



Software für Industrie 4.0 (Vorlesung & Übung)

Referenzarchitektur Industrie 4.0 – RAMI 4.0 & Standards

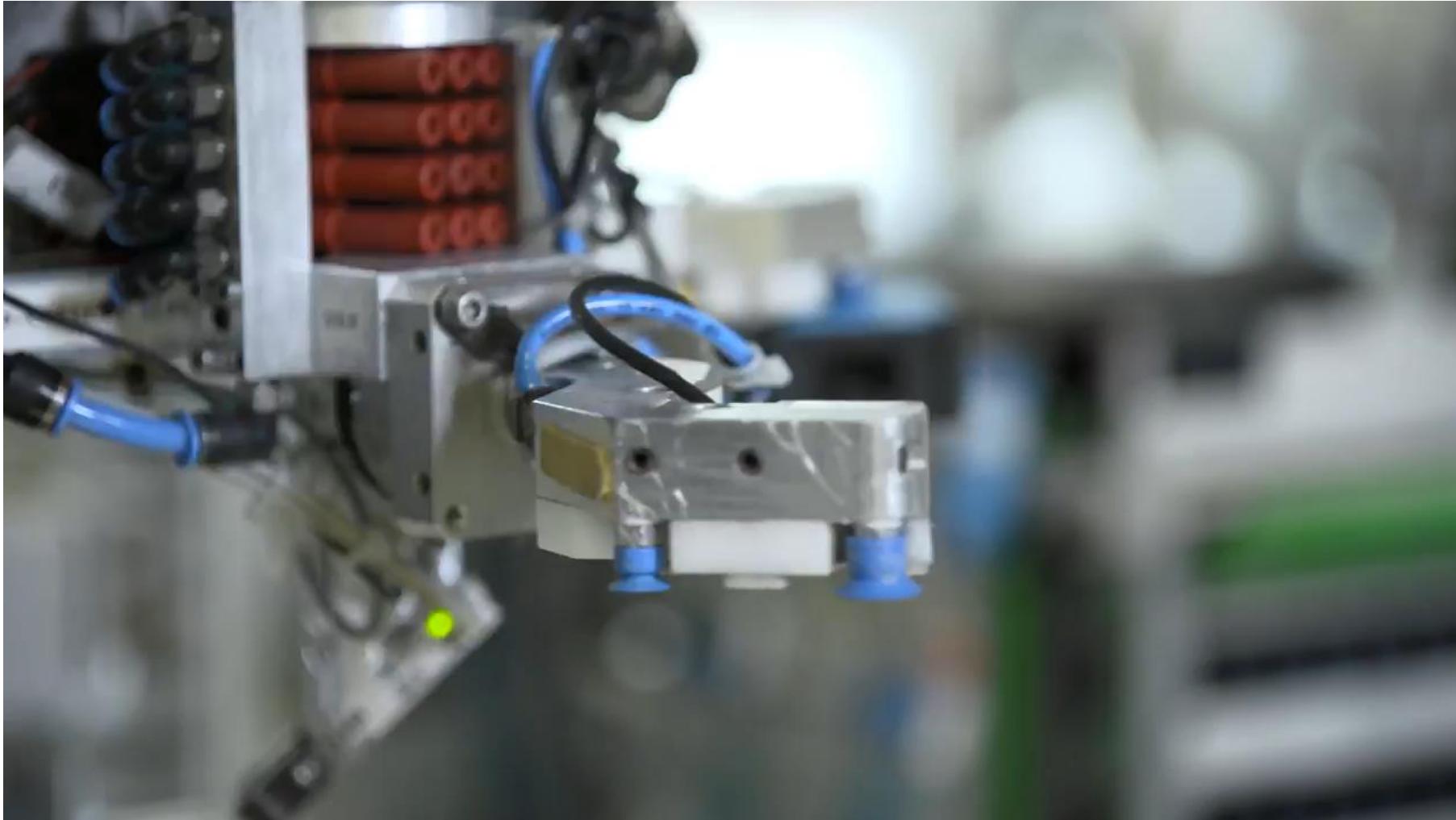


- Bei Industrie 4.0 kommen unterschiedliche Interessen zusammen:
 - Prozess- bis Fabrikautomation mit unterschiedlichsten Standards,
 - die Technologien der Informations- und Kommunikationstechnik,
 - die Automatisierungstechnik,
 - die Verbände Bitkom, VDMA, ZVEI und VDI sowie
 - die Normungsorganisationen IEC und ISO mit ihren nationalen Spiegelgremien DKE und DIN.
- Einheitliches Architekturmodell, entstanden zum Zweck eines gemeinsamen Verständnisses, welche Standards, Use Cases, Normen, usw. für Industrie 4.0 notwendig sind

Ziele von RAMI 4.0 [Adolphs 2015]

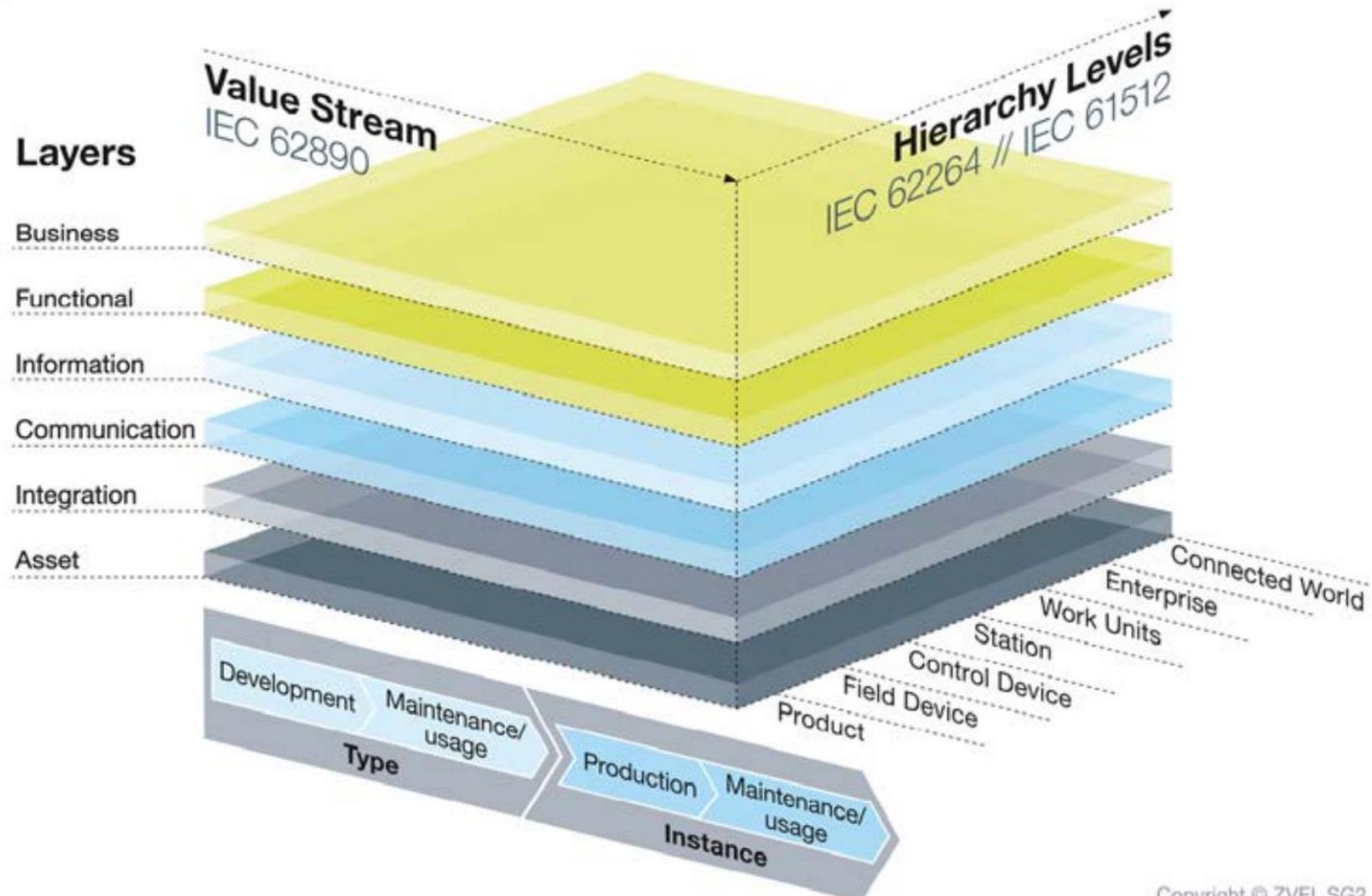
- Anschauliches und einfaches Architekturmodell als Referenz
- Einsatz bewährter bzw. Schaffung neuer Standard
 - Verortung von vorhandenen Normen und Standards
 - Identifikation und Schließen von Lücken in Normen und Standards
 - Identifikation von Überschneidungen und Festlegung von Vorzugslösungen
 - Minimierung der Zahl der eingesetzten Normen und Standards
 - Identifikation von Untermengen einer Norm bzw. eines Standards zur schnellen Umsetzung von Teilinhalten für Industrie 4.0 („I4.0-ready“)
- Verortung von Use-Case-Inhalten
- Verortung von Beziehungen
(d.h. Zusammenhänge zwischen vers. Bereichen von I4.0)
- Definition übergeordneter Regeln
(d.h. Ableiten von Regeln für die Umsetzung von I4.0-Implementierungen)

RAMI 4.0 Highlights



<https://www.youtube.com/watch?v=fFIQ2o-5QLo&>

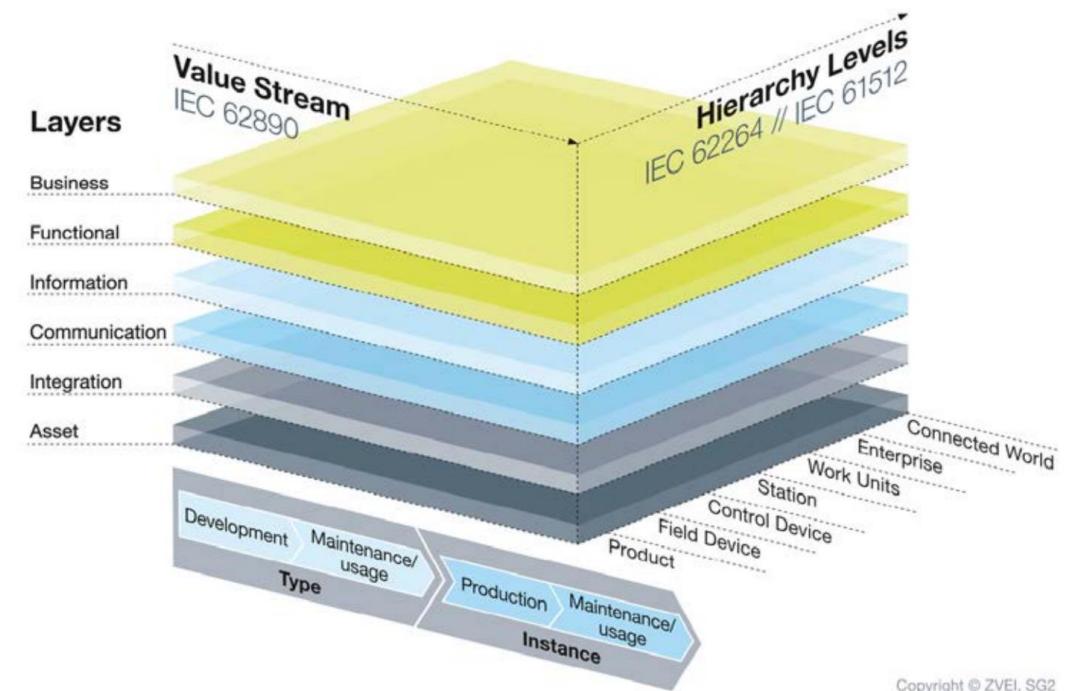
Struktur von RAMI 4.0



Copyright © ZVEI, SG2

Quelle: [Adolphs 2015]

- *Senkrechte Achse:*
Schichtweises, digitales Abbild, die IT-Repräsentanz, etwa einer Maschine
- *Waagrechte Achse (links):*
Produktlebenszyklus
- *Waagrechte Achse (rechts):*
Verortung von Funktionalitäten und Verantwortlichkeiten innerhalb einer Fabrik bzw. Anlage



Copyright © ZVEI, SG2

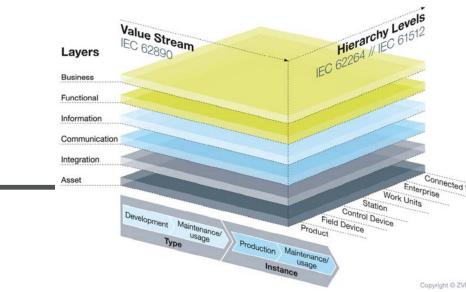
- Das Referenzarchitekturmodell RAMI4.0 wird als **DIN SPEC 91345** der Standardisierung zugeführt.
- Ansatz für die Realisierung eines *Communication Layers*
 - **OPC UA**: Basis IEC 62541
- Ansatz für die Realisierung des *Information Layers*
 - **IEC Common Data Dictionary** (IEC 61360 Series/ISO13584-42)
 - Merkmale, Klassifikation und Werkzeuge nach **eCl@ss**
 - Electronic Device Description (EDD)
 - Field Device Tool (FDT)
- Ansatz für die Realisierung des *Functional Layer* bzw. des *Information Layer*
 - Field Device Integration (FDI) als Integrationstechnologie
- Ansatz für das durchgängige Engineering
 - **AutomationML**
 - ProSTEP iViP
 - **eCl@ss** (Merkmale)



Schichten von RAMI 4.0



Schichten von RAMI 4.0 [Adolphs 2015]



Gegenstandsschicht (Asset Layer)

- Repräsentiert die Realität, z. B. physikalische Elemente wie Linearachsen, Blechteile, Dokumente, Schaltpläne, Ideen, Archive
- Mensch ist ebenfalls Bestandteil des *Asset Layers* und ist über den *Integration Layer* an die virtuelle Welt angebunden
- Passive Verbindung der Assets mit der Integrationsschicht über z. B. QR-Codes



Das reale Ding in der physischen Welt



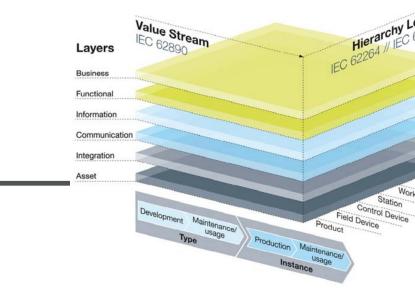
Übergang von der physischen in die digitale Welt



Integrationsschicht (Integration Layer)

- Bereitstellung der rechnerverarbeitbaren Informationen der Assets: Physik/Hardware/Dokumente/Software usw.
- Rechnergestützte Steuerung des technischen Prozesses
- Generierung von Ereignissen aus den Assets
- enthält die mit der IT verbundenen Elemente, wie RFID Reader, Sensoren, HMI

Schichten von RAMI 4.0 [Adolphs 2015]



Kommunikationsschicht (Communication Layer)

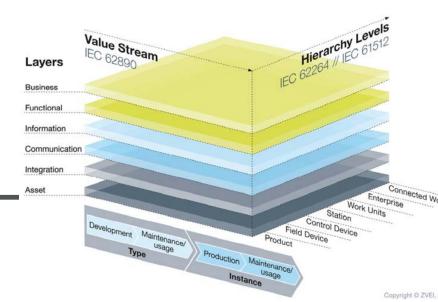
- Vereinheitlichung der Kommunikation, unter Verwendung eines einheitlichen Datenformats, in Richtung des *Information Layer*
- Bereitstellung von Diensten zur Steuerung des *Integration Layer*



Informationsschicht (Information Layer)

- Laufzeitumgebung für die Ereignis(vor)verarbeitung:
 - Ausführung von ereignisbezogenen Regeln (d.h. aus einem oder mehreren Ereignissen werden über Regeln ein oder mehrere weitere Ereignisse erzeugt, die im *Functional Layer* die Verarbeitung anstoßen)
 - Formale Beschreibung von Regeln
- Persistieren der Daten, die die Modelle repräsentieren
- Sicherstellung der Datenintegrität
- Konsistente Integration verschiedener Daten
- Gewinnung von neuen, höherwertigen Daten (Daten, Informationen, Wissen)
- Bereitstellung strukturierter Daten über Dienstschnittstellen
- Entgegennahme von Ereignissen und deren Transformation passend zu den Daten, die für den *Functional Layer* verfügbar sind

Schichten von RAMI 4.0 [Adolphs 2015]

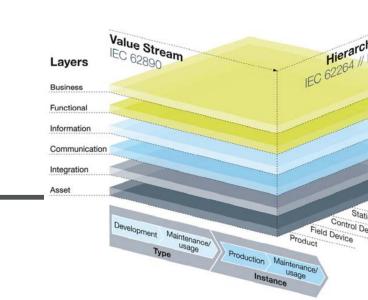


Funktionsschicht (Functional Layer)

- Formale Beschreibung von Funktionen
- Plattform für die horizontale Integration der verschiedenen Funktionen
- Laufzeit- und Modellierungsumgebung für Dienste, die Geschäftsprozesse unterstützen
- Laufzeitumgebung für Anwendungen und fachliche Funktionalität
- Innerhalb des *Functional Layer* werden Regeln/Entscheidungslogiken erzeugt. Diese können auch abhängig vom Anwendungsfall in den unteren Schichten (*Information Layer* oder *Integration Layer*) ausgeführt werden.
- Fernzugriffe und horizontale Integration finden nur innerhalb des Functional Layer statt. Damit werden die Integrität der Informationen und Zustände im Prozess und die Integration der technischen Ebene sichergestellt.



Schichten von RAMI 4.0 [Adolphs 2015]

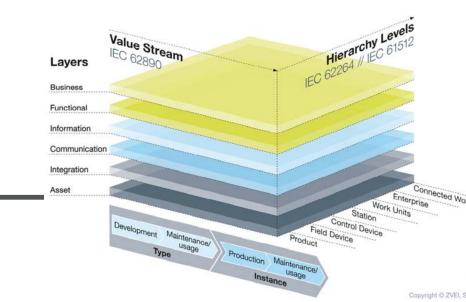


• Geschäftssicht (Business Layer)

- Sicherstellung der Integrität der Funktionen in der Wertschöpfungskette
- Abbildung der Geschäftsmodelle und dem sich daraus ergebenden Gesamtprozess
- rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen
- Modellierung der Regeln, denen das System folgen muss
- Orchestrierung von Diensten des *Functional Layers*
- Verbindungselement zwischen verschiedenen Geschäftsprozessen
- Empfang von Ereignissen für die Weiterschaltung des Geschäftsprozesses

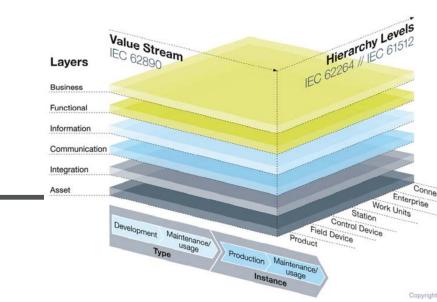


Lebenszyklus von RAMI 4.0



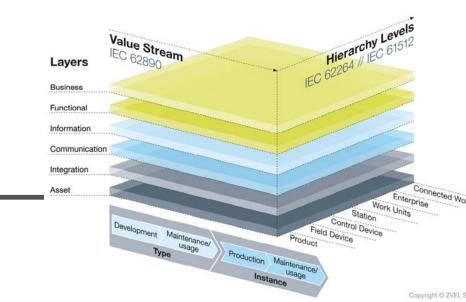
- Um Zusammenhänge und Verknüpfungen zu visualisieren und zu standardisieren, repräsentiert die zweite Achse von RAMI den Lebenszyklus und die damit verbundenen Wertschöpfungsketten.
- Typ (Type)**
 - Ein Typ entsteht mit der Entstehung eines Produkts in der Phase „Development“.
 - Damit sind die Beauftragung, die Entwicklung, die Tests bis hin zum ersten Muster und der Prototypenfertigung gemeint.
 - Nach Abschluss aller Tests und Validierung wird der Typ für die Serienproduktion frei gegeben.
- Instanz (Instance)**
 - Auf Basis des allgemeinen Typs werden in der Produktion Produkte hergestellt. Jedes gefertigte Produkt stellt dann eine Instanz dieses Typs dar und erhält z. B. eine eindeutige Seriennummer.
 - Die Instanzen werden an Kunden ausgeliefert. Für den Kunden sind die Produkte zunächst wieder nur Typen. Zur Instanz werden sie, wenn sie in eine konkrete Anlage eingebaut werden.
 - Der Wechsel vom Typ zur Instanz kann sich mehrmals wiederholen.

Lebenszyklus von RAMI 4.0



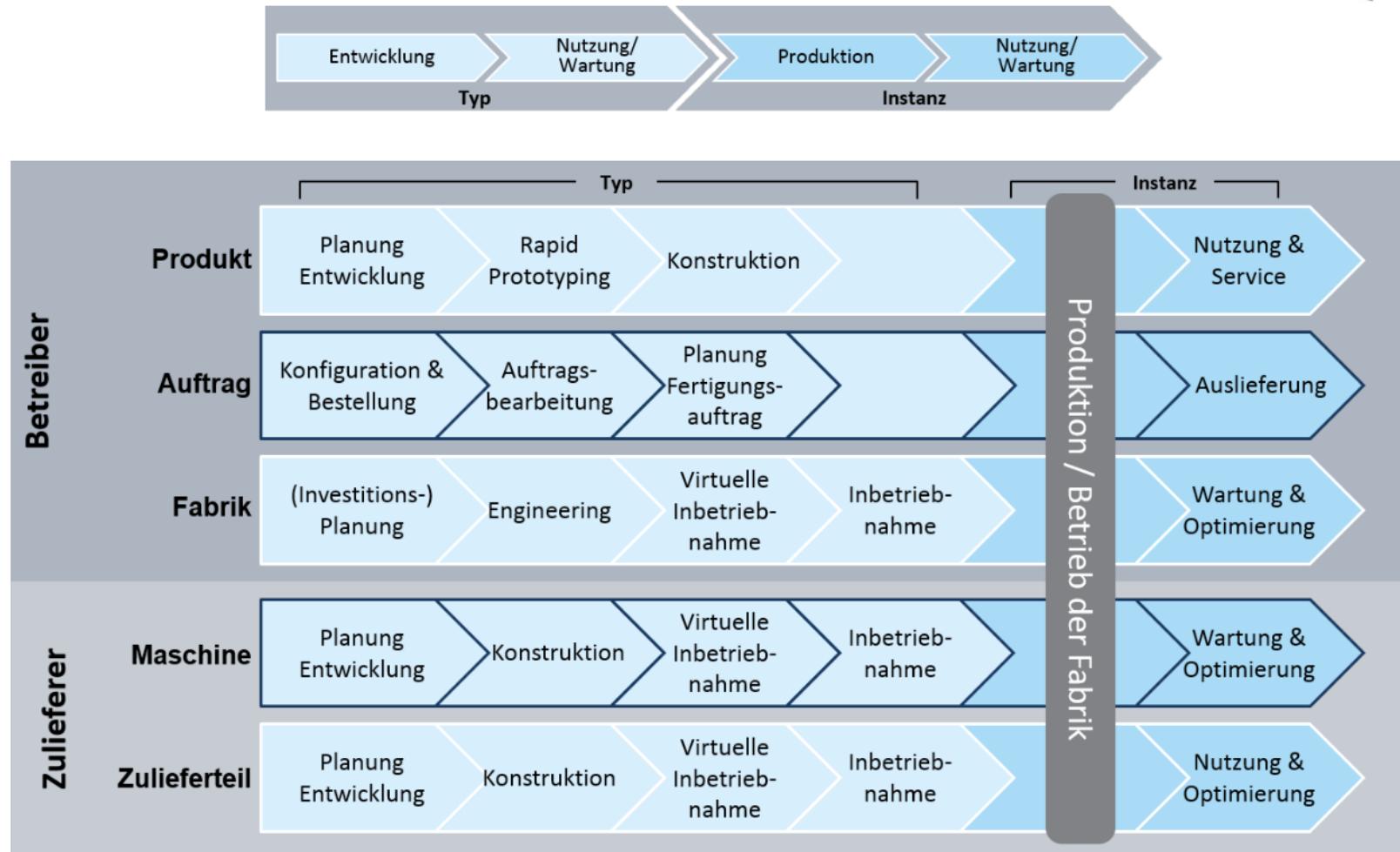
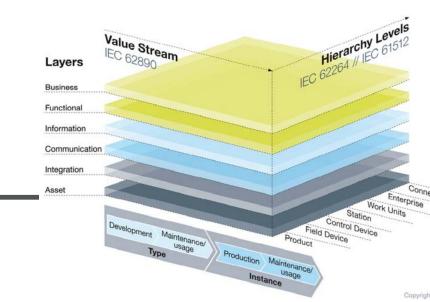
- Für den Betrieb einer Fabrik sind Lebenszyklen mehrerer Dimensionen relevant:
 - **Produkt:** Eine Fabrik produziert mehrere Produkte. Jedes Produkt hat einen eigenen Lebenszyklus.
 - **Auftrag:** Jeder Auftrag, der gefertigt werden soll, durchläuft einen Lebenszyklus und muss seine Spezifitäten während der Auftragsausführung in den Produktionsbetrieb abprägen können.
 - **Fabrik:** Während ihres Lebenszyklus wird eine Fabrik finanziert, geplant, aufgebaut und wiederverwertet. Eine Fabrik integriert Produktionssysteme und Maschinen verschiedener Hersteller.
 - **Maschine:** Eine Maschine wird in Auftrag gegeben, konstruiert, in Betrieb genommen, betrieben, gewartet, umgebaut und verwertet. Der Maschinenhersteller bezieht dazu einzelne Zulieferteile.
 - **Komponente:** Der Zulieferer (Komponentenhersteller) realisiert einen Lebenszyklus auch für diese Zulieferteile: Planung und Entwicklung, Rapid Prototyping, Konstruktion, Produktion, Nutzung bis hin zum Service

Lebenszyklus von RAMI 4.0



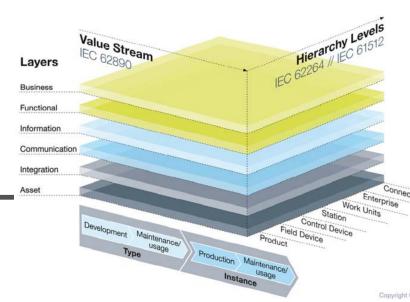
- Verschiedener Geschäftspartner, die zusammenwirken und deren Lebenszyklen und Planungsprozesse machen die Unterscheidung von Typen und Instanzen notwendig:
 - **Der Zulieferer** nennt „Teiletypen“: Erst die Fertigung und die anschließende Auslieferung an den Kunden (Maschinenhersteller) „erschafft“ eine Instanz, die dieser als Zulieferteil weiterverwendet.
 - **Der Maschinenhersteller** bespricht mit seinen Kunden und plant „Maschinentypen“: Die Konstruktion einer speziellen Maschine und deren Realisierung erschafft eine Instanz, die der Fabrikbetreiber weiterverwendet.
 - **Der Fabrikbetreiber** entwickelt ein Produkt ebenfalls zunächst als Produkttyp. Erst der Auftrag stößt die Fertigung an und realisiert die Fertigung konkreter Produktinstanzen, die ausgeliefert werden.
- Anleihen aus der objekt-orientierten Modellierung mit Klassen und Instanzen

Beispiele des Lebenszyklus in RAMI 4.0



Quelle: [Adolphs 2015]

Lebenszyklus von RAMI 4.0



Zulieferteil



Planen mit möglichen Teiletypen

Auslieferung von Teilen

Maschine



Planung/ Beauftragung einer Maschine

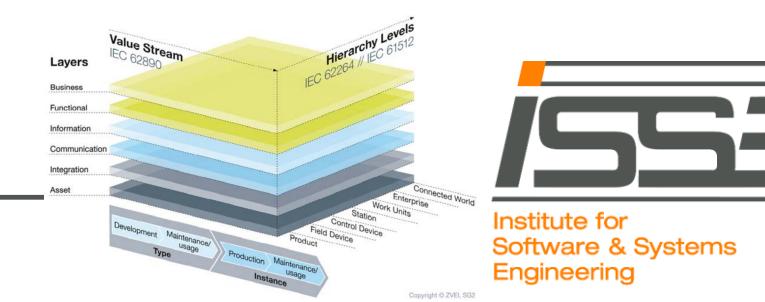
Auslieferung einer Maschine

Fabrik



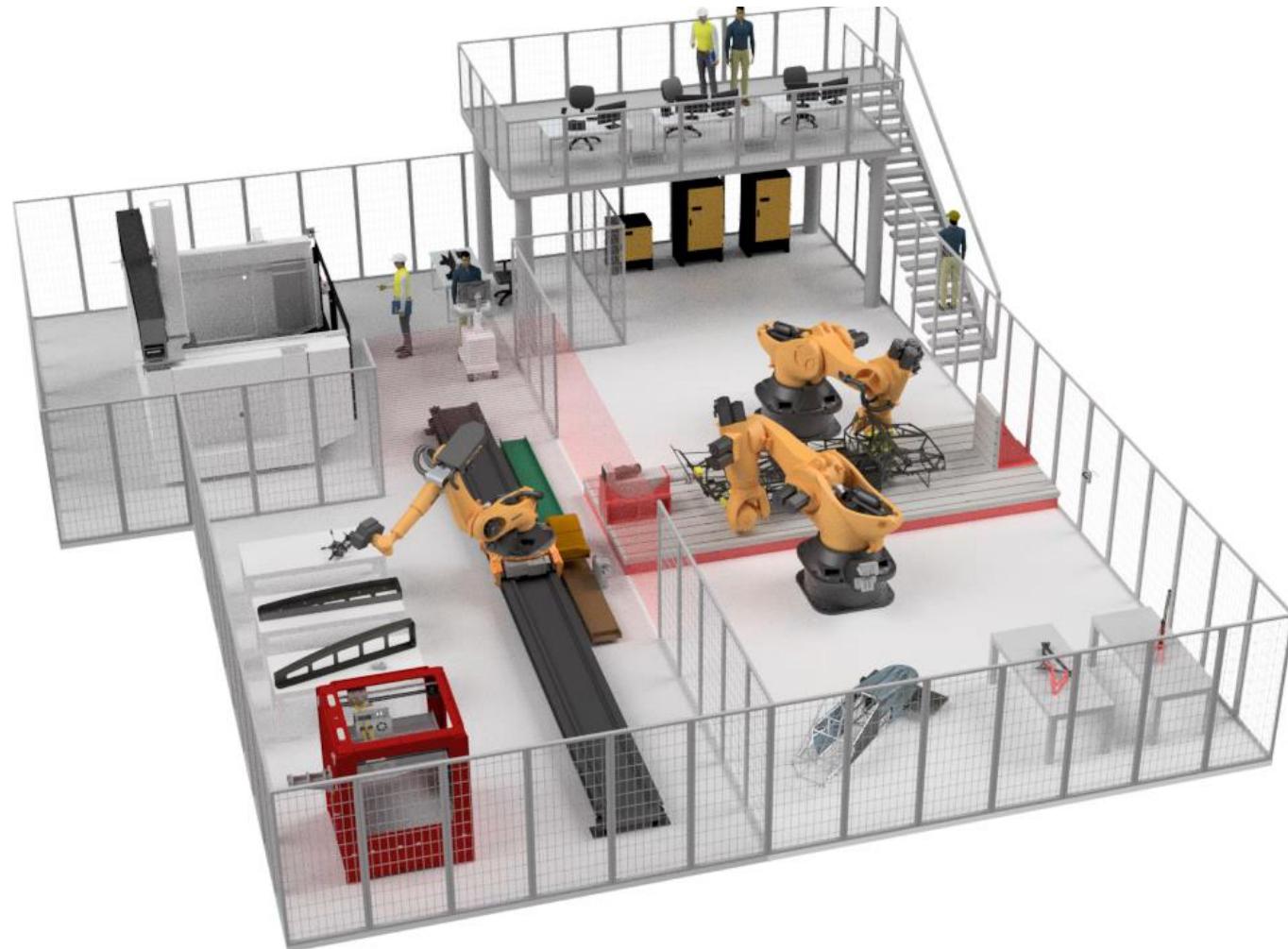
Quelle: [Adolphs 2015]

Hierarchieebenen von RAMI 4.0



- Die dritte Achse des RAMI 4.0 beschreibt die funktionale Einordnung innerhalb Industrie 4.0, d.h. wo eine Funktion eingeordnet ist.
- Dabei geht es nicht um eine Implementierung, sondern nur um funktionale Zuordnungen
- Basis dafür sind:
 - IEC 62264/DIN EN 62264: IEC 62264 Enterprise-control system integration (Integration von Unternehmens-EDV und Leitsystemen)
Teil 1: Models and terminology
 - ISA-88/IEC 61512/DIN EN 61512: Batch Control (Chargenorientierte Fahrweise)
Teil 1: Models and terminology
- Beispiel: Produktionslinie im WiR Projekt

Exkurs – WiR Zelle im TZA

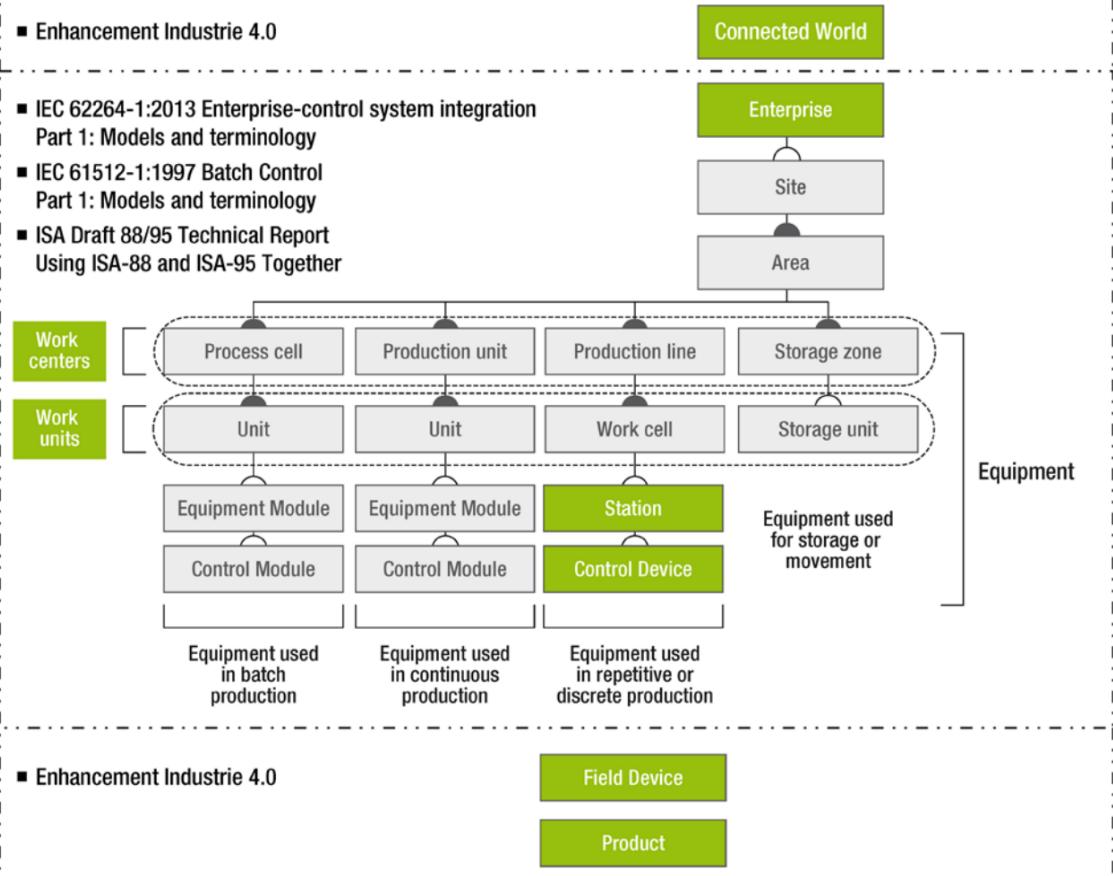


WiR Zelle im TZA -



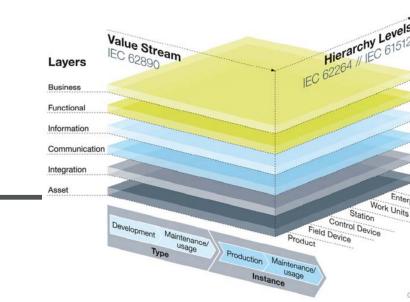
■ Enhancement Industrie 4.0

- IEC 62264-1:2013 Enterprise-control system integration Part 1: Models and terminology
- IEC 61512-1:1997 Batch Control Part 1: Models and terminology
- ISA Draft 88/95 Technical Report Using ISA-88 and ISA-95 Together



■ Enhancement Industrie 4.0

Hierarchieebenen von RAMI 4.0



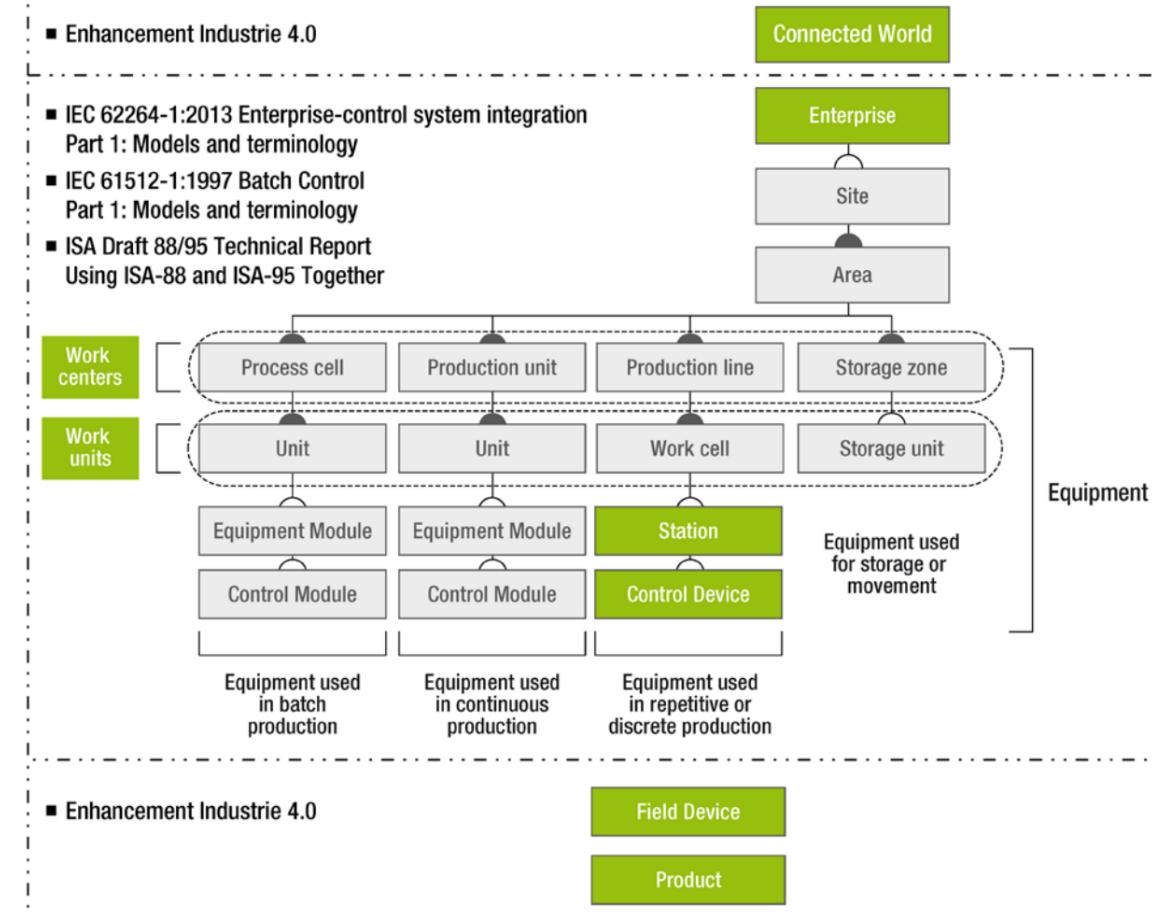
- **Connected World:**

Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit

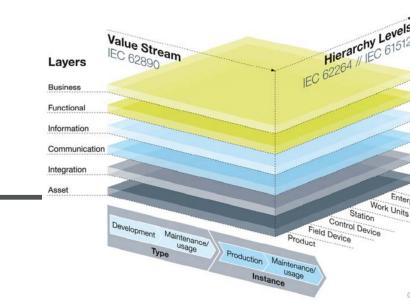
- **Enterprise:**

Unternehmen, welches bestimmt was, wo und wie produziert wird.

- An enterprise is a collection of one or more sites. It may contain sites, areas, process cells, units, equipment modules, and control modules [ISA88].
- The enterprise is responsible for determining what products will be manufactured, at which sites they will be manufactured, and in general how they will be manufactured [ISA88].



Hierarchieebenen von RAMI 4.0



• Work Units:

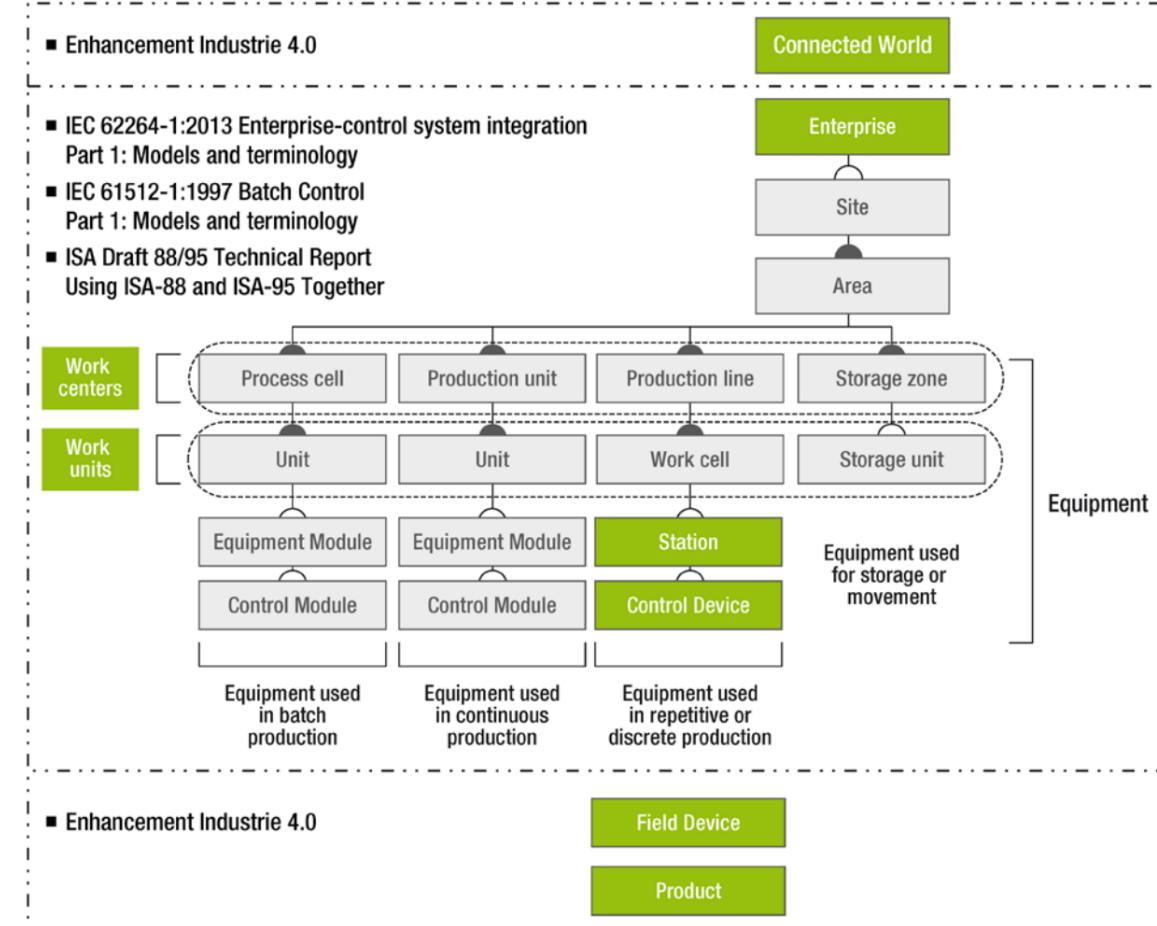
Besteht aus *Stations* oder *Control Devices*, um eine oder mehrere Aufgaben umzusetzen:

- “A process cell contains all of the units, equipment modules, and control modules required to make one or more batches.” [ISA88]
- “A unit is made up of equipment modules and control modules. The modules that make up the unit may be configured as part of the unit or may be acquired temporarily to carry out specific tasks.” [ISA88]

• Station:

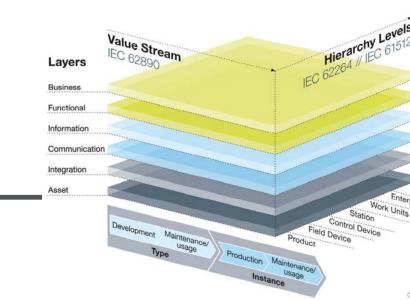
Funktionale Einheit, um eine Teilaufgabe umzusetzen.

- “Physically, the equipment module may be made up of control modules and subordinate equipment modules.” [ISA88]
- “An equipment module may be part of a unit or a stand-alone equipment grouping within a process cell.” [ISA88]
- “An equipment module can carry out a finite number of specific minor processing activities such as dosing and weighing.” [ISA88]



Quelle: [Adolphs 2015]

Hierarchieebenen von RAMI 4.0



• **Control Device:**

Ein Kombination aus Sensoren, Aktuatoren und Steuerungen, die als eigene Einheit gesehen wird.

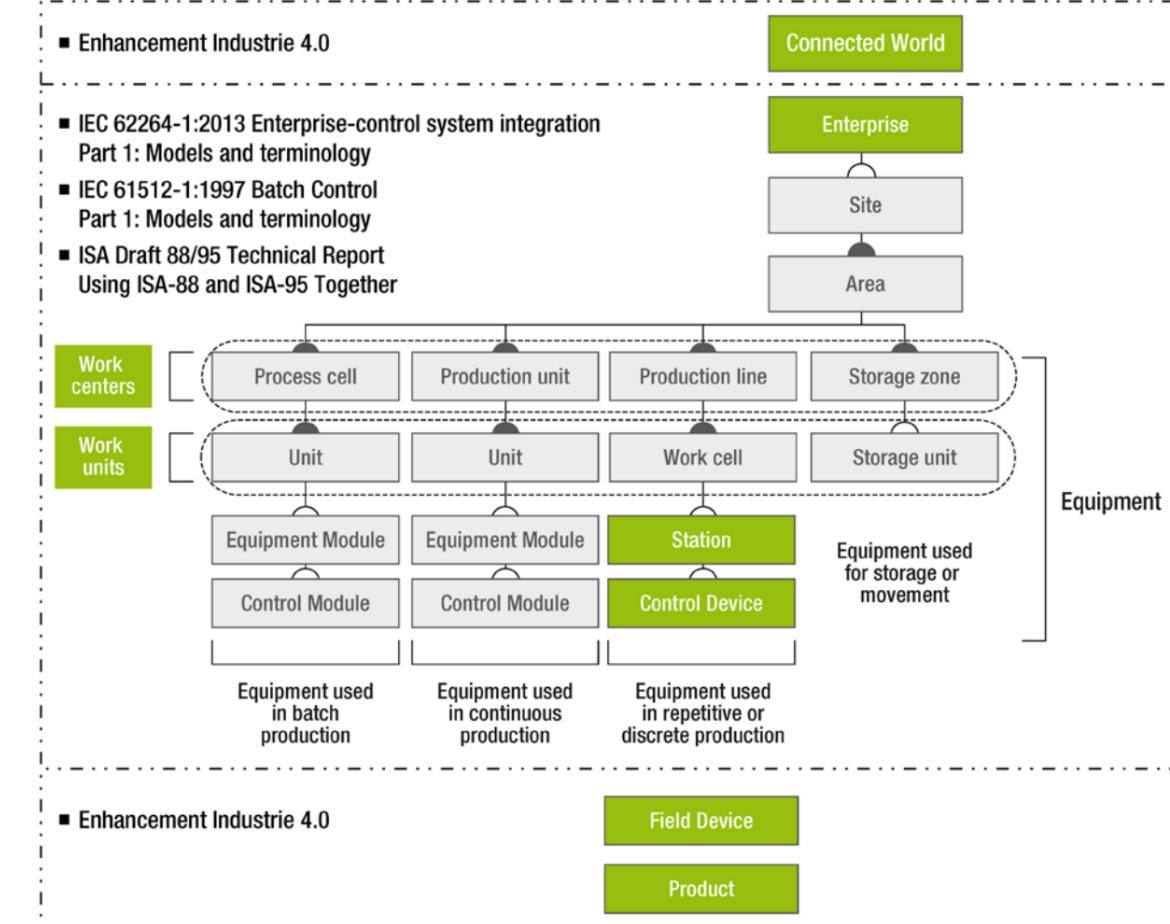
- “A control module is typically a collection of sensors, actuators, other control modules, and associated processing equipment that, from the point of view of control, is operated as a single entity.” [ISA88]
- “A control module can also be made up of other control modules.” [ISA88]

• **Field Device:**

Dies stellt die funktionale Ebene eines intelligenten Feldgeräts z. B. eines intelligenten Sensors dar.

• **Product:**

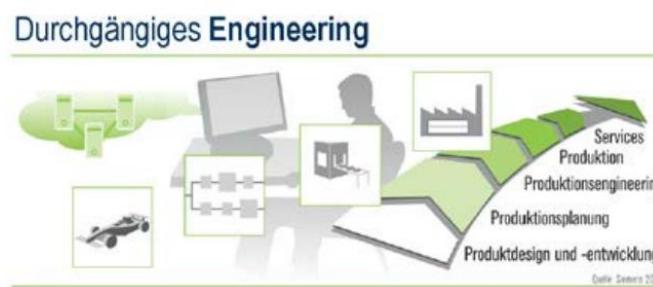
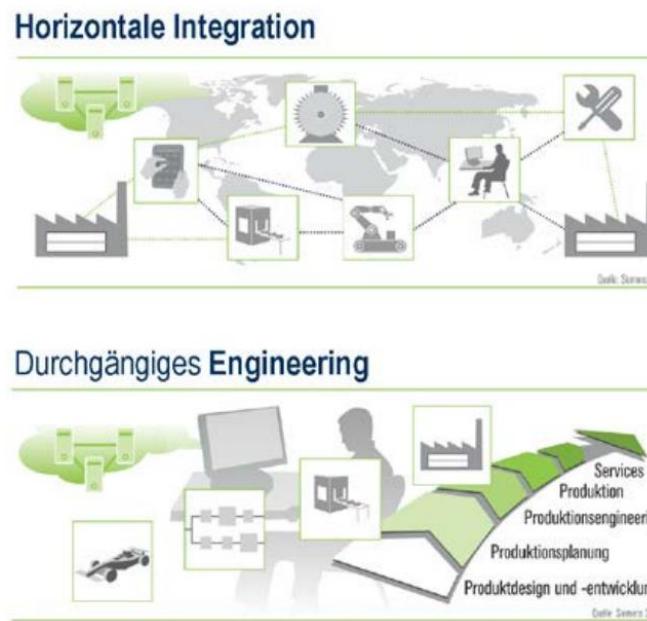
Neben der Anlage zur Herstellung von Produkten ist auch das herzustellende Produkt selbst für die Betrachtungen wichtig.



Quelle: [Adolphs 2015]

Referenzmodell für die I4.0-Komponente

- Das RAMI 4.0 führt ebenfalls ein Referenzmodell für eine **I4.0-Komponente** ein.
- Die I4.0-Komponente soll einen **flexiblen Rahmen** vorgeben, mit dem **Daten und Funktionen** beschrieben und bereitgestellt werden können, die die folgenden I4.0-Aspekte fördern und möglich machen:



Quelle: [Adolphs 2015]

Nach [GMA 2014]

GEGENSTÄNDE, ENTITÄTEN, KOMPONENTEN

„Industrie 4.0“-Landschaft:

- **Objekte wie Pläne, Modelle, Zustände, erfasste Lebenszyklen usw. werden als eigene Betrachtungsgegenstände angesehen.** Diese Betrachtungsgegenstände gehören der Informationswelt an.
- **Jeder Gegenstand der Informationswelt bedarf eines Gegenstands der physischen Welt,** der ihn trägt, seinen Träger. Der Träger, z.B. das Papier, das einen Plan trägt, oder die Datenbank, in der ein Modell abgelegt ist, darf nicht mit dem Informationsgegenstand selbst verwechselt werden.

- Bei „intelligenten“ Komponenten trägt die physische Komponente **Informationsgegenstände**, die den Träger selbst beschreiben und verwalten.
- Bei dem Begriff „Software“ ist zu beachten, dass Programmbeschreibungen zur Informationswelt gehören, im Zielsystem geladene lauffähige Programme jedoch zur physischen Welt.

- **Nicht bekannte Gegenstände:**

- Unbekannte Gegenstände sind der Informationswelt nicht bekannt.

- **Anonym bekannte Gegenstände:**

- Existenz eines Gegenstands einer Art an einem Ort ist bekannt.
- Beispiel: eine Schraube in einem Vorratsbehälter.
Wird diese in einer Anlage eingebaut, kann man z.B. feststellen, dass genau diese Schraube verrostet ist und ausgetauscht werden muss. Dies gilt jedoch nur solange sie eingebaut ist. Nach dem Ausbau landet sie im Schrottkasten und ist nicht mehr identifizierbar.

- **Individuell bekannte Gegenstände:**

- Besitzen einen eindeutigen, systemweit bekannten Namen. Dieser Name ist der Informationswelt bekannt.
- Das System verfügt über ein Identifikationsverfahren (z.B. Typenschild, RFID), durch das der Gegenstand in der physischen Welt identifiziert und dem Namensobjekt zugeordnet werden kann.

- **Als Entität verwaltete Gegenstände:**

- Entitäten sind Gegenstände, die in der Informationswelt eigene Objekte zu ihrer Verwaltung und Nutzung besitzen. Beinhaltet z.B.
 - Funktionen zur Gegenstandsverfolgung
 - zur Aufnahme von Lebenszyklusdaten
 - zur operativen Steuerung des eigenen Produktionsprozesses
 - zur automatisierten Überwachung und Qualitätssicherung

- **Nicht kommunikationsfähige Einheit**

- Physische Einheit mit keiner Informationsträgerfunktionalität besitzt (Schraube, Leiter, Tank usw.)
- Physische Einheit mit Informationsträgerfunktionalität aber ohne digitale Schnittstelle

- **Einheit mit passiver Kommunikationsfähigkeit**

- Physische Einheit, die einen Informationsträger besitzt der über Systemschnittstellen ausgelesen werden kann
- Passiver Informationsträger, erlaubt das Auslesen seiner Daten und so z.B. die Identifikation des Gegenstands (RFID, Strichcode, usw.)

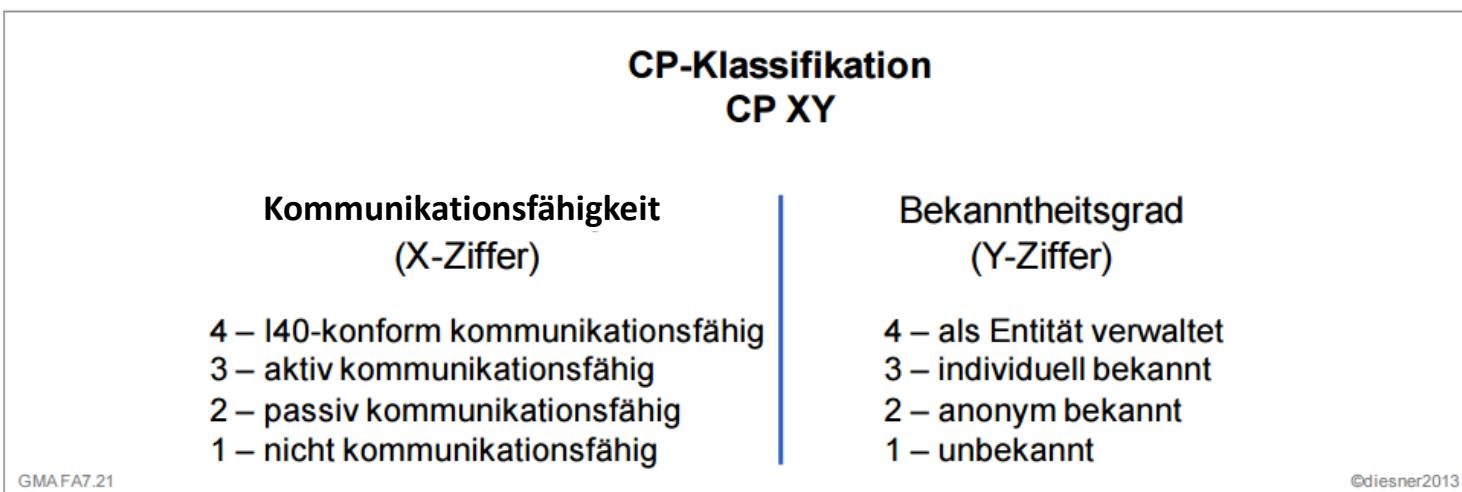
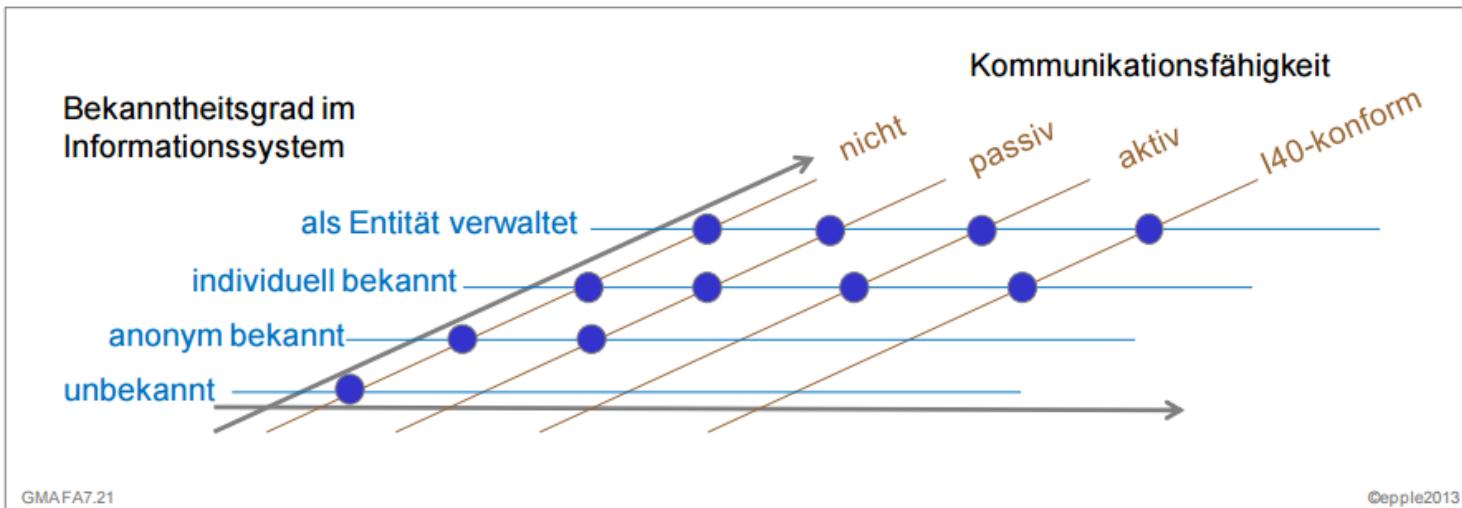
- **Einheit mit aktiver Kommunikationsfähigkeit (Basiskomponente)**

- Physische Einheit, die die Fähigkeit zur aktiven Teilnahme an der Netzwerkkommunikation besitzt, ist aus Sicht der digitalen Kommunikation eine Basiskomponente
- Sie identifiziert sich bei Netzkontakt selbst aktiv und meldet sich für die Teilnahme am Kommunikationsverkehr an

- **Einheit mit I4.0-konformer Kommunikationsfähigkeit (I4.0-Komponente)**

- Komponente, die alle Fähigkeiten eines I4.0-Dienstsystemteilnehmers besitzt, wird aufgrund ihrer besonderen Rolle in einem I4.0-System als I4.0-Komponente bezeichnet
- I4.0-Komponenten, bei denen Soft- und Hardware eine Einheit bilden, werden auch als autonome I4.0-Komponenten bezeichnet

Gegenstände, Entitäten, Komponenten [GMA 2014]



CP: Communication and Presentation

Quelle: [GMA 2014]

Definition „Komponente“ in Industrie 4.0 [GMA 2014]

- Der Begriff „Komponente“ ist allgemein. Er bezeichnet einen **Gegenstand der physischen Welt oder der Informationswelt**, der als Einheit **wahrgenommen und gehandhabt** werden kann und der in seinem Systemumfeld eine bestimmte Rolle spielt oder für eine solche vorgesehen ist.
- Komponente: z. B. ein Rohr, ein Funktionsbaustein, eine Lampe, ein Ventil, eine intelligente Antriebseinheit usw.
Wichtig: Betrachtung als Einheit und Bezug zu der Rolle (Funktion), die sie in einem System wahrnehmen soll oder bereits wahrnimmt.
- Auch in einem I4.0-System gibt es viele Komponenten, die diese Anforderungen nicht erfüllen und die damit keine I4.0-Komponenten sind
- I4.0-Komponente: spezielle Art Komponente, erfüllen bestimmte Anforderungen etwa im Bereich Kommunikation, s. n. Folie

Eine I4.0-Komponente zeichnet sich laut [GMA 2014] durch folgende **Eigenschaften** aus:

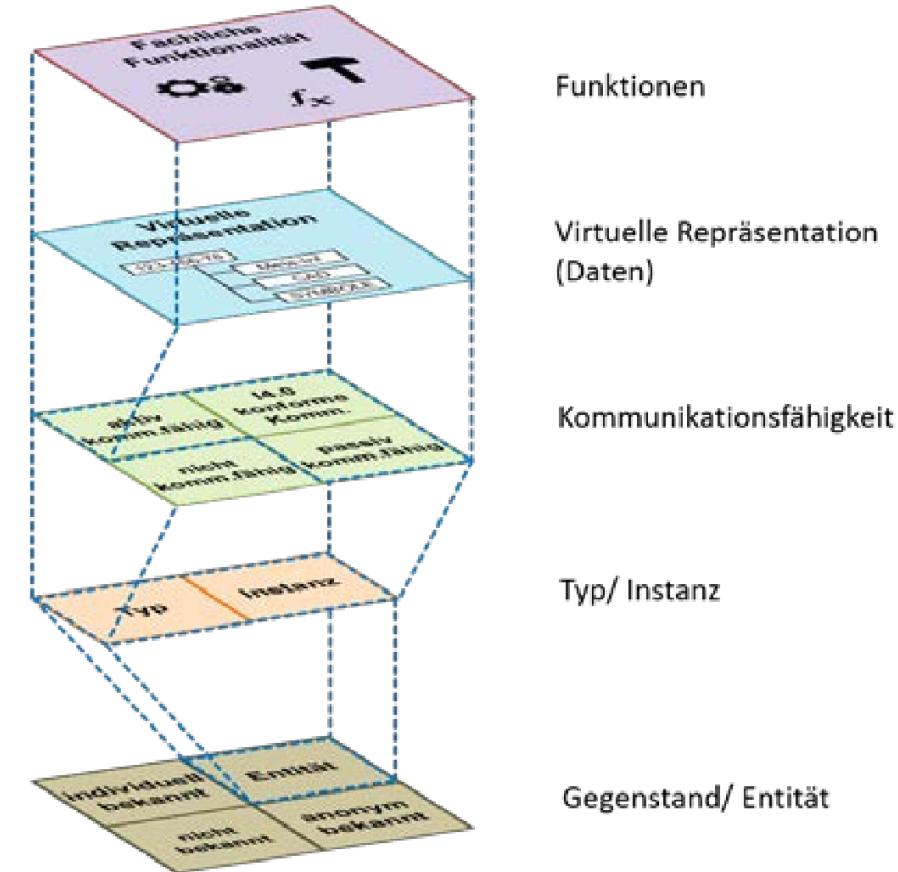
- Sie besitzt einen **kommunikationsfähigen Softwareteil**, der sie zu einem vollwertigen Dienstsystemteilnehmer im I4.0-Netzwerk macht.
- Sie ist bezüglich der CP-Klassifikation entweder eine **CP43- oder eine CP44-Komponente**.

Als Dienstsystemteilnehmer im I4.0-Netzwerk werden gemäß [GMA 2014] noch folgende weitere Eigenschaften verlangt:

- Im Netzwerk **eindeutig identifizierbar**
- Unterstützung der für ein I4.0-System allgemein standardisierten **Dienstfunktionen und Zustände**
- Bietet für Ihre Funktionalität und Daten einen der Aufgabe angemessenen **Schutz**
- **Robustheit** und Verfügbarkeit: der Aufgabe angemessen
- **Echtzeiteigenschaften**: der Aufgabe angemessen
- Unterstützung der für ein I4.0-System standardisierten **Semantik**

I4.0-Komponente

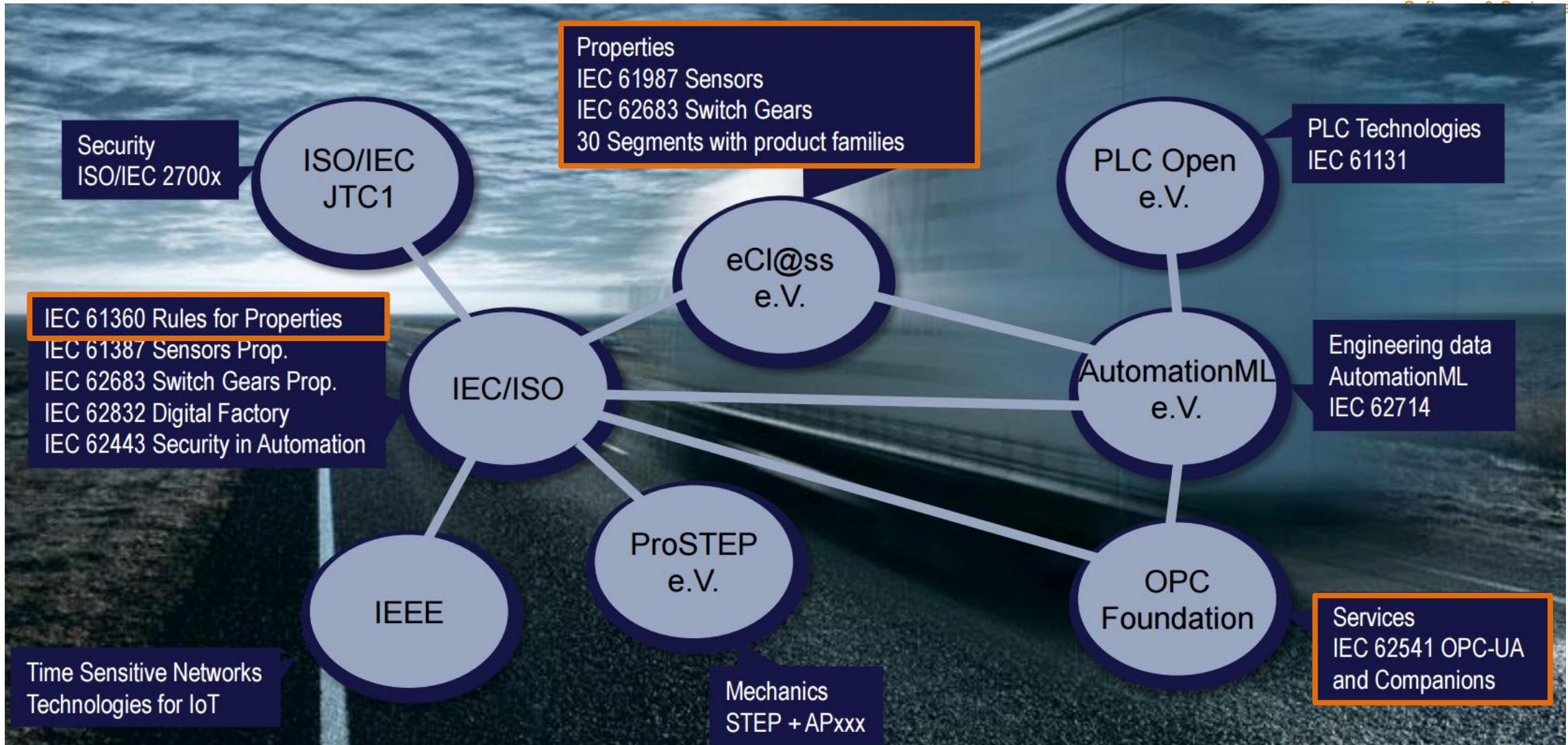
- Neben Daten kann eine I4.0-Komponente auch eine **fachliche Funktionalität** besitzen
- Die **virtuelle Repräsentation** hält Daten zu dem Gegenstand. Diese Daten können entweder „auf/in“ der I4.0-Komponente selbst gehalten und durch eine I4.0-konforme Kommunikation der Außenwelt zur Verfügung gestellt werden.
- Um Eigenschaften einer I4.0-Komponente bereitzustellen zu können, muss min. ein Informationssystem eine Verbindung zum Gegenstand halten (min. passive **Kommunikationsfähigkeit**)
- Gegenstände können als **Typ** oder als **Instanz** bekannt sein.
- Um Daten und Funktionen an einen Gegenstand binden zu können, muss dieser als **Entität** vorliegen.



Quelle: [Adolphs 2015]

I4.0-STANDARDS (IEC 61360, ECL@SS)

Industrie 4.0 - Ein Netz voller Standards



- „Merkmale sind bestimmte Eigenschaften, die zur Beschreibung z.B. von Geräten dienen“ [NAMUR-Empfehlung 100]
- „Eigenschaft, die zum Beschreiben und Unterscheiden von Objekten dient“ [DIN 4002]
- „Merkmale geben diejenigen Eigenschaften von Gegenständen wieder, welche zur Begriffsbildung und -abgrenzung dienen. Sie sind durch Abstraktion gewonnene Denkeinheiten und somit selbst Begriffe.“ [DIN 2330]
- „Eigenschaft eines Bauteils, die in einer Klassenstruktur und einer Menge von Datenelementtypen erfasst werden kann und die nicht unabhängig vom Bauteil bestehen kann“ [DIN EN 61360]

- Zweck von Merkmalen:
 - Eigenschaften eines Betrachtungsgegenstands zu benennen und möglichst einheitlich darzustellen.
 - Darstellung des Betrachtungsgegenstandes für sich und nicht um Zusammenhänge mit anderen Betrachtungsgegenständen.
- Früher: Beschaffung von Geräten der Prozessleittechnik zu unterstützen
- Heute: Nutzbarmachen von auf dem Merkmalmodell basierenden Daten, um Eigenschaften von technischen Systemen und Systemelementen zu beschreiben

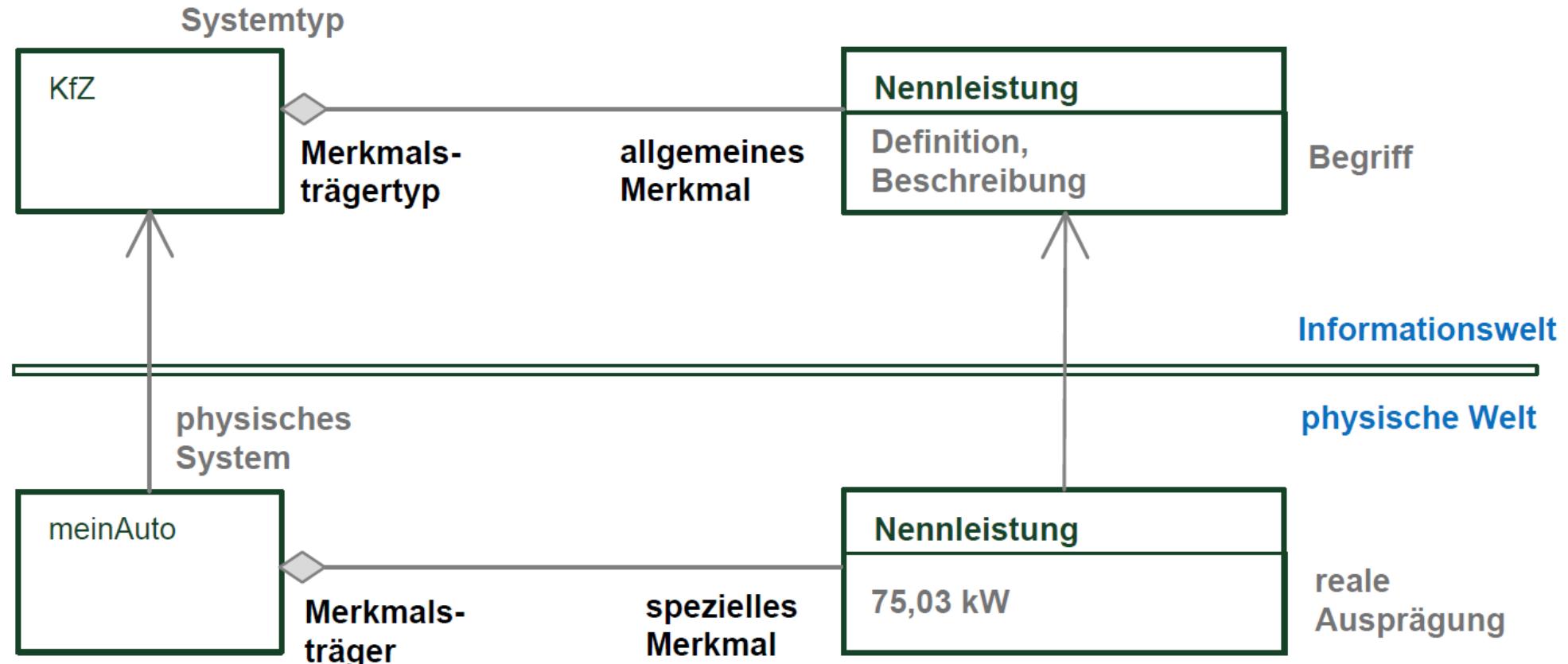
- **Beispiel:**

Der *Volumenstrom* einer Pumpe lässt sich als Merkmal darstellen, da hier ein *reeller positiver Zahlenwert* zur Repräsentation der Merkmalausprägung ausreicht. Sollen dagegen *Systemeigenschaften* der Pumpe und ihre Systemreaktionen modelliert werden, bieten sich mathematische Modellierungsmethoden an, zum Beispiel als *System von Differentialgleichungen*.

- **Beispiel:**

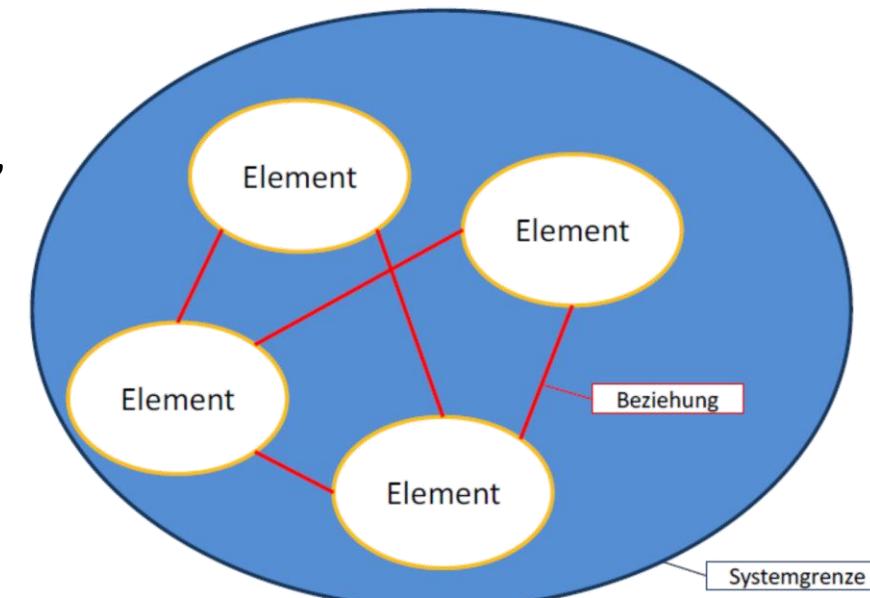
Zur Bildung des Begriffs „Pumpe“ erscheint aus *verfahrenstechnischer* Sicht das Merkmal relevant, dass Pumpen eine Druckdifferenz erzeugen und dass *jede Pumpe zu jedem Zeitpunkt* eine Druckdifferenz mit einem bestimmten Wert erzeugt. Zur Begriffsbildung sind aber nicht zwingend die komplexen hydraulischen Zusammenhänge innerhalb der Pumpe und zwischen Pumpe und Anlagenumgebung erforderlich, die zu einem bestimmten Zeitpunkt die aktuelle Druckdifferenz erklären können.

Beispiele [Hadlich 2015]



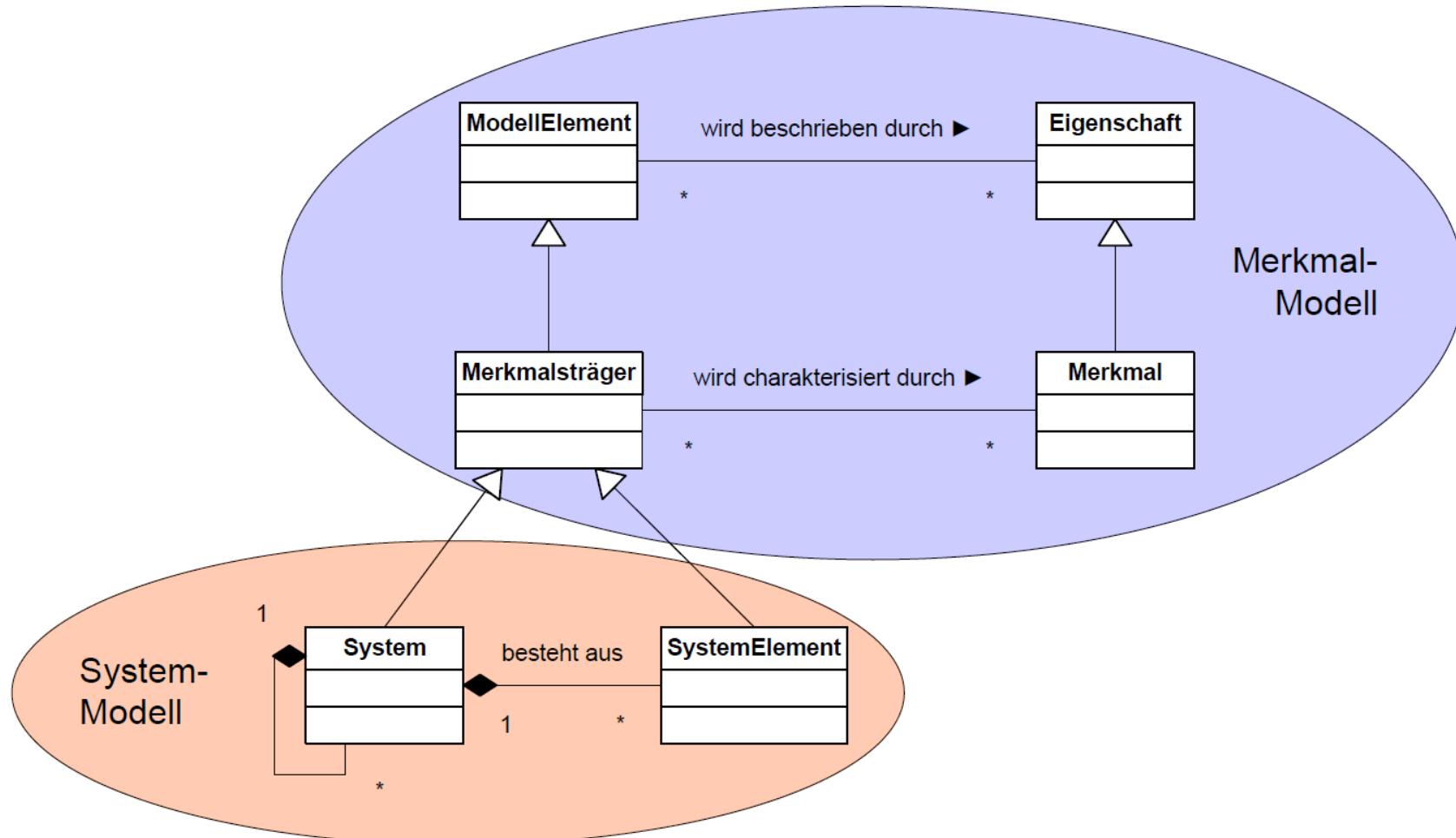
- Es gibt verschiedene Arten von Systemen:
 - das Sonnensystem
 - mathematische Systeme
 - technische Systeme
- Die Wahrnehmung dieser Betrachtungsgegenstände als Systeme beruht auf der Beobachtung von Zusammenhängen zwischen ihren Elementen
 - von Gravitationskräften zwischen den Planeten
 - von Ordnungsprinzipien für Zahlen
 - von zu erfüllenden technischen Funktionen

- Das Modell eines Systems wird als einheitliches, grundlegendes Modell verstanden, das allgemein und für verschiedenste Betrachtungsgegenstände verwendet werden kann.
- Definition eines Systems nach [Patzak 1982]
 - Ein System besteht aus einer Menge von Elementen, welche Eigenschaften besitzen und welche durch Relationen miteinander verknüpft sind.
 - Ein System hat eine System-Grenze, die das System umhüllt bzw. von der Umwelt trennt.



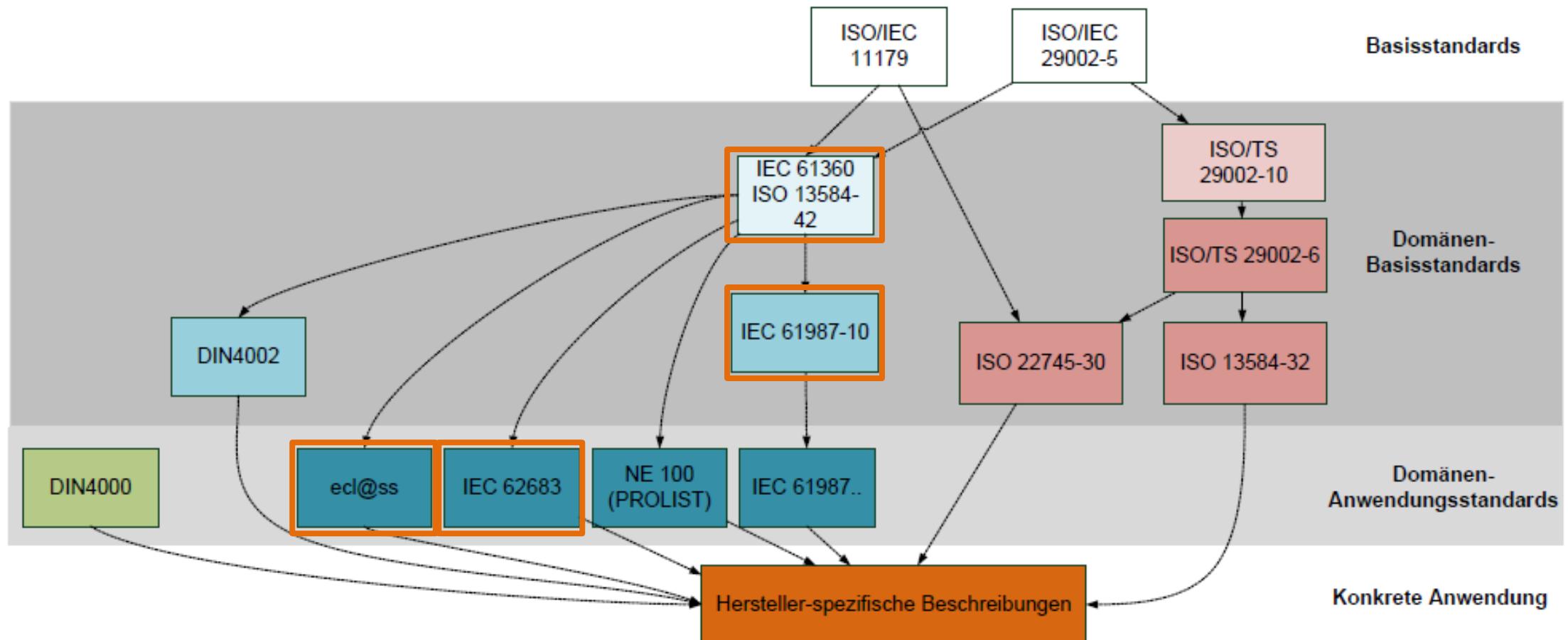
Quelle: [Hadlich 2015]

Beziehung zwischen Merkmalmodell und Systemmodell



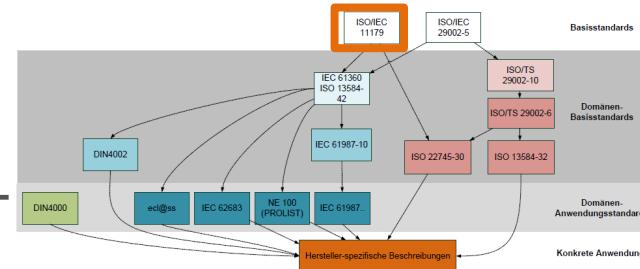
Quelle: [Hadlich 2015]

Übersicht über Standards zu Merkmalmodellen



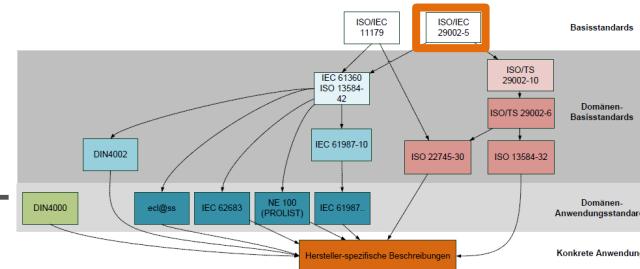
Quelle: [Hadlich 2015]

ISO/IEC 11179

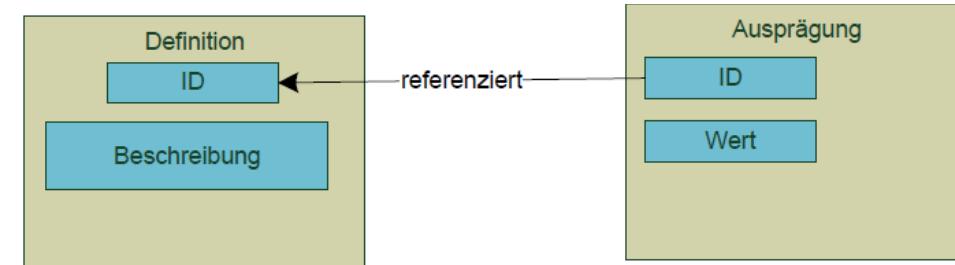


- ISO/IEC 11179 wird als allgemeiner Basisstandard betrachtet, weil er in anderen Anwendungsdomänen verwendet wird.
- Der Standard erlaubt es, Meta-Daten (einer Organisation) in einer Registry zu repräsentieren.
- ISO/IEC 11179 führt auf der Basis grundsätzlicher Konzepte (*metamodel construct* z.B. Klasse, Assoziation, Relationship) Konzepte (*metadata object*) zur Verwaltung von Daten ein.

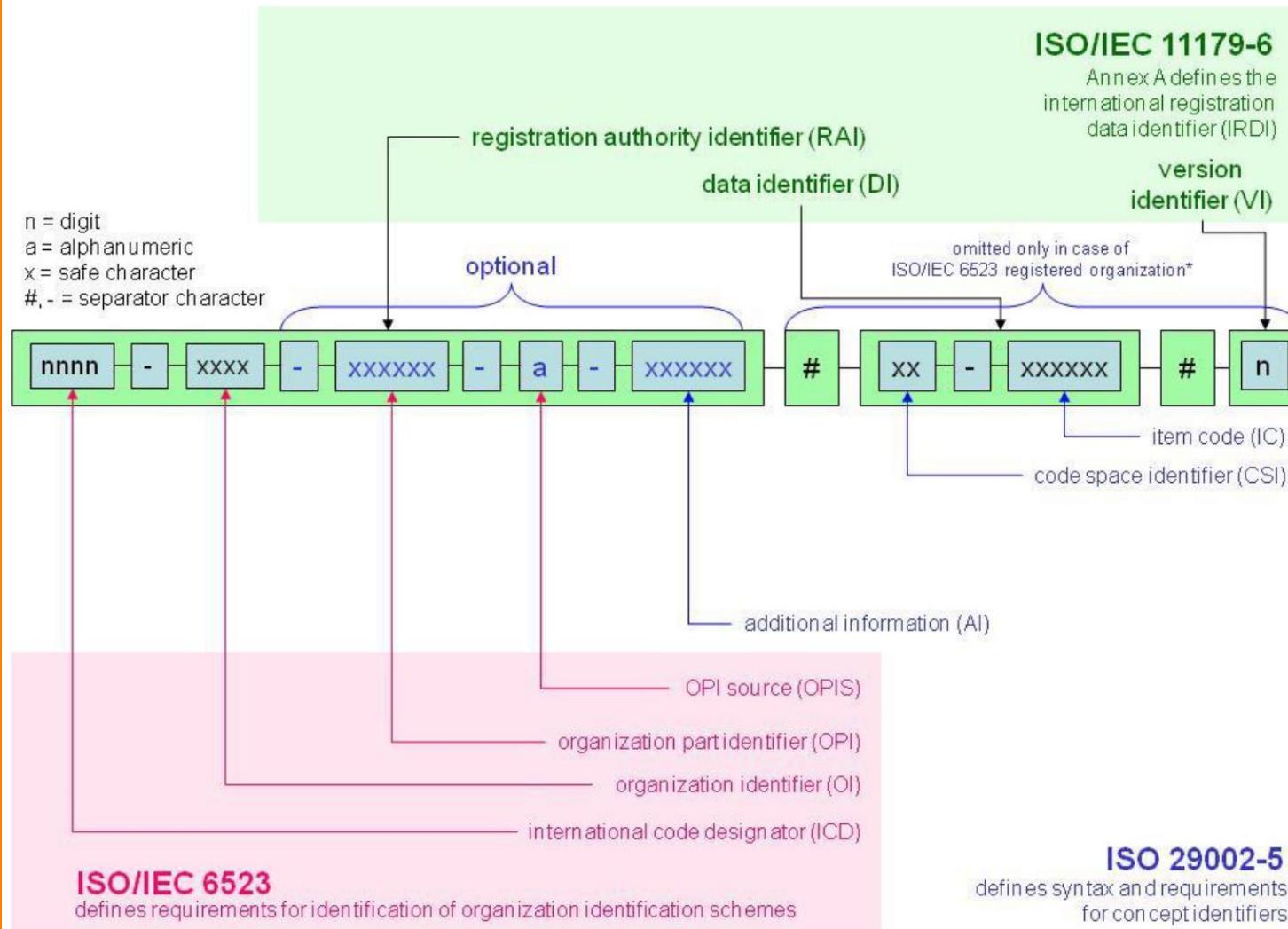
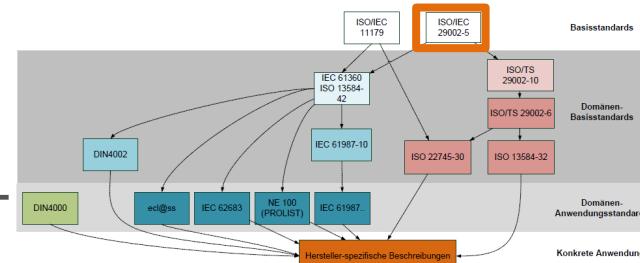
ISO/IEC 29002-5



- Ein wesentlicher Aspekt von Merkmalmodellen ist, dass die *Definition* eines Merkmals typischerweise getrennt von der *Verwendung* des Merkmals erfolgt.
- Die Beziehung zwischen der Definition des Merkmals und der Ausprägung des Merkmals wird über einen *Identifikator* hergestellt.
- ISO 29002-5 führt ein strukturiertes Identifikationssystem ein

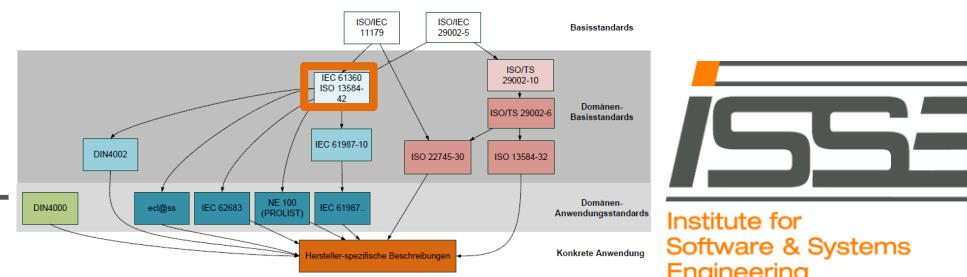


ISO/IEC 29002-5



- Der RAI (*registration authority identifier*) identifiziert weltweit eindeutig den Herausgeber und die zugeordnete Datensammlung des Identifikators:
 - ICD (*international code designator*) identifiziert eindeutig die Organisation von der ein Identifikator stammt
 - z.B. 0172 für PROLIST, 0173 für eCl@ss
 - <http://www.oid-info.com/doc/ICD-list.pdf>
- Der DI (*data identifier*) identifiziert eindeutig eine Konzeptbeschreibung innerhalb der Datensammlung (z.B. eine Klasse oder ein Merkmal):
 - IC (*item code*), welcher ein Konzept innerhalb des jeweiligen Namensraumes eindeutig identifiziert
- Der VI (*version identifier*) identifiziert die Version der Beschreibung.

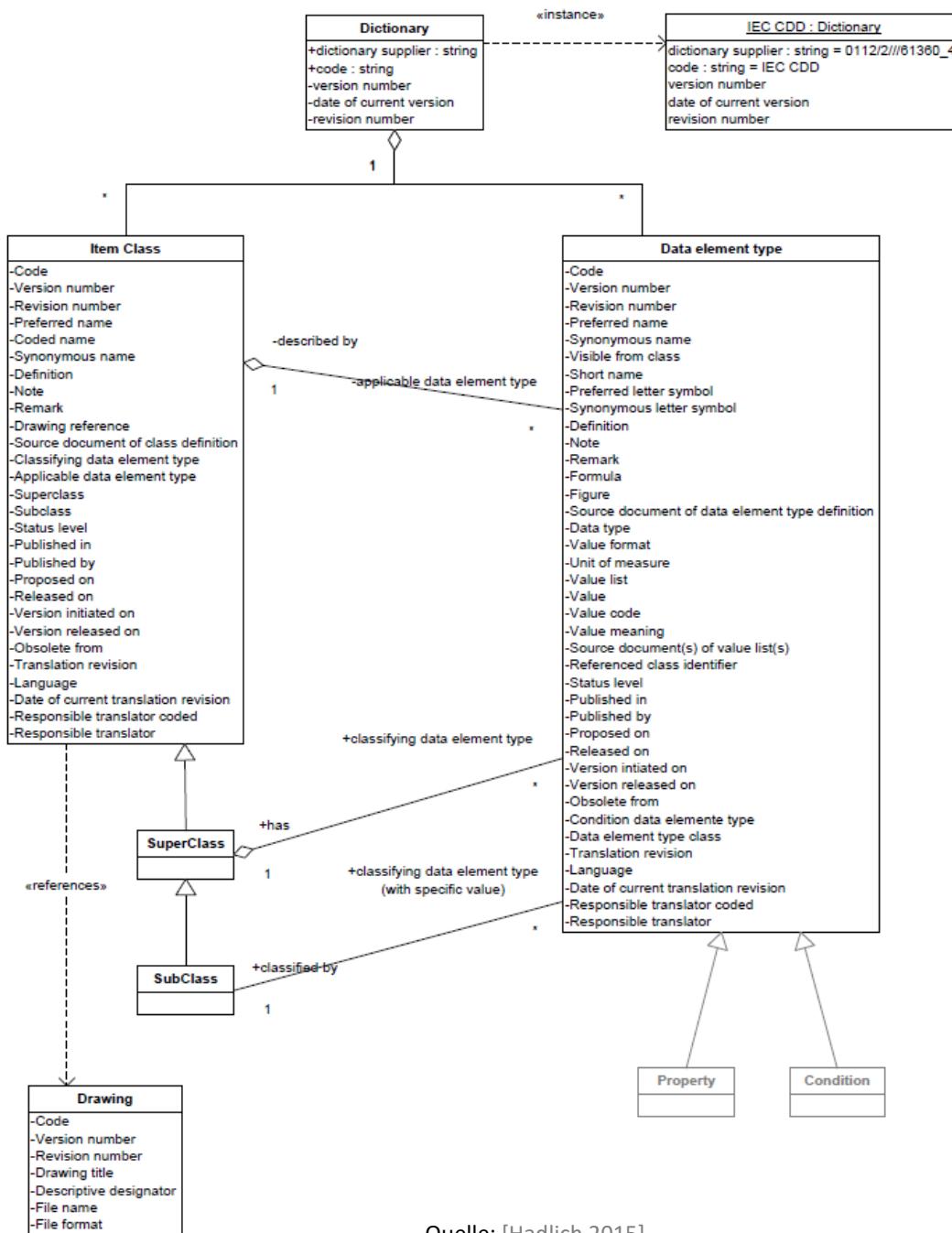
IEC 61360/DIN EN 61360



- IEC 61360: Standard data element types with associated classification scheme for electric components
- DIN EN 61360: Genormte Datenelementtypen mit Klassifikationsschema für elektrische Bauteile
 - Teil 1: Regeln und Definitionen → Allgemeines Merkmalmodell
 - Teil 2: EXPRESS Datenmodell → Datenmodell
 - Teil 4: IEC Nachschlagewerk für genormte Datenelementtypen, Bauteilklassen und Terme → frei verfügbarer Online-Katalog

IEC 61360/DIN EN 61360

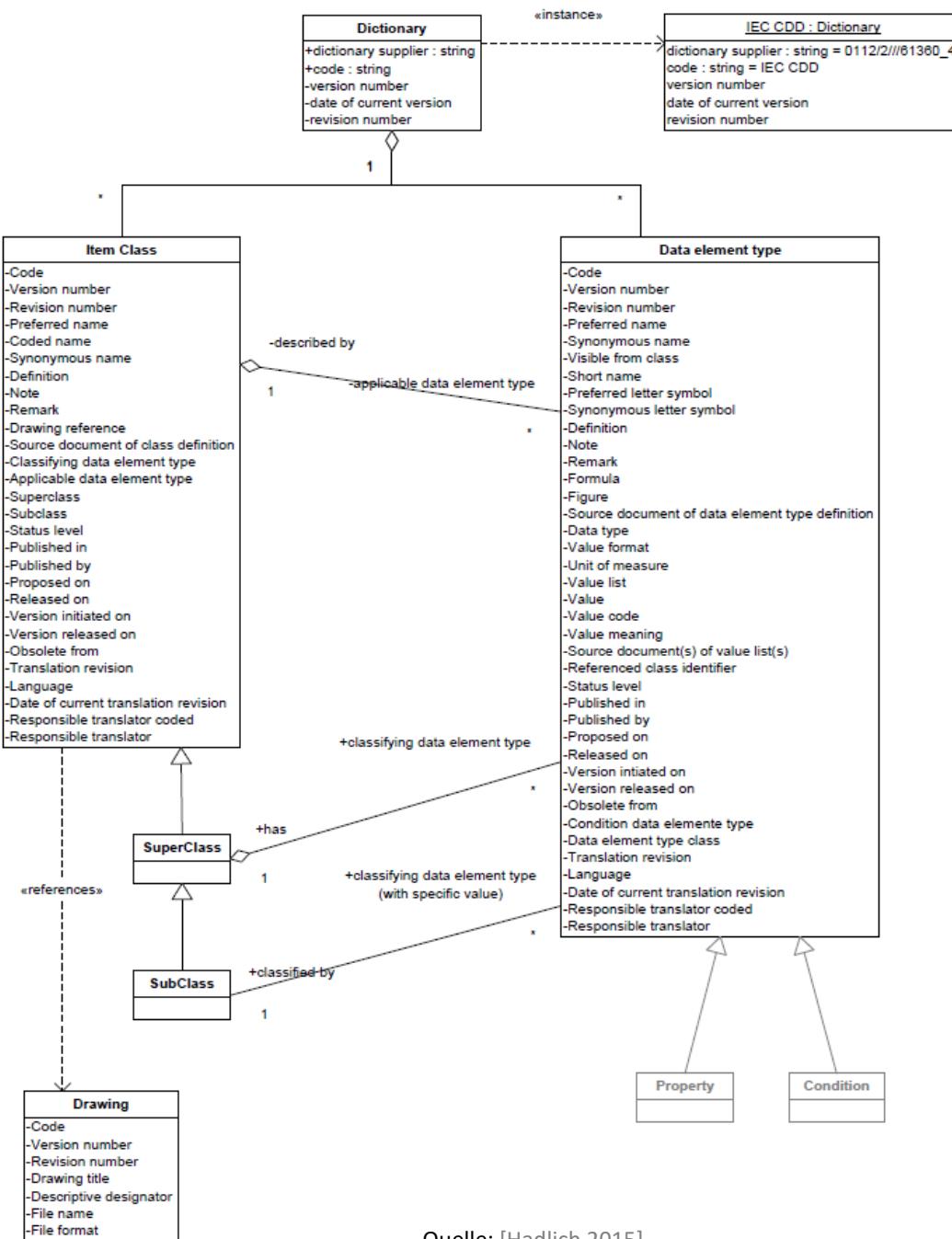
- IEC 61360-1 definiert folgende ISO/IEC-11179-konforme Konzepte:
 - *data element type* (Datenelementtyp)
 - *item class* (Itemklasse)
- Der Datenelementtyp wird in der deutschen Version der Norm als „Informationseinheit, deren Identifikation, Beschreibung und Wertdarstellung festgelegt sind“, beschrieben.



Quelle: [Hadlich 2015]

IEC 61360/DIN EN 61360

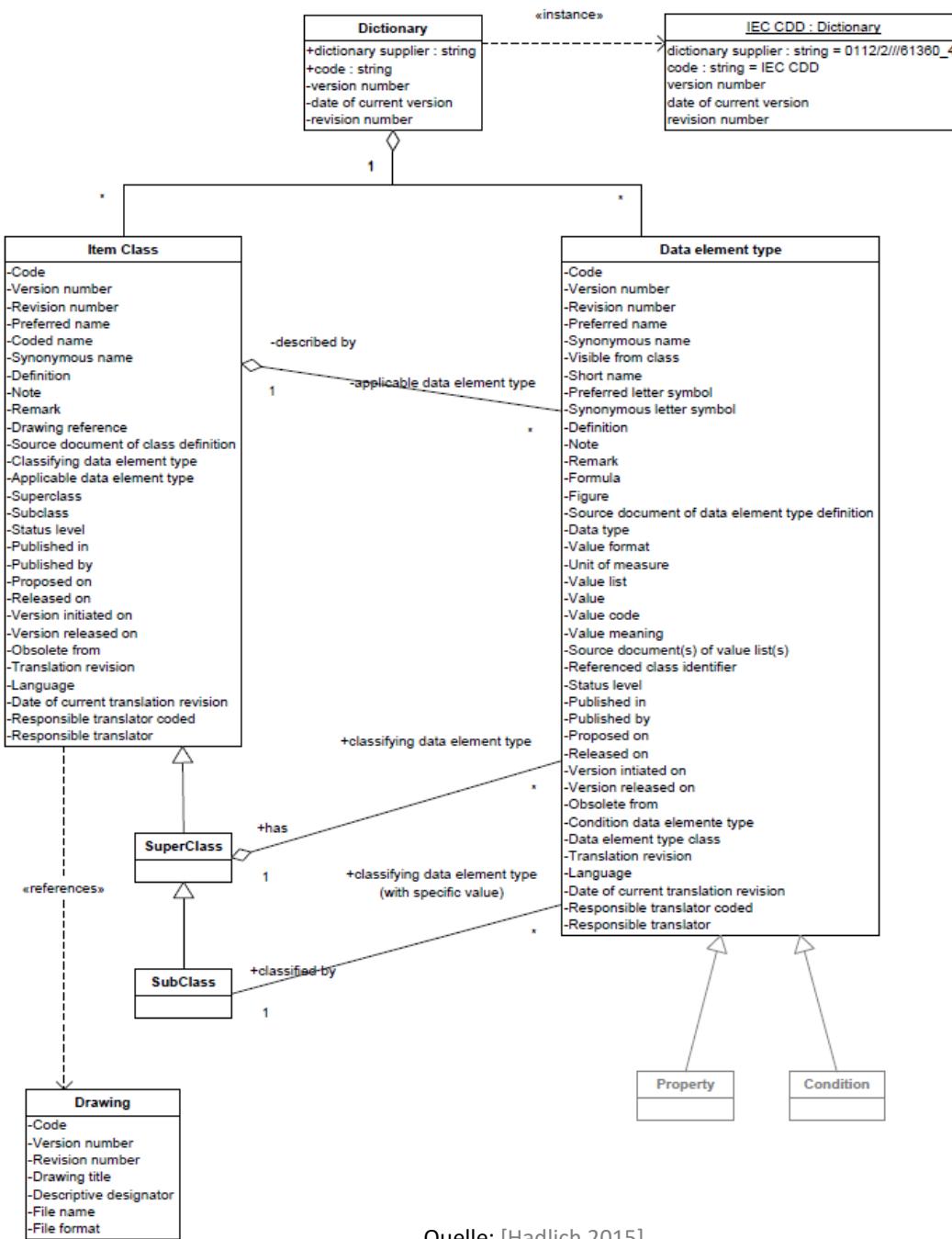
- Datenelementtypen (DET) werden den abstrakten Itemklassen (*item class*) zugeordnet:
 - *super class* (Superklasse)
 - *sub class* (Unterklasse).
- Es kann eine Klassifizierungshierarchie definiert werden, bei der Unterklassen die Zuordnung von DET von den Superklassen erben und ihnen weitere DET zugeordnet werden können.
- Die Klassifizierung geschieht nach der Norm dadurch, dass sie „durch dieselbe Gruppe von Datenelementtypen beschrieben werden kann“:
 - Werte der *classifying DET* (klassifizierende Datenelementtypen).



Quelle: [Hadlich 2015]

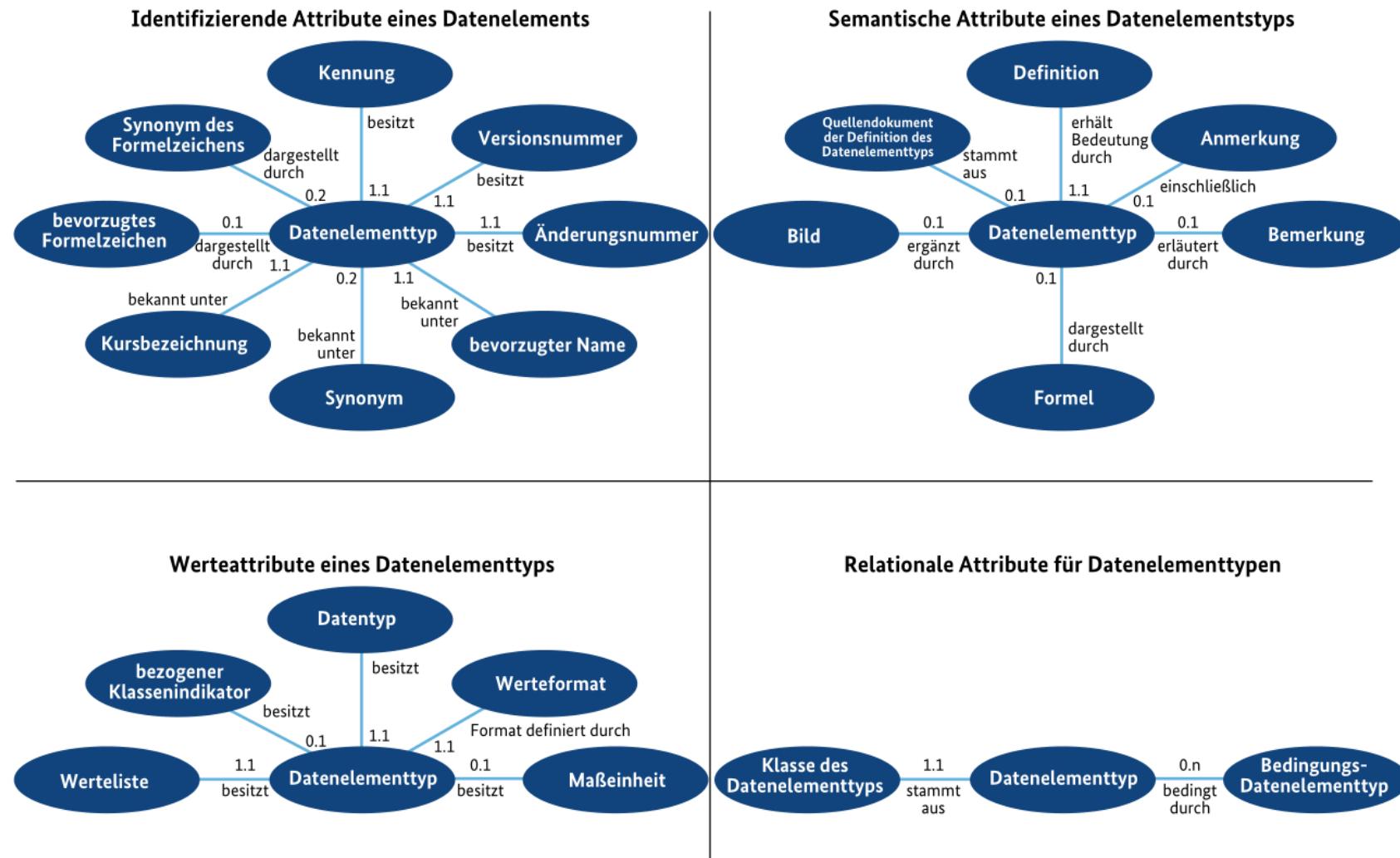
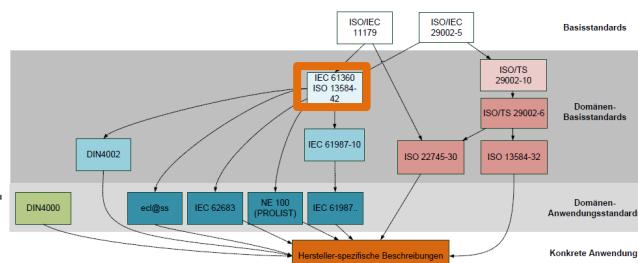
IEC 61360/DIN EN 61360

- Der Begriff des Merkmals wird
 - nicht direkt äquivalent zu Datenelementtypen gebraucht, sondern
 - definiert als „Eigenschaft eines Bauteils, die in einer *Klassenstruktur* und einer *Menge von Datenelementtypen* erfasst werden kann und die nicht unabhängig vom Bauteil bestehen kann“.
- Normungsziel sind die Attribute, die zur Definition von Datenelementtypen verwendet werden.
- Attribute sind als „Kombination einer Assoziation und einer Entität“ zu verstehen, die mit einem Datenelementtyp verbunden ist



Quelle: [Hadlich 2015]

IEC 61360/DIN EN 61360



Quelle: [Adolphs 2016]

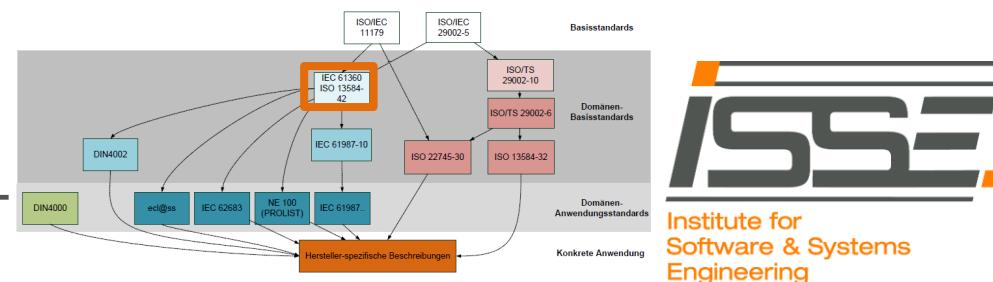
Identifizierende Attribute:

- Attribute für eine global eindeutige Identifikation jedes Datenelementtyps.
- Attribut „Kennung“ (*code*), das durch normierte Vorgaben (vgl. RAI) eine weltweite Adressierung ermöglicht. Diese Identifikation ist auch über eine entsprechende Bauteilklassifikation möglich.
- Weitere identifizierende Attribute betreffen Bezeichnung und Versionierung

Semantische Attribute:

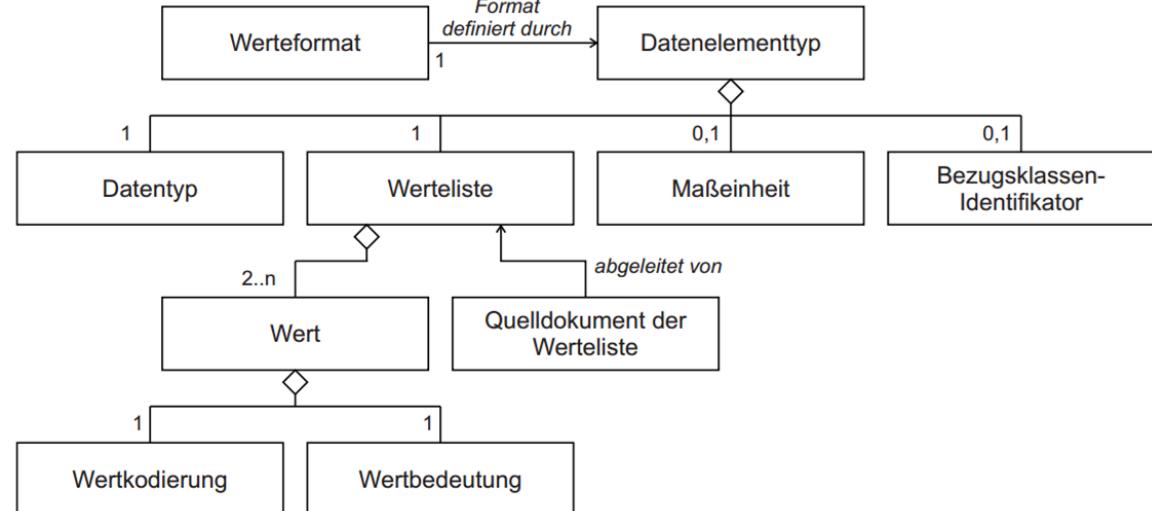
- Attribute, die informell durch natürliche Sprache den Datenelementtyp definieren und erklären.
- Auch ein erläuterndes Bild, eine mathematische Darstellung durch eine Formel sowie Quellendokumente, die zur Definition beitragen, können ebenfalls dargestellt werden

IEC 61360/DIN EN 61360

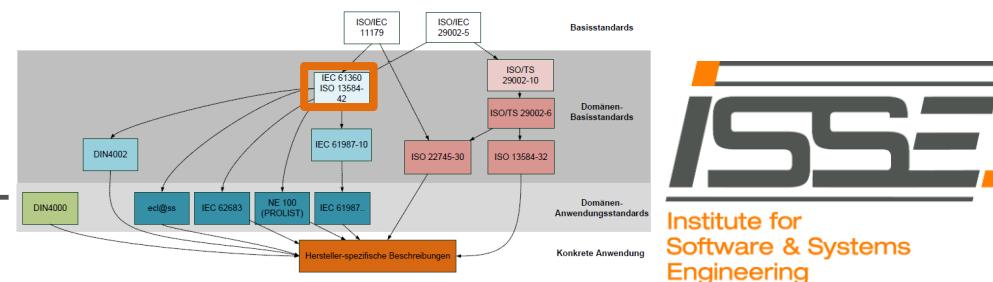


• Wertattribute:

- Attribute, die den Wert eines Datenelementtyps definieren.
- Attribut „Datentyp“ (*data type*) gibt ähnlich wie bei Programmiersprachen den formalen Datentyp des Wertes an, wobei dieser sowohl einfache (ganze Zahl, Gleitkommazahl) als auch komplexe Datentypen (Listen, Felder, Mengen) umfassen kann.
- Weitere Attribute betreffen die Einheit des Wertes sowie eine optionale Referenz zu einer Bezugsklasse.



IEC 61360/DIN EN 61360



- **Relationale Attribute:**

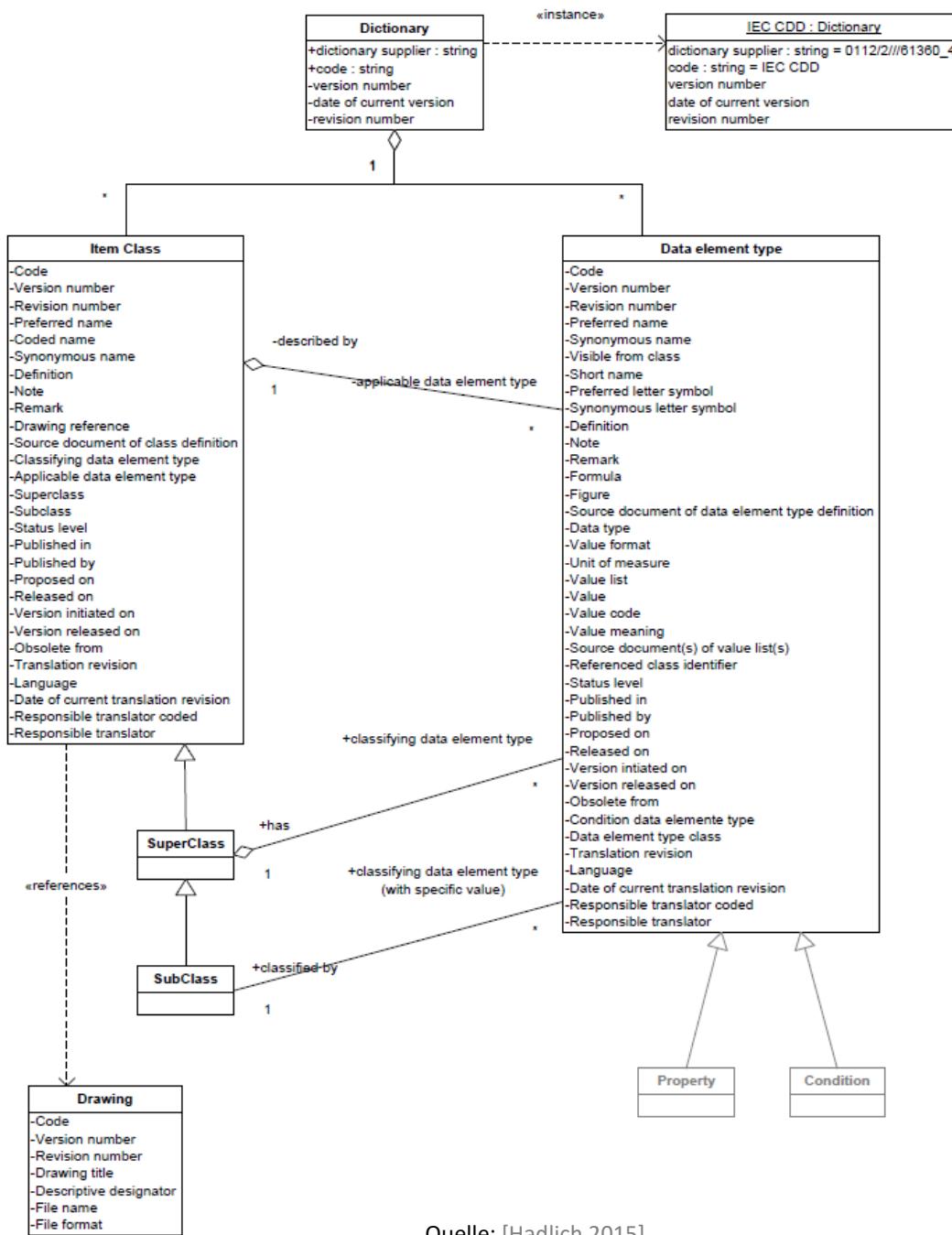
- Hierarchische Klassifikationsstrukturen, indem von einem Datenelementtyp auf den in der Hierarchie übergeordneten verwiesen wird.
- Die Norm macht keinen Unterschied zwischen dem Mechanismus der Klassifikation (Klassen-Klassen-Beziehung) und der Klassifizierung (Instanz-Klassen-Beziehung).

- **Administrative Attribute:**

- Attribute, die wichtige Eckdaten zum Workflow und zur Historie eines Datenelementtyps enthalten.
- z.B. Einführungsdatum, Änderungsdatum, Gültigkeitsdauer, der Name der einpflegenden Partei oder der aktuelle Normungsstatus des Elements.

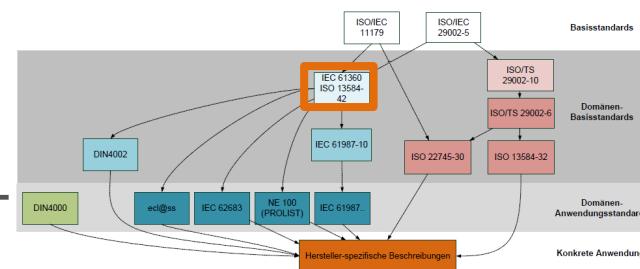
IEC 61360/DIN EN 61360

- Es wird ein Standard-Wörterbuch für die IEC mit dem Identifikator „IEC CDD“ definiert.
- Dieses Wörterbuch ist allgemein als *IEC Common Data Dictionary (IEC CDD)* bekannt.
- Die RAI für das IEC CDD lautet „0112/2///61360_4“

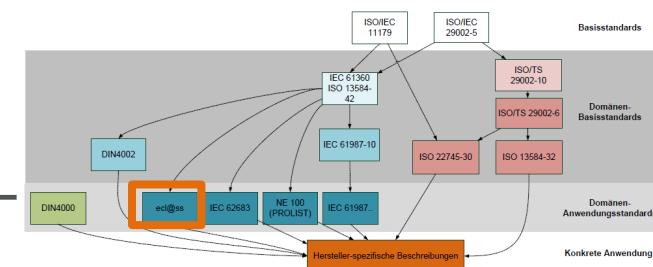


Quelle: [Hadlich 2015]

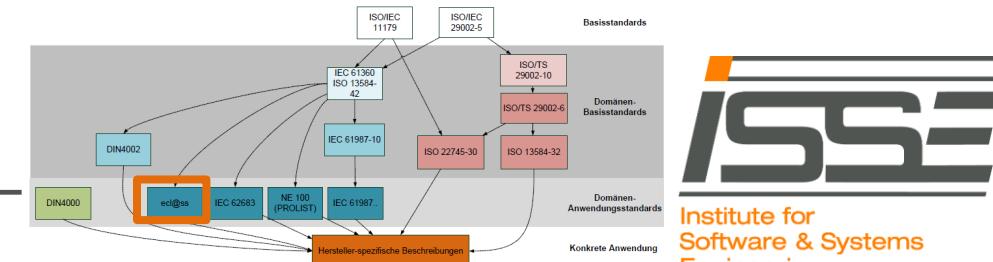
IEC 61360/DIN EN 61360



IEC 61360 - Common Data Dictionary
<http://cdd.iec.ch/cdd/iec61360/iec61360.nsf>



- eCl@ss ist ein branchenübergreifender Produktdatenstandard für die Klassifizierung und Beschreibung von Produkten und Dienstleistungen.
- Die Nutzung von eCl@ss als standardisierte Grundlage für eine Warengruppenstruktur in ERP-Systemen ist weit verbreitet.
- Das Datenmodell basiert auf IEC 61360 bzw. ISO 13584-42
- Für jedes Element gibt es einen Identifier, der auf den Standards ISO/IEC 11179-6, ISO 29002 und ISO 6523 beruht



- Der eCl@ss Standard ist ein hierarchisches System bestehend aus vier Hierarchieebenen:
 - Sachgebiet (Ebene 1),
 - Hauptgruppe (Ebene 2),
 - Gruppe (Ebene 3) und
 - Untergruppe (Ebene 4).
- Auf der 4. Ebene (Untergruppe) stellt eCl@ss Merkmalleisten zur Verfügung.
- Merkmale ermöglichen die detaillierte Beschreibung von Produkten und Dienstleistungen
- Suche in eCl@ss nach Klassen, Merkmalen und Werten:
<http://www.ecl@sscontent.com/index.php>

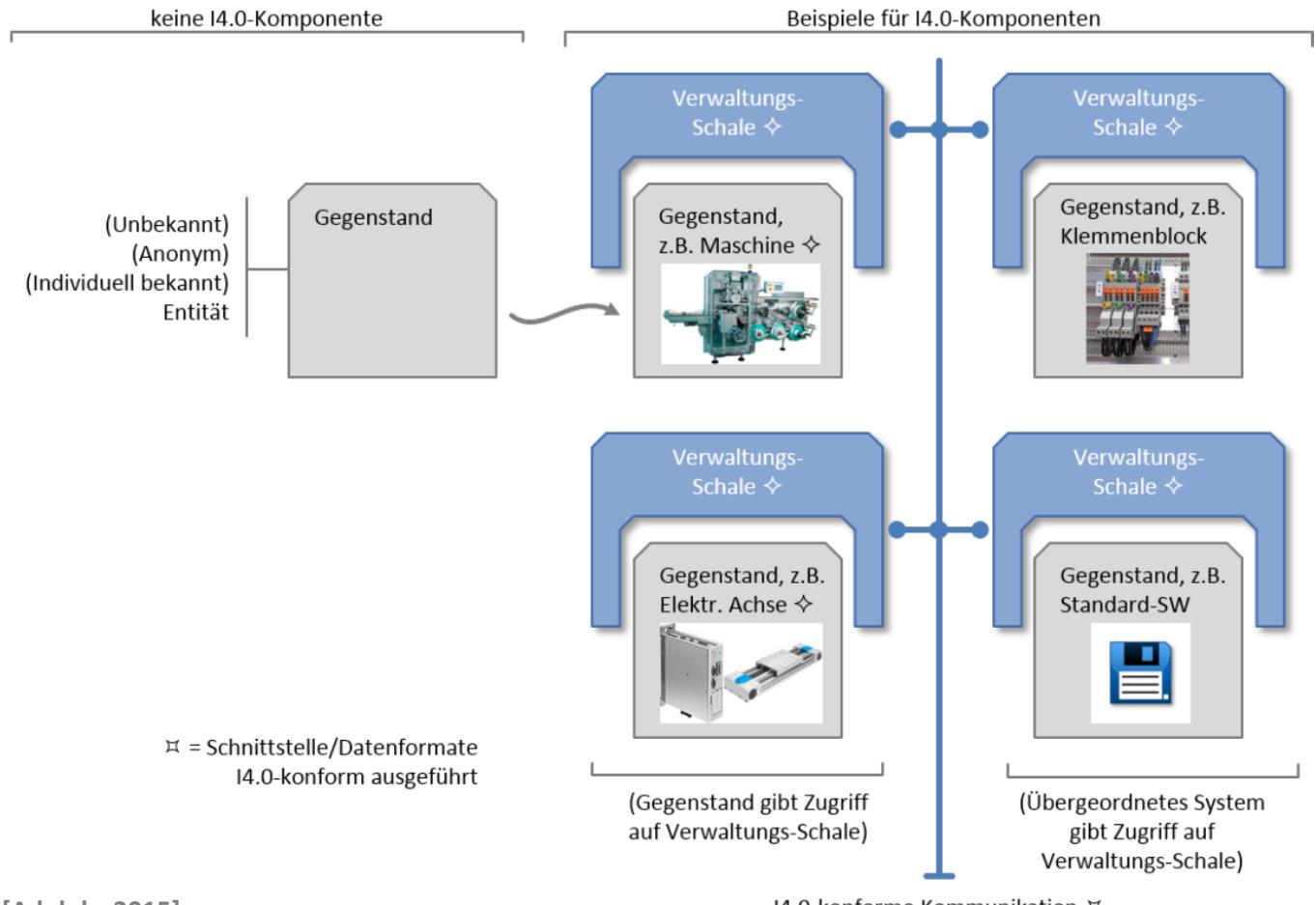
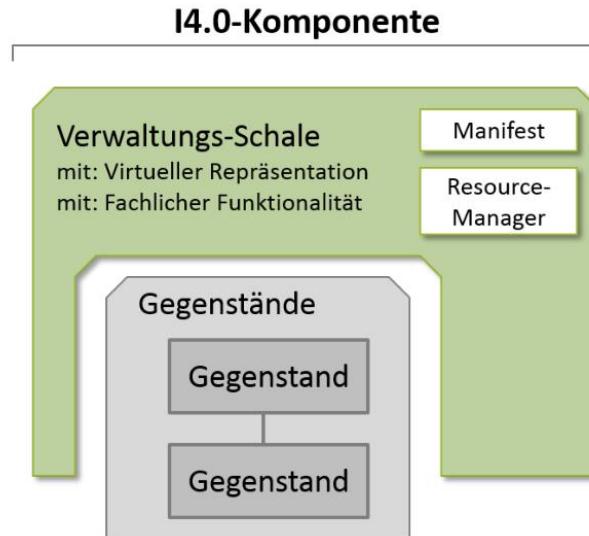


- Merkmale und ihre elektronischen Datenverzeichnisse dienen zur
 - eindeutigen Identifikation von Hierarchien, Klassen und Eigenschaften und ihrer Relationen,
 - führen eine gemeinsame, verbreitete Terminologie ein und
 - führen verschiedene Attribute (SI-Einheit, Erklärung, Datentyp) zu einer technischen Repräsentation einer Eigenschaft zusammen
- Sie können somit als Grundbausteine bzw. Wörter einer gemeinsamen Sprache zwischen den verschiedenen Entitäten der Industrie 4.0 betrachtet werden.

Verwaltungsschale: Idee

- **Idee:** Eine „Verwaltungs-Schale“ macht einen Gegenstand zu einer I4.0-Komponente.

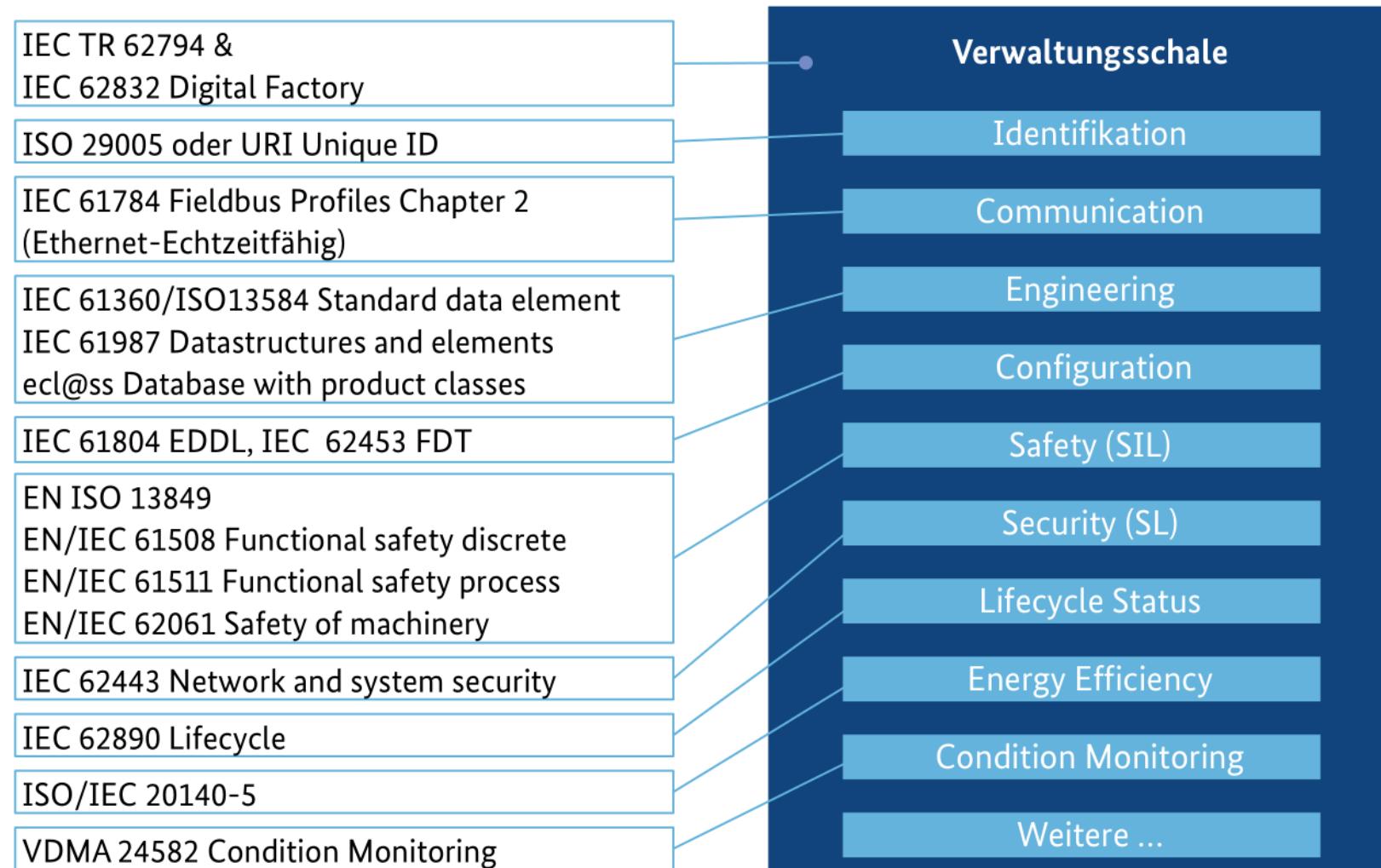
- Die Verwaltungs-Schale umfasst
 - die Virtuelle Repräsentation und
 - die fachliche Funktionalität des Gegenstands



Quelle: [Adolphs 2015]

Merkmale und die Verwaltungsschale

Beispiele für Inhalte der Verwaltungsschale



Quelle: [Adolphs 2016]

- Komponenten in Industrie 4.0 benötigen für unterschiedliche Gewerke, unterschiedliche Lebenszyklusphasen und unterschiedliche Anwendungs- und Analyseszenarien

- **Harte Standards** für die Absicherung von Kernaufgaben einer Domäne, welche Verbindlichkeit für eine jeweils kleine Menge von Merk malen vorgeben.
- **Konsensuale oder kalte Standards** für eine kontinuierliche Steigerung der Interoperabilität (z.B. übergreifende Datenformate (z.B. STEP) und Merkmalsmengen (z.B. eCl@ss)).
- **Freie Merkmalsmengen** werden etwa durch unterschiedlichste Datenformate oder interne oder Firmenstandards gebildet.

Verschiedene Mengen von Merkmals-Definitionen



Quelle: [Adolphs 2016]

Empfohlene und weiterführende Literatur (1)

- [Adolphs 2015] Peter Adolphs et al.: „Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)“; Statusreport; April 2015; VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik und ZVEI e.V.
- [Adolphs 2016] Peter Adolphs et al.: „Struktur der Verwaltungsschale“; Ergebnispapier; April 2016; BMWi
- [ISA 88] Batch Control Part 1: Models and Terminology; ANSI/ISA-88.01-1995
- [Gilchrist 2016] Alasdair Gilchrist: “Industry 4.0”; apress; 2016
- [GMA 2014] „Gegenstände, Entitäten, Komponenten“; Statusreport; April 2014; VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik
- [BMWI 2019a] Verwaltungsschale in der Praxis; Diskussionspapier; <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2019-verwaltungsschale-in-der-praxis.html>
- [BMWI 2019b] Verwaltungsschale im Detail; Übersicht; <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2019-verwaltungsschale-im-detail-flyer.html>

Empfohlene und weiterführende Literatur (2)

- [Adolphs 2016] Peter Adolphs et al.: „Struktur der Verwaltungsschale“; Ergebnispapier; April 2016; BMWi
- [eCl@ss] eCl@ss e.V.: Klassifikation und Datenbank Version 8.0/Alle Klassen und Merkmale,
<http://www.eclass.eu>
- [Hadlich 2011] Thomas Hadlich: „Verwendung von Merkmalen im Engineering von Systemen“, Diss., 2015
- [IEC TR 62794] IEC: IEC TR 62794, Industrial-process measurement, control and automation; Generic reference model for the Digital Factory and automation assets
- [IEC 61360] IEC: IEC 61360-1-4, Standard data element types with associated classification scheme for electric components.
- [Mertens 2011] Martin Maertens: „Verwaltung und Verarbeitung merkmalbasierter Informationen: vom Metamodell zur technologischen Realisierung“, Diss., 2011