

Wolfgang A. Halang  
Herwig Unger (Hrsg.)

# Internet der Dinge

Echtzeit 2016

Fachtagung des gemeinsamen Fachausschusses  
Echtzeitsysteme von  
Gesellschaft für Informatik e.V. (GI),  
VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) und  
Informationstechnischer Gesellschaft im VDE (ITG)  
Boppard, 17. und 18. November 2016

**GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V.**



**VDE**

VDI/VDE-Gesellschaft  
Mess- und Automatisierungstechnik

**ITG** INFORMATIONSTECHNISCHE  
GESELLSCHAFT IM VDE

 **Springer Vieweg**

## Herausgeber

Wolfgang A. Halang  
Lehrstuhl für Informationstechnik  
FernUniversität in Hagen  
Hagen, Deutschland

Herwig Unger  
Lehrstuhl für Kommunikationsnetze  
FernUniversität in Hagen  
Hagen, Deutschland

## Programmkomitee

H. Adamczyk	Berlin
R. Baran	Hamburg
J. Bartels	Krefeld
B. Beenen	Lüneburg
J. Benra	Wilhelmshaven
V. Cseke	Wedemark
R. Gumzej	Maribor
W. A. Halang	Hagen
H. H. Heitmann	Hamburg
R. Müller	Furtwangen
M. Schaible	München
G. Schiedermeier	Landshut
U. Schneider	Mittweida
H. Unger	Hagen
D. Zöbel	Koblenz

**Netzstandort des Fachausschusses Echtzeitsysteme:** [www.real-time.de](http://www.real-time.de)

CR Subject Classification (2001): C3, D.4.7

ISSN 1431-472X

ISBN 978-3-662-53442-7 e-ISBN 978-3-662-53443-4

DOI 10.1007/978-3-662-53443-4

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

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Germany

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

# Vorwort

Wie bereits vor zwei Jahren mit dem Leitthema „Industrie 4.0“ nimmt diese Tagungsreihe erneut einen Modebegriff auf, um ihn vor dem Hintergrund jahrzehntelanger Erfahrung auf den Gebieten Echtzeit- und eingebettete Systeme sowie Prozessautomatisierung und -leittechnik auf seine Substanz und seinen Neuheitsgehalt hin abzuklopfen. Eine Definition<sup>1</sup> besagt, das „Internet der Dinge bezeichne die Vernetzung von Gegenständen mit dem Internet, damit diese Gegenstände selbstständig über das Internet kommunizieren und so verschiedene Aufgaben für den Besitzer erledigen könnten. Der Anwendungsbereich erstreckte sich dabei von einer allgemeinen Informationsversorgung über automatische Bestellungen bis hin zu Warn- und Notfallfunktionen.“

Häufig wird über lange Zeit Hergebrachtes in neue Moden übernommen<sup>2</sup>. Als Beispiele dafür seien bzgl. des Internets der Dinge hier nur die im letzten halben Jahrhundert evolutionär entwickelten Technologien eingebetteter Systeme und zustandsabhängiger vorbeugender Anlageninstandhaltung genannt. Allein in der Verwendung von mehr Prozessoren und Sensoren, weiterer Miniaturisierung sowie erheblich gesteigertem Datenaustausch erkennt der Automatisierungstechniker jedoch genauso wie im Falle von Industrie 4.0 nichts prinzipiell Neues.

In Bezug auf den Einsatz der Radiofrequenzidentifikation 1999 von Ashton als Begriff geprägt, befindet sich das Thema Internet der Dinge nach dem 2015 veröffentlichten „New Gartner Hype Cycle for Emergent Technologies“<sup>3</sup> derzeit auf dem Gipfel der Euphorie, worauf in der Regel der Fall in das Tal der Enttäuschungen folgt. Dies erscheint unausweichlich, denn wie so Vieles ist das Internet der Dinge ein zweiseitiges Schwert: Einerseits soll es Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit erhöhen, öffnet aber andererseits Werksspionage und Sabotage Tür und Tor. Gemäß der Netzseite „Sicherheit für das Internet der Dinge“<sup>4</sup> stellt Sicherheit die größte Herausforderung des Internets der Dinge dar.

Dabei ergibt sich mangelnde funktionale Sicherheit in vernetzten Systemen als Folge der Gefahren durch Abhören, Verfälschen oder Abfangen von Daten bei deren Übertragung sowie der Möglichkeiten des Einschleusens von Malware und der Überlastung von Knoten, die der Einsatz ungeeigneter Artefakte, nämlich im Bürobereich verbreiteter Informationstechnik und des Internets als Übertragungsmedium, mit sich bringt. Weil dieses Gefahrenpotenzial bei klassischen Technologien der Automatisierungstechnik viel geringer – oder konstruktionsbedingt überhaupt nicht vorhanden – ist, haben wir es hier bei Licht betrachtet mit einem Rückschritt hinsichtlich der technischen Qualität zu tun.

---

<sup>1</sup> Springer Verlag (Hg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Internet der Dinge, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/1057741/internet-der-dinge-v4.html>

<sup>2</sup> P. Mertens und D. Barbian: Digitalisierung und Industrie 4.0 – Trend mit modischer Überhöhung? *Informatik Spektrum* 39, 4, 301–309, 2016

<sup>3</sup> <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>

<sup>4</sup> <http://www.iot-sicherheit.ch>

Aufgrund der oben umrissenen Problemlage ist die erste Sitzung der Tagung der Sicherheit im Internet der Dinge gewidmet. Sie will für das Thema Datensicherheit sensibilisieren, indem Möglichkeiten zur Absicherung von Kommunikationsnetzen diskutiert und die zur Abschirmung von Code und Daten für verschiedene Isolationskonzepte entstehenden Kosten betrachtet werden. Als konkrete Problemlösung wird ein zum Patent angemeldetes Verfahren zur sicheren anonymen Aufwertung und Belastung elektronischer Geldbörsen vorgestellt.

Das Internet der Dinge ist ohne den Einsatz von Echtzeitbetriebssystemen an den verschiedensten Stellen undenkbar. Darum beschäftigt sich eine eigene Sitzung mit den bei der Entwicklung eines dezidierten Betriebssystemkerns zusammengestellten spezifischen kombinierten Echtzeit- und Sicherheitsanforderungen, einer modular geschichteten Systemarchitektur zur Verbindung heterogener Gerätetreiber mit gängigen Übertragungsprotokollen sowie mit einem Betriebssystemkern für mit Umgebungsenergie betriebene Komponenten, das bei seinen Einplanungsentscheidungen deren schwankende Verfügbarkeit berücksichtigt.

Wegen der entscheidenden Bedeutung von Planung wird in der dritten Sitzung eine Software-Bibliothek für Ausbildungszwecke präsentiert, die die Planung des Echtzeitverhaltens unterstützt. Der Ausbildung dient auch die in Entwicklung befindliche Programmierumgebung OpenPEARL, über deren Konsistenzprüfungskomponente berichtet wird. Für die sicherheitsgerichtete Echtzeitprogrammierung wurden auf der Basis von PEARL eine Grundsprache sowie für jede der vier Sicherheitsstufen nach IEC 61508 eine inhärent sichere Teilsprache definiert, deren Syntax die Einhaltung der jeweiligen Einschränkungen erzwingt.

Im Rahmen der Tagung beschäftigt sich schon immer eine Sitzung mit aktuellen Echtzeitanwendungen. Gemäß dem Fokus Internet der Dinge werden Kontrollverfahren für die dynamische Kommunikation zwischen mobilen Hausautomatisierungsgeräten vorgestellt, eine Steuereinheit für Bewegungen mit sechs Freiheitsgraden entwickelt und in ein System virtueller Realität eingebunden sowie Methoden der erweiterten Realität zur Navigation in Gebäuden genutzt.

In der abschließenden Sitzung wird zunächst am Beispiel der Fernsteuerung von Heizungen gezeigt, dass konsequente Trennung von Anwendungsbereichen mit und ohne Echtzeitanforderungen und Verwendung jeweils geeigneter Programmiersprachen zu besseren Lösungen führt. Weiterhin werden ein Testbett für in der Raumfahrt eingesetzte und auf NAND-Flash-Speichern residierende Dateisysteme mit Redundanz sowie ein hierarchisch-asynchrones Zuteilungsverfahren für Mehrkernprozessoren vorgestellt, das die Software eingebetteter Systeme zur Laufzeit phasenabhängig rekonfiguriert.

Frau Dipl.-Ing. Jutta Düring gebührt unser herzlicher Dank dafür, dass sie zum wiederholten Male die Einreichungen mit größter Sorgfalt redigiert und den vorliegenden Band konsistent und ansprechend gestaltet hat.

# Inhaltsverzeichnis

## Sicherheit im Internet der Dinge

Sichere Kommunikation im Umfeld von Industrie 4.0 . . . . .	1
<i>Linus Schleupner</i>	
Kosten der Abschirmung von Code und Daten . . . . .	13
<i>Alexander Züpke, Kai Beckmann, Andreas Zoor, Reinhold Kröger</i>	
Sichere anonyme Aufwertung und Belastung elektronischer Geldbörsen . .	23
<i>Jens Schreck</i>	

## Echtzeitbetriebssysteme

Real-Time and Security Requirements for the Internet of Things Operating Systems . . . . .	33
<i>Maja Malenko, Marcel Baunach</i>	
RIOT – das freundliche Echtzeitbetriebssystem für das IoT . . . . .	43
<i>Peter Kietzmann, Thomas C. Schmidt, Matthias Wählich</i>	
Entwurf und Implementierung eines energieneutralen Echtzeit- Betriebssystems . . . . .	53
<i>Phillip Raffeck</i>	

## Ausbildung und PEARL

Von der Theorie zur Praxis: Echtzeitplanung in der Informatikausbildung	63
<i>Andreas Stahlhofen, Dawid Z. Bijak, Dieter Zöbel</i>	
Konsistenzprüfungen in <i>OpenPEARL</i> . . . . .	73
<i>Rainer Müller, Marcel Schaible</i>	
PEARL für sicherheitsgerichtete Echtzeitprogrammierung . . . . .	81
<i>Marcel Schaible, Wolfgang A. Halang</i>	

## Aktuelle Echtzeitanwendungen

Kontrollverfahren für mobile Echtzeitkommunikation . . . . .	91
<i>Sven Biermann</i>	
Echtzeitanforderungen an Virtual Reality Systeme – Interaktive Anwendungen mit 6 Freiheitsgraden . . . . .	101
<i>Sebastian Thomeczek</i>	

Indoor-Navigation mit Augmented Reality-Unterstützung .....	107
<i>Andreas Hümmerich</i>	

## **Software-Entwicklung und Ablaufsteuerung**

Domänenorientierte Softwarearchitektur mit CÉU und RUST am Beispiel eines Heizungsgateways zur Fernüberwachung und Fernparametrisierung .....	117
<i>Matthias Terber</i>	

Umgebung für automatisierte Tests von Dateisystemen auf NAND-Flash .	127
<i>Pascal Pieper, Fabian Greif, Görschwin Fey</i>	

Phasenmanagement eines hierarchisch-asynchronen Schedulers für Mehrkernprozessoren .....	133
<i>Michael Ernst, Tobias Meier, Andreas Frey, Wolfram Hardt</i>	