

# Schlussbericht

## Vernetzte, kognitive Produktionssysteme

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (Förderkennzeichen 02PJ2680 ff.) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

**Laufzeit des Vorhabens:** 01.11.2013 – 31.01.2017

**Projektpartner:**

1. Dream Chip Technologies GmbH
2. Continental Automotive
3. GIGATRONIK Technologies GmbH
4. Lenze SE
5. Transnorm System GmbH
6. IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH
7. Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer  
Dr.-Ing. Heiko Stichweh

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im  
Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch das  
des Nachdruckes, der Wiedergabe, der Speicherung in  
Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung des vollständigen  
Werkes oder von Teilen davon, sind vorbehalten.

© TEWISS-Technik und Wissen GmbH, 2017  
An der Universität 2 ♦ 30823 Garbsen  
Tel: 0511-762-19434 ♦ Fax: 0511-762-18037  
[www.pzh-verlag.de](http://www.pzh-verlag.de) ♦ mail: [info@pzh-verlag.de](mailto:info@pzh-verlag.de)

ISBN 978-3-95900-165-6

Verlag: PZH Verlag  
Wissenschaftlicher Verlag der TEWISS-Technik und Wissen GmbH

Herstellung: Druckteam, Hannover  
Printed in Germany

## Geleitwort des Projektträgers Karlsruhe (PTKA)

Die produzierenden Unternehmen unseres Landes überzeugen weltweit seit jeher mit hoher Qualität und durchdachten Produkten. Doch im globalen Wettbewerb holen andere Anbieter auf dem Weltmarkt auf. Sowohl Konsumprodukte als auch Investitionsgüter werden immer stärker differenziert und unterliegen unvorhersehbaren Bedarfsschwankungen, so dass auch Produktions- und Logistikprozesse dynamisch reagieren müssen. Mit zentral gesteuerten Prozessen ist dies kaum möglich. Umsetzbar werden die kommenden Anforderungen nur mittels Cyber-Physischer Systeme (CPS) sein, die über intelligente Sensoren zur Wahrnehmung ihrer Umwelt und über Aktoren, mit denen sie diese beeinflussen können, verfügen. Cyber-Physische Systeme können in Produkte, Maschinen und Anlagen integriert werden, die sich durch Selbstoptimierung und Rekonfiguration an sich ändernde Aufträge und Betriebsbedingungen anpassen können. Ihr Einsatz stellt einen Paradigmenwechsel in der Produktion dar.

Die Notwendigkeit, in diesem Bereich verstärkt zu handeln, war Anlass für das Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF, im Dezember 2011 einen Ideenwettbewerb zum Thema „Intelligente Vernetzung in der Produktion – Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ zu initiieren.

Das Projekt netkoPs – vernetzte kognitive Produktionssysteme, überzeugte durch seine innovativen Vorstellungen.

Die Projektgemeinschaft bestand aus je einem Hochschul- und Forschungsinstitut, einem industriellen Pilotanwender, zwei Ausrüstern, 2 Systemhäusern und namhaften assoziierten Anwenderunternehmen.

Sie stellten sich in 3-jähriger, arbeitsteiliger Forschungsarbeit die Aufgabe, ein neuartiges, dezentral gesteuertes Materialflusssystem für die Produktion und Intralogistik zu entwickeln. Es ist ein dezentrales Vernetzungsmodul und ein dezentrales Produktrouting entstanden, welche im Zusammenspiel mit intelligenter, kleinskaliger Antriebstechnik in einer entscheidungsfähigen Fördermatrix integriert sind.

Die erarbeiteten Ergebnisse sind nun im vorliegenden Buch aufbereitet.

Wir möchten allen beteiligten Partnern für ihren Einsatz und ihr Engagement danken. Die fachkundige und umsichtige Koordination von Herrn Dr. Heiko Stichweh und die engagierte wissenschaftliche Begleitung von Herrn Professor Ludger Overmeyer und seinen Mitarbeitern trugen maßgeblich zum Projekterfolg bei.

Es ist zu wünschen, dass es gelingt, die entwickelten Grundlagen und Technologien zu marktfähigen Produkten weiterzuentwickeln und somit zu dem Ziel beizutragen, Deutschland zum weltweiten Leitanbieter für Cyber-Physische Systeme im Bereich der Intralogistik zu entwickeln.

Dipl.-Ing.(FH) Dorothee Weisser

Karlsruhe, im September 2017

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

## Vorwort der Herausgeber

Bedingt durch die technischen Möglichkeiten der vierten industriellen Revolution werden sich in den nächsten Jahrzehnten die Produktions- und Logistikprozesse aufgrund des Einzugs neuer Technologien und des Internets der Dinge und Dienste verändern. Die Vernetzung von Maschinen, Lagersystemen, Produkten und Betriebsmitteln zu cyber-physischen Systemen (CPS), die eigenständig Informationen austauschen, Aktionen auslösen und sich gegenseitig selbstständig steuern, führt zu einer neuen Produktionslogik in den Smart Factories der Zukunft. Die Umsetzung dieser Vision bedingt für die Smart Production und die Smart Logistic umfassende mittel- und langfristige Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, die nur gemeinsam im Verbund von Industrie und Forschungsinstituten erfolgreich vorangetrieben werden können.

Das Verbundforschungsprojekt „vernetzte kognitive Produktionsprozesse“ (netkoPs), welches vom 01.11.2012 bis 31.01.2016 durchgeführt wurde, nimmt sich der oben beschriebenen Herausforderung an. Ziel des Projektes war es, die kognitiven Fähigkeiten eines Menschen auf alle Elemente eines Produktions- und Materialflusssystemes zu übertragen und damit heutige zentral gesteuerte, unflexible Produktionssysteme in wandelbare, vernetzte Produktionssysteme mit dezentraler Intelligenz zu transformieren.

In den Beiträgen dieser Sammlung werden die im Rahmen des Projekts netkoPs erarbeiteten Technologien und Konzepte vorgestellt und diskutiert. Die Projektergebnisse bieten das Potenzial, sowohl die Wandlungsfähigkeit einer intralogistischen Anlage als auch einer verketteten Produktion zu erhöhen und dadurch Zeit- und Kostenvorteile zu erzielen. Damit wird die Wettbewerbsfähigkeit des Produktionsstandorts Deutschland in Zeiten turbulenter Märkte nachhaltig gestärkt.

An dem Forschungsprojekt waren das Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) der Leibniz Universität Hannover und das Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH) beteiligt. Dem Projektkonsortium gehörten folgende die Unternehmen Continental Automotive GmbH, Dreamchip Technologies GmbH, GIGATRONIK Technologies GmbH, Lenze SE und Transnorm System GmbH an. An dieser Stelle sei allen am Projekt Beteiligten für die jederzeit sehr gute und kooperative Zusammenarbeit gedankt.


Das Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie (BMBF) gefördert und vom Projektträger Produktion und Fertigungstechnologien am Forschungszentrum Karlsruhe betreut. Unser besonderer Dank gilt Frau Weisser für die kompetente und hilfsbereite Zusammenarbeit.

Die Beiträge dieser Sammlung richten sich an alle interessierten Unternehmen, die sich in einem turbulenten Marktumfeld bewegen und neue Denkanstöße zur Bewältigung der damit verbundenen Herausforderungen suchen. Unseren Lesern wünschen wir eine anregende Lektüre und viele brauchbare Hinweise zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit in verketteten Produktionssystemen.

Hannover, September 2017



Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer



Dr.-Ing. Heiko Stichweh

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1
1.1	Produktion und Intralogistik im Zuge der Industrie 4.0 .....	1
1.2	Herausforderungen der Industrie 4.0 an die zukünftige Produktion .....	1
1.3	Zielsetzung und Lösungsansatz der vernetzten, kognitiven Produktionssysteme .....	3
1.4	Literaturverzeichnis .....	4
2	Beschreibung des Anwendungsfalls für vernetzte, kognitive Produktionssysteme .....	5
3	Aufbau von vernetzten, kognitiven Produktionssystemen .....	9
3.1	Aufbau des Gesamtsystems (netkoPs.Labs) .....	9
3.2	Aufbau der Hardware der Fördertechnik .....	10
3.2.1	Aufbau der Kommunikation.....	10
3.2.2	Aufbau der Hardware der Fördermatrizen .....	10
3.2.3	Aufbau der Hardware der Stetigförderer .....	13
3.2.4	Aufbau der Hardware der Anschlussmodule .....	14
3.3	Aufbau der Software-Demonstratoren .....	16
3.3.1	Aufbau der Software des Routingmoduls.....	18
3.3.2	Aufbau der Software für Ein- und Ausschleusepunkte .....	19
3.3.3	Aufbau der Software für Bearbeitungsmaschine .....	21
3.3.4	Aufbau der sonstigen Software .....	21
3.4	Literaturverzeichnis .....	23
4	Dezentrale Funktionen von vernetzten, kognitiven Produktionssystemen.....	25
4.1	Dezentrale Vernetzung für vernetzte, kognitive Produktionssysteme.....	25
4.1.1	Stand der Forschung .....	25
4.1.2	Funktionsprinzip und Systembeschreibung .....	26
4.1.3	Zusammenfassung und Ausblick .....	33
4.1.4	Literaturverzeichnis .....	34
4.2	Das digitale Abbild als Grundlage für vernetzte, kognitive Produktionssysteme .....	35

---

4.2.1	Stand der Forschung der formalen Sprachen .....	35
4.2.2	Funktionsprinzip und Systembeschreibung .....	36
4.2.3	Zusammenfassung und Ausblick .....	45
4.2.4	Literaturverzeichnis .....	45
4.3	Dezentrale Routingmodule zur Steuerung von vernetzten, kognitiven Produktionssysteme .....	47
4.3.1	Stand der Forschung.....	47
4.3.2	Systembeschreibung.....	47
4.3.3	Funktionsprinzip.....	52
4.3.4	Zusammenfassung und Ausblick .....	57
4.3.5	Literaturverzeichnis .....	57
4.4	Routingalgorithmen für dynamische Materialflüsse in vernetzten, kognitiven Produktionssystemen .....	59
4.4.1	Stand der Forschung von Fördersystemen mit dezentralen Steuerungen .....	59
4.4.2	Funktionsprinzip und Systembeschreibung der dezentralen Steuerungen .....	60
4.4.3	Berechnung der Routingtabellen .....	61
4.4.4	Berechnung und Reservierung der Routen .....	62
4.4.5	Transportdurchführung .....	63
4.4.6	Validierung der Routingalgorithmen .....	63
4.4.7	Zusammenfassung und Ausblick .....	63
4.4.8	Literaturverzeichnis .....	64
5	Fördermatrix als intelligentes Materialflusssystem in vernetzten, kognitiven Produktionssysteme .....	67
5.1	Kleinskalige Förderelemente zur Realisierung intralogistischer Funktionen .....	67
5.1.1	Stand der Forschung.....	67
5.1.2	Funktionsprinzip und Systembeschreibung .....	71
5.1.3	Zusammenfassung und Ausblick .....	78
5.1.4	Literaturverzeichnis .....	78
5.2	Antriebstechnik für Kleinskalige Förderelemente .....	80

---

5.2.1	Stand der Forschung .....	81
5.2.2	Funktionsprinzip und Systembeschreibung .....	82
5.2.3	Zusammenfassung und Ausblick .....	92
5.2.4	Literaturverzeichnis .....	93
6	Validierung des vernetzten, kognitiven Produktionssystems im netkoPs.Lab.....	95
7	Zusammenfassung und Ausblick .....	99
8	Anhang.....	103
8.1	Übersicht der Projektpartner.....	103