

# Charakteristik intelligenter Objekte in einer digitalisierten Logistik

Marcus Lewin und Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg

**Im Zuge der Digitalisierung und Industrie 4.0 werden Objekte und Systeme in der Logistik zunehmend mit Informations- und Kommunikationstechnologien ausgestattet, was mit neuen Funktionalitäten einhergeht. Solche intelligenten Objekte ermöglichen innerhalb von Supply Chains eine hochauflösende Darstellung von Prozessen und unterstützen deren Steuerung. Parallel steigen die Möglichkeiten und Varianten bei der technischen Gestaltung und Integration von intelligenten Objekten. Dies stellt Unternehmen vor neue Herausforderungen in der Beherrschung der steigenden Komplexität. Zur Handhabung dieser Komplexität wird in diesem Beitrag ein Ansatz zur systematischen Strukturierung von Objekten in einer vernetzten Logistik hinsichtlich Funktion, Aufbau sowie Abhängigkeiten in einem Gesamtsystem vorgestellt.**

Bei der Gestaltung von logistischen Prozessen werden durch die Digitalisierung zusätzliche Möglichkeiten der Steuerung geschaffen. Ein zentrales Element bildet hierbei die Verknüpfung von realer und virtueller Welt auf Basis von intelligenten Objekten [1]. Intelligente Objekte können allgemein als materielle Gegenstände definiert werden, welche mit eingebetteten Informations- und Kommunikationstechnologien (z. B. Sensoren, Aktuatoren, Schnittstellen, Informationsverarbeitung) erweitert wurden [2, 3]. Die originären physischen Funktionen werden hierdurch um zusätzliche digitale Funktionen ergänzt, welche einen substantziellen Mehrwert schaffen [4, 5]. Materielle Objekte könnten hierbei alle Komponenten von logistischen Systemen umfassen, wie Behälter, Produkte, Materialien, Lager, Transport- und Lagerhilfsmittel, Fördersysteme oder Transportstrecken. Zu den physischen Funktionen gehören hierbei u. a. Lagern, Kommissionieren, Sortieren, Transportieren oder Fördern.

Durch die Komplexität und Vielfalt der technischen Gestaltungsmöglichkeiten wird eine zielgerichtete und effiziente Integration von intelligenten Objekten in logistischen Systemen erschwert. Dies verschärft sich durch die Interdisziplinarität des Themenfelds und durch unterschiedliche technologische Reifegrade vorhandener Lösungen.

Ziel dieses Beitrags ist es, intelligente Objekte in logistischen Systemen generisch zu beschreiben und deren systematische technische Gestaltung zu unterstützen. Zu diesem Zweck werden zu-

nächst bestehende Definitionen und Klassifikationen von intelligenten Objekten analysiert. Basierend hierauf werden generische Funktionen von intelligenten Objekten in einer zunehmend digitalisierten Logistik systematisiert und beschrieben. Anschließend wird eine allgemeine Architektur zur Gliederung und Strukturierung des Aufbaus von intelligenten Objekten dargestellt. Zur Beschreibung von Zusammenhängen und Abhängigkeiten von intelligenten Objekten in logistischen Systemen wird abschließend ein Beschreibungsmodell eingeführt und diskutiert.

## Bestehende Klassifikationen von intelligenten Objekten

Intelligente Objekte können über die Funktion oder über die Aufbaustruktur beschrieben werden. Bestehende Klassifikationen fokussieren sich häufig auf einen dieser Aspekte. Der Einfluss von intelligenten Objekten durch Funktionen zur Informationssammlung, -speicherung, -verarbeitung, Kommunikation und Aktionsausführung wird in [5] dargestellt. In [2, 6] wird die Rolle von intelligenten Objekten in industriellen Supply Chains mit verschiedenen Definitionen von Grundfunktionen bzw. Levels beschrieben. [7-9] stellen Anwendungen im Ubiquitous Computing vor und kategorisieren notwendige Basisfunktionen. In [10-12] werden Basistechnologien, Dimensionen und Kriterien für Einsatzmöglichkeiten und die Selbststeuerung in der Logistik beschrieben.

## Characteristic of Intelligent Objects in a Digitized Logistics

As a result of digitization, logistics objects and systems are increasingly being equipped with information and communication technologies, which is accompanied by new functionalities. Such smart objects enable a high-resolution representation of processes within a supply chain and support their control. At the same time, the variations in the technical design and integration are increasing. For the handling of complexity, an approach for a systematic structuring of objects in logistics with regard to function, structure and dependencies is presented.

### Keywords:

smart objects, Industry 4.0, ICT, logistics



M. Sc. Marcus Lewin ist seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg. In seiner Forschung beschäftigt er sich mit der systematischen Gestaltung und Optimierung von logistischen Systemen mit Industrie 4.0-Technologien.



Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay ist Leiter des Instituts für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg. Er ist Mitglied im Forschungsbeirat und in der AG 2 „Technologie- und Anwendungsszenarien“ der Plattform Industrie 4.0.

lewinn@hsu-hh.de  
www.hsu-hh.de/aut

**Bild 1: Übersicht bestehender Klassifikationen.**

Autor	Kurzbeschreibung	Funktionen							Aufbau							
		Identifikation	Lokalisierung	Objektinformation / Datenspeicherung	Überwachung/ Monitoring	Kommunikationsfähigkeit	Automatische Transaktion	Aktion	materielles Objekt	Identifikator	Aktorik	Sensorik	Informationsspeicherung	Informationsverarbeitung	Maschinenkommunikation	Nutzerkommunikation
Nochta 2008 [5]	Smart items	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sánchez López et al 2011 [2]	Smart object model	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Wong et al 2002 [6]	Product intelligence levels	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Tellkamp 2005 [7]	Generische Anwendungen im Ubiquitous Computing	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Schoch, Strassner 2003 [8]	Basisfunktionen von smarten Dingen	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Scholz-Reiter et al 2005 [9]	Basistechnologien für logistische Objekte	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Diekmann 2007 [10]	Basisfunktionalitäten von RFID und Embedded Devices	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Preiß, Klötzer, Pflaum 2013 [11]	Funktionsumfänge von RFID-Technologien in der Logistik	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Böse, Windt 2007 [12]	Kriterienkatalog zur autonomen Steuerung in der Logistik	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Gausemeier et al 2013 [13]	Intelligenten technische Systeme	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
VDI 2004 [14]	Gestaltung mechatronischer Systeme	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Fortino et al 2014 [15]	Klassifikation von Cyberphysical Smart Objects	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Deindl 2013 [3]	Grundfunktionen intelligenter Objekte	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Adolphs et al 2015 [16]	Industrie 4.0 Komponente	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Fokussierend auf die Aufbaustruktur beschreiben [13, 14] Technologiekonzepte, in denen Grundsysteme mit Informationsverarbeitung, Kommunikationssystem, Sensorik und Aktorik erweitert werden. In [1, 15] wird die Aufbaustruktur von intelligenten Objekten im Internet der Dinge definiert. In [3, 9] werden intelligente Objekte über deren Anwendungsfelder in unterschiedlichen Unternehmensbereichen systematisiert. Dabei wird von typischen Anwendungen über Funktionen auf mögliche Aufbaustrukturen von intelligenten Objekten geschlossen.

Im Rahmen von Industrie 4.0 werden in [16] Industrie 4.0-Komponenten als individuell bekannte Gegenstände mit einer mindestens passiven Kommunikationsfähigkeit beschrieben, welche Daten und Funktionen in einem Informationssystem austauschen können. Dies ermöglicht eine virtuelle digitale und aktive Repräsentanz von Industrie 4.0-Komponenten mittels einer Verwaltungsschale. Bild 1 zeigt eine zusammenfassende Übersicht der dargestellten Klassifikationen hinsichtlich Funktion und Aufbaustruktur.

### Beschreibung generischer Funktionen von intelligenten Objekten

Wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, werden bestehende Klassifikationen von intelligenten Objekten sowohl durch Beschreibung des Aufbaus als auch durch Beschreibung von zusätzlichen Funktionen charakterisiert. Diese Zusatzfunktionen können originäre Aufgaben des Material- und Güterflusses durch die Bereitstellung von erweiterten Daten- und Informa-

tionsflüssen unterstützen, zu höherer Transparenz in Logistiksystemen sowie zu verbesserten Planungs- und Steuerungsentscheidungen führen. Hierbei wurden die Kernaspekte der bestehenden Beschreibungen kategorisiert und hierauf aufbauend sieben generische Funktionen definiert. Einzelne Objektfunktionen können sowohl direkt am Objekt oder mittels Verknüpfung über einen Identifikator von anderen Systemelementen, z.B. über einen digitalen Zwilling in der Cloud, abgebildet werden.

Identifizierbarkeit beschreibt die Funktion eines Objektes eindeutig wiedererkannt zu werden. Innerhalb von logistischen Systemen stellt diese Funktion eine wesentliche Grundlage zur automatisierten Steuerung, Verwaltung und Kontrolle von Prozessen dar.

Als zweite Funktion wird durch die Lokalisierbarkeit der Ort eines Objektes eindeutig ermittelt. Die Ermittlung des Standortes stellt einen der wichtigsten beobachtbaren Parameter eines sich bewegenden Objekts in logistischen Systemen dar.

Speicherung zusätzlicher Objektinformationen beinhaltet Informationen über das Objekt selbst oder seine Umgebung, welche über die reine Identität oder den Ort hinausgehen. Die gespeicherten Informationen können einerseits vorab festgelegt und somit statisch sein. Andererseits können zusätzliche Objektinformationen während des Lebenszyklus des Objektes dynamisch verändert und aktualisiert werden.

### Literatur

- [1] Kagermann, H.: Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; ten Hompel, M. (Hrsg): Handbuch Industrie 4.0 Bd.4. Berlin Heidelberg 2017, S. 237-248.
- [2] Sánchez López, T. et al: Taxonomy, technology and applications of smart objects. In: Information Systems Frontiers 13 (2011) 2, S. 281-300.
- [3] Deindl, M.: Gestaltung des Einsatzes von intelligenten Objekten in Produktion und Logistik. Aachen 2013.
- [4] Mattern, F.; Flörkemeier C.: Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge. In: Informatik-Spektrum 33 (2010) 2, S. 107-121.
- [5] Nochta, Z.: Smart Items in Real Time Enterprises. In: Mühlhäuser, M.; Gurevyich, I. (Hrsg): Handbook of research on ubiquitous computing technology for real time enterprises. Hershey 2008, S. 211-228.
- [6] Wong, C.Y. u. a.: The intelligent product driven supply chain. In: SMC2002: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 2002.
- [7] Tellkamp, C.: Finanzielle Bewertung von Ubiquitous-Computing-Anwendungen. In: Fleisch, Mattern (Hrsg): Das Internet der Dinge. Berlin 2005, S. 315-327.

Die Funktion Überwachung/Monitoring beschreibt die autonome Ermittlung und Sammlung von Informationen und sich dynamisch ändernden Parametern eines Objektes über sich selbst oder seine Umgebung. Aus diesen Informationen kann der Zustand eines Objekts oder seiner Umgebung bestimmt werden. In diesen Bereich fallen insbesondere Informationen über Temperatur, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Bewegung, Druck, Feuchtigkeit, Lichtintensität oder mechanische Beanspruchung.

Kommunikationsfähigkeit beschreibt die Fähigkeit eines Objektes, Informationen mit seiner Umwelt (andere Objekte, Informationssysteme oder Menschen) auszutauschen. Dieser Bereich umfasst Austausch, Bereitstellung, Übermittlung und Aufnahme von Nachrichten.

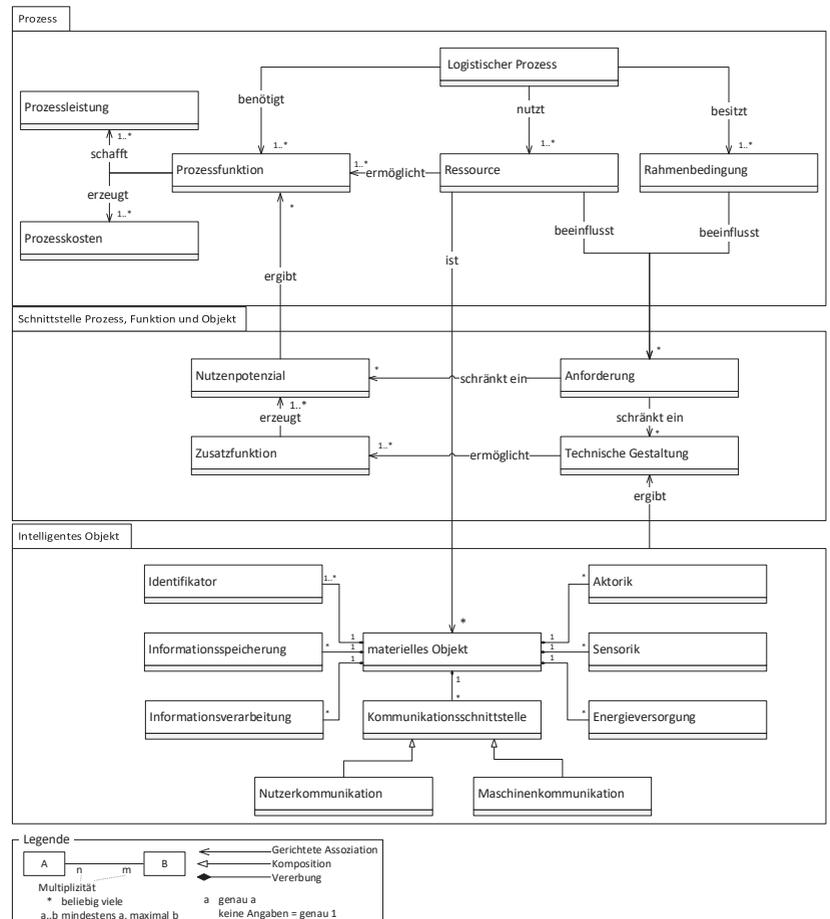
Automatische Transaktion im Sinne einer Reaktion beschreibt die Fähigkeit eines Objektes, einfache Abfragen zu verarbeiten. Hierzu zählen einfache arithmetische, logische oder statistische Operationen, welche bei dem Eintreten bestimmter Ereignisse ausgeführt werden.

Aktionen beschreiben die eigenständige Durchführung von Informationsverarbeitung, -auswertung und das Treffen von Entscheidungen. Die getroffenen Entscheidungen können von den Objekten selbstständig durch geeignete Maßnahmen, sowohl digital als auch physisch, im Sinne eines technischen Agenten verfolgt werden [17]. Hierdurch kann das Objekt sowohl den eigenen Zustand, als auch den Zustand von anderen Objekten und Systemen durch Aktionen aktiv verändern.

### Architektur zur technischen Gestaltung für intelligente Objekte

Jede der sieben generischen Funktionen erfordert unterschiedliche informations- und kommunikationstechnologische Erweiterungen von materiellen Objekten. Basierend auf bestehenden Systematiken [3, 9, 13-15] wird im Folgenden eine allgemeine Architektur von intelligenten Objekten vorgestellt. Diese beinhaltet die Komponenten Identifikator, Informationsspeicher, Möglichkeiten zur Informationsverarbeitung, Kommunikationsschnittstellen, Aktorik, Sensorik und Energieversorgung. Der untere Abschnitt von Bild 2 visualisiert die Architektur von intelligenten Objekten als UML-Diagramm.

Als Mindestanforderung muss ein intelligentes Objekt einen eindeutigen Identifikator besitzen (z. B. optische Codes, RFID, IP-Adressen). Der Identifikator muss von anderen Objekten und Systemen mindestens passiv erfasst werden können



und entspricht somit der Mindestanforderung an ein Industrie 4.0-Objekt [16]. Die weiteren Strukturelemente können zusätzlich eingesetzt werden, um weitere Funktionen zu ermöglichen.

Neben dem Identifikator können durch Informationsspeicher zusätzliche Objektinformationen oder Sensorinformationen gespeichert werden. Die Möglichkeit zur Informationsverarbeitung kann eingebettet im intelligenten Objekt oder in externen Systemen erfolgen. Eine Kommunikationsschnittstelle dient zur kabelgebundenen oder drahtlosen Kommunikation und kann zur Nutzerkommunikation (z. B. Displays, Kontrollleuchten) oder zur Maschinenkommunikation (z. B. Bluetooth, WLAN) eingesetzt werden. Sensorik erfasst Daten in Bezug auf den Zustand des Objekts sowie dessen Umwelt. Aktorik löst physische Aktionen aus und kann getroffene Entscheidungen durch Manipulation der Umgebung ausführen. Zur Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien ist häufig eine Energieversorgung notwendig, welche netzgebunden oder mobil erfolgen kann (z. B. Batterien, Netzanschluss).

Zwischen den generischen Funktionen und der vorgestellten Architektur bestehen unterschiedliche Abhängigkeiten. Im Wesentlichen stellen die technischen Komponenten die Grundlage für die

**Bild 2: Architektur von intelligenten Objekten und Integration in logistische Systeme.**

[8] Schoch, T.; Strassner, M.: Wie smarte Dinge Prozesse unterstützen. In: Sauerburger (Hrsg): Ubiquitous Computing. Heidelberg 2003, S. 23-32.  
 [9] Diekmann, T.: Ubiquitous Computing-Technologien im betrieblichen Umfeld. Göttingen 2007.  
 [10] Scholz-Reiter, B. u. a.: Auf dem Weg zur Selbststeuerung in der Logistik-Grundlagenforschung und Praxisprojekte. In: Begleitband zur 11. Magdeburger Logistiktagung. Magdeburg 2005, S. 166-180.  
 [11] Preiß, H.; Klötzer, C.; Pflaum, A.: Einsatz und Auswahl von RFID-Systemen in der Logistik. In: WiSt - Wirtschaftswissenschaftliches Studium 42 (2013) 2, S. 63-68.  
 [12] Böse, F.; Windt, K.: Catalogue of Criteria for Autonomous Control in Logistics. In: Windt, Hülsmann (Hrsg): Understanding autonomous cooperation and control in logistics. Berlin New York 2007, S. 57-72.

Architekturelemente \ generische Funktionen	Identifizierbarkeit	Lokalisierbarkeit	Speicherung Objektinformation	Überwachung/ Monitoring	Kommunikationsfähigkeit	Automatische Transaktion	Aktion
Identifikator	●	○	○	○	○	○	○
Kommunikationsschnittstelle	○	●	○	○	●	●	●
Informationsspeicherung	○	○	●	●	○	●	●
Informationsverarbeitung	○	○	○	○	○	●	●
Sensorik	○	○	○	○	○	○	○
Aktorik	○	○	○	○	○	○	○
Energieversorgung	○	○	○	○	○	○	○

Legende: ● wird benötigt  
○ wird teilweise benötigt

**Bild 3: Zusammenhang von generischen Funktionen und Architekturelementen.**

Erfüllung der Funktionen dar. Bild 3 stellt diese Zusammenhänge dar. Hierbei wird deutlich, dass die generischen Funktionen unterschiedliche Komplexitäten besitzen und somit auch unterschiedliche technische Komponenten benötigen. So wird beispielsweise zur reinen Identifikation nur ein Identifikator benötigt. Zur Durchführung von Aktionen werden hingegen Möglichkeiten zur Informationsspeicherung, Informationsverarbeitung und Kommunikationsschnittstellen benötigt. Parallel bauen generische Funktionen teilweise aufeinander auf. So ist beispielsweise die eindeutige Identifikation eine Grundlage für eine zweckmäßige Kommunikationsfähigkeit in einem logistischen System.

### Implikationen von intelligenten Objekten für Logistische Systeme

Neben den generischen Funktionen und der Architektur von einzelnen intelligenten Objekten ist deren Einfluss auf Systemebene relevant. Bild 2 zeigt hierfür ein Beschreibungsmodell, welches explizit die Zusammenhänge zwischen Prozessen, intelligenten Objekten sowie deren Schnittstellen thematisiert.

Für einen Prozess, als Beschreibung der Leistungserbringung, werden Ressourcen genutzt, um eine erforderliche Prozessfunktion zu ermöglichen. Ein logistischer Prozess kann z. B. den Transport von Materialien (Funktion) unter Nutzung von Flurförderzeugen (Ressource) beinhalten. Neben der Prozessleistung werden ebenfalls Kosten (z.B. Personalkosten, Maschinenkosten) durch Prozessfunktionen erzeugt. Prozesse besitzen bestimmte Rahmenbedingungen (z. B. vorgegebene Fahrwege oder maximale Zuladungen), welche Ressourcen und deren Funktionen positiv oder negativ beein-

flussen können und somit als Grundlage für die Definition von Anforderungen dienen. Intelligente Objekte werden als Ressourcen für die Erfüllung einer Prozessfunktion benötigt und somit innerhalb eines Prozesses genutzt.

Die Schnittstelle Prozess, Funktion und Objekt bildet Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Prozessen und intelligenten Objekten ab. Ausgangspunkte hierfür bilden auf der einen Seite die Anforderungen aus den Rahmenbedingungen des Prozesses und der Ressource. Auf der anderen Seite bilden die Möglichkeiten der technischen Gestaltung von intelligenten Objekten, auf Basis deren Architektur, die Grundlage. Zusatzfunktionen von intelligenten Objekten sind durch die beschriebenen generischen Funktionen definiert. Durch Anforderungen, basierend auf Prozess und Ressource, können sowohl die technische Gestaltung als auch die Nutzenpotenziale eingeschränkt werden.

Im Beispiel des Materialtransportes könnte ein Flurförderzeug zur Optimierung des Routings (Nutzenpotenzial) mit einer Lokalisierung (Zusatzfunktion) ausgestattet werden. Hierfür wären als Architektur, neben einem Identifikator, auch Informationsspeicherung und -verarbeitung, eine Maschinenschnittstelle, eine Energieversorgung und Sensorik erforderlich. Die Realisierung der Sensorik wäre u.a. einem 2D-Laserscanner (technische Gestaltung) möglich. Das vorgestellte Modell kombiniert somit eine Prozesssicht sowie eine technische Sicht in einem funktionalen Rahmen und bildet eine Grundlage zur technischen Gestaltung.

### Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein Ansatz zur Strukturierung von intelligenten Objekten im Kontext von logistischen Systemen, bestehend aus generischen Funktionen und einer Architektur, vorgestellt. Anschließend wurde ein Beschreibungsmodell erarbeitet, welches den Einfluss und die Abhängigkeiten von einzelnen intelligenten Objekten und logistischen Systemen abbildet. Diese Systematisierungen reduzieren die Komplexität bei der Gestaltung von intelligenten Objekten und helfen bei der Strukturierung von Anwendungen in Unternehmen. Weiterhin können die Systematisierungen als Grundlage einer integrierten Methode, unter Berücksichtigung von Prozess- und Technologieanalysen sowie der Bewertung von Nutzenpotenzialen, im Rahmen weiterer Arbeiten eingesetzt werden.

Schlüsselwörter:  
Intelligente Objekte, Industrie 4.0, IuK-Technologie, Logistik

[13] Gausemeier, J.; Tschirner, C.; Dumitrescu, R.: Auf dem Weg zu intelligenten technischen Systemen, In: Industrie Management 29 (2013) 1, S. 1-37.  
 [14] RICHTLINIE, VDI: 2206. Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Berlin 2004.  
 [15] Fortino, G. u. a.: On the Classification of Cyberphysical Smart Objects in the Internet of Things. In: Fortino, G.; Karnouskos, S.; Marrón, P. J. (Hrsg): Proceedings of the 5th International Workshop on Networks of Cooperating Objects for Smart Cities (UBI-CITEC 2014), S. 86-94.  
 [16] Adolphs, P. et al: Statusreport - Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). 2015. URL: [https://www.vdi.de/fileadmin/user\\_upload/VDI-GMA\\_Statusreport\\_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-GMA_Statusreport_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf), Abrufdatum 03.05.2018  
 [17] RICHTLINIE, VDI/VDE: 2653-1: Agentensysteme in der Automatisierungstechnik – Grundlagen. Berlin 2010.