

# Selbstkonfiguration in der Automation

M.Sc. **Sebastian Schriegel**, Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo

Prof. Dr. rer. nat. **Oliver Niggemann**, Fraunhofer IOSB-INA und Hochschule Ostwestfalen-Lippe, inIT- Institut für industrielle Informationstechnik, Lemgo

M.Sc. **Jens Otto**, Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo

Dipl.-Ing. **Lars Dürkop**, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, inIT- Institut für industrielle Informationstechnik, Lemgo

M.Sc. **Steffen Henning**, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, inIT- Institut für industrielle Informationstechnik, Lemgo

## Kurzfassung

Industrie 4.0 und dessen internationale Entsprechung Cyber Physical Production Systems (CPPS) beschreiben eine neue Generation von Produktionssystemen, welche sich durch die Eigenschaften Effizienz, Adaptivität und Ergonomie auszeichnen [1]. Adaptive Produktionssysteme passen sich schnell und einfach auf neue Anforderungen, z.B. neue Produkte an. Dafür müssen neben Aspekten der mechanischen und elektrischen Adaptivität auch die Informationssysteme adaptiv werden. Heutige in der industriellen Produktion verwendete Informationssysteme zeichnen sich aber durch einen hohen Aufwand an manueller Konfiguration (Engineering) aus. In Zukunft sollen daher Selbstkonfigurationstechnologien Basis für wandlungsfähige Produktionssysteme sein.

Konfigurationsaufgaben sind dabei auf verschiedenen Hierarchieebenen der Produktion und Automation und an verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus zu finden: Von der Konfiguration einzelner (Feld-) Geräte und deren Vernetzung über die Programmierung von mechatronischen Einheiten und Produktionsmodulen bis hin zur Fabriksteuerung und produktionsstandortübergreifenden Produktionsressourcenplanung entstehen Fragestellungen der Selbstkonfiguration. Dieser Beitrag gibt eine Einordnung (Taxonomie) der Konfigurationsaufgaben bzw. Selbstkonfigurationsfragestellungen und beschreibt Lösungsansätze zur Verringerung des Engineering-Aufwandes anhand von Projektbeispielen.

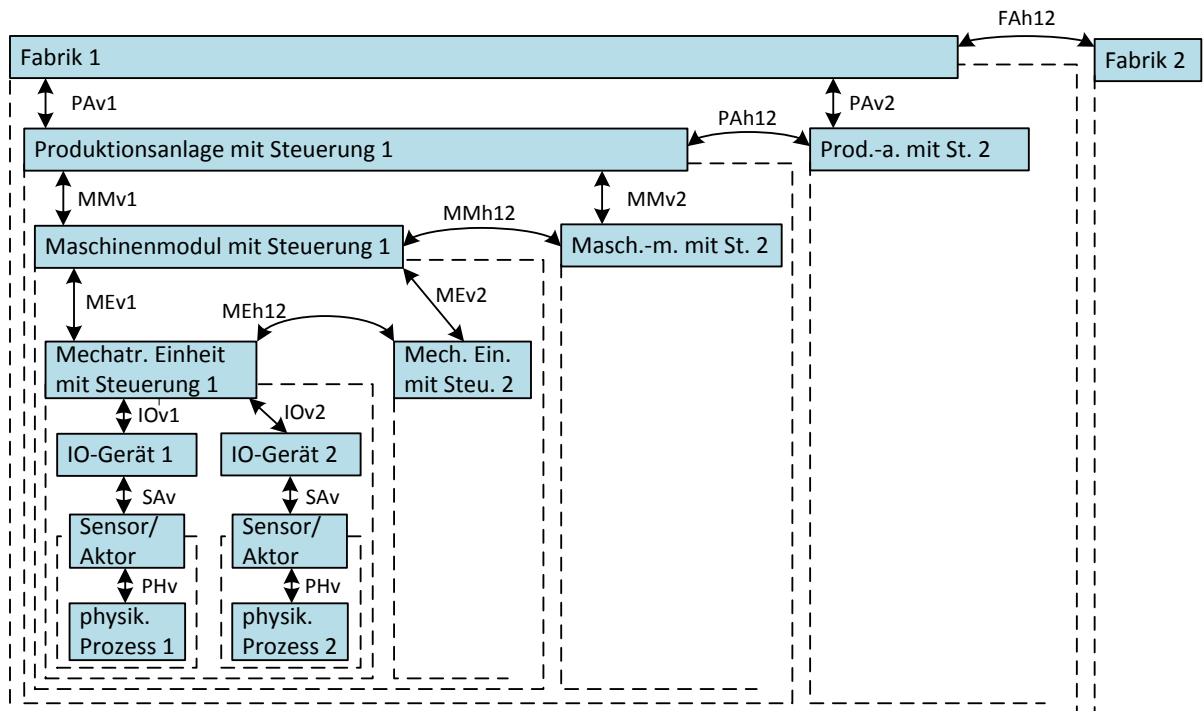
## 1. Einleitung

Produktionssysteme zeichnen sich schon heute durch den massiven Einsatz von Automatisierungstechnik bestehend aus Sensorik, Aktorik, Kommunikationstechnik und programmierbaren Steuerungen (SPS) aus. Der Anteil von Informationstechnik nimmt dabei seit vielen Jahren stetig zu. Industrie 4.0 und Cyber Physical Production Systems (CPPS) beschreiben die Weiterentwicklung der Produktionssystemtechnologie, welche auf Basis von Informationstechnik und kognitiver Informationsverarbeitung zu intelligenten technischen Systemen werden. Die Systeme zeichnen dadurch aus, dass sie adaptiv sind, mit ihrem Umfeld interagieren und sich diesem durch Lernen anpassen. Ein adaptives Produktionssystem soll so zum Beispiel schnell und einfach auf neue Anforderungen, wie z.B. neue Produkte oder Produktvarianten, angepasst werden können. Dafür müssen neben der Mechanik und Elektrik auch die Informationssysteme adaptiv werden. Die in der industriellen Produktion verwendeten Informationssysteme zeichnen sich aber schon heute durch einen hohen Engineering-Aufwand aus. Hier sollen in Zukunft Selbstkonfigurationstechnologien (Plug-and-Work) Basis für wandlungsfähige Produktionssysteme sein.

Innerhalb der Hierarchie und des Lebenszyklus der Produktionssysteme und der Automation entstehen vielfältige Konfigurationsaufgaben: Sensoren, Aktoren, (Feld-) Geräte, Echtzeitkommunikation, SPS, mechatronische Einheiten, Produktionsmodule, MES und Fabriksteuerung sowie standortübergreifende Produktionsressourcenplanung müssen konfiguriert, programmiert, parametrisiert und optimiert werden. In vielfältigen Forschungs- und Entwicklungsprojekten wird unter Titeln wie Plug-and-Work oder Plug-and-Produce an Lösungen für die automatische Konfiguration gearbeitet. Die unterschiedlichen Konfigurationsaufgaben erfordern dabei sehr unterschiedliche Lösungen. Dieser Beitrag gibt eine Einordnung (Taxonomie) der Konfigurationsaufgaben bzw. Selbstkonfigurationsfragestellungen und beschreibt Lösungsansätze zur Verringerung des Engineering-Aufwandes aus dem Spitzencluster it's OWL und der SmartFactoryOWL anhand von Projektbeispielen.

## 2. Taxonomie von Konfigurationsaufgaben in der Automatisierungstechnik

In der automatisierten Produktion entstehen vielfältige Konfigurationsaufgaben. Diese sind in der vollständigen Hierarchie bestehend aus den physikalischen Prozessen mit Sensorik und Aktorik, IO-Geräten, mechatronischen Einheiten, Maschinenmodulen, Produktionsanlagen und Fabriken zu finden. Abbildung 1 gibt einen Überblick. Die Pfeile stellen jeweils einen örtlichen Konfigurationsbedarf da.



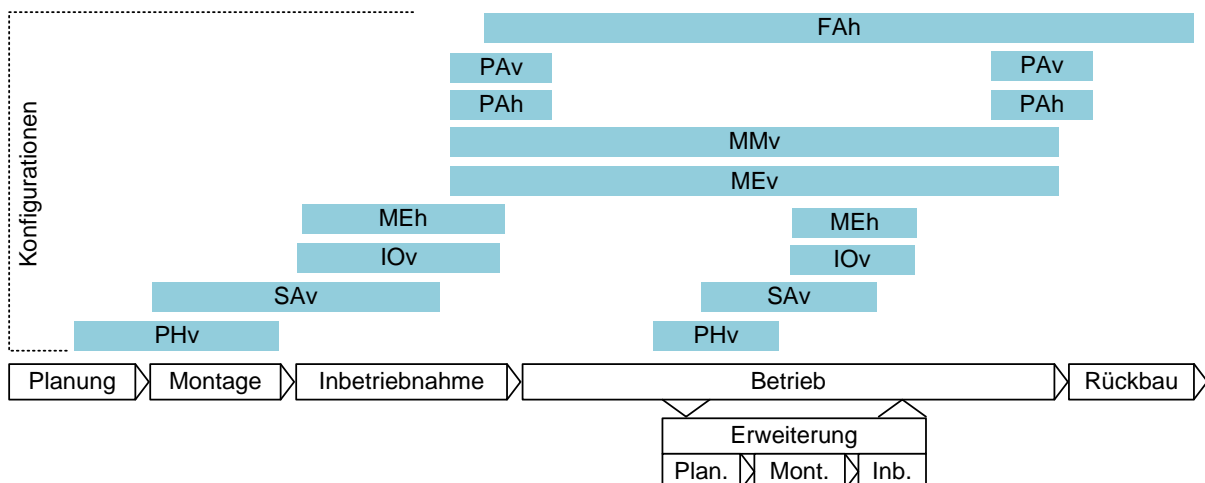
**Abbildung 1: Konfigurationsaufgaben in der Automatisierungshierarchie**

Die Konfigurationen haben immer das Ziel die Einheiten dieser Hierarchie zu verbinden um einen gewünschten Funktionsverbund herzustellen. So muss zum Beispiel ein Sensor auf den mechanischen Prozess angepasst werden. Dies kann bereits im Systementwurf z.B. durch Auswahl einer geeigneten Lichtschranke erfolgen oder während der Inbetriebnahme durch die Konfiguration von Sensorempfindlichkeiten. In Abbildung 1 entspricht dieser Vorgang dem Konfigurationspfeil *PHv* (Physikalischer Prozess vertikal). In der nächsten Ebene müssen IO-Geräte auf die Sensorik und Aktorik konfiguriert werden (Abbildung 1: *SAv* Sensorik Aktorik vertikal). Ein Beispiel sind die Auswahl der Schnittstelleneigenschaften 0-10V, 4-20mA oder Filtereinstellungen. Die IO-Geräte werden mit Steuerungen (SPS) verbunden, wodurch mechatronische Einheiten entstehen. Dazu muss die Interaktion der SPS mit den IO-Geräten (Konfigurationspfeile *IOv1* und *IOv2*) konfiguriert werden. Dies umfasst Kommunikationseigenschaften (z.B. Echtzeit Ethernet, Zykluszeiten, IP-Adressen),

Signalzuweisungen (Speicheradressen, Sensor- und Aktorvariablen) und die Konfiguration des Steuerungsablaufes (z.B. IEC 61131-Code) des mechatronischen Funktionsverbundes (physikalischer Prozess).

Die Konfigurationsaufgaben innerhalb eines mit einer eigenen Steuerung gesteuerten mechatronischen Funktionsverbundes finden ausschließlich vertikal in der Hierarchie der einzelnen Elemente statt. Ein hierarchisch übergeordnetes Element und ein untergeordnetes Element werden passend zueinander konfiguriert. Ab dem Level dieser mechatronischen Funktionseinheiten findet Interaktion sowohl vertikal mit den überlagerten Hierarchien Maschinenmodul (*MMv1* Maschinenmodul vertikal), Produktionsanlage (*PAv1* Produktionsanlage vertikal) und Fabrik als auch vertikal mit anderen mechatronischen Einheiten (*MEh12*) statt. Mehrere mechatronische Einheiten können vom physikalischen Prozess her derart gekoppelt sein, dass für die SPS-Steuerungen koordinierte Prozesssteuerungen konfiguriert/ programmiert/ erzeugt werden müssen oder vom physikalischen Prozess her unabhängig sein (dann entfällt *MEh12*). Auf dem Level der Maschinenmodule und Produktionsanlagen müssen z.B. Verfahren zur Produktionsauftragsverwaltung konfiguriert werden. Die Koordination kann hier z.B. in Form digitaler Produktgedächtnisse (RFID-Tags) realisiert werden (*MMh12, PAh12*).

Die jeweiligen Konfigurationen finden an unterschiedlichen Zeitpunkten im Lebenszyklus der Fabrik, der Anlage oder einzelner Maschinen statt. Abbildung 2 zeigt die Lebensabschnitte Planung, Montage, Inbetriebnahme, Betrieb und Rückbau. Während des Betriebs finden zusätzlich Erweiterungen bzw. Änderungen auf neue Produktionsanforderungen statt.



**Abbildung 2: Konfigurationsaufgaben im Lebenszyklus der Fabrik, Anlage, Maschine**

Diese eingeführte Taxonomie hat gezeigt, dass Selbstkonfiguration in der Automation viele Facetten aufweist. Entsprechende „Plug-and-Work-Lösungstechnologien“ sehen je nach Konfigurationsaufgabe, die automatisiert werden soll sehr unterschiedlich aus. Dieser Beitrag beschreibt anhand der vorgestellten Konfigurationsaufgabenhierarchie im Folgenden Projekte, Anwendungen, Konzepte und Lösungen.

### **3. Projektbeispiel IO-Geräte und Kommunikation (IOv, SAV)**

Im it's OWL-Spitzenclusterprojekt Intelligente Vernetzung wurde eine Referenzarchitektur für die intelligente Vernetzung von Automatisierungselementen definiert, welche aus den drei Schichten Konnektivität, Middleware und Anwendung besteht [11]. Auf der Anwendungsschicht ist die eigentliche Funktionalität angesiedelt, die vom vernetzten System ausgeführt werden soll. Dabei kann es sich beispielsweise um eine Steuerungslogik nach der Norm IEC 61131-3 handeln. Die Funktionsblöcke der Middleware und Konnektivität sollen die von der Anwendung benötigten Kommunikationsbeziehungen zwischen den einzelnen vernetzten Automatisierungselementen möglichst automatisch herstellen – dies umfasst die Festlegung der Kommunikationsparameter und der Signalzuweisungen.

Um die automatische Konfiguration der Kommunikation realisieren zu können, müssen sowohl die Anwendung als auch die Automatisierungselemente (z.B. Sensoren oder Aktoren) syntaktisch und semantisch beschrieben werden [11]. So muss in der Anwendung definiert sein, welche Art von Informationen mit anderen Elementen ausgetauscht werden sollen. Zum Beispiel könnte die semantische Beschreibung der Anwendung lauten, dass ein Temperaturwert als Eingabe benötigt wird und ein Lüfter-An/Aus-Signal als Ausgabe geliefert wird. Über entsprechende Informationen in der Sensorik/Aktorik kann der Zuordnungsdienst der Middleware erkennen, welche Sensoren/Aktoren mit der Anwendung verknüpft werden müssen. Die Zuordnung der Sensor- und Aktor-Signale findet auf Basis einer semantischen Beschreibung der Geräterequellen in einem OPC UA-Informationsmodell statt.

Auf Basis der erkannten Verknüpfungen wird anschließend durch die Konnektivitätsebene eine Konfiguration des Echtzeitnetzwerkes durchgeführt. In diesem Projekt werden dazu Methoden für die automatische Inbetriebnahme von Echtzeit-Ethernets entwickelt. Dabei wird sich zu Nutze gemacht, dass in Echtzeit-Ethernet häufig ein Kanal für die Übertragung von nicht zeitkritischen Daten, der nicht konfiguriert werden muss, zur Verfügung steht. Dieser sogenannte Ad-hoc Kanal kann für den Austausch von Konfigurationsdaten über OPC UA genutzt werden. Erste Lösungen sind in [6] und [7] beschrieben.

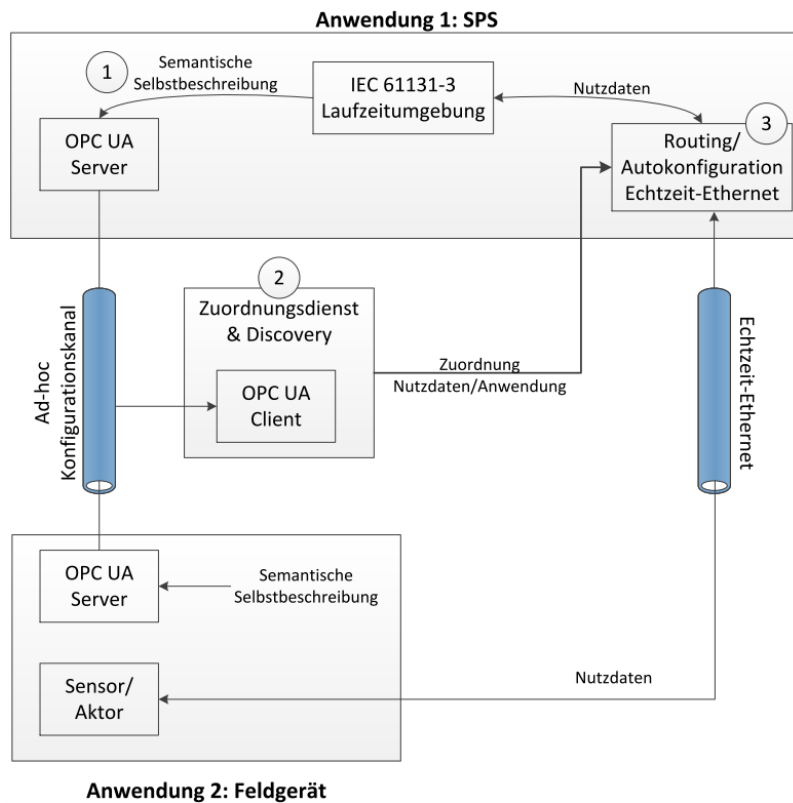


Abbildung 3: Automatische Konfiguration mit OPC UA [1]

#### 4. Projektbeispiel stark-gekoppelte mechatronische Einheiten (MEh12, IOv)

Das Projekt OPAK (Offene Engineering-Plattform für autonome, mechatronische Automatisierungskomponenten in funktionsorientierter Architektur) und Teile des it's OWL-Spitzenclusterprojekt Intelligente Vernetzung befassen sich mit der automatischen Konfiguration stark-gekoppelter mechatronischer Einheiten (Referenz zur Konfigurationsaufgabeneinordnung von Abbildung 1: IOv und MEh12). In diesem Konfigurationsfall ist ein neuer übergeordneter Steuerungsablauf notwendig. Lösungen sind Steuerungscode-synthese und automatische Orchestrierung von Softwaremodulen der auf einem deskriptiven Entwurf von Automatisierungslösungen basieren kann. In [2], [9] und [10] werden entsprechende Konzepte und Lösungen beschrieben.

Darüber hinaus beschäftigt sich das Spitzenclusterprojekt Intelligente Vernetzung mit einer automatischen Parametrierung von Steuerungssoftware [12]. Dabei ist das Ziel eine geeignete Parameterkonfiguration mit Hilfe eines Simulationsmodells zu finden (siehe Abbildung 4).

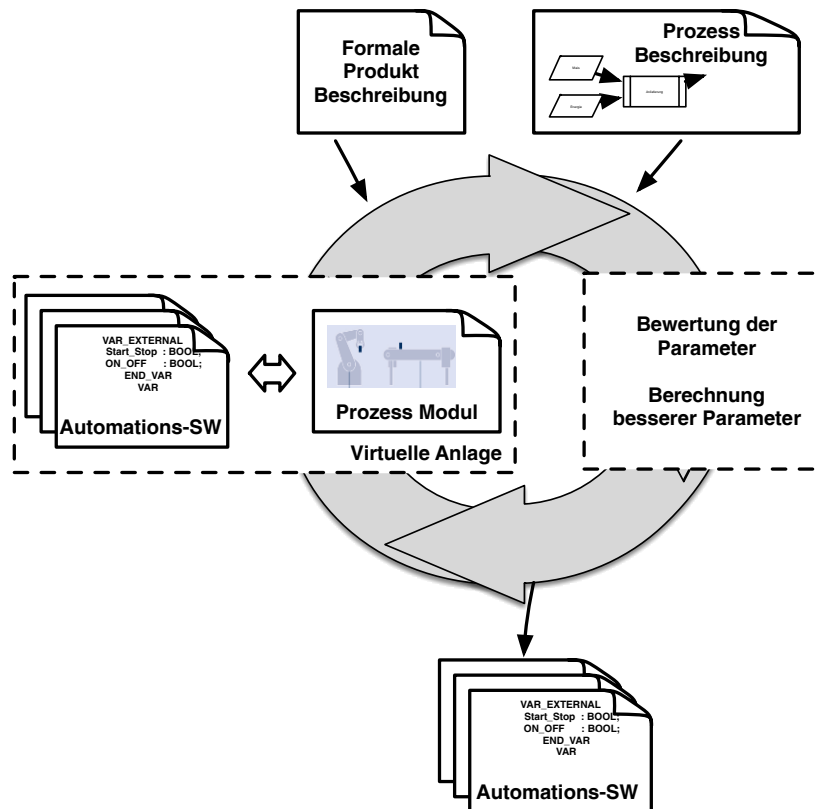
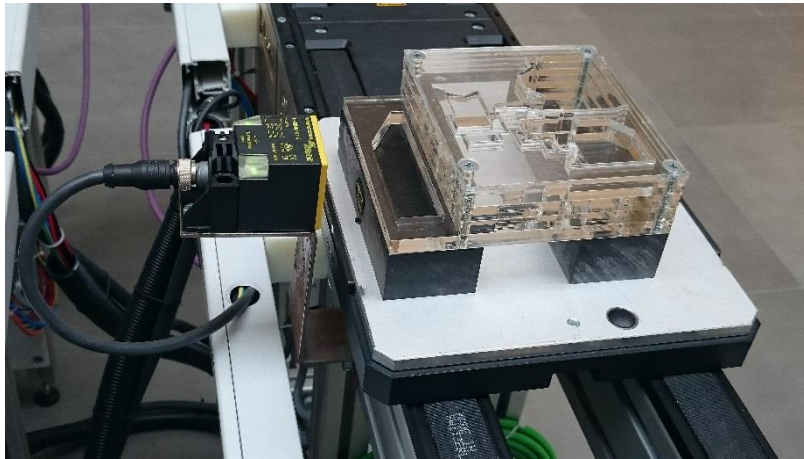


Abbildung 4: Iterative Parametrisierung [12]

## 5. Projektbeispiel Produktionsmodule und Produktgedächtnis (PAh12, MEv1)

Das modulare Montagesystem der SmartFactoryOWL ist eine Demonstrationsanlage des Fraunhofer IOSB-INA, des Institutes für industrielle Informationstechnik (inIT) und des Labors für Industrial Engineering der Hochschule OWL. Das Montagesystem ist modular aufgebaut und enthält eine Roboter-Fertigungs-Station, einen visuell unterstützten Handarbeitsplatz (Augmented-Reality-System) sowie eine Laser-Beschriftungs-Station. Die einzelnen Produktionsmodule werden mit Hilfe von intelligenten Werkstückträgern konfiguriert (Referenz zur Konfigurationsaufgabeneinordnung von Abbildung 1 und Abbildung 2: PAh12 und MEv1). Diese Werkstückträger enthalten dazu einen RFID-Chip. In diesem Chip wird der individuelle Produktionsauftrag hinterlegt (PAv1). Der Werkstückträger fährt autonom die Produktionsmodule an. Die Produktionsmodule lesen die Produktionsaufträge und führen, wenn möglich, Arbeitsschritte am Produkt durch (siehe Abbildung 4).

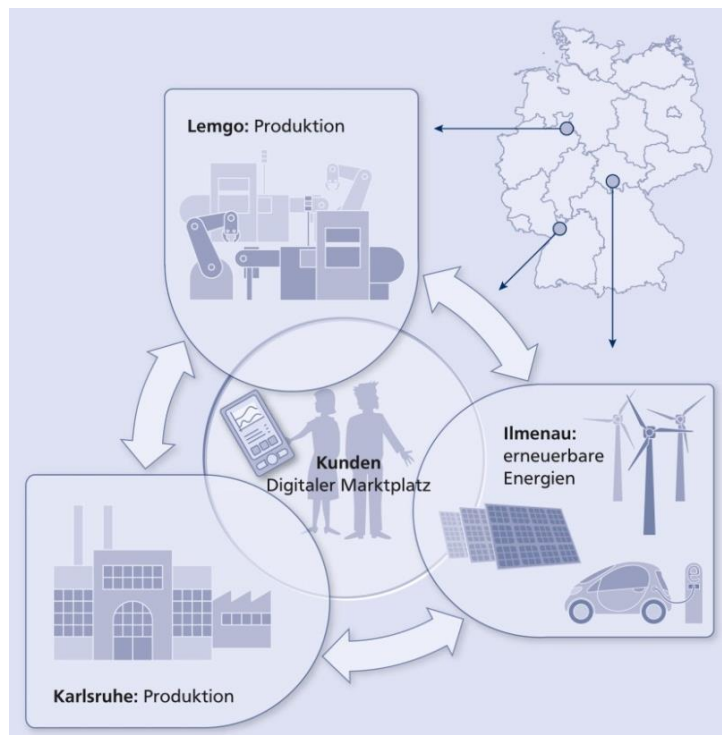


**Abbildung 5: Konfiguration eines Maschinenmodules durch einen intelligenten Werkstückträger**

Nach Beendigung schreibt das Produktionsmodul die verrichteten Arbeitsschritte in den RFID-Chip zurück um anderen Produktionsmodulen aufbauende Arbeitsschritte zu ermöglichen. An dieser Stelle ist die horizontale Konfiguration *PAh12* zu erkennen.

## 6. Projektbeispiel verteilte Produktion (PAv1, FAh12)

Das Fraunhofer IOSB betreibt eine verteilte Modelproduktion an den Standorten Karlsruhe Ilmenau und Lemgo. Abbildung 6 zeigt, dass in Lemgo und Karlsruhe Produktionsressourcen und in Ilmenau regenerative Energieressourcen für die Produktion zur Verfügung stehen.



**Abbildung 6: Verteiltes Produktionsnetzwerk des Fraunhofer IOSB**



Eine Lösung für so eine verteilte kollaborative Fertigung wird dabei im Forschungsnetzwerk Tulaut ([www.tulaut.de](http://www.tulaut.de)) erforscht [3]. Dabei repräsentieren Agenten die Produktionsressourcen und Fertigungsaufträge in einer Cloud-basierten Plattform und sollen Produktionsressourcen und Fertigungsaufträge automatisch aggregieren.

## 7. Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde eine formale Einordnung (Taxonomie) von Konfigurationsaufgaben bzw. Selbstkonfigurationsfragestellungen sowohl in die Automatisierungshierarchie als auch in den Lebenszyklus einer Fabrik, Anlage und Maschine vorgenommen. Die Taxonomie wurde mit konkreten Projektbeispielen, Lösungsansätzen und anhand von Beispielen hinterlegt.

Der Beitrag zeigt die Vielfältigkeit des Forschungsfeldes und die Notwendigkeit einer Strukturierung von Plug-and-Play-Begriffsableitung wie Plug-and-Work oder Plug-and-Produce.

## 8. Referenzen

- [1] Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Plattform Industrie 4.0, acatech, Frankfurt, April 2013
- [2] Henning, Steffen; Otto, Jens; Niggemann, Oliver; Schriegel, Sebastian: A Descriptive Engineering Approach for Cyber-Physical Systems. In: 19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Spain, Sep 2014
- [3] Regulin, Schneider, Vogel-Heuser (TU München): Kollaborative Fertigung mittels eines Multiagentensystems zur Vernetzung anlagenspezifischer Echtzeitsysteme, Informatik aktuell: Echtzeit 2014, Fachtagung des GI/GMA - Fachausschusses Echtzeitsysteme, Boppard, 2014
- [4] Pfrommer, J.; Schleipen, M.; Beyerer, J., Fähigkeiten adaptiver Produktionsanlagen, atp Edition, 11/2013
- [5] Kainz, G.; Keddiss, N.; Pensky, D.; Buckl, C.; Zoitl, A.; Pittschellis, R.; Kärcher, B., AutoPnP – Plug-and-Produce in der Automation: Wandelbare Fabrik als cyberphysisches System. atp edition, April 2013
- [6] Schriegel, Sebastian; Niggemann, Oliver; Jasperneite, Jürgen: Plug-and-Work für verteilte Echtzeitsysteme mit Zeitsynchronisation. In: Echtzeit 2014 - Industrie 4.0 und Echtzeit GI/VDE/VDI Fachausschuss Echtzeitsysteme, Boppard, Nov 2014

- [7] Schriegel, Sebastian; Wisniewski, Lukasz: Investigation in Automatic Determination of Time Synchronization Accuracy of PTP Networks with the Objective of Plug-and-Work. In: 2014 International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement Control and Communication (ISPCS) Sep 2014
- [8] Dürkop, Lars; Trsek, Henning; Otto, Jens; Jasperneite, Jürgen: A field level architecture for reconfigurable real-time automation systems. In: 10th IEEE Workshop on Factory Communication Systems Toulouse, May 2014
- [9] Henning, Steffen; Otto, Jens; Niggemann, Oliver; Schriegel, Sebastian: A Descriptive Engineering Approach for Cyber-Physical Systems. In: 19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) Barcelona, Spain, Sep 2014
- [10] Otto, Jens; Henning, Steffen; Niggemann, Oliver: Why cyber-physical production systems need a descriptive engineering approach – a case study in plug & produce. In: 2nd International Conference on System-integrated Intelligence (SysInt) Bremen, Germany, Jul 2014
- [11] it's OWL IV – Dokumentation Arbeitspaket 2+3: Referenzarchitektur, <http://www.its-owl.de>
- [12] Otto, Jens; Niggemann, Oliver: Automatic Parameterization of Automation Software for Plug-and-Produce. In: The AAAI-15 Workshop on Algorithm Configuration (AlgoConf 2015), Austin, Texas, Jan 2015