



**In der ARENA2036 bewegt sich das Produkt autonom durch die Produktion und definiert seinen eigenen Produktionsdurchlauf. [1]**

**Obertitel:** BMBF-geförderter Forschungscampus für die Mobilität der Zukunft

**Titel:** Fluide Fahrzeugproduktion

**Autoren:** Christian Fries, Anwar Al Assadi, Manuel Fechter, Samir Grimm, Thomas Bauernhansl, Ali Bozkurt, Robert Schulz

#### **Autoren**

M.Eng. **Christian Fries**, M.Sc. **Anwar Al Assadi** und M.Sc. **Manuel Fechter** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA sowie am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF der Universität Stuttgart. Dipl.-Ing. **Samir Grimm** arbeitet im Industry Consulting Manufacturing bei DXC Technology. Prof. Dr. **Thomas Bauernhansl** ist Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart und des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF der Universität Stuttgart. M.Sc. **Ali Bozkurt** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik und Logistik IFT der Universität Stuttgart. Prof. Dr. **Robert Schulz** ist Leiter des Instituts für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart.

#### **Zusammenfassung**

Über hundert Jahre nach Beginn der Massenproduktion in der Automobilindustrie sind aufgrund volatiler Märkte sowie kürzer werdender Produkt- und Innovationszyklen alternative Produktionsmethoden gefragt. Die Transformation der Automobilwirtschaft hin zu neuen Produktarchitekturen und Geschäftsmodellen aufgrund des veränderten Nutzungsverhaltens beschleunigen den Wandel zusätzlich. Im Rahmen der ersten Forschungsinitiative des Stuttgarter Forschungscampus ARENA2036 wurden daher im Zusammenspiel zwischen Industrie und Forschung fluide Produktionskonzepte entwickelt und erprobt.

## Dank

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung der in dieser Veröffentlichung dargestellten Ergebnisse des Forschungsprojekts "Fluide Produktion für die Mobilität der Zukunft" (FluPro) im Rahmen des Forschungscampus „ARENA2036“.

## Hintergründe und Motivation

Die Automobilindustrie steht vor großen Veränderungen. Neue Mobilitätskonzepte mit veränderten Kundenwünschen, eine abschwächende Konjunktur und geänderte regulatorische Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Elektromobilität und den Umweltschutz setzen die Automobilindustrie zunehmend unter Druck. [2; 3] Darüber hinaus treten mit IT-Konzernen und Automobilherstellern aus Fernost neue Wettbewerber in den Markt ein. [4] Die so entstehende komplexere Wettbewerbslandschaft zwingt die traditionelle Automobilindustrie an unterschiedlichen Stellen zu konkurrieren. Sie müssen daher immer schneller und flexibler auf sich ändernde Marktanforderungen reagieren können. Dazu bedarf es einer entsprechend wandlungsfähigen Fabrik. Im Rahmen der ersten Förderphase des Forschungscampus ARENA2036 wurden flexibel verknüpfte Prozessmodule als Elemente des Produktionssystems entwickelt. Ohne starre Kopplung von Stationen ermöglicht die Routenflexibilität des Produktionssystems eine bedarfsgerechte ad-hoc-Sequenzanpassung. Um die Skalierbarkeit und technologische Anpassungsfähigkeit des Produktionssystems sicherzustellen, ist eine Planungslogik für den Entwurf eines Produktionssystems aus flexibel verknüpften Prozessmodulen erforderlich. Dazu werden in der zweiten Förderphase der ARENA2036 insbesondere die Rolle des Menschen in der Produktion, die Spezifikation der Betriebsmittel in digitalen Wertschöpfungsnetzwerken sowie die zur Interoperabilität der Einzelsysteme befähigenden IT Systeme näher beleuchtet.

## Produktionstypen im Kontext der Automobilindustrie

Die von Henry Ford eingeführte **Fließbandproduktion** zeichnet sich durch eine sequentielle Organisation von Menschen und Betriebsmitteln aus. Sie ist insbesondere bei hohen Stückzahlen und geringer Variantenvielfalt vorteilhaft. Bei geringen Stückzahlen und hoher Variantenvielfalt hingegen führt diese starre taktzeitgebundene Verkettung der Arbeitsstationen zu Nachteilen.

Die **Matrixproduktion** verbindet Prozessmodule (Arbeitsstationen) flexibel und erlaubt eine bedarfsgerechte Kombination. Prozessmodule sind cyber-physische Produktionseinheiten, deren Funktionsumfang mit der Komplexität der Produktionsaufgabe variiert. Simulationsergebnisse aus der ersten Förderphase der ARENA2036 zeigen, dass dieser Produktionstyp bzgl. Variantenmix, Robustheit und Stückzahlskalierbarkeit überlegen ist. Insbesondere bei hoher Variantenvielfalt und geringen Stückzahlen überwiegen die Vorteile [5].

Die **Fluide Produktion** löst nun zusätzlich die Ortsfixierung und die feste Zuordnung der Betriebsmittel zu Prozessmodulen auf. Dies ermöglicht es, Arbeitsinhalte, Arbeitsreihenfolge sowie die Arbeitsverteilung im Produktionssystem flexibel zu verschieben. Daraus resultiert ein sich kontinuierlich veränderndes Produktionslayout. Die Fluide Produktion ist somit eine Weiterentwicklung der Matrixproduktion und basiert auf der Idee eines Produktionssystems aus Einzelsystemen, welche sich ad hoc verbinden und wieder auflösen. **Abb. 1** zeigt eine Gegenüberstellung der drei Produktionstypen.

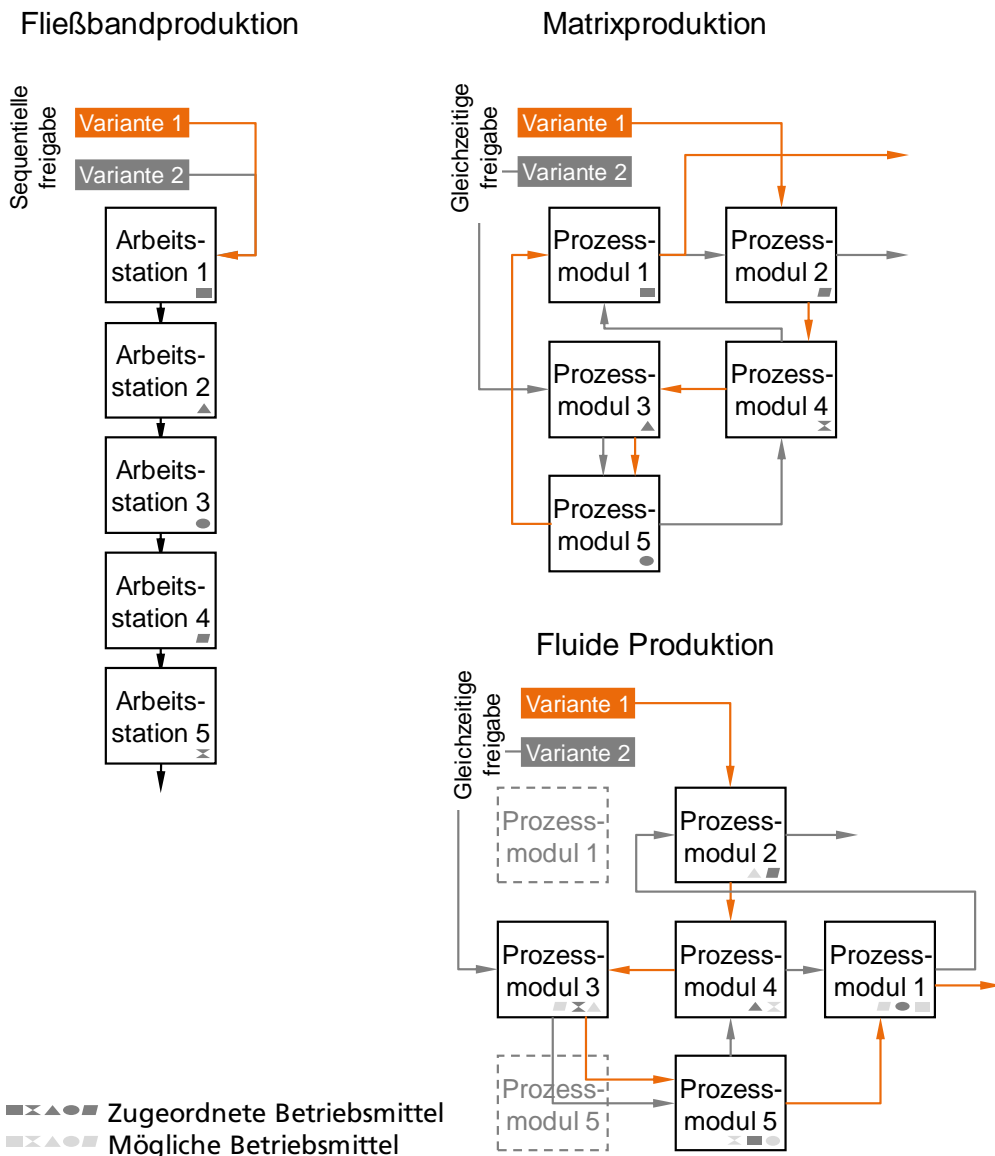


Abb. 1: Gegenüberstellung der Produktionstypen

## Produktionssteuerung in der Fluiden Produktion

Die Fluide Produktion eröffnet neue Freiheitsgrade in der Produktionssteuerung. Das Prinzip der Werkstattfertigung wird um die bedarfsgerechte Konfiguration der

Prozessmodule ergänzt, welche die klassischen Fertigungssteuerungsaufgaben um vier Freiheitsgrade erweitert:

- Der **Arbeitsinhalt** definiert die Anforderungen an die Fähigkeiten eines Prozessmoduls.
- Die **Arbeitsreihenfolge** legt die Reihenfolge der Arbeitsvorgänge aus Sicht des Auftrags fest.
- Die **Arbeitsverteilung** weist dem Teilauftrag aus Ressourcensicht ein bestimmtes Prozessmodul zu.
- Das **Produktionslayout** definiert die Position des Prozessmoduls innerhalb des Raumes.

Diese Freiheitsgrade ermöglichen es, unterschiedliche Varianten im selben Layout zu produzieren und die durch Taktzeitspreizung bedingten Effizienzverluste zu eliminieren. Konventionelle Verfahren der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) berücksichtigen die oben genannten Freiheitsgrade nicht. Aus diesem Grund findet ihre systematische Betrachtung im Rahmen der zweiten Förderphase der ARENA2036 statt. Dazu werden zwei Stufen der Auftragssteuerung, nämlich die Produktionssteuerung und die Versorgungssteuerung, untersucht.

### **Neue Anforderungen an Betriebsmittel und Menschen**

Aus den Randbedingungen und Freiheitsgraden der Fluiden Produktion ergeben sich zukünftig neue Anforderungen an rekonfigurierbare Betriebsmittel und den Menschen. Hiervon betroffen sind Betriebsmittel wie Fahrerlose Transportsysteme, Robotersysteme, Handhabungseinrichtungen, Sensoren und die zugehörigen IT-Systeme. Aus der Perspektive des Menschen sind die veränderten Qualifikationsanforderungen vor allem im Bereich der IT zu berücksichtigen.

Alle Betriebsmittel in der Fluiden Produktion sind cyber-physische Produktionssysteme (CPPS) und ermöglichen neben der physischen Aktion im Produktionsprozess einen Datenaustausch über die Einzelsystemgrenzen hinweg. Maschinendaten und Beschreibungsmodelle dienen als Bindeglied (schwarze Pfeile) zwischen den einzelnen CPPS-Teilsystemen und unterstützen aktiv die Rekonfiguration der Produktionssysteme vgl. **Abb. 2**:

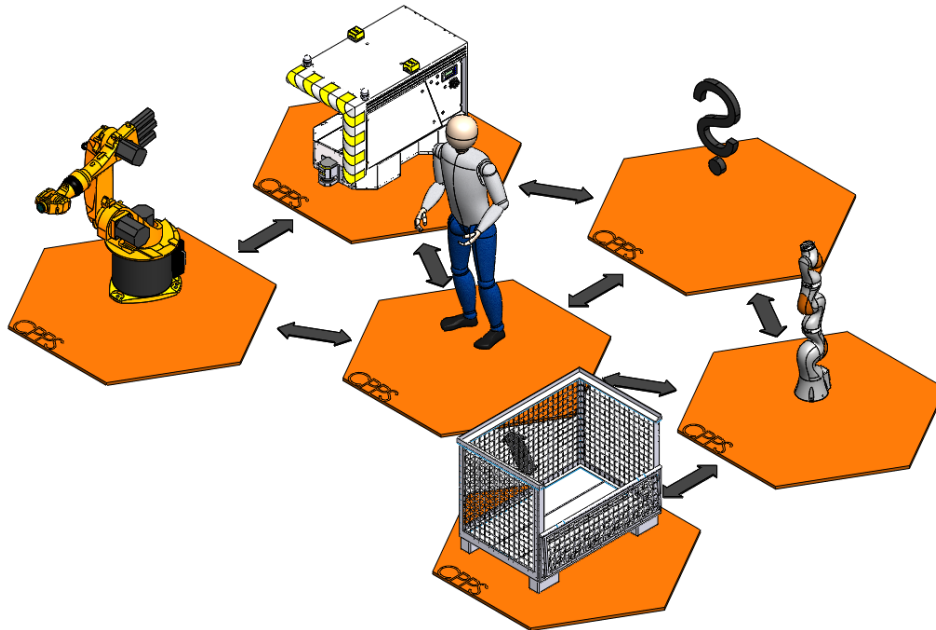


Abb. 2: Interaktion von cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS)

### **Mitarbeitende als zentraler Faktor der Produktion**

Im Fluiden Produktionssystem verändern sich auch die Aufgaben des Menschen. Getrieben durch die steigende Produktvarianz erhöht sich die Aufgabenvielfalt in der Produktion. Monotone Arbeitsschritte verringern sich, planerische und überwachende Tätigkeiten nehmen zu. Kollaborative Assistenzsysteme befähigen den Menschen, einfache Wartungsarbeiten ohne vorherige Schulung durchzuführen, dies führt u.a. zu geringeren Stillstandszeiten und einer gesteigerten Produktivität. Die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) ermöglicht eine Parallelisierung der Prozesse in den Prozessmodulen und damit eine Reduktion der Zykluszeiten. Durch die Veränderung der Aufgaben verändert sich auch das qualifikations- und Kompetenzprofil der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in der Produktion. Zunehmend sind hierfür Kenntnisse im Umgang mit Smart Connected Things (SCoT) notwendig.

### **Dateninformationsmodelle und I4.0 Komponenten**

Ein wesentlicher Aspekt der Fluiden Produktion ist die hinreichend genaue Abbildung von Gegenständen der physischen Welt in der digitalen Welt. Hierfür werden entsprechende Informations- und Datenmodelle benötigt. Über verschiedene Organisationsgrenzen und Disziplinen hinweg wird zur besseren Strukturierung und einem einheitlichen Begriffsverständnis im Projekt das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) im Rahmen der ARENA2036 genutzt. Aus dem RAMI4.0 lässt sich die Industrie-4.0-Komponente ableiten, welche die Informationsmodellierung und Datenmodellierung gewährleistet [6].

Eine I4.0-Komponente besteht aus einem „Gegenstand“, der von einer digitalen Verwaltungsschale umgeben wird. Die Verwaltungsschale beinhaltet eine

Selbstbeschreibung des Gegenstandes mit seinen Fähigkeiten und erlaubt die Virtualisierung und Steuerung der Komponente (**Abb. 3**). Als Gegenstand kann ein komplettes Betriebsmittel oder eine Subkomponente des Betriebsmittels aufgefasst werden. Die Schachtelbarkeit der Systeme ist ein wesentliches Merkmal des Konzepts der Verwaltungsschale, die Granularität ist je nach Anwendungsfall und Komponente zu definieren. Der Grad der Integration und Modularisierung verschiedener I4.0-Komponenten ist eine der Hauptanforderungen im Forschungsprojekt. **Abb. 3** verdeutlicht die Zusammenhänge des Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses anhand des RAMI-Modells. Hervorgehoben ist dabei der Bereich der Produktion, die sich insbesondere mit der Integration der Datenschnittstellen und der Abstraktion der Informationsmodellierung beschäftigt. Sie soll im vorliegenden Forschungsprojekt im Mittelpunkt stehen.

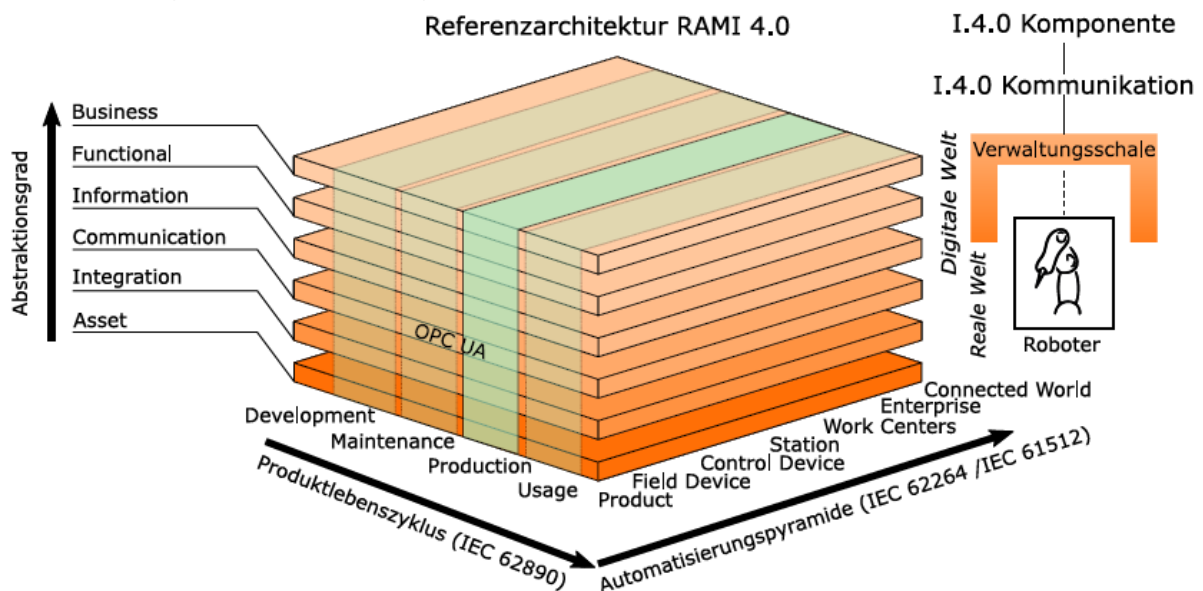


Abb. 3: Ableitung der Industrie-4.0-Komponente aus der Referenzarchitektur Industrie 4.0, in Anlehnung an [6]

### Smarte Produktionskomponenten

Intelligente Produktionskomponenten ermöglichen die ad-hoc-Synthese von Prozessmodulen (**Abb. 4**, Schritt 1). Die Grundlage dafür ist die Selbstbeschreibung der Industrie-4.0-Komponenten durch die Verwaltungsschale. Die Verwaltungsschale erlaubt einen Austausch von Prozessdaten und Leistungsparametern über mehrere am Produktionsprozess beteiligte Komponenten und Produkte hinweg. Beispielsweise kann die Temperatur am Bauteil während eines Fügeprozesses simultan gemessen werden (**Abb. 4**, Schritt 2 und 3). Smarte Produktionskomponenten überwinden die strikte Trennung zwischen Produktion und Logistik, Betriebsmittel aus der Logistik verschmelzen mit Betriebsmitteln aus der Produktion und führen gemeinsam wertschöpfende Tätigkeiten aus (**Abb. 4**, Schritt 4).

Das Ziel ist es, einzelne Produktionsmodule und -komponenten so aufzubauen, dass sie direkt nutzbar sind. Egal ob es sich um eine bekannte oder unbekannte

Komponente handelt, durch die Selbstbeschreibung der Module kann eine Minimalfunktionalität und Verfügbarkeit der Komponenten im Betrieb gewährleistet werden. Weiterhin kann jedes Modul durch den Menschen in sehr einfachen Schritten in Betrieb genommen und genutzt werden.

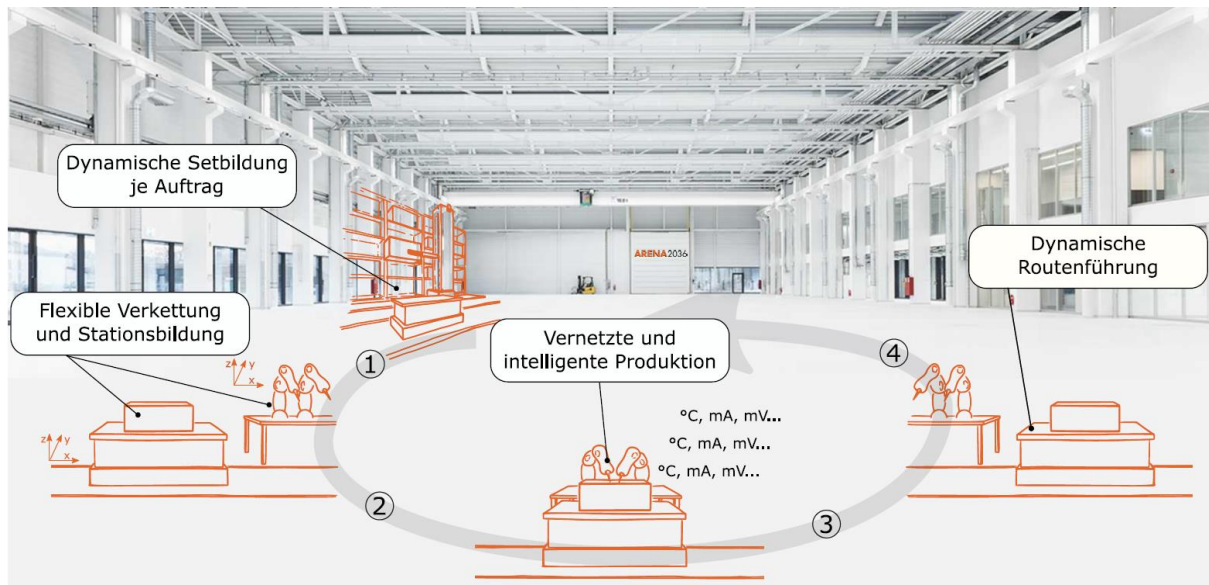


Abb. 4: Dynamische Prozessmodulsynthese und -dissipation in der Fluiden Produktion

## Zusammenfassung und Ausblick

Der vorgestellte Ansatz der Fluiden Produktion zur Beherrschung einer sich wandelnden Automobilproduktion stellt neue Anforderungen an den Menschen in der Produktion. Planerische und überwachende Tätigkeiten werden zukünftig einen größeren Anteil des Arbeitsalltags einnehmen. Die Trennung zwischen Produktion und Logistik sowie zwischen Produkt und Produktion wird aufgrund der zunehmenden Verschmelzung der Systeme weiter aufgehoben. Wertschöpfende Prozesse werden dabei in allen Bereichen der Produktion stattfinden.

Die Betriebsmittel der Fluiden Produktion sind als smarte CPPS ausgeführt. Eine datentechnische Interoperabilität der Module, eine schnelle, intuitive Inbetriebnahme sowie die ad-hoc-Bildung von Prozess- und Montagemodulen werden durch Plug-and-Produce-Ansätze unterstützt.

Die Entwicklung und Erprobung der Fluiden Produktion soll anhand einer Batteriemodulmontage in der ARENA2036 dargestellt werden. Um die Übertragbarkeit des Produktionskonzepts auf andere Produkte sicherzustellen, werden im Projektverlauf zusätzliche Produktionsumfänge der Automobil(zuliefer)industrie aufgenommen.

Ergebnisse des Verbundvorhabens für das Zusammenspiel von smarten Produktionskomponenten sind für das kommende Frühjahr zu erwarten und können in der Forschungsfabrik der ARENA2036 in Stuttgart besichtigt werden.

# Literatur

[1] ARENA2036

[2] Brand, C; Anable, J 'Disruption' and 'continuity' in transport energy systems: the case of the ban on new conventional fossil fuel vehicles, In transport energy systems: the case of the ban on new conventional fossil fuel vehicles. In: European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) Summer Study 2019 Proceedings. ECEEE 2019 Summer Study, 03-07 Jun 2019, Hyères France. , S. 1117-1127.

[3] Weber, J.: Automotive Development Processes, Berlin: Springer 2009

[4] Du, J.; Quyang, M.; Ceng, J.: Prospects for Chinese electric vehicle technologies in 2016-2020: Ambition and rationality In Energy 120 (2017), S 584-596

[5] Foith-Förster, P.; Eising, J.-H.; Bauernhansl, T.: Effiziente Montagesysteme ohne Band und Takt. Sind modulare Produktionsstrukturen eine konkurrenzfähige Alternative zur abgetakteten Linie? In: wt Werkstattstechnik online 107 (2017) 3, S. 169–178. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag. Internet: <http://www.werkstattstechnik.de>

[6] Heidel, R.; Hoffmeister, M.; Hankel, M.; Döbrich, U.: Industrie4.0. Basiswissen RAMI 4.0: Referenzarchitekturmodell und Industrie 4.0-Komponente. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Berlin: Beuth-Verlag 2017