B. eine Bohrmaschine dadurch aufgefunden werden, dass sie ein Teilmodell ‚Bohren‘ in ihrer Verwaltungsschale mit geeigneten Merkmalen trägt. Für die Kooperation zwischen Assets können dann bestimmte Merkmale als gegeben angenommen werden.

Die verschiedenen Teilmodelle ergänzen sich gegenseitig in der Beschreibung unterschiedlicher Aspekte des betreffenden Assets. Für das Beispiel der Bohrmaschine könnte dann ein zweites Teilmodell ‚Energie-Effizienz‘ die Fähigkeit der Bohrmaschine zu beschreiben, wie in Betriebspausen Strom gespart werden kann.

**Bild 1: Zusammensetzung der Verwaltungsschale aus Teilmodellen, die für das jeweilige Asset relevant sind**



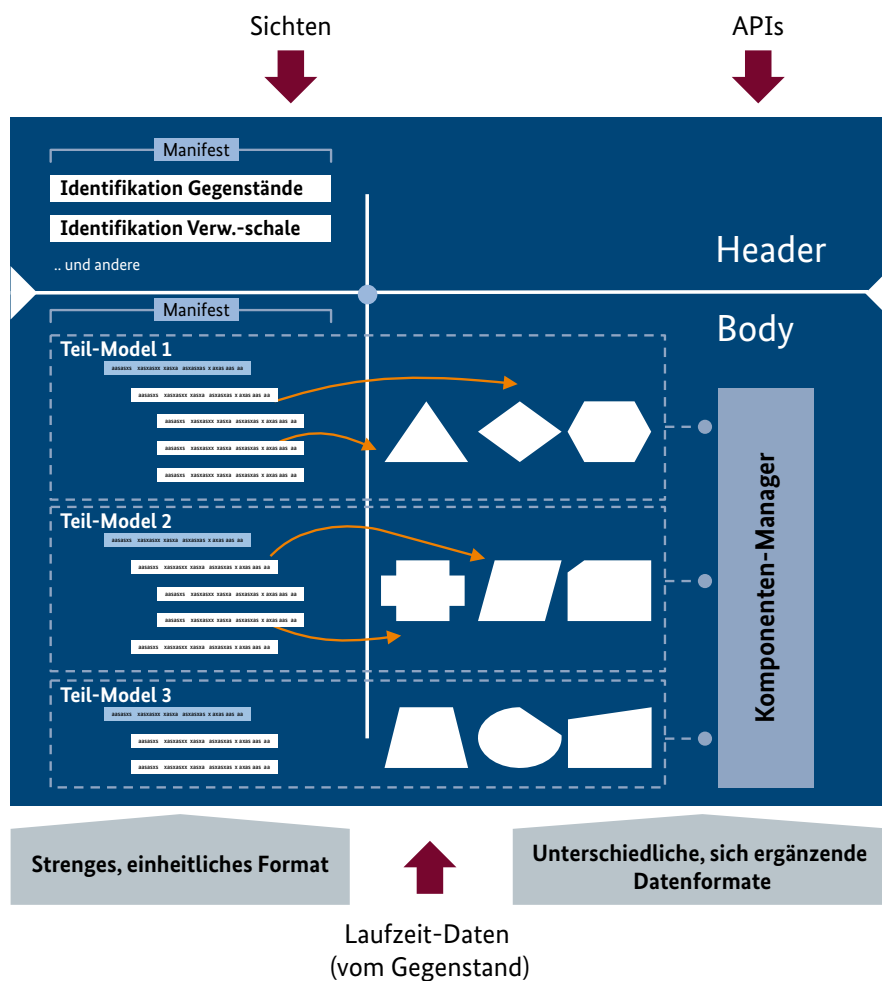
## 2.2 Grobe Struktur der Verwaltungsschale

Im letzten Dokument zur Verwaltungsschale [2] wurde eine grobe, logische Sicht auf deren Struktur vorgelegt. Die Verwaltungsschale, im Bild 2 blau gekennzeichnet, setzt sich aus ‚Header‘ und ‚Body‘ zusammen. Im ‚Header‘ werden identifizierende Angaben zu der Verwaltungsschale und den repräsentierten Gegenständen gemacht. Der ‚Body‘ enthält für eine gegenstandsspezifische Ausprägung der Verwaltungsschale jeweils eine Menge von Teilmodellen.

Jedes Teilmodell enthält eine strukturierte Menge von Merkmalen, welche auf Daten und Funktionen verweisen. Für die Beschreibung der Merkmale ist ein einheitliches Format, welches sich auf IEC 61360 stützt, vorgesehen. Daten und Funktionen können in unterschiedlichen, sich ergänzenden Datenformaten vorliegen.

Auf diese Weise bilden die Merkmale aller Teilmodelle ein immer lesbares Inhaltsverzeichnis, also das Manifest der Verwaltungsschale und damit der I4.0-Komponente. Um eine verbindliche Semantik zu ermöglichen, sollen Verwaltungsschalen, Gegenstände, Teilmodelle und Merkmale jeweils weltweit eindeutig identifiziert werden. Als ‚globale Identifikatoren‘ sind ISO 29002-5 (beispielsweise genutzt bei eCl@ss und IEC Common Data Dictionary) und URIs (Unique Resource Identifiers, beispielsweise für RDF-Ontologien) zugelassen [2].

**Bild 2: Grobstruktur der Verwaltungsschale**





## 3. Beziehungen

Dieser Abschnitt etabliert das Konzept von Beziehungen zwischen einzelnen Elementen in der Industrie I4.0 und die damit verbundenen Vorteile.

### 3.1 Allgemeines zu Kooperationen

Beim Engineering wird durch die Verbindung von Einzelkomponenten eine neue, höhere Funktionalität im Vergleich zu derjenigen erzeugt, die die jeweiligen Einzelkomponenten einer Anlage allein aufweisen. Dies bedeutet, dass die Einzelkomponenten, z. B. Maschinen, im laufenden Betrieb miteinander kooperieren. Die Menschheit kennt seit jeher die Kooperation vom Typ „Mensch-Mensch“. Spätestens seit dem Aufstand der Weber im Jahr 1844 rückte auch die Mensch-Maschine-Kooperation in unser Bewusstsein. Dieser Kooperationstyp ist zwar wichtig, für unsere Betrachtungen bezüglich Industrie 4.0 aber nur einer der Aspekte. Denn mit Industrie 4.0 erscheint zusätzlich die systematische Kooperation des Typs Maschine-Maschine. Mit diesem Typ müssen wir uns ausführlicher beschäftigen, denn damit wird aus der Mensch-Maschine-Kooperation eine Mensch-Maschine-Maschine-Kooperation.

### 3.2 Strukturierte Assetbeschreibung

In Industrie 4.0 werden nur Gegenstände von Wert betrachtet und als „Asset“ bezeichnet, unabhängig von ihrer Erscheinungsform. Das Konzept der I4.0-Komponente verbindet das Asset mit der Informationswelt. Diese Dualität ist auch für die grundlegenden Konzepte von Beziehungen wichtig.

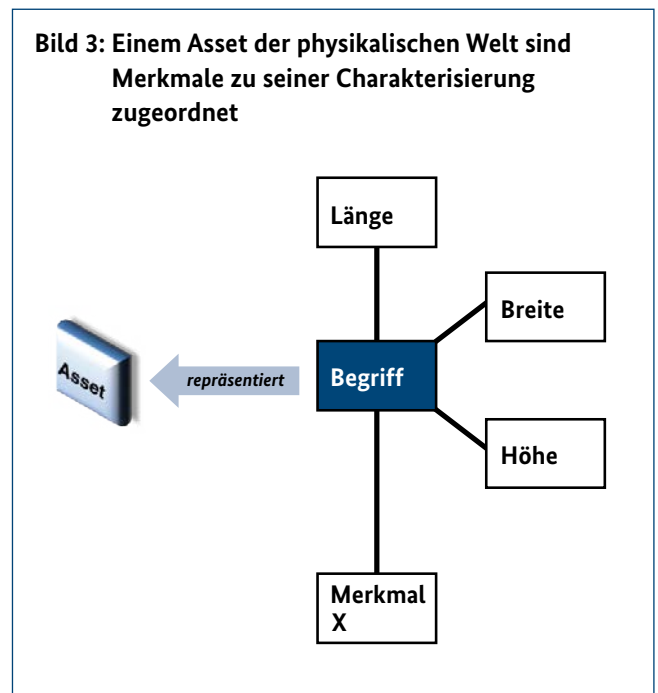
#### 3.2.1 Begriffe

Die physikalische Welt besteht aus Gegenständen, die in Industrie 4.0 Gegenstände von Wert, also Assets, sind. Ein Asset wird fassbar, indem er mit einem „Namen“, einem Begriff, versehen wird, der durch Merkmale charakterisiert werden kann. Ein Begriff ist durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

- Identifikator
- Begriffsbezeichnung (Name, z. B. Assetname), oft nur „Begriff“ genannt, in diesem Dokument wird zur besseren Unterscheidung „Bezeichnung“ genutzt.

- Begriffsdefinition
- Charakteristik(en)

Ein Asset der physikalischen Welt ist mit einem Begriff repräsentiert und durch klar definierte Merkmale z. B. „Länge“, „Breite“, „Höhe“, „Farbe“ usw. charakterisiert (Bild 3).



Um eine Reflexion in die Informationswelt vornehmen zu können, bedarf es also der Charakterisierung der Assets mittels „Begriffen“. Sowohl das durch den Begriff repräsentierte Asset, als auch seine Charakteristiken müssen in der Informationswelt datentechnisch dargestellt sein. Die Methodik der Charakterisierung eines Gegenstands mittels Merkmalen wird in Industrie 4.0 Merkmalsprinzip genannt.

#### 3.2.2 Merkmale

Ein Merkmal ist durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

- Begriffsbezeichnung (Name), oft nur „Begriff“ genannt, in diesem Dokument wird zur besseren Unterscheidung „Bezeichnung“ verwendet.
- Identifikator (Code),
- Begriffsdefinition,

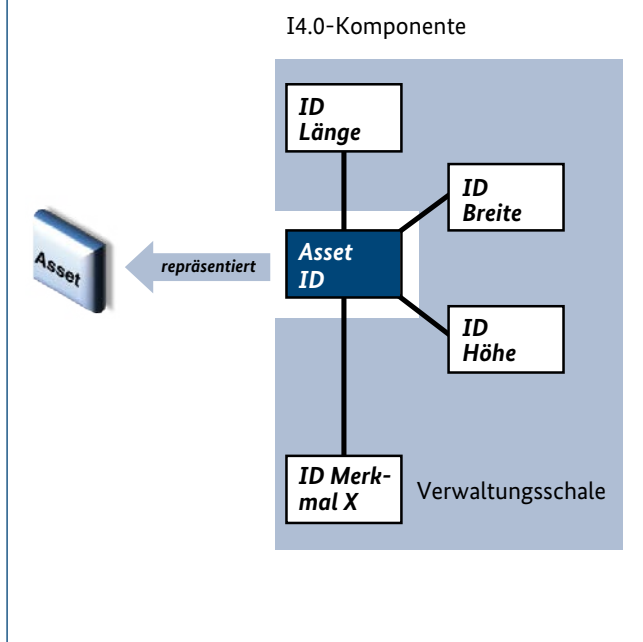
- (Binäre) datentechnische Repräsentation der Eigenschaft(en) mit Attributen und Referenzen

Bei der Merkmalsdefinition (Merkmals-Typ) wird dem Attribut „Wert“ nichts zugewiesen, bei der Merkmals-Instanz ist das Attribut „Wert“ belegt.

Folglich besteht ein Merkmal in der Informationswelt aus mindestens einem Begriff (-Bezeichner) mit einem Identifikator.

Um einen Gegenstand als Asset in Industrie 4.0 verwenden zu können, bedarf es also seiner Beschreibung in der Informationswelt mittels maschinenverarbeitbaren Merkmalen, so wie es Bild 4 darstellt.

**Bild 4: Die ein Asset charakterisierenden Merkmale der physikalischen Welt werden in der Verwaltungsschale der I4.0-Komponente mit ihren Identifikatoren (ID) abgelegt**



Die Erzeugung von Merkmalen aus Begriffen erfolgt in folgenden Schritten

1. Auflistung der für die I4.0-Anwendung relevanten Charakteristiken eines Gegenstands
2. Erzeugung von Merkmalen und Identifikatoren aus den Charakteristiken ohne oder auch mit Werte-Zuweisungen, wobei Merkmale ohne Werte-Zuweisung „Merkmals-Typen“, Merkmale mit Werte-Zuweisungen „Merkmals-Instanzen“ darstellen. Dabei können auch Funktionen ein Merkmal darstellen.

Zunächst werden also die Charakteristika eines realen Gegenstands mit Begriffen belegt. Ein Merkmal im Sinn von Industrie 4.0 entsteht, wenn ein Begriff datentechnisch als Merkmal nach IEC 61360 bzw. ISO 13584-42 spezifiziert wird. Es beschreibt damit eine spezifische Eigenschaft eines Assets der physikalischen Welt in der Informationswelt. Wird wie in Industrie 4.0 dafür gesorgt, dass ein Begriff in der Domain von Industrie 4.0 semantisch nur einmal vorkommt, ist innerhalb dieser Domain dann semantische Eindeutigkeit über den Identifikator gegeben. Eine Produktionseinheit der Industrie 4.0 weiß also, dass der Begriff „Jaguar“ das zu produzierende Auto, nicht das Tier bezeichnet.

Als Merkmale, die diese Anforderungen erfüllen, kommen Merkmale aus eCl@ss, aus dem IEC 61360 Common Data Dictionary (IEC 61360 CDD) und einigen anderen Quellen in Frage. Es ist im Rahmen dieser Abhandlung nicht möglich, die Merkmalsbildung erschöpfend zu behandeln. Es ist aber für das Verständnis der Technik von Industrie 4.0 erforderlich sich die Bildungsgesetze des Datenmodells nach IEC 61360 / ISO 13584-42 vor Augen zu führen.

### 3.3 Kooperation von Assets

Nach Wikipedia [Kooperation] ist „Kooperation (lateinisch cooperatio ‚Zusammenwirkung‘, ‚Mitwirkung‘) das zweckgerichtete Zusammenwirken von Handlungen zweier oder mehrerer Lebewesen, Personen oder Systeme in Arbeitsteilung, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen“. In dieser Definition ist alles enthalten, was bezüglich Beziehungen in Industrie 4.0 von Relevanz ist: Personen (Mensch) und Systeme (Assets und Assetverbände). Um den Charakter der in Industrie 4.0 zu realisierenden Kooperation in Anwendungen besser verstehen zu können, müssen wir uns die Anwendungsszenarien genauer ansehen.

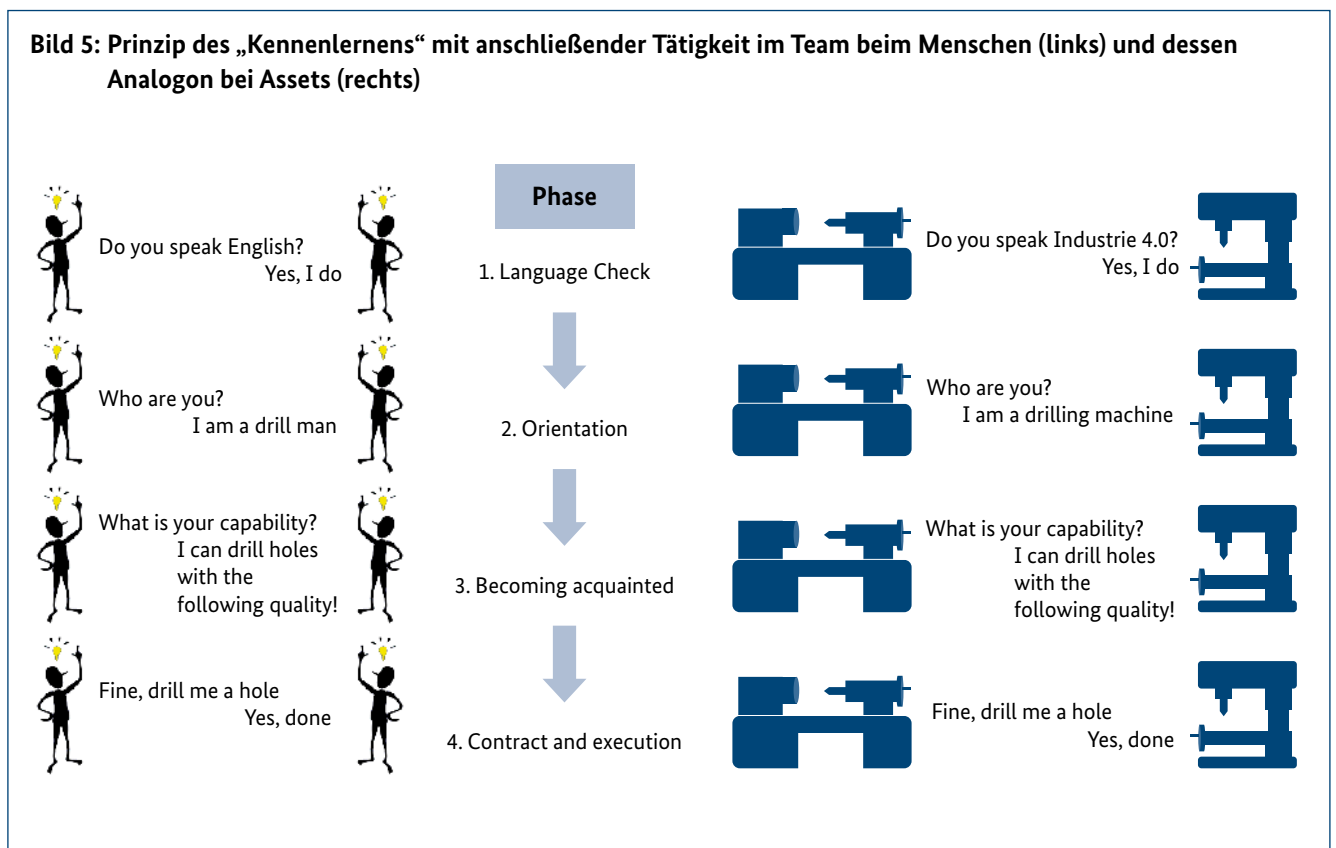
Dazu müssen wir uns zunächst den prinzipiellen Ablauf zum Aufbau von Beziehungen zwischen Assets anhand zweier Maschinen vergegenwärtigen.

Bild 5 zeigt anhand zweier Maschinen (Assets) den prinzipiellen Vorgang zur Erzeugung von Kooperationen (rechte Seite) mittels Diensten als Analogon zum Aufbau von Kooperations-Beziehungen zwischen Menschen (linke Seite). In einer Phase des „Kennenlernens“ wird geprüft, ob und wie man sich verständigen kann (1). Hierzu gehört, die Kommunikations-Verbindung zu etablieren und die zur Verständigung erforderliche Sprache zu vereinbaren. Sodann werden die Fähigkeiten des Gegenübers abgefragt (2). Stimmen sie mit den eigenen Anforderungen überein wird die Bekanntmachungsphase abgeschlossen (3) und der Auftrag erteilt, ausgeführt und sein Vollzug gemeldet (4).

### 3.3.1 Prinzipielle Basis-Dienste zur Erkundung der Fähigkeiten von Assets

Der beschriebene Mechanismus ist so allgemein, dass er auf alle Maschinen eines Maschinen-Pools anwendbar ist, die sich temporär zu einer Fertigungslinie zur Fertigung eines bestimmten Produkts formen sollen. Diese soll, je nach Auftrag, die optimale Konfiguration zur Fertigung eines bestimmten Produkts erzeugen und dieses automatisiert mittels Verbindung der jeweils erforderlichen Maschinen (Production Units PU) unter Leitung eines im Wesentlichen MES-Funktionen ausführenden Production Managers (PM) fertigen. Im Kern handelt es sich dabei um ein automatisiertes Erzeugen von Kooperations-Beziehungen zwischen geeigneten I4.0-Komponenten mit anschließendem automatisiertem Ausführen von Funktionen.

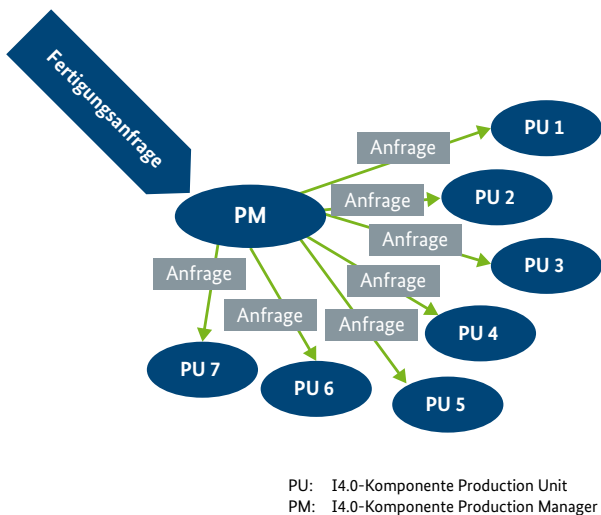
**Bild 5: Prinzip des „Kennenlernens“ mit anschließender Tätigkeit im Team beim Menschen (links) und dessen Analogon bei Assets (rechts)**



### 3.3.2 Das Szenario der flexiblen Fertigungslinie

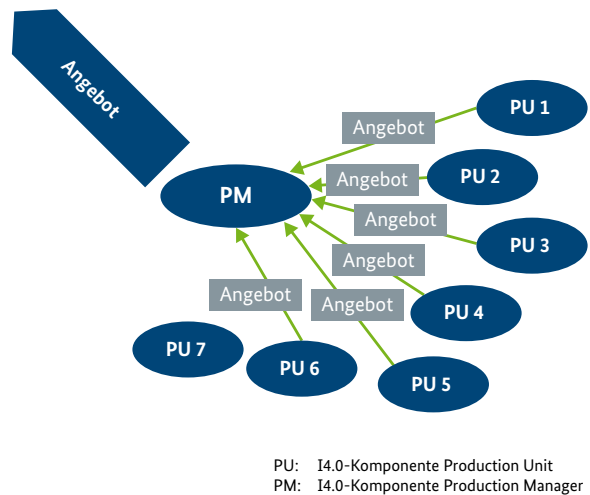
Basierend auf [1] veranschaulichen die Bilder 6 bis 9 das Prinzip zur Bildung, Konfiguration und Auflösung einer flexiblen Fertigungslinie anhand der Anforderungen zur Fertigung eines bestimmten Produkts. Die Fertigungslinie besteht aus einer Reihe von Production Units (PU) und einem Production Manager (PM). Beide Instanzen sind I4.0-Komponenten mit nach RAMI4.0 strukturierten Informationen und Eigenschaften. Die Funktion eines PM beinhaltet Teile eines ERP-Systems und Teile eines MES-Systems, wobei dessen Teile verteilt im PM und in den PUs residieren können.

**Bild 6: Fertigungsanfrage und Prüfung der Produktionsressourcen**



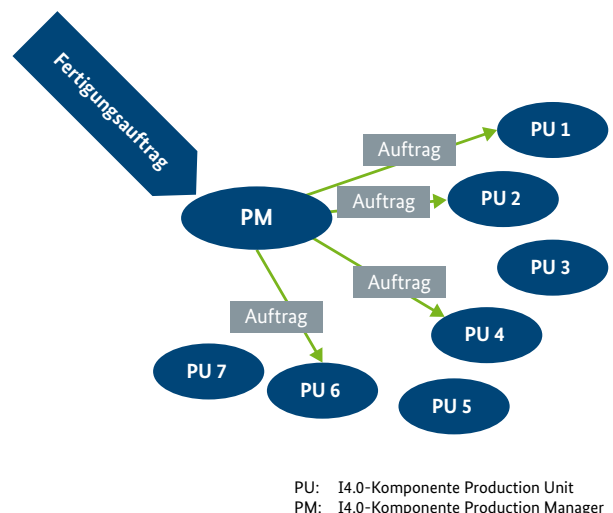
Gemäß Bild 6 nimmt der Production Manager eine Fertigungsanfrage entgegen und prüft auf Basis der in Bild 5, rechte Seite, gezeigten Dienste die Fertigungsmöglichkeiten anhand der Fähigkeiten der im Pool vorhandenen PUs mittels Anfragen an die PUs. Diese Prüfung auf Basis der Angebote der PUs schließt die Verfügbarkeit der PUs und den Preis jedes Fertigungsschritts mit ein, sodass daraus ein Auftragspreis ermittelt werden kann (Bild 7).

**Bild 7: Fertigungsangebot der PUs. Nicht alle PUs müssen ein Angebot abgeben**

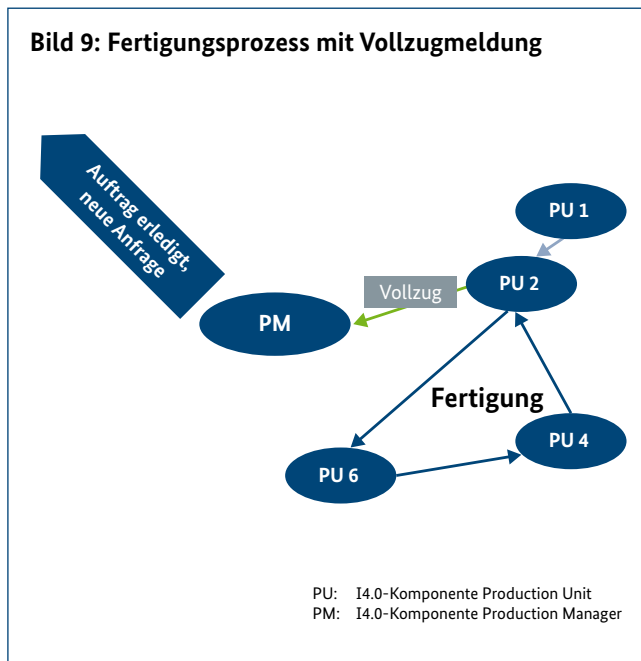


Dabei muss nicht jede PU ein Angebot abgeben. Nach (automatischer) Klärung aller geschäftlichen Rahmenbedingungen mit dem Kunden auf Basis des verschickten Angebots erteilt dieser den Auftrag (Bild 8), der PM verschickt eine (elektronische) Auftragsbestätigung an den Kunden und belegt die gebuchten PUs mittels entsprechender Aufträge. In diesen Prozess kann auch das zu fertigende Teil selbst eingreifen.

**Bild 8: Erteilung des Fertigungsauftrags**



Nach Erledigung aller Aufträge durch die PUs meldet der PM Vollzug und ist für eine neue Anfrage bereit (Bild 9). Bei entsprechender Auslegung kann ein neuer Auftrag natürlich auch während der Ausführung des vorherigen vom PM bearbeitet werden.



Greifen wir uns die wesentlichen Elemente dieses umfassenden Szenarios heraus:

Da ist zunächst der PM als Instanz, der sich einer digitalen Anfrage nach Fertigung eines Produkts unter Kontrolle des Menschen z. B. in Stückzahl eins annimmt. D. h. ein als Kunde auftretender Rechner benutzt einen Anfragedienst des PM. Der Algorithmus des PM ermittelt die erforderlichen Fertigungsfunktionen und durchkämmt mittels Anfragen den PU-Pool (Produktionsressourcen) des „Shop Floor“ nach geeigneten und verfügbaren PUs. Ist er erfolgreich und bestimmte Randbedingungen, z. B. Verfügbarkeit der PUs und deren Preis pro Fertigungsschritt, sind erfüllt, und liegt die Freigabe der Verantwortlichen aus der zuständigen Abteilung vor, schickt er dem Kunden ein digitales Angebot. Nimmt der Kunde dieses Angebot an, organisieren sich die PUs zu einer Fertigungslinie, fertigen das Produkt und melden dem PM Vollzug. Dieser stößt daraufhin die kaufmännischen Prozesse des Unternehmens auf der Unternehmensebene „Office Floor“ an, die in die Lieferung des gefertigten Produkts und dem in das Inkasso dafür münden.

Man sieht, es sind prinzipiell umfangreiche Prozesse nötig, um zu einer kollaborativen Plattform Mensch-Maschine-Maschine zu kommen.

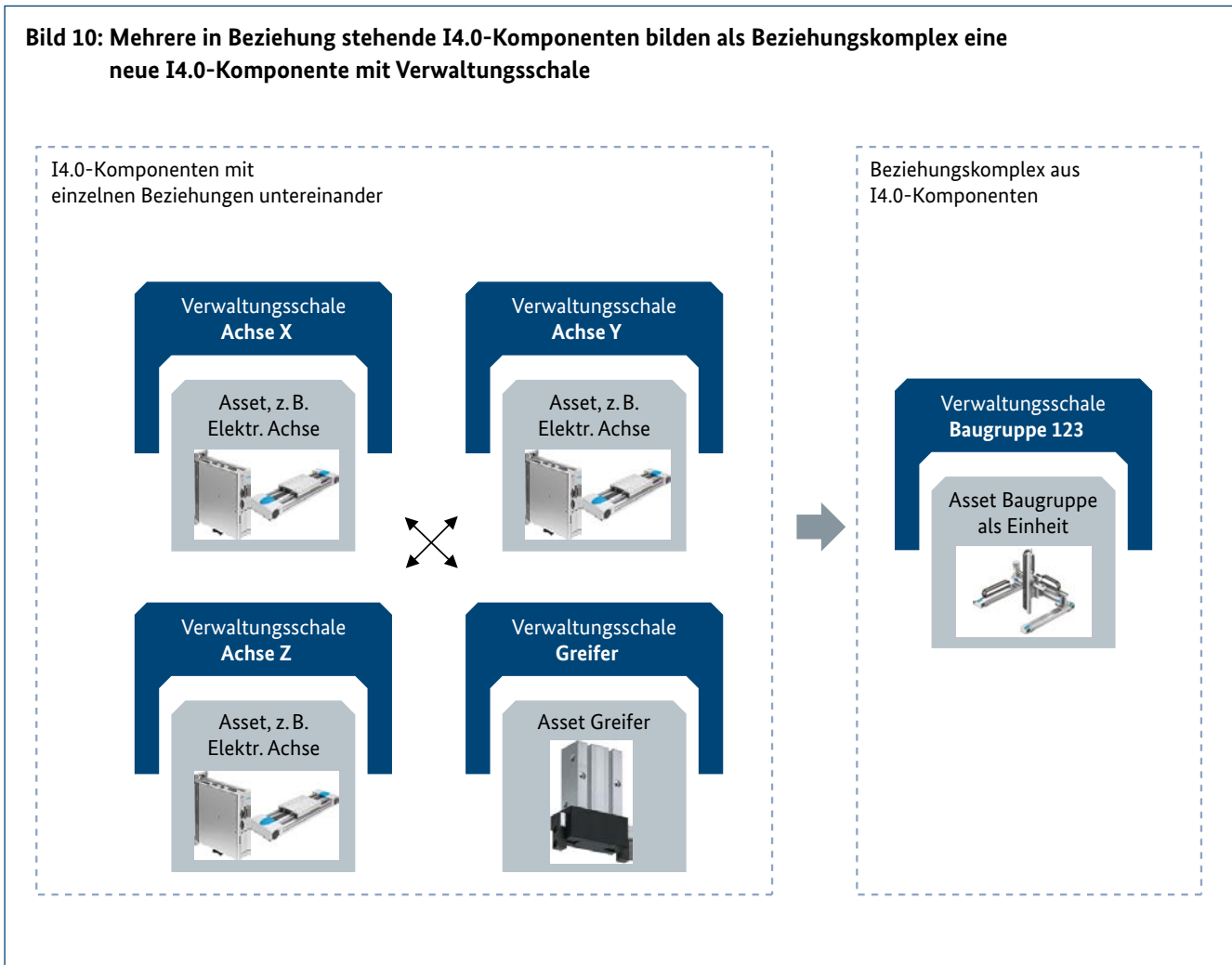
### 3.4 Assetverbünde und Beziehungskomplexe

Sollen Assets miteinander kooperieren (siehe Abschnitt 3.3), so werden diese Assets miteinander verbunden. Solche Verbünde von Assets werden heute durch das klassische Engineering erzeugt. Ein so erzeugter Verbund muss aus der Sicht von Industrie 4.0 eher als statisch bezeichnet werden. Denn Dynamik im Sinn von Industrie 4.0 mit seinen zueinander findenden Assets ist mit den heutigen Methoden des Engineering nicht erreichbar.

Um das im vorherigen Abschnitt besprochene zur Kooperation erforderliche „Team“ zu schaffen, bedienen wir uns der Verbindungen von Assets, in die der Mensch als Asset eingebunden ist, d. h. man koppelt Assets zu einem Assetverbund. Da ein Assetverbund wiederum ein eigenständiges Asset darstellt, unterliegt er denselben Abbildungsregeln wie jedes einzelne Asset. Assetverbünde weisen daher automatisch dieselbe datentechnische Struktur mit einheitlicher Semantik der Informationen auf wie die Einzel-Assets, sind also ebenfalls I4.0-Komponenten.

Ein Assetverbund der physikalischen Welt stellt somit in der Informationswelt einen Beziehungskomplex aus I4.0-Komponenten dar. Dabei entsteht durch die Inbeziehungsetzung der I4.0-Komponenten ein Beziehungskomplex mit neuer, höherer Funktionalität, d. h. ein Beziehungskomplex bildet eine eigene I4.0-Komponente mit eigener Verwaltungsschale. Bild 10 zeigt diesen Sachverhalt.

**Bild 10: Mehrere in Beziehung stehende I4.0-Komponenten bilden als Beziehungskomplex eine neue I4.0-Komponente mit Verwaltungsschale**



Die neuen Fähigkeiten eines solchen Assetverbands werden durch entsprechende Teilmodelle repräsentiert.

### 3.4.1 Assethierarchien

Da die Eigenschaften eines Assets mit beliebiger Granularität beschrieben sein können, kann mit dem Engineering dann begonnen werden, wenn ein minimaler Satz an Informationen vorhanden ist (Bild 11). Danach kann durch Einbeziehung von Sub-Assets beliebig detailliert bzw. durch Zusammenfassen aggregiert werden. Das macht den Systementwurf sehr flexibel.

Bild 12 zeigt die auf dem rekursiven Einsatz der Beschreibung von Assets mit RAMI 4.0 basierende Methodik. Sind Assets hierarchisch angeordnet, wird also z. B. ein Asset aus

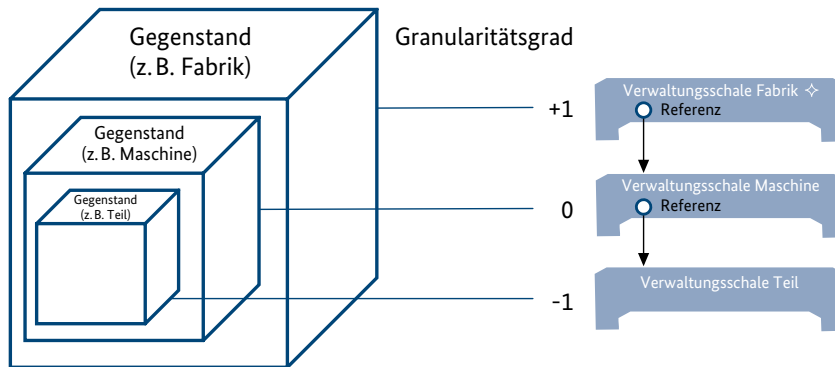
mehreren Sub-Assets gebildet (Detaillierung), so bleibt die Anordnung wegen der einheitlichen Beschreibungsmethodik in sich konsistent. Genauso können Assets zusammengefasst und durch ein übergeordnetes Asset repräsentiert werden (Aggregation). Dabei ist die Summe der Eigenschaften zweier verbundener Assets mehr als die Summe derer Einzeleigenschaften.

---

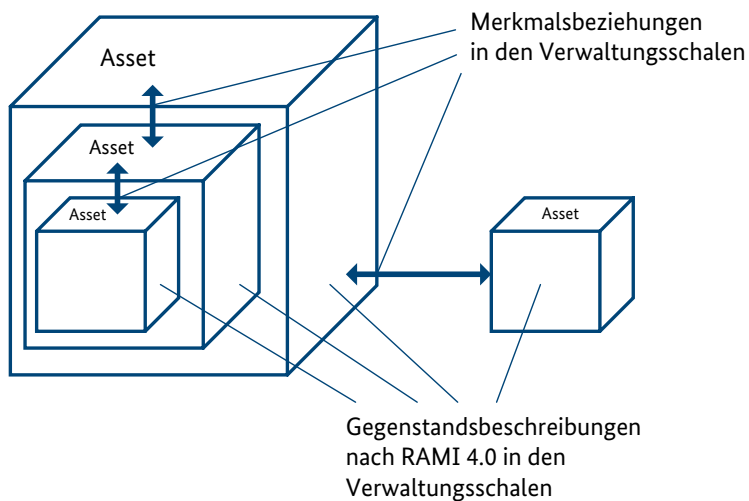
**Es gilt: Werden in der Industrie 4.0 zwei oder mehr Assets miteinander verbunden, entsteht daraus ein neues Asset mit einer entsprechenden Verwaltungsschale, es entsteht also eine neue I4.0-Komponente.**

---

**Bild 11: Der Systementwurf kann auf beliebigen Granularitätsstufen strukturiert nach RAMI 4.0 begonnen werden<sup>1</sup>**



**Bild 12: Beziehungen zwischen Assets werden mittels Merkmalsbeziehungen beschrieben werden<sup>1</sup>**



<sup>1</sup> Aus Gründen der Vereinfachung sind die nach RAMI 4.0 strukturierten Assets in den Bildern als einfache Würfel gezeichnet.

### 3.4.2 Verbindungen und Beziehungen

Bild 13 zeigt drei in der physikalischen Welt miteinander verbundene Assets. Beim Engineering werden diese auch nach heutigem Stand nicht einfach miteinander verbunden. Vielmehr werden die Begriffe miteinander verbunden, die diese Assets repräsentieren. Die Merkmale, welche die jeweiligen Schnittstellen eindeutig beschreiben, werden miteinander in Beziehung gesetzt (grüne Linien in Bild 13). Dieser oft nicht explizit beschriebene Sachverhalt ist im Kontext von Industrie 4.0 wichtig. Die Verbindungen zwischen den Assets werden in der Informationswelt also dadurch beschrieben, dass die entsprechenden Merkmale zueinander in eine Beziehung gesetzt werden (rote Linien in Bild 14). Aus Verbindungen zwischen Begriffen von Assets in der physikalischen Welt werden Beziehungen von Merkmalen in der in der Verwaltungsschale, die formal und maschinenverarbeitbar abgebildet werden. Dabei darf nicht vergessen werden, dass eine Funktion auch ein Merkmal darstellen kann (siehe 3.2.2).

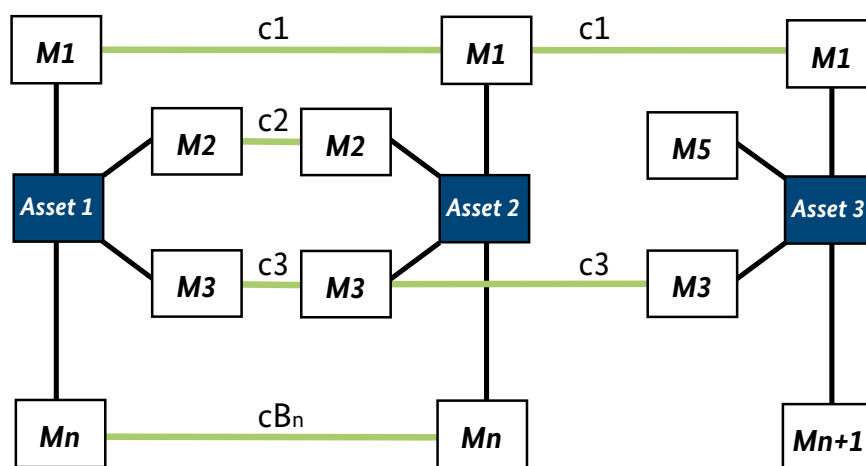
Hinweis: Es reicht in der Informationswelt nicht, z. B. mittels OWL, einfach nur Verbindungen zwischen Assets zu beschreiben. Vielmehr müssen diese Verbindungen durch

Merkmale formal und maschinenverarbeitbar in Beziehung gesetzt werden. Da Merkmale die Charakteristika von Assets in der Informationswelt darstellen, erfolgt die Darstellung der Beziehungen also zwischen den Merkmalen der entsprechenden I4.0-Komponenten wie sie Bild 14 zeigt. Dies trifft auf alle Arten von Beziehungen zu.

Bild 13 zeigt die Situation in der physikalischen Welt. Die Leitung (c1) z. B. zur elektrischen Energieversorgung ist mit allen Assets verbunden, wohingegen die Funktion M2 von Asset 1 nur mit der passenden Funktion M2 von Asset 2 eine Verbindung eingeht (c2). Die Kommunikationsschnittstellen (c3) aller drei Assets sind wiederum alle miteinander verbunden. Dies wird in Bild 14 für die Informationswelt mit den entsprechenden Beziehungen reflektiert. Dabei beschreiben in der Informationswelt

- *statische* Beziehungen die Anordnung als solche,
- *dynamische* Beziehungen die Kooperation der I4.0-Komponenten im operationalen Betrieb.

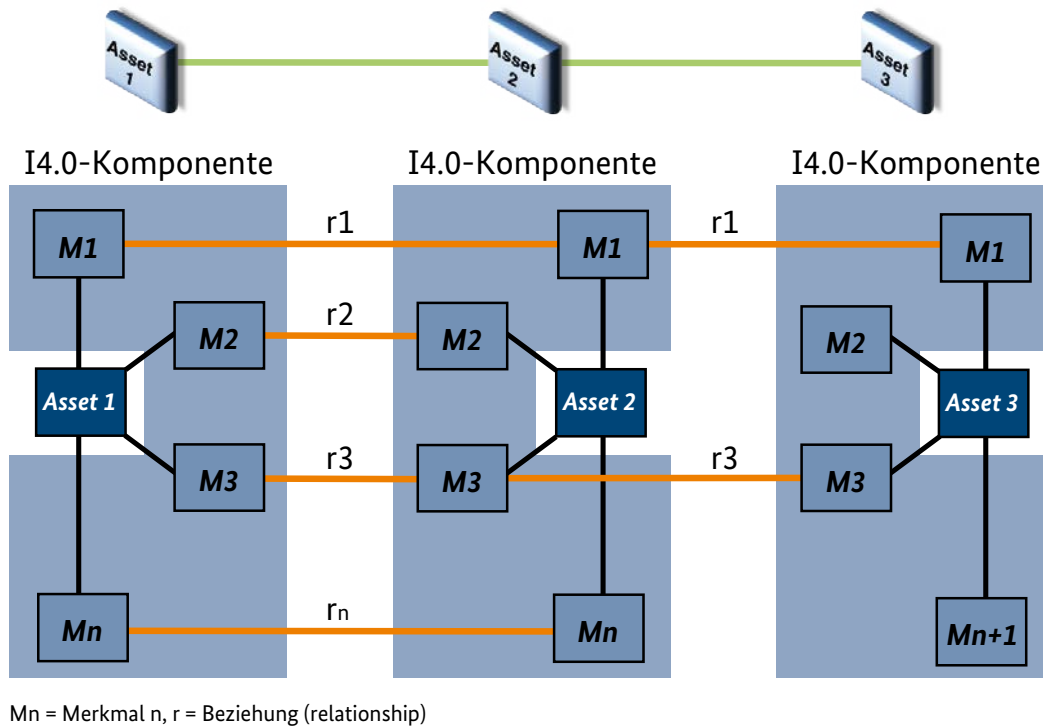
**Bild 13: In der physikalischen Welt werden Assets über deren Merkmale (M) in der Informationswelt verbunden (c)**



Bn = Begriff n, c = Verbindung (connection)



**Bild 14:** In der Informationswelt werden die *Verbindungen der physikalischen Welt* zwischen Assets durch Beziehungen ( $r$ ) zwischen in den Verwaltungsschalen der I4.0-Komponenten abgelegten Merkmalen ( $M$ ) dargestellt



### 3.4.3 Modellierung von Beziehungen in einer Beziehungstabelle

Auf eine solche Art formalisierte Beziehungen lassen sich bereits mit einfachen Mitteln digital abbilden. Die im obigen Bild dargestellten Beziehungen lassen sich beispielsweise durch eine Tabelle ausdrücken:

**Tabelle 1: Modellierung von Beziehungen in einer Beziehungstabelle**

Beziehung	Asset X Merkmal	Asset X Merkmal	Asset X Merkmal
r1	( Asset 1 X M1 )	( Asset 2 X M1 )	( Asset 3 X M1 )
r2	( Asset 1 X M2 )	( Asset 2 X M2 )	
r3	( Asset 1 X M3 )	( Asset 2 X M3 )	( Asset 3 X M1 )
Rn	( Asset 1 X Mn )	( Asset 2 X Mn )	

### 3.4.4 Beziehungen sind Assets

Beziehungen dienen primär dazu, Kooperation zwischen Assets zu ermöglichen. Doch wären diese Beziehungen ohne eine entsprechende Infrastruktur nicht möglich. Beziehungen müssen etabliert, unterhalten, getrennt und modifiziert werden. Dies gilt von der einfachen Verschraubung bis hin zur komplexen Weitverkehrsverbindung über öffentliche und private Netze. Folglich stellt eine solche Infrastruktur in der Informationswelt ebenfalls eine I4.0-Komponente dar, die eine eigene Verwaltungsschale besitzt. Bild 14 zeigt beispielhaft eine mittels der Kommunikations-I4.0-Komponente 2 erzeugte Beziehung zwischen I4.0-Komponente 1 und I4.0-Komponente 3. Dabei wird für alle drei Assets deren Energieverbindung virtuell als Beziehung r1 der zugehörigen Verwaltungsschalen der jeweiligen I4.0-Komponenten dargestellt. Im einfachsten Fall einer Kommunikationsbeziehung ist das Verbindungs-Asset z.B. nur eine Leitung mit Protokollspezifikationen, für die Energieversorgung gilt Ähnliches z.B. in Bezug auf Spannung, max. Strom und Frequenz.

*Hinweis: Auch eine Kommunikationsinfrastruktur besitzt wie alle Assets eine Vita, was bedeutet, dass gemäß RAMI4.0 diese Vita in eine Phase „Type“ und eine Phase „Instanz“ gegliedert ist. Wenn also in diesem Dokument von Beziehungen die Rede ist, so wird aus Vereinfachungsgründen nicht zwischen den beiden Phasen unterschieden. Bei der Realisierung einer Anordnung muss diese Unterscheidung wie bei jedem Asset aber sehr wohl erfolgen.*

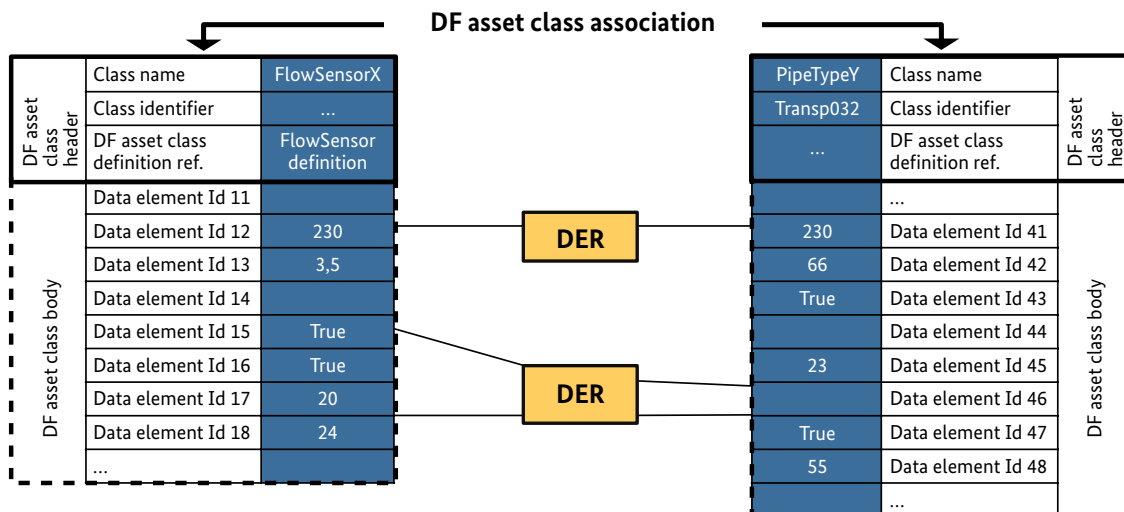
### 3.4.5 Beziehungen zwischen DF Assets nach IEC 62832

Erste Teilergebnisse zur digitalen Fabrik sind im IEC TS 62832-1:2016 hinterlegt, die im Herbst 2016 erfolgreich zur Normung gebracht wurde.

Dort werden Merkmals-Typen als Data Element Type bezeichnet, Merkmals-Instanzen als Data Elements und Beziehungen zwischen Merkmalen heißen Data Element Relationships (DER). Assets heißen in dem Dokument PS\_Assets, Begriffe zur Repräsentation heißen DF Assets. Sie entsprechen in Industrie 4.0 der I4.0-Komponente. Bild 15 zeigt, dass Verbindungstypen (asset class association) für Verbindungen zwischen Assets auf Typ-Ebene definiert werden. Dabei können die Beziehungen zwischen den Merkmalen als data element relationship (DER) definiert werden. Eine Verbindung zwischen Assets wird als Asset-Link beschrieben, bei dem die DER evaluiert werden können. Sind die Merkmalbeziehungen entsprechend den Regeln einer DER positiv geprüft, so kann die Verbindung zwischen den Assets in der physikalischen Welt hergestellt werden. Dies gilt bis auf die historisch bedingten unterschiedlichen Bezeichnungen auch in Industrie 4.0. Industrie 4.0 ist damit in voller inhaltlicher Übereinstimmung mit den Arbeitsergebnissen der IEC TC65.

Es gilt in Industrie 4.0: Wenn eine Beziehung als Typ zwischen I4.0-Komponenten angelegt ist und sie nach hierzu spezifizierten Regeln auf Übereinstimmung in allen Endpunkten geprüft ist, wird sie zu einer Beziehungs-Instanz.

**Bild 15: Data Element Relationship (DER)s beschreiben Beziehungen zwischen Assets (DF asset classes) zur Erzeugung von Verbundkomponenten [3]**



### 3.4.6 Beziehungsarten und Sichten

Beziehungen zwischen Assets können aus verschiedenen Sichten betrachtet und beschrieben werden. Mögliche Sichten für Asset-Beziehungen sind:

- Geschäftliche Beziehungen
- Konstruktive Beziehungen
- Funktionale Beziehungen
- Daten-Beziehungen
- Kommunikations-Beziehungen
- Integrations-Beziehungen mit den Unterbeziehungen
  - Energie
  - Mechanik
  - Stoffströme
- Orts-Beziehungen
- Zeitbeziehungen
- Zustands-Beziehungen
- Asset-Beziehungen
- Mensch-Asset-Beziehungen

Dies gilt innerhalb eines Assets für alle Sub-Assets genauso wie zwischen Assets.

Für alle Beziehungsarten gilt:

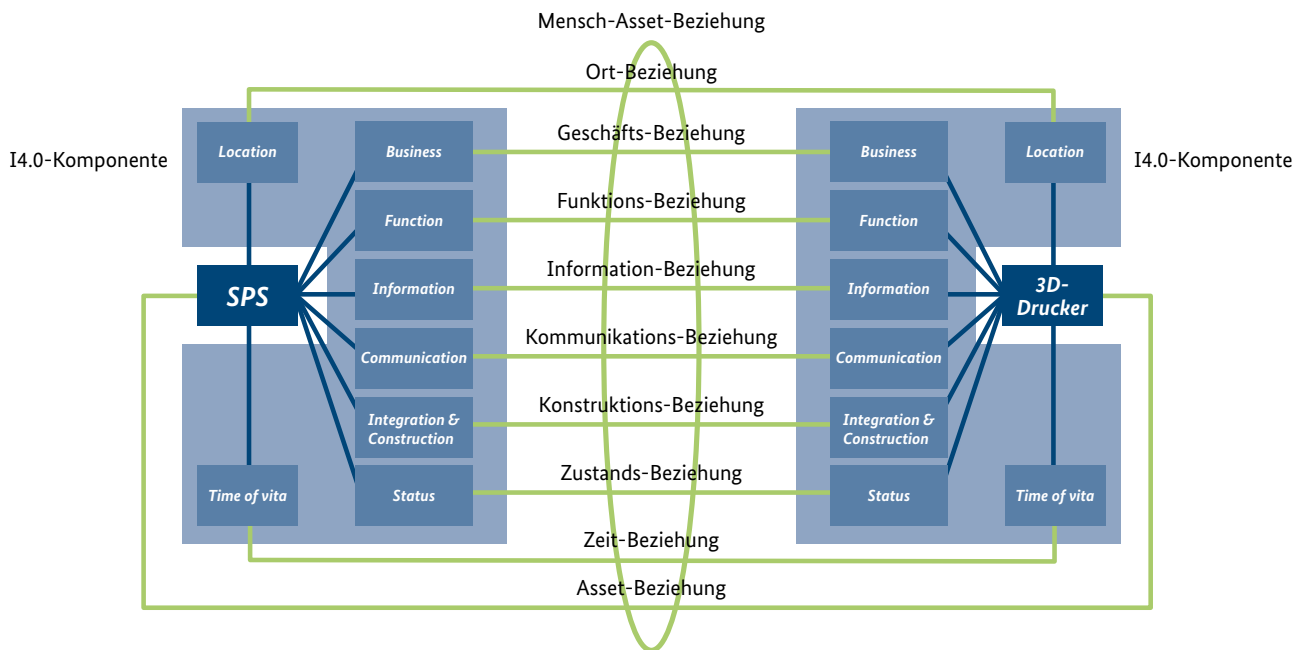
- Beziehungen beschreiben anwendungsgerechte Verbindungen zwischen Assets bzw. ihren I4.0-Komponenten.
- Eine Beziehung zwischen I4.0-Komponenten ist mindestens durch ihre Beziehungsart mit ihren zugehörigen Eigenschaften charakterisiert. Sie besitzt zwei oder mehr Endpunkte.
- Ein Endpunkt ist dadurch gekennzeichnet, dass er einen Bezug zu einer I4.0-Komponente besitzt und die relevanten Merkmale einschließlich deren Werte beider I4.0-Komponenten zueinander passen. Diese Merkmale werden als Endpunkt-Merkmale bezeichnet.
- Beziehungen besitzen immer einen eindeutigen Identifikator.
- Damit Assets miteinander auf Basis der Beziehungen kooperieren können bedarf es einer gemeinsamen Interaktionssprache bei der die Merkmale den wesentlichen Bestandteil darstellen.

Diese Beziehungsarten passen zu den in der DIN SPEC 91345 [5] eingeführten Basis-Sichten.

**Tabelle 2: Basis-Sichten aus DIN SPEC 91345 [5]**

Basis-Sicht	Best practice/Beispiele
Geschäftlich	Daten und Funktionen werden hinterlegt, welche die geschäftliche Eignung und Leistung einer Komponente zu den Lebenszyklusphasen Beschaffung, Konstruktion, Betrieb und Verwertung erlauben. Beispiele: Preise, Lieferbedingungen, Bestellcodes.
Konstruktiv	Hält Merkmale, die für den konstruktiven Einsatz der Komponente relevant sind, also für die Auswahl und Strukturbildung. Enthält eine Struktur-Klassifikation nach EN 81346. Enthält zahlreiche Merkmale zu physischen Dimensionen und zu Eingangs-, Verarbeitungs- und Ausgangsgrößen der Komponente. Enthält eine modulare Sicht auf Teil-Komponenten bzw. eine Geräte-Struktur. Erlaubt eine Automatisierungssicht mit Ein- und Ausgängen verschiedener Signaltypen.
Leistung	Beschreibt Leistungs- und Verhaltensmerkmale, um eine summarische Beurteilung und Virtuelle Inbetriebnahme (V-IBN) eines Gesamtsystems zuzulassen.
Funktional	Macht Aussagen zur Funktion nach EN 81346 und zur Funktion der Teil-Komponenten. Hier erfolgt auch eine Verortung der Einzelfunktionen der fachlichen Funktionalität, also z.B. sog. ‚Skills‘, Auslegungs-, Inbetriebnahme, Berechnungs- oder Diagnosefunktionen der Komponente.
Örtlich	Macht Aussagen zu Positionen und örtlichen zusammenhängen der Komponente oder ihrer Teile oder Ein- und Ausgänge.
Security	Kann ein Merkmal als Security-relevant kennzeichnen. Dieses Merkmal sollte bei einer Betrachtung der Security berücksichtigt werden.
Netzwerksicht	Macht Aussagen zu der elektrischen, fluidischen, materialfluss-technischen, logischen Vernetzung der Komponente.
Lebenszyklus	Hält Daten zum aktuellen Zustand und der historischen Verwendung im Lebenszyklus der Komponente. Beispiele: Zuordnung zur Produktion, Wartungsprotokolle, vergangene Verwendungszwecke.
Mensch	Aus allen Sichten sollen Merkmale, Daten und Funktionen so aufbereitet werden, dass der Mensch einzelne Elemente verstehen, Zusammenhänge begreifen und Kausalketten beherrschen kann.

**Bild 16: Beispielhafte Beziehungen zwischen Assets anhand einer SPS mit einem 3D-Drucker**



Die Beziehungsarten seien anhand der Beziehungen einer speicherprogrammierbaren Steuerung zu einem 3D-Drucker erläutert (Bild 16). Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Bild eine vereinfachte Darstellung wiedergibt, da die Beziehungs-Assets nicht als Assets, sondern als einfache Striche dargestellt sind.

### Geschäfts-Beziehung

Diese Beziehungsart zwischen der SPS und einem 3D-Drucker ist aus Geschäftssicht dadurch charakterisiert, dass der 3D-Drucker für die SPS einen Dienst erbringt, der einen Auftrag voraussetzt, Kosten verursacht und Lieferzeiten usw. beinhaltet. Dabei ist z. B. auch zu prüfen, ob der 3D-Drucker zum vereinbarten Preis die vereinbarte Qualität erbringt. Ferner sind gesetzliche Grundlagen zur Herstellung des Produkts bis hin zur Exportkontrolle zu berücksichtigen. All dies sind Inhalte, die die Beziehungsart „Geschäfts-Beziehung“ charakterisieren.

### Funktions-Beziehung

Die Funktionsbezeichnung stellt eine logische Beziehung zwischen kooperierenden Funktionen der Assets dar.

Im Fall des 3D-Druckers stößt in der SPS eine Funktion „Auftrag erteilen“ die Funktion „Auftrag ausführen“ im 3D-Drucker an. Die zum Start eines Auftrags erforderlichen Informationen ergeben sich aus der Informations-Beziehung.

### Informations-Beziehung

Zur Informations-Beziehung gehören alle Daten und Informationen, die auf Funktionsebene benötigt bzw. erzeugt und modifiziert werden. Sie dient daher sowohl der Durchführung einer funktionalen Kooperation der Assets untereinander, als auch der Korrelation von Daten aus den in Beziehung stehenden Assets z. B. mittels Algorithmen.

### Kommunikations-Beziehung

Miteinander kooperierende Assets müssen Informationen/Daten teilen. Die Kommunikations-Beziehung stellt alles Nötige bereit, damit die erforderlichen Daten ausgetauscht bzw. verteilt werden. Es wird ein „Kommunikationskanal“ aufgebaut, der mittels I4.0-konformer Kommunikationsprotokolle die sichere Datenübermittlung gewährleistet.

### Integrations-Beziehung

Die Integrations Beziehung beschreibt die grundlegenden Verbindungen wie Energieanschluss, mechanische Konstruktion und relevante Stoffströme der physikalischen Welt zwischen den Assets als Spiegel der physikalischen Welt.

Zur mechanischen Konstruktion gehören Verbindungen, z.B. eine einfache Verschraubung, eine Rohrverbindung, aber auch ein auf einem Tisch liegendes Asset oder ein Pfeiler in einem Gebäude, der mit einer darüber bzw. darunter liegenden Etage verbunden ist.

Asset eines Verbunds können energetische Beziehungen auf Basis der Grundenergiearten eingehen, z. B. als Beziehung für

- Mechanische Energie
- Elektrische Energie
- Hydraulische Energie
- Pneumatische Energie.

### Orts-Beziehung

Jedes Asset ist einem bestimmten Ort zugeordnet, der sich bei mobilen Assets auch verändern kann, d.h. er ist über die Zeit, also die Vita des Assets, veränderlich. Die Orts-Beziehung beschreibt die räumliche Information zweier oder mehrerer in Beziehung stehender Assets.

Da auch der Ort selbst ein Asset darstellt, besitzt eine beliebige I4.0-Komponente an einem Ort eine Beziehung zu einer Orts-I4.0-Komponente.

### Zeit-Beziehung

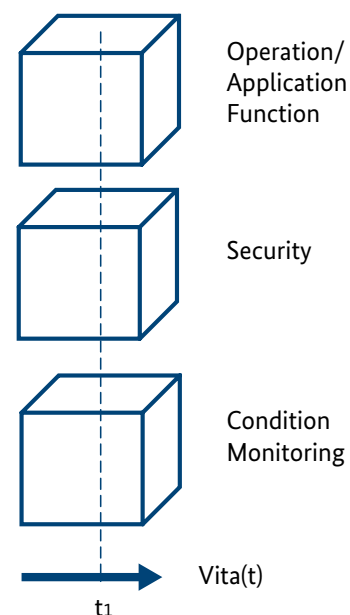
Die Zeitbeziehung beschreibt alle zeitlichen Informationen zweier oder mehrerer in Beziehung stehender Assets.

Da auch die Zeit selbst ein Asset darstellt, besitzt eine beliebige I4.0-Komponente zu einer Zeit eine Beziehung zu einer Zeit-I4.0-Komponente. Das Zeit-Asset umfasst alle relevanten Informationen zur jeweiligen Zeit. Dieses kann die Zeit der physikalischen Welt sein, kann aber z.B. für Simulationszwecke auch eine virtuelle Zeit sein. Die zugehörige I4.0-Komponente stellt diese Informationen I4.0-konform in der Verwaltungsschale rechnerverarbeitbar zur Verfügung.

Jede Beschreibung einer statischen Anordnung gilt nur für den Zeitpunkt ihrer Beschreibung. Da jedes Asset seine *eigene Vita* besitzt gilt es Veränderungen bei Beziehungen sowohl im statischen, als auch im funktionalen (operativen) Teil über die Zeit zu erfassen soweit diese relevant bzw. notwendig zum Ausführen gemeinsamer Funktionen sind. Dazu dient das Referenz-Architektur-Modell RAMI 4.0 mit seiner Zeitachse. Zur Veranschaulichung schauen wir uns dazu die drei in Bild 17 dargestellten Prozesse an, denn auch *Prozesse stellen Assets* dar.

Das Bild zeigt oben, schematisch angedeutet durch den typischen RAMI 4.0 Würfel, das Asset „Operationaler Betrieb“, darunter die Assets „Security“ und „Condition Monitoring“. Diese Assets besitzen wie alle Assets eine Vita, d.h. deren Zustand und Ort können prinzipiell zu jedem Zeitpunkt ermittelt werden. Das bedeutet, dass alle Assets zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t_1$  simultan mit ihren Zuständen und Orten der physikalischen Welt erfasst werden können, was die Möglichkeit eröffnet, den Zustand des Gesamtsystems einschließlich der örtlichen Verteilung der Einzelassets in der Informationswelt zu korrelieren und auszuwerten. Der damit erstellte „Snapshot“ erzeugt damit einen spezifischen View mit konsistentem zeitlichem Bezug, stellt also eine zeitliche Beziehung zwischen Assets her.

**Bild 17: Zeitliche Korrelation zwischen Assets**



### Zustands-Beziehung

Die Zustandsbeziehung beschreibt alle Zustandsinformationen zweier oder mehrerer in Beziehung stehender Assets.

Da auch der Zustand selbst ein Asset darstellt, besitzt eine beliebige I4.0-Komponente auch eine Beziehung zu einer Zustands-I4.0-Komponente. Das Zustands-Asset umfasst alle relevanten Informationen zum Zustand eines Assets. Dieser kann den Zustand der physikalischen Welt reflektieren, kann aber z. B. für Simulationszwecke auch ein virtueller Zustand sein. Die I4.0-Komponente stellt diese Informationen I4.0-konform in der Verwaltungsschale maschinenverarbeitbar zur Verfügung.

### Asset-Asset-Beziehungen

Die Asset-Asset Beziehung stellt die Verbindung zweier Assets in der physikalischen Welt dar. Auch sie ist eine I4.0-Komponente, deren Verwaltungsschale aus den Verwaltungsschalen der anderen Beziehungen besteht.

### Mensch-Asset-Beziehung

Im Sinn des Modells stellt auch der Mensch ein Asset dar, allerdings mit Eingriffs- und Kontrollmöglichkeiten

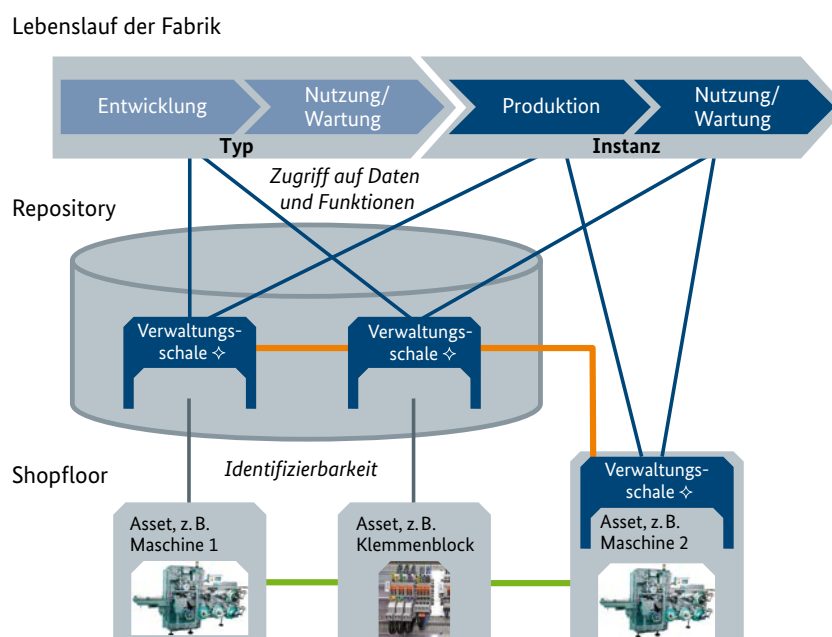
von außerhalb des I4.0-Systems. Die Mensch-Asset-Beziehung ermöglicht dem Menschen einen Eingriff in ein I4.0-System von außerhalb. Agiert der Mensch als Teil eines I4.0-Systems, kann er nur die obigen Beziehungen wie alle anderen Assets des I4.0-Systems eingehen.

### 3.4.7 Beziehungskomplex als Repräsentanz einer I4.0-Anordnung

Jede Verbindung eines Assets mit einem anderen Asset in der physikalischen Welt muss in der Informationswelt mittels der oben beschriebenen Beziehungen beschrieben werden. Wenn für den Typ der Beziehung entsprechende Kriterien (DER) hinterlegt sind, können diese angewendet werden, um die Verbindung zu prüfen.

Welches Asset mit welchem Asset eine Verbindung eingegangen ist oder eingehen will, ist in der Verwaltungsschale der jeweiligen I4.0-Komponente hinterlegt. Da die Verwaltungsschale(n) einer I4.0-Komponente prinzipiell an unterschiedlichen Orten abgelegt sein können und dabei immer ein eindeutiger Bezug zum Asset aufrecht erhalten sein muss, bildet die Summe aller Verwaltungsschalen ein großes Repository ggf. bestehend aus völlig verteilten Datenbanken. Bild 18 zeigt diesen Beziehungskomplex in schematischer Darstellung.

**Bild 18: Die Summe aller Verwaltungsschalen bildet ein I4.0-Repository (modifiziert aus DIN SPEC 91345)**



Der große Vorteil der nach RAMI 4.0 gleichstrukturierten Verwaltungsschalen ist, dass die bislang getrennte Betrachtung von physikalischer Welt in Form des Assets und von Informationswelt in Form seiner digitalen Repräsentation der I4.0-Komponente durch eine homogene Sichtweise abgelöst wird. Denn das Asset der physikalischen Welt wird immer *zwingend zusammen* mit seiner Repräsentation in der Informationswelt, seinen/r Verwaltungsschale(n), betrachtet, siehe beispielhaft auch Bild 18. Dadurch können Verbindungen der Assets in der physikalischen Welt nach eindeutigen Regeln mittels Beziehungen der zugehörigen Verwaltungsschalen in der Informationswelt reflektiert werden. Durch die einheitliche Strukturierung der Verwaltungsschalen und deren semantischer Inhalte lassen sich Verbünde aus I4.0-Komponenten erzeugen, die sowohl als Assets der physikalischen Welt, als auch als Verwaltungsschalen in der Informationswelt zueinander passen. Dies gilt nicht nur zum Zeitpunkt der Erzeugung eines I4.0-Komponentenverbunds, sondern während dessen gesamter Lebenszeit. Jede Veränderung eines Assets in der physikalischen Welt führt in der Verwaltungsschale zu entsprechenden Änderungen und ggf. auch in der Verwaltungsschale des gesamten Verbunds, der selbst wiederum auch eine I4.0-Komponente mit Verwaltungsschale darstellt.

### 3.4.8 Beispielhafte I4.0-Beziehungskomplexe

#### Schraubverbindung

Wenden wir nun die bislang modellhafte Beschreibung beispielhaft auf eine konkrete, aus Anschaulichkeitsgründen einfache Anordnung an. Bild 19 zeigt eine aus den Assets „Schraube“ und „Mutter“ bestehende Schraubverbindung. Diese *Schraubverbindung* der physikalischen Welt erzeugt eine Reihe von Inhalten zwischen beiden Assets in der Informationswelt. Da ist zunächst der konstruktive Aspekt, der durch die mechanische Beziehung in Form von Lochdurchmesser, Schraubenmaterial, Gewinde u. ä. beschrieben wird, auf die die Mutter mit ihren Eigenschaften passen muss. Des Weiteren ist die energetische Beziehung zu betrachten, die durch die auf die Schraubverbindung wirkenden Kräfte charakterisiert wird. Beide sind Integrations-Beziehungen. Die funktionale Beziehung beschreibt, dass die Schraube mit der Mutter z. B. mit anwendungsgerechtem Drehmoment verschraubt werden soll bzw. verschraubt ist.

Auch wenn dies nicht immer der Fall ist, so können doch zwei Teile u.U. nur dann verschraubt werden, wenn dies bestimmten Regularien entspricht bzw. gesetzeskonform möglich ist. Solche Regularien können etwa verhindern, dass eine Verschraubung bei gewissen Materialunverträglichkeiten oder verschiedenen Zuverlässigkeitsklassen gemacht werden. Dies kann dann z. B. in der geschäftlichen Beziehung oder einer anderen Beziehung ausgedrückt werden.

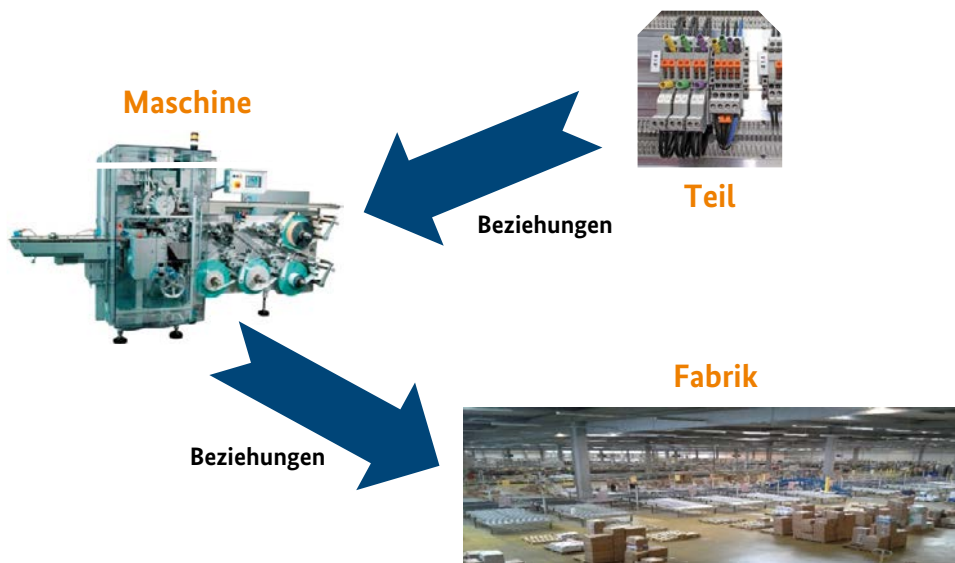
**Bild 19: Eine Schraubverbindung wird in der Informationswelt durch Beziehungen zwischen der I4.0-Komponente „Schraube“ und der I4.0-Komponente „Mutter“ beschrieben**



### Maschine als Teil einer Fabrik

Analog zu diesem Beispiel lassen sich Maschinen und ganze Anlagen beschreiben wie dies Bild 20 schematisch zeigt.

**Bild 20: Jede I4.0-Anordnung besteht aus Assets, deren I4.0-Komponenten miteinander in Beziehung stehen**



### Rohre mit Ventil

Eine beliebige I4.0-Anordnung besteht also immer aus I4.0-Komponenten, die zueinander zu einem bestimmten Zweck in Beziehung gesetzt sind. Aus Sicht der Informationswelt werden die Verbindungen der Assets in der physikalischen Welt durch die entsprechenden Beziehungen mit Informationen aus den Verwaltungsschalen der Informationswelt reflektiert.

Im Folgenden sei eine etwas komplexere I4.0-Anordnung betrachtet. Bild 21 zeigt einen auf unterschiedlichen Engineeringplänen basierenden Entwurf für ein in ein Rohrsystem eingebautes Ventil. Die beteiligten Engineering-Disziplinen sind:

- Mechanische Konstruktion
- Energie/Elektrik Engineering
- Kommunikationsengineering

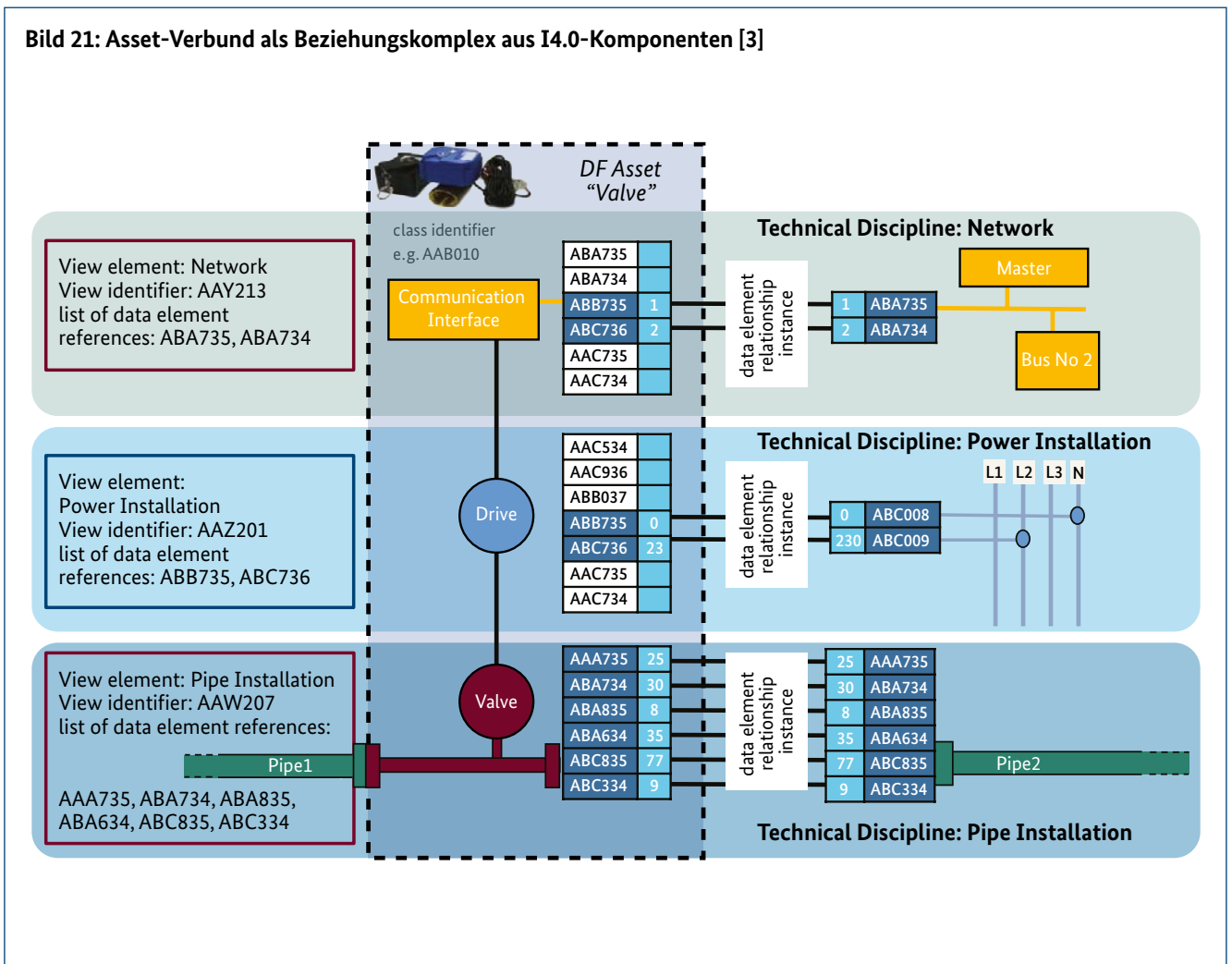
Für die Mechanik sind die Rohre „Pipe 1“ und „Pipe 2“ und das Ventil selbst mit seinen mechanischen Anschlüssen relevant. Die Elektrik stellt die elektrische Energieversorgung bereit. Und zur Herstellung der Kooperationsfähigkeit des Ventils ist die Integration des Ventils in das Kommunikationsnetzwerk erforderlich. Alle drei Gewerke arbeiten heute unabhängig voneinander, benutzen verschiedene Entwurfswerkzeuge mit unterschiedlichen Datenmodellen und können Konsistenz des Gesamtentwurfs nur mit großem Aufwand oft erst auf der Baustelle selbst herstellen.

Führen alle drei Gewerke ihren Entwurf nach den Regeln von Industrie 4.0 durch, verwenden sie durchgängig I4.0-Komponenten. Dabei stehen in den drei Gewerken die erforderlichen Informationen durch Auslesen der Inhalte aus den Verwaltungsschalen I4.0-konform zur Verfügung. Wegen der gleichartigen Struktur der Verwaltungsschalen ist nicht nur der Entwurf innerhalb eines Gewerks I4.0-konform und konsistent, sondern auch der Gesamtentwurf. Benötigen die verschiedenen Gewerke die gleichen Informationen, greifen sie auf dieselben Merkmale zu. Übergreifende Konsistenzprüfungen werden so relativ pro-



blemlos möglich. Als Beispiel sei der Test auf den Einbauort verschiedener Komponenten genannt, der mittels eines Vergleichs der Einbaukoordinaten aller Assets über alle Gewerke hinweg Doppelbelegungen von Einbauorten in einfacher Weise offenbart.

**Bild 21: Asset-Verbund als Beziehungskomplex aus I4.0-Komponenten [3]**



## 4. Konzept der Verbundkomponenten

In diesem Abschnitt werden die allgemeingültigen Ausführungen dazu genutzt, eine Methodik zur Erzeugung von I4.0-Komponenten aus verbundenen I4.0-Komponenten zu beschreiben. Die bisherigen Arbeiten [2][3] stützten sich in ihren beispielhaften Ausführungen immer darauf, konkrete Produktionsressourcen wie Maschinen, Servo-Achsen und weitere Erzeugnisse von Komponentenherstellern etc. zu beschreiben. Das jeweilige Asset und die dazugehörigen Verwaltungsschalen zielen darauf ab, vielfältige Daten und komplexe Funktionalitäten den weiteren Teilnehmern der Industrie 4.0 zur Verfügung zu stellen. Von ihrer Natur her streben diese I4.0-Komponenten eine möglichst vielfältige Verwendung an.

Ein wichtiger Sinn von Produktionsnetzwerken ist allerdings, Verbünde von verschiedensten Produktionsressourcen zu realisieren und einem spezifischen Ziel unterzuordnen, beispielsweise der Herstellung eines Produktes. Dabei werden Flexibilitäten beschnitten, Anforderungen gesetzt, Parameter gewählt und verschiedene Überlegungen zu einem gesamthaften Entwurf zusammengefasst, welcher dem jeweiligen Produktionsziel gerecht wird.

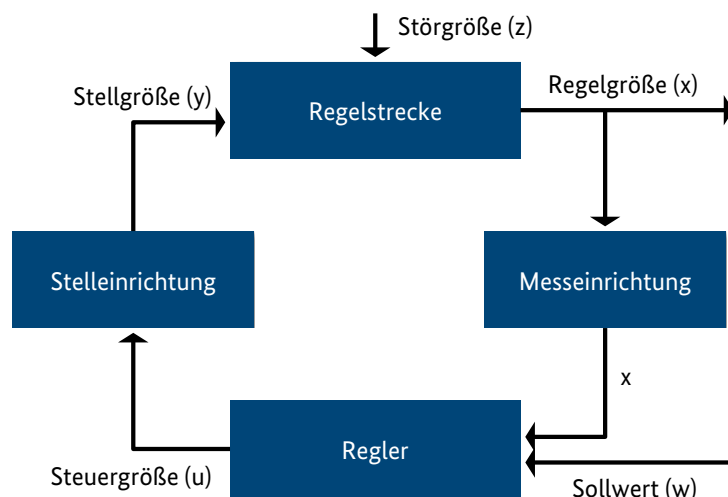
Der folgende Abschnitt beschreibt ein Konzept von I4.0-Komponenten, welche durch die Verbindung von I4.0-Komponenten erstellt werden. Verbünde von I4.0-Komponenten werden im Folgenden, 'Verbundkomponente' genannt.

Weitere Abschnitte in diesem Dokument befassen sich mit der Frage, dass auch zielgerichtete Planungen wie Anforderungsspezifikationen und Produktionspläne durch Verbundkomponenten beschrieben werden können.

### 4.1 Verbundkomponenten ordnen Assets einem Ziel unter

Verbundkomponenten entstehen, wenn mindestens zwei I4.0-Komponenten miteinander verbunden werden. Tatsächlich wird dabei mindestens ein Merkmal der einen I4.0-Komponente mit mindestens einem passenden Merkmal der anderen I4.0-Komponente in Beziehung gesetzt. Eine solche Verbundkomponente weist gegenüber den Einzel-I4.0-Komponenten neue Eigenschaften auf. Dabei ist auch eine Verbundkomponente eine I4.0-Komponente, d. h. auch die Verbundkomponente besitzt eine Verwaltungsschale. Das lässt sich anhand eines Regelkreises veranschaulichen. Die vier Elemente des Regelkreises in Bild 22 seien jeweils eine I4.0-Komponente, bestehend aus Asset und Verwaltungsschale. Sie erfüllen jede für sich eine Funktion. Werden sie miteinander verbunden, gehen sie Verbindungen zur Bildung eines Regelkreises ein. Dieser Regelkreis ist aus Sicht von Industrie 4.0 die Verbundkomponente „Regelkreis“. Die Verbindung zwischen den Einzel-I4.0-Komponenten in diesem Beispiel wird durch Verbindungen nur zwischen den Assets hergestellt, es könnte aber auch Verbindungen auf Ebene der Verwaltungsschale geben.

Bild 22: I4.0-Komponente „Regelkreis“, nach: <http://www.chemgapedia.de>, Grundlagen Regelung



Die hier abstrakt dargestellten I4.0-Komponenten sind in der Realität reale Objekte (z. B. die Stelleinrichtung ein Ventil, die Regelstrecke ein Rohr, die Messeinrichtung ist ein Durchflussmesser und der Regler ein Regelalgorithmus in einer SPS). An diesem Beispiel ist auch zu erkennen wie wichtig es ist, dass auch nicht aktive Elemente im Sinn der IT, wie hier z. B. die Regelstrecke (ein Rohr), durch I4.0-Komponenten repräsentiert werden. Es werden jedoch nicht alle Assets durch eine I4.0-Komponente repräsentiert. Zum Beispiel die Befestigungs- und Verbindungselemente in diesem Beispiel können als individuell bekannte oder anonyme Assets modelliert werden.

Der Vorteil für die Repräsentation des Regelkreises in einer Verbundkomponente ist, dass die Funktion des Regelkreises als Ganzes geführt werden kann. Die Funktion des Regelkreises insgesamt kann beobachtet und beeinflusst werden. Beispielsweise können dem Regelkreis neue Führungsgrößen oder andere Informationen (z. B. über das jeweilige strömende Medium) vorgegeben werden, die sich auf alle Teile des Regelkreises anpassen (z. B. geänderte Ventilöffnung, angepasste Linearisierung bei der Durchflussmessung, angepasste Faktoren im Regelkreis), oder es kann an den Regelkreis ein Notsignal gesendet werden, das bewirkt, dass alle Teile ein entsprechendes Verhalten haben (z. B. sichere Stellung für das Ventil, Ausführungsprozess für Regelalgorithmus wird gestoppt, damit die SPS alle Ressourcen für die Notfall-Steuerung nutzen kann).

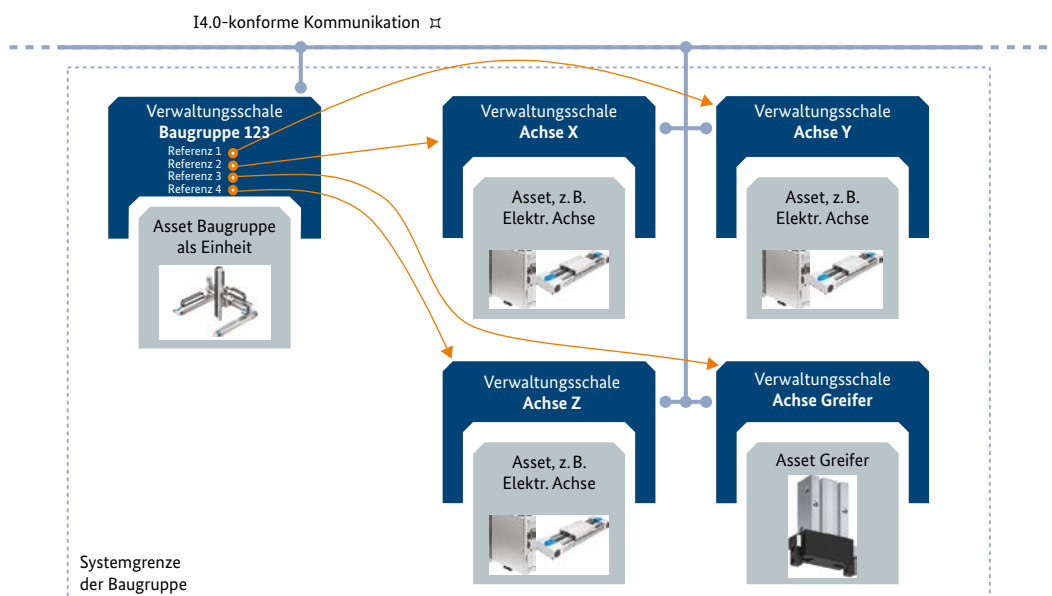
Solch eine Verbundkomponente für einen Regelkreis kann einmalig (für einen spezifischen Einsatzzweck) definiert

werden, oder als Vorlage (Typ-Definition) für verschiedene Anwendungen definiert werden.

Bei einer Verbundkomponente repräsentiert die Verwaltungsschale die Daten, Funktionen und die Struktur des Assetverbunds. Die jeweiligen Daten und Funktionen der integrierten Einzel-I4.0-Komponenten sind weiterhin über ihre entsprechende Verwaltungsschale zugreifbar. Diese integrierten I4.0-Komponenten werden von der Verbundkomponente referenziert, die entsprechenden Assets werden als „selbstverwaltete Assets“ bezeichnet. Individuell bekannte oder anonyme Assets in einen Assetverbund (d. h. Assets ohne eigene Verwaltungsschale) können durch die Verbundkomponente repräsentiert werden, sie werden als „mitverwaltete Assets“ bezeichnet.

Für die folgenden Abschnitte soll eine Baugruppe als Beispiel dienen. Um einem jeweiligen Produktionsziel gerecht zu werden, werden die I4.0-Komponenten verschiedener Hersteller zu einem zielgerichteten Ganzen kombiniert, welches den spezifischen Anforderungen des Produktionsziels gerecht wird, also beispielsweise sehr tiefgreifend dem jeweiligen Produkt, Fertigungsprozess und der umgebenden Maschine/Anlage angepasst ist. Häufig geschieht diese Integrationsleistung nicht durch einen Komponentenhersteller sondern durch einen Maschinen- bzw. Anlagenbauer, welcher die in den Komponenten angelegten Flexibilitäten dazu nutzt, mittels Engineering in den Disziplinen Stoffströme, Mechanik, Fluidik, Elektrik/Elektronik und Softwareprogrammierung die Baugruppe zu realisieren.

**Bild 23: Beispiel für eine Baugruppe, die mehrere Komponenten zu einem Pick&Place-System verbindet**



Eine solche Baugruppe zeichnet sich zumeist durch eine oder mehrere physische Zusammenstellungen von Assets aus, welche gemeinsam eine Systemgrenze der Baugruppe definieren. Die Baugruppe als Einheit wird damit wieder zu einem Asset, welchem spezifische komplexe Daten und Funktionen zugeordnet werden können und welches von der entsprechenden Verwaltungsschale repräsentiert wird.

Als komplexe Informationen, die der ganzen (zielgerichteten) Baugruppe zugeordnet werden können, kommen zum Beispiel die Pläne der verschiedenen Engineering-Disziplinen Stoffströme, Mechanik, Fluidik, Elektrik/Elektronik und Softwareprogrammierung in Frage. Als Funktionen kommen solche in Frage, welche sich aus dem Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten ergeben, für das vorliegende Beispiel also zum Beispiel das Abrufen eines dreiachsigen Pick&Place-Vorganges für Werkstücke einer gewissen Geometrie.

Ziel der Einführung einer Verbundkomponente ist es, die wichtigen Beziehungsinformationen zwischen den einzelnen Komponenten als I4.0-konforme Informationselemente bereitzustellen und so die Nutzung dieser Informationen durch weitere I4.0-Komponenten und übergeordnete Systeme zu ermöglichen. So sollen wichtige Festlegungen, beispielsweise aus der Lebensphase „Engineering“, einem erweiterten Teilnehmerkreis erschlossen werden. Dies wird in den folgenden Abschnitten detailliert dargestellt.

## 4.2 Industrie 3.0 und Industrie 4.0

Viele Abschnitte in diesem Dokument fußen auf gedanklichen Konzepten, welche bereits in der Industrie 3.0 praktiziert werden, wenn auch häufig als ‚Inselösung‘ und in sehr heterogenen Realisierungen. Diesen Konzepten kommt im Produktionsalltag allerdings eine hohe Akzeptanz zu. Auch sind viele Daten und Methoden, welche auf diesen Konzepten aufbauen, bereits vorhanden und motivieren einen Ansatz, der auch mit nicht-I4.0-Systemen umgehen kann.

Dies wird in Abschnitt 4.4.2 deutlich gemacht. Ein weiterer Aspekt von Industrie 4.0 ist, dass Entscheidungen weitaus dynamischer, situationsabhängig und dezentraler getroffen werden. Daher behandeln die hier dargestellten Konzepte nicht nur immer Daten, die in einer Verwaltungsschale repräsentiert werden, sondern leben auch von dem Gedanken, dass zusätzliche ‚fachliche Funktionalität‘ in einer Verwaltungsschale abgebildet werden kann.

## 4.3 Teilmodelle für verschiedene Engineering-Disziplinen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit Teilmodellen, welche jeweils die in den Planarten der verschiedenen Engineering-Disziplinen repräsentierten Informationen abbilden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Baugruppe (also das Asset der in Rede stehenden Verbundkomponente) durch verschiedene Engineering-Disziplinen und deren jeweilige Pläne hinreichend genau beschrieben wird. Nicht jede Engineering-Disziplin behandelt dabei die gesamte Realität; der Elektroplan wird beispielsweise nicht auf die Verschraubungen der einzelnen Achsen eingehen. Die hinreichend genaue Beschreibung der gesamten Realität der Baugruppe ergibt sich also durch die Gesamtheit mehrerer Teilmodelle.

---

Anforderung: Die Verbundkomponente soll mehrere Teilmodelle für die verschiedenen Engineering-Disziplinen und die in den jeweiligen Plänen repräsentierten Informationen unterstützen.

---



---

Anforderung: Jedes Teilmodell soll die Beziehungen für eine relevante Teilmenge der Assets beschreiben, welche durch die Systemgrenze der Verbundkomponente vorgegeben werden.

---

Dabei werden verschiedene Engineering-Disziplinen auch jeweils eigene Ordnungsprinzipien für die in der Systemgrenze erfassten Assets benutzen. So wird die mechanische CAD-Konstruktion vor allem auf eine von physisch miteinander verbundenen Assets abzielen, während der Elektroplan etwa nach Infrastruktur- oder Funktionsgesichtspunkten geordnet sein wird. Das für die I4.0-Komponente geltende Prinzip der Schachtelbarkeit kann sich demzufolge an mehreren Ordnungsprinzipien orientieren.

---

Anforderung: Das jeweilige Teilmodell der Verbundkomponente für die einzelne Engineering-Disziplin soll jeweils eigene Ordnungsprinzipien für die jeweiligen Assets erlauben. Die so erzielte Ordnung und Hierarchisierung soll dann als Informationsquelle für das Prinzip der Schachtelbarkeit für den Zugriff anderer Systeme auf die durch die Verbundkomponente geordneten I4.0-Komponenten dienen können.

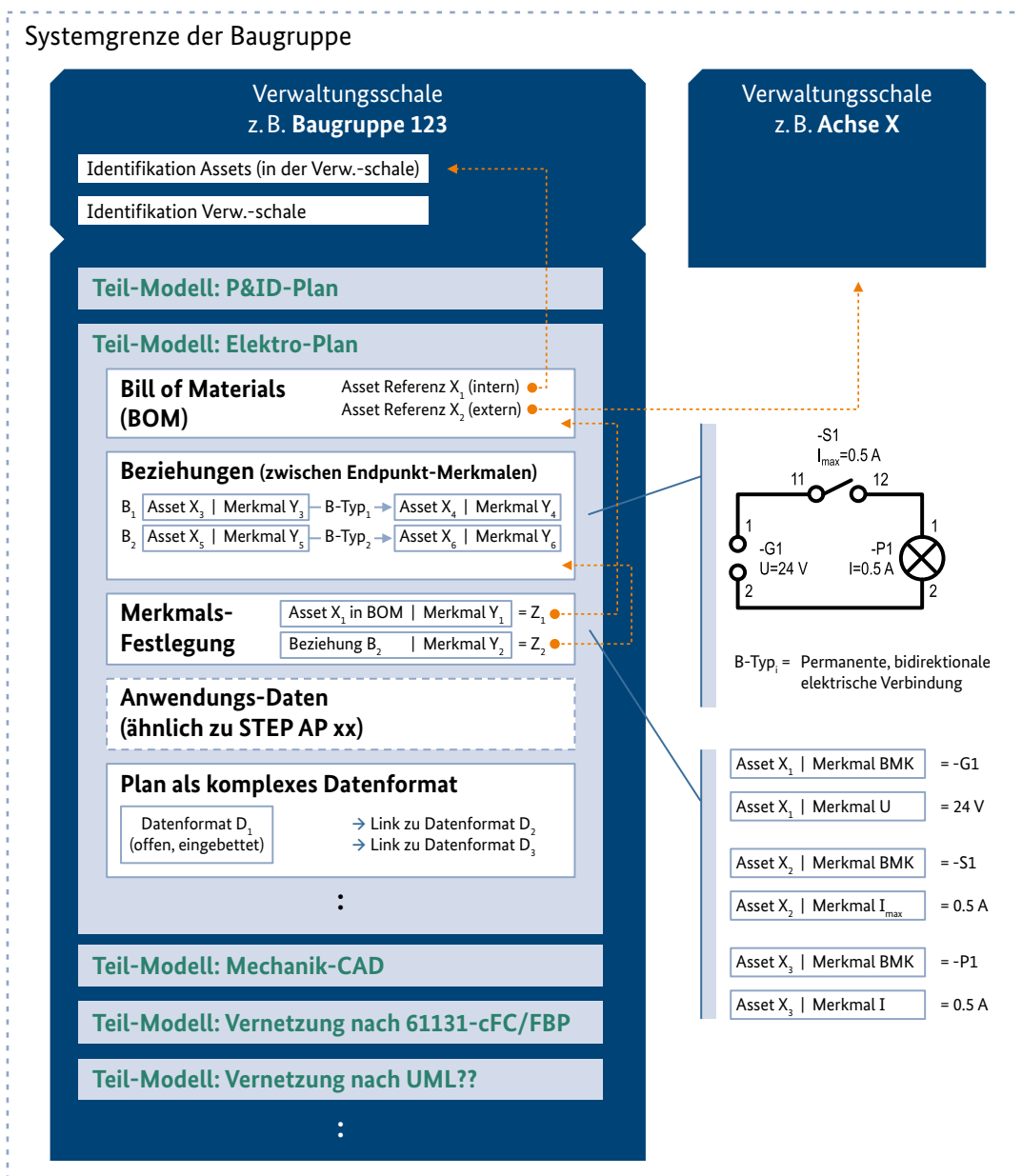
---

### 4.4 Abstrakte Konzepte für Teilmodelle von Verbundkomponenten

Im folgenden Abschnitt werden mehrere Konzepte für Teilmodelle von Verbundkomponenten eingeführt, welche am Beispiel erläutert werden. Diese exemplarischen Konzepte

können abstrakt für mehrere Engineering-Disziplinen eingeführt und genutzt werden. In einem späteren Abschnitt wird dann auf die Besonderheiten einzelner Engineering-Disziplinen eingegangen.

**Bild 24: Überblick über abstrakte Konzepte für Teilmodelle von Verbundkomponenten**



Die in Rede stehenden Teilmodelle definieren Beziehungen und Festlegungen zu einzelnen Assets. Mehrere Verbundkomponenten können unterschiedlichste Systemgrenzen und überschneidende Beziehungen und Festlegungen definieren. Aus diesem Grund gilt:

---

Anforderung: Im Header der Verwaltungsschale der Verbundkomponente werden nur solche Assets mit ihren Identifikatoren erfasst, welche unmittelbar und eindeutig der Verbundkomponente zugeordnet sind und nicht eigene Verwaltungsschalen haben (selbstverwaltete Assets).

---

Einzelne, abstrakte Konzepte für Teilmodelle von Engineering-Disziplinen werden nun in den folgenden Abschnitten eingeführt:

#### 4.4.1 Bill of Material (BOM)

Die jeweiligen Engineering-Disziplinen definieren jeweils eigene Bills of Material (BOM). So benennt die BOM eines Elektroplan zum Beispiel elektrische Komponenten, welche verschaltet werden (etwa Stromversorgungen, Klemmen, Sicherungen ...) und die zugehörigen Infrastruktur-/Verbindungselemente (etwa Kabel und Leitungen ...). Nur Elemente, die in der BOM geführt werden, bekommen beispielsweise eigene Referenzkennzeichen.

Da die Definition der in Rede stehenden Teilmodelle entsprechend Abschnitt 4.1 jeweils andere Elemente eines I4.0-Verbundes erfassen, ist es sinnvoll die BOMs der einzelnen Teilmodelle auf solche Elemente zu begrenzen, welche als Asset in beliebigen Verwaltungsschale zugeordnet sind.

---

Anforderung: Das jeweilige Teilmodell der Verbundkomponente für die einzelne Engineering-Disziplin soll jeweils eine „Bill of Material (BOM)“-Liste von Referenzen auf relevante Assets führen. Referenzen beziehen sich auf mitverwaltete und selbstverwaltete Assets der Verbundkomponente.

---

Mitverwaltete Assets können dazu genutzt werden, Beziehungen zwischen verschiedenen Teilmodellen einer Verbundkomponente herzustellen.

---

Anforderung: Die jeweiligen Referenzen sollen immer auch die Zuordnung des jeweiligen Assets und nicht nur der Verwaltungsschale erlauben, sollen also auch einen Bezug zum globalen Identifikator des Assets und nicht nur der Verwaltungsschale herstellen können.

---

Infrastrukturelemente wie der Knotenpunkt einer Stern-Verbindung oder die Zuordnung einer Abschirmung können weitere Elemente sein, die zwar nicht als eigenes mitverwaltetes oder als selbstverwaltetes Assets repräsentiert werden, aber trotzdem relevant für Beziehungen und Merkmalsfestlegungen sind. Es wird daher für solche Elemente ein dritter Typ in der BOM zugelassen:

---

Anforderung: Das jeweilige Teilmodell der Verbundkomponente soll in seiner jeweiligen „Bill of Material (BOM)“ auch Elemente benennen können, welche nur durch Beziehungen und Merkmalsfestlegungen im jeweiligen Teilmodell referenziert werden und keine mit- oder selbstverwalteten Assets darstellen.

---

#### 4.4.2 Beziehungen zwischen Assets

Ein wesentliches Element, welches durch verschiedene Engineering-Disziplinen und ihre Planarten eingeführt werden, sind die in Abschnitt 3 eingeführten Beziehungen zwischen Assets. Eine mit einer einheitlichen Semantik beschriebene, von vielen Systemen der Industrie 4.0 anerkannte Repräsentation unterschiedlichster Beziehungsgefüge zwischen Assets soll unter vielen anderen folgende Anwendungsfälle unterstützen:

**Tabelle 3: Verschiedene Anwendungsfälle in der Industrie 4.0 und die Bedeutung ihrer Beziehungen**

Anwendungsfall	Beispielhafte Motivation der Beziehungen zwischen Assets
Automatisierung der Automatisierung	Sollen Antriebsachsen sich automatisch zu Achsverbänden zusammenschließen können, Funktionen automatisch auf die vorgesehenen oder geeignetsten Steuerungen verteilt und Bedienbilder automatisch erzeugt werden, müssen die Engineering-Informationen einer Baugruppe oder Anlage vielen Systemen bekannt sein.
Diagnose	Nur wenn die Beziehungen zwischen einzelnen Assets und ihren Untereinheiten bekannt sind, kann eine automatische Diagnose asset-übergreifend realisiert werden.
Handlungsanweisungen	Bei komplexen Fertigungen und immer häufiger wechselnden Produkten kommt einer Unterstützung des Bedieners durch (multimediale) Handlungsanweisungen hohe Bedeutung zu. Diese Handlungsanweisungen müssen automatisch und asset-übergreifend dargestellt werden können.
Augmented Reality	Für AR muss der Ort jedes einzelnen Assets aus der entsprechenden, produktiven Anlagen-Konstruktion bestimmt werden können.
Inbetriebnahme	Für die Unterstützung von Inbetriebnahme ist es sinnvoll, wenn beispielsweise die Funktionalität eines Servo-Verstärkers automatisch ermitteln kann, mit welchem Motor, Istwertgeber und welcher mechanischen Konstruktion die Antriebskette verbunden ist.
Produktionsausführung	Für die Ausführung von Produktion müssen das Produkt, der Fertigungsprozess und die Produktionsressourcen in Beziehung gesetzt werden. Für die Industrie 4.0 geht es darum, diese Beziehungsgefüge so zu gestalten, dass dynamisch jeweils der beste Fertigungsansatz, das adäquate Optimierungsziel, der optimale Fertigungsprozess und die am besten geeignete Maschine und Anlage gewählt und datentechnisch miteinander verbunden wird.
Wartung/Fehlersuche	Für die Unterstützung der Fehlersuche kann es sehr sinnvoll sein, beispielsweise die Referenzkennzeichen, den Ort, oder sogar den passenden Schaltplan auf dem für das Wartungspersonal geeignetsten Geräte darstellen zu können.
Optimierung/„Big data“	Für Optimierungen und „Big data“-Szenarien ist es beispielsweise wichtig zu erfahren, welcher Motor über welche mechanische Achse mit welchem Greifer verbunden ist. Nur so können bei großen Konstruktionen in vertretbarer Zeit aufwendige statistische und semantische Analysen realisiert werden.

Die Notwendigkeit der Repräsentation unterschiedlichster Szenarien der Plattform Industrie 4.0 [6] motiviert werden: Beziehungsgefüge kann auch durch die Anwendungs-

**Tabelle 4: Verschiedene Anwendungsfälle in der Industrie 4.0 und die Bedeutung ihrer Beziehungen**

Anwendungsfall	Beispielhafte Motivation der Beziehungen zwischen Assets
Auftragsgesteuerte Produktion (AGP)	Digitale Beschreibung von Vorrichtungen und Prozessmodulen derart, dass diese für eine automatisierte Auftragsplanung und -vergabe weitaus flexibler als heute miteinander kombiniert und ihre spezifischen Fähigkeiten genutzt werden können.
Wandlungsfähige Fabrik (WFF)	Interoperable Modularität auf allen Ebenen der Fabrik. Digitale Beschreibung von Produktionsmitteln und Produktvarianten. Unterstützung des Systemintegrators beim Aufbau und Umbau von Produktionslinien.
Selbstorganisierende adaptive Logistik (SAL)	Beschreibung von Ort, Lage und Beziehungen von Produktionslinien und Intralogistik untereinander. Stärkere Integration von Logistik in die Produktionslinien durch einheitliche Darstellungen und Werkzeuge.
Value Based Services (VBS)	Die Produkt-Provider stellen Daten als Rohstoff bereit und beziehen auf dieser Basis neue Dienstleistungen. Dazu müssen die Bereitsteller der Dienstleistungen auch wissen, in welchem Zusammenhang die Produktionsmittel und Quellen dieser Daten stehen.
Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion (MTI)	Zur Beschreibung von Störungen, zur Visualisierung von Zusammenhängen, zur Unterstützung von multimedialen Medien und Augmented Reality werden digitale Modelle von Baugruppen, Funktionen und Produktionsmitteln benötigt. Ein einheitlicher Zugriff auf diese Daten muss gewährleistet werden.
Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion (SP2)	Für eine Produktentwicklung in Wertschöpfungsnetzwerken müssen Produkte, Vorrichtungen und Produktionsmittel mittels etablierter Engineering-Disziplinen beschrieben werden. Dazu muss eine standardisierte Infrastruktur existieren, wie auf diese Modelle zugegriffen und wie die Beziehungen zwischen den Modellen verwaltet werden.
Innovative Produktentwicklung (IPE)	Ein digitales Modell sollte auch Markt- und Kundenanforderungen erfassen und diese in Bezug setzen mit unterschiedlichen Bau- und Funktionsgruppen. Dies unterstützt den System-of-Systems-Ansatz und die Beteiligung unterschiedlicher Wertschöpfungspartner an einer Entwicklung und der nachfolgenden Optimierung.
Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen (DDA)	Für ein durchgängiges Engineering muss jeder Partner in einem Wertschöpfungsnetzwerk Zugriff auf ein interoperables Modell der Anlage und der Produkte verfügen. Dazu müssen über die detaillierten Informationen der einzelnen Engineering-Disziplinen hinaus insbesondere auch übergreifende Beziehungen und grundlegende Modellinformationen bereitgestellt werden.
Kreislaufwirtschaft (KRW)	Für ein maximiertes Remanufacturing und Reuse von Produktionsmitteln müssen diese auf jeder Ebene in ihren Fähigkeiten und in ihrem Aufbau beschrieben werden. Wichtig ist, dass diese Informationen über den ganzen Lebenszyklus hinweg bewahrt und auch bei wechselnden Verantwortungsbereichen weiterhin im Zugriff bleiben können.



Entsprechend Abschnitt 4.3 ist das Beziehungsgefüge zwischen Assets durch unterschiedlichste Engineering-Disziplinen und Planarten sehr heterogen beschrieben. Um dieses Beziehungsgefüge also mit einer einheitlichen Semantik und für viele verschiedene Systeme der Industrie 4.0 verarbeitbar zu gestalten, sollen Beziehungen entsprechend 3.4.3 hinterlegt werden. Eine Generierung dieser Informationen durch die in den verschiedenen Engineering-Disziplinen verwendeten Software-Tools muss möglich sein. Diese Anforderung bezieht sich nicht auf beliebige Beziehungen, sondern ausschließlich auf solche, die als Endpunkte im Sinne des Abschnitt 3.4.6 vorgesehen sind.

Anforderung: Das jeweilige Teilmodell der Verbundkomponente für die einzelne Engineering-Disziplin soll eine abzählbare und hierarchisierbare Liste von merkmals-typisierten Beziehungen zwischen zwei und mehreren Assets und deren spezifischen Endpunkt-Merkmalen führen können.

Anforderung: Wird in einer Engineering-Disziplin ein Software-Tool zur Gestaltung/Konstruktion des Assets der Verbundkomponente eingesetzt, so soll dieses eine Generierung der Beziehungsmenge im entsprechenden Teilmodell unterstützen, um als I4.0-geeignet zu gelten.

Dabei wird die komplette Realität meist erst durch das Zusammenziehen verschiedener Engineering-Disziplinen hinreichend vollständig repräsentiert:

Anforderung: Die Beziehungsmengen der einzelnen Teilmodelle der Verbundkomponenten sollen sich zu einer umfassenden Beziehungsmenge integrieren lassen.

#### 4.4.3 Merkmals-Typisierung von Beziehungen

Die Typisierung der repräsentierten Beziehungen muss allgemeingültig genug sein, um übergreifende Analysen und die Verarbeitung der Informationen in vielen Systemen der Industrie 4.0 zu gewährleisten.

Gleichzeitig müssen die repräsentierten Beziehungen hinreichend genau und aussagekräftig sein, um von den Vertretern der einzelnen Engineering-Disziplinen anerkannt und von den Methodikern berücksichtigt zu werden. Beispiele hierfür könnten sein:

**Tabelle 5: Merkmalstypisierungen für verschiedene Engineering-Disziplinen**

Eng.-Disziplin	Beispiele für merkmals-typisierte Beziehungen
Mechanische Konstruktion	Feste Verbindung, Schubgelenk, Scharniergelenk, Zylindrisches Gelenk, Kugelgelenk, jeweils mit Reibung, Feder oder Dämpfung ausgestattet
Elektrotechnik	Elektrische Verbindung einpolig, Elektrische Verbindung mehrpolig, Datenbus-Verbindung, Potentialverbindung, Anreihverbindung zwischen Klemmen
Fluidik	Schlauch- oder Rohrverbindung, direkte Schraub- oder Steckverbindung, Anreihverbindung zwischen Komponenten, Verbindung in den offenen Raum (Schalldämpfer)
P&ID-Planung	Rohrverbindung, Verbindung Sensor und Stellglied
Bausteinverkettung in der Automatisierung (61131-CFC/FBD)	Signalverbindung, Event-Verbindung, Busverbindung
Vernetzung von Software-Komponenten (UML-Communication Diagram)	Lebenslauf (Vita) im Kommunikationsverbindung Anmerkung: einzelne Nachrichten ließen sich dann als Merkmale dieser Beziehung modellieren.
Hallen-Plan	Förderstrecke (kontinuierlich), Förderstrecke (diskret), Elektrische Infrastruktur, Pneumatische Infrastruktur, Medieninfrastruktur, Intralogistik, Verkehrsweg Personen, Verkehrsweg Fahrzeuge

Für die oben genannten Beziehungen ist davon auszugehen, dass eine Ergänzung der jeweiligen Beziehungstypen vorgenommen werden muss; eine Erweiterung des Klassifikationsschemas ist vorzusehen. Dies kann durch eine Repräsentation der Beziehungsklassen in einem IEC 61360-Repository wie eCl@ss geschehen.

---

Anforderung: Die Merkmals-Typisierung von Beziehungen ist so zu gestalten, dass eine Erweiterung des Klassifikationsschemas um weitere Beziehungen möglich ist.

---

#### 4.4.4 Merkmals-Festlegungen

Aus dem Beispiel für den Elektroplan kann auch abgeleitet werden, dass Verbundkomponenten Merkmale für (selbstverwaltete) Assets fordern beziehungsweise festlegen können. Dies kann sich beispielsweise auf ein Referenzkennzeichen, einen Betriebsmodus, einen Getriebefaktor, einen Sollwert oder ähnliches beziehen. Das jeweilige Asset muss mit den Merkmalen in einem seiner Teilmodelle dann dieser Forderung beziehungsweise Festlegung entsprechen können.

---

Anforderung: Das jeweilige Teilmodell der Verbundkomponente für die einzelne Engineering-Disziplin soll eine

abzählbare und hierarchisierbare Liste von Merkmals-Festlegungen führen können, welche sich an mitverwaltete und selbstverwaltete Assets auf der „Bill of Material (BOM)“ und den in ihren Verwaltungsschalen gegebenen Merkmalen richten.

---

Nach Abschnitt 4.1 verfolgen Verbundkomponenten ein Ziel. Dazu gehört auch, dass die Verbundkomponenten unterschiedliche Merkmals-Festlegungen für von ihnen referenzierten Assets treffen. Ein solcher Mechanismus kann ebenfalls dafür genutzt werden, mittels verschiedener Verbundkomponenten alternative Planungsszenarien durch die Auswahl der beschriebenen Assets und deren Merkmals-Festlegungen zu beschreiben, indem beispielsweise zwei Verbundkomponenten die gleichen Assets verplanen. Eine wechselnde Zuordnung von Assets zu Verbundkomponenten kann weiterhin auch Veränderungen über den Lebenszyklus darstellen, wenn beispielsweise Komponenten in unterschiedlichen Anlagenteilen wiederverwendet werden.

Dies legt nahe, dass viele Merkmals-Festlegungen, die in einer Verwaltungsschale eines bestimmten Assets abgelegt werden könnten, besser durch Merkmals-Festlegungen durch verschiedene Verbundkomponenten festgelegt werden können.

Entsprechende Festlegungen können sein:

**Tabelle 6: Mögliche Merkmals-Festlegungen**

Referenzkennzeichen	Die Pläne verschiedener Engineering-Disziplinen vergeben häufig eigene Referenzkennzeichen. Im Falle eines Elektroplanes kann dies beispielsweise ein Betriebsmittelkennzeichen nach DIN EN 81346 sein. Verschiedene Verbundkomponenten könnten beispielsweise verschiedene Alternativen zur Konstruktion einer Produktionsstation vorsehen.
Ortsangaben	Die Ortsangabe eines Assets kann auf verschiedenen Plänen verortet werden, etwa nach einer geodätischen Position, auf einem Standort-Plan, auf einem Hallen-Plan, auf dem Plan einer Produktionslinie. Verschiedene Verbundkomponenten könnten beispielsweise die Historie von Anlagen-Verbänden widerspiegeln oder einen hypothetischen Plan, z. B. für einen Lauf einer Diskreten Event-Simulation (DES) vorgeben.
Betriebsmodus, Sollwerte	Für verschiedene Produkte oder Produktionsszenarien könnte eine Verbundkomponente oder ein Plan verschiedene Betriebsmodi oder Sollwerte vorsehen.
ALOP/DLOP/OLOP nach IEC 61987-10	Industrie 4.0 soll Planungsprozesse ermöglichen. Verbundkomponenten können verschiedene Planungsarten und -hypothesen darstellen, welche unter anderem Anforderungsfüge für geplante, aber noch nicht vollständig festgelegte Assets beinhalten könnten. Ein häufig genutztes Beispiel könnte das einer „Rolle für eine Pumpe sein, mit einer Nennleistung von 500 l/min“ sein

In Abschnitt 4.4.3 wird den Beziehungen zwischen Assets jeweils eine Beziehungs-Klassifikation zugewiesen; weitere Festlegungen hinsichtlich der Beziehungen werden nicht getroffen. Daher soll die Möglichkeit zu Merkmals-Festlegungen dahingehend ausgeweitet werden, um zum Beispiel Signalnamen oder ähnliche Merkmale setzen zu können.

---

Anforderung: Das jeweilige Teilmodell der Verbundkomponente für die einzelne Engineering-Disziplin soll eine abzählbare und hierarchisierbare Liste von Merkmals-Festlegungen führen können, welche die definierten Beziehungen im Teilmodell genauer beschreiben.

---

#### 4.4.5 Anwendungsdaten

Zusätzlich zu der Festlegung einzelner, voneinander unabhängiger Merkmale, wie es Abschnitt 4.4.4 beschreibt, kann es sinnvoll sein, einen Satz kohärenter Merkmale und Daten zu beschreiben, der wohldefinierte Anwendungsfälle hinreichend genau unterstützt. Dies ist zum Beispiel durch die STEP Application Protocols (AP), wie zum Beispiel ISO 10303 AP214 zum Produktdatenaustausch in der Automobilproduktion, verwirklicht.

Daher kann eine Verbundkomponente auch Teilmodelle beinhalten, die aufeinander abgestimmte Merkmalsstrukturen für bestimmte Anwendungsfälle beschreiben. Diese Teilmodelle können je nach Anwendungsfall entweder einer Engineering-Disziplin zugeordnet werden (zum Beispiel ISO 10303 AP242 für die Mechanische 3D Konstruktion) oder auch übergreifend in der Verwaltungsschale der Verbundkomponente gehalten werden. Richten sich die Merkmalsstrukturen an genau eine Engineering-Disziplin (wie im Beispiel AP242), so sollen diese auch im gleichen Teilmodell gepflegt werden können:

---

Anforderung: Das jeweilige Teilmodell der Verbundkomponente für die einzelne Engineering-Disziplin soll eine abzählbare und hierarchisierbare Liste von Unter-Teilmodellen aufnehmen können, welche einzelne Anwendungsfälle z. B. nach dem Muster der STEP Applikationsprotokolle unterstützen.

---

Alternativ können diese abgestimmte Merkmalsstrukturen natürlich auch als eigenständige Teilmodelle gepflegt werden.

#### 4.4.6 Speicherung von detaillierten Plänen mittels komplexen Datenformaten

Die in den obigen Abschnitten festgelegten Beschreibungsmittel (Beziehungen, Merkmalsfestlegungen und Anwendungsdaten) sind nicht hinreichend, um sämtliche Informationen herkömmlicher Pläne der verschiedenen Engineering-Disziplinen umfänglich zu repräsentieren. Hinsichtlich der in Abschnitt 4.4.2 beschriebenen Anwendungsfälle ist dies auch nicht erforderlich.

Diese Informationen sollen aber verschiedenen Verwendern, beispielsweise Engineering-Systemen oder Instandhaltungs-Personal über eine Industrie 4.0-Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden. Daher soll es möglich sein, komplexe Datenformate wie beispielsweise 3D-Datenformate oder Stromlaufpläne für die Nutzung durch die einzelnen Engineering-Disziplinen in der Verbundkomponente zu hinterlegen, zu nutzen und zu pflegen.

Ein Idealzustand für die Industrie 4.0 wäre es, für jede benötigte Planart jeder Engineering-Disziplin ein einheitliches und offenes Datenformat benennen zu können, welches den umfänglichen Anforderungen an Beschreibungstiefe und Integration mit Engineering-Systemen ausreichend gerecht wird und die notwendige Effizienz für die Engineeringprozesse gewährleistet, welche beispielsweise über unternehmensspezifische Product Lifecycle Systeme (PLM) abgewickelt werden.

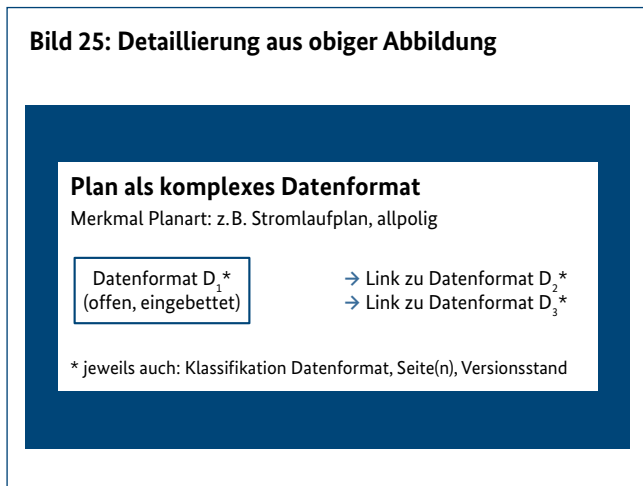
Die heutigen Aussagen von Unternehmen<sup>2</sup> lassen es allerdings unwahrscheinlich erscheinen, dass selbst Industrie 4.0 als Gesamtanstrengung die offenen Datenformate benennen könnte, welche die bestehenden Datenformate vollumfänglich ersetzen und eine ‚doppelte Buchführung‘ hinsichtlich PLM eliminieren können.

Da heute in den verschiedenen Engineering-Disziplinen unterschiedliche Datenformate zum Einsatz kommen ist in absehbarer Zukunft kein einheitliches Datenformat zu erwarten. Allerdings findet über die gemeinsame Verwendung von Merkmalen eine Vereinheitlichung der Datenmo-

<sup>2</sup> interne Befragungen, aber beispielsweise auch: <http://www.marktstudien.org/marktstudien/marktstudie-engineering-prozess/>

delle statt, die letzten Endes die Kooperationsfähigkeit der I4.0-Komponenten über die Engineering-Disziplinen hinweg sicherstellen. Weitere, detaillierte Dateiformate oder die jeweiligen Arbeitsstände im unternehmensspezifischen PLM sollen über Internetfähige Links referenziert werden.

**Bild 25: Detaillierung aus obiger Abbildung**



Dies bedeutet in Summe, dass die Etablierung von offenen, interoperablen Datenformaten von Industrie 4.0 weiter gefördert wird. Im Interesse von Interoperabilität und resultierendem Datenvolumen können nicht-offene, nicht-interoperable Datenformate nicht direkt in die Verwaltungsschale eingebettet werden. Kriterien, die zur Auswahl an ein solches Datenformat herangezogen werden, sind:

1. Offen gelegtes Datenformat, kann in viele Software-Systeme implementiert werden.
2. Eine zukünftige breite Verwendung bevorteilt nicht entscheidend einen einzelnen Hersteller.
3. Das Lesen/Anzeigen der repräsentierten Daten wird durch Softwarebibliotheken einfach gestaltet.
4. Bestehende Engineering-Systeme erlauben die Anzeige, den Im- und Export in bereits ausreichendem Maße.

Damit wird formuliert:

---

Anforderung: Das jeweilige Teilmodell der Verbundkomponente für die einzelne Engineering-Disziplin soll es erlauben, für einzelne Planarten komplexe Datenformate einzubetten oder auf sie zu verweisen.

---



---

Anforderung: Als einzubettende Datenformate für ein einzelnes Teilmodell der Verbundkomponente kommen im Regelfall nur durch die Referenzarchitektur Industrie 4.0 ausgewiesene, offene Datenformate in Frage. Für die Nutzung im eigenen Unternehmen kann auch ein nicht-offenes Datenformat eingebettet werden, sofern ein offenes Datenformat ebenfalls eingebettet wird. Andere Datenformate können über eine URI<sup>3</sup> referenziert werden.

---



---

Anforderung: Für jedes eingebettete oder referenzierte komplexe Datenformat in einem Teilmodell der Verbundkomponente sollen eine klassifizierendes Merkmal für die Plan-Art der jeweiligen Engineering-Disziplin, ein klassifizierendes Merkmal für das jeweilige Datenformat, ein Merkmal bezüglich der repräsentierten Seiten und ein Merkmal für einen Versionsstand vorgehalten werden.

---



---

Anforderung: Für jedes referenzierte komplexe Datenformate in einem Teilmodell der Verbundkomponente sollen weitere, nicht-standardisierte Merkmale gehalten werden können. Ein Verweis auf unternehmens-spezifische Product Lifecycle Management (PLM) Systeme ist zulässig.

---

## 4.5 Automation ML

„AutomationML (Automation Markup Language) ist ein neutrales, XML-basiertes Datenformat für die Speicherung und zum Austausch von Anlagenplanungsdaten, das als offener Standard zur Verfügung steht. Ziel von AutomationML ist der Austausch von Engineering-Daten in einer heterogenen Werkzeug-Landschaft von modernen Engineering-Werkzeugen für verschiedene Disziplinen wie zum Beispiel Mechanisches Design, Elektrisches Design,

3 Uniform Resource Identifier, siehe [https://de.wikipedia.org/wiki/Uniform\\_Resource\\_Identifier](https://de.wikipedia.org/wiki/Uniform_Resource_Identifier)

HMI-Entwicklung, SPS-Programmierung oder Robotersteuerung<sup>4</sup>.

AutomationML hat das Potential, zu einem wichtigen Repräsentationsformat für Struktur- und Engineeringwissen in der Zukunft zu werden. Zum Zeitpunkt der Festlegungen in diesem Papier ist eine vollumfängliche Semantik für AutomationML allerdings noch nicht gegeben. Es ist aber davon auszugehen, dass bezüglich der Semantik Merkmale aus eCl@ss zum Einsatz kommen.

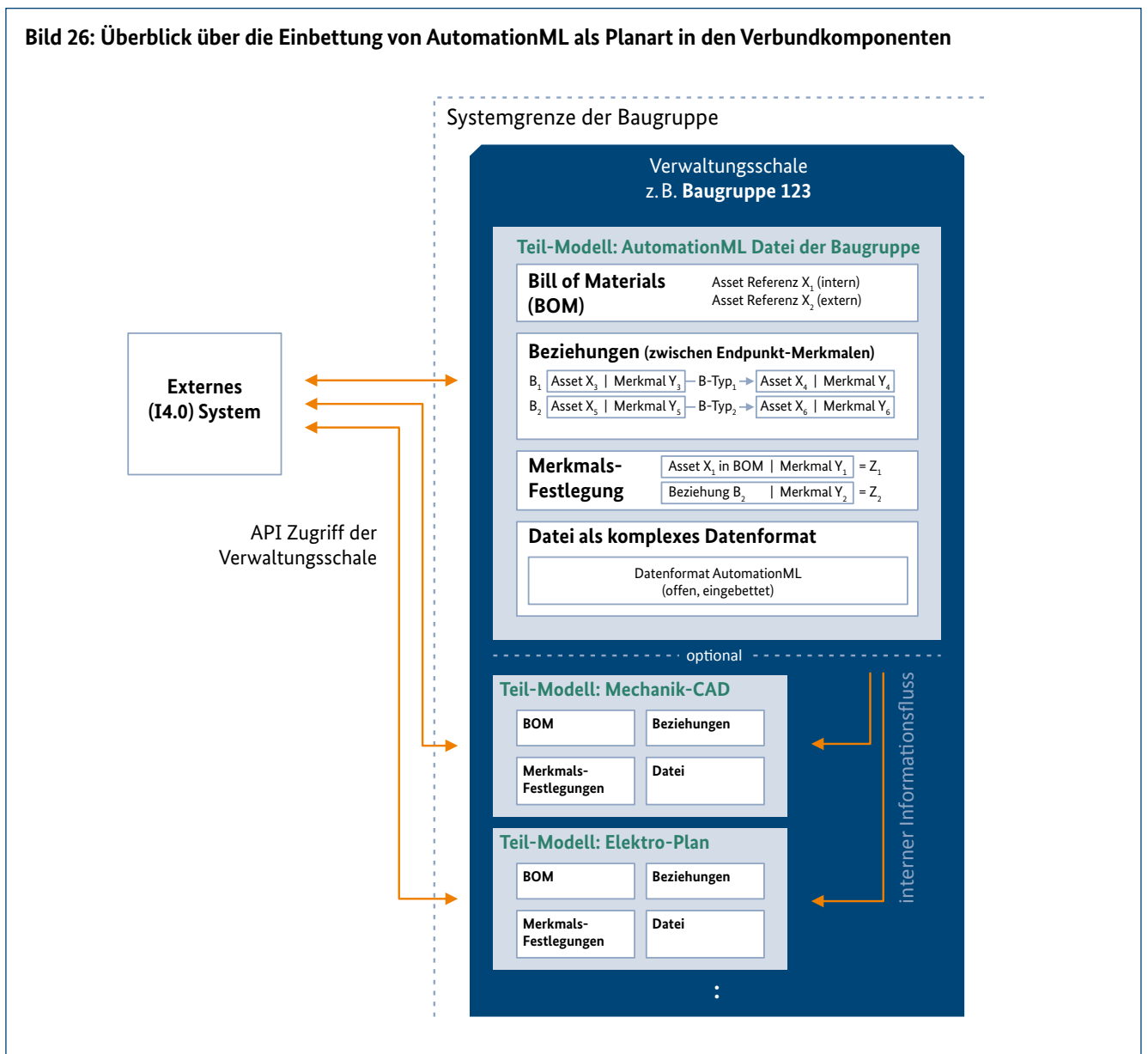
Aus diesen Gründen wird AutomationML als eine weitere Planart aufgefasst, welche

(a) eine direkte Einbettung von AutomationML-Dateien erlaubt und

(b) eine Weiterentwicklung von AutomationML weit über die Festlegungen der Verbundkomponenten postuliert.

Ziel der Einbettung ist es, Informationen bereitzustellen, welche Assets von einer AutomationML-Repräsentation erfasst werden, ein sinnvolles Minimum an Beziehungen und Merkmalsfestlegungen in die Semantik der Industrie 4.0 auszuleiten und die Datei selber in den Verwaltungsschalen und den I4.0-Systemen ablegen und pflegen zu können.

**Bild 26: Überblick über die Einbettung von AutomationML als Planart in den Verbundkomponenten**



4 Zitat, siehe Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/AutomationML>

Damit wird formuliert:

---

Anforderung: Eine Verbundkomponente soll AutomationML-Daten als ein Teilmodell für eine Planart zulassen, welche die Assets und die Beziehungen zwischen diesen in einem Verbund definiert. AutomationML stellt ein offenes, komplexes und damit einzubettendes Datenformat dar (→ 4.4.6).

---

Um diese Verwaltung logisch konsistent zu halten, muss sich der Umfang der AutomationML-Datei am Umfang des Assets der Verbundkomponente orientieren oder aber eine Verbundkomponente muss entsprechend dem Umfang der AutomationML-Datei definiert werden:

---

Anforderung: Wenn AutomationML als eine Planart für eine Verbundkomponente genutzt wird, soll der Umfang der Repräsentation in AutomationML dem Umfang der repräsentierten Systemgrenze der Verbundkomponente entsprechen.

---

AutomationML hat das Potenzial, sehr weitgehende semantische Festlegungen über die in Rede stehenden Assets zu treffen. Dabei sollen mindestens die in diesem Papier für Industrie 4.0 relevant erklärten Informationen (→ 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4) als Informationsquelle im Verbund verfügbar gemacht werden:

---

Anforderung: Wenn AutomationML als eine Planart für eine Verbundkomponente genutzt wird, so sollen Assets, die mittels der AutomationML repräsentiert werden und mit anderen Elemente eines Industrie 4.0-Verbundes korrespondieren, als mitverwaltete und selbstverwaltete Assets der Verwaltungsschale der Verbundkomponente referenziert werden. Merkmals-typisierte Beziehungen und Merk-

mals-Festlegungen sollen entsprechend den weiteren Teilmodellen für Planarten I4.0-konform ausgeleitet werden.

---

Ein etablierter Einsatz von AutomationML macht es wahrscheinlich, dass auch Informationen über die mechanische, elektrische, fluidische Konstruktion mittels komplexer Datenformate entsprechend Abschnitt 4.3 dargestellt werden. Dies ist zum Beispiel heute durch die Einbettung von COLLADA oder JT-Daten im AutomationML möglich. Damit ein zugreifendes I4.0-System nicht mehrere Zugriffswege auf diese Daten implementieren muss, soll gelten:

---

Anforderung: Wenn AutomationML als eine Planart für eine Verbundkomponente genutzt wird und geeignete komplexe Dateneinhalte beinhaltet, welche als Teilmodell des Verbundes der Assets für eine Engineering-Disziplin dienen kann, so sollten diese als Teilmodell für die entsprechende Engineering-Disziplin ausgeleitet werden können.

---

#### 4.6 VDMA 66415

VDMA 66415 beschreibt „eine universelle Datenbasis als gemeinsame Informationsübersicht und Datenhaltung für alle am auftragsbezogenen Engineeringprozess beteiligten Arbeitsplätze (Gewerke, Unternehmen, Personen) im Maschinen und Anlagenbau“<sup>5</sup>. Dateninhalt und -gliederung entsprechen der Anwendersicht im Engineering (Konstruktion, Projektierung) und orientieren sich am physischen Aufbau einer Maschine oder Anlage (Projekt/Auftrag).

Darin erfasst werden sollen vom Anwender festgelegte Daten („Projektierungsdaten“), die sich auf einen Verbund von Automatisierungsgeräten und die sie enthaltenden Bau- und Funktionseinheiten beschreiben:

**Bild 27: Das Gerät als Bezugspunkt für VDMA 66415**



Laut VDMA 66415 sind ‘Projektierungsdaten’

- vom Anwender im Verlauf des Konstruktions- und Projektierungsprozesses festgelegte Daten,
- die für mindestens zwei am Engineering beteiligte Arbeitsplätze von Belang sind (typisches Beispiel: Referenzkennzeichen und Funktionstext eines Gerätes);
- sich auf elektromechanische, fluidtechnische, elektronische oder programmierbar elektronische Geräte

beziehen, wie sie beispielsweise auch in gemeinsamen Bauteillisten, Stücklisten (Sensor-/Aktorlisten, Motoren- und Komponentenlisten) und/oder E/A-Listen enthalten sind.“

„Bei gleichem Dateninhalt und gleicher Datengliederung kann die Universelle Datenbasis in verschiedenen Dateiformaten bzw. Dateistrukturen abgebildet werden, ausgerichtet auf die verschiedenen Nutzergruppen.“

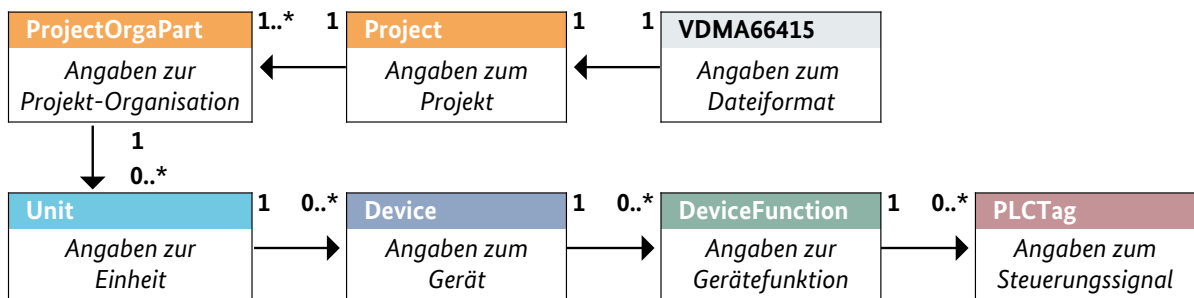
**Tabelle 7: Übersicht der VDMA 66415-Dateiformate**

Dateiformat	Dateistruktur	Zielgruppe, Anwendung
Tabellenformat	Tabelle	Anwender im Maschinen- und Anlagenbau, standardisierte Geräte-/Komponenten-/EA-Listen in Engineering, Konstruktion, Projektierung, manuelles Schreiben und Lesen von Projekt-Dateien
XML-Format	Projektbaum	Anwender- oder Hersteller-Software-Entwicklung, einfache maschinelle Schreib-/Leseunterstützung für Projekt-Dateien
XML-Format	AutomationML	Hersteller softwarebasierter Engineering-Werkzeuge, maschinelle Schreib-/Leseunterstützung für Projekt-Dateien

VDMA 66415 leistet unter anderem die Benennung und semantisch eindeutige Identifizierung von relevanten

Daten und Merkmalen und den Strukturen, die sich daraus ergeben:

**Bild 28: VDMA 66415: Übersicht Gliederung der Datenstruktur im Projektbaum**



Aus diesen Gründen (passender Betrachtungsgegenstand der Verbünde, Konzentration auf semantisch eindeutige Daten, Formatfreiheit) eignet sich die VDMA 66415-Datenbasis in hohem Maße, um als ein Teilmodell für Verbundkomponenten abgebildet zu werden.

Damit gilt analog zu AutomationML:

---

Anforderung: Eine Verbundkomponente soll VDMA 66415-Daten als ein Teilmodell für eine Planart zulassen, welche die Assets und die Beziehungen zwischen diesen in einem Verbund definiert. VDMA 66415 stellt ein offenes, komplexes und damit einzubettendes Datenformat dar (→ 4.4.6).

---

Auch hier muss beachtet werden, dass die beschriebenen Umfänge zu der Systemgrenze der Verbundkomponente passen:

---

Anforderung: Wenn VDMA 66415 als eine Planart für eine Verbundkomponente genutzt wird, soll der Umfang der Repräsentation in VDMA 66415 dem Umfang der repräsentierten Systemgrenze der Verbundkomponente entsprechen.

---

Auch gilt hier ebenso für die minimal nutzbaren Informationen für Industrie 4.0:

---

Anforderung: Wenn VDMA 66415 als eine Planart für eine Verbundkomponente genutzt wird, so sollen Assets, die innerhalb des VDMA 66415 repräsentiert werden und mit anderen Elemente eines Industrie 4.0-Verbundes korrespondieren, als mitverwaltete und selbstverwaltete Assets der Verwaltungsschale der Verbundkomponente referenziert werden. Merkmals-typisierten Beziehungen und Merkmals-Festlegungen sollen entsprechend den weiteren Teilmodellen für Planarten I4.0-konform ausgeleitet werden.

---

Zusätzlich zur Repräsentation als eingebettetes komplexes Datenformat (als Tabelle, als XML, als AutomationML) ergibt sich hier auch die Chance, das gesamte Datenformat als eine hierarchisierte, mit unterschiedlichen Abzählbarkeiten versehene Merkmalsstruktur zu behandeln:

---

Anforderung: Zur Abbildung von VDMA 66415 in Verwaltungsschalen von Verbundkomponenten sollte eine Definition und Standardisierung eines Teilmodells erfolgen, welches die Informationsmenge des VDMA 66415 transparent als Merkmalsstruktur darstellt, wie bereits beschrieben<sup>6</sup>.

---

## 4.7 Festlegungen für einzelne Engineering-Disziplinen

Im folgenden Abschnitt sollen für einzelne Engineering-Disziplinen mögliche Best-practices diskutiert werden. Dies geschieht mittels nachfolgende Tabelle und der Auflistung einzelner Diskussionspunkte. Die in diesem Abschnitt gemachten Angaben dienen der Erläuterung einer Ist-Situation und sind nicht normativ zu betrachten!



Tabelle 8: Mögliche Eckpunkte für die Festlegungen einzelner Teilmodelle für Engineering-Disziplinen

Eng.-Disziplin	Mögliche Planarten	Mögliche Elemente der BOM	Exemplarische Merkmals-Festlegungen	Offenes, eingebettetes Datenformat	Mögliche referenzierte Datenformate	VDMA 66415
<b>Mechanische Konstruktion</b>	3D-Modell, 2D-Zeichnungen, Schnitte	Geometrien der Assets, Sonstige Geometrieobjekte, Geometrien und Positionen von Montagepunkten und Verbindungselementen, Leitungen, Kabel, Schläuche/Rohre	Ortsangaben	STEP <sup>1</sup> , IGES, COLLADA, JT	Dassault SolidWorks/CATIA, Autodesk AutoCAD/Inventor, PTC ProEngineer/Creo, Siemens NX	✓
<b>Elektrotechnik</b>	Stromlaufplan, Anschlußplan, Kabelplan, Anordnungsplan	Elektrische Betriebsmittel und Elemente, Kabel	Referenzkennzeichen (BMK), Ortsangaben, Betriebsmodus, Sollwerte, ALOP.	DXF <sup>2</sup> , PDF <sup>3</sup> , SVG <sup>4</sup>	EPLAN P8, ZUKEN E3.series	✓
<b>Fluidik</b>	Stromlaufplan, Anordnungsplan	Fluidische Betriebsmittel und Elemente, Schläuche/ Rohre	Referenzkennzeichen (BMK), Ortsangaben, Betriebsmodus, Sollwerte, ALOP.	DXF, PDF, SVG	anbieter-spezifische Datenformate	✓
<b>P&amp;ID-Planung</b>	Fließschema		Referenzkennzeichen, Ortsangaben, Betriebsmodus, Sollwerte, ALOP.	DXF, PDF, SVG	anbieter-spezifische Datenformate	✓
<b>Bausteinverkettung in der Automatisierung</b>	61131-CFC, 61131-FBD	Software-Bausteine nach IEC 61131/61499, Ein-/Ausgänge, Ereignisse	–	PLCopen XML <sup>5</sup>	anbieter-spezifische Datenformate (Siemens, Beckhoff, 3S, ...)	✓ <sup>6</sup>
<b>Vernetzung von Software-Komponenten</b>	UML-Communication Diagram	Software-Bausteine in beliebigen Hochsprachen	Kommunikations-Attribute	XMI <sup>7</sup>	–	
<b>Kinematische Validierung der Konstruktion</b>	3D-Modell mit kinematisierten Komponenten	Assets, die stützende Elemente und kinematische Elemente darstellen. Assets, welche die Geometrien und Dynamiken von Produkten darstellen.	Ortsangaben, Momente, Verfahrswege, Gewichte	COLLADA, JT	Importdaten für die Virtuelle Inbetriebnahme	→

Eng.-Disziplin	Mögliche Planarten	Mögliche Elemente der BOM	Exemplarische Merkmals-Festlegungen	Offenes, eingebettetes Datenformat	Mögliche referenzierte Datenformate	VDMA 66415
<b>Virtuelle Inbetriebnahme</b>	3D-Modell, Software-Projekte	Geometrien, Dynamiken, Kinematik. Stellvertreter für Geräte der Automatisierungs-Technik. Projekte, die diese zu Applikationen verschalten	Ortsangaben, Momente, Verfahrswege, Gewichte, Verhalten von Geräten in Bezug auf Prozess- und azyklischen Daten	AVANTI <sup>8</sup>	WinMOD, SIMIT, ...	
<b>Fabrikplanung</b>	Standort-Plan, Hallen-Plan	Betriebsmittel, Maschinen, Anlagen, Infrastruktur-Elemente, Förderstreifen, Verkehrswege	Referenzkennzeichen, Ortsangaben, Kapazitäten, Abmessungen/Querschnitte	DXF, PDF, SVG	-	
<b>Planung einer Anlage??</b>				kein komplexes Datenformat notwendig	-	
<b>Produktionsplanung</b>	Arbeitsplan	Produkte, Halbzeuge, Materialien, Werkzeuge, Betriebsmittel, Maschinen, Anlagen	ALOP, Mengen, Qualitäten, Zeiten, Verfügbarkeiten	CSV <sup>8</sup> , kein komplexes Datenformat notwendig	-	

Die einzelnen Diskussionspunkte sind:

- 1 STEP, da eventuell weitere Definitionen von STEP übernommen werden könnten. Alternativ könnte auch das IGES-Format genutzt werden, welches technisch fortgeschrittener ist. Es sollte geprüft werden, ob im Hinblick AutomationML nicht gleich COLLADA oder JT als Datenformat gesetzt wird.
- 2 DXF ist offen gelegt und sollte keinen Hersteller, auch nicht Autodesk, entscheidend bevorteilen.
- 3 PDF stellt ein sehr komplexes Grafikformat dar. Auch die Anzeige erfordert eine komplexe Software-Komponente; die Zuordnung von Informationen zu angezeigten Bildausschnitten kann komplex werden (Anwendungsfall ‚Wartung/Fehlersuche‘, → 4.4.2)
- 4 SVG hat den entscheidenden Nachteil, dass keine standardisierte Unterstützung von mehreren Seiten gegeben ist.
- 5 PLCopen XML kann als Austauschformat für FBD dienen. CFC ist keine Standard 61131 Sprache und nicht in PLCopen XML repräsentiert.
- 6 VDMA66415 hält die Zuordnung von SPS-Variablen, keine Bausteinverkettung
- 7 XMI ist als offenes, anbieter-neutrales Format von der Object Management Group (OMG) standardisiert und bietet den Austausch von beliebigen UML Modellen.
- 8 Siehe zum Beispiel: <http://avanti-project.de/index.html>

# 5. Intelligente Produkte und Auftragsgeführte Produktion

Entsprechend Abschnitt 4.4.2 ist die Produktionsausführung eine wichtige Motivation für die Verbindung von Assets mittels Beziehungen. Die folgenden Abschnitte sollen die diesbezüglichen Konzepte ausbauen.

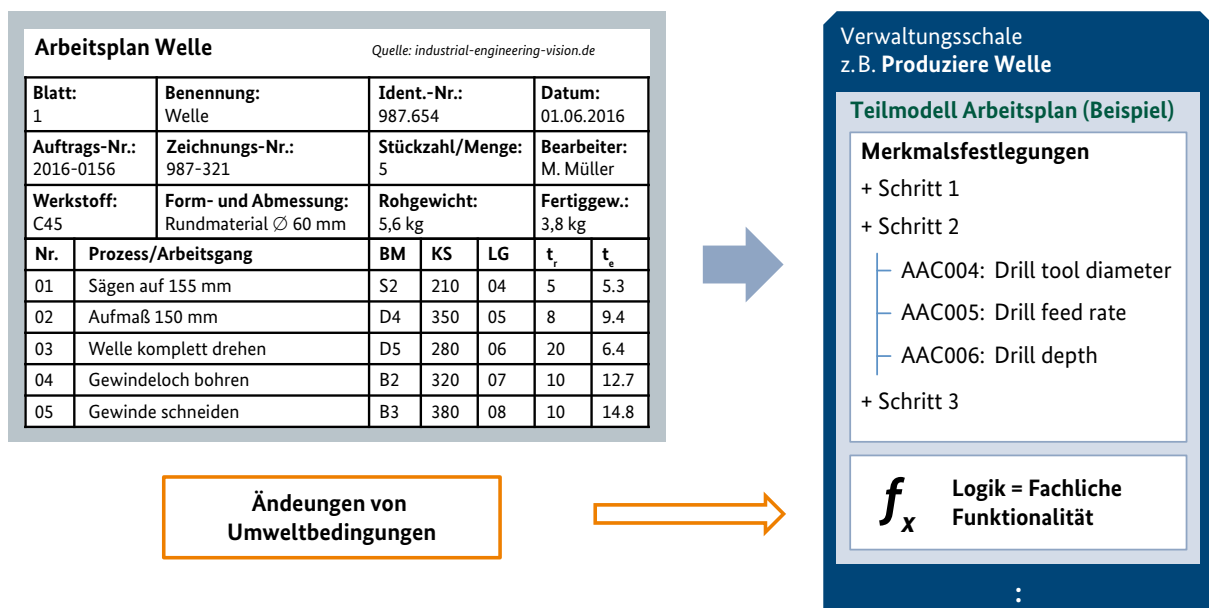
Für die Produktionsausführung kommt eine weitere Menge von Assets zum Tragen, welche über Verwaltungsschalen in I4.0-Komponenten verwandelt werden: die der intelligenten Produkte. Für die Produktionsausführung geht es darum, die Beziehungsgefüge zwischen den Assets der Produkte und den Assets der Maschinen und Anlagen, wie sie durch die ‚Struktur der Verwaltungsschale‘ [2] und durch Kapitel 4 beschrieben werden, neu und dynamisch zu gestalten. So sollen zum Beispiel jeweils der beste Fertigungsansatz, das adäquate Optimierungsziel, der optimale Fertigungsprozess und die geeignetste Maschine oder Anlage gewählt und datentechnisch miteinander verbunden werden. Dies mündet in eine auftragsgeführte Produktion, die dynamisch auf Änderungen von Umweltbedingungen reagieren kann und eine auftragsbezogene Schnittstelle für die horizontale Integration in Wertschöpfungsnetzwerken bereitstellen kann.

Analog zum Wandel von Industrie 3.0 zu Industrie 4.0 und Kapitel 4 wird dabei auf ein etabliertes Konzept aufgesetzt und dieses beschreibungstechnisch vereinheitlicht und mit dynamischen Gestaltungsmöglichkeiten versehen. Im Falle der auftragsgeführten Produktion ist dies das Konzept der Arbeitspläne<sup>7</sup>.

## 5.1 Szenarien für die Abbildung von Arbeitsplänen auf Maschinen und Anlagen

Für die folgenden Ausführungen wird beispielhaft angenommen, dass die Daten eines herkömmlichen Arbeitsplans in Merkmalsfestlegungen eines Teilmodells übersetzt wurden (→ 4.4.4). Es sei also angenommen, dass die zu erbringenden Arbeiten für einen Fertigungsauftrag in eine Abfolge von Arbeitsschritten mit Merkmalsfestlegungen für zu tätige Fertigungsprozesse überführt wurden:

**Bild 29: Überführung eines Arbeitsplanes der Industrie 3.0 in Merkmalsfestlegungen für die Industrie 4.0\***



\* teilweise Quelle: <https://industrial-engineering-vision.de/arbeitsvorbereitung/arbeitsplan/>

<sup>7</sup> siehe zum Beispiel <https://de.wikipedia.org/wiki/Arbeitsplan> oder auch <https://industrial-engineering-vision.de/arbeitsvorbereitung/arbeitsplan/>

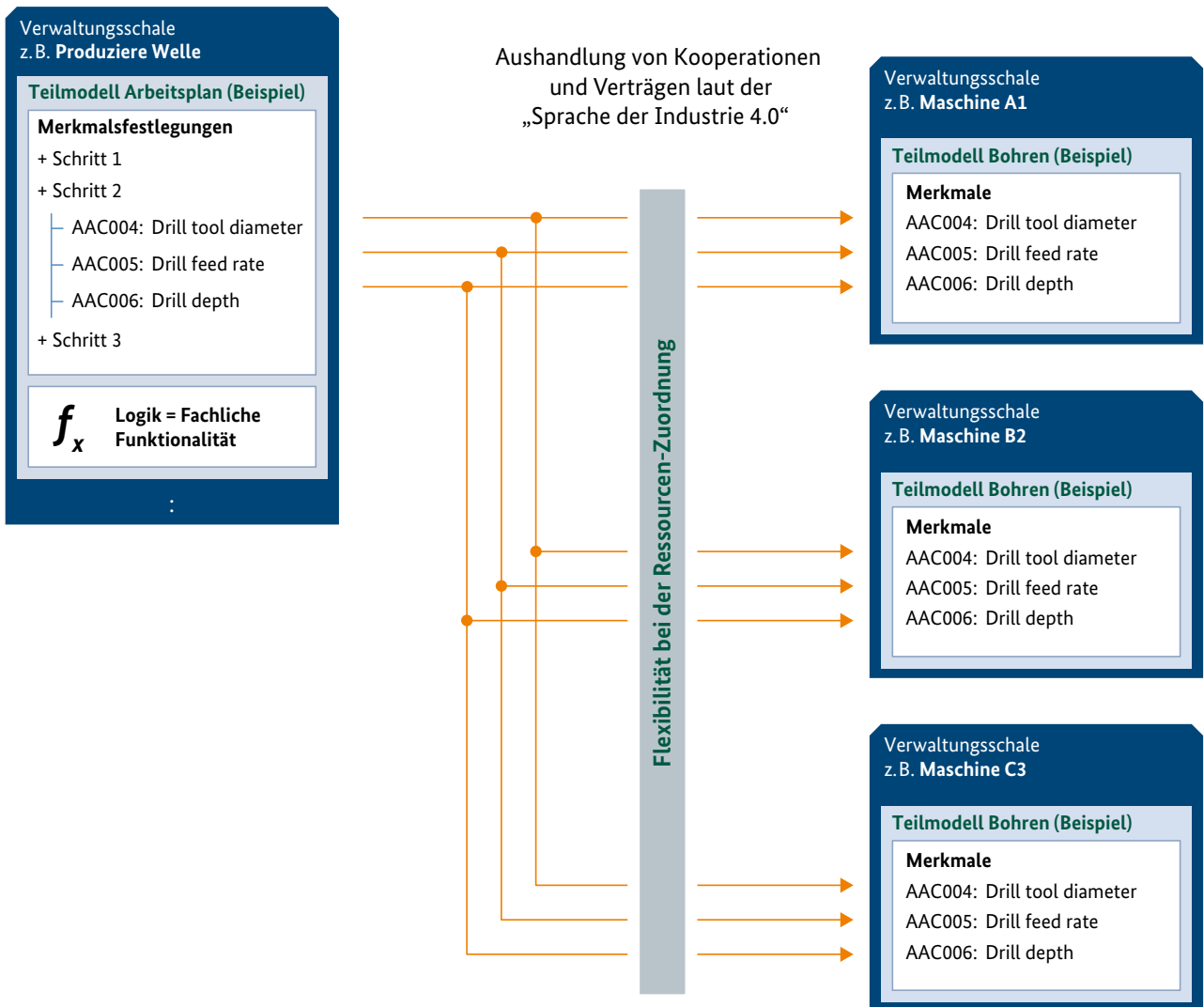
Bereits zu diesem frühen Zeitpunkt kann die Fachliche Funktionalität eines Teilmodells und der Verwaltungsschale dazu genutzt werden, auf äußere Umweltbedingungen intelligent zu reagieren und zum Beispiel die Abfolge der Fertigungsschritte oder Fertigungsparameter auftragsgerecht anzupassen.

### 5.2 Flexibilität bei der Ressourcen-Zuordnung als Ausgangspunkt

Wesentlich ist dabei, dass durch die Verwendung von gemeinsam genutzten Merkmalen eine Vereinbarungs-

ebene entsteht, die sofort Vorteile wie zum Beispiel Flexibilität bei der Ressourcen-Zuordnung ermöglicht. Als Produktionsressourcen können Maschinen, Anlagen, Infrastrukturen und Logistikelemente aufgefasst werden. Eine solche Flexibilität kann beispielsweise dazu genutzt werden, Produktionsaufträge flexibel zwischen einer Gruppe von gleichartigen Maschinen zu verteilen (Produkt sucht sich aktiv eine Maschine, die den nächsten Bearbeitungsschritt ausführt) oder beim Ausfall einer Maschine Produktionsaufträge auf ähnliche Maschinen neu zuzuweisen.

**Bild 30: Ressourcen-Flexibilität durch die Nutzung gemeinsamer Merkmale**



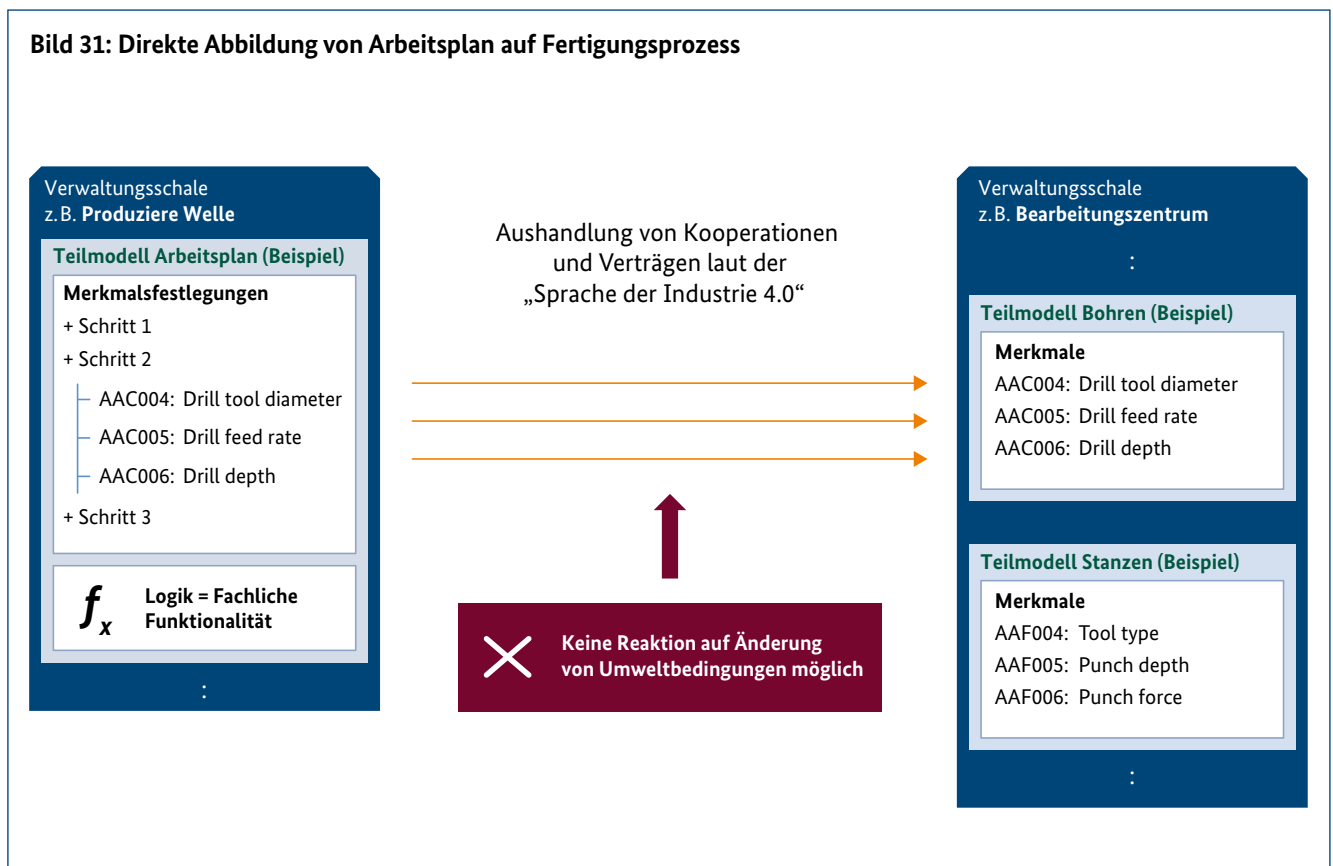
Bei dem in Bild 30 dargestellten Beispiel kann der Produktionsschritt 2 auf verschiedenen Maschinen (A1, B2 oder C3) ausgeführt werden. Dabei wird die Fähigkeit zum Bohren von allen drei Maschinen auf die gleiche Weise repräsentiert. Entsprechen sich die jeweiligen Fähigkeiten in ihren wesentlichen Merkmalen wird damit die Basis-kompatibilität hergestellt. Basierend auf einer Aushandlung von Kooperationen und damit auf der „Sprache der Industrie 4.0“ (→ Abschnitt 5.7), wird eine konkrete Ressourcen-Zuordnung hergestellt. Diese Zuordnung kann flexibel und dynamisch erfolgen.

Damit erschließt sich auch, dass Interaktionsmuster das gleiche Merkmal als Anforderung (auf der linken Seite) oder auch als Zusicherung (auf der rechten Seite) verwenden können<sup>8</sup>. Eine Verhandlungsfähigkeit der Interaktionsmuster kann dabei gewährleisten, dass zu jedem Zeitpunkt eine optimale Entscheidung gewählt wird.

Stimmen die Fähigkeiten der verschiedenen Maschinen allerdings nicht überein, müssen weitergehende und neuartige Szenarien betrachtet werden. Daher sollen mittels mehrerer Szenarien ein zur Produktionsausführung zu bringender Arbeitsplan mit den Assets von Maschinen und Anlagen (Produktionsressourcen) in Beziehung gesetzt werden. Jedes dieser Szenarien wird in den folgenden Abschnitten beschrieben und mit Vor- und Nachteilen dargestellt.

### 5.3 Direkte Abbildung auf einen Fertigungsprozess

Sind die Merkmalsfestlegungen eines Schrittes des Arbeitsplans direkt abbildbar auf die Merkmals-Strukturen eines Fertigungsprozesses, so kann eine direkte Abbildung folgendermaßen erfolgen:



8 siehe auch Kapitel 5.3.2 in: Diskussionspapier „Interaktionsmodell für Industrie 4.0-Komponenten“, Plattform Industrie 4.0, November 2016

Damit ergibt sich folgende Beurteilung:

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Einfache Umsetzung bestehender Festlegungen aus der Industrie 3.0 („brown field“, „Legacy“) möglich.</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Die Merkmalsfestlegungen im Arbeitsplan müssen denen des Fertigungsprozesses in der Maschine/Anlage entsprechen. Eine Flexibilität bezüglich der Wahl des Fertigungsprozesses ist nicht möglich.</li> <li>● Umweltbedingungen können in der Abbildung auf der Fertigungsprozess nicht berücksichtigt werden. Eine Änderung, zum Beispiel der Optimierungszielsetzung, kann nicht vorgenommen werden.</li> <li>● Eine Anpassung an die Besonderheiten einer einzelnen Maschine/Anlage („Rezeptoptimierung“) kann nur durch explizite Merkmalsfestlegungen geschehen.</li> <li>● Viel Wissen über den einzelnen Fertigungsprozess wird in die Arbeitspläne kodiert; eine Umstellung von Fertigungsprozessen wird aufwendig und teuer.</li> </ul>

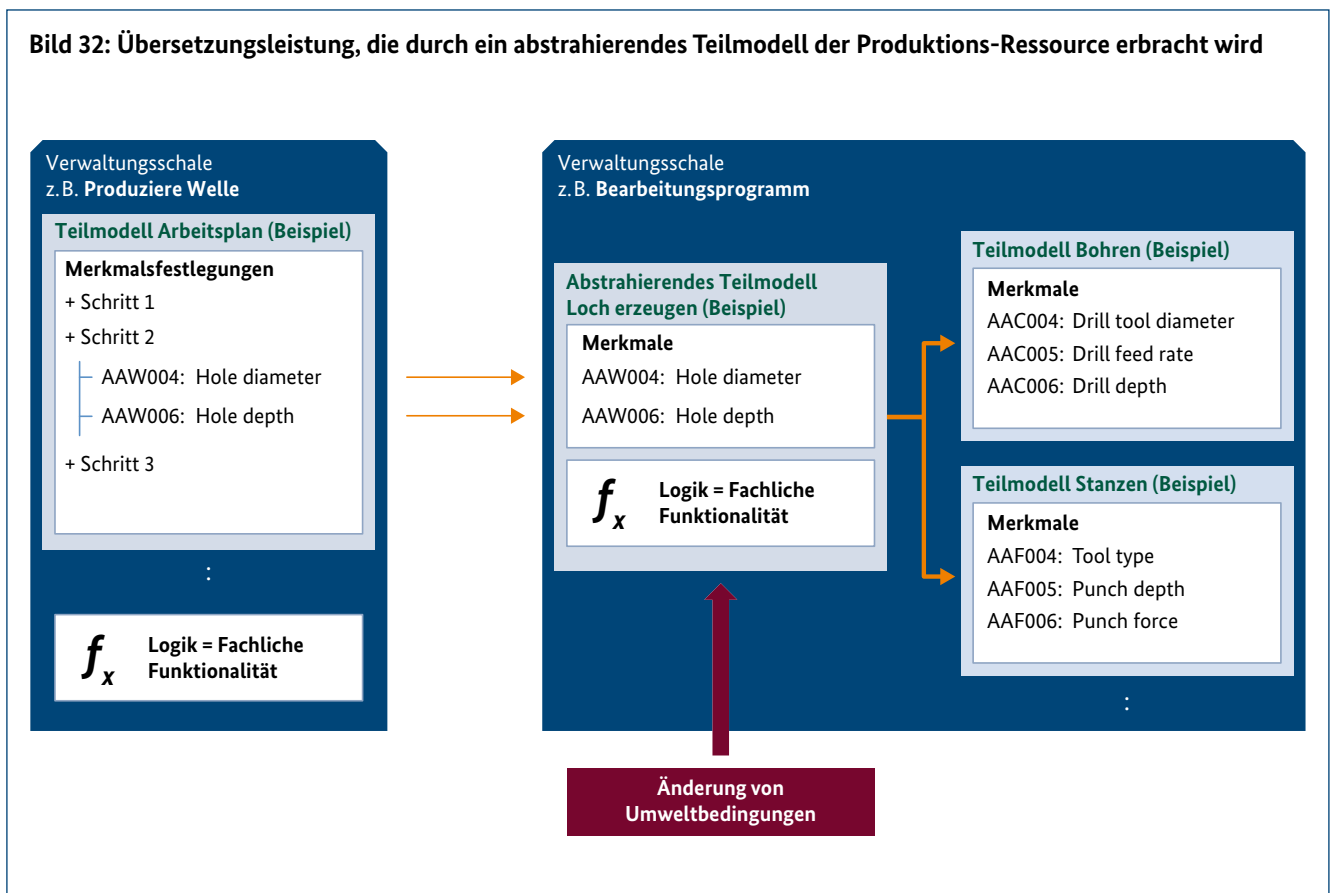
#### 5.4 Übersetzungsleistung durch Verwaltungsschale der Ressource

Die Verwaltungsschale einer Produktionsressource, also beispielsweise einer Maschine oder Anlage, ist nicht darauf beschränkt, nur ein Teilmodell eines Fertigungsprozesses anzubieten. Somit könnte beispielsweise ein Bearbeitungszentrum sowohl die Prozesse ‚Bohren‘ als auch ‚Stanzen‘ (im Sinne von Nibbeln) ermöglichen. Damit ergibt sich auch die Möglichkeit, weitere Teilmodelle zu realisieren, die über die konkreten Fertigungsprozesse generalisieren. Auf diese Weise kann eine ganze Hierarchie von Teilmodellen

realisiert werden, welche verschiedene, auch alternative Fähigkeiten anbietet.

Die Übersetzungsleistung durch abstrahierende Teilmodelle wird dabei im Kontext der Verwaltungsschale der Produktionsressource erbracht. Ausgangspunkt ist hierfür das Wissen des Bereitstellers der Produktions-Ressource über mögliche Fertigungsprozesse, die das individuelle Asset erbringen kann.

Bild 32: Übersetzungsleistung, die durch ein abstrahierendes Teilmodell der Produktions-Ressource erbracht wird



Damit ergibt sich folgende Beurteilung:

#### Vorteile

- Weiterhin einfaches Szenario, bei welchem nur zwei Assets beteiligt sind.
- Die Übersetzungsleistung kann auf Änderungen von Umweltbedingungen reagieren.
- Der Bereitsteller der Verwaltungsschale hat umfangreiches Domänenwissen über die Maschine/Anlage und kann damit die Übersetzungslogik optimal an diese anpassen.
- Der Bereitsteller der Produktionsressource kann einen zusätzlichen Mehrwert bieten und vergüten lassen.
- Ressourcen-Konflikte innerhalb der Maschine/Anlage können optimal aufgelöst werden.

#### Nachteile

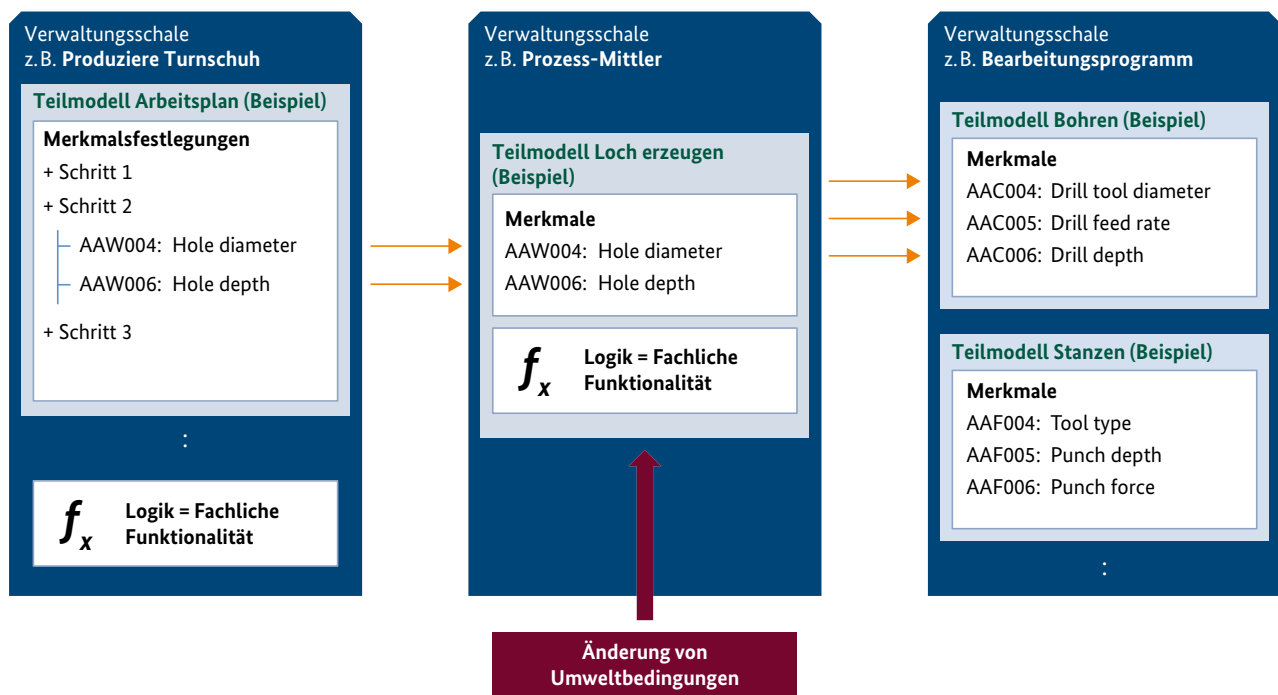
- Die Änderungen von Umweltbedingungen müssen an alle Produktionsressourcen in einheitlich beschriebener Form kommuniziert werden.
- Die Optimierung der Übersetzungsleistung hinsichtlich Produktanforderungen fällt schwer.

## 5.5 Übersetzungsleistung durch Vermittler

Die Übersetzungsleistung kann auch durch einen gesonderten Vermittler erbracht werden. Dieser kann das Wissen über verschiedene Fertigungsprozesse und auch über ein spezifisches Spektrum verschiedener Produkte in sich vereinen. Der Vermittler kann damit eine abstrahierte Fertigungs-Fähigkeit im Industrie 4.0-Netzwerk bereitstellen und damit Fertigungsaufträge koordinieren. Dieser Mechanismus bezieht sich primär auf die Abbildung von Merkmalsfestlegungen auf ein konkretes Teilmodell für

einen Fertigungsprozess. Die weitere Verhandlung über einzugehende Kollaborationen und die Aktivierung von Fertigungsverträgen (-aufträgen) kann gesondert, direkt zwischen dem Produkt-Asset und dem Asset der Produktions-Ressource geschehen. Durch die Beschreibung von Merkmalen als menschen- und maschinenlesbare Informationen können auch Menschen korrigierend eingreifen und in manuelle, halb-automatische oder automatische Prozesse eingebunden werden.

**Bild 33: Übersetzungsleistung, die durch einen gesonderten Vermittler erbracht wird**





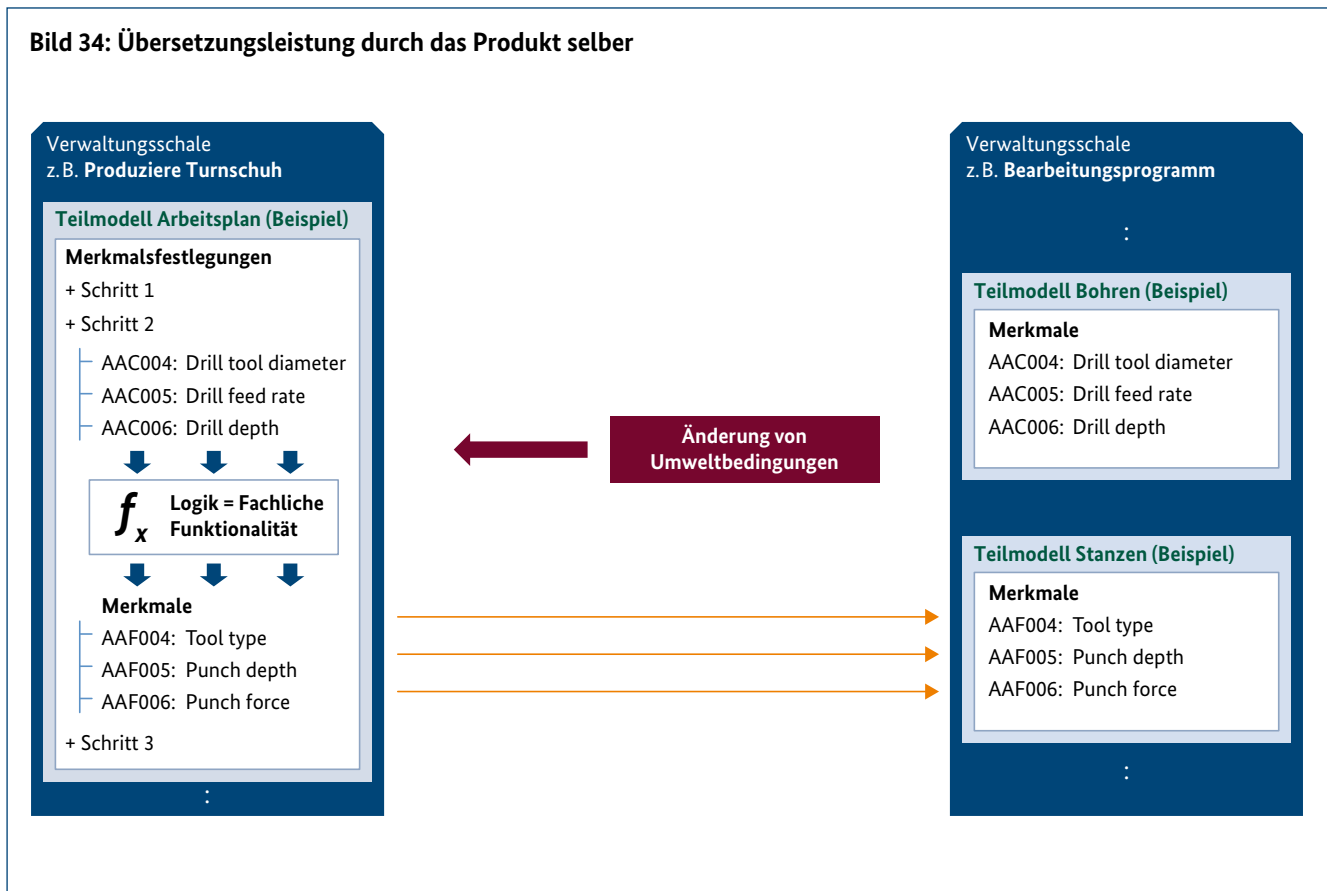
Damit ergibt sich folgende Beurteilung:

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"><li>● Durch Spezialisierung kann der Vermittler sowohl hinsichtlich Produkten als auch hinsichtlich Fertigungsprozessen optimieren.</li><li>● Diese Spezialisierung kann es ermöglichen, beispielsweise qualitativ hochwertige Vermittler für gewisse Branchen zu realisieren.</li><li>● Die Übersetzungsleistung kann auf Änderungen von Umweltbedingungen reagieren. Je nach Anzahl der Vermittler müssen die Änderungen von Umweltbedingungen nur an wenige Rezipienten übermittelt werden.</li><li>● Ein neuer Partner kann sich im Wertschöpfungsnetzwerk als Bereitsteller der Vermittler-Assets positionieren und sich Mehrwerte vergüten lassen.</li></ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"><li>● Der Vermittler stellt einen ‚single point of failure‘ dar und gefährdet damit die Gesamt-Verfügbarkeit.</li><li>● Das Gefüge von drei beteiligten Assets stellt eine größere Komplexität dar und fordert die ‚Sprache der Industrie 4.0‘ als Kommunikationsmechanismus im Besonderen.</li><li>● Auf Spezifika der Produktionsressourcen, also beispielsweise Maschinen und Anlagen, kann nur schwer eingegangen werden.</li></ul>

## 5.6 Produkt übersetzt auf mehrere Fertigungsprozesse

Das intelligente Produkt kann auch selbsttätig einer Übersetzungsleistung hinsichtlich mehrerer möglicher, alternativer Fertigungsprozesse und der entsprechenden Merkmalsfestlegungen vornehmen. Die Übersetzungsleistung wird dann, situationsabhängig, durch die Fachliche Funktionalität innerhalb der Verwaltungsschale des Produktes vorgenommen. Dies bedeutet allerdings, dass das intelligente Produkt Wissen sowohl über sich selbst, als auch über alle möglichen Fertigungsprozesse besitzen muss. Dabei ist von den zu betrachtenden Mengengerüsten davon auszugehen, dass diese Implementierung auf den einzelnen Produktinstanzen geschehen würde. Würde sie auf einem Produkttyp geschehen, so wäre der Fall des Mittlers gegeben (→ 5.5).

Bild 34: Übersetzungsleistung durch das Produkt selber



Damit ergibt sich folgende Beurteilung:

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Einfache Umsetzung bestehender Festlegungen aus der Industrie 3.0 („brown field“, „Legacy“) möglich.</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sehr viel Wissen, sehr viele Funktionalität muss in eine große Zahl von Produkt-Instanzen abgebildet werden.</li> <li>● Die Änderungen von Umweltbedingungen müssen an alle Produktinstanzen in einheitlich beschriebener Form kommuniziert werden.</li> <li>● Eine Übersetzung hinsichtlich einer größeren Zahl von infrage kommenden Fertigungsprozessen skaliert schlecht.</li> <li>● Die Optimierung der Übersetzungsleistung hinsichtlich Fertigungsprozessen und einzelnen Maschinen/Anlagen fällt schwer.</li> <li>● Viel Wissen über den einzelnen Fertigungsprozess wird in die Arbeitspläne kodiert; eine Umstellung von Fertigungsprozessen wird aufwendig und teuer.</li> </ul>

## 5.7 Bedeutung der ‚Sprache der Industrie 4.0‘

Der ‚Sprache der Industrie 4.0‘ kommt bei diesen Szenarien eine hohe Bedeutung zu. Die in den vorigen Abschnitten beschriebenen Alternativen unterscheiden sich vor allem hinsichtlich des Ortes, wo Wissen und Fachliche Funktionalität hinterlegt sind. Die Interaktionsmuster der ‚Sprache der Industrie 4.0‘ setzen auf diesem Domänenwissen auf und erlauben weitergehende Optimierungs- und Anpassungsprozesse. In dieser Hinsicht erlauben also abstrahierende Teilmodelle eine Verbesserung der Ausgangssituation für die die Interaktionsmuster und eine fachliche Ausweitung der Betrachtungen.

Nach oder auch während Durchführung der Interaktionsmuster können die dezentralen Fachlichen Funktionalitäten weitere Dienste leisten.

## 5.8 Anforderungen aus den verschiedenen Szenarien

Die Diskussion der Abschnitte 5.3 bis 5.6 zeigt, dass jedes dargestellte Szenario Vor- und auch Nachteile hat. Unterschiedliche Komplexitäten in den Produkten oder Produktionsressourcen können unterschiedliche Szenarien bedingen. Verschiedene Partner im Wertschöpfungsnetzwerk wollen Mehrwerte bieten. Daher kann aus vorwettbewerblicher Sicht kein einzelnes Vorzugsszenario benannt werden. Somit gelten für alle Szenarien:

### Aus Abschnitt 5.1:

Anforderung: Die Merkmals-Festlegungen in Teilmodellen der Verbundkomponente sollen eine Repräsentation von Fertigungsvorgängen, deren mögliche Abfolgen, Verweise auf mögliche Produktionsressourcen, Teilprodukte, Materialien und Hilfsmittel sowie beliebig Festlegungen und einschränkende Anforderungen, welche sich an die Teilmodelle anderer Assets richten, zulassen.

Um die dynamische Bestimmung von geeigneten Produktionsressourcen für einen Fertigungsvorgang zu unterstützen, sollten nicht nur 1:1-Festlegungen von Assets möglich sein, sondern sollte die Vorgabe von unterschiedliche Äquivalenzklassen auszuwählender Assets unterstützt werden, das heißt die Vorgabe von einer Menge von Assets, aus denen ein Asset dynamisch ausgewählt werden kann. Eine solche Vorgabe kann beispielsweise der ‚Sprache der Industrie 4.0‘ helfen, das geeignetste Asset zu bestimmen.

Anforderung: Die Verweise auf mögliche Produktionsressourcen in Teilmodellen der Verbundkomponente sollen eine erweiterbare Klassifikation von unterschiedlichen Äquivalenzgruppen samt unterstützender Begleitparameter vorsehen.

Der Nachverfolgbarkeit und Qualitätsdokumentation kommt in der Industrie 4.0 eine hohe Bedeutung zu.

Anforderung: Für die Nachverfolgung von Fertigungsverläufen (Tracking & Tracing) und Qualitätsdokumentation soll die Abfolge von Fertigungsschritten, die Auswahl von Verweisen auf Assets und sonstige Ressourcen, die Festlegungen und Anforderungen, welche sich an die Teilmodelle anderer Assets richten, in einem geeigneten Teilmodell der Verbundkomponente dokumentiert werden können.

### Aus Abschnitt 5.3:

Ein Teilmodell eines Assets kann damit in seinen Merkmals-Festlegungen und Beziehungsdefinitionen auf viele verschiedene andere Assets verweisen. Für einen effizienten Betrieb soll daher gelten:

Anforderung: Die serviceorientierten Abfragemöglichkeiten der Verwaltungsschale sollen die Abfrage von durch die Teilmodelle der Verwaltungsschale referenzierten Assets und Merkmalen erlauben.

### Aus Abschnitt 5.4:

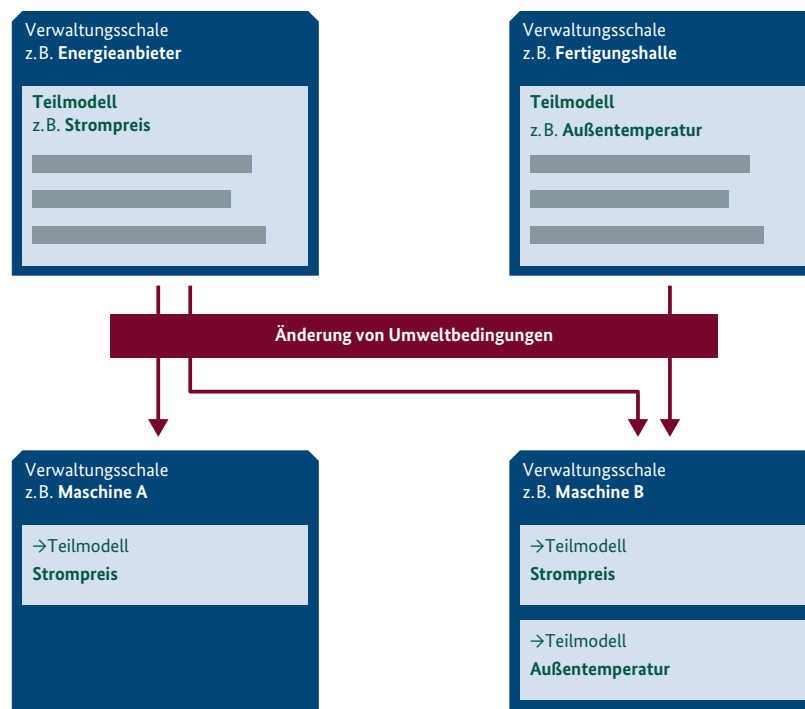
Die Fähigkeit, auf bestehenden Teilmodellen aufzubauen und deren Informationen und Funktionen zu abstrahieren oder zu generalisieren, ist ein wichtiges Konzept für die Bereitstellung von Domänenwissen, beispielsweise Fertigungsfähigkeiten und die Definition von Mehrwertangeboten.

Anforderung: Die Struktur der Verwaltungsschale (aller Assets) soll es erlauben, dass Teilmodelle gebildet werden, welche über andere Teilmodelle der jeweiligen Verwaltungsschale generalisieren. Diese Fähigkeit soll der Fachlichen Funktionalität des abstrahierenden Teilmodelles zugänglich sein.

Für die korrekte Funktion dieses Ansatzes muss gewährleistet sein, dass eine Änderung verschiedener Umweltbedingungen an die Verwaltungsschale kommuniziert werden kann. Dabei wird für die folgenden Ausführungen angenommen, dass diese Umweltbedingungen als Teilmodell der jeweils ‚interessierten‘ Verwaltungsschale geführt wer-

den. Damit wird es möglich, dass ein Asset beziehungsweise die entsprechende Verwaltungsschale ausdrückt, welche Umweltbedingungen für die Änderung des internen Verhaltens relevant sind. Verschiedene Gruppierungen, eben Teilmodelle, von Umweltbedingungen werden so möglich.

**Bild 35: Die Änderung von Umweltbedingungen wird an verschiedene Verwaltungsschalen kommuniziert**



Die Kommunikation der Umweltbedingungen sollte transparent erfolgen.

---

Anforderungen: Die ‚Sprache der Industrie 4.0‘ soll sicherstellen können, dass Teilmodelle einer Verwaltungsschale entsprechend den Änderungen einer anderen Verwaltungsschale mit einem gleichen Teilmodell aktualisiert werden können.

---

#### Aus Abschnitt 5.5:

Das in diesem Abschnitt geschilderte Szenario erhebt weitere Anforderungen an die ‚Sprache der Industrie 4.0‘:

---

Anforderung: Die ‚Sprache der Industrie 4.0‘ soll die notwendige Verhandlung über Kollaborationen und Vertragsverhandlungen über das wechselnde Gefüge von drei (Produkt, Mittler, Ressource) beziehungsweise dann zwei Partnern (Produkt, Ressource) abwickeln können.

---

Das geschilderte Szenario bezüglich möglichen ‚single point of failures‘ kann auch motivieren:

---

Anforderung: Die ‚Sprache der Industrie 4.0‘ sollte es erlauben, eine Redundanz einer I4.0-Komponente zu definieren, um Ausfallsicherheit und/oder Lastverteilung zu gewährleisten. Dafür können Einschränkungen, beispielsweise Zustandslosigkeit, in Kauf genommen werden.

---

#### Aus Abschnitt 5.6:

Aus diesem Abschnitt können keine weiteren Anforderungen identifiziert werden.

Zukünftige Erweiterbarkeit von Teilmodellen:

Die in dem vorigen Abschnitt umrissenen Anforderungen an Teilmodellen für intelligente Produkte und auftragsgeführte Produktion werden keinesfalls für alle zukünftigen Szenarien ausreichend sein. Eine Erweiterbarkeit von Teilmodellen soll verhindern, dass sich einander ausschließende oder konkurrierende Teilmodelle ergeben.

---

Anforderung: Die Struktur der Verwaltungsschale soll so beschaffen sein, dass Teilmodelle durch Vererbungsbeziehungen entsprechend den Prinzipien der Objektorientierten Programmierung erweitert werden können.

---

# Literaturverzeichnis

- [1] acatech, „Forschungsfragen in „Produktionsautomatisierung der Zukunft“, acatech 04/2012“
- [2] Plattform Industrie 4.0, 2016, “Struktur der Verwaltungsschale – Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente”
- [3] ZVEI, 2016, „Beispiele zur Verwaltungsschale der Industrie 4.0-Komponente – Basisteil“
- [3] IEC FDIS 62832
- [4] Plattform Industrie 4.0, 2014, „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0‘ der Plattform
- [5] Beuth, 2016, DIN SPEC 91345:2016-04, Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)
- [6] Plattform Industrie 4.0, 2016, „Fortschreibung der Anwendungsszenarien“

## **AUTOREN:**

Das vorliegende Papier fasst die Ergebnisse der Arbeitsgruppe “Modelle und Standards” des ZVEI in Kooperation mit der Arbeitsgruppe „Referenzarchitekturen, Standards und Normung“ (Plattform Industrie 4.0) zusammen. Beigetragen haben dazu die nachfolgend genannten Autoren:

Dr. Heinz Bedenbender | Alexander Bentkus | Prof. Dr. Ulrich Epple | Dr. Thomas Hadlich | Martin Hankel | Roland Heidel | Oliver Hillermeier | Dr. Michael Hoffmeister | Haimo Huhle | Markus Kiele-Dunsche | Dr. Heiko Koziolok | Dr. Steffen Lohmann | Marco Mendes | Dr. Jörg Neidig | Florian Palm | Stefan Pollmeier | Benedikt Rauscher | Frank Schewe | Bernd Waser | Ingo Weber | Prof. Dr. Martin Wollschlaeger

Dieses Ergebnispapier wurde in der Arbeitsgruppe „Modelle und Standards“ des ZVEI in Kooperation mit der Arbeitsgruppe „Referenzarchitekturen, Standards und Normung“ (Plattform Industrie 4.0) erarbeitet.



