

Autonome Akteure in der dezentralen Produktionssteuerung

Hanna Theuer, Universität Potsdam

Der positive Nutzen dezentraler Entscheidungsstrukturen in Produktionssystemen wurde bereits in den 1990ern diskutiert. Aber erst in den letzten Jahren haben die für die Realisierung notwendigen Technologien eine ausreichende Marktreife erlangt, um entsprechende Konzepte effizient umsetzen zu können. So können die beteiligten Einheiten mittels autonomer Technologien zu einer „intelligenten“ Prozessbeteiligung befähigt werden. Einer wichtigen Bedeutung kommt dabei die Frage nach den aktiv an der dezentralen Entscheidungsfindung und -ausführung beteiligten Akteuren sowie der konkreten Ausgestaltung der dezentralen Produktionsstrukturen zu. Dieser Beitrag stellt die Bedeutung von Autonomie für die dezentrale Produktionssteuerung dar und zeigt auf, welche an dem Prozess beteiligten Akteure über die notwendigen Fähigkeiten verfügen, um autonom agieren zu können.

Dezentrale Strukturen können produzierende Unternehmen zu einem besseren Umgang mit den gestiegenen Anforderungen des Marktes befähigen [1-3]. Ziel der dezentralen Produktionssteuerung ist die Übertragung der Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung von einer zentralen an viele dezentrale Akteure [3]. Als dezentraler Akteur werden dabei sämtliche Personen und Objekte verstanden, die über die notwendigen Fähigkeiten verfügen und an dem Produktionsprozess beteiligt sind. Positive Folgen einer dezentralen Produktionssteuerung können insb. eine Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit, eine Verbesserung der Wandlungsfähigkeit des Produktionssystems, die Erhöhung der Transparenz, eine Verringerung der Prognoseanteile, die Verbesserung der Planungsqualität, eine Reduzierung der Komplexität [2] und die durch eine erhöhte Aufgabenintegration ermöglichte Erzielung von Kostenvorteilen gegenüber der zentralen Produktionssteuerung sein [4].

Bei der dezentralen Produktionssteuerung wird durch die Schaffung kleiner, weitgehend unabhängiger Akteure [2] eine Aufhebung bzw. Aufweichung der strikt voneinander abgegrenzten Hierarchie und Planungsstufen der zentralen Produktionssteuerung [4] bewirkt. Die einzelnen Einheiten auf diesen Stufen verfügen über eine große Entscheidungskompetenz und können selbstständig über bspw. optimale Herstellungsmethoden, Produktqualität oder die zeitliche Abwicklung von Aufträgen entscheiden [3]. Die Produktionspläne werden – im Gegensatz

zur zentralen Produktionssteuerung – nicht mehr gleichzeitig für alle Bereiche terminiert, sondern durch die dezentralen Akteure für einzelne Teilbereiche erstellt [5]. Die notwendige Koordination der dezentralen Akteure wird dabei über ein Unternehmenszielsystem mit definierten Zielvereinbarungen sowie der Definition von Kunden-Lieferanten-Beziehungen realisiert [2]. Für die Vermeidung der Entstehung von Brüchen in der Herstellungskette und Kostennachteile durch isolierte Optima ist es notwendig, dass das Wissen aller an dem Prozess beteiligten Akteure berücksichtigt wird und eine Abstimmung über den gesamten Prozess erfolgt [3].

Die Gestaltung dezentraler Entscheidungsstrukturen in der Produktion und die dadurch realisierbaren Vorteile werden bereits seit den 1990ern diskutiert (vgl. u. a. [1-3]). Allerdings haben sich erst durch technologische Entwicklungen der letzten Jahre Chancen für eine effiziente Umsetzung ergeben. Sogenannte autonome Technologien können die Produktionseinheiten mit lokaler Intelligenz ausstatten, die Übertragung von Entscheidungs-, Ausführungs- und Kommunikationsfähigkeiten auf dezentrale Akteure fördern und zur Erhöhung der Planungsergebnisse beitragen. Autonomie stellt demnach die Grundlage für die Gestaltung dezentraler Entscheidungsstrukturen dar.

Autonomous Actors in Decentralised Production Control

The positive benefits of decentralized decisionmaking structures in production systems were already discussed in the 1990s. But it is only in recent years that the technologies required for implementation have reached sufficient market maturity to be able to implement corresponding concepts efficiently. In this way, the units involved can be enabled to participate "intelligently" in processes by means of autonomous technologies. The question of the actors actively involved in decentralised decisionmaking and implementation as well as the concrete design of decentralised production structures is of great importance. This article illustrates the importance of autonomy for decentralised production control and shows which performance actors involved in the process have the necessary capabilities to act autonomously.

Keywords:

Decentralization, Autonomy, Cyberphysical Systems, Production Control, Decision Making Structures



Dipl.-Ing. Hanna Theuer ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Prozesse und Systeme der Universität Potsdam, wo sie zum Thema „Beherrschung komplexer Produktionsprozesse durch Autonomie“ promoviert. Am Forschungs- und Anwendungszentrum Industrie 4.0 ist sie Bereichsleiterin für Prozesse.

hanna.theuer@lswi.de
www.wi.uni-potsdam.de

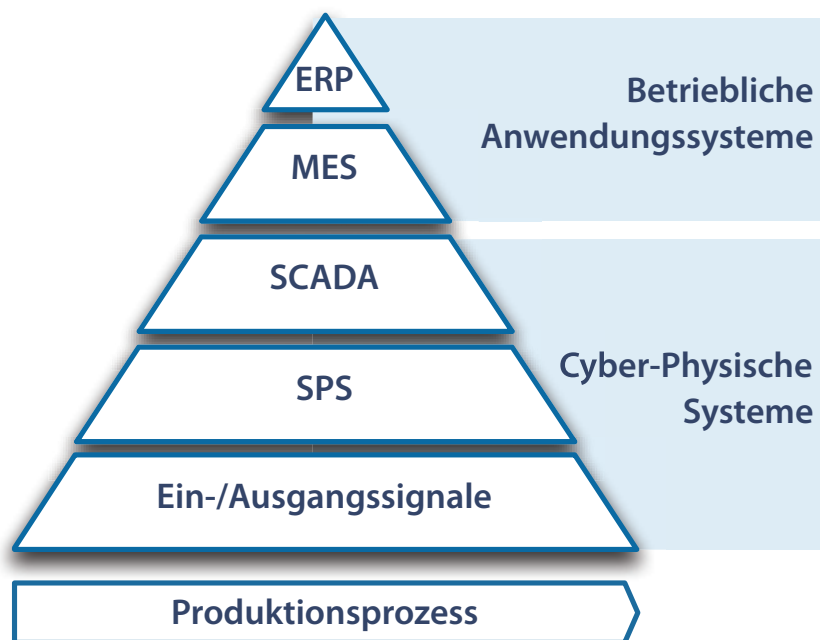


Bild 1: Ableitung potenzieller Akteursklassen anhand der Automatisierungspyramide nach Siepermann [15].

Autonomie in der Produktion

Der Begriff der Autonomie wird in zahlreichen Wissenschaftsdisziplinen verwendet und beschreibt einen Zustand der Selbstbestimmung, Unabhängigkeit und Entscheidungsfreiheit. Autonomie ist als eine Erweiterung der Automatisierung – also der ganz oder teilweise ohne Mitwirkung des Menschen bestimmungsgemäßen Bearbeitung einer Aufgabe durch eine technische Einrichtung [6] – anzusehen [7].

Während Rosen u. a. den Begriff auf den bedienerarmen Betrieb einer Maschine beziehen, die selbstständig auf Änderungen von Produktvariationen und volumen sowie Ausnahmefälle und Fehler reagieren können [8], definiert Zuehlke ihn als eine Erweiterung der Automation, bei der Systeme bereits mit Sensoren und Aktoren versehen sind und Aufgaben in einer zuvor von einem Menschen festgelegten Reihenfolge durchführen [9]. Westkämper weitet den Betrachtungsgegenstand aus und bezieht den Begriff auf die Entscheidungs- und Handlungsfreiheit eines abgegrenzten Bereichs innerhalb einer Gesamtstruktur [4]. Scholz-Reiter et al. definieren Autonomie in der Produktion als die Fähigkeit von Objekten in nichtdeterministischen Systemen, Entscheidungen unabhängig ausführen zu können [10].

Notwendige Eigenschaften autonomer Einheiten

Autonome Akteure bilden die Grundlage für die dezentrale Produktionssteuerung. Es ist notwendig, dass sie dafür bestimmte Fähig-

keiten innehaben. Insb. müssen die Entscheidungskompetenzen der einzelnen Akteure so weit gestärkt werden, dass ihre jeweilige Aufgabenstellung ganzheitlich betrachtet werden kann [11]. Westkämper sieht diese Voraussetzung dann erfüllt, wenn die Akteure alle Teilschritte des PDCA-Zyklus (PlanDoCheckAct) nach Deming ausführen können [4]. Dies verdeutlicht, dass den autonomen Akteuren nicht nur planerische (Plan und Check), sondern auch umsetzungsorientierte Aufgaben (Do und Act) zukommen und sie so aktiv am Prozess teilnehmen [12]. Jaenisch und Nentwich untersuchen in ihrer Arbeit die IT-Autonomie-Forschung und leiten daraus zwölf Anforderungen für die Umsetzung autonomer Agenten in Cyber-Physischen Systemen ab [13]. Diese Anforderungen können den Bereichen technische Anforderungen, organisationale Anforderungen, Kommunikation bzw. Interaktion und Fähigkeiten zugeordnet werden. Windt hat in ihrer Arbeit die notwendigen Fähigkeiten autonomer Akteure in Produktionssystemen verfeinert. So müssen autonome Akteure die Informationsverarbeitung, die Entscheidungsfindung sowie die Entscheidungsausführung selbstständig ausführen können [14]. Die Informationsverarbeitung fasst alle Aufgaben der Dateneingabe, speicherung und aggregation zusammen. Die Entscheidungsfindung bedingt ein übergeordnetes Zielsystem sowie ein Regelwerk, das als Grundlage für die dezentralen Entscheidungen dient. Zu den Teilaufgaben gehören neben der Identifikation und Bewertung von Entscheidungsalternativen auch deren Anweisung und Kontrolle. Im Rahmen der Entscheidungsausführung wird die getroffene Entscheidung selbstständig ausgeführt [14].

Autonome Akteure

Die Gestaltung und Analyse dezentraler Produktionssysteme erfordert eine Festlegung der zur Verfügung stehenden bzw. beteiligten autonomen Akteure. Es bedarf einer grundlegenden Festlegung möglicher autonomer Akteursklassen, deren Instanzen die konkreten Akteure in den Prozessen bilden.

Dafür werden mögliche Akteursklassen anhand der bisherigen Ergebnisse dieses Beitrags untersucht und die eventuelle Eignung ihrer Instanzen als autonomer Akteure begründet.

Die Automatisierungspyramide nach Siepermann (Bild 1) stellt die verschiedenen Ebenen der industriellen Fertigung dar, indem sie eine Einordnung von Techniken und Systemen der Leittechnik vornimmt [15]. Zunehmend wird

Literatur

- [1] Kluth, R.; Storr, A.: Hohe Produktivität durch werkergerichtetes, situationsorientiertes Informationsmanagement. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg): FTK'97: Fertigungstechnisches Kolloquium. Berlin Heidelberg 1997.
- [2] Köhler, A.; Lämmle, C.; Wiendahl, H.-H.: Dezentralisierung und Vernetzung der Produktionsplanung und -steuerung. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg): FTK'97: Fertigungstechnisches Kolloquium. Berlin Heidelberg 1997.
- [3] MussbachWinter, U.: Dezentrale Produktionsplanung und -steuerung. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg): FTK'97: Fertigungstechnisches Kolloquium. Berlin Heidelberg 1997.
- [4] Westkämper, E.; Wiendahl, H.-H.; Balve, P.: Dezentralisierung und Autonomie in der Produktion. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 9 (1998) 93, S. 407-410.

industrielle Leittechnik in für die Produktion relevante Hardware (z. B. Maschinen, Anlagen, Roboter, Werkzeuge, Werkstücke, Transportbehälter und Transportfahrzeuge) integriert und dadurch eine Grundlage für eine intelligente und dezentrale Entscheidungsfindung im Rahmen von Industrie 4.0 getroffen. Aufgrund der inhaltlichen Übereinstimmung soll das Modell als Grundlage für die Strukturierung der für die dezentrale Produktionssteuerung relevanten Akteursklassen verwendet werden.

Die oberen beiden Ebenen stellen die Unternehmensleitebene dar. Auf Basis von Informationen, die in betrieblichen Anwendungssystemen wie beispielsweise Enterprise Resource Planning-Lösungen oder Manufacturing Execution Systemen verarbeitet werden, werden insb. planerische Aufgaben durchgeführt. Es wird die erste zu untersuchende Akteursklasse „Betriebliche Anwendungssysteme“ abgeleitet.

Die unteren drei Ebenen gehören zu dem Automatisierungsbereich. Die klassischen Aufgaben umfassen im Wesentlichen die Datenaufnahme, während die Planung im Gegensatz zur Unternehmensleitebene nur eine untergeordnete Rolle einnimmt. Durch die Integration der Technologien dieser Ebenen in für die Produktion relevante Hardware (z. B. Maschinen, Anlagen, Roboter, Werkzeuge, Werkstücke, Transportbehälter und Transportfahrzeuge) wird die zweite zu untersuchende Akteursklasse „Cyber-Physische Systeme“ motiviert.

Es ist davon auszugehen, dass der Mensch in der künftigen Rolle trotz eines höheren Grades an Automatisierung Aufgaben in der Ausführung, Planung und Steuerung übernehmen wird. Dabei werden ihm durch moderne und vernetzte Technologien auf seine Qualifikationen sowie die konkrete Aufgabenstellung zugeschnittene Informationen bereitgestellt, die ihn bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Aufgrund

dieser Bedeutung wird der Mensch als dritte Akteursklasse definiert.

Basierend auf den drei notwendigen Fähigkeiten autonomer Einheiten nach Windt sowie deren Aufspaltung in Teilaufgaben [14] werden im Folgenden die drei zuvor motivierten, potenziellen Akteursklassen hinsichtlich der Erfüllung der notwendigen Fähigkeiten autonomer Objekte untersucht. Das Ergebnis ist in Bild 2 zusammengefasst.

Entscheidungsprozesse können beim Menschen durch direkte Kommunikation mit anderen Personen, durch externalisierte Informationen, also personenunabhängig existierendes Wissen [16], bspw. in Form von Dokumenten, als auch durch Signale wie Farbcodierungen, Alarmer, leere Flächen im Rahmen von Flächenkanban, Wärme oder Gerüchen ausgelöst werden. Dabei werden stets seine Sinnesorgane benötigt.

Die verschiedenen Entscheidungsalternativen können ebenfalls durch die Sinne sowie Wissen und Erfahrungen aus der Vergangenheit, welche im Gedächtnis gespeichert sind, identifiziert, bewertet und kontrolliert werden. Das (Erfahrungs)Wissen nimmt insb. bei der Bewertung der Alternativen eine entscheidende Rolle ein [17]. Über die Sinne können weiter allgemeine (u. a. verbal, als auch in Schriftform übermittelte) Regeln aufgenommen werden. Neue Technologien ermöglichen dabei erwei-

[5] Loos, P.: Fertigungssteuerung. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/Produktionsplanungs-und-steuerungssystem/Fertigungssteuerung>. Version: 2017, Abrufdatum 16.01.2018.

[6] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN V 19233: Leittechnik – Prozessautomatisierung – Automatisierung mit Prozessrechnungssystemen, Begriffe.

[7] Pfeifer, T.; Schmidt, R.: Autonome Produktionszellen – Komplexe Produktionsprozesse flexibel automatisieren, Berlin Heidelberg, 2006.

[8] Rosen, R.; von Wichert, G.; Lo, G.; Bettenhausen, K. D.: About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. In: IFAC-PapersOnLine 48 (2015) 3, S. 567-572.

[9] Zuehlke, D.: SmartFactory – from Vision to Reality in Factory Technologies. In: IFAC Proceedings Volumes 41 (2008) 2, S. 14101-14108.

Bild 2: Zusammenfassende Darstellung der Untersuchung der Akteursklassen hinsichtlich der Erfüllung der notwendigen Fähigkeiten autonomer Objekte.

		Mensch	Betriebliches Anwendungssystem	Cyber-Physisches System
Entscheidungsfindung	Auslösung des Entscheidungsprozesses	Sinnesorgane	Schnittstellen	Schnittstellen Sensoren
	Identifikation von Entscheidungsalternativen	Sinnesorgane Gedächtnis	Algorithmen	Algorithmen
	Bewertung von Entscheidungsalternativen	Sinnesorgane Gedächtnis	Algorithmen	Algorithmen
	Anweisung der ausgewählten Entscheidungsalternative	Sendeorgane	Schnittstellen	Schnittstellen Aktorik
	Kontrolle der ausgewählten Entscheidungsalternative	Sinnesorgane Gedächtnis	Algorithmen	Sensorik Algorithmen
Informationsverarbeitung	Erfassung von Informationen	Sinnesorgane	Schnittstellen	Schnittstellen Sensorik
	Speicherung von Informationen	Gedächtnis	Datenspeicher	Datenspeicher
	Transformation von Informationen	Gedächtnis	Algorithmen	Algorithmen
	Übertragung von Informationen	Sendeorgane	Schnittstellen	Schnittstellen Aktorik
Entscheidungs-ausführung	Umsetzung der getroffenen Entscheidung	Sendeorgane	Algorithmen Schnittstellen	Schnittstellen Aktorik

terte Formen der Kommunikation und Interaktion. Die ausgewählte Entscheidungsalternative kann der Mensch bspw. in Form von Sprache (verbal und nonverbal) und durch die Verwendung von nicht-elektronischen und elektronischen Kommunikationsmitteln anweisen. Die hierfür benötigten Organe, wie Hände, Mund, Augen, etc. werden – in Anlehnung an den Begriff Sinnesorgane, der der Aufnahme von Informationen dient – unter dem Begriff Senderorgane zusammengefasst.

Informationen können vom Menschen über seine Sinnesorgane erfasst werden. Das Gedächtnis stellt die Grundlage sowohl für ihre Speicherung, als auch für ihre Verarbeitung dar.

Die Übertragung von Informationen sowie die Umsetzung der getroffenen Entscheidung wird durch die Senderorgane des Menschen ermöglicht. Bei der Umsetzung der getroffenen Entscheidung ist dabei insb. auch die manuelle Bedienung von Maschinen inkludiert.

Bei betrieblichen Anwendungssystemen können Entscheidungen über Schnittstellen ausgelöst werden. Diese umfassen neben der Mensch-Computer-Schnittstelle zur Eingabe von Daten auch den Datenaustausch zwischen verschiedenen Anwendungssystemen via definierter Protokolle sowie Schnittstellen zu Maschinen. Die Identifikation, Bewertung und Kontrolle von Entscheidungsalternativen wird über Algorithmen, die im Prozessor eines Computers ablaufen, durchgeführt. Die Anweisung der ausgewählten Entscheidungsalternativen wird über Schnittstellen zu Maschinen oder anderen Anwendungssystemen sowie Ausgabeschnittstellen im Rahmen der Mensch-Computer-Interaktion umgesetzt.

Die genannten Schnittstellen dienen auch der Erfassung und Übertragung von Informationen im Rahmen der Entscheidungsverarbeitung. Die Informationen werden im Datenspeicher (in physischer Form auf einem Speichermedium) gespeichert und mithilfe von Algorithmen verarbeitet. Ausgeführt werden die getroffenen Entscheidungen entweder durch eine Übertragung der relevanten Daten an andere Anwendungssysteme oder physische Geräte, wo sie eine entsprechende Aktion auslösen, oder über verschiedene Ausgabeformen im Rahmen der Mensch-Computer-Interaktion.

Cyber-Physische Systeme verbinden durch die Integration von Sensoren, Aktoren und Kommunikatoren die physische mit der virtuellen Welt [18] und ermöglichen so die lokale Infor-

mationsverarbeitung mithilfe von eingebetteten Systemen und deren Vernetzung zur Kommunikation untereinander sowie zur Nutzung weltweit verfügbarer Daten und Dienste [19]. Die Entscheidungsprozesse werden entweder durch Schnittstellen zu Menschen, betrieblichen Anwendungssystemen, anderen Maschinen oder auch durch Umweltsignale, die über Sensoren erfasst werden, ausgelöst. Ihre Identifikation und Bewertung wird über Algorithmen ermöglicht, die getroffenen Entscheidungen können mittels der genannten Schnittstellen oder über die Umwelt beeinflussende Aktoren angewiesen werden. Über die Aufnahme der resultierenden Änderungen über Sensoren sowie die Verarbeitung mittels Algorithmen können ausgewählte Entscheidungsalternativen kontrolliert werden. Informationen werden über Schnittstellen oder Sensoren erfasst, in Datenspeichern gespeichert und mittels Algorithmen transformiert. Die Möglichkeit der Übertragung von Informationen besteht mittels Schnittstellen und Aktoren. Diese ermöglichen auch die Umsetzung der getroffenen Entscheidung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle drei geprüften Akteursklassen die notwendigen Fähigkeiten autonomer Einheiten besitzen und ihre Instanzen daher als aktive, autonome Akteure zu einer dezentralen Produktionssteuerung beitragen können.

Ausblick

Der Beitrag hat die Relevanz autonomer Akteure für die dezentrale Produktionssteuerung gezeigt. Basierend auf einer Untersuchung von Fähigkeiten der potenziellen autonomen Akteursklassen Mensch, betriebliche Anwendungssysteme und Cyber-Physische Systeme, wurde gezeigt, dass die Instanzen der drei Klassen als autonome Akteure für die Realisierung der dezentralen Produktionssteuerung geeignet sind. Die Ergebnisse dienen im Weiteren als Grundlage für die Analyse von Kommunikations- und Interaktionsbeziehungen in der dezentralen Produktionssteuerung. Anhand dieser soll – in Verbindung mit einer Bewertung der Komplexität von Entscheidungsprozessen in der Produktion – der Nutzen von Autonomie für die Beherrschung komplexer Produktionsprozesse beurteilt werden.

Schlüsselwörter:

Dezentralität, Autonomie, Cyber-Physische Systeme, Produktionssteuerung, Entscheidungsstrukturen

- [10] Scholz-Reiter, B.; Philipp, T.; de Beer, C.; Windt, K.; Freitag, M.: Einfluss der strukturellen Komplexität auf den Einsatz von selbststeuernden logistischen Prozesse. In: Pfohl, H.-Ch. und Wimmer, Th. (Hrsg): Steuerung von Logistiksystemen – auf dem Weg zur Selbststeuerung. Konferenzband zum 3. BVL-Wissenschaftssymposium Logistik. Hamburg 2006.
- [11] Adam, D.: Produktionsmanagement. Wiesbaden 1998.
- [12] Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Berlin Heidelberg 2005.
- [13] Jaenisch, C.; Nentwich, V.: Autonomie im Internet der Dinge: Anforderungen an die Gestaltung autonomer Agenten in Cyber-physischen Systemen. In: 13. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI) 2017, bl, 1-14.
- [14] Windt, K.: Ermittlung des angemessenen Selbststeuerungsgrades in der Logistik – Grenzen der Selbststeuerung. In: Nyhuis, P. (Hrsg): Beiträge zur Theorie einer Logistik. Berlin Heidelberg 2008.
- [15] Siepermann, D.: Industrie 4.0 – Technologische Komponenten. In: Roth, A. (Hrsg): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin Heidelberg 2016.
- [16] Gronau, N.: Geschäftsprozessmanagement in Wirtschaft und Verwaltung, Analyse, Modellierung und Konzeption, Berlin, 2017.
- [17] Kluge, A.: Erfahrungsmanagements in Lernenden Organisationen, Göttingen, 1999.
- [18] Lee, E. A.: Cyber physical systems: Design challenges. In: Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008 11th IEEE International Symposium on IEEE. Singapur 2008.
- [19] acatech: acatech Studie: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften Berlin 2012.