



## Abschlussveröffentlichung

# S-CPS: Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme



Angelika C. Bullinger-Hoffmann (Hrsg.)



Angelika C. Bullinger-Hoffmann (Hrsg.)

**Abschlussveröffentlichung**

**S-CPS: Ressourcen-Cockpit  
für Sozio-Cyber-Physische Systeme**

© / Verlag aw&I - Wissenschaft und Praxis Chemnitz 2017  
Prof. Angelika C. Bullinger-Hoffmann  
Technische Universität Chemnitz  
Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement

09107 Chemnitz  
Tel.: +49 (0) 371 531-23210  
Fax: +49 (0) 371 531-23219  
Mail: awi@tu-chemnitz.de

Die Beiträge in diesem Sammelband entstanden im Rahmen des Projekts „S-CPS: Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“. Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut (Förderkennzeichen (02PJ4024)). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



ISBN 978-3-944192-08-6

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages und des Autors unzulässig. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

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.

Druck und Bindung: PrintService der TU Chemnitz  
Umschlaggestaltung: Claudia Roscher, Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement

Gedruckt auf säurefreiem Papier

# Vorwort

Seit mehr als fünf Jahren sprechen wir in Deutschland von und über Industrie 4.0 und die Digitalisierung der Produktion. Dabei geht es immer auch um die Zukunft menschlicher Arbeit – das Ausmaß künftiger Automatisierung, die wachsende Bedeutung von Dienstleistungen, neue Geschäftsmodelle sowie um Veränderungen der Mensch-Technik-Arbeitsteilung und Mensch-Technik-Interaktion. In der Produktion dürfte menschliche Arbeit vor allem bei außerplanmäßigen und problemhaltigen Aufgaben mit nicht-routinehaften Entscheidungen von großer Bedeutung bleiben. Typische Beispiele solcher Tätigkeiten sind die Instandhaltung von Maschinen und Anlagen und – dazu komplementär – der Service seitens der Ausrüstungslieferanten.

Genau in dieser Domäne wurde 2014 bis 2016 das Projekt „S-CPS: Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“ durchgeführt. Ziel des Projektes war es, Instandhalter und Servicetechniker durch kontextsensitive Informationen und Kommunikationsangebote auf mobilen Endgeräten – den sogenannten Ressourcen-Cockpits – direkt am Ort ihrer Tätigkeit zu unterstützen. Am Projekt beteiligt waren auf der Anwenderseite die Audi AG (Werk Neckarsulm), die Continental Automotive GmbH (Werk Limbach-Oberfrohna) und die BLUe KommanD GmbH Lonsee-Luizhausen. Die CBS Information Technologies AG Chemnitz, die Hiersemann Prozessautomation GmbH Chemnitz und die Xenon Automatisierungstechnik GmbH Dresden vertraten die Seite der Industrieausrüster. Die wissenschaftliche Begleitung erfolgte durch die Technische Universität Chemnitz (Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, Professur für Fabrikplanung und Fabrikbetrieb), die Friedrich-Alexander-Universität Nürnberg-Erlangen (Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Innovation und Wertschöpfung), die fortiss GmbH (An-Institut der Technischen Universität München) und die Handelshochschule Leipzig (CLIC – Center for Leading Innovation & Cooperation).

Mit diesem Abschlussband geben die Projektpartner Einblicke in den Entwicklungsprozess des Ressourcen-Cockpits und stellen die im Projekt S-CPS entstandenen Demonstrator-Lösungen vor. Die Beiträge richten sich einerseits an betriebliche Praktiker, die ähnliche Arbeitsassistenzsysteme für mobile, an veränderlichen Arbeitsorten tätige Mitarbeiter entwickeln, auswählen oder einführen wollen. Andererseits werden auch Wissenschaftler angesprochen, die



sich mit der Frage befassen, wie die im Kontext von Industrie 4.0 postulierten Cyber-Physischen-Systeme und der Mensch künftig interagieren werden.

Folgende Beiträge stellen zunächst den Entwicklungsprozess des Ressourcen-Cockpits vor:

Hopf et al. (S. 1 ff.) zeigen in ihrem Beitrag zur Modellierung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen die bestehenden Defizite bei der informationellen Vernetzung der Instandhaltung auf. Aus den mangelhaften Informations- und Kommunikationsmöglichkeiten resultieren derzeit hohe Aufwände für die Informationsbeschaffung (Zeiten und Wege) und entgangener Nutzen (nicht verfügbare Produktionszeit), die durch den Einsatz des Ressourcen-Cockpits für ausgewählte Referenz-Instandhaltungsprozesse bis zu 75 Prozent reduziert werden konnten.

Der Weg zu diesen Verbesserungen der Instandhaltungsprozesse führte über eine mehrstufige Entwicklung. Reidt et al. (S. 23 ff.) beschreiben in einem ersten Beitrag, wie aus individuellen Anforderungen der am Projekt beteiligten Unternehmen generische Anforderung an die Software des Ressourcen-Cockpits abgeleitet und priorisiert wurden. In einem zweiten Beitrag stellen Reidt et al. (S. 43 ff.) das im Projekt S-CPS entwickelte Referenzmodell für das Ressourcen-Cockpit vor.

In Ergänzung dazu untersetzen Oks et al. (S. 61 ff.) das im Projekt S-CPS verwendete Rollenmodell und berichten von dessen Entwicklungsweg bis hin zu einem ersten System-Mock-Up, das maßgebliche Nutzungsszenarien und Views darstellt.

Horbach und Trommler (S. 81 ff.) beschreiben dann die softwaretechnische Implementierung des Ressourcen-Cockpits als Web-Applikation auf Basis von Microsoft Internet Information Services. Auf diese App kann von verschiedenen (mobilen) Geräten aus über die gängigen Webbrowser zugegriffen werden.

Domänenspezifische Aspekte der Instandhaltung stellt der Beitrag von Fleischmann und Franke (S. 103 ff.) heraus: Sie beschreiben das für die Realisierung des Ressourcen-Cockpits notwendige Fehlerdiagnose- und Maschinenanbindungskonzept. Dazu charakterisieren sie instandhaltungsrelevante Daten und entwickeln ein auf dem OPC UA Standard basierendes semantisches Modell.

Die Gebrauchstauglichkeit des Ressourcen-Cockpits als Assistenzsystem für Instandhalter steht im Fokus des Beitrags von Wächter et al. (S. 117 ff.). Der Beitrag beschreibt den nutzerzentrierten, iterativen Entwicklungs- und Evaluationsprozess der tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstellen der Hardware sowie der grafischen Benutzeroberfläche.

Die Beiträge im zweiten Teil des Bandes befassen sich mit den im Projekt S-CPS realisierten Demonstratoren des Ressourcen-Cockpit.

Stelzner et al. (S. 131 ff.) beschreiben am Beispiel einer Sondermaschine das Zusammenwirken des Anlagenlieferanten Xenon und des Betreibers Continental bei der Entwicklung und Nutzung des Ressourcen-Cockpits durch Instandhalter des Betreibers und Servicetechniker des Anlagenlieferanten. Besondere Aspekte sind hier die Einbindung des vorhandenen MES, die Kopplung mit dem ERP-System und die Eskalation von Fehlermeldungen bis hin zur Freigabe eines Fernzugriffs seitens des Anlagenlieferanten.

Schacht und Niemeyer (S. 153 ff.) stellen ein pilothaftes Ressourcen-Cockpit für den Karosseriebau vor. Im Mittelpunkt steht dabei die Datenanbindung von Prozessgeräten, im Beispiel sind das Stanznietgeräte, einschließlich der Definition eines mit dem Ausrüster abgestimmten Namensraums.

Brenner et al (S. 167 ff.) berichten von der Implementierung des Ressourcen-Cockpits in eine existierende Laborfabrik, wobei auch Automatisierungsgeräte eingebunden wurden, die nicht über das im Umfeld von Industrie 4.0 favorisierten OPC UA Protokoll kommunizieren können.

Lehmann und Balun (S. 187 ff.) widmen sich abschließend der Transformation bestehender Geschäftsmodelle durch die Digitalisierung. Beispielhaft gehen sie auf Industrie 4.0-basierte Dienste in der Windkraftbranche ein.

Das Projekt S-CPS war für die beteiligten Unternehmen und Institutionen ein wichtiger Impuls für eigene Entwicklungen in Richtung Industrie 4.0. Die erreichten Ergebnisse bilden bei allen Projektbeteiligten eine wichtige Basis für die Entwicklung marktreifer Produkte, weiterer Implementierungen und fortführender Forschungsarbeiten.

Diese frühen Arbeiten zur Realisierung von Industrie 4.0 Lösungen waren nur durch die Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) möglich. Ein besonderer Dank geht an Frau Barbara Mesow und Frau Ute Kadner vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die zuverlässige, konstruktive und stets souveräne Betreuung des Projekts.

Chemnitz, im Januar 2017

Angelika C. Bullinger-Hoffmann, Thomas Löffler & Ullrich Trommler



## Inhalt

<i>Modellierung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen mit Sozio-Cyber-Physischen Systemen</i> .....	1
Hendrik Hopf, Manuela Krones, Egon Müller	
<i>Erstellung einer Referenzarchitektur anhand von individuellen Unternehmensanforderungen</i> .....	23
Andreas Reidt, Markus Duchon, Helmut Krcmar	
<i>Referenzarchitektur eines Ressourcen-Cockpits zur Unterstützung der Instandhaltung</i> .....	43
Andreas Reidt, Markus Duchon, Helmut Krcmar	
<i>Rollen, Views und Schnittstellen – Implikationen zur stakeholderzentrierten Entwicklung Sozio-Cyber-Physischer Systeme</i> .....	61
Sascha Julian Oks, Albrecht Fritzsche, Kathrin M. Möslein	
<i>Konzeption und Umsetzung eines Ressourcen-Cockpits für die Instandhaltung</i> .....	81
Sebastian Horbach, Ullrich Trommler	
<i>Entwurf einer informationstechnischen Schnittstelle für die Fehlerdiagnose in Sozio-Cyber-Physischen Systemen</i> .....	103
Hans Fleischmann, Jörg Franke	
<i>Partizipative Gestaltung eines gebrauchstauglichen mobilen Assistenzsystems für Instandhalter</i> .....	117
Michael Wächter, Anne Höhnel, Thomas Löffler, Angelika C. Bullinger-Hoffmann	
<i>Einsatz eines Instandhaltungs–Cockpits am Beispiel einer Sondermaschine der Firma Xenon bei Continental Automotive Limbach-Oberfrohna</i> .....	131
Jörg Stelzner, Stefan Koppitz, Colette Neubert, Steffen Weiß	
<i>Entwicklung eines mobilen Shopfloor-Assistenzsystems zur Unterstützung der Instandhaltung im Karosseriebau</i> .....	153
Michael Schacht, Michael Niemeyer	
<i>Datengenerierung in Automationsgeräten, Datenintegration und Visualisierung in CPS-Leitständen</i> .....	167
Christian Brenner, Martin Hiersemann, Rolf Hiersemann, Falk Ulbricht, Thomas Ulbricht, Heiko Veit	
<i>Integrierte Geschäftsmodelle – Industrie 4.0-basierte Dienste in der Windkraftbranche</i> .....	187
Claudia Lehmann, Rajko Balun	



# Modellierung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen mit Sozio-Cyber-Physischen Systemen

Hendrik Hopf<sup>1</sup>, Manuela Krones<sup>1</sup>, Egon Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, TU Chemnitz

## Zusammenfassung

Durch aktuelle Entwicklungen wie Industrie 4.0, Smart Factories und Cyber-Physische Systeme wird die Produktion tiefgreifend verändert. Dadurch ergeben sich vielfältige Potenziale, jedoch auch Herausforderungen für die Fabrikplanung und den Fabrikbetrieb. Die Instandhaltung repräsentiert ein wichtiges Gestaltungsfeld im Zusammenhang mit Sozio-Cyber-Physischen Systemen, da sie einerseits eine hohe Bedeutung für die Prozessstabilität in Produktionssystemen aufweist und andererseits von komplexen Arbeitstätigkeiten geprägt ist. Im Projekt S-CPS steht die Optimierung von Instandhaltungsprozessen im Vordergrund, indem verschiedene menschliche und technische Akteure in intelligenten, kollaborativen Netzwerken zusammengeführt werden. Der vorliegende Beitrag stellt Ansätze zur Modellierung und Bewertung der relevanten Prozesse dar, diskutiert Verbesserungspotenziale durch den Einsatz von Sozio-Cyber-Physischen Systemen in Instandhaltungsprozessen und zeigt erzielbare Effekte anhand eines prototypischen Demonstrators auf.

## 1 Einleitung

### 1.1 Smart Maintenance

Im Zuge von Industrie 4.0 (u. a. Bauer et al., 2014), Smart Factories (u. a. Bauernhansl et al., 2014; Riedel et al., 2015) und Cyber-Physischen Systemen (CPS) wird die Digitalisierung von Unternehmen und ihrer Prozesse vorangetrieben, sodass die gesamte Wertschöpfungskette eines Produkts über Unternehmensgrenzen hinweg informationstechnisch vernetzt wird. CPS nehmen dabei eine zentrale Rolle in der Smart Factory ein. Sie vereinen reale, physische Objekte (z. B. Anlagen, Maschinen, Einrichtungen, Werkzeuge, Behälter oder Teile) mit intelligenten Informationskomponenten zur intelligenten Daten-/Informationsverarbeitung und Kommunikation sowie zur eigenständigen, dezentralen Arbeitsweise (Bauer et al., 2014; Geisberger & Broy, 2012; Lee, 2006).



Die Instandhaltung ist ein entscheidender Faktor für die Produktivität, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Produktionssystemen (Faccio et al., 2014; Schenk et al., 2014). Die Instandhaltung umfasst alle technischen, organisatorischen und administrativen Maßnahmen, um die Funktion eines Objektes zu gewährleisten, wobei die Grundmaßnahmen Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung und Wartung unterschieden werden (DIN 13306, 2010; DIN 31051, 2012). Die Effizienz und die Effektivität der Planung und Steuerung der Instandhaltungsprozesse spielen dabei eine besondere Rolle (Kovacs et al., 2011). Hierfür werden mehr und mehr moderne Informations- und Kommunikationstechnologien eingesetzt.

Aus der zunehmenden Vernetzung der Produktion resultiert, dass das Angebot an Daten und Informationen über die Technologien und Abläufe in der Fabrik steigt, sodass sich daraus weitreichende Chancen zur Prozessoptimierung im Fabrikbetrieb und damit auch in der Instandhaltung ergeben. Demgegenüber stehen jedoch komplexe Herausforderungen wie die effektive Handhabung und Nutzung der Menge an automatisch erfassten Daten sowie der nutzer- und kontextspezifischen Informationsbereitstellung in der Fabrik (Müller et al., 2016).

Trotz der hohen Bedeutung von Informations- und Kommunikationstechnologien für Instandhaltungsprozesse ist die Instandhaltung selbst in der Praxis nur partiell in die Informationsnetzwerke im Unternehmen eingebunden. Demzufolge müssen Daten und Informationen häufig manuell aus vorhandenen Informationssystemen wie Enterprise Resource Planning (ERP), Produktionsplanung und -steuerung (PPS), Manufacturing Execution System (MES), Product Data Management (PDM) sowie aus Sensorik und Aktorik auf Maschinen- und Anlagenebene zusammengetragen werden, um bspw. Mitarbeiter koordinieren, Aufgaben planen oder Maschinen und Anlagen verwalten zu können. Des Weiteren kommen in den schwer vorhersagbaren, zeitlich begrenzten (u. a. Berücksichtigung des Produktionsbetriebs), serviceorientierten und arbeitsteiligen Instandhaltungsprozessen verschiedenste interne und externe, menschliche und technische Akteure zusammen, deren Einsatz geplant und gesteuert werden muss. In den Instandhaltungsprozessen tritt daher Verschwendung – insbesondere in Form von Zeiten für die Suche und Aufbereitung der Informationen – auf.

## 1.2 Prozessbetrachtung im Projekt S-CPS

Vor diesem Hintergrund wird im Forschungsprojekt S-CPS: Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme darauf abgezielt, die für die Instandhaltung relevanten Datenströme eines Produktionssystems mit den relevanten Informationen für die an der Instandhaltung beteiligten Mitarbeiter in

Form eines sogenannten Ressourcen-Cockpits zusammenzuführen (Hopf et al., 2014). Das S-CPS-Ressourcen-Cockpit bietet Potenziale zur Prozessoptimierung, indem bspw. Prozesszeiten reduziert und langfristig die Qualität der Instandhaltung gesteigert werden kann (Hopf & Müller, 2015).

Zur Beschreibung und Beurteilung der Potenziale zur Prozessverbesserung wurde zunächst eine umfangreiche Analyse der Ist-Prozesse in den Anwendungsunternehmen durchgeführt, um daraus die Anforderungen an das zu entwickelnde Gesamtkonzept und insbesondere an das Ressourcen-Cockpit ableiten zu können. Hierfür wurden u. a. die Ist-Prozesse, die Stakeholder sowie die gewünschten Funktionalitäten der Anwender mittels Datenanalyse, Befragungen und Beobachtungen aufgenommen. Als Teilergebnis wurden die Anforderungen zusammengefasst, die neben der Größe, Form und Handhabung des Ressourcen-Cockpits vor allem die abzubildenden Daten, Informationen und Funktionen betreffen. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wurden im zweiten Schritt die konzeptionellen Entwicklungsarbeiten durchgeführt, welche die Gestaltung von informationstechnischer Referenzarchitektur, Referenzprozessen, Hard- und Softwarebausteinen zur Fehlerdiagnose, Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie Rollen und Views der Benutzer umfassen. Die Referenzprozesse als übergeordneter, nutzungsorientierter Rahmen für die Entwicklung und Anwendung des Ressourcen-Cockpits werden in Kapitel 2 näher vorgestellt.

Aus dem Vergleich der Ist- und Referenzprozesse der Instandhaltung wurden im Rahmen von Workshops die grundsätzlichen Potenziale zur Prozessverbesserung durch S-CPS abgeleitet (Kapitel 3). Die Vorgehensweise und Kriterien zur Beurteilung der Prozessverbesserung werden nachfolgend in Kapitel 4 vorgestellt. Die konkrete Bewertung der Potenziale erfolgt anhand eines Test Cases für den Demonstrator des Ressourcen-Cockpits in Kapitel 5, der in der Experimentier- und Digitalfabrik der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb umgesetzt wurde. In einer abschließenden Zusammenfassung werden die wesentlichen Potenziale des S-CPS-Ressourcen-Cockpits resümiert.

## 2 Modellierung der Instandhaltungsprozesse

### 2.1 Zielstellung und Vorgehen

Als Rahmen für die Entwicklung des Ressourcen-Cockpits werden allgemeine und spezifische Abläufe der Instandhaltung als Prozesse abgebildet, um damit die beabsichtigte Anwendung des Ressourcen-Cockpits aus einer übergeordneten Sichtweise beschreiben zu können. Zudem können damit Ansätze zur Prozessoptimierung identifiziert werden, die durch den Einsatz von

S-CPS entstehen. Die Herausforderung besteht insbesondere darin, die Prozesse der Instandhaltung, die in unterschiedlichsten Ausprägungen in der Praxis auftreten und oftmals nicht standardisiert werden können, in einer vereinfachten Form zu verallgemeinern.

Dazu wurden im Forschungsprojekt S-CPS zunächst die Ist- und Soll-Prozesse für Betrieb, Instandhaltung und Service der Maschinen und Anlagen in den Anwendungsunternehmen aufgenommen und analysiert. Zur einheitlichen Aufnahme und Darstellung dieser Geschäftsprozesse wurde insbesondere eine Dateivorlage in Form erweiterter Ereignisgesteuerter Prozessketten (eEPK) erarbeitet und eingesetzt. Damit wurden mittels projektrelevanter Attribute (bspw. verwendete Dokumente, IT-Systeme und Nutzerrollen) auch die nutzerspezifischen Daten- und Informationsbedarfe erfasst.

Parallel zur Ist-Analyse wurde eine Literatur- und Marktrecherche durchgeführt, um domänenübergreifende Standardprozesse der Instandhaltung zu identifizieren. Dabei wurde deutlich, dass in den Normen und Richtlinien nur auszugsweise verallgemeinerte Modelle für Instandhaltungsprozesse verfügbar sind. Wesentliche Anhaltspunkte für Abläufe in der Instandhaltung liefern die DIN 31051, die VDI 2890 und VDI 2895 sowie das Prozess-/Leistungsmodell im Facility Management der International Facility Management Association der Schweiz (DIN 31051, 2012; IFMA, 2015; VDI 2890, 2015; VDI 2895, 2012). Auf dieser Basis wurden verallgemeinerte Standardprozesse u. a. für die übergeordnete Planung und Steuerung sowie für die grundlegenden Instandhaltungsmaßnahmen Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung und Wartung abgeleitet und modelliert. Hierfür wurde die Dateivorlage derart erweitert, dass die einzelnen Modellierungssichten (vgl. Gadatsch, 2008) für die (Informations-) Systeme, Daten, Organisation und Prozesse detailliert werden können. Diese Herangehensweise ist für S-CPS von entscheidendem Vorteil, weil sie es erlaubt, die Abläufe und das Zusammenwirken der eingesetzten technischen Systeme und der nutzenden, menschlichen Akteure nach dem Grundsatz „Mensch, Technik und Organisation“ fokussiert auf die Daten- und Informationsflüsse abbilden zu können.

Schließlich wurden Referenzprozesse für die Instandhaltung unter Einbeziehung von S-CPS modelliert. Dazu fand ein Abgleich der Ist-/Soll-Prozesse und der Standardprozesse statt. Darauf aufbauend und unter Berücksichtigung der konzeptionellen Entwicklungsarbeiten für die Referenzarchitektur, Rollen, Schnittstellen etc. wurden Modelle für die Referenzprozesse erarbeitet. Diese erweitern die Standardprozesse um die S-CPS-spezifischen Elemente (in den folgenden Abbildungen durch die kursive Schrift gekennzeichnet; instanziierte Attribute sind eingerückt) für die System-, Daten-, Organisations- und Prozesssicht. Die Referenzprozesse und ihre einzelnen Sichten werden nachfolgend erläutert.

## 2.2 Referenzprozesse

### 2.2.1 Systemsicht

Die Systemsicht stellt die eingesetzten (Informations-) Systeme und deren Verbindung dar (Abbildung 1). Dabei werden die grundsätzlichen Informationssysteme der Produktion, wie ERP, MES und PDM, berücksichtigt. Auf Anlagen-/Maschinenebene kommen üblicherweise Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und andere Steuerungen zum Einsatz. Ebenfalls werden mehr und mehr Condition Monitoring (CM) oder separate Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme (IPS) eingesetzt.

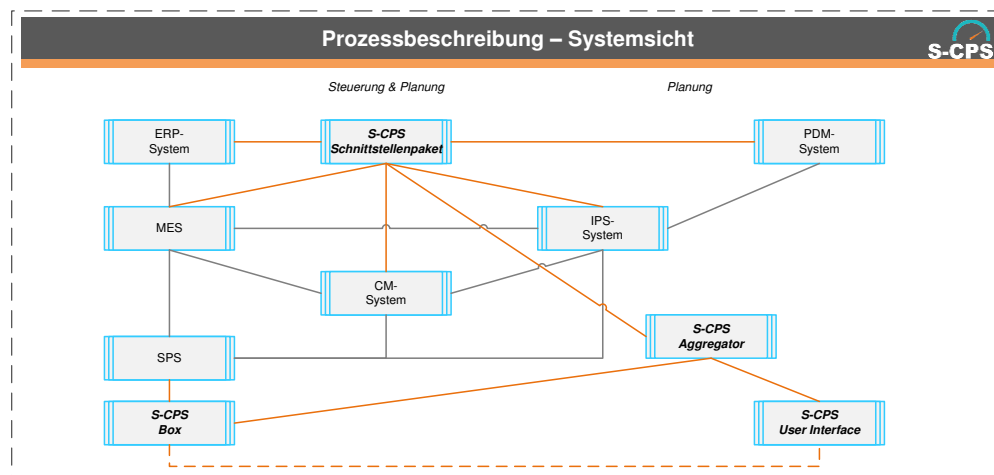


Abbildung 1: Systemsicht (Auszug)

An diese Grundstrukturen werden die S-CPS-Komponenten adaptiert. Die S-CPS Box erweitert ein reales Objekt (z. B. bestehende Maschine) zum CPS. Sie ist mit dem Objekt verbunden (z. B. per Datenverbindung zur SPS), nimmt eigenständig Daten auf (z. B. per eigene Sensoren), speichert Daten und Informationen lokal und dezentral (z. B. Bedienungsanleitungen, Pläne oder Zustandsdaten) und stellt diese im Netzwerk über eine oder mehrere Schnittstellen bzw. Webservices in permanenten Verbindungen (wenige Informationen) und Ad hoc-Verbindungen (bei Bedarf detaillierte Informationen) bereit. Der S-CPS Aggregator, als zentrale Einheit (Backend), verbindet zum einen die Boxen bzw. Objekte miteinander und zum anderen die S-CPS-Komponenten per unternehmensspezifischen S-CPS Schnittstellenpaket mit vorhandenen Informationssystemen im Unternehmen. Über das S-CPS User Interface (Be-

nutzerschnittstelle), u. a. in Form eines mobilen Endgeräts, bekommt der Benutzer rollen- und kontextspezifische Informationen für seine Prozesse bereitgestellt.

### 2.2.2 Datensicht

In der Datensicht werden die notwendigen bzw. die zu verarbeitenden Daten und Informationen zusammengefasst (Abbildung 2). Dabei werden auftragsneutrale Stammdaten (z. B. Dokumentationen, Listen, Pläne oder Vorschriften), auftragsabhängige Bewegungsdaten (z. B. Aufträge, Meldungen, Protokolle oder Zustandsdaten) sowie sonstige Daten (z. B. Foto- und Videoaufnahmen) unterschieden.



Abbildung 2: Datensicht (Auszug)

### 2.2.3 Organisationssicht

Die Organisationssicht stellt die beteiligten verantwortlichen Akteure dar (Abbildung 3). Dabei findet eine grundsätzliche Unterscheidung nach Betreibern sowie nach Herstellern, Lieferanten bzw. Service-Dienstleistern der Anlagen und Maschinen statt. Dies ist notwendig, um die Verantwortlichkeiten und die Zusammenarbeit der unterschiedlichen Personen unternehmensübergreifend darstellen zu können. Dies betrifft auch die Daten- und Systemsicht, weil hier u. a. entsprechende Zugriffsrechte auf Daten und Informationen aus organisatorischen, rechtlichen und sicherheitsrelevanten Gründen berücksichtigt werden müssen (z. B. bei der Fernwartung). Da CPS als intelligente autonome Einheiten selbstständig Aufgaben verantworten können, könnten diese auch selbst als Akteure hier aufgeführt werden.

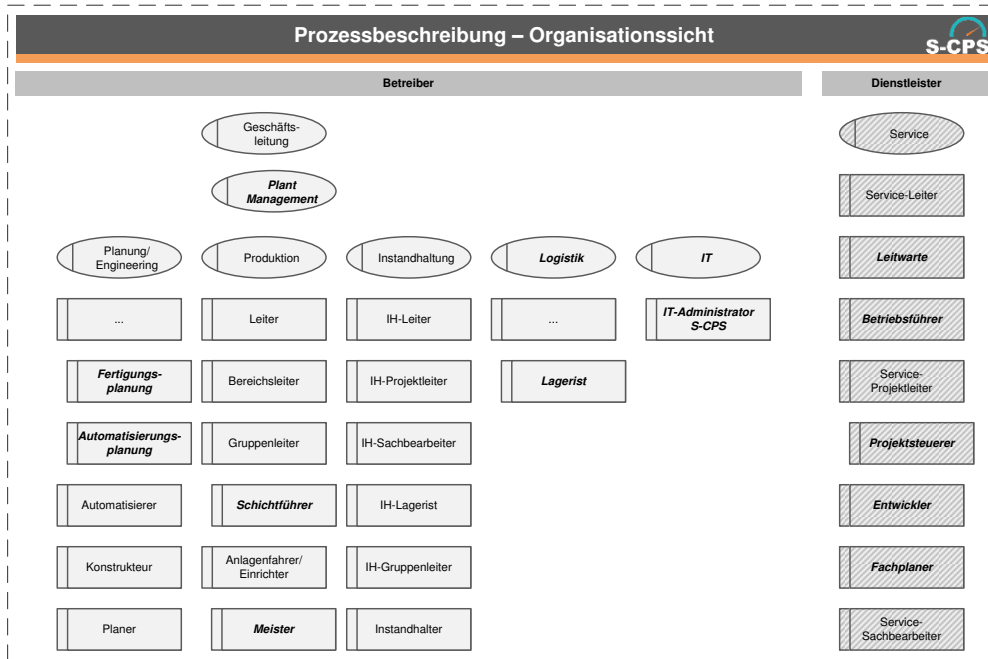


Abbildung 3: Organisationssicht (Auszug)

### 2.2.4 Prozesssicht

In der Prozesssicht werden die auszuführenden Funktionen und die damit verbundenen Ereignisse in ihrer Reihenfolge dargestellt, wobei den Funktionen ihre notwendigen Systeme, ein- und ausgehenden Daten/Informationen sowie die verantwortlichen Akteure zugeordnet werden. Somit werden in der Prozesssicht die anderen Sichten zusammengeführt.

Die Referenzprozesse umfassen Modelle für die Instandhaltungsplanung und -steuerung, die Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung und Wartung, die Störungsaufnahme, -analyse und -behebung, den Betrieb und die Betriebsüberwachung, der Materialbereitstellung sowie die Inbetriebnahme und Abnahme. In Abbildung 4 wird beispielhaft der Prozess der Störungsbehebung auszugsweise dargestellt. Wie zu erkennen ist, besteht die Prozessbeschreibung aus einem Kopfbereich, in dem zunächst der Prozess anhand von Typ, Ziel, Leistung, Messgrößen etc. charakterisiert wird. Darunter wird die eigentliche eEPK abgebildet, wobei die jeweiligen Akteure nicht fest zugeordnet werden, denn die Funktionen können je nach Anwendungsfall von verschiedenen Personen ausgeführt werden (z. B. durch internen Instandhalter und/oder externen Service-Mitarbeiter).



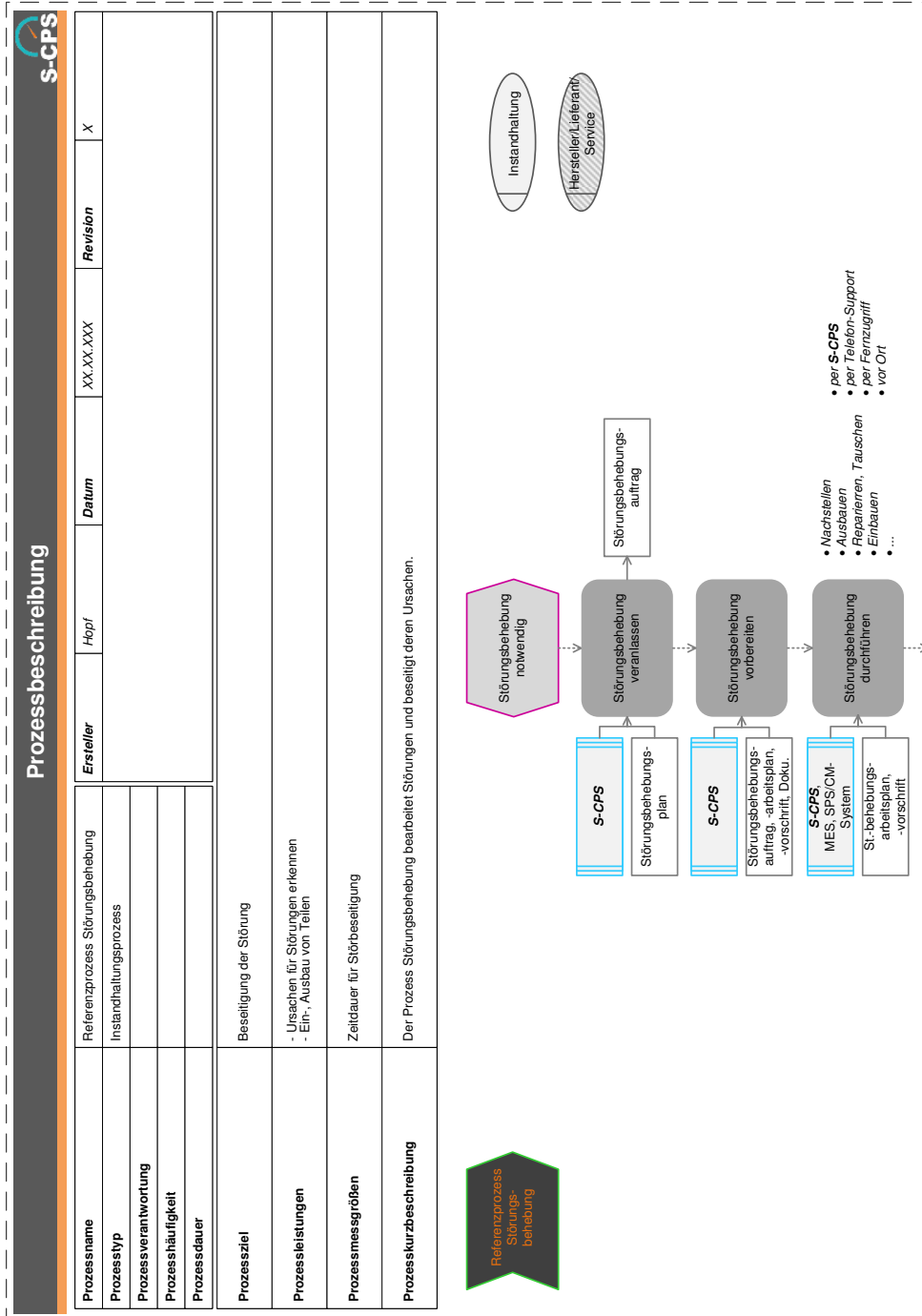


Abbildung 4: Prozesssicht – Prozessbeschreibung Störungsbehebung (Auszug)

### 3 Potenziale zur Prozessverbesserung mittels S-CPS

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass durch den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien und insbesondere durch S-CPS Instandhaltungsprozesse unterstützt und verbessert werden können.

Das hauptsächliche Potenzial zur Prozessoptimierung des eingangs vorgestellten S-CPS Ressourcen-Cockpits liegt in der Zusammenführung der verschiedensten, individuellen Hard- und Softwaresysteme sowie der zugehörigen Daten und Informationen im Unternehmen sowie im unternehmensübergreifenden Zusammenhang, um damit den unterschiedlichen Benutzern Hilfestellung zur Lösung ihrer Aufgaben zu bieten und dadurch die Instandhaltungsprozesse effizienter zu gestalten. Um dies zu erreichen, können in der ersten Iterationsstufe die folgenden grundlegenden Ansätze und Schritte zur Prozessoptimierung identifiziert werden:

- Integration/Zusammenführung der relevanten und spezifischen Hard- und Softwaresysteme der Unternehmen,
- Integration/Zusammenführung der relevanten und spezifischen Daten und Informationen für die Instandhaltung,
- Verarbeitung der Daten zu kontextspezifischen Informationen für die Instandhaltungsprozesse,
- dezentrale Haltung der Daten und Informationen,
- mobile, kontextspezifische, bedarfsgerechte Bereitstellung der Informationen.

Hierfür müssen zunächst alle notwendigen Hard- und Softwaresysteme im Unternehmen erfasst, kategorisiert und an das Ressourcen-Cockpit angebunden werden. Dazu gehören bspw. vorhandene ERP-, MES- oder PDM-Systeme, die von Unternehmen zu Unternehmen sehr stark variieren. Darüber hinaus betrifft dies die Cyber-Physischen Systeme in der Produktion, die in der Lage sind, selbst vernetzt zu kommunizieren und zu kooperieren. Daher enthält das Ressourcen-Cockpit generische Schnittstellen, mit denen es in die jeweiligen Unternehmen, Unternehmenssysteme und -prozesse integriert werden kann, sodass die vorhandenen Datenquellen abgefragt bzw. mit ihnen Daten ausgetauscht werden können (vgl. S-CPS Schnittstellenpaket und S-CPS Aggregator/Backend).

Ist diese Voraussetzung geschaffen, können nun die für die Prozesse notwendigen Daten und Informationen zusammengeführt werden. Das bedeutet, dass im Ressourcen-Cockpit die prozessrelevanten Daten und Informationen (z. B. Arbeitsaufträge der Mitarbeiter, Maschinenbelegung oder -zustände) aus den angebundenen Systemen abgefragt, selbst erfasst und zusammengefasst werden. Hierfür sind die Arten und Eigenschaften der Daten sowie die benötigte Form der Informationen zu spezifizieren (vgl. S-CPS Schnittstellenpaket und S-CPS Aggregator/Backend).

Ein wesentlicher Punkt zur Prozessoptimierung besteht in der weiteren Verarbeitung der Daten zu kontextspezifischen Informationen. Das bedeutet, dass aus der Unmenge an Daten nur die aufgaben- und rollenspezifischen Informationen gefiltert bzw. generiert werden. Dementsprechend sind hierbei die Instandhaltungsaufgaben (z. B. Störungsbehebung) sowie die Rollen der Benutzer (z. B. Werker, Instandhalter, Service-Mitarbeiter) zu berücksichtigen, sodass nur die wirklich relevanten Informationen bedarfsgerecht aggregiert werden. Dies führt dazu, dass manuelle Prozessschritte, die die Suche, Sammlung und Zusammenfassung notwendiger Daten umfassen, reduziert bzw. eliminiert werden (vgl. S-CPS Aggregator/Backend). Die Eliminierung manueller Prozessschritte erhöht zusätzlich die Prozesssicherheit, da an Schnittstellen zwischen manuellen Aufzeichnungen und elektronischen Systemen Übertragungsfehler auftreten können.

Im Zuge der zunehmenden Vernetzung der Systeme sowie der automatischen, sensorgestützten Datenerfassung und -verarbeitung wächst die Datenmenge im Unternehmen und in der Produktion immer weiter an. Daher sind neben der kontextspezifischen Zusammenfassung der Daten und Informationen auch deren Speicherung und Bereitstellung zu verbessern. Zentralistische Systeme verlangen eine entsprechende Netzwerkinfrastruktur, die die großen Datenmengen sowie die notwendigen Übertragungsraten und -geschwindigkeiten gewährleisten können. Um die Belastung der Netzwerke möglichst gering zu halten, bietet es sich an, eine dezentrale Datenhaltung vorzusehen.

Gerade vor dem Hintergrund der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit von Betreibern und Herstellern, Lieferanten bzw. Service-Dienstleistern zeigt sich, dass sich auf der Maschinen- und Anlagenebene alle grundsätzlichen Daten und Informationen zu den technischen Betriebsmitteln bündeln lassen. Diese können bedarfsgerecht für verschiedene Anwendungsfälle (z. B. Kontrolle und Protokollierung der Betriebszustände durch den Betreiber bzw. Durchführung oder Überwachung notwendiger Instandhaltungsaufgaben durch Service-Dienstleister) bedarfsgerecht angeboten werden. Das führt auch dazu, dass verschiedenste unternehmensinterne oder -externe Informationssysteme an die dezentrale Einheit angebunden werden können (vgl.

S-CPS Box). Eine Bündelung der Informationen ermöglicht eine einfachere Aktualisierung von Dokumenten (z. B. Anlagendokumentation) ebenso wie die Sicherstellung, dass alle beteiligten Akteure auf die jeweils aktuelle Version der Dokumentation zugreifen.

Nachdem die relevanten Daten und Informationen aggregiert sind, müssen sie kontextspezifisch dem Benutzer bereitgestellt werden. Da die Instandhaltungsaufgaben typischerweise vor Ort an der Anlage oder Maschine auszuführen sind, ist dementsprechend eine mobile Lösung (u. a. Tablet oder Laptop) notwendig. Dabei ist der Benutzer mit seiner Rolle am System angemeldet und bekommt nur die für ihn und seine aktuelle Aufgabe relevanten Informationen angezeigt. Somit kann der Prozess effizienter, insbesondere schneller, durchgeführt werden, weil nicht erst die notwendigen Informationen manuell zusammengetragen werden müssen. Aus der Ist-Analyse im Projekt S-CPS geht hervor, dass diese Zusammenstellung der Daten und Informationen einen großen Zeitfaktor in der ganzen Prozesskette einnimmt. Des Weiteren assistiert das System bei der Durchführung der Arbeiten, indem es auf Basis der verarbeiteten Daten und Benutzereingaben die nächsten Bearbeitungsschritte vorgibt. Dadurch kann den Instandhaltungsmitarbeitern Sicherheit bei der Ausführung der typischerweise komplexen und heterogenen Tätigkeiten gegeben werden. Schließlich steigert die Übersichtlichkeit von Informationen das Nutzungspotenzial eines Systems durch die Mitarbeiter sowie deren Zufriedenheit.

Darüber hinaus kann der Benutzer während und nach Abschluss seiner Tätigkeiten den Auftrag und die damit verbundenen Aufgaben direkt vor Ort dokumentieren, ohne dass weitere Prozessschritte notwendig sind (vgl. S-CPS User Interface). Durch die Dokumentation und Auswertung von Instandhaltungsprozessen (z. B. Störungsbehebung) wird eine kontinuierliche Unterstützung und Verbesserung der standardisierten Prozesse ermöglicht. Langfristig können diese Informationen genutzt werden, um die Planbarkeit der Instandhaltung zu erhöhen und damit weitere wirtschaftliche Potenziale zu erschließen (z. B. Berücksichtigung typischer Fehlerquellen in der vorbeugenden Instandhaltung).

Zusammengefasst tragen die dargestellten Ansätze dazu bei, dass das Daten- und Informationsmanagement erweitert und vereinfacht sowie die Prozessumfänge (Prozessinhalte, -schritte, -ketten) auf die wesentlichen Punkte zur Lösung der Instandhaltungsaufgaben reduziert werden. Letzteres betrifft insbesondere die Verkürzung oder Eliminierung von Prozessen und Prozessschritten zur Daten-/Informationssuche, -verarbeitung, -bereitstellung sowie zur Auftrags-/Aufgabensteuerung, -durchführung und -kontrolle. Die Beurteilung der Prozessverbesserung anhand konkreter Zielgrößen ist Gegenstand des nachfolgenden Abschnittes.

## 4 Beurteilung der Prozessverbesserung

### 4.1 Methodische Vorgehensweise

Die kontinuierliche Analyse, Überprüfung und Optimierung von Abläufen in einem Unternehmen folgt der Vorgehensweise des Geschäftsprozessmanagements in den Schritten Vorbereitung (Zielformulierung, Abgrenzung), Durchführung (Modellierung, Implementierung und Analyse) sowie Verbesserung in Form einer (inkrementellen) Optimierung oder einer (radikalen) Restrukturierung (Palleduhn & Neuendorf, 2013).

Der Ausgangspunkt für die Identifizierung von Möglichkeiten zur Prozessverbesserung ist daher die Modellierung der Ist-Prozesse (siehe Kapitel 2). Hierbei ist zusätzlich die Definition von Prozesszielgrößen zu berücksichtigen, die den Ausgangspunkt für die nachfolgende Optimierung bilden. Für die Erarbeitung von Optimierungspotenzialen können neben allgemeinen Kreativitätstechniken konkrete Methoden der Prozessverbesserung wie Kaizen oder Six Sigma eingesetzt werden (Koch, 2015). Die erarbeiteten Soll-Prozesse können anschließend in der gleichen Methodik wie die Ist-Prozesse modelliert werden. Danach erfolgt der beurteilende Vergleich zwischen Ist- und Soll-Prozess anhand der definierten Prozesszielgrößen. Prozessverbesserungen können grundsätzlich mithilfe der folgenden Maßnahmen erreicht werden:

- Eliminierung von Prozessen oder Prozessschritten,
- Verkürzung von Prozessen oder Prozessschritten sowie
- Vereinfachung von Prozessen oder Prozessschritten.

Für die Bewertung von Prozessmodellen können quantitative (z. B. Kostenvergleichsrechnung) und qualitative Bewertungsverfahren (z. B. Nutzwertanalyse) herangezogen werden (Koch, 2015). Die methodische Vorgehensweise zur Beurteilung der Prozessverbesserung ist in Abbildung 5 zusammenfassend visualisiert und wird in Kapitel 5 für den Demonstrator angewendet.

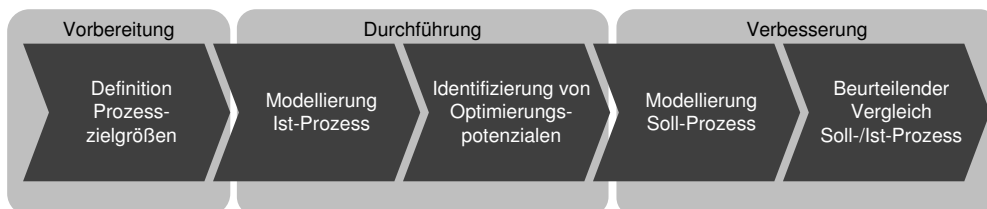


Abbildung 5: Vorgehensweise zur Beurteilung der Prozessverbesserung

## 4.2 Bewertungskriterien für Instandhaltungsprozesse

Wie in Abschnitt 4.1 dargestellt, ist die Definition von Zielgrößen eine wesentliche Voraussetzung für die Bewertung von Prozessverbesserungen. Für die Bewertung der Instandhaltung können verschiedene Indikatoren in Form von absoluten oder relativen Kennzahlen herangezogen werden (VDI 2893, 2006). Dabei ist jeweils zwischen dem Aufwand für Instandhaltungsprozesse (Prozess- bzw. Finanzkennzahlen) und dem resultierenden Nutzen für die Produktion zu unterscheiden. Im Rahmen des Projektes wurden Kennzahlen für Instandhaltungsprozesse definiert, die zur Beurteilung der Verbesserung von Instandhaltungsprozessen herangezogen werden können (Tabelle 1). Die Anwendung der Bewertungskriterien für den Demonstrator des S-CPS Ressourcen-Cockpits erfolgt in Abschnitt 5.3.

*Tabelle 1: Ausgewählte Kennzahlen für Instandhaltungsprozesse, erweitert nach VDI 2893 (2006)*

	<b>Kennzahl</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Aufwandsperspektive</b>	Instandhaltungszeit	Gesamte Zeit für Instandhaltungsmaßnahme
	Reaktionszeit	Zeit von Auftreten einer Störung bis Beginn der Analyse
	Analysezeit	Zeit zur Analyse einer Störung (z. B. Suche nach geeigneten Informationen)
	Behebungszeit	Zeit zur Behebung einer Störung
	Anzahl beteiligter Rollen	Anzahl interner und externer Rollen mit Aufgaben im Instandhaltungsprozess
	Anzahl Systemübergänge	Anzahl der Übergänge zwischen verschiedenen Systemen oder Medien
	Bereitstellungsaufwand für Instandhaltungsinformationen	Aufwand für Erstellung und Pflege von instandhaltungsrelevanten Informationen (z. B. Vorlage für Störungsmeldungen)
<b>Nutzenperspektive</b>	Ausfallzeit	Ausfallzeiten an Anlagen (z. B. aufgrund von Störungen)
	Anlagenverfügbarkeit	Grad der Nutzungsfähigkeit einer Anlage
	Mittlere Ausfallzeit / Mean Time To Repair (MTTR)	Durchschnittliche Ausfallzeit pro Instandsetzung
	Mittlerer Ausfallabstand / Mean Time Between Failures (MTBF)	Durchschnittliche Laufzeit einer Anlage zwischen zwei Ausfällen
	Anzahl Störungen	Anzahl an Störungen einer Anlage in einer definierten Zeit
	Anzahl Ausfälle	Anzahl der Anlagenausfälle aufgrund von Störungen in einer definierten Zeit
	Arbeitssicherheit	z. B. Anzahl Unfälle



## 5 Verbesserung von Instandhaltungsprozessen am Beispiel des Demonstrators Experimentier- und Digitalfabrik

### 5.1 Beschreibung des Demonstrators

Im Rahmen des Projektes wurde ein Demonstrator in der Experimentier- und Digitalfabrik (EDF) der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb realisiert. Die EDF verfügt über verschiedene Produktions- und Logistikkomponenten einer stückgutbasierten Produktion einschließlich der zugehörigen Planungs- und Steuerungskomponenten.

Für den Demonstrator wurden zunächst die vorhandenen Anlagen und Einrichtungen hinsichtlich ihrer Eignung als Betrachtungsobjekt untersucht. Auf dieser Basis wurde das Transfersystem TS5 ausgewählt, das einen Stetigförderer zum Transport von Kleinladungsträgern umfasst. Das System weist fünf Arbeitsstationen auf, die manuelle oder automatische Bearbeitungsschritte repräsentieren, sodass verschiedene Anwendungsszenarien abgebildet werden können. Das Transfersystem ist mit einer Siemens S7 SPS ausgestattet, die den Materialfluss der Werkstückträger steuert. Dabei wird an der ersten Arbeitsstation mithilfe eines RFID-Identifikationssystems das jeweilige Produkt identifiziert, in Abhängigkeit dessen die Bearbeitungszeiten sowie die Art der nachfolgenden Arbeitsstationen (manuell oder automatisch) festgelegt sind. Den Eingang bzw. Ausgang eines Werkstückträgers in bzw. aus einer Arbeitsstation wird durch induktive Näherungsschalter registriert.

Zur Umsetzung des Demonstrators erfolgte die Ankopplung der Datenerfassung mithilfe der S-CPS-Box und der Datenvisualisierung mittels des S-CPS Ressourcen-Cockpits (Brenner et al., s. S. 167 ff.). Auf dieser Basis werden auftretende Störmeldungen des Transfersystems direkt in eine Visualisierung des Ressourcen-Cockpits überführt, die über mobile Endgeräte von verschiedenen Benutzern abgerufen werden kann (Abbildung 6).



Abbildung 6: Demonstrator Experimentier- und Digitalfabrik

## 5.2 Anwendungsszenario für Instandhaltungsprozess

Die Beurteilung des umgesetzten Demonstrators erfolgt nach der in Abschnitt 4.1 skizzierten Vorgehensweise. Hierfür wird ein konkreter Test Case einer Störung im Transfersystem betrachtet. Für dieses Szenario werden nachfolgend sowohl der Instandhaltungsprozess im Ausgangszustand als auch im verbesserten Zustand unter Nutzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits beschrieben und modelliert.

Der Ausgangspunkt des Prozesses ist eine vom System gemeldete Störung. Daraufhin wird zunächst der Anlagenfahrer kontaktiert, der die Störungsmeldung am Bedienpanel der Steuerung identifiziert und die Störung unter Nutzung der Dokumentation des Anlagenlieferanten analysiert. Führen die in dieser Dokumentation enthaltenen Maßnahmen (z. B. Reset der Steuerung) nicht zur Lösung des Problems, wird die Instandhaltung kontaktiert. Für die weitere Analyse werden zudem die Dokumentationen des Anlagenherstellers bzw. Herstellers einzelner Komponenten (z. B. Identifikationssystem für Werkstückträger) benötigt. Je nach Eingrenzung möglicher Fehlerursachen wird der Anlagenlieferant kontaktiert und eine Beschreibung des Systemzustandes übermittelt. Im Austausch zwischen dem Anlagenlieferanten und dem Instandhalter werden weitere Maßnahmen abgeleitet und die Störung schließlich behoben (z. B. durch mechanisches Verstellen der Initiatoren). Aus dieser Beschreibung lässt sich schlussfolgern, dass ein hoher Anteil der Instandhaltungszeit für die Suche und Erschließung der relevanten Informationen aufgewendet wird und viele Personen am Prozess beteiligt sind.

Unter Nutzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits wird die Störungsmeldung dem Instandhalter direkt auf einem mobilen Endgerät angezeigt. Die Analyse möglicher Fehlerursachen und Ableitung entsprechender Maßnahmen wird durch den bereitgestellten Handlungsleitfaden unterstützt. Ein Kontakt zum Anlagenlieferant ist in diesem Fall nur erforderlich, falls der Instandhalter Rückfragen hat oder die Störung auf einen anderen Fehler wie bspw. der programmierten Steuerung zurückzuführen ist.

Die Modellierung der Prozesse ist in Abbildung 7 dargestellt, wobei die S-CPS-Komponenten kursiv hervorgehoben sind. Es wird deutlich, dass durch die Nutzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits Prozessschritte eliminiert und vereinfacht werden können. Die Beurteilung anhand ausgewählter Prozesszielgrößen erfolgt im nachfolgenden Abschnitt.

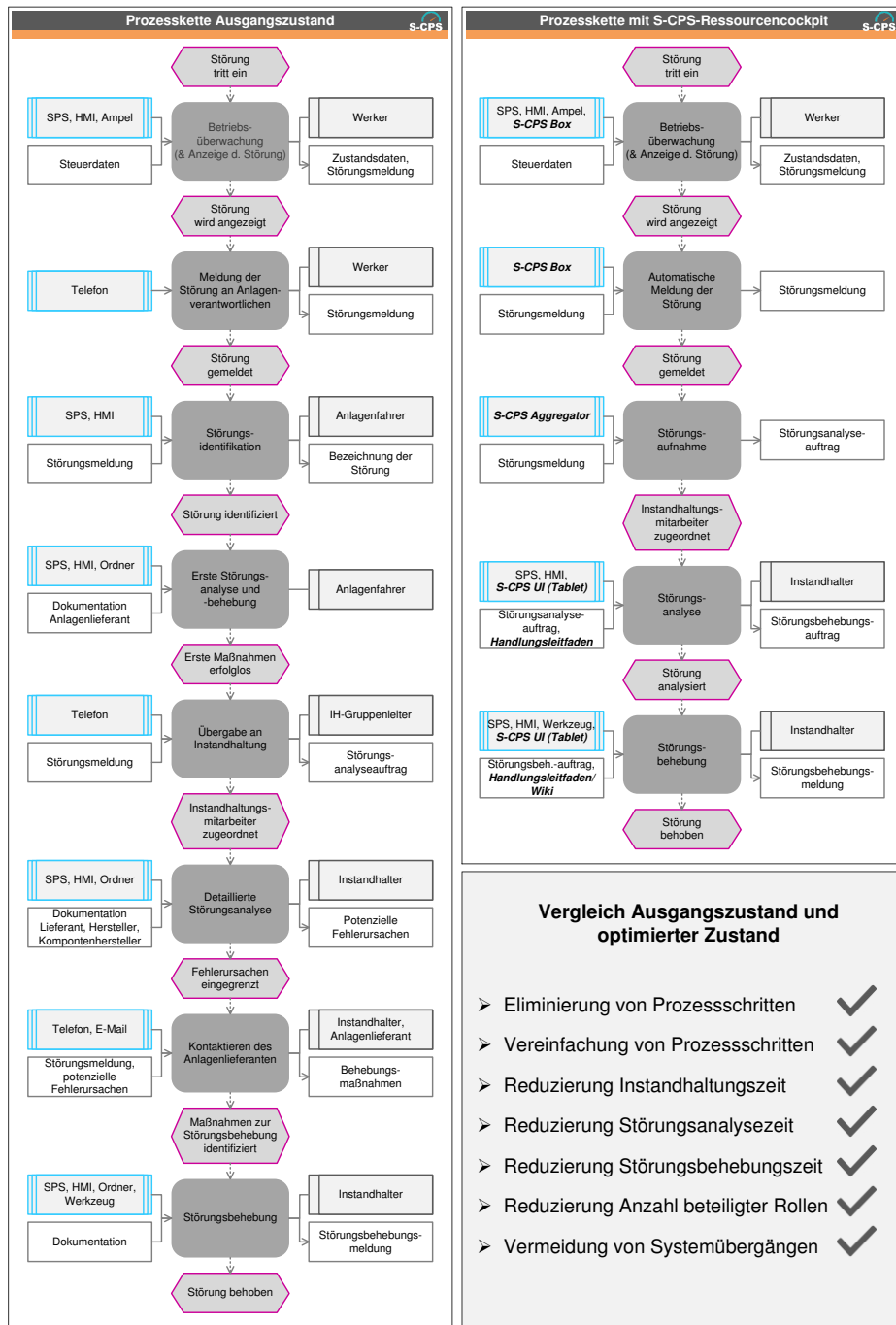


Abbildung 7: Vergleich des Ausgangsprozesses und des optimierten Prozesses unter Nutzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits im Test Case

### 5.3 Beurteilung der Prozessverbesserung im Demonstrator

Die Beurteilung der Prozessverbesserung durch das S-CPS Ressourcen-Cockpit erfolgt unter Anwendung ausgewählter Kennzahlen aus Abschnitt 4.2.

#### **Instandhaltungszeit**

Die Instandhaltungszeit setzt sich aus der Reaktions-, Analyse- und Behebungszeit zusammen. Während im Ausgangszustand eine manuelle Meldung an den Anlagenfahrer erfolgt, kann die Reaktionszeit unter Nutzung des Ressourcen-Cockpits verkürzt werden, indem die automatische Meldung direkt an den Instandhalter erfolgt. Für die Analyse der Störung werden im Ausgangsszenario die Suche und Erschließung geeigneter Informationen in der Dokumentation berücksichtigt, die je nach Häufigkeit der Arbeit mit dem entsprechenden System sehr hoch ausfallen kann. Das Ressourcen-Cockpit stellt stattdessen einen Handlungsleitfaden bereit, der eine gezielte Analyse ermöglicht. Das Einsparpotenzial der Analysezeit wird für den Test Case auf bis zu 75 % eingeschätzt, hängt jedoch stark von der Ausgangsbasis der Anlagendokumentation sowie der Art der Aufbereitung der Informationen im Handlungsleitfaden ab. Die Behebungszeit hängt von der Art der Störung und der zugrundeliegenden Fehlerursache ab. Falls zusätzliche Abstimmungen mit dem Anlagenlieferanten erforderlich sind, hängen diese weiterhin von der Verfügbarkeit der jeweiligen Ansprechpartner ab. Die Störungsbehebung mithilfe des Ressourcen-Cockpits wird durch den Handlungsleitfaden und ggf. durch ein Wiki unterstützt, sodass grundsätzlich keine weiteren Abstimmungen erforderlich sind. Insgesamt kann die Reduzierung der Instandhaltungszeit für das betrachtete Szenario im Demonstrator auf bis zu 50 % geschätzt werden.

#### **Anzahl beteiligter Rollen**

Im Ausgangszustand sind neben dem Werker und dem Instandhalter zusätzlich der Anlagenfahrer, der Instandhaltungs-Gruppenleiter sowie der Anlagenlieferant am Prozess beteiligt. Dies führt zu zusätzlichem Kommunikations- und Abstimmungsaufwand, der durch das Ressourcen-Cockpit stark verringert werden kann.

#### **Anzahl Systemübergänge**

Im Ausgangszustand werden verschiedene Medien zur Kommunikation (Telefon, E-Mail) und Dokumentation (schriftliche Anlagendokumentation, manuelle Störungsmeldung) benötigt. Durch das Ressourcen-Cockpit kann ein durchgängiges System genutzt werden und der Kommunikationsaufwand wird verringert. Dadurch wird der Instandhaltungsprozess vereinfacht. Zusätzlich entfällt die Übertragung manuell geführter Dokumente in ein IT-System

(z. B. zur Dokumentation aufgetretener Störungen), die zusätzlichen Aufwand verursacht und zu weiteren möglichen Fehlern führen kann.

### **Bereitstellungsaufwand für Instandhaltungsinformationen**

Die für die Instandhaltung erforderlichen Informationen müssen vor deren Anwendung in einem bestimmten Szenario zur Verfügung stehen. Im Ausgangszustand umfassen diese die vom Hersteller bzw. Anlagenlieferanten standardmäßig bereitgestellten Dokumentationen. Für die Entwicklung des Handlungsleitfadens und ggf. weiterer Dokumente des S-CPS Ressourcen-Cockpits ist zunächst der Erstellungsaufwand zu berücksichtigen, der jedoch durch die Bereitstellung von Vorlagen o. ä. reduziert werden kann.

### **Ausfallzeit**

Im vorliegenden Anwendungsszenario wird davon ausgegangen, dass die Ausfallzeit der Instandhaltungszeit entspricht, da es sich lediglich auf einen Störfall bezieht. Dementsprechend liegt ein hohes Potenzial zur Reduzierung der Ausfallzeit bzw. Steigerung der Anlagenverfügbarkeit vor.

### **Zusammenfassende Betrachtung**

Für den umgesetzten Demonstrator des S-CPS Ressourcen-Cockpits liegen hohe Potenziale zur Reduzierung der Instandhaltungszeit, der am Instandhaltungsprozess beteiligten Rollen sowie der Anzahl von Systemübergängen vor (siehe Abbildung 7). Andererseits ist der initiale Aufwand zur Erstellung der unterstützenden Dokumente (z. B. Handlungsleitfaden) als hoch einzustufen und wurde für den vorliegenden Demonstrator nur exemplarisch für einzelne Störungskategorien umgesetzt. Weiterhin ist festzustellen, dass die konkrete Auswirkung der Prozessverbesserung stark vom Ausgangszustand abhängt. In jedem Falle bietet die Umsetzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits jedoch Potenziale zur Steigerung der Transparenz und Standardisierung der Instandhaltungsprozesse.

## **6 Fazit**

Im Zuge aktueller Entwicklungen wird die Digitalisierung der Unternehmen in Form der informationstechnischen Vernetzung von Produktionssystemen zunehmend vorangetrieben. Die Instandhaltung bietet hierfür ein großes wirtschaftliches Potenzial, da sie eine wichtige Rolle zur Steigerung der Produktivität von Unternehmen spielt. Zudem zeichnen sich Instandhaltungsprozesse durch heterogene Aktivitäten mit verschiedensten menschlichen und



technischen Akteuren aus. Durch den Einsatz von S-CPS können die Planung, Steuerung und Durchführung von Instandhaltungsaufgaben unterstützt werden. Dies betrifft insbesondere die rollen- und kontextspezifische Daten- und Informationsbereitstellung für die mobilen Mitarbeiter durch das S-CPS Ressourcen-Cockpit. Hierzu werden im vorliegenden Beitrag verallgemeinerte Referenzmodelle für Instandhaltungsprozesse beschrieben. Der Einsatz von S-CPS in Instandhaltungsprozessen bietet verschiedene Potenziale zur Prozessoptimierung, die anhand der vorgestellten Zielgrößen beurteilt werden können. Die exemplarische Anwendung des S-CPS Ressourcen-Cockpits wird anhand eines Demonstrators aufgezeigt und die Verbesserungspotenziale anhand eines konkreten Test Cases diskutiert. Hierbei zeigt sich ein großes Potenzial zur Reduzierung der Instandhaltungszeit und zur Vereinfachung der Instandhaltungsprozesse.

## 7 Literaturverzeichnis

- Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach, D., & Ganschar, O. (2014). *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland – Studie*. Berlin: BITKOM.
- Bauernhansl, T., ten Hompel, M., & Vogel-Heuser, B. (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendungen, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2010). *DIN EN 13306 – Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung*. Berlin: Beuth.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2012). *DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung*. Berlin: Beuth.
- Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., & Zanin, G. (2014). Industrial maintenance policy development: A quantitative framework. *International Journal of Production Economics*, 147, 85-93.
- Gadatsch, A., (2008). *Grundkurs Geschäftsprozess-Management – Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker*. Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag.
- Geisberger, E., & Broy, M. (2012). *agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE)*. München, Berlin: acatech.
- Hopf, H., Jentsch, D., Löffler, T., Horbach, S., & Bullinger-Hoffmann, A. C. (2014). Improving Maintenance Processes with Socio-Cyber-Physical Sys-

- tems. In F. F. Chen (Hrsg.), *Proceedings of the 24th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing* (S. 1163-1170). Lancaster, Pennsylvania, USA: DEStech Publications.
- Hopf, H., & Müller, E. (2015). Modellierung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen mit Sozio-Cyber-Physischen Systemen. In E. Müller (Hrsg.), *Vernetzt planen und produzieren – VPP2015. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 21*, (S. 389-398). TU Chemnitz.
- IFMA (2015). *Prozess-/Leistungsmodell ProLeMo*. <http://www.ifma.ch/standards-richtlinien/prolemo>
- Koch, S. (2015). *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen – Six Sigma, Kaizen und TQM*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kovacs, A., Erdos, G., Viharos, Z. J., & Monostori, L. (2011). A system for the detailed scheduling of wind farm maintenance. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60, 497-501.
- Lee, E. A. (2006). *Cyber-Physical Systems – Are Computing Foundations Adequate?. Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap*. Austin.
- Müller, E., Hopf, H., Clauß, M., & Börner, F. (2016). Cyber-Physische Systeme in der Instandhaltung - Herausforderungen und Chancen. In: G. Horn (Hrsg.), *Der Instandhaltungs-Berater* (S. 1-30). Köln: TÜV Media GmbH.
- Palleduhn, U., & Neuendorf, H. (2013). *Geschäftsprozessmanagement und Integrierte Informationsverarbeitung*. München: Oldenbourg.
- Riedel, R., Göhlert, N., & Müller, E. (2015). Industrie 4.0 in der Textilindustrie – Ansätze der Smart Factory unter besonderer Berücksichtigung textiler Produkte und Prozesse. *wt Werkstattstechnik online*, 105 (4), 195-199.
- Schenk, M., Wirth, S., & Müller, E. (2014). *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb - Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V. (2015). *VDI 2890 Entwurf – Planmäßige Instandhaltung – Anleitung zur Erstellung von Arbeits-, Wartungs- und Inspektionsplänen*. Berlin: Beuth.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V. (2006). *VDI 2893 Auswahl und Bildung von Kennzahlen für die Instandhaltung*. Berlin: Beuth.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V. (2012). *VDI 2895 – Organisation der Instandhaltung – Instandhalten als Unternehmensaufgabe*. Berlin: Beuth.

## Autoren



### Hopf, Hendrik

Dr.-Ing. Hendrik Hopf ist Gruppenleiter an der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Chemnitz. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Fabrik- und Logistikplanung, Industrie 4.0 sowie Energie- und Ressourceneffizienz.



### Krones, Manuela

Dipl.-Math. oec. Manuela Krones ist seit 2011 Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Chemnitz. Ihre Forschungsfelder liegen in den Bereichen Fabrik- und Logistikplanung, Energieeffizienz und Kompetenzentwicklung.



### Müller, Egon

Prof. Dr.-Ing. Egon Müller leitet die Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb an der Technischen Universität Chemnitz. Die Arbeitsgebiete der Professur liegen vorwiegend in der Untersuchung und Entwicklung zukünftiger Produktionsstrukturen und neuartiger Fabrikkonzepte sowie der Erarbeitung von Methoden und Werkzeugen für die Planung und den Betrieb energieeffizienter und wandelbarer produktionstechnischer Systeme und Fabriken.

# Erstellung einer Referenzarchitektur anhand von individuellen Unternehmensanforderungen

Andreas Reidt<sup>1</sup>, Markus Duchon<sup>1</sup>, Helmut Krcmar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>fortiss GmbH, München

<sup>2</sup>TU München, Institut für Wirtschaftsinformatik

## Zusammenfassung

Durch die Bereitstellung von Referenzarchitekturen (RA) im Kontext von Industrie 4.0 kann der Prozess zur Entwicklung entsprechender Applikationen stark verbessert werden. Die Entwicklungszeit verkürzt sich, die Qualität steigert sich und eine Kompatibilität zwischen unterschiedlichen Applikationen, die auf einer gemeinsamen RA aufbauen, kann gesichert werden. Die Entwicklung von RAen ist jedoch eine herausfordernde Aufgabe, besonders wenn keine bestehenden offenen Architekturen für diese Art von Applikationen existieren, aus denen eine RA extrahiert werden kann. Um die Entwicklung solcher RAen zu vereinfachen, wird daher in diesem Beitrag der Erstellungsprozess einer RA für Ressourcen-Cockpits zur Unterstützung der Instandhaltung dargelegt, der anhand von Anforderungen an spezifische Systeme eine adäquate RA ableitet. Neben dem Prozess werden die Grundlagen in Form von generischen, und spezifische Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit dargelegt.

## 1 Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung führt aufgrund ihrer disruptiven Effekte bei der traditionellen, etablierten Industrie zu großen Umwälzungen. Besonders betroffen ist das in Deutschland stark vertretende produzierende Gewerbe: Hier wirken als Treiber der Digitalisierung insbesondere auch verbundene Trends wie die digitale Fabrik (Hollstein et al., 2012), Cyber-physische Systeme (CPS) (Geisberger & Broy, 2012), Industrie 4.0 (Lachenmaier et al., 2015) oder dessen begriffliches Pendant, dem Industrial Internet (Lin et al., 2015). Dies hat einerseits zur Folge, dass bestehende Prozesse der produzierenden Industrie einem starken rein technologischen Wandel unterliegen, andererseits werden Änderungen am bisher betriebenen Geschäftsmodell durch die aktuellen Technologien nicht nur möglich, sondern auch nötig. Eine zu beobachtende Auswirkung bei den produzierenden Unternehmen ist, dass diese sich zunehmend von ursprünglich rein produzierenden Unternehmen zu produzierenden Service Anbietern wandeln (Daeuble et al., 2015).

Damit verbunden sind insbesondere Auswirkungen auf unterstützende Prozesse wie der Instandhaltung, welche sich mit enorm erhöhter Komplexität, aber auch Bedeutung auseinandersetzen muss (Reidt et al., 2016). Unter Instandhaltung wird in diesem Beitrag die „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann“ (DIN 31051, 2012-09) verstanden. Die fortlaufend steigende Komplexität äußert sich in der zunehmenden Integration von fortschrittlicher Informationstechnologie in Produktionsanlagen und Maschinen, wodurch der Anspruch an die handelnden Personen der Instandhaltung erhöht wird. Die steigende Bedeutung drückt sich, neben den enormen Kosten bei Ausfall von Maschinen, in der Möglichkeit aus, dass die Instandhaltung integraler Bestandteil des Geschäftsmodells des Unternehmens bzw. Teil der Service-Leistung des zu verkaufenden Produktes wird.

Der technologische Fortschritt erzeugt jedoch nicht nur neue Herausforderungen, sondern bietet auch die Möglichkeit, dass die Instandhaltung durch effiziente IT-Systeme Unterstützung erhält (Reidt et al., 2016). Der Instandhalter kann u. a. bei der Fehlerdiagnose und -behebung durch unterstützende mobile Systeme die nötigen Informationen zur Arbeitsbewältigung aggregiert dargestellt bekommen (Daeuble et al., 2015; Fellmann et al., 2013). Diese Informationen können weiterhin durch Augmented Reality (Emmanouilidis, Jantunen, Gilabert, Arnaiz, & Starr, 2011) vereinfacht und zielgerichtet dargestellt werden. Wartungspläne können durch Condition-Monitoring Systeme (CMS) in Abhängigkeit von der aktuellen Abnutzung bestimmter Komponenten berechnet werden (Abdennadher et al., 2010) oder bevorstehenden Ausfälle können durch die Anwendung von Data Mining Techniken im Rahmen von Predictive Maintenance erkannt werden (Lee et al., 2009).

Die Einbindung und Anpassung von neuartigen und bestehenden IT-Systemen in unternehmensspezifische Produktions- und Instandhaltungsprozesse und die Bündelung von Informationen aus mehreren Quellen und Systemen stellt Unternehmen jedoch vor große Probleme (Bienzeisler et al., 2014). In vielen Fällen sind relevante Daten von potenziell vorhandenen betrieblichen Informationssystemen und Maschinen für den Instandhalter nicht oder nur eingeschränkt verfügbar (Trommler et al., 2014). Diese Daten sind jedoch auch für den Einsatz von zusätzlichen, neuartigen IT-Systemen Voraussetzung. Daher ist das Problem der nicht aufeinander abgestimmten und zueinanderpassenden Datenquellen für die Instandhaltung von besonderer Bedeutung (Moore & Starr, 2006). Auch bei der später im Beitrag beleuchteten Analyse der Instandhaltung bei vier Unternehmen bestätigte sich dieser

Sachverhalt: In den untersuchten Unternehmen müssen Daten aus einer Vielzahl an Systemen oder analogen Quellen manuell gesucht und extrahiert werden. Dieser Umstand führt bei der Arbeit des Instandhalters zu hohen Wartezeiten, erhöhter Fehleranfälligkeit und in letzter Konsequenz längeren Stillstandzeiten. Daraus resultiert, dass die Instandhalter oftmals nicht adäquat durch IT-Systeme unterstützt werden (Reidt et al., 2016).

Die Gründe hierfür sind vielfältig: Die Entwicklungskosten für zentrale Systeme zur Unterstützung der Instandhaltung sind hoch, da die Integration von Daten aus heterogenen, oft proprietären Systemen mit hohem manuellem Aufwand verbunden ist. CMS sind bspw. oft nur bei einigen Maschinenherstellern in teils einfacher Art und Weise vorhanden und hauptsächlich für die eigenen Maschinen verfügbar (Reidt & Krcmar, 2016). Diese entwickeln die CMS mit jeweils unterschiedlichen Datenprotokollen, Übertragungsmechanismen und zusätzlich meist noch unterschiedlichen informationstechnischen Konzepten (Winter & Wollschlaeger, 2015). Daneben ist mangelndes Know-How bei Beurteilung der technologischen Potentiale ein weiteres Hemmnis die verfügbaren Technologien effizient einzusetzen (Bienzeisler et al., 2014).

## 1.1 Ressourcen-Cockpit als Lösungsansatz

Ein endgeräteübergreifendes Ressourcen-Cockpit, welches aktuelle technologische Möglichkeiten zur Integration und Interpretation von Daten und Informationen aus einer Vielzahl an Systemen ausnutzt, diese Informationen zielgerichtet bündelt und auswertet, stellt eine Möglichkeit zur Lösung der angesprochenen Herausforderungen dar (Reidt et al., 2016). Ein solches Ressourcen-Cockpit kann durch Ausnutzung und Integration der Möglichkeiten eines CPS, von mobilen Endgeräten und eines dynamischen Backends, Funktionen und Inhalte kontext-sensitiv dezentral bereitstellen. Hierdurch würden die an der Durchführung der Instandhaltung beteiligten Personen bei ihren Arbeitsabläufen zielgerichtet mit den nötigen Informationen unterstützt, ohne dass Konnektivität eine große Rolle spielt. CPS umfassen in diesem Beitrag „eingebettete Systeme, Logistik-, Koordinations- und Managementprozesse sowie Internetdienste, die mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken, mittels digitaler Netze untereinander verbunden sind, weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen und über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen“ (Geisberger & Broy, 2012). In Kombination mit neuen, sich verbreitenden Standards in der Produktion, wie OPC UA (Enste & Mahnke, 2011) ist es möglich, dezentral Informationen von Maschinen mit deutlich weniger Aufwand zu extrahieren und zentral bei Bedarf zusammenzuführen. Dies erlaubt Funktionen leichter über verschiedene Systeme zu verteilen und diese ohne größeren Aufwand in bestehende Systeme der Produktion einzubinden.

## 1.2 Referenzarchitekturen im Kontext Instandhaltung

Die Identifizierung von individuellen Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit und die Entwicklung selbst sind jedoch aufwändig und erfordern erhebliche Ressourcen. Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen können aufgrund dieses hohen Aufwandes kaum Systeme entwickeln, welche deren individuellen Anforderungen genügen. Weiterhin ist ein uneinheitliches Verständnis über die Funktionsweise und Schnittstellen eines solchen Ressourcen-Cockpits ein Faktor, der zu Kompatibilitäts-problemen mit anderen Systemen führen kann und somit eine Weiterentwicklung hemmt.

Um die zukünftige Entwicklung von Ressourcen-Cockpits für die Instandhaltung zu erleichtern, soll eine RA für ein Ressourcen-Cockpit zur Unterstützung der Instandhaltung (RARC) entwickelt werden. Eine RA ist eine spezielle, abstrakte Architektur, welche die allgemeinen Richtlinien zur Spezifikation von konkreten Architekturen setzt (Angelov et al., 2008). Diese Richtlinien werden durch die RARC dadurch gesetzt, dass in abstrakter Weise dargestellt wird, welche Funktionen, Prozesse, Konzepte und damit welche Intelligenzverteilung zwischen verschiedenen Systemen durch effiziente Ausnutzung der Fähigkeiten eines CPS und mobilen Endgeräten abgebildet werden können. Diese Funktionen und Prozesse sind mit generischen und spezifischen Anforderungen verbunden, sodass die Identifizierung, Auswahl und Rückverfolgbarkeit von Anforderungen für den eigenen Anwendungsfall ermöglicht wird. Demzufolge wird die RA Domänenwissen im Bereich der Instandhaltung bereitstellen, um den Entwurf einer Softwarearchitektur zur Erstellung eines Informationssystems zu erleichtern, welches dem Menschen zur Bewältigung der Aufgaben der Instandhaltung dienen soll.

Die Erstellung einer RA für ein Ressourcen-Cockpit zur Unterstützung der Instandhaltung stellt aufgrund ihrer Komplexität und Neuartigkeit jedoch eine große Herausforderung dar. Obwohl im Industrie 4.0 Kontext durch das RAModell RAMI (Adolphs et al., 2015) bzw. dem amerikanischen Pendant, der Industrial Internet Reference Architecture (Lin et al., 2015) in letzter Zeit einige prominente RAen erstellt wurden, existieren wenige konkrete Methoden zur Erstellung von RAen. Wenn bei vorhandenen RAen auf die Methodik zur Erstellung eingegangen wird, so werden meist mehrere offene Architekturen verglichen, um daraus eine RA abzuleiten. Im vorliegenden Fall einer RA für ein Ressourcen-Cockpit oder ähnliche Architekturen im Bereich der Instandhaltung konnten keine offen zugängliche Architekturen in Literatur und Praxis identifiziert werden, die miteinander verglichen werden können (Reidt & Krcmar, 2016). Dies liegt zum einen daran, dass bestehende Architekturen bzw. Lösungen nicht öffentlich zugänglich sind. Zum anderen sind Lösungen,

welche die Potenziale von neuen Technologien wie CPS oder OPC UA ausnutzen, noch nicht in der Praxis angekommen.

Aus diesem Grunde soll in diesem Beitrag das Vorgehen zur Erstellung einer RA anhand spezifischer Anforderungen am Beispiel der RARC dargestellt werden. Zusätzlich werden die spezifischen Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit aus Sicht von vier Unternehmen illustriert. Diese Informationen bilden die Grundlage der in Reidt et al. (S. 43 ff.) vorgestellten RARC.

### 1.3 Aufbau des Beitrags

Der nachfolgende Beitrag gliedert sich wie folgt: In Kapitel 2 wird das Vorgehen zur Erstellung einer RA skizziert. Anschließend werden die für die Erstellung nötigen Anforderungen in Kapitel 3 behandelt. Dazu werden die untersuchten Unternehmen mit ihren spezifischen Anforderungen vorgestellt und illustriert wie sich aus diesen Anforderungen die Basis für die Erstellung der RARC ableiten lässt.

## 2 Methodik zur iterativen Erstellung einer Referenzarchitektur

Zur Erstellung der RA wurde ein mehrstufiger Ansatz gewählt, der sich an dem Vorgehen von (Reidt & Krcmar, 2016) orientiert. Die einzelnen Schritte werden nachfolgend detailliert beschrieben und auf das allgemeine Vorgehen sowie auf die konkrete Ausprägung des Vorgehens am Beispiel der RARC eingegangen.

Folgende Schritte wurden konkret durchgeführt:

- **Schritt 1: Festlegung des Zweckes und des Ziels der RA** – In diesem ersten Schritt soll die Definition des Zweckes und damit des Ziels der RA erfolgen. Damit verbunden ist die Festlegung des Betrachtungsrahmens und der Darstellungsart der RA. Der Betrachtungsrahmen sollte so festgelegt werden, dass die Ziele, die mit der RA verfolgt werden, mit dem Fokus dieser erreicht werden können. Die Darstellungsart sollte sich an den Kenntnissen der Anwender der RA orientieren und ist im vorliegenden Fall so gewählt worden, dass ein domänenübergreifendes Verständnis möglich ist. Betrachtungsrahmen bei der RARC war das gesamte System des Ressourcen-Cockpits, die Infrastruktur und die damit verbundenen Personen. Denn das Ziel, die Entwicklung von Ressourcen-Cockpits zu erleichtern, konnte dadurch erreicht werden.



- **Schritt 2: Literaturrecherche** – Als Wissensbasis zur Erstellung einer Referenzarchitektur sollte der aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik dienen. Ein Weg, dies zu erreichen ist es, eine wissenschaftliche Literaturrecherche durchzuführen, die sich an den nötigen Aspekten der zu entwickelnden Referenzarchitektur orientiert. Daher wurde zur Erstellung der RARC eine Literaturrecherche nach (Webster & Watson, 2002) zu Industrie 4.0, Instandhaltung, RAen, CPS sowie verwandten Themen durchgeführt. Dadurch wurden der aktuelle Status quo zu diesen Themen im wissenschaftlichen Kontext ergründet, weitere Komponenten für Instandhaltungssysteme erfasst und möglichst verwandte RAen identifiziert. Dazu wurden auch praxisorientierte RAen im Kontext der Industrie 4.0 untersucht. Ein Fokus der Literaturrecherche bestand darin, die Bereiche Maschinenbau, Informatik und Wirtschaftsinformatik thematisch zu verbinden. Bei dieser Literaturrecherche konnten keine RAen identifiziert werden, welche frei zugängliche Architekturen für Systeme zur Unterstützung der Instandhaltung aufzeigen. Dies hatte zur Folge, dass zum einen keine offenen Architekturen genutzt werden konnten, um die generischen Aspekte einer RA herauszuarbeiten. Zum anderen wurde die Wichtigkeit des Unterfangens bestätigt, eine solche RA bereit zu stellen.
- **Schritt 3: Situation und Anforderungen aus der Praxis** – Um die Praxisrelevanz einer RA sicherzustellen und die wichtigsten Informationen zur Erstellung dieser zu sammeln müssen umfassende und generalisierbare Anforderungen für spezifische Einzelarchitekturen aufgenommen werden. Dazu müssen die untersuchten Unternehmen zusammen betrachtet einen umfassenden und nicht spezifischen Blick auf die Domäne bzw. das zu entwickelnde System ermöglichen. Für die RARC wurden vier Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen bzgl. des Themas der Instandhaltung untersucht. Der Ablauf war zweigeteilt: Zuerst wurde der aktuelle Stand in der Instandhaltung bei den jeweiligen Unternehmen aufgenommen. Es wurden die Prozesse aus der Instandhaltung untersucht, die beteiligten Systeme beschrieben und geklärt wie diese zur Unterstützung der Instandhaltung herangezogen wurden. Daneben wurden Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit aus Sicht der Unternehmen aufgenommen, so dass vier unabhängige Lastenhefte für ein solches System entstanden sind. Die Anforderungen wurden priorisiert und genau beschrieben. Instandhaltung wird bei diesen Unternehmen teils als eigener Service für andere Unternehmen erbracht, teils auch von Dritten getätigt oder vom eigenen Personal für fremdbezogene Maschinen betrieben. Auch sind die Anforderungen an ein System zur Unterstützung der Instandhaltung in einer eigenen Fabrik andere als bei Windrädern, die sich in einem spärlich besiedelten Raum mit großen Distanzen zueinander befinden. Dort stellen u. a. Konnektivität und damit die Verfügbarkeit von Informationen große

Herausforderungen dar. Durch die unterschiedliche Branchenzugehörigkeit und Ausprägungen der Instandhaltung dieser Unternehmen wurde ein umfangreiches Bild der Instandhaltung und der Bedürfnisse der Unternehmen gezeichnet. Hierdurch wurde es möglich, aus den einzelnen, spezifischen Anforderungen auf potentielle spezifische Architekturen der einzelnen Ressourcen-Cockpits der Unternehmen zu schließen. Aus diesen einzelnen Architekturen und Anforderungen konnte eine umfassende, generische RA extrahiert werden. Die untersuchten Unternehmen werden in Kapitel 3.2 genauer beschrieben.

- **Schritt 4: Erstellung einer Domänenbeschreibung und eine Vereinheitlichung durch Festlegung/Standardisierung von Begrifflichkeiten** – Die Domäne der RA solle eindeutig beschrieben werden und nötige Begriffe identifiziert und vereinheitlicht werden. Gegebenenfalls müssen hier schon Standards und Definitionen für einige der Begrifflichkeiten oder Aspekte der Domäne festgelegt werden. Bei der RARC waren dies vor allem Definitionen zu technischen Aspekten eines Ressourcen-Cockpits, Benennung von Funktionen und Anforderungen, sowie Schnittstellen.
- **Schritt 5: Extraktion von generischen und optionalen Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit** – Anhand der Ergebnisse aus Schritt 2 werden die Anforderungen aggregiert, auf eine einheitliche Basis gebracht und in generische und optionale Anforderungen unterteilt. Generisch sind Anforderungen, welche allgemeingültig sind und bei allen Unternehmen vorhanden sind bzw. sein sollten. Optionale Anforderungen sind spezifisch für einzelne Anwendungsfälle und nur bei diesen umzusetzen. Ergebnis dieses Schrittes sind Listen und Beschreibungen von generischen, sowie optionale Anforderungen. Nötige Unklarheiten sind mit den jeweiligen Ansprechpartnern der Anforderungen möglichst im Vorfeld zu klären.
- **Schritt 6: Überführung der gefundenen Anforderungen in n:1 Beziehungen in funktionale, logische Module** – Anhand der Anforderungen werden logische Module gebildet, sodass jede Anforderung durch ein Modul umgesetzt wird. Ein Modul kann hierbei beliebig viele Anforderungen umsetzen. Ziel ist es, dass ein Modul möglichst eine logisch in sich geschlossene Einheit bildet und für eine Funktion des Systems verantwortlich ist. Die Aufteilung und der Schnitt der Module sollte nach Aspekten der Kapselung und des Separations of Concerns (Laplante, 2007) getätigt werden. Eine einfache technische Umsetzbarkeit wird hierdurch gewährleistet. Lassen sich Anforderungen nicht auf ein Modul aufteilen, bedarf es einer Ausdifferenzierung bzw. Aufspaltung der Anforderungen. Die Module können wiederum generisch oder optional sein. Je nachdem ob hauptsächlich generische oder optionale Anforderungen in ihnen enthal-

ten sind. Weiterhin ist in den Modulen die jeweilige Beschreibung und Ausarbeitung dieser in Hinsicht Umsetzbarkeit, Intelligenzverteilung und Identifizierung von Verbindung zwischen Modulen enthalten.

- **Schritt 7: Erstellung von Referenzprozessen** - unter Einbezug der logischen Module, einer optimalen Intelligenzverteilung, Use Cases und gewählten Endgeräten müssen Referenzprozesse erstellt werden. Diese Referenzprozesse sind möglichst mit den technischen Aspekten der RA verbunden. Referenzprozesse wurden in der RARC durch Zusammenfassen von einer Vielzahl an Use Cases erzeugt.
- **Schritt 8: Feedbackzyklen & Anwendung der RA** - Zusätzlich müssen im Kontext der Anforderungsaufnahme und Entwicklung mehrere Feedbackgespräche mit Entwicklern und Stakeholdern bzgl. der RA geführt werden, um die Anforderungen nach dem jeweiligen Feedback iterativ zu verbessern. Die vorliegende RA wurde für die Entwicklung verschiedener Prototypen im Rahmen des Projektes S-CPS genutzt und diente dem Anpassen von Anforderungen und dem generellen Anforderungsmanagement. Verbunden mit einer groß angelegten Anforderungsevaluierung nach 1,5 Jahren Projektdauer wurden somit die Schritte 3-8 iterativ durchlaufen, um so die RA stetig zu verbessern.

Durch das Vorgehen konnte sichergestellt werden, dass die erarbeitete Lösung hohe Praxisrelevanz besitzt, da viele Anforderungen direkt aus dem Bedarf der befragten Industrieunternehmen stammen. Durch die Literaturrecherche konnten zwar keine RAen gefunden werden, welche Systeme für die Instandhaltung behandelten. Es wurden jedoch verwandte RAen für die Bereiche Condition-Monitoring und Industrie 4.0 identifiziert. Diese konnten zusätzlich zu allgemeine Trends und Anforderungen für Instandhaltungssysteme in die Wissensbasis zur Erstellung der RARC miteinfließen. Durch den agilen Verbesserungsprozess konnte sichergestellt werden, dass die Darstellungsart und der Inhalt optimal verstanden und angewendet werden konnte.

### 3 Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit

Zur Erstellung der RARC wurden Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit aus der Literatur und aus der Praxis von vier verschiedenen Unternehmen aufgenommen. In Unterkapitel 3.1 wird zuerst auf die Anforderungssuche in der wissenschaftlichen Literatur eingegangen. Das Endergebnis beinhaltet dann die von den Unternehmen bestätigten spezifischen und priorisierten Anforderungen aus der Praxis (vgl. Kapitel 2, Schritt: 3). Die untersuchten Unternehmen und deren Hintergrund wird in Kapitel 3.2 beschrieben. Die dazuge-

hörigen Anforderungen mitsamt dem Vorgehen zur Erhebung werden in Kapitel 3.3 vorgestellt. Anschließend werden die Anforderungen analysiert und in generische Anforderungen überführt (Kapitel 3.4, vgl.: Kapitel 2 Schritt: 5). Schließlich wird die Priorisierung der Anforderungen in Kapitel 3.5 vorgestellt.

### 3.1 Anforderungen aus der Literatur

Die später beschriebenen Anforderungen basieren auf einer ausgiebigen Literaturrecherche, wodurch Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit aus wissenschaftlicher Literatur extrahiert werden konnten. Diese Anforderungen sind direkt durch Evaluation seitens der Unternehmen in die spezifischen Anforderungen miteingeflossen und werden an dieser Stelle nicht gesondert diskutiert.

### 3.2 Untersuchte Unternehmen

Die im Vorgehen zur Erstellung der RA angesprochenen Unternehmen werden nachfolgend detaillierter hinsichtlich der Instandhaltung beschrieben. Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der Unternehmen war die Verwendung unterschiedlicher Modelle zur Durchführung der Instandhaltung. Dies führte im Stadium der Anforderungsanalyse zu einem umfassenden Blick auf die Domäne der Instandhaltung. Es wurden dabei insgesamt vier Unternehmen und deren Rolle bei der Instandhaltung untersucht, deren Eigenschaften in Tabelle 1 zusammengefasst werden.

Bei der Rolle der Instandhaltung in den vier untersuchten Unternehmen konnten vier Fälle unterschieden werden. Im ersten Fall, bei Unternehmen U2, wird die Instandhaltung nahezu komplett autark vom Unternehmen selbst geleistet, während im zweiten Fall, bei Unternehmen U3, die Instandhaltung nur als Service bezogen wird. Im dritten Fall, bei Unternehmen U4, wird die Instandhaltung für die eigenen verkauften Maschinen als Service angeboten und ist Teil des Geschäftsmodells. Im Rahmen der RARC wurde sich bei diesem Unternehmen auf die externe Serviceerbringung konzentriert. Die Instandhaltung der eigenen internen Maschinen wurde bei diesem Unternehmen nicht betrachtet. Abschließend ist eine Mischform von hauptsächlich eigenem Betrieb mit einer Kombination aus externem Service bei Unternehmen U1 anzutreffen. Zusätzlich werden in der angesprochenen Tabelle die Rolle bei der Instandhaltung, der betrachtete Funktionsbereich, die Systemstruktur, der Ort der Durchführung der Instandhaltung sowie der momentane Hauptfokus der Optimierung der Instandhaltung zum Zeitpunkt der Untersuchung dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Unternehmen

		Anwendungsunternehmen			
		U1	U2	U3	U4
Ist Zustand	Branche	Automobil-zulieferer	Automobil-hersteller	Windparkbetreiber	Maschinenhersteller
	Rolle bei der Instandhaltung	Betreiber u. Servicenehmer	Betreiber	Servicenehmer	Serviceanbieter
	Betrachteter Funktionsbereich	Interne und externe Instandhaltung	Interne Instandhaltung	Externe Instandhaltung als Service bezogen	Interne Instandhaltung als Service angeboten
	Systemstruktur	Internes Netzwerk mit SPS, MES, ERP sowie DBs	Internes Netzwerk mit SPS, MES sowie DBs	SPS, MES, DBs mit Daten der Windanlagen	SPS, Industrie-PCs, PDM
	Distanz bis zu Durchführung d. Instandhaltung	Am gleichen Standort	Am gleichen Standort	Große Distanz zwischen Standorten	Verschiedene ext. Standorte mit teils großer Distanz
	Ort der Instandhaltung	Am eigenen Standort	Am eigenen Standort	Unterschiedliche Windanlagen	Unterschiedliche externe Kunden
Soll	Fokus der Optimierung bei Instandhaltung	Wartung und Instandsetzung	Störungs-erkennung, -beseitigung, -vermeidung	Datenaustausch für Instandsetzung und Wartung	Serviceprozesszeiten und Servicequalität

### 3.3 Spezifische Anforderungen aus der Praxis

Bei den im vorherigen Kapitel vorgestellten Unternehmen wurde eine systematische Anforderungserhebung nach (Pohl, 2010) durchgeführt. Das Ergebnis der Analyse brachte ein dediziertes Lastenheft für jedes Unternehmen hervor. Es wurden der aktuelle Stand der Instandhaltung sowie spezifische Anforderungen der Unternehmen an ein Ressourcen-Cockpit aufgenommen. Die einzelnen Anforderungen wurden seitens der untersuchten Unternehmen nummeriert und priorisiert. Nach 1,5 Jahren wurde zusätzlich eine Evaluation der Anforderungen durchgeführt. Die endgültigen und bestätigten Anforderungen sind in der folgenden Tabelle 2 zusammengefasst. Dabei wurde die jeweilige Kurzbeschreibung der Anforderungen der Unternehmen ohne Anpassung, außer einer evtl. nötigen Anonymisierung, übernommen.

Tabelle 2: Anforderungen aller Unternehmen

Nr.	Unternehmen U1	Unternehmen U2	Unternehmen U3	Unternehmen U4
1	E-Mail	Kurze prägnante Meldetexte bei Störfall & Fehlercode	Informationsaustausch mit Anlage	Betriebsprotokollierung der Anlage (Störung, Zustandsdaten)
2	Zustandsbezogene Infos der Anlage	Handlungsleitfäden zu Störungen/Editierbar	Mail	Remote Anlagen-/ Komponentensteuerung durch Hersteller
3	Auftragsmanagement zusammen mit ERP	Anlagen-, Bauteil- und Maßnahmenhistorie	Internet	Remote Anlagenüberwachung (auch SPS)
4	Barcode scannen	Automat. Doku und Ausw. der Maßnahmen der Störungsbehebung	Detaillierte Fehlerbeschreibung	Standardschnittstelle und -datenstruktur an Maschine
5	Fehlercodierung, eindeutige Fehlerbeschreibung	Zugriff Herstellerunterlagen	Anzeigen Anlagen-temperatur	Optimierung der Auswertung der Dokumentation
6	Anleitung zur Fehlerbehebung	Fehlerdatenbank mit Suchfunktion (Historie)	Anzeige Windrichtung/-stärke	Abgleich Betriebsdaten <sup>1</sup> zw. Anlagenbetreiber und -hersteller zur zentralen (Cloud-) Speicherung
7	Anzeige Maschinenpläne	Schichtbuch	Anzeige der Wetterbeschaffenheit	Erweiterung der Leitfäden zur Fehlerbehebung
8	Ergänzung/Korrektur von Dokumentationen & Wikis	Automatischer Link zu Leitfäden bei Störung	Dokumentationsmöglichkeit	Unterstützung bei Kommunikation mit Kollegen und Kunden
9	Bild/Videoinformation	Zugriff Fachbereichsinformation	Fehlerkategorisierung	Anzeige Störungsmeldung
10	Anlagen-, Bauteil- und Maßnahmenhistorie	Mobiles Endgerät als Telefonersatz	GPS Genauigkeit für Kartenversion	Nachverfolgung offener Punkte
11	Condition Monitoring	Condition Monitoring	Betriebs Protokoll	Telefonbücher
12	Wartungspläne und -historie verfügbar	Wartungspläne und -historie verfügbar	3D-Darstellung mit Fehlerlokalisierung	Anlagenplan
13	Anzeige offener und abgeschl. Aufträge durch das System	Anzeige offener und abgeschl. Aufträge durch das System	Anlagenplan	Fotografieren
14	OPC UA Schnittstelle zum Empfang & Senden von Maschinendaten	OPC UA Schnittstelle zum Empfang & Senden von Maschinendaten	Anzeige Bestands-situation des Herstellers	Kommunikations-möglichkeiten
15	Bauteilinformationen für Anlagen verfügbar	Synchronisation zw. Geräten und Systemen	People Tracking	Mailfunktion
16	Anlagenbeschreibung vom Hersteller	Anzeige Maschinenpläne	Ticket System	Internet
17	Synchronisation zw. Geräten und Systemen	Störungs-/Anlagen-zuweisung z. Personen	Wartungsberichte	Unterstützung Datentypen
18	Überwachung/Protokollierung von Maschinendaten und Zuständen	Status Störung		Bereitstellung von 3D-Daten

<sup>1</sup> (z. B. Protokoll Störfälle & Fehlermeldungen)

Nr.	Unternehmen U1	Unternehmen U2	Unternehmen U3	Unternehmen U4
19	Pluginkonzept für Schnittstellen und Maschinen	Annahme & Ablehnung von Aufträgen durch Instandhalter möglich		Instandhaltungsmaßnahmenhistorie
20	Anonymisierungsfunktion der Mitarbeiter für das Management	Ersatzteilmanagement		Anzeigen der Verfügbarkeit/akt. Zuweisung/der Instandhalter
21	Annahme/Ablehnung von Aufträgen durch Instandhalter möglich	Mobiler Zugriff auf Prozessgeräte		Erfassung der Arbeitszeit der Instandhalter
22	Algorithmus präventive Instandhaltung	Mobiles Abarbeiten von Check- und Prüflisten		OPC UA zum Empfang & Senden von Maschinendaten
23	Priorisierung Instandhaltungsfälle	Anzeige Stördauer (mittel und aktuell)		Maschinenpläne im System verfügbar
24	3D-Darstellung mit Fehlerlokalisierung	Übersicht installierter Anlagen (Fehler/Status)		Mobiles Arbeiten im Offlinemodus
25	Ersatzteilmanagement	Pluginkonzept zur Integration von Schnittstellen und Maschinen		Erfassung von Reisekosten durch das System
26	Anzeige Softwarestände und Besonderheiten	Überwachung/Protokollierung von Maschinendaten und Zuständen		Anzeige von aktuellen Vertragsdaten für Auftrag (Leistungen ...)
27	Link zum Kataster von Hilfs- und Betriebsstoffen für Anlagen	Predictive Maintenance (kont. lernendes/vorausschauendes System)		Signierfunktion durch Auftraggeber und Instandhalter
28	Anzeige Betriebstemperatur	Personalisierung		Annahme und Ablehnung von Aufträgen durch Instandhalter möglich
29	Produktionsplanung/Anlagenbelegung	Barcodescanner		Anzeige Wartungsbericht
30	Bestands-/Liefersituation	Synonymfunktion/ Wörterbuch		Serviceprotokoll autom. in digitaler erstellen
31	Intranet/Internet Zugang	Bauteilinformationen		Condition Monitoring
32	Fehlerdatenbank mit Suchfunktion	Intranetzugang		Fehlerdatenbank mit Suchfunktion
33	Remotesteuerung Anlage	WhatsApp/Bild versenden/Foto		Predictive Maintenance (kont. lernendes/vorausschauendes System)
34	Auswertung & Anzeige der akt. und mittleren Laufzeiten aller Anlagen	Wiki/Forum		Kommunikation mit ERP-System
35	Mobiles Arbeiten im Offlinemodus	Push Benachrichtigung bei Änderungen von HW/SW Komponenten		Pluginkonzept für Schnittstellen und Maschinen
36	Anzeigen der Verfügbarkeit / akt. Zuweisung der Instandhalter	Automatische Priorisierung Instandhaltungsfälle		Störmeldung mitsamt Fehlermeldung und Zustand Anlage
37		"Hilfe-Button"		Servicedienstleister erhält autom. fertiges Störmeldungsformular
38		Status Mitarbeiter		Bauteilinformationen verfügbar

Nr.	Unternehmen U1	Unternehmen U2	Unternehmen U3	Unternehmen U4
39		Mobiler Zugriff auf SPS		Kunden Handlungsleitfäden bereitstellen
40		Installations-berechtigung Apps		Navigation zum Kunden
41		Spracheingabe		Barcodescanner
42		Laufkarte zur Anlage		
43		Outlook Zugang		
44		Internetzugang		
45		Videofunktion		

### 3.4 Generische Anforderungen

Die einzelnen Anforderungen wurden dahingehend untersucht, ob sie einen allgemeinen Charakter besitzen. Dazu wurden die vorgestellten spezifischen Anforderungen analysiert und zu generischen Anforderungen aggregiert. Anforderungen, welche trotz teils unterschiedlicher Benennung die gleiche Bedeutung hatten, wurden zusammengefasst. Das Ergebnis dieses Prozesses ist in Tabelle 3 zu erkennen. Hier sind die zusammengefassten Anforderungen dargestellt, welche bei mindestens drei Unternehmen genannt wurden. Das Vorkommen bei den einzelnen Unternehmen ist dabei gesondert gekennzeichnet. Die restlichen Anforderungen, die nicht bei mindestens drei Unternehmen vorkamen sind optionale Anforderungen im Kontext der RA und werden bei (Reidt et al., 2016) ausführlich beschrieben.



Tabelle 3: Generische Anforderungen

Nr.	Anforderung	U1	U2	U3	U4
1	Automatische Fehlermeldung	x	x	x	x
2	Detaillierte Fehlermeldung und Störungsart	x	x	x	x
3	Kommunikation (Messenger, Telefon, Mail, Kontakte)	x	x	x	x
4	Condition Monitoring an der Maschine	x	x	x	x
5	Überwachung/Protokollierung relevanter Maschinendaten und Zuständen	x	x	x	x
6	Auftragsverwaltung mit Anzeige Status der Instandhaltungsaufträge durch das System	x	x	x	x
7	(Mobiler) Zugriff auf relevante Maschinendaten	x	x	x	x
8	Zugang zu relevanten Webanwendungen über Internet (Mail)	x	x	x	x
9	Dokumentenmanagement und -bearbeitung	x	x	x	x
10	Anzeige von Maschinenplänen (Steuerungspläne, SPS, etc.)	x	x	x	x
11	Handlungsleitfäden/Checklisten für Instandhaltungsaufgaben	x	x	x	x
12	Anlagen-, Bauteil-, und Maßnahmenhistorie	x	x	x	x
13	Synchronisationsmechanismus zwischen Geräten und Systemen	x	x	x	x
14	Technisches Nutzermanagement inklusive Rollensystem	x	x	x	x
15	OPC UA Schnittstelle zum Empfang und Senden von Maschinendaten	x	x		x
16	Bauteilübersicht der Anlagen verfügbar	x	x		x
17	Herstellerunterlagen der Anlage verfügbar	x	x		x
18	Annahme und Ablehnung von Aufträgen durch Instandhalter möglich	x	x		x
19	Ersatzteilmanagement (Informationen und Verfügbarkeit)	x	x	x	x
20	Mobiles Arbeiten im Offlinemodus	x	x	x	x
21	Wartungsplanmanagement & Historie	x	x	x	x
22	Priorisierung der abzuarbeitenden Tätigkeiten	x	x	x	x
23	Remote Zugriff auf Anlage	x	x	x	x
24	Auftragsmanagement in Verbindung mit ERP	x	x	x	x
25	Anlagenübersicht	x	x	x	x
26	Möglichkeit zur Erweiterung der Handlungsanweisungen	x	x		x
27	Automatische Doku und Auswertung der Instandhaltungsmaßnahmen	x	x		x
28	Bereitstellung von 3D-Daten/3D-Darstellung der Anlage	x		x	x
29	Anzeige von Betriebstemperaturen	x		x	x
30	Scannen der Anlagencodierung (Barcodescanner)	x	x		x
31	Auswertung und Anzeige der aktuellen und mittleren Laufzeiten aller Anlagen	x	x	x	
32	Predictive Maintenance (kontinuierlich lernendes, vorausschauendes System)	x	x		x
33	Wiki	x	x	x	
34	Fehlerdatenbank mit Suchfunktion	x	x		x
35	Pluginkonzept zur Integration von diversen Schnittstellen und Maschinen	x	x		x
36	Anzeigen der Verfügbarkeit/aktuelle Zuweisung der Instandhalter	x	x		x
37	Mobiler Zugriff auf die SPS	x	x	x	x
38	Verarbeitung audiovisuelle Medien	x	x		x

### 3.5 Priorisierung der Anforderungen

Insgesamt wurden 69 unterschiedliche Anforderungen (generisch plus optional) bei den untersuchten Unternehmen aufgenommen. Die einzelnen Anforderungen wurden von jedem Unternehmen priorisiert. Zur Erreichung einer generischen Priorisierung wurden die ursprünglich von jedem Unternehmen vorgenommenen Priorisierungen übernommen, falls diese identisch waren. Ansonsten wurde der gerundete Mittelwert berechnet und als Priorität genommen. Bei Anforderungen, welche sich aus mehreren nicht komplett gleichen Anforderungen zusammensetzen, wurde die Gewichtung anteilig berechnet. In Fällen, wo sich kein einheitliches Bild ergab, wurde eine erneute Priorisierung der generischen Anforderung seitens der Unternehmen bestimmt. Bei dieser mussten sich die Unternehmen auf eine Priorisierung einigen. Diese Priorisierungen der generischen Anforderungen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Bei den optionalen Anforderungen konnten die Anforderungen mitsamt der Priorisierung übernommen werden, jedoch spielen diese Anforderungen nur bei Spezialfällen eine Rolle.

*Tabelle 4: Priorisierte Anforderungen*

Nr.	Priorisierung	Anforderung
1	1	Automatische Fehlermeldung
2	1	Detaillierte Fehlermeldung und Störungsart
3	1	Kommunikation (Messenger, Telefon, Mail, Kontakte)
4	1	Condition Monitoring an der Maschine
5	1	Überwachung/Protokollierung relevanter Maschinendaten und Zuständen
6	1	Auftragsverwaltung mit Anzeige Status der Instandhaltungsaufträge durch das System
7	1	(Mobiler) Zugriff auf relevante Maschinendaten
8	1	Zugang zu relevanten Webanwendungen über Internet (Mail)
9	1	Dokumentenmanagement und -bearbeitung
10	1	Anzeige von Maschinenplänen (Steuerungspläne, SPS, etc.)
11	1	Handlungsleitfäden/Checklisten für Instandhaltungsaufgaben
12	1	Anlagen-, Bauteil-, und Maßnahmenhistorie
13	1	Synchronisationsmechanismus zwischen Geräten und Systemen
14	1	Technisches Nutzermanagement inklusive Rollensystem
15	1	OPC UA Schnittstelle zum Empfang und Senden von Maschinendaten
16	1	Bauteilübersicht der Anlagen verfügbar
17	1	Herstellerunterlagen der Anlage verfügbar
18	1	Annahme und Ablehnung von Aufträgen durch Instandhalter möglich
19	2	Ersatzteilmanagement (Informationen und Verfügbarkeit)
20	2	Mobiles Arbeiten im Offlinemodus
21	2	Wartungsplanmanagement & Historie
22	2	Priorisierung der abzuarbeitenden Tätigkeiten
23	2	Remote Zugriff auf Anlage

Nr.	Priorisierung	Anforderung
24	2	Auftragsmanagement in Verbindung mit ERP
25	2	Anlagenübersicht
26	2	Möglichkeit zur Erweiterung der Handlungsanweisungen
27	2	Automatische Doku und Auswertung der Instandhaltungsmaßnahmen
28	2	Bereitstellung von 3D-Daten/3D-Darstellung der Anlage
29	2	Anzeige von Betriebstemperaturen
30	2	Scannen der Anlagencodierung (Barcodescanner)
31	2	Auswertung und Anzeige der aktuellen und mittleren Laufzeiten aller Anlagen (Stördauer/Anzahl Störungen etc.)
32	2	Predictive Maintenance (kontinuierlich lernendes, vorausschauendes System)
33	2	Wiki
34	2	Fehlerdatenbank mit Suchfunktion
35	2	Pluginkonzept zur Integration von diversen Schnittstellen und Maschinen
36	2	Anzeigen der Verfügbarkeit/aktuelle Zuweisung der Instandhalter
37	3	Mobiler Zugriff auf die SPS
38	3	Verarbeitung audiovisuelle Medien (Erstellen, Speichern, Anzeigen von Bildern, Video und Audio)

## 4 Fazit

In diesem Beitrag wurde das Vorgehen zur Erstellung von RA anhand spezifischer Anforderungen am Beispiel der RARC vorgestellt. Dieses Vorgehen wurde durch einen iterativen Prozess mit acht Schritten gesteuert. Anschließend wurden die Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit aus vier Unternehmen, basierend auf den Anforderungen aus der Literatur und Praxis dargestellt und deren Überführung in eine Form, welche als Basis der RARC dient, dargelegt.

Mit diesen Informationen können in einfacher Art und Weise neuartige RAen erstellt werden, welche nicht auf offene Architekturen zurückgreifen können. Auch können die hier vorgestellten Anforderungen als Vorlage und damit zur Wiederverwendung bei der eigenen Implementierung von ähnlichen Systemen genutzt werden. Weiterhin wird auch dieser Weg mit neuen Informationen angereichert, sodass es möglich ist, zielgerichtete und exaktere RAen zu erstellen. Die Darstellung der Anforderungen dient als Grundlage, um die RA, welche im folgenden Kapitel dargestellt wird, zu verstehen.

## 5 Literaturverzeichnis

- Abdennadher, K., Venet, P., Rojat, G., Retif, J.-M., & Rosset, C. (2010). A Real-Time Predictive-Maintenance System of Aluminum Electrolytic Capacitors Used in Uninterrupted Power Supplies. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 46(4). <http://doi.org/10.1109/TIA.2010.2049972>
- Adolphs, P., Bedenbender, H., Dirzus, D., Ehlich, M., Epple, U., Hankel, M., Wollschlaeger, M. (2015). *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)*. VDI/VDE Statusreport.
- Angelov, S., Trienekens, J. J. M., & Grefen, P. (2008). Towards a Method for the Evaluation of Reference Architectures: Experiences from a Case. In *Proceedings of Software Architecture - Second European Conference, ECSA*. Paphos, Cyprus: Springer Berlin Heidelberg. [http://doi.org/10.1007/978-3-540-88030-1\\_17](http://doi.org/10.1007/978-3-540-88030-1_17)
- Bienzeisler, B., Schletz, A., & Gahle, A.-K. (2014). Industrie 4.0 Ready Services Technologietrends 2020. Abgerufen 21. August 2015, von <http://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/industrie-4-0-ready-service.pdf>
- Daeuble, G., Oezcan, D., Niemoeller, C., Fellmann, M., Nuettgens, M., & Thomas, O. (2015). Information Needs of the Mobile Technical Customer Service - A Case Study in the Field of Machinery and Plant Engineering. In *48th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. Kauai, HI: IEEE. <http://doi.org/10.1109/HICSS.2015.126>
- DIN 31051:2012-09. (2012). *Grundlagen der Instandhaltung*. (DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg.). Berlin: Beuth Verlag.
- Emmanouilidis, C., Jantunen, E., Gilabert, E., Arnaiz, A., & Starr, A. (2011). e-Maintenance update: the road to success for modern industry. In M. Singh, R. B. K. N. Rao, & J. P. Liyanage (Hrsg.), *Proceedings of the 24th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostics Engineering Management*. Stavanger, Norway: COMADEM International.
- Enste, U., & Mahnke, W. (2011). OPC Unified Architecture. *at - Automatisierungstechnik*, 59(7). <http://doi.org/10.1524/auto.2011.0934>
- Fellmann, M., Özcan, D., Matijacic, M., Däuble, G., Schlicker, M., Thomas, O., & Nüttgens, M. (2013). Towards a Mobile Technical Customer Service Support Platform. In F. Daniel, G. A. Papadopoulos, & P. Thiran (Hrsg.), *Mobile Web Information Systems* (Bd. 8093 LNCS). Berlin Heidelberg: Springer. [http://doi.org/10.1007/978-3-642-40276-0\\_24](http://doi.org/10.1007/978-3-642-40276-0_24)

- Geisberger, E., & Broy, M. (2012). *agenda CPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. (E. Geisberger & M. Broy, Hrsg.), *acatech STUDIE* (1. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-29099-2>
- Hollstein, P., Dirk, H., Mattfeld, C., & Robra-Bissantz, S. (2012). Handlungsfelder der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik im Kontext der Digitalen Fabrik. In D. C. Mattfeld & S. Robra-Bissantz (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012*. Braunschweig: Digitalie Bibliothek Braunschweig.
- Lachenmaier, J., Lasi, H., & Kemper, H. (2015). Entwicklung und Evaluation eines Informationsversorgungskonzepts für die Prozess- und Produktionsplanung im Kontext von Industrie 4.0. In O. Thomas & F. Teuteberg (Hrsg.), *Proceedings der 12. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2015)*. Osnabrück.
- Laplante, P. A. (2007). *What Every Engineer Should Know About Software Engineering*. Boca Raton: CRC Press.
- Lee, J., Chen, Y., Al-Atat, H., AbuAli, M., & Lapira, E. (2009). A systematic approach for predictive maintenance service design: methodology and applications. *International Journal of Internet Manufacturing and Services*, 2(1). <http://doi.org/10.1504/IJIMS.2009.031341>
- Lin, S.-W., Miller, B., Durand, J., Joshi, R., Didier, P., Chigani, A., ... Witten, B. (2015). *Industrial Internet Reference Architecture. Technical Report*. Industrial Internet Consortium.
- Moore, W. J., & Starr, A. G. (2006). An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities. *Computers in Industry*, 57(6). <http://doi.org/10.1016/j.compind.2006.02.008>
- Pohl, K. (2010). *Requirements Engineering - Fundamentals, Principles, and Techniques* (1. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer.
- Projektseite „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“. (2015). Abgerufen 7. September 2015, von [www.s-cps.de](http://www.s-cps.de)
- Reidt, A., Duchon, M., & Krcmar, H. (2016). *Referenzarchitektur eines Ressourcen-Cockpits zur Unterstützung der Instandhaltung*. München: Fortiss GmbH. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.16563.84003>
- Reidt, A., & Krcmar, H. (2016). Referenzarchitektur für Cyber-physische Systeme zur Unterstützung der Instandhaltung. In V. Nissen, D. Stelzer, S. Straßburger, & D. Fischer (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2016*. Ilmenau: Universitätsverlag Ilmenau.

- Trommler, U., Horbach, S., Bullinger-Hoffmann, A. C., Löffler, T., Müller, E., & Hopf, H. (2014). Instandhaltung in der Industrie 4.0. *Industrie Management*, 30(6).
- Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Quarterly*, 26(2). <http://doi.org/10.1.1.104.6570>
- Winter, A., & Wollschlaeger, M. (2015). Condition Monitoring: Die Inhalte des VDMA-Einheitsblattes 24582. Abgerufen 6. September 2015, von <http://www.computer-automation.de/steuerungsebene/fernwirken/artikel/108262/>

## Autoren



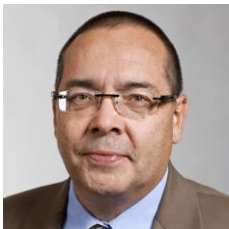
### Andreas Reidt

Andreas Reidt studierte Wirtschaftsinformatik an der TU Darmstadt. Bevor er als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der fortiss GmbH forschte, arbeitete er für die Commerzbank und SAP. Bei fortiss beschäftigt er sich in dem Geschäftsbereich Business Model und Service Engineering mit der Digitalisierung im Kontext der Industrie 4.0, berät Unternehmen und arbeitet und forscht an neuartigen Softwarearchitekturen und Plattformentwicklungen. Zusätzlich betreut er ein vom fortiss entwickeltes IT-Benchmarking.



### Markus Duchon

Markus Duchon studierte Informatik und promovierte 2013 im Bereich der mobilen und verteilten Systeme an der Ludwig-Maximilians-Universität München in Kooperation mit der Siemens Corporate Technology. Dort war er in der Abteilung für Software Architekturen und Plattformen tätig. Am fortiss leitet er die Entwicklung einer Software zur intelligenten und energieeffizienten Steuerung von Gebäuden. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen Verfahren zur Optimierung verteilter Systeme, kontextsensitive Systeme sowie Software Architekturen u. a. für den Smart Grid.



### Helmut Krcmar

Helmut Krcmar ist Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik an der TU München. Er ist wiss. Geschäftsführer der fortiss gGmbH - bayerisches Landesinstitut und An-Institut der TU München. Von 2010 bis 2013 war er Dekan der Fakultät für Informatik der TU München. Er forscht auf dem Gebiet des Informationsmanagements, der IT-ermöglichten Wertschöpfungsnetze, dem Dienstleistungsmanagement, dem Computer Supported Cooperative Work und der Informationssysteme für IT-Service Provider, im Gesundheitswesen und im öffentlichen Bereich.

# Referenzarchitektur eines Ressourcen-Cockpits zur Unterstützung der Instandhaltung

Andreas Reidt<sup>1</sup>, Markus Duchon<sup>1</sup>, Helmut Krcmar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>fortiss GmbH, München

<sup>2</sup>TU München, Institut für Wirtschaftsinformatik

## Zusammenfassung

Durch die Trends der Digitalisierung und der Industrie 4.0 steigen die Anforderungen an die handelnden Personen im produzierenden Gewerbe. Unterstützende Prozesse wie die Instandhaltung trifft dieser Wandel besonders stark, da dort das Wissensmanagement auch wegen zunehmenden Alters der beteiligten Personen stark an Bedeutung zunimmt. Informationssysteme, wie ein Ressourcen-Cockpit, die den Instandhalter durch zielgerichtete und gebündelt dargestellte Informationen und Auswertungen unterstützen, stellen eine Lösung dieser Herausforderung dar. Die Entwicklung eines solchen Ressourcen-Cockpits ist jedoch kostspielig und erfordert ein tiefes Verständnis der technischen Möglichkeiten sowie der Domäne der Instandhaltung. Zusätzlich führen fehlende Standards und Architekturen zu dem Problem, dass unabhängig voneinander entwickelte Systeme inkompatibel zueinander sind. Dies erschwert eine branchen- und unternehmensübergreifende Zusammenarbeit, die in der Instandhaltung nötig ist. Um eine zukunftssichere Entwicklung zu ermöglichen, soll in diesem Beitrag die Referenzarchitektur eines Ressourcen-Cockpits zur Unterstützung der Instandhaltung vorgestellt werden, die die Entwicklung eines individuellen Ressourcen-Cockpits erleichtert.

## 1 Einleitung

RAen (RA) sind ein probates Mittel die Entwicklung von innovativen Softwarelösungen zu erleichtern. Sie stellen Domänenwissen, eine einheitliche Begriffswelt und eine Vorgehensweise für die Ausarbeitung konkreter Softwarearchitekturen bereit, wodurch die Basis für ein einheitliches Verständnis und Kompatibilität gelegt wird. Dies geschieht durch die Bereitstellung einer speziellen, abstrakten Architektur, welche die allgemeinen Richtlinien zur Spezifikation von konkreten Architekturen setzt (Angelov et al., 2009).

Für den Anwendungsfall des Ressourcen-Cockpit ist eine RA ein ideales Mittel um die Entwicklung zu steuern und zu vereinfachen. Nachdem in Reidt et al. (S. 23 ff.) das Vorgehen zur Erstellung einer RA anhand von spezifischen Anforderungen an ein Ressourcen-Cockpit und deren Bedeutung dargelegt



wurde, soll in diesem Beitrag die konkrete Referenzarchitektur für ein Ressourcen-Cockpit zur Unterstützung der Instandhaltung (RARC) vorgestellt werden.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Elemente der RARC sind eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Arbeit von (Reidt et al., 2016a). Zuerst wird daher der Hintergrund von RAen in Kapitel 2 erläutert. Darauf folgend wird die Darstellungsform in Kapitel 3 der RARC erklärt, bevor deren Inhalt in Kapitel 4 präsentiert wird. Ein zusätzlicher Aspekt bzgl. Sicherheit und Datenschutz wird der RARC in Kapitel 5 hinzugefügt. Abschließend werden die Erkenntnisse zusammengefasst.

## 2 Hintergrund Referenzarchitektur

RAen oder -modelle existieren in der (Wirtschafts-)Informatik und verwandten Domänen seit langer Zeit. Durch die Durchdringung von Informationstechnologie im produzierenden Gewerbe nimmt die Anzahl an Publikationen, welche als RAen bezeichnet werden, besonders im Kontext der Industrie 4.0 zu (vgl. Adolphs et al., 2015; Lin et al., 2015). Erdacht wurde dieses Konzept um u. a. die Entwicklung in komplexen Domänen zu erleichtern, indem Wissen und Konzepte bereitgestellt werden, oder um Aspekte zu vereinheitlichen. Beispiele für solche RAen wären AUTOSAR in der Automobilindustrie (AUTOSAR, 2015) oder die RA von Webbrowsern (Grosskurth & Godfrey, 2005). Demgemäß geben Referenzmodelle und -architekturen oft eine Grundstruktur eines Systems bzw. eine Vorgehensweise zur Erstellung vor oder beschreiben welche Teilelemente vorhanden sein müssen um ein solches System zu etablieren bzw. einen Prozess erfolgreich durchzuführen. Dem Referenzaspekt wird dadurch Ausdruck gegeben, dass die Architektur einen tendenziell allgemeingültigen Charakter haben muss. Dies bedeutet, dass eine RA über Unternehmensgrenzen und individuelle Fälle hinweg für eine bestimmte Domäne anwendbar sein sollte. Aus diesem Grund sind RAen ein beliebtes Mittel um Gemeinsamkeiten aufzuzeigen und die Kerne von Applikationen vergleichbar zu machen. Weiter wird in vielen Anwendungsfällen von RAen angestrebt durch eine RA eine Standardisierung bzw. Vereinheitlichung herbeizuführen oder schlicht Domänenwissen verfügbar zu machen.

Für das tiefere Verständnis des Begriffes der RA ist wiederum der bereits genannte Begriff des Referenzmodells von entscheidender Bedeutung. In Wissenschaft und Praxis wird dieser Begriff bereits ausgiebig verwendet. Im wissenschaftlichen Kontext werden Referenzmodelle als Informationsmodelle definiert, die als Ausgangslösungen zur Entwicklung projektspezifischer Mo-

delle Verwendung finden (Becker et al., 2007). RAen hingegen sind Referenzmodelle, die auf Softwareelemente heruntergebrochen werden, die Funktionen der Modelle kooperativ implementieren und die Datenflüssen zwischen den Elementen skizzieren (Bass et al., 2013). Zusammengefasst stellt eine RA im Kontext dieser Publikation eine spezielle, abstrakte Architektur dar, welche die allgemeinen Richtlinien zur Spezifikation von konkreten Architekturen setzt (Angelov et al., 2009).

Die Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Begriffen und einer konkreten Softwarearchitektur wird in Abbildung 1 weiter veranschaulicht. Die Veränderung des Abstraktionsniveaus über die verschiedenen Modelle hinweg wird so ersichtlich. Insbesondere im Hinblick auf Softwarearchitekturen wird deutlich, dass eine RA diese nicht ersetzt bzw. ersetzen soll sondern eine Grundlage für die Erstellung eben dieser darstellt.

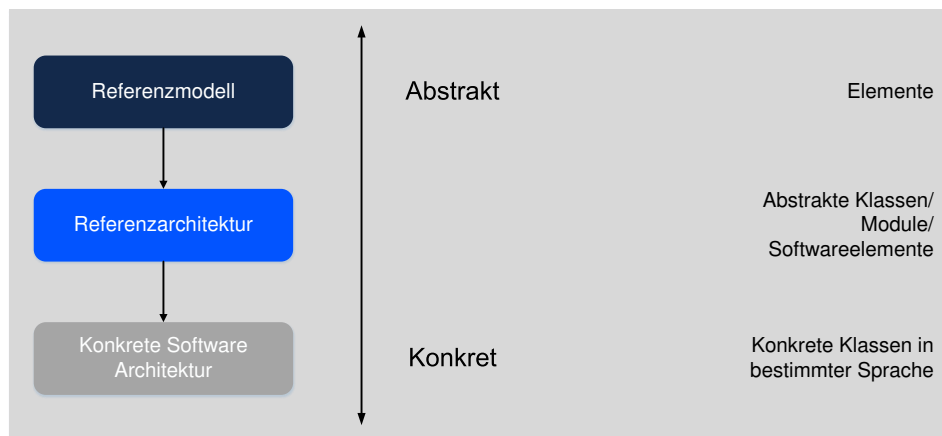


Abbildung 1 : Zusammenhang Referenzmodell, -architektur und Softwarearchitektur  
(Abbildung angelehnt an (Martínez-Fernández et al., 2013))

### 3 Darstellung der Referenzarchitektur

Eine verständlichen Darstellung ist nach (Cloutier et al., 2009) von entscheidender Bedeutung für den Erfolg einer RA. Für die RARC wurde daher eine Darstellungsart gewählt, welche sich an das 4+1-Sichten Softwarearchitekturmodell von (Kruchten, 1995) anlehnt. Diese Art von Architekturdarstellung, die auf verschiedenen Sichten bzw. Sichtweisen beruht, ist eine typische Darstellungsform zur Entwicklung komplexer IT-Systeme. Sie wurde neben

dem Aspekt der Verständlichkeit auch aus dem Grund gewählt, dass die inkludierten verschiedenen Sichten es ermöglichen zielgruppenspezifisch bestimmte Elemente einer Architektur mit unterschiedlicher Darstellungsform hervorzuheben.

Diese Art der Darstellung und der Grund für diese Entscheidung wird in Kapitel 3.1 erläutert. Zusätzlich werden In Kapitel 3.2 die Anpassung erklärt, die nötig sind, um anstelle von konkreten Softwarearchitekturmodellen eine RA für den angestrebten Zweck darzustellen.

### 3.1 Darstellung einer Softwarearchitektur nach Kruchten

Um die Architektur eines Software-intensiven Systems, wie des Ressourcen-Cockpits, darzustellen, müssen verschiedene Sichten auf die Architektur möglich sein bzw. diese dargestellt werden können. Eine der bekanntesten und verständlichsten Arten dies umzusetzen ist das 4+1-Sichten Softwarearchitekturmodell von Kruchten (1995). Aufgrund der einfachen Darstellung und Erweiterbarkeit im Hinblick auf die Nutzung für RAen, wurde diese Darstellung als Basis verwendet.

Das Modell unterscheidet ursprünglich zwischen 4+1-Sichten, welche jeweils einen Blickwinkel eines bestimmten Stakeholders (z. B. Endnutzer, Entwickler oder Projektmanager) auf das zu entwickelnde System darstellt. Dies erlaubt für jeden Projektbeteiligten eine übersichtliche Darstellung der benötigten Informationen. Darüber hinaus können, falls zusätzliche Blickwinkel wünschenswert sind, neue Sichten leicht eingefügt werden. Die Sichten selbst sind in ihrer Notation und ihrem Aufbau nicht festgelegt und die Auswahl der adäquatesten Darstellungsform wird an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst. Nachfolgend werden die 4+1-Sichten beschrieben und anschließend wird auf Anpassungen hinsichtlich der RA eingegangen.

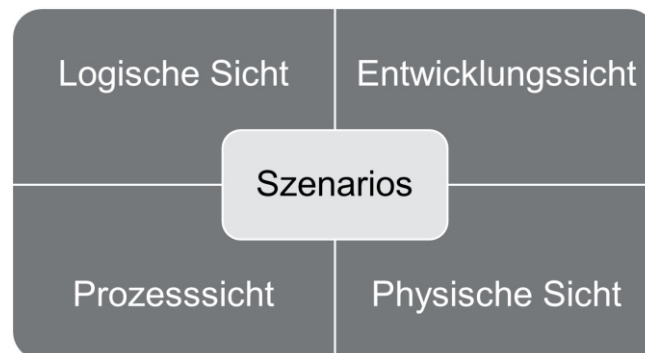


Abbildung 2 : 4+1 Sichten angelehnt an Kruchten (1995)

### 3.1.1 Logische Sicht

Diese Sicht beschreibt die Funktionalitäten und Services, welche dem Endnutzer zur Verfügung stehen. Die logische Sicht unterstützt vordergründig die funktionalen Anforderungen. Dem Endnutzer wird somit die logische Architektur dargestellt, womit er die zu erwartenden Services identifizieren kann. Um diese Ansicht zu erzeugen, wird das vorliegende System analysiert, in eine Menge von sogenannten „Schlüsselabstraktionen“ zerlegt und anschließend Gemeinsamkeiten und Designelemente zwischen diesen herausgearbeitet (Kruchten, 1995). Schlüsselabstraktionen bei Kruchten können dabei als Objekte oder Klassen angesehen werden. Die Informationen dieser Sicht werden meist per UML-Klassendiagramm, UML-Aktivitätsdiagrammen oder UML-Sequenzdiagrammen dargestellt.

### 3.1.2 Entwicklungssicht

Die Entwicklungssicht beschreibt das System vom Standpunkt eines Entwicklers und beschäftigt sich mit dem Softwaremanagement. Die logische Sicht bildet hierbei die Grundlage. Aus den einzelnen Objekten und Klassen der logischen Sicht werden in der Entwicklungssicht Softwarekomponenten erzeugt. Deren Verteilung auf verschiedene Subsysteme und Schichten wird bspw. durch UML-Komponenten- oder -Paketdiagramme abgebildet. Zusätzlich werden diese Komponenten in eine Hierarchie einsortiert, wodurch sich eine für den Entwickler hierarchische Darstellung der zu implementierenden Funktionalitäten ergibt. Diese sind über klare Interfaces voneinander getrennt. Hierdurch können Arbeitspakete einzelnen Entwicklern oder kleinen Teams zugewiesen werden und erleichtert auch die Wartung/Erweiterung der Software selbst.

### 3.1.3 Prozesssicht

In der Prozesssicht werden die dynamischen Aspekte des Systems verdeutlicht. Der Zusammenhang zwischen den Elementen aus der logischen Sicht, deren Zuordnung zu Kontrollflüssen, Kommunikationswegen und der notwendigen Synchronisation werden beschrieben. Dadurch wird das Laufzeitverhalten ersichtlich und zusätzlich nichtfunktionale Anforderungen wie Parallelität, Verteilung, Integration, Performance und Skalierbarkeit hervorgehoben.

### 3.1.4 Physische Sicht

Die physische Sicht beschäftigt sich mit der Systemtopologie, der Verteilung und Kommunikation der verschiedenen Komponenten auf physischer Ebene. Es ist eine Sicht für Systemarchitekten, die die Verteilung des zu entwickelnden Systems auf verschiedene Hardwarekomponenten und Netzwerkverbindungen plant.

### 3.1.5 Szenarien

Die der Architektur zugrundeliegenden Szenarien bilden die fünfte Sicht. Diese Szenarien stellen die wichtigsten Anwendungsfälle der Architektur bzw. der Anwendung dar. Die Szenarien sind dabei teils redundant mit den vorhergehenden Sichten (daher das „+1“), jedoch helfen die dort enthaltenen Abläufe Architekturelemente zu identifizieren, zu veranschaulichen und die Architektur mit all ihren Sichten zu überprüfen. Die Szenarien können in Form von bspw. Use Cases grafisch oder textuell beschrieben werden. Die beschriebenen Use Cases gehen schlussendlich vollständig in den beschriebenen Sichten auf und dienen als Implementierungsgrundlage für Anwendungen. Sie verbinden damit alle anderen Sichten.

## 3.2 Anpassungen für eine Referenzarchitektur

Die vorgestellten Sichten bilden in den meisten Fällen eine Grundlage zur Darstellung von konkreten Softwarearchitekturen. Im Falle einer abstrakteren RA, wie der RARC, werden jedoch andere Anforderungen an die Darstellung und die Architektur selbst gestellt. Sie muss als Vorlage benutzt werden können, um technische, konkrete Architekturen zu entwickeln. Aus diesem Grund wurden die Sichten von Kruchten dahingehend angepasst, dass die Modellierung einer abstrakten RA möglich ist. Das Ergebnis dieser Anpassung ist in Abbildung 3 zu erkennen. Dort sind die einzelnen Sichten und deren Verbindungen zueinander abgebildet. Besteht eine Verbindung zwischen zwei Sichten so sagt dies aus, dass eine Sicht auf den Informationen der anderen aufbaut. Nachfolgend werden die Sichten und deren Auswahl beschrieben.

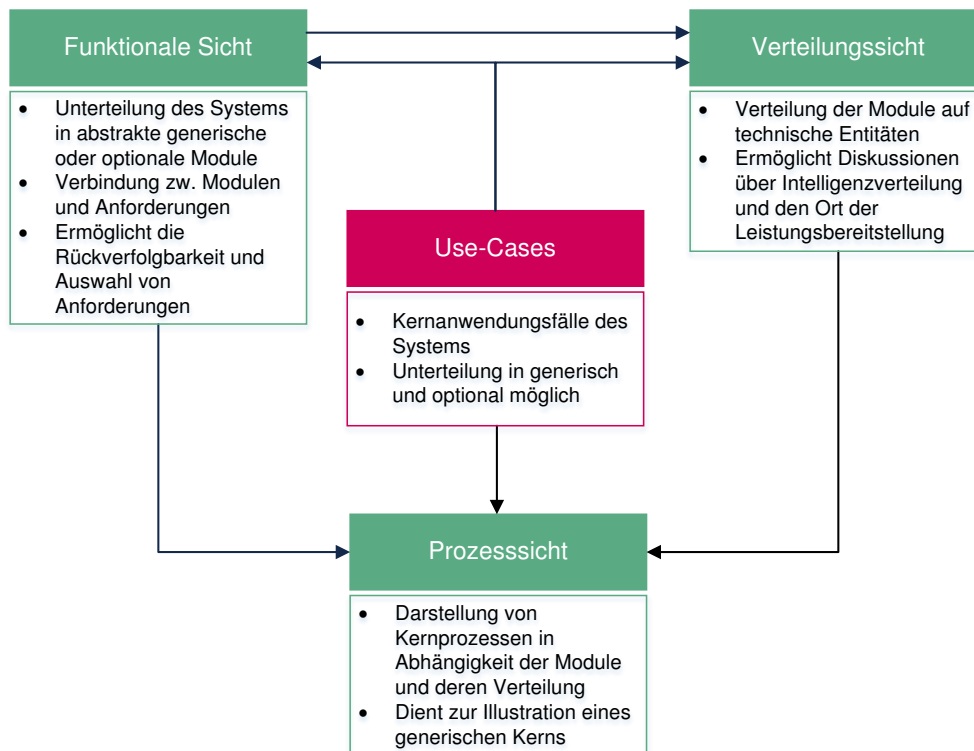


Abbildung 3 : Angepasste Sichten der RA (Eigene Darstellung)

Wie im vorherigen Abschnitt dargelegt, ist die logische Sicht im ursprünglichen Modell von Kruchten sehr detailliert. Dort werden die funktionellen Anforderungen in Klassen oder Objekte heruntergebrochen und miteinander verbunden und/oder in Vererbungshierarchien gebracht. Die Entwicklungssicht teilt die Klassen in Module, Subsysteme und verschiedene Schichten ein, die über spezifische Schnittstellen miteinander kommunizieren müssen. Diese Darstellung ist für eine RA zu spezifisch, da konkrete Klassen, Schnittstellen und Subsysteme gegenläufig zu einer hohen Abstraktion und einer generischen Sichtweise wären. Eine individuelle Adaptierung auf die eigenen technischen Gegebenheiten und Systeme wäre demzufolge kaum möglich.

Daher wurde die ursprüngliche logische Sicht dahingehend angepasst, dass sie optionale und generische Module einschließlich verbundener Anforderungen darstellt. Module sind in dieser Sicht, nicht wie bei Kruchten, Elemente, die verschiedene Klassen oder Objekte enthalten. Module stellen im Kontext der RARC eine logische Funktionseinheit dar und entsprechen eher einem

Modul im Sinne der ursprünglichen Entwicklungssicht. Jedoch sind sie auf einem deutlich höheren Abstraktionsniveau und enthalten daher keine konkreten Klassen, Verweise auf technische Bibliotheken oder Vererbungshierarchien. Sie stellen vielmehr eine abstrakte Funktionsbeschreibung einer logischen Einheit mitsamt Anforderungen, Unterfunktionen und bidirektionale Verbindungen zu anderen Modulen dar. Dies ermöglicht eine einfache Darstellung von nötigen und optionalen Funktionen in Verbindung mit generischen und optionalen Anforderungen. Durch diese nachvollziehbare Verbindung von Modul und Anforderung werden die individuelle Auswahl der Module anhand eigener Anforderungen, sowie eine transparente Rückverfolgbarkeit dieser bei Änderungen, erreicht. Weiterhin bieten die Module eine Grundlage für die Implementierung, ohne dass entscheidende Freiheitsgrade bei dieser eingeschränkt werden. Der Name dieser Sicht ist demgemäß Funktionale Sicht und auf eine isolierte Entwicklungssicht wurde komplett verzichtet.

Weitergehend ist die physische Sicht stark angepasst worden. Sie wurde ursprünglich genutzt, um den physischen Aufbau mitsamt Hardwareallokation so zu beschreiben, dass die Architektur nicht-funktionale Anforderungen wie Performance oder die Verfügbarkeit erfüllen konnte. Da der physische Aufbau von der Wahl der Module, deren Implementierung und der Größe der Applikationen im Allgemeinen abhängt, wäre eine solche Darstellung nicht zielführend. Sie ist im Kontext der RA daher zu einer Verteilungssicht umgewandelt worden und zeigt auf, welche Module aus der Funktionalen Sicht auf welchen Entitäten (Backend, mobiles Endgerät, Maschine) verfügbar sein müssen. Der Fokus liegt also auf der abstrakten Verteilung von Komponenten und Funktionen. Dies hat den Vorteil, dass die Stakeholder der Entwicklung einfach erkennen können, welche Funktionen zentral, dezentral oder mobil verfügbar sind. Hierdurch lässt sich die Intelligenzverteilung zwischen Backend, mobilem Endgerät und Anlage klar strukturieren und festlegen. Die Frage nach der Intelligenzverteilung stellt einen enorm wichtigen Punkt bei der Entwicklung von Industrie 4.0 Applikationen dar, die die Fähigkeiten von CPS effizient ausnutzen wollen.

Die Use Case Sicht ist im Kontext der RARC ähnlich wie die Szenarien von Kruchten umgesetzt worden. Die dort enthaltenen Anwendungsfälle beschreiben die wichtigsten Aspekte der Architektur und dienen dazu, Architekturelemente der anderen Sichten zu identifizieren. Für die hier erstellte RA ist es jedoch von Nöten, unterschiedliche Use Cases von unterschiedlichen Unternehmenstypen abzubilden, um alle Aspekte eines Ressourcen-Cockpits hinsichtlich generischen und optionalen Elementen darzustellen. Daher sind z. T. ähnliche Use Cases verschiedener Unternehmen vorhanden.

Diese Use Cases bilden auch die Grundlage der Modellierung der Prozesssicht. In dieser werden die Use Cases per UML-Aktivitätsdiagramm so modelliert, dass eine Verbindung zwischen den Use Cases, Funktionaler Sicht und Verteilungssicht einfach ersichtlich ist. Dies geschieht für alle Use Cases. Anhand dieser Informationen werden weitere generische und optionale Teile von Prozessen der RARC identifiziert. Im Falle der RARC wird ebenso eine Grundaktivität identifiziert, welche die grundlegende Funktionsweise eines Ressourcen-Cockpits umspannt und die Use Cases vereinheitlicht. In dieser Grundaktivität werden die identifizierten generischen und optionalen Teile der Prozesse aggregiert und mit den übrigen Sichten verbunden. Mit dieser Form der Darstellung unterscheidet sich die Prozesssicht stark von der bei Kruchten verwendeten, da ein höherer Abstraktionsgrad und eine zweite Form der Verknüpfung der übrigen Sichten erreicht werden. Sie stellt damit die generische Überführung der Use Cases mitsamt Verknüpfung zu den restlichen Sichten dar und ist die Basis für eine iterative Weiterentwicklung der Architektur. Weiterhin wird anhand dieser Sicht das Wissen über die Gesamtarchitektur punktgenau dargelegt, sodass eine Evaluation der restlichen Sichten durch das Wechselspiel erreicht werden kann. Im Kontext der RARC wird insbesondere durch diese Sicht die Kommunikation zwischen allen Stakeholdern ermöglicht.

## 4 RARC

Nachdem die Darstellungsart skizziert wurde, werden die einzelnen Sichten und ihr konkreter Inhalt beschrieben. Genauere Ausführung mitsamt aller Details der einzelnen Sichten sind ausführlich bei (Reidt et al., 2016a) zu finden.

### 4.1 Use Case View

Die RARC enthält insgesamt neun spezifische Use Cases, welche Referenzprozesse für die jeweiligen Unternehmen und Instandhaltungsarten darstellen. Diese Use Cases werden ausgiebig bei (Reidt et al., 2016a) diskutiert. Aus den vorgestellten Use Cases ist ersichtlich, dass diese in sechs Kategorien eingeteilt werden können. Diese wären:

- Instandsetzung von Anlagen
- Wartung/Inspektion von Anlagen durch Bediener
- Wartung/Inspektion von Anlagen durch Instandhalter
- Zustandsabfrage und Wartungsbedarfsanzeige von Anlagen
- Auswertung über die Verfügbarkeit der Anlagen sowie die
- Auswertung über die Fehlerhistorien



Die Use Case Sicht beinhaltet daher den Grundstock an nötigen Use Cases zur Benutzung eines Ressourcen-Cockpits.

## 4.2 Funktionale Sicht

Die funktionale Sicht umfasst insgesamt 40 Module und deren Verbindung zueinander. Nachfolgend sind die enthaltenen Module zusammengefasst dargestellt. Die hell dargestellten Module sind hierbei optionale Module und die in dunkel hinterlegten Module sind generisch. Generische Module sind Module, die sich in jedem Ressourcen-Cockpit befinden müssen, optionale sind abhängig vom konkreten Anwendungsfall des Ressourcen-Cockpits (z. B. Kundendienst) und können, müssen jedoch nicht, implementiert werden.

M.1. Handlungsleitfäden/Checklisten/Prüflisten	M.2. Dokumentenmanagement	M.3. Wiki	M.4. Anlageninformationen
M.5. Anlagenübersicht und -auswertung	M.6. Berechnung/Zugriff auf Produktionsplanung	M.7. Interne Navigation	M.8. Kataster für Hilfs- und Betriebsstoffe der Anlagen
M.9. Auftragsverwaltung/Priorisierung	M.10. Mitarbeitermanagement	M.11. Wartungsmanagement	M.12. Auftragsmanagement in Verbindung mit ERP
M.13. Schichtbuchfunktionalität/Synchronisation	M.14. Work and People Tracking	M.15. Arbeitszeiterfassung	M.16. Fehlererkennung & Condition Monitoring
M.17. Fehlerdatenbank	M.18. Fehlermeldung und -darstellung	M.19. Predictive Maintenance	M.20. Synchronisation Hersteller und Betreiber
M.21. Navigation	M.22. Reisekostenabrechnung	M.23. Serviceprotokolle	M.24. Vertragsmanagement
M.25. Signierfunktion	M.26. Kommunikation	M.27. Konnektivität/Intranetzugang	M.28. Ersatzteilmanagement
M.29. QR-CODE auslesen	M.30. Remote Zugriff/Fernwartung auf Anlagen/Maschinen	M.31. Technisches Nutzermanagement	M.32. Verarbeitung audiovisueller Medien
M.33. Funktionalitäten mobiles Endgerät	M.34. Synchronisation zw. Geräten und Systemen	M.35. Maschinenspezifika	M.36. Pluginintegration
M.37. Wetterdaten	M.38. Semantische Suche	M.39. Personalisierung des Systems	M.40. Telefonsersatz

Abbildung 4: Darstellung der funktionalen Module der RARC

Die Module werden bei (Reidt et al., 2016a) nach dem in Tabelle 1 dargestellten Schema beschrieben. Hierdurch wird gewährleistet, dass die technische Umsetzung, die Verbindung zu anderen Modulen, wie auch die Verbindung zu anderen Sichten und Anforderungen einfach ersichtlich ist.

Tabelle 1: Vorlage und Aufbau der Modulbeschreibungen

Name der Komponente	In dieser Sektion wird der Name der Komponente eingetragen
Darstellung in Referenzarchitektur	In dieser Sektion wird das Modul mitsamt den enthaltenen Anforderungen in einem Block dargestellt. Hierdurch ist die Zusammensetzung des Moduls aus optionalen wie auch generischen Anforderungen ersichtlich.
Zweck/Ziel	Hier wird das Ziel bzw. der Zweck des Moduls beschrieben.
Generisch/ optional	Dieses Feld beschreibt, ob das Modul generisch oder optional ist.
Funktionsbeschreibung	Die Funktionsbeschreibung des Moduls wird in dieser Sektion gegeben. Unter Funktionsbeschreibung wird hier das allgemeine Vorgehen zur Erfüllung des Ziels bzw. des Zweckes verstanden. Es können ebenso auf spezifische Herausforderungen während der Implementierung hingewiesen und gegebenenfalls deren Lösung skizziert werden.
Mögliche Unterfunktionen	Eine Aufteilung des Moduls in Unterfunktionen wird hier anhand der Funktionsnennung aufgelistet.
Verbindungen zu anderen Modulen	Hier werden die Module genannt mit welchen das vorliegende Modul im Austausch steht.
Voraussetzungen zur Funktionsfähigkeit	Technische, organisatorische Voraussetzungen zur Funktionstüchtigkeit des Moduls werden hier erläutert.
Erfüllte Anforderungen	In diesem Abschnitt werden die jeweiligen Anforderungen genannt, die durch das Modul abgedeckt werden.
Verbundene Prozesse	Hier werden die jeweiligen Prozesse genannt, in denen das Modul vorkommt.
Mögliche Technologien	Mögliche Technologien zur Umsetzung des Moduls werden hier genannt.
Aufteilung nach Entität	Die Aufteilung des Moduls auf Entitäten wird hier erklärt. Eine komplette Darstellung mit allen Modulen und deren Aufteilung ist darüber hinaus in Kapitel 4.3 zu finden.

### 4.3 Verteilungssicht

Die Verteilungssicht enthält alle Module aus der Funktionalen Sicht und stellt dar, auf welcher Entität das jeweilige Modul vorhanden sein muss. Als Entitäten werden drei Systeme, auf denen sich Module befinden, bezeichnet und mit „E“ abgekürzt. Die drei Entitäten sind dabei:

- E1. Maschine/Anlage - Hiermit sind maschinennahe Systeme gemeint, die sich entweder in der Maschine selbst, oder an einem direkt an der Maschine lokal angeschlossenen System, befinden.
- E2. Mobiles Endgerät - Hiermit ist ein mobiles Endgerät gemeint, welches der Instandhalter, Bediener oder eine dem Instandhaltungsmanagement zugeordnete Person zur Unterstützung von Instandhaltungsaufgaben nutzt. Im Kontext der untersuchten Unternehmen wurde ein Tablet als mobiles Endgerät erwünscht.
- E3. Backend - Das Backend stellt den zentralen Server dar, auf denen die meisten Informationen zusammenlaufen. Es ist nicht spezifiziert welche Leistung oder welche Art von Rechner das Backend haben bzw. sein sollte. Der Zugang zu dem Backend wird in der Regel durch einen Desktop PC oder einen Laptop erlangt. Hierfür ist i. d. R. ein Inter- bzw. Intranet Zugang notwendig.

Anhand dieser Übersicht lässt sich die Intelligenzverteilung des Ressourcen-Cockpits und von bestimmten Modulen erläutern und planen. Der Trend zu einem stärker dezentralen System lässt sich ebenso hier erkennen. Fokussierter auf den dezentralen Aspekt eines CPS sind die einzelnen Teilmodule bei (Reidt & Krcmar, 2016) diskutiert worden.

### 4.4 Prozesssicht

Die Prozesssicht der RARC beinhaltet die wichtigsten Prozesse basierend auf den Use Cases. Diese werden mithilfe von abgewandelten UML-Aktivitätsdiagrammen so dargestellt, dass klar ersichtlich ist, welche Aktivität auf welchem Modul und auf welcher Entität abläuft. Zusätzlich sind generische, wie auch optionale Aktivitäten und Abzweigungen eingezeichnet. Neben diesen Prozessen wurde auch eine Grundaktivität abgeleitet, welche den Kern des Systems darstellt. Durch diese Sammlung an Prozessen ist klar ersichtlich welche Prozesse durch ein Ressourcen-Cockpit wie zu unterstützen sind und an welchen Punkten Entwicklungspotential vorhanden ist. Aufgrund der Komplexität der Prozesse und der Darstellung wird hier auf die Arbeit von (Reidt et al., 2016a) verwiesen.

## 5 Sicherheitsaspekte

Die RA wurde im Laufe des Projektes durch Sicherheitsaspekte erweitert. Diese sind zwar kein fester Bestandteil der RARC, erweitern diese jedoch um essentielle Faktoren hinsichtlich Sicherheit und Datenschutz. Im Zusammenhang mit der Sicherheit muss bedacht werden, dass sich der ursprüngliche Datenschutzgedanke der Datenvermeidung nur sehr schwer mit den digitalen Geschäftsmodellen in Einklang bringen lässt. Wie auch in der Studie im Rahmen des Projektes „IKT Wandel“ (Gonzalez et al., 2016) festgestellt worden ist, setzt die Nutzung von Daten durch Dritte – sowohl bei der privaten, aber speziell auch bei der industriellen Nutzung – ein ausreichendes Vertrauen in einen Umgang mit den Daten voraus. Dabei gewinnt der Begriff der Datenhoheit, also welche Entitäten unter welchen Umständen und Voraussetzungen Zugriff auf Daten erhalten, immer mehr an Bedeutung. Davon unberührt bleiben natürlich Maßnahmen zur Reduzierung der Angriffsfläche. Gerade dieser Punkt stellt bei einer Vielzahl an verbundenen Geräten (Maschinen, Sensoren, etc.) im Industrie 4.0 Umfeld eine besondere Herausforderung dar.

Um einen Überblick über die bestehenden Herausforderungen und Bedrohungen, Sicherheitsziele sowie geeignete Maßnahmen für deren Umsetzung zu erhalten wurde die aktuelle Wissensbasis aus Literatur und Praxis zusammengetragen und analysiert. Anhand dieser Literaturrecherche ergaben sich unter Berücksichtigung des Industrie 4.0 Kontextes elf relevante Schutzziele. Die drei am häufigsten genannten waren:

- Verfügbarkeit (Availability),
- Integrität (Integrity) und
- Vertraulichkeit (Confidentiality),

Diese entsprechen dabei den sogenannten Schutzzielen der Informationssicherheit (Krcmar, 2015). Die identifizierten Herausforderungen lassen sich in die folgenden vier Ebenen unterteilen:

- Endpunktsicherheit,
- Kommunikationssicherheit,
- Datenverteilung
- sichere Speicherung sowie
- Steuerung der Überwachung.

Die einzelnen Schutzziele zusammen mit den technischen Möglichkeiten zur Umsetzung lassen sich verschiedenen Abstraktionsebenen zuordnen. Diese Ebenen wären im Kontext der Industrie 4.0:

- Anwendungsebene,
- Wahrnehmungsebene,
- Vermittlungsebene und
- physikalische Ebene.

Für eine detailliertere Beschreibung der Ziele, Herausforderungen und Bedrohungen sei an dieser Stelle auf (Reidt et al., 2016b)) verwiesen.

Basierend auf diesen generischen Kategorisierungen können unterschiedliche Bedrohungsszenarien analysiert und geeignete Maßnahmen zusammen mit den technischen Möglichkeiten abgeleitet werden. Bei dem Beispiel einer sicheren Fernwartung der RARC, bei der eine Kommunikationsverbindung von einem entfernten Rechner zu einer Anlage aufgebaut werden soll, ist eine der betroffenen Bedrohungsebenen die Vermittlungsebene. Ausgehend von dieser Ebene lassen sich Herausforderungen für die Kommunikationssicherheit, die Endpunktsicherheit und die Steuerung und Überwachung ableiten, zusammen mit technischen Möglichkeiten, um die damit verbundenen Schutzziele zu erreichen. Beispiele dieser Möglichkeiten umfassen in diesem Fall die Verschlüsselung oder die Nutzung sicherer Protokolle (Kommunikationssicherheit), die Authentifizierung und Autorisierung oder Whitelisting und Zugriffskontrolle von bestimmten Anwendungen (Endpunktsicherheit) sowie eine Initiierung der Fernwartung ausgehend von der Anlage (Steuerung und Überwachung), um dadurch nach außen offene Ports zu vermeiden und somit die Angriffsfläche zu reduzieren.

## 6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Referenzarchitektur eines Ressourcen-Cockpits vorgestellt. Zuerst wurden aufbauend auf den Grundlagen der RARC in Reidt et al. (S. 23 ff.) der Hintergrund von Referenzarchitekturen beleuchtet. Anschließend wurde die Darstellungsart der Referenzarchitektur dargelegt, um anhand dieser Darstellung den Inhalt auszuarbeiten. Eine Erweiterung durch Sicherheitsaspekte wurde als abschließender Teil der Referenzarchitektur vorgestellt. Anhand dieser Informationen ist es möglich, Ressourcen-Cockpits schneller, zielgerichteter und kompatibler zu entwickeln.

## 7 Literaturverzeichnis

- Adolphs, P., Bedenbender, H., Dirzus, D., Ehlich, M., Epple, U., Hankel, M., Zusammenspiel Datensammlung
- Wollschlaeger, M. (2015). *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). VDI /VDE Statusreport.*
- Angelov, S., Grefen, P., & Greefhorst, D. (2009). A Classification of Software Reference Architectures: Analyzing Their Success and Effectiveness. In *2009 Joint Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture and European Conference on Software Architecture, WICSA/ECSA 2009.* Cambridge, UK: IEEE. <http://doi.org/10.1109/WICSA.2009.5290800>
- AUTOSAR. (2015). AUTOSAR - AUTomotive Open System ARchitecture. Abgerufen 1. September 2015, von <http://www.autosar.org/specifications/>
- Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2013). *Software Architecture in Practice* (3. Aufl.). Upper Saddle River, New Jersey: Addison Wesley. <http://doi.org/10.1024/0301-1526.32.1.54>
- Becker, J., Delfmann, P., Knackstedt, R., & Kuropka, D. (2007). *Wissensmanagement mit Bordmitteln.* (J. Becker & R. Knackstedt, Hrsg.), *Wissensmanagement mit Referenzmodellen. Konzepte für die Anwendungssystem- und Organisationsgestaltung.* Berlin Heidelberg: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-52449-3>
- Cloutier, R., Muller, G., Verma, D., Nilchiani, R., Hole, E., & Bone, M. (2009). The Concept of Reference Architectures. *Systems Engineering*, 13(1). <http://doi.org/10.1002/sys.20129>
- Gonzalez, A. A., Becker, K., Cheng, C.-H., Dörich, V., Duchon, M., Fehling, M., ... Zoitl, A. (2016). *Digitale Transformation - Wie Informations- und Kommunikationstechnologie etablierte Branchen grundlegend verändern. Abschlussbericht des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Verbundvorhabens „IKT-Wandel“.* München.
- Grosskurth, A. J., & Godfrey, M. W. W. (2005). A reference architecture for web browsers. In *Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM'05).* Budapest, Hungary: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICSM.2005.13>
- Krcmar, H. (2015). *Informationsmanagement.* <http://doi.org/10.1007/978-3-662-45863-1>

- Kruchten, P. (1995). Architecture Blueprints - the „4+1“ View Model of Software Architecture. *IEEE Software*, 12(November). <http://doi.org/10.1145/216591.216611>
- Lin, S.-W., Miller, B., Durand, J., Joshi, R., Didier, P., Chigani, A., Witten, B. (2015). *Industrial Internet Reference Architecture. Technical Report*. Industrial Internet Consortium.
- Martínez-Fernández, S., Ayala, C., Franch, X., Martins, H., & Ameller, D. (2013). A Framework for Software Reference Architecture Analysis and Review. In M. Solari Buela & A. C. Dias Neto (Hrsg.), *10th Experimental Software Engineering Track Workshop (ESELAW)*. Montevideo, Uruguay.
- Reidt, A., Duchon, M., & Krcmar, H. (2016a). *Referenzarchitektur eines Ressourcen-Cockpits zur Unterstützung der Instandhaltung* (1. Aufl.). München: Fortiss GmbH. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.16563.84003>
- Reidt, A., Duchon, M., & Krcmar, H. (2016b). Sicherheitsaspekte von Industrie 4.0. In E. Müller & A. Bullinger-Hoffmann (Hrsg.), *Tagungsband „Smarte Fabrik & Smarte Arbeit – Industrie 4.0 gewinnt Kontur“ VPP2016 – Vernetzt planen und produzieren*. Chemnitz: TU Chemnitz.
- Reidt, A., & Krcmar, H. (2016). Referenzarchitektur für Cyber-physische Systeme zur Unterstützung der Instandhaltung. In V. Nissen, D. Stelzer, S. Straßburger, & D. Fischer (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2016*. Ilmenau: Universitätsverlag Ilmenau.



## Autoren



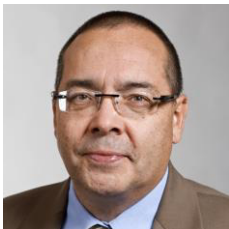
### Andreas Reidt

Andreas Reidt studierte Wirtschaftsinformatik an der TU Darmstadt. Bevor er als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der fortiss GmbH forschte, arbeitete er für die Commerzbank und SAP. Bei fortiss beschäftigt er sich in dem Geschäftsbereich Business Model und Service Engineering mit der Digitalisierung im Kontext der Industrie 4.0, berät Unternehmen und arbeitet und forscht an neuartigen Softwarearchitekturen und Plattformentwicklungen. Zusätzlich betreut er ein vom fortiss entwickeltes IT-Benchmarking.



### Markus Duchon

Markus Duchon studierte Informatik und promovierte 2013 im Bereich der mobilen und verteilten Systeme an der Ludwig-Maximilians-Universität München in Kooperation mit der Siemens Corporate Technology. Dort war er in der Abteilung für Software Architekturen und Plattformen tätig. Am fortiss leitet er die Entwicklung einer Software zur intelligenten und energieeffizienten Steuerung von Gebäuden. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen Verfahren zur Optimierung verteilter Systeme, kontextsensitive Systeme sowie Software Architekturen u.a. für den Smart Grid.



### Helmut Krcmar

Helmut Krcmar ist Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik an der TU München. Er ist wiss. Geschäftsführer der fortiss gGmbH - bayerisches Landesinstitut und An-Institut der TU München. Von 2010 bis 2013 war er Dekan der Fakultät für Informatik der TU München. Er forscht auf dem Gebiet des Informationsmanagements, der IT-ermöglichten Wertschöpfungsnetze, dem Dienstleistungsmanagement, dem Computer Supported Cooperative Work und der Informationssysteme für IT-Service Provider, im Gesundheitswesen und im öffentlichen Bereich.

# Rollen, Views und Schnittstellen – Implikationen zur stakeholderzentrierten Entwicklung Sozio-Cyber-Physischer Systeme

Sascha Julian Oks<sup>1</sup>, Albrecht Fritzsche<sup>1</sup>, Kathrin M. Möslein<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Innovation und Wertschöpfung, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

<sup>2</sup>Center for Leading Innovation and Cooperation (CLIC), HHL Leipzig Graduate School of Management

## **Zusammenfassung**

Der Einsatz cyber-physischer Systeme im Industrie 4.0-Kontext verändert die industrielle Wertschöpfung nachhaltig. Die Fertigung „smarter“ Produkte nach kundenindividuellen Wünschen in „Batch Size One“, die zunehmende Hybridität von Produkten und Dienstleistungen sowie die Verfügbarkeit immenser Datenmengen aus der Produktion und dem Produktlebenszyklus, erhöhen die Prozesskomplexität fortlaufend. Dies gilt auch für nachgelagerte, wertschöpfungsunterstützende Services, wie die Instandhaltung. Der vorliegende Beitrag beschreibt die im Rahmen des Förderprojekts „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“ (S-CPS), das ein Instandhaltungssystem basierend auf einem cyber-physischen System entwickelt, durchgeführten Tätigkeiten zur Ausarbeitung von Rollen, Views und Schnittstellen für dieses System. Dazu werden zunächst cyber-physische Systeme sowie Theorien und Methoden zur stakeholderzentrierten Systementwicklung vorgestellt. Darauf folgend werden das methodische Vorgehen und dessen Ergebnisse in Form eines Rollenmodells und System-Mockups präsentiert. Abschließend werden die generalisierten Erkenntnisse aus dem Projekt beschrieben sowie ein Ausblick für anschließende Forschung gegeben.

## **1 Einleitung**

In einer Vielzahl von visionären Studien wird das enorme Potenzial der Digitalisierung für unterschiedlichste Anwendungsbereiche beschrieben (Nist,

2013; CyPhERS, 2014; Geisberger & Broy, 2015). Die vorgestellten Umsetzungsszenarien prognostizieren zum einen die Steigerung von Effizienz und Effektivität in bestehenden Prozessen, beschreiben zum anderen aber auch Ansätze, in denen völlig neue Nutzungs- und Wertschöpfungsszenarien entstehen. Das Spektrum der Anwendungsbereiche reicht dabei vom individuellen privaten Gebrauch im Heimanwendungsbereich (z.B. Smart Home), über die institutionelle Nutzung in ökonomischen oder öffentlichen Organisationen (z.B. Industrie 4.0) oder aber auf volkswirtschaftlicher, staatlicher und interstaatlicher Ebene (z.B. Smart Mobility oder Smart Grid) (acatech, 2011).

Insbesondere dem Bereich der industriellen Anwendung weitreichender Digitalisierung wird von Seiten der Praxis und Wissenschaft unter dem Begriff Industrie 4.0 erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2014). Neben einer Vielzahl eigenständiger Umsetzungsaktivitäten durch Unternehmen unterschiedlichster Branchen setzt das Bundesministerium für Bildung und Forschung durch dessen Förderaktivitäten Akzente, um die Thematik zielgerichtet, diversifiziert und nachhaltig voranzutreiben. Dies geschieht u.a. in Pilotierungsvorhaben, die von Konsortien, zusammengesetzt aus Wissenschafts- und Praxispartnern, durchgeführt werden. Das Förderprojekt „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“ (S-CPS) (Förderkennzeichen: 02PJ4027) ist eines dieser Vorhaben. Es verfolgt die Zielstellung, durch intelligente Vernetzung in der Produktion Instandhaltungsprozesse zu digitalisieren, um somit die Voraussetzungen für die Instandhaltung nach Industrie 4.0-Standards zu ermöglichen. Hierzu gehört u.a. die Entwicklung eines Ressourcen-Cockpits für Instandhalter, das sich aus adäquater Hard- und Software zusammensetzt, um durch Einspeisung von Daten und anschließender kontextbasierter Bereitstellung von Informationen die Aufgabenausführung des Instandhaltungspersonals vielfältig zu unterstützen. Darüber hinaus werden die Arbeitsprozesse und -abläufe dementsprechend reorganisiert, sodass das Ressourcen-Cockpit sein volles Optimierungspotenzial entfaltet und somit die Arbeitsausführung des Instandhaltungspersonals größtmöglich erleichtert. Gleichzeitig soll durch den effizienteren Ablauf bestehender Prozesse und die Einführung von neuen Verfahren, wie vorausschauender Instandhaltung und ortsungebundener Fernwartung, der gesamte Produktionsoutput gesteigert werden. Ein besonderes Augenmerk legt das Vorhaben S-CPS in diesem Zusammenhang auf das Zusammenwirken zwischen cyber-physischen Systemen (CPS) und dem Menschen, was auch durch den Begriff „sozio“ im Projektnamen verdeutlicht wird.

Der vorliegende Beitrag gibt zunächst einen Überblick über die Spezifika von cyber-physischen Systemen und die relevanten Theorien und Methoden der Stakeholderzentrierung. Darüber hinaus wird das Vorgehen und die daraus gewonnenen Ergebnisse, des Arbeitspakets „Rollen Views und Schnittstellen“

beschrieben, welches für die verschiedenen betrieblichen Akteure der Instandhaltung in der Automobil-, Automobilzuliefer- sowie Windkraftindustrie ein informationstechnisch umsetzbares Rollenkonzept entwickelt, um davon die erforderlichen bzw. zulässigen Sichten auf Daten und Elemente des S-CPS abzuleiten. Abschließend wird das entwickelte Schnittstellenkonzept vorgestellt, dessen Ergebnisse im Mock-up des Ressourcen-Cockpits zusammengeführt werden.

## 2 Cyber-physische Systeme

Wie bereits im Titel des Vorhabens „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“ verdeutlicht, bildet die Kernkomponente zur Realisierung der beschriebenen Anwendungen ein cyber-physisches System. Definiert von Lee (2008) mit „Cyber-Physical Systems (CPS) are integrations of computation with physical processes. Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, usually with feedback loops where physical processes affect computations and vice versa“, verbinden diese Systeme, durch Verwendung von Hard- und Softwarekomponenten der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), Abläufe der physischen Welt mit digitalen Datenverarbeitungsprozessen, die gegenseitig aufeinander einwirken (Marwalder, 2011). Der Konzeptualisierung des Internets der Dinge (IoT) folgend, nimmt Sensorik dabei physische Zustände sowie deren Veränderungen auf. Die so entstandenen Daten werden von dezentralen EDV-Systemen in Echtzeit verarbeitet, um wiederum durch Aktorik, entsprechend des Systemzwecks auf die physische Umwelt einzuwirken (Fortino et al., 2014). Ergänzungsmöglichkeiten und Funktionserweiterungen cyber-physischer Systeme, wie zum Beispiel die Langzeitauswertung von Daten zur Mustererkennung (Big Data-Analytics) oder die ad-hoc Integration in bzw. Interaktion mit übergeordneten Systemen (System of Systems), zeigen die weitreichende Funktionalität dieser Systeme. Auch können „smarte“ Produkte in cyber-physische Systeme integriert werden und über den gesamten Produktlebenszyklus Daten generieren, die wichtige Erkenntnisse, beispielsweise zur Optimierung von Produktionsprozessen, liefern. Gegebenen durch die schier unendlichen Diversifizierungsmöglichkeiten und vielfältigen Anwendungsszenarien cyber-physischer Systeme geht deren Umsetzung mit einem hohen Komplexitätsgrad einher (Lee, 2008).

Dies gilt insbesondere für die Anwendungsdomäne Industrie 4.0, in der cyber-physische Systeme in der betriebsinternen Kategorie der „Smart Factory“ als cyber-physische Produktionssysteme (CPPS) zum Einsatz kommen. Ergänzt werden sie durch industrielle Service Systeme, die die Produktionsvorgänge

unterstützen. Eine Übersicht der genannten Zusammenhänge und die Verortung industrieller cyber-physischer Systeme in diesen gibt Abbildung 1.

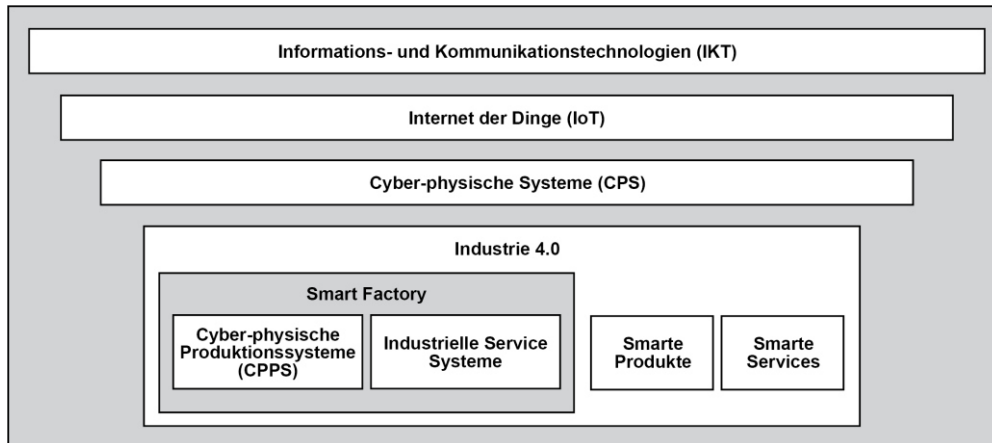


Abbildung 1: Verortung industrieller cyber-physischer Systeme

Zur Bewältigung der bereits erwähnten erheblichen Komplexität müssen, um cyber-physische Systeme erfolgreich zu planen, zu designen und schließlich zu implementieren, Lösungen für bestehende Herausforderungen in den drei Dimensionen, die cyber-physischen Systemen inhärent sind, erlangt werden. Bei den Dimensionen handelt es sich um die technologische, die personenbezogene sowie die organisationale (Oks et al., 2017). Während in der technologischen Dimension Problemstellungen der systemisch-technischen Realisierbarkeit, wie beispielsweise die Entwicklung von proprietär-kompatiblen Software-Schnittstellen, bestehen, sind in der personenbezogenen Dimension Fragen der Nutzerintegration und -qualifizierung zu beantworten und in der organisationalen Dimension Herausforderungen der organisationalen Systemintegration unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Zielgrößen zu lösen. Innovationen im Bereich cyber-physischer Systeme lassen sich dementsprechend nicht allein aus technischer Sicht vorantreiben, sondern erfordern die Berücksichtigung weiterer Gesichtspunkte, die nur durch Einbeziehung verschiedener Personengruppen in den Entwicklungsprozess erschlossen werden können (Fritzsche, 2017).

Das Vorhaben „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“ verfolgt das Ziel, cyber-physische Produktionssysteme unterschiedlicher Wertschöpfungskontexte mit dem industriellen Service System eines Ressourcen-Cockpits für Instandhaltungszwecke zusammenzuführen. Somit gilt es auch in diesem Projekt, spezifische Herausforderungen der zuvor genannten Dimensionen zu bewältigen. U.a. sind hierbei zu nennen: Sicherstellung

der Konnektivität bestehender und neu hinzukommender Produktionsinfrastruktur, Aufnahme von Anlagenzuständen via Sensorik, Datenverarbeitung und -haltung sowie deren kontextbasierte Bereitstellung und die Modellierung neuer Referenzarchitekturen, Produktionsprozesse und Geschäftsmodelle. Darüber hinaus die Entwicklung der Hard- und Software des Ressourcen-Cockpits unter Berücksichtigung von Nutzeranforderungen und ergonomischen, arbeitsrechtlichen und sicherheitstechnischen Fragestellungen und die Ausarbeitung eines informationstechnisch umsetzbaren Rollenmodells. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Entwicklung dieses Rollenmodells sowie die Bestimmung der erforderlichen bzw. zulässigen Sichten der einzelnen Nutzergruppen auf Daten und Elemente des Systems und die diesbezüglich relevanten Schnittstellen. Da für die im Rahmen dieses Arbeitspakets stattfindenden Tätigkeiten, Konzepte und Methoden der stakeholderzentrierten Systementwicklung bedeutsam sind, werden zuvor relevante Theorien und der aktuelle Forschungsstand diesbezüglich dargelegt.

### 3 Theorien und Modelle zur Stakeholderzentrierung bei Systementwicklungen

Ausgehend von der Konzeptualisierung von Trist und Bamforth (1951) sind organisationale Systeme, die zur Erfüllung bestimmter Aufgaben konzipiert und betrieben werden, sozio-technische Systeme, wenn diese sowohl Arbeitskräfte als auch Technologien zur Zielerfüllung einsetzen. Zusammengefasst in der soziotechnischen Systemtheorie (socio-technical system theory) werden Arbeitssysteme in soziale und technische Subsysteme unterteilt, welche fortlaufend miteinander interagieren und sich gegenseitig beeinflussen (Bostrom et al., 2009). Das technische Subsystem wird wiederum in die Kernkomponenten Aufgabe (task) und Technologie (technology) aufgeteilt. Während im Bereich der Aufgabe konkrete Anwendungen, Prozesse und Verfahren, die zur Zielerfüllung eingesetzt werden, betrachtet werden, konzentriert sich der Bereich der Technologie auf die verwendeten Artefakte, Soft- und Hardware sowie Anlagen und Maschinen. Das soziale Subsystem wiederum ist in die Komponenten Struktur (structure) und Personen (people) unterteilt. Im Bereich der Struktur werden Personalsysteme, -einsatz und Hierarchien zusammengefasst; in der Komponente Personen die Belegschaft mit ihren Qualifikationen, Laufbahnen und Entwicklungen (Bostrom & Heinen, 1977). Dem Paradigma der soziotechnischen Systemtheorie folgend, kann auch das im Rahmen des Projekts S-CPS entwickelte cyber-physische System mit dem dazugehörigen Ressourcen-Cockpit als soziotechnisches System verstanden werden.

Ein weiteres Konzept, das die an betriebswirtschaftlichen Prozessen beteiligten bzw. von diesen betroffenen Personen in den Mittelpunkt rückt, ist die Stakeholdertheorie. 1984 von Freeman mit dem Beitrag „Strategic Management: A Stakeholder Approach“ begründet, vereint diese Theorie Ansätze der Organisationstheorie und Unternehmensethik. Die maßgebliche Lehrmeinung der Stakeholdertheorie ist dabei, alle Personen (-gruppen) (Stakeholder), die von unternehmerischen Prozessen, Abläufen und Systemen in irgendeiner Form berührt sind, bei der Gestaltung, Implementierung oder Veränderungen dieser zu berücksichtigen (Reynolds et al., 2006). Dies gilt sowohl für inner- als auch außerbetriebliche Stakeholder, unabhängig ihrer hierarchischen Stellung und ihres gewichteten Beitrags für die Wertschöpfung (Kaler, 2003). Somit werden nicht ausschließlich die Motive und Interessen der Anteilseigner berücksichtigt, um eine möglichst für alle Beteiligten annehmbare Lösung zu generieren. Dieses Vorgehen orientiert sich jedoch nicht ausschließlich daran, bei Managemententscheidungen dem Gemeinwohl stärker Rechnung zu tragen, sondern auch daran, basierend auf konsensorientierten Lösungen, die die Interessenlagen aller Beteiligten bestmöglich berücksichtigen, einen höheren ökonomischen Erfolg zu erzielen. Dieser ökonomische Erfolg kann sich u.a. in Prozess- und Projekteffizienz, Mitarbeiterzufriedenheit, Innovationsfähigkeit und der öffentlichen Unternehmenswahrnehmung widerspiegeln und sich schlussendlich positiv auf Gewinnmaximierung und Marktwert des Unternehmens auswirken (Harrison et al., 2013). Aus mehreren Gründen ist auch bei der Systemgestaltung des S-CPS der Rückgriff auf die Inhalte der Stakeholdertheorie sinnvoll. So sind nicht nur innerbetriebliche Stakeholdergruppen für die Systemnutzung nach erfolgreicher Implementierung vorgesehen, sondern es besteht in zwei der drei zu pilotierenden Anwendungsszenarien auch das Kriterium, Stakeholdern unterschiedlicher Unternehmen die Nutzung des Ressourcen-Cockpits zu ermöglichen.

Während die soziotechnische Systemtheorie und die Stakeholdertheorie hauptsächlich für die Planungs- und Designphasen der Systementwicklung von Relevanz sind, sind für die erfolgreiche Implementierung und Sicherstellung der nachhaltigen Integration in Arbeitsabläufe im Rahmen der Verwendung durch die Mitarbeiter andere Ansätze bedeutsam (vgl. Fritzsche & Oks, 2016). Die „Affordances“-Theorie von Gibson (1979) beschreibt in diesem Zusammenhang den wahrnehmbaren Angebotscharakter, den Objekte in ihrer Umwelt verkörpern. Dabei geht es nicht nur um die Beschaffenheit des Objekts selbst, aus der verschiedene Handlungsmöglichkeiten entstehen, sondern auch um die Absichten, die Handlungsträger aufgrund ihres Vorwissens mit dem Objekt verbinden. Um die Nutzung der Objekte in der Praxis nachvollziehen zu können, müssen beide Aspekte gleichermaßen berücksichtigt werden. Im Fall des Ressourcen-Cockpits bedeutet dies, dass sich dessen Angebotscharakter nicht über das Artefakt selbst genährt wird, sondern über

die entsprechenden, sich dem Nutzer dadurch bietenden Handlungsmöglichkeiten. Durch Berücksichtigung dieser Theorie lassen sich demnach in iterativen Schleifen Implikationen zur Systemgestaltung gewinnen, die sich aus den Handlungsintentionen der Nutzer ableiten lassen.

Die Technologieadaption durch den Nutzer an sich wird mit unterschiedlichen Modellen untersucht. Zu den am weitest etablierten Verfahren gehören das Technologieakzeptanzmodell (Technology Acceptance Model) (Davis, 1989) und die Theorie des geplanten Verhaltens (Theory of Planned Behaviour) (Ajzen, 1991). Das Technologieakzeptanzmodell postuliert, dass die subjektive Einstellung einer Person zur Verwendung einer Technologie von den zwei Faktoren der wahrgenommenen Nützlichkeit (Perceived Usefulness) und der wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit (Perceived Ease of Use) beeinflusst wird. Die Intention zur Verwendung der Technologie wiederum ist von der so entstandenen Einstellung abhängig. Die Theorie des geplanten Verhaltens, eine Weiterentwicklung der Theorie des überlegten Handelns, beschreibt die Determinationsabfolge, die von der Verhaltensintention zum schließlich stattfindenden Handeln führt. Besondere Berücksichtigung findet dabei die wahrgenommene Verhaltenskontrolle des Menschen, die sich positiv auf die Ausführung des Verhaltens auswirkt. Zusammengeführt werden die beiden zuvor beschriebenen Sichtweisen durch das UTAUT-Modell (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology), das unter Berücksichtigung der Akzente beider Theorien die Akzeptanz von Informationstechnologien und die davon abhängige Verwendung bestimmt (Venkatesh et al., 2003).

Insbesondere für den Anwendungsbereich Industrie 4.0 sind die genannten Modelle zur Bestimmung der Technologieakzeptanz und -nutzung von hoher Relevanz. Dies ist darin begründet, dass sich unter der Industrie 4.0-Prämisse das „Nebeneinander“ und die Interaktion zwischen Mensch und Maschine in vielen Bereichen nachhaltig verändert (Hirsch-Kreinsen & ten Hompel, 2015). So wird der Trend der barrierefreien, durchgängigen und adaptiven Mensch-Maschine-Kooperation zukünftig intensiviert voranschreiten. Humanoide Roboter zur Unterstützung der Produktionsarbeiter und am Körper getragene Technologien wie Augmented-Reality-Brillen und Exoskelette können hierfür als Beispiele dienen (Oks et al., 2017). Darüber hinaus gilt dies auch für das Ressourcen-Cockpit des Projekts S-CPS. Als Mensch-Maschine-Schnittstelle, im mobilen Einsatz auf unterschiedliche Hardware (Tablets, Smartphones, etc.) zurückgreifend, empfiehlt sich ein stakeholderzentrierter Systementwicklungsansatz, unter Berücksichtigung der in diesem Abschnitt vorgestellten Theorien und Modelle.



## 4 Ausarbeitung von Rollen, Views und Schnittstellen für das S-CPS Ressourcen-Cockpit

Dem Verständnis der soziotechnischen Systemtheorie folgend, wurde das zu entwickelnde S-CPS inklusive des angeschlossenen Ressourcen-Cockpits als ein sozio-technisches System interpretiert. Dementsprechend wurde neben den Entwicklungstätigkeiten im technischen Subsystem ein gleichwertiger Fokus auf die durchzuführenden Arbeiten im sozialen Pendant gelegt. Die in diesem Beitrag beschriebenen Tätigkeiten zur Erstellung eines funktional umsetzbaren Rollen-, Views- und Schnittstellenmodells vereint dabei die beiden Komponenten des sozialen Subsystems, Struktur und Personen. Die Komponente Struktur findet sich in der Modellentwicklung, die unter organisationalen Gesichtspunkten sicherstellt, dass das Ressourcen-Cockpit Arbeitsabläufe, auch über Rollengruppen-, Abteilungs- und gar Unternehmensgrenzen hinweg, effizient koordiniert und unterstützt. Des Weiteren wurden neu entworfene Soll-Prozesse antizipiert und in der Konzeptualisierung des Rollen-, Views- und Schnittstellenmodells verankert. Die Komponente Personen wurde dabei insofern inkludiert, dass der Stakeholdertheorie entsprechend, ein stakeholderzentrierter Entwicklungsansatz verfolgt wurde, der allen beteiligten und betroffenen Stakeholdern die Möglichkeit geben sollte, an der Planung, dem Design und der Implementierung des S-CPS zu partizipieren.

Auch wurde das Ressourcen-Cockpit mit dem Anspruch entworfen, für ein möglichst breites Spektrum an Anwendungsszenarien im Rahmen von industriellen Instandhaltungstätigkeiten eingesetzt werden zu können. Verdeutlicht wird dies u.a. durch die heterogenen Branchen, Unternehmensgrößen und -rechtsformen der pilotierenden Praxispartner (ein OEM aus der Automobilindustrie, ein OEM aus der Automobilzuliefererindustrie sowie ein mittelständischer Windkraftanlagenbetreiber). Darüber hinaus unterscheiden sich die jeweiligen Anwendungsszenarien auch dahingehend, inwieweit und unter welcher Prämisse das System über Organisationsgrenzen hinweg verwendet werden soll (rein innerbetrieblich, in Kooperation mit einem strategischen Partner oder mit Subunternehmen, an die Instandhaltungsaufgaben ausgelagert wurden). Weitere Unterschiede ließen sich mit Bezug auf die geplante Verwendung des S-CPS zu strategischen Unternehmenszwecken feststellen (Oks et al., 2016). Die Herausforderung bei diesem diversifizierten Spektrum an Anwendungsszenarien und den damit einhergehenden unternehmensspezifischen Anforderungen ist es, ein Ressourcen-Cockpit und vorgelagert ein Rollen-, Views- und Schnittstellenmodell zu konzipieren, das die unterschiedlichen Anforderungen weitestmöglich verallgemeinert, um eine komplementäre Lösung, die für alle im Projekt repräsentierten, aber auch darüber hinaus bestehenden Szenarien zielerfüllend verwendbar ist.

Nachfolgend wird das methodische Vorgehen beschrieben, welches für die Ausarbeitung des Rollen-, Views- und Schnittstellenmodell, unter Berücksichtigung der zuvor erläuterten Erfordernisse der Stakeholderpartizipation und der Generalisierbarkeit für heterogene Anwendungsszenarien, angewandt wurde:

1. Der erste Arbeitsschritt erfolgte mit dem Ziel, alle Stakeholder zu identifizieren, die von der Einführung des Ressourcen-Cockpits betroffen sein würden. Unterschieden wurde hierbei zwischen späteren Systemnutzern und Personengruppen, die zwar nicht mit dem System direkt arbeiten würden, aber von Prozess- und Arbeitsablaufveränderungen, die mit der Systemeinführung einhergehen, betroffen sein würden. Zur Identifikation der Stakeholder wurden alle Ist-Prozesse der Instandhaltung gesammelt, analysiert und schließlich in Form von Prozessmodellierungen systematisch visualisiert. In Ergänzung dazu wurden Abteilungsorganigramme und Funktionsbäume der Instandhaltung und anderer produktionsnaher Abteilungen ausgewertet. Um nicht nur den Status quo zu berücksichtigen, sondern um auch eventuell darüber hinaus zu berücksichtigende Stakeholder zu erfassen, wurden die Soll-Prozesse auf gleiche Art und Weise ausgewertet.
2. Darauf folgend wurden die Strukturen der einzelnen Stakeholdergruppen und deren Verbindungen untereinander visualisiert. Hierdurch konnten Interdependenzen und hierarchische Stellungen anschaulich verdeutlicht werden.
3. In den zwei Anwendungsfällen, in denen das S-CPS nicht ausschließlich innerbetrieblich verwendet wird, wurden daraufhin die interorganisationalen Systemschnittstellen definiert und die Stakeholder des strategischen Partners bzw. der Subunternehmen ebenfalls erfasst und ergänzend in die Visualisierung eingefügt.
4. Um die Rollen der einzelnen Stakeholder besser definieren zu können, wurden die jeweiligen Aufgaben und deren Bezug zur Instandhaltung aufgenommen und ebenfalls in die Visualisierung integriert. Hierbei fanden wiederum sowohl die Aufgaben des Ist- als auch des Soll-Prozesses Berücksichtigung.
5. In Ergänzung zu dem vorherigen Schritt wurden die Informations- und Ressourcenbedarfe für die Bewältigung der jeweiligen Aufgaben ermittelt. Dadurch konnten die instandhaltungsrelevanten Informations- und Materialflüsse direkt mit den Stakeholdern und deren jeweiligen Arbeitsschritten verknüpft werden, was eine Voraussetzung darstellte, um die Verzahnung mit anderen Arbeitspaketen, beispielsweise der Ausarbeitung der Referenzarchitektur, sicherzustellen.

Die Ergebnisse der Schritte eins bis sechs wurden in Form von unternehmensindividuellen Stakeholder Maps zusammengefasst (Oks & Fritzsche, 2015). Diese grafischen Abbildungen wurden im nachfolgenden Prozess in zweierlei Hinsicht verwendet. Zum einen wurden die Stakeholder Maps als Grundlage für das Stakeholdermanagement herangezogen, um einen zielgerichteten und konfliktvorbeugenden Entwicklungsprozess über den gesamten Projektzeitraum sicherzustellen. Die dazu gehörenden Maßnahmen waren die Abschätzung der Projektunterstützung der einzelnen Stakeholder (-gruppen) sowie die Ausarbeitung eines Stakeholdermanagementplans, der sowohl die Gruppen nannte, deren Einstellung bzw. Position gegenüber dem Projekt verbessert werden sollte sowie geeignete Maßnahmen für diesen Zweck, wie beispielsweise das Angebot von Informationsterminen und fachoffenen Workshops. Zum anderen wurden die Stakeholder Maps herangezogen, um die Ausarbeitung und anschließende Orchestrierung der unterschiedlichen Rollen für das Ressourcen-Cockpit durchzuführen. Hierzu wurden, je nach Gruppengröße, mit Repräsentanten einzelner Stakeholdergruppen (Management, Betriebsräte, etc.) semistrukturierte Interviews geführt, während der Input anderer Gruppen (Instandhaltungspersonal, Facharbeiter, externes Servicepersonal, etc.) durch Fokusgruppen und Fragebögen eingeholt wurde. Die Aussagen wurden im Anschluss systematisch ausgewertet und unter Ergänzung der zuvor ausgearbeiteten Soll-Prozesse zur Entwicklung der unternehmensindividuellen Rollenmodelle herangezogen. Die in diesen Modellen verankerten Rollen mussten jedoch nicht zwangsläufig deckungsgleich den Stakeholdern sein, da als Rollen nur diese Gruppen berücksichtigt wurden, die als Systemverwender vorgesehen waren. Im Anschluss wurden die Rollenmodelle in iterativen Validierungsschleifen durch Vertreter der Stakeholdergruppen validiert.

Aufgrund der bereits zuvor erläuterten Zielsetzung der Generalisierbarkeit des S-CPS für diverse Anwendungsszenarien wurden die drei unternehmensindividuellen Rollenmodelle nachfolgend zu einem Rollenmodell zusammengefasst, das die Anwendbarkeit bei den drei Anwendungspartnern bei gleichzeitig größtmöglicher Generalisierung sicherstellt. Auch dieser Arbeitsschritt wurde wiederum durch Rückspiegelungen mit den Stakeholdern der einzelnen Praxispartner validiert. Eine Übersicht über das auf diesem Weg finalisierte Rollenmodell im Projekt S-CPS gibt Tabelle 1 im nachfolgenden Ergebniskapitel.

Im Rahmen der weiteren Systementwicklung wurden anschließend die durch die Referenzarchitektur (Reidt et al., 2016) definierten Funktionalitäten des Ressourcen-Cockpits mit den aufgenommenen Soll-Prozessen, die ebenso wie das Rollenmodell anhand eines Use Case-Katalogs generalisiert wurden, verknüpft. Darüber hinaus wurden in diesem Arbeitsschritt die Schreib- und

Leserechte der einzelnen Rollen definiert. Das Ergebnis ist eine Sammlung der rollenspezifischen Sichten, die das Ressourcen-Cockpit im jeweiligen Prozessschritt in Form von Informationen und Eingabemöglichkeiten visuell ausgibt. Da dieser Entwicklungsschritt eine direkte Vorarbeit für die nachfolgenden Aufgaben der Systemprogrammierung und Softwareergonomie-orientierten grafischen Gestaltung der Programmdarstellung war, wurde für die Darstellung der Sammlung der rollenspezifischen Sichten die Form eines „klickbaren“ html-basierten Mock-ups gewählt. Neben dem Vorteil, dass zuvor genannte darauf aufbauende Entwicklungsaktivitäten dadurch vereinfacht durchgeführt werden konnten, bot sich die Möglichkeit, den Stakeholdern frühzeitig eine visuelle, und durch Klickbarkeit veranschaulichte Simulation der Funktionalitäten des Ressourcen-Cockpits zur Zwischenevaluation vorzulegen. Ebenso wie das Rollenmodell werden auch die Logik und Beispiel-Views des Mock-ups im anschließenden Ergebnisabschnitt dieses Beitrags dargelegt.

Abschließend wurden noch die durch unternehmensübergreifende Zusammenarbeiten im Instandhaltungsprozess (zum einen strategische Kooperation, zum anderen operationales Outsourcing) bedingten interorganisationalen Schnittstellen identifiziert und ebenfalls im Mock-up integriert.

## 5 S-CPS Rollenmodell und Mock-up

Nachfolgend werden die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Entwicklungstätigkeiten dargestellt. Diese veranschaulichen einerseits die schlussendliche Systemkonfiguration des S-CPS Instandhaltungssystems, können andererseits aber auch als Grundlagen für anderweitige Entwicklungen von auf cyberphysischen Systemen basierenden Instandhaltungssystemen herangezogen werden.

Ausgehend von den sehr diversifizierten Rollenmodellen in den drei Anwendungsunternehmen wurde nachfolgendes generalisiertes Rollenmodell entworfen, das vier Rollengruppen mit elf auf diese Gruppen verteilte Rollen beinhaltet und in Tabelle 1 abgebildet ist.

Tabelle 1: Rollenmodell des S-CPS

<b>Rollengruppe</b>	<b>Rolle</b>
Management	Produktions(abschnitts)leiter/Betriebsführer
	Instandhaltungsleiter
Instandhaltung	Gruppenleiter
	Technischer Sachbearbeiter
	Instandhalter (Elektronik)
	Instandhalter (Mechanik)
Fertigung	Fertigungsabschnittsleiter/Meister
	Straßenführer/Bediener
	Material-/Werkzeugausgeber
Externer Service	Sachbearbeiter
	Techniker

Während die drei Rollengruppen Management, Instandhaltung und Fertigung unternehmensinterne Rollen vereinen, handelt es sich in der Gruppe externer Service um außerorganisationale Rollen. Um dem Anspruch einer möglichst hohen Anwendungsgeneralität gerecht zu werden, sind die jeweiligen Zusammenstellungen von Rollengruppen und Rollen je nach Kontext individuell zusammenstellbar. So können ja nach Anwendungskontext Systemkonfigurationen erstellt werden, die bedarfsentsprechend Rollengruppen und darin enthaltene Rollen berücksichtigen oder aber auch nicht. So ist beispielsweise bei einer im Unternehmen autark durchgeführten Instandhaltung die Rollengruppe externer Service nicht zu berücksichtigen.

Einer jeweiligen Systemkonfiguration entsprechend, gilt es auch das System-Mock-up anzupassen. Das für das S-CPS erstellte Mock-up berücksichtigt dies durch die Sicherstellung von Modularität in der Prozessablaufdarstellung. Den Funktionsumfang des Mock-ups zeigt Abbildung 2.



## Ressourcen-Cockpit: Mock-up & Views



Abbildung 2: Funktionsumfang des S-CPS Mock-ups

Die in Abbildung 2 anwählbaren Szenarien zeigen, welche unterschiedlichen Verläufe bei der Bewältigung von Instandhaltungsaufgaben rollenspezifisch durch das Mock-up simuliert werden können. Nach Auswahl des jeweiligen Szenarios werden die Views und Funktionen je nach Rolle bis zum erfolgreichen Abschluss des Instandhaltungsauftrags durchlaufen. Ein Beispiel-View in der Rolle des Instandhalters bei einer handlungsleitfadenunderstützten Reparatur ist in Abbildung 3 gezeigt.

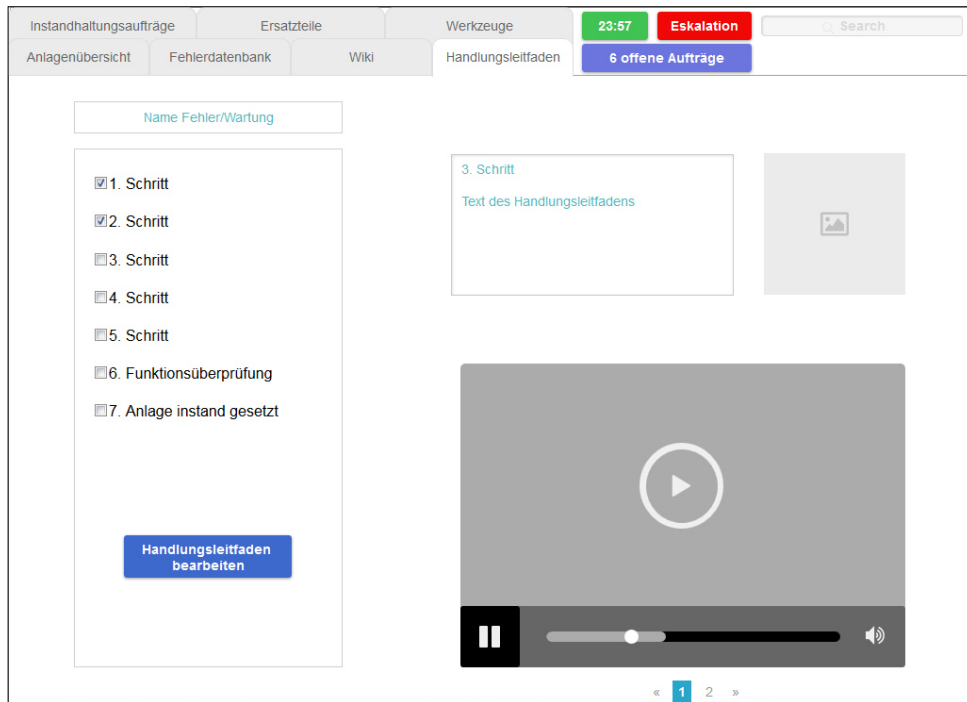


Abbildung 3: Beispiel-View aus dem S-CPS Mock-up

Nachdem die Ergebnisse des Arbeitspakets Rollen, Views und Schnittstellen zurückliegend dargestellt wurden, soll abschließend im Folgenden ein Ausblick gegeben werden, der die im Rahmen des Projekts S-CPS erlangten Erkenntnisse zu auf cyber-physischen Systemen basierender Instandhaltung in den Kontext von Industrie 4.0 setzt und Ansätze für anschließende Forschung aufzeigt.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Neben den beschriebenen konkreten Arbeitsergebnissen in Form des Rollenmodells und Mock-ups, konnten weitere Erkenntnisse durch das Arbeitstakt Rollen, Views und Schnittstellen erlangt werden, die für die fortschreitende Digitalisierung von industriellen Wertschöpfungsprozessen im Kontext von Industrie 4.0 von Wert sind. Zunächst ist diesbezüglich der maßgeblich gestiegenen Komplexitätsgrad von industriellen Systemarchitekturen zu nennen, der Organisationen vor große Herausforderungen stellt (Fritzsche & Oks, 2016). Wie im Projekt S-CPS zu erkennen, sind bei Systementwicklungen organisationale Abteilungs- Kompetenz- oder gar Unternehmensgrenzen nicht mehr für Systemabgrenzungen probat. So sind in das Instandhaltungssystem S-CPS weit mehr Abteilungen und Organisationsbereiche involviert als nur die innerbetriebliche Instandhaltungsabteilung. Dies trifft auf unterschiedlichen Ebenen zu. So sind zum einen Daten aus unterschiedlichsten Quellen (Produktion, Lagerhaltung, Auftrags- und Personalmanagement, etc.) nötig, um die volle Funktionalität des S-CPS zu erreichen. Gleiches, wie für die Zugänglichkeit von Daten, gilt auch auf der Prozessebene, wo eine zunehmende Verlinkung und Vernetzung über unterschiedliche Organisationsbereiche festzustellen ist. Ein weiteres Indiz für die steigende Komplexität ist die stetig wachsende Menge an verfügbaren Daten, die durch sensorbasierte Produktionssysteme entsteht. Diese Daten können nur dann als Katalysator für die Optimierung von Effektivität und Effizienz dienen, wenn sie durch zweckorientierte Aufarbeitung (Big Data zu Smart Data) in ein Format gebracht werden, das kontextabhängig und rollenbasiert dem jeweiligen Mitarbeiter zur Verfügung gestellt werden.

Die genannte Rollenbasierung betont die Relevanz der Stakeholderzentrierung bei der Planung, dem Design und der Implementierung insbesondere von sozio-cyber-physischen System, also Systemarchitekturen, die explizit als sozio-technische Systeme einzustufen sind. So verspricht dieser Ansatz, sich positiv auf die Partizipativität des Entwicklungsprozesses und die anschließende Systemakzeptanz auszuwirken. Weiterhin zeigt sich der Ansatz der Generalisierbarkeit als hervorhebungswürdig. Da aufgrund unterschiedlichster unternehmensindividueller Anwendungsszenarien Standardsystemkonfigurationen im Kontext der Industrie 4.0-basierten Wertschöpfung als immer weniger anwendbar gelten, kommt generalisierbaren Rollen-, Referenz- und Schnittstellenmodellen, die als Grundpfeiler der Industrie 4.0-gerechten Systementwicklung eingesetzt werden können, eine zunehmend wichtige Rolle zu. In Ergänzung dazu bieten Referenzarchitekturen und Applikationskarten die Möglichkeit, industrielle cyber-physische Systeme systematisch zu



implementieren und fortlaufend, mit dem Ziel eine ganzheitliche und durchgängige Produktion und Wertschöpfung nach Industrie 4.0-Standards zu erreichen, miteinander zu verbinden. Gerade auch für diesen Anwendungsbereich sind zukünftige Forschungsvorhaben und wissenschaftlich-anwendungsorientierte Pilotierungen von großem Wert. So sollten anschließende Forschungsvorhaben Systematiken erarbeiten, die bereits bestehende Inselprojekte zu Gesamtsystemen zusammenfassen. Da hierbei sowohl Produktion als auch Services ebenso wie Produkte systematisch zu digitalen Wertschöpfungssystemen orchestriert werden müssen, bieten sich disziplinübergreifende Forschungskonsortien an, die Fachbereiche der Wirtschafts-, Ingenieurs-, Arbeits-, Systemwissenschaften, etc., wie bereits im Projekt S-CPS geschehen, weiterhin zusammenbringen.

## 7 Literaturverzeichnis

- acatech (Hrsg.). (2011). Cyber-physical systems-Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. acatech POSITION. Heidelberg: Springer.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50 (2), 179-211.
- Bostrom, R. P., Gupta, S., & Thomas, D. (2009). A Meta-Theory for Understanding Information Systems within Sociotechnical Systems. *Journal of Management Information Systems*, 26 (1), 17-48.
- Bostrom, R. P., & Heinen, J. S. (1977). MIS Problems and Failures: A Socio-Technical Perspective. Part I: The Causes. *MIS Quarterly*, 1 (3), 17-32.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.). (2014). Industrie 4.0 – Innovationen für die Produktion von morgen. Berlin: BMBF
- CyPhERS. (2014). Cyber-Physical European Roadmap & Strategy – Structuring of CPS Domain: Characteristics, trends, challenges and opportunities associated with CPS. Technical Report CyPhERS Deliverable D3.1.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, 13 (3), 319-340.
- Fortino, G., Guerrieri, A., Russo, W., & Savaglio, C. (2014). Middlewares for smart objects and smart environments: overview and comparison. In G. Fortino, & P. Trunfio (Hrsg.), *Internet of things based on smart objects—technology, middleware and applications* (S. 1-27). Heidelberg: Springer International Publishing.

- Freeman, R. E. (1984). *Strategic Management - A Stakeholder Approach*. Boston: Pitman.
- Fritzsche, A. (2017). Open Innovation and the Core of the Engineer's Domain. In D. Michelfelder, B. Newberry, & Q. Zhu (Hrsg.), *Philosophy and Engineering* (S. 255-266). Dordrecht: Springer International Publishing.
- Fritzsche, A., & Oks, S. J. (2016). Learning to speak "digital" – how industry applies cyber-physical design concepts in new systems implementations. *Information Systems Foundations Workshop: Theorising Digital Innovation*.
- Geisberger, E., & Broy, M. (Hrsg.). (2015) *Living in a networked world—integrated research agenda cyber-physical systems (agendaCPS)*. acatech Study. München: Herbert Utz Verlag.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Harrison, J. S., & Wicks, A. C. (2013). Stakeholder Theory, Value, and Firm Performance. *Business Ethics Quarterly*, 23 (1), 97-124.
- Hirsch-Kreinsen, H., & ten Hompel, M. (2015). Digitalisierung industrieller Arbeit – Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 – Produktion, Automatisierung und Logistik*. (S. 1-20). Wiesbaden: Springer.
- Kaler, J. (2003). Differentiating Stakeholder Theories. *Journal of Business Ethics*, 46, 71-83.
- Lee, E. A. (2008). Cyber physical systems: design challenges. In 11th IEEE international symposium on object/component/service-oriented real-time distributed computing (S. 440–451).
- Marwalder, P. (2011). *Embedded system design: embedded systems foundations of cyber-physical systems*. Netherlands: Springer.
- Nist. (2013). *Strategic Vision and Business Drivers for 21st Century Cyber-Physical Systems*. Report from the Executive Roundtable on Cyber-Physical Systems.
- Oks, S. J., & Fritzsche, A. (2015). Importance of user role concepts for the implementation and operation of service systems based on cyber-physical architectures. In *ininteract* (S. 379-382).
- Oks, S. J., Fritzsche, A., & Lehmann, C. (2016). The digitalisation of industry from a strategic perspective. *R&D Management Conference (RADMA)*.

- Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslin, K. M. (2017). An application map for industrial cyber-physical systems. In H. Song, S. Jeschke, C. Brecher, & D. B. Rawat (Hrsg.), *Industrial internet of things: cybermanufacturing systems* (S. 21-46). Springer International Publishing.
- Reidt, A., Duchon, M., & Krcmar, H. (2016). *Referenzarchitektur eines Ressourcen-Cockpits zur Unterstützung der Instandhaltung*. München: fortiss.
- Reynolds, S. J., Schultz, F. C., & Hekman, D. R. (2006). Stakeholder Theory and Managerial Decision-Making: Constraints and Implications of Balancing Stakeholder Interests. *Journal of Business Ethics*, 64, 285-301.
- Trist, E. L., & Bamforth, K. W. (1951). Some Social and Psychological Consequences of the Longwall Method of Coal-Getting: An Examination of the Psychological Situation and Defences of a Work Group in Relation to the Social Structure and Technological Content of the Work System. *Human Relations*, 4 (1), 3-38.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27 (3), 425-478.

## Autoren



### Oks, Sascha Julian

Sascha Julian Oks studierte an der Universität Bayreuth und der University of Stellenbosch in Südafrika Betriebswirtschaftslehre. Seit Anfang 2014 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Innovation und Wertschöpfung (Prof. Dr. Kathrin M. Möslein) an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und promoviert im Themenbereich industrieller cyber-physischer Systeme. Seine Forschungsschwerpunkte liegen neben der Nutzung von Open Innovation in der Gesundheitsbranche auf den Einflüssen und Auswirkungen der vierten industriellen Revolution auf Wertschöpfungsprozesse und Geschäftsmodelle. In Ergänzung zu seinen akademischen Tätigkeiten ist Herr Oks als Reserveoffizier im Bereich der Vorgesetztenausbildung an der Marineschule Mürwik beordert.



### Fritzsche, Albrecht

Albrecht Fritzsche, Diplom Mathematiker und Magister Artium, hat an der Universität Hohenheim im Fach Industriebetriebslehre promoviert. Darüber hinaus besitzt er einen weiteren Dokortitel im Fach Technikphilosophie von der technischen Universität Darmstadt. Herr Fritzsche war acht Jahre in der Automobilindustrie als Systemexperte tätig und begleitete danach über viele Jahre strategische Technologieprojekte in Europa und Asien als externer Berater. Derzeit arbeitet er in Forschung und Lehre am Institut für Wirtschaftsinformatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Er befasst sich dabei im Schwerpunkt mit den Determinanten und Folgen der digitalen Transformation der Gesellschaft und dem Management komplexer Innovationsprozesse.



### Möslein, Kathrin M.

Prof. Dr. Kathrin M. Möslein ist Inhaberin des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik, insbes. Innovation und Wertschöpfung am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Universität Erlangen-Nürnberg und Forschungsprofessorin und Mitglied im Direktorium des Center for Leading Innovation & Cooperation (CLIC) an der Handelshochschule Leipzig. Die Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte von Kathrin M. Möslein liegen in den Bereichen der strategischen Innovation, Kooperation und Führung sowie ihrer IT-Unterstützung im Unternehmen. Lehrveranstaltungen behandeln Fragen der interaktiven Wertschöpfung, des Innovationsdesigns sowie der Entwicklung und Umsetzung von Innovationsstrategien und Führungssystemen.



# Konzeption und Umsetzung eines Ressourcen-Cockpits für die Instandhaltung

Sebastian Horbach<sup>1</sup>, Ullrich Trommler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CBS Information Technologies AG

## Zusammenfassung

Der Beitrag stellt die Implementierung des Ressourcen-Cockpit als die zentrale Software-Plattform für die Instandhaltung in Sozio-Cyber-Physischen Systemen vor. Zuerst wird der Entwicklungsprozess kurz beschrieben. In der Folge wird auf die Architektur der Umsetzung als Webanwendung eingegangen. Schließlich werden die angebotenen Funktionalitäten in kompakter Form präsentiert. Dabei wird aufgezeigt, wie das Ressourcen-Cockpit über ein generisches Plug-In-Konzept direkt auf die Informationen angeschlossener Anlagen oder betriebswirtschaftlicher Standardlösungen zugreifen kann.

## 1 Einleitung

Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse der Arbeit der CBS Information Technologies AG (CBS) innerhalb des Projekts „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme (S-CPS)“ vor.

CBS ist ein inhabergeführtes Softwareunternehmen mit etwa 30 Mitarbeitern, das kurz nach der Wende gegründet wurde. Schwerpunkte der Geschäftstätigkeit sind Beratung und Anpassung der ERP (Enterprise Resource Planning) -Systeme der Firma Microsoft MS Dynamics AX (Microsoft Dynamics AX 2016), MS Dynamics NAV (Microsoft Dynamics NAV 2016) und MS Dynamics CRM (Microsoft Dynamics 2016). Als innovatives Unternehmen in einer dynamischen Branche war und ist CBS in zahlreichen Forschungsprojekten beteiligt. CBS übernahm im Projekt S-CPS die Rolle des Projektkoordinators.

Das Projekt S-CPS definierte es als seine zentrale Zielstellung, alle für die Instandhaltung relevanten Datenströme eines Produktionssystems mit den relevanten Informationen für die an der Instandhaltung beteiligten Mitarbeiter bereitzustellen, um daraus automatisiert und dynamisch eine Übersicht der

notwendigen und freien Ressourcen, Kompetenzen und Informationen in einem Ressourcen-Cockpit zusammenzuführen. Das Ressourcen-Cockpit sollte vor allem für den Einsatz auf mobilen Geräten optimiert werden. Von der Bildschirmgröße her waren hier allerdings Tablets den Smartphones vorzuziehen. Ein wesentliches Ziel war die intuitive Bedienbarkeit der Lösung. (Hopf et al., 2014, Trommler et al., 2014)

Aus Sicht von CBS besteht das vorrangige Ziel darin, mit dem entwickelten Ressourcen-Cockpit das eigene Produktportfolio zu vergrößern, wobei ein Schwerpunkt auf der Integration mit dem ERP-System MS Dynamics AX liegt. Gleichzeitig soll ein Beitrag zur Entwicklung des Verfügbarmachens von Informationen aus ERP-Systemen auf mobilen Geräten geleistet werden.

Der Beitrag beschreibt zunächst in Kapitel 2 einige organisatorische Aspekte des Entwicklungsprozesses am Ressourcen-Cockpit. Anschließend wird in Kapitel 3 die Architektur erläutert. Kapitel 4 geht dann detailliert auf die Funktionen des Ressourcen-Cockpits ein. Das Plug-In-Konzept für die Interoperabilität mit anderen Systemen steht im Mittelpunkt von Kapitel 5. Schließlich beschreibt Kapitel 6 mögliche Einsatzszenarien des Ressourcen-Cockpits.

## 2 Entwicklungsprozess

Die Entwicklungsarbeiten konnten auf Grundlage der im Projekt erbrachten Vorleistungen erfolgen. Die Anforderungen an das Ressourcen-Cockpit ergaben sich aus dem am Anfang der Projektarbeit erstellten Lastenheft, in dessen Erstellung insbesondere die Befragung der zukünftigen Nutzer einfluss. Auf der Grundlage des Lastenheftes wurde im Verbund unter Federführung des Partners fortiss eine Referenzarchitektur erstellt (S. 43 ff.), welche die entscheidende Grundlage für die Modularisierung der Lösung bildete. Der dynamische Aspekt des Ressourcen-Cockpits fand seine Basis in den Referenzprozessen (S. 1 ff.), wofür die Professur Fabrikplanung und -betrieb der Technischen Universität Chemnitz hauptsächlich verantwortlich zeichnete.

Die Gestaltung der Benutzeroberfläche basiert auf den von den Professuren Wirtschaftsinformatik, insb. Innovation und Wertschöpfung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg sowie Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement der TU Chemnitz entwickelten Mock-Ups (S. 117 ff.). An der Professur Wirtschaftsinformatik, insb. Innovation und Wertschöpfung wurde gleichzeitig das Rollenkonzept für die Stakeholder in der Instandhaltung erarbeitet (S. 61 ff).

Der Entwicklungszyklus folgte weitestgehend einem agilen Ansatz. Die Funktionalitäten wurden in Aufgaben aufgeteilt, deren Bearbeitungsstand mit MS

Sharepoint überwacht wurde. In regelmäßigen Abständen konnte den Partnern so eine erweiterte Version zur Verfügung gestellt werden.

Da die Architektur des Ressourcen-Cockpits dem MVC-Pattern (MVC: Model – View – Controller) (Krasner & Pope, 1988) folgte, konnte die Entwicklung auch entsprechend auf Spezialisten verteilt werden. Der Datenbankdesigner legte die Basis mit dem Datenmodell, während sich ein Web-Designer auf die Entwicklung einer webbasierten Benutzeroberfläche, optimiert für mobile Geräte, konzentrieren konnte. Ein Softwareentwickler erarbeitete die verbindende Logik in der Controller-Ebene.

## 3 Architektur und Technologie des Ressourcen-Cockpits

In diesem Kapitel wird der grobe Aufbau des Ressourcen-Cockpits aus Architektursicht aufgezeigt (vgl. auch Trommler 2016). Außerdem wird aufgeführt, auf welche Technologien das Ressourcen-Cockpit zurückgreift.

### 3.1 Architektur

Eine schematische Darstellung der Architektur des Ressourcen-Cockpits bietet Abbildung 1.

Zur Wahrung der Datensicherheit und einer aufgabenbezogenen Funktionalitätsauswahl ist eine Benutzerführung im Ressourcen-Cockpit unerlässlich. Durch das Rollenkonzept wird hierbei einerseits festgelegt, welche Rechte der Benutzer ausführen kann, andererseits auf welche Anlagen er zugriffsberechtigt ist. Dazu werden dem Benutzer Qualifikationen und Zertifikate zugeordnet, nach denen eine Selektion der Wartungs- und Störungsaufträge erfolgen kann, für welche der Instandhalter geeignet ist.

Durch die Rollen müssen die Rechte nicht für jeden Benutzer vergeben werden, stattdessen findet eine Gruppierung statt. Die Rollen beinhalten verschiedene Formen der Berechtigung zum Zugriff auf durch das Ressourcen-Cockpit angebotene Funktionen. Dabei kann es sich um die Anzeige von Listen- und Detailseiten handeln oder die Beschränkung der Anzeige von Inhalten wie Plänen oder Anlagendokumentationen, wie sie von den Herstellern gefordert wird.

Da das Ressourcen-Cockpit vor allem auch für größere Maschinenparks eingesetzt werden soll, ist eine Gruppierung der betrachteten Anlagen unerlässlich.



lich. Die Gruppierung erfolgt hierbei vor allem nach technischen Gesichtspunkten. Eine Rolle kann für mehrere Ressourcengruppen gelten, andererseits werden einer Ressourcengruppe in der Regel mehrere Rollen zugeordnet. Zu einer Ressourcengruppe gehören mehrere Ressourcen, es besteht die Möglichkeit, eine Ressource mehreren Ressourcengruppen hinzuzufügen.

Den Ressourcen können Plug-Ins zugeordnet werden, mit denen eine direkte Verbindung zur Steuerungseinheit der Anlage vor allem nach dem OPC-UA-Standard hergestellt werden kann.

Konkreten Störungsbeseitigungs- und Wartungsaufträge sind konkrete Ressourcen zugeordnet. Die bekannten Fehlercodes und Wartungsvorschriften, welche diesen Aufträgen zugrunde liegen, sind in Katalogen zusammengefasst. Den Katalogen und damit auch den Aufträgen ist Equipment zugeordnet, unter diesem Begriff sind Werkzeuge und Ersatzteile zusammengefasst.

## 3.2 Eingesetzte Technologien

Das Ressourcen-Cockpit läuft auf Microsoft Internet Information Services (IIS). Diese müssen jedoch nur auf einem Rechner im Firmennetzwerk (oder in der Cloud) installiert sein, auf den dann die anderen Geräte über Webbrowser als Clients zugreifen.

Serverseitig sind Webseiten des Ressourcen-Cockpits in der Razor-Syntax mit der Programmiersprache C# codiert. Diese ist in die übliche Webtechnologie mit HTML 5 und CSS 3 eingebunden. Programmlogik, die auf dem Client laufen muss, wurde mit JavaScript entwickelt. Die Aufteilung des Quelltextes folgt dabei dem MVC-Pattern. Die Vorteile dieses Entwurfsmusters für den Entwicklungsprozess wurden bereits im vorhergehenden Kapitel erläutert.

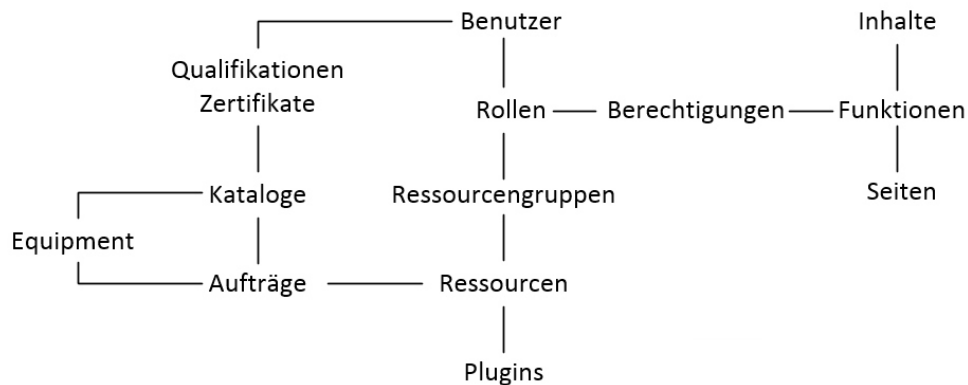


Abbildung 1: Architektur Ressourcen-Cockpit

Die Datenhaltung erfolgt nicht mehr in einer relationalen Datenbank, sondern in der RDF-Datenbank BrightstarDB. RDF steht für Resource Description Framework, welches als grundlegender Baustein des Semantic Web gilt. Die Daten sind über ein Triple aus Subjekt, Prädikat und Objekt abgebildet. Ein Datenbankserver wird damit überflüssig.

Das Ressourcen-Cockpit bietet ein Gerüst, das sich Anwender entsprechend ihren Bedürfnissen erweitern können. Dazu gehört die Modifikation der Benutzeroberfläche entsprechend der Corporate Identity, das Definieren von Plugins für die eigenen Anlagen oder das Hinzufügen zusätzlicher Webseiten mit Kontextspezifischen Funktionen. Die Kommunikation mit dem Ressourcen-Cockpit erfolgt über die Formate JSON und XML.

## 4 Funktionen des Ressourcen-Cockpits

In diesem Kapitel werden die Funktionen des Ressourcen-Cockpits ausführlicher vorgestellt. Welche davon ein Benutzer anzeigen und verwenden kann, hängt von den Rechten der ihm zugeordneten Rollen ab. Die Anzeige ist für Tablets optimiert.

Bei erfolgreicher Anmeldung wird der Benutzer mit einem Dashboard (Abbildung 2) begrüßt. Dies zeigt ihm, ob Fehler oder Wartungen anliegen, für deren Bearbeitung er die Verantwortung übernehmen könnte. Liegen ungelesene Nachrichten für den Benutzer vor, wird er darauf hingewiesen. Außerdem wird eine Übersicht gegeben, welche persönlichen Konfigurationen der Benutzeroberfläche gespeichert wurden.

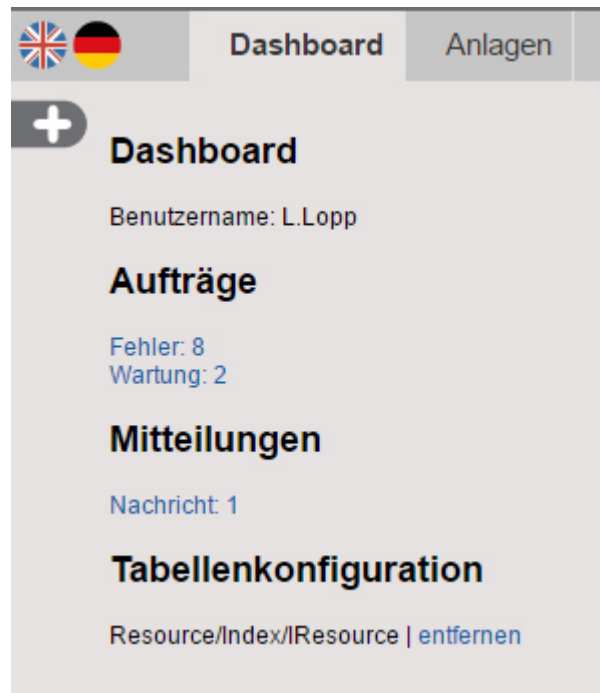


Abbildung 2: Dashboard

Das Dashboard ist in dieser Ausbaustufe nur ein Vorschlag. Die Gestaltung und die anzuzeigenden Informationen sind den Bedürfnissen des Unternehmens anzupassen, welches das Ressourcen-Cockpit einsetzt.

Das Ressourcen-Cockpit ist in Deutsch und Englisch nutzbar. Der Benutzer kann sich die Oberfläche des Ressourcen-Cockpits entsprechend seiner Präferenzen konfigurieren. Somit kann er die Anordnung der Spalten verschieben oder Spalten ein- und ausblenden, Filter und Sortierkriterien definieren und bestimmen, wie viele Datensätze pro Seite angezeigt werden sollen. Diese Konfigurationen werden benutzerspezifisch gespeichert, sodass der Benutzer die Daten beim nächsten Aufruf genauso vorfindet.

#### 4.1 Konfiguration

Bevor die eigentliche Arbeit mit dem Ressourcen-Cockpit beginnen kann, müssen die Stammdaten eingestellt werden. Die Generierung kann manuell erfolgen, üblicherweise werden jedoch insbesondere bei großen Datenmengen Importfunktionalitäten über entsprechende Plugins benutzt. Die Verwaltung der Stammdaten erfolgt über das Management-Modul (Abbildung 3). Für

welche Daten sich der Benutzer verantwortlich zeichnet, ist durch das Rollenkonzept festgeschrieben.

#### 4.1.1 Benutzerverwaltung

Über die Benutzerverwaltung (Abbildung 4) werden neue Benutzer angelegt. Hier erfolgt neben der Vergabe der Rollen auch die Zuordnung von Qualifikationen und Zertifikaten, durch die bestimmt wird, für welche Instandhaltungstätigkeiten der Benutzer befähigt ist.

Über die Detailsinstellungen (Abbildung 5) können Kennwörter vergeben und die Standardsprache festgelegt werden. Wenn der Benutzer ausfällt und somit für längere Zeit keine Instandhaltungsaufgaben übernehmen kann, ist es möglich, seine Verfügbarkeit zu deaktivieren.

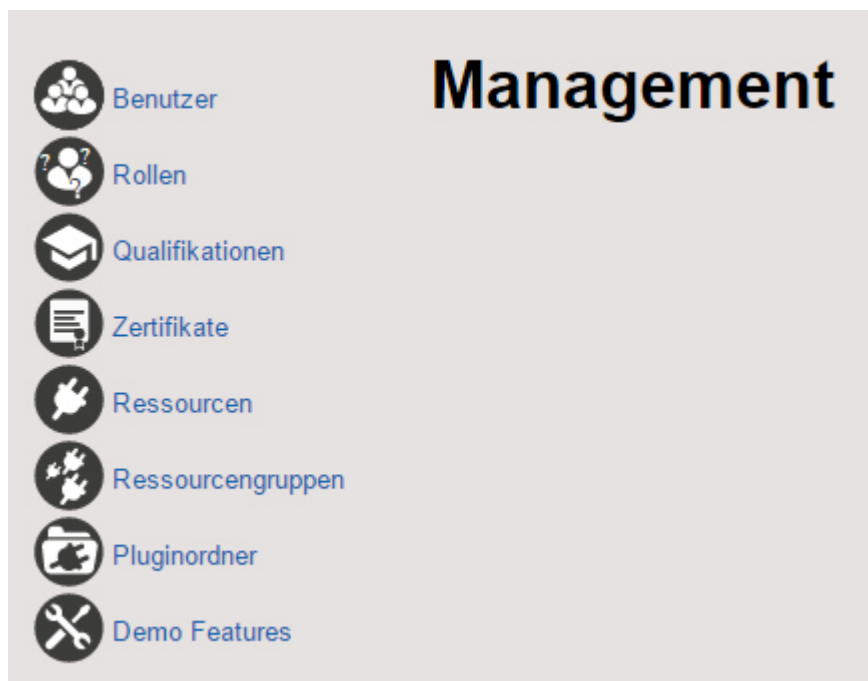


Abbildung 3: Übersicht des Konfigurationsmoduls

**Benutzerverwaltung**

[+ neuen Benutzer anlegen](#)

Ergebnisse: 20  
Seiten: 4

Verfügbar	Benutzername	Vorname	Nachname	Rollen	Qualifikationen	Zertifikate	
	Admin	Admin		Super User	keine Qualifikationen	keine Zertifikate	bearbeiten
	mec	Finn	Faist	Default Instandhalter	FA Mechaniker	keine Zertifikate	bearbeiten
	H.Hertel	Henry	Hertel	Administrator Benutzer	keine Qualifikationen	keine Zertifikate	bearbeiten
	mec3	Andre	Jinkov	Default Instandhalter	FA Mechaniker	Mechanik 110 Werkzeugarm	bearbeiten
	S.Klebber	Sven	Klebber	Instandhalter H1	keine Qualifikationen	keine Zertifikate	bearbeiten

Ergebnisse: 20  
Seiten: 4

Abbildung 4 Benutzerverwaltung

**Benutzer bearbeiten**

Löschen Passwort ändern Speichern

Vorname:   
 Nachname:   
 Benutzername:   
 Sprache:   
 Verfügbar:

Rollen **Qualifikationen** **Zertifikate**

Rollen [Rollen hinzufügen](#)

Ergebnisse: 1  
Seiten: 1

Name	Berechtigungen	
Instandhalter H1	AdministrateOrders	entfernen

Ergebnisse: 1  
Seiten: 1

Abbildung 5: Benutzerdetails

#### 4.1.2 Rollenverwaltung

Die Rollen legen fest (Abbildung 6), auf welche Ressourcengruppen und Funktionen Benutzer mit dieser Rolle Zugriff haben. Dazu werden den Rollen die entsprechenden Ressourcengruppen und Berechtigungen zugewiesen. Für eine komfortable Vergabe können Benutzer zugewiesen werden, dies ist jedoch auch über die Benutzerverwaltung einstellbar.

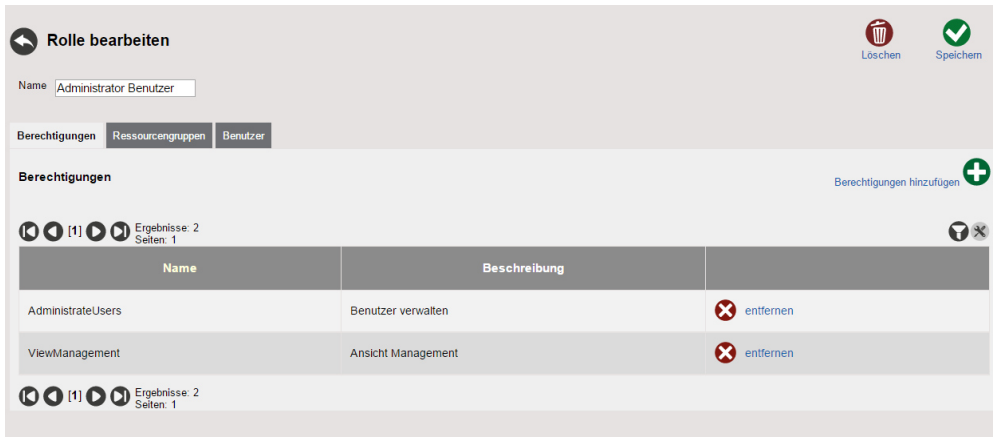


Abbildung 6: Rollenverwaltung

### 4.1.3 Verwaltung von Qualifikationen und Zertifikaten

Die Ausübung kritischer Instandhaltungsarbeiten erfordert in der Regel Kenntnisse zum Sachverhalt oder eine Befähigung. Um eine fachgerechte Instandhaltung zu gewährleisten, können den Benutzern sowie den im Katalog erfassten Stör- und Wartungscodes, Qualifikationen und Zertifikate (Abbildung 7) zugewiesen werden. Dadurch bekommen Instandhalter nur Aufträge zugeteilt, die ihren Kenntnissen entsprechend bearbeitet werden können bzw. für die ihnen eine Befugnis in Form eines Zertifikates erteilt wurde. Hierbei werden auch eventuelle Laufzeiten von Zertifikaten berücksichtigt.

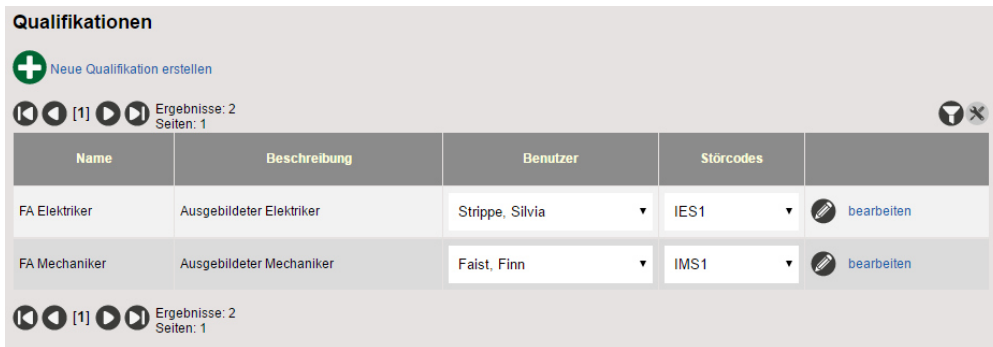


Abbildung 7: Verwaltung der Qualifikationen

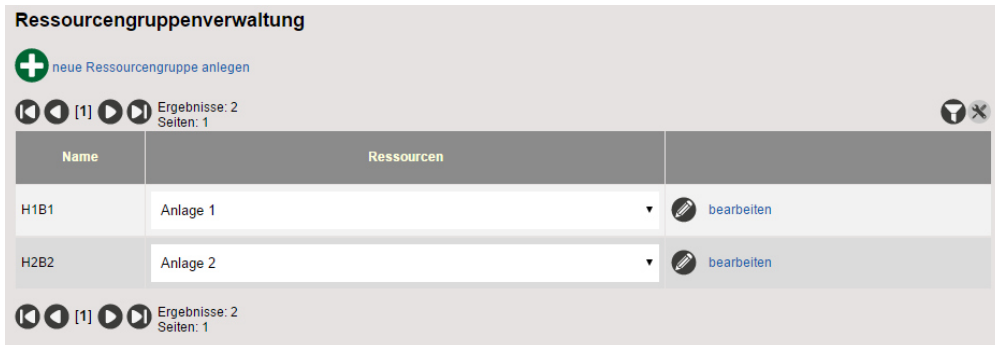


Abbildung 8: Verwaltung der Ressourcengruppen

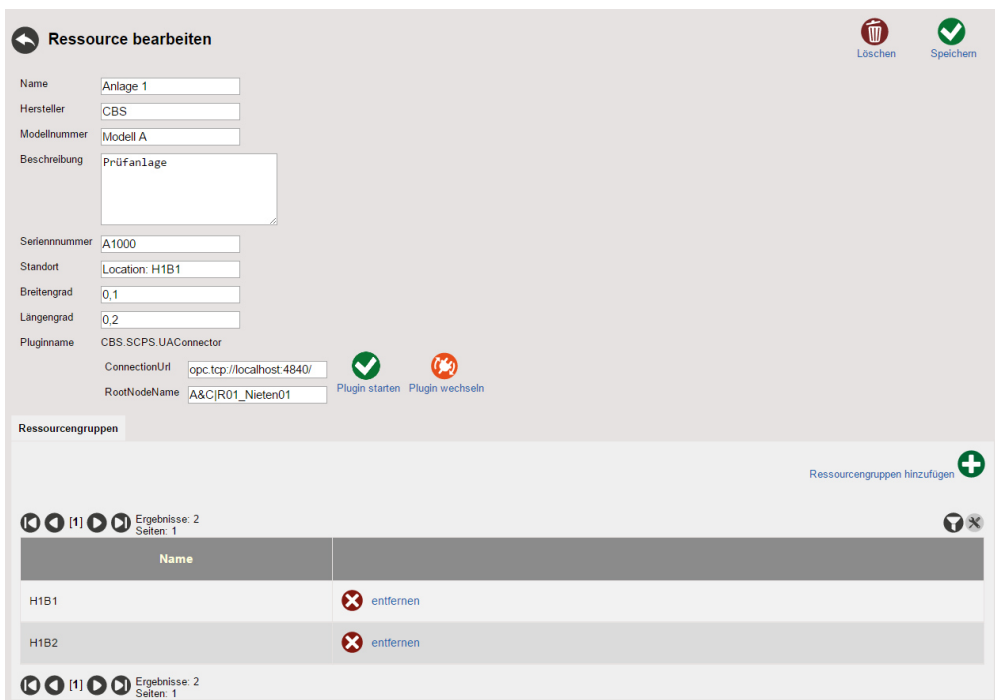


Abbildung 9: Ressourcenverwaltung

#### 4.1.4 Verwalten von Ressourcengruppen

Ressourcengruppen kategorisieren Ressourcen, um die Zuordnung von Rechten zu vereinfachen. Neben dem Erstellen und Löschen von Ressourcengruppen (Abbildung 8) steht hier vor allem die Zuordnung von Ressourcen im Vordergrund. Die Anzahl der Ressourcengruppen einer Ressource sowie

die Anzahl der Rollen, die einer Ressourcengruppe zugewiesen wird, ist nicht limitiert. Die Zuweisung der Zugriffsrechte erfolgt über die Rollenverwaltung.

#### 4.1.5 Ressourcenverwaltung

Die Eigenschaften der Ressourcen werden in der Ressourcenverwaltung (Abbildung 9) eingestellt. Dazu gehören Herstellerdaten und Informationen zum Standort der Ressource. Ebenso kann zugeordnet werden, über welches Plugin die Verbindung zur Steuerung der Ressource aufgenommen wird. Das schließt die Aktivierung bzw. Deaktivierung der Verbindung mit ein. Zur Minderung des Arbeitsaufwandes beim Anlegen neuer Ressourcen kann auch hier eingestellt werden, zu welchen Ressourcengruppen die Ressource gehört.



**Plugin Ordnerüberwachung**

neuen Ordnerpfad angeben Plugins neu laden

Ergebnisse: 1  
Seiten: 1

Pfad	
C:\SCPS\Plugins	bearbeiten

Ergebnisse: 1  
Seiten: 1

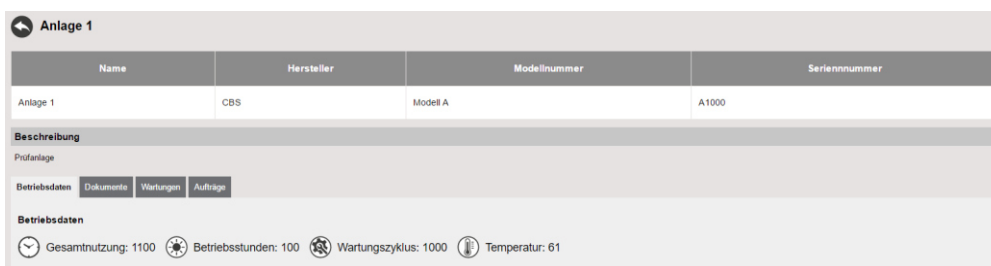
**Plugin**

Ergebnisse: 1  
Seiten: 1

Name	Version	Dateipfad
CBS.SCPS.UAConnector	1.0.0.0	C:\SCPS\Plugins\CBS.SCPS.UAConnector.dll

Ergebnisse: 1  
Seiten: 1

Abbildung 10: Verwaltung der Plugins



**Anlage 1**

Name	Hersteller	Modellnummer	Seriennummer
Anlage 1	CBS	Modell A	A1000

**Beschreibung**

Prüfanlage

Betriebsdaten Dokumente Wartungen Aufträge

**Betriebsdaten**

Gesamtnutzung: 1100 Betriebsstunden: 100 Wartungszyklus: 1000 Temperatur: 61

Abbildung 11: Anlagendetails



### 4.1.6 Plugin-Verwaltung

In der Verwaltung der Plugins (Abbildung 10) wird eingestellt, welche Ordner hinsichtlich Plugin-Dateien überwacht werden müssen. Im Bereich Plugin wird dann angezeigt, welche Plugins im jeweiligen Pfad gefunden wurden. Hierbei werden auch Versionsinformationen übernommen.

## 4.2 Anlagenverwaltung

Die Anlagenverwaltung dient der Überwachung der konkreten Anlagen. Das Anlegen neuer Anlagen oder die Bearbeitung der Anlageneigenschaften erfolgt über die Ressourcenverwaltung.

Auf der Seite Betriebsdaten (Abbildung 11) werden Informationen angezeigt, die über das Plugin direkt von der Ressource zur Verfügung gestellt werden. Hieraus kann der Mitarbeiter Rückschlüsse über den Zustand der Anlage ziehen.

Ebenso werden im Anlagenmanagement die für die Ressource gültigen Dokumente, wozu z.B. Handlungsanweisungen, Bedienungsanleitungen, Prüflisten oder Schaltpläne gehören können, verwaltet. Den Dokumenten können Meta-Informationen teilweise durch das System aber auch manuell hinzugefügt werden.

Im Weiteren ist hier zusammengefasst, welche Aufträge (zur Störungsbeseitigung) und Wartungen aktuell zu bearbeiten sind.

The screenshot displays the 'STÄUBII ALPHA 500' management interface. At the top, there is a navigation bar with a back arrow, the title 'STÄUBII ALPHA 500', and a 'Annahmen' button with a green checkmark. Below this is a table with the following columns: 'Type', 'Anlage', 'Störcode', 'zugewiesener Benutzer', 'Auftrag erstellt', 'Status', and 'Escalation'. The table contains one entry with a red 'X' icon in the 'Type' column, 'STÄUBII ALPHA 500' in the 'Anlage' column, 'STA500' in the 'Störcode' column, an empty 'zugewiesener Benutzer' column, '11.10.2016 14:58:00' in the 'Auftrag erstellt' column, a yellow warning icon in the 'Status' column, and '14m 52s' in the 'Escalation' column. Below the table, there is a 'Beschreibung' section with the text 'Greifer oben keine Freigabe'. Underneath, there are tabs for 'Dokumente', 'Werkzeuge', 'Ersatzteile', and 'Mittelungen'. The 'Handlungsanweisung' section is active, showing a tree structure: 'zur Struktur' -> 'Störung' -> 'Hersteller' -> 'Variante' -> 'Firmware' -> 'Code' -> 'Handlungsanweisung'. A 'Download' window is open, showing a document viewer with a '1 / 1' indicator and navigation icons.

Abbildung 12: Verwaltung der Störcores

## 4.3 Kataloge

Über Kataloge werden die StörCodes, welche durch die Anlagen übermittelt werden, verwaltet. Außerdem werden hier die zu den Anlagen gehörigen Wartungsaufgaben eingerichtet. Derzeit werden für die Wartungen ebenfalls nur Codes mit entsprechenden Informationen gespeichert, Wartungszyklen sind noch nicht implementiert. Das derzeitige Szenario bezieht sich auf Aufträge, die z.B. durch eine Maschine ausgelöst werden.

### 4.3.1 StörCodes

Die StörCodes werden durch die Hersteller vorgegeben. Den StörCodes können neben den Kopfdaten umfangreiche Informationen (Abbildung 12) zu erforderlichen Kompetenzen und Ressourcen zugeordnet werden. So lässt sich festlegen, welche Qualifikationen und Bescheinigungen zur fachgemäßen Bearbeitung eines Störfalles erforderlich sind. In den angeschlossenen Dokumenten können u.a. Handlungsanleitungen gespeichert werden, welche die Vorgehensweise beim Auftreten der Störung aufzeigen. Darüber hinaus kann eingestellt werden, welche Werkzeuge und Ersatzteile für die Beseitigung der Störung erforderlich sein könnten. Für Werkzeuge und Ersatzteile wird eine eigene Verwaltungsebene angeboten.

Zusätzlich lässt sich die Historie der Aufträge anzeigen (Abbildung 13).

### 4.3.2 Wartungsaufgaben

Die Funktionalität zur Verwaltung von Wartungsaufgaben entspricht weitestgehend der zum Management von StörCodes. Abbildung 14 zeigt den Katalog der Wartungsaufgaben für ein bestimmtes Demonstratorbeispiel.

Type	Anlage	zugewiesener Benutzer	Auftrag erstellt	Werkzeuge	Ersatzteile	Status	
✘	Anlage 1		11.10.2016 11:48:51	✔	✔	✘ 5m 22s	ansehen

Type	Anlage	zugewiesener Benutzer	Auftrag quittiert	
✘	Anlage 2	Lopp, Lenard	11.10.2016 11:49:13	ansehen
✘	Anlage 1	Lopp, Lenard	11.10.2016 11:49:22	ansehen

Abbildung 13: Historie eines StörCodes

Hersteller	Variante	Firmware	Wartungscode	Beschreibung	Letztes Auftreten	
CBS	ABY341	1.1	Dichtungswechsel	Dichtungswechsel	16.10.2016 12:26:23	bearbeiten
CBS	999777ABV	8.0	Hauptuntersuchung	Hauptuntersuchung	01.10.2016 12:26:23	bearbeiten
CBS	ERP987	8.0	Laufzeitprüfung	Prüfen des Motorgetriebes	12.10.2016 12:26:23	bearbeiten
CBS	Ov987	8.0	Motordrehzahl prüfen	Zeitverzögerung bei Bohrvorgang Motordrehzahl prüfen	11.10.2016 12:26:23	bearbeiten
CBS	3815-KHU-589	3.0	Spannungsmessung	Spannungsmessung	09.10.2016 12:26:23	bearbeiten

Abbildung 14: Liste der Wartungsaufgaben

Auch den Wartungsaufgaben können Dokumente, Qualifikationen, Zertifikate, Werkzeuge und Verschleißteile zugeordnet werden. In der Wartungshistorie lässt sich verifizieren, dass die geforderten Wartungsarbeiten fristgemäß durchgeführt wurden.

#### 4.4 Störungsmanagement

Tritt eine Störung auf, so erscheint im Kopfbereich des Ressourcen-Cockpits ein deutlicher Hinweis. Alle aktuellen Fehlermeldungen lassen sich in einer Liste anzeigen (Abbildung 15). Welche Fehler angezeigt werden und welche Funktionen verfügbar sind, hängt wiederum von den Rollen und den dem Benutzer zugeordneten Qualifikationen und Zertifikaten ab. In der Zeile Status ist ersichtlich, ob der Fehler bereits bearbeitet wird. Dazu wird die Zeit bis zu einer automatischen Eskalation angegeben. In den entsprechenden Spalten wird über die Verfügbarkeit der benötigten Ersatzteile und Werkzeuge informiert.

Type	Anlagen	Störcode	zugewiesener Benutzer	Auftrag erstellt	Werkzeuge	Ersatzteile	Status	
	STÄUBII ALPHA 500	STA500		12.10.2016 09:01:10				ansehen
	Anlage 2	IES2		12.10.2016 09:01:10				ansehen
	Anlage 2	IES1		12.10.2016 09:01:10				ansehen
	Anlage 2	IES2C		12.10.2016 09:01:10				ansehen
	Anlage 1	IMS2C		12.10.2016 09:01:10				ansehen

Abbildung 15: Liste der aktuellen Fehlermeldungen

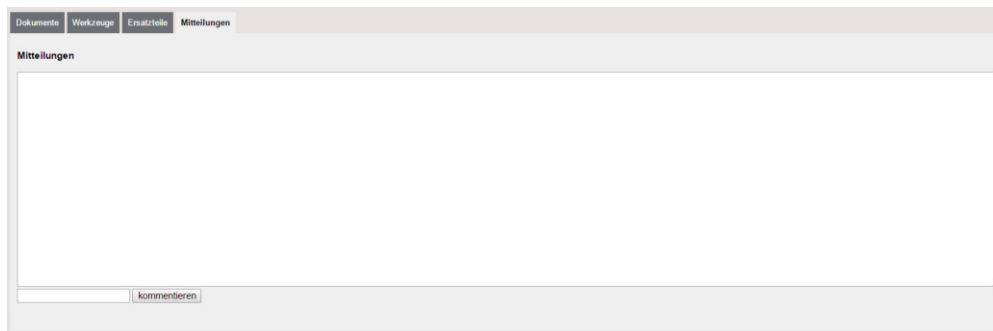


Abbildung 16: Kommentare zu Störungen

Über die Anzeige der Details werden die zur Beseitigung der Störung benötigten Ressourcen sichtbar. Über die Mitteilungsfunktion (Abbildung 16) kann der Benutzer Kommentare zum Störfall hinzufügen, die zum Beispiel zur Kommunikation mit Kollegen oder der finalen Auswertung des Störfalles herangezogen werden können.

Der Benutzer hat nun verschiedene Möglichkeiten, auf die Aufgabe zu reagieren. In einer Übersicht sieht der Benutzer alle im Katalog hinterlegten Informationen zur Störung. Zusätzlich kann er weitere auftragspezifischen Werkzeuge und Ersatzteile hinzufügen, entfernen oder die benötigte Menge anpassen. Sind alle Materialien verfügbar, hat der Benutzer die Möglichkeit, diese zu reservieren. Im Anschluss muss die Entnahme der Materialien bestätigt werden. Danach hat der Benutzer die Möglichkeit, den Auftrag anzunehmen und dadurch kenntlich zu machen, dass er sich um die Beseitigung des Problems kümmern wird. Nach erfolgreicher Instandsetzung ist der Auftrag zu quittieren. In einem Abschlussbericht sind eventuelle Mengenregulierungen nicht benötigter Materialien vorzunehmen. Andernfalls besteht die Möglichkeit, einen Auftrag abubrechen – insofern noch keine Teile aus dem Lager entnommen wurden – oder ihn zu pausieren, sollte an anderer Stelle ein dringenderer Fall aufgetreten sein. Ist dem Instandhalter eine erfolgreiche Durchführung nicht möglich, kann er den Auftrag eskalieren. Das kann auch automatisch erfolgen, wenn ein Auftrag nach einer festgelegten Zeit nicht bearbeitet wird. Eskalierte Aufträge können nur von befugten Benutzern deeskaliert werden um sie für die Bearbeitung wieder freizugeben.

Wartungen organisieren

Kalender Übersicht

Ergebnisse: 6  
Seiten: 2

Type	Anlage	Wartungscode	zugewiesener Benutzer	Geplanter Start	Geplantes Ende	Werkzeuge	Ersatzteile	Status	Aktiv	
	Anlage 1	Hauptuntersuchung		30.09.2016 13:48:29	10.10.2016 18:30:00					ansehen
	Anlage 2	Motordrehzahl prüfen		10.10.2016 13:48:29	10.10.2016 19:48:29					ansehen
	Anlage 1	Werkzeugprüfung	Lopp, Lenard	11.10.2016 07:48:29	12.10.2016 10:48:29					ansehen
	Anlage 1	Spannungsmessung		12.10.2016 13:48:29						ansehen
	Anlage 2	Laufzeitprüfung		13.10.2016 13:48:29						ansehen

Ergebnisse: 6  
Seiten: 2

Abbildung 17: Überblick über Wartungsaufträge

## 4.5 Wartungsmanagement

Wartungsmaßnahmen (Abbildung 17) können im Gegensatz zu Störungsbehebungen zu geplanten Zeitpunkten stattfinden. Trotzdem gibt es einige Ähnlichkeiten bei den Datenstrukturen. Auch fällige Wartungen können in der Maschinensteuerung gespeichert sein und über Plugins an das Ressourcen-Cockpit übertragen werden.

Die Wartungen werden in den Kalender (Abbildung 18) eingetragen. An der Farbe des Eintrags und der Symbolik in der Wartungsübersicht ist ersichtlich, in welchem Status sich die Wartungsaufgaben befinden. So wird durch rote Markierung darauf hingewiesen, welche Wartungstätigkeiten überfällig sind. Grün bedeutet, dass die Produktionsleitung die Wartung freigegeben hat.

Wartungen organisieren

Kalender Übersicht

Heute

Oktober 2016

Monat Woche Tag

Mo.	Di.	Mi.	Do.	Fr.	Sa.	So.
26	27	28	29	30	1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
13:48 Anlage 1 - Werkzeug 13:48 Anlage 2 - Motordreh		13:48 Anlage 1 - Spannung	13:48 Anlage 2 - Laufzeitp			
17	18	19	20	21	22	23
			13:48 Anlage 2 - Dichtungswechsel - System			
24	25	26	27	28	29	30
31	1	2	3	4	5	6

15:31  
Einstellungen  
Kalender  
Home

Abbildung 18: Kalender mit Wartungsaufträgen

Nachrichten Hub - Posteingang

Postausgang Neue Nachricht

Betreff	Von	Empfangen		
Wartungszyklus Anlage 3	C.Richard	07.10.2016 11:51:36	👁 ansehen	
Anlage 2 streikt!	H.Hertel	07.10.2016 11:49:11	👁 ansehen	
Krank	H.Hertel	07.10.2016 11:45:57	👁 ansehen	
Auftrag für Anlage 1 - Werkzeuge	S.Klein	07.10.2016 11:44:44	👁 ansehen	✖ entfernen

Abbildung 19: Nachrichtenmodul

## 4.6 Nachrichtenaustausch

Der Informationsaustausch zwischen den Beteiligten wird durch das Nachrichtenmodul (Abbildung 19) unterstützt. Dieses folgt weitestgehend der Ergonomie, welche die Benutzer von Mailprogrammen gewohnt sind. Auf eingegangene Nachrichten wird auf dem Dashboard und auch im Kopfbereich hingewiesen.

Es stehen ein Posteingang und ein Postausgang zur Verfügung. Bei ungelesenen Nachrichten ist die Betreffzeile fett markiert. Für eingegangene Nachrichten existiert eine Antwortfunktion.

Wurde eine Nachricht irrtümlich versendet, ist es im Ressourcen-Cockpit möglich, diese durch den Absender zu löschen.

## 5 Plug-In-Konzept

Das Plugin-Konzept hat eine zentrale Bedeutung für den Hauptzweck des Ressourcen-Cockpits, alle für den Instandhalter wichtigen Informationen an einer Stelle zusammen zu bringen. Darüber findet der Datenaustausch sowohl mit Anlagen als auch mit angeschlossenen Managementsystemen statt.

Neben den in den folgenden Abschnitten diskutierten häufigen Anwendungsfällen ist zum Beispiel auch ein Datenaustausch mit einem persönlichen Kalender, einem Abrechnungssystem oder einer Personalverwaltungssoftware denkbar.

### 5.1 Anbindung von Anlagen

Der Informationsaustausch mit Maschinen kann sehr anlagenspezifisch sein. Der Datenaustausch kann über ein Push-Prinzip erfolgen, indem die Anlage die Nachricht direkt an das Ressourcen-Cockpit schickt oder nach dem Pull-

Prinzip, indem das Ressourcen-Cockpit Informationen der Anlagensteuerung abfragt. Die Einstellung der Verbindung zur Anlage erfolgt über Konfigurationsdateien im XML-Format.

Typische Anwendungsfälle sind

- Senden einer Störungsmeldung durch die Anlage
- Benachrichtigung über eine fällige Wartung der Anlage
- Abfrage von Parametern der Anlage

Verbindungen zu Anlagen wurden in mehreren Demonstratoren durch Projektpartner in enger Zusammenarbeit mit CBS realisiert. So interagiert in einem Demonstrator an der TU-Chemnitz, Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, eine Installation des Ressourcen-Cockpits mit einem Transfersystem (S. 167 ff.). Bei der Firma Hiersemann wurde eine Montagestation angeschlossen. Der Partner Audi setzt in seinem Testfeld das Ressourcen-Cockpit zum Instandhaltungsmanagement von Nietanlagen ein (S. 153 ff.).

## 5.2 ERP-Anbindung

Die Schnittstellendefinitionen zu ERP-Systemen sollten sehr allgemein gehalten sein, um mit Lösungen verschiedener Hersteller ohne großen Anpassungsaufwand kommunizieren zu können.

The screenshot shows a web interface with two main sections. The first section, titled 'Zugriff', contains a table with columns: Gruppe, Schlüssel, Anwendung, Type, and an Edit icon. The second section, titled 'Externe Anwendung', contains a table with columns: ID, Name, Beschreibung, CallbackEndpoint, and an Edit icon.

Gruppe	Schlüssel	Anwendung	Type	
ResourceManagement	InsertResources	EMITTER	CallIn	Edit
ResourceManagement	GetResources	EMITTER	CallIn	Edit
WarehouseManagement	GetSpareParts	EMITTER	CallIn	Edit
WarehouseManagement	GetUsedSpareParts	EMITTER	CallIn	Edit
WarehouseManagement	InsertTools	EMITTER	CallIn	Edit

ID	Name	Beschreibung	CallbackEndpoint	
b400386e-72a8-470e-a771-ebee44ed0050	EMITTER			Edit

Abbildung 20: Zuordnung von externen Anwendungen zu Methoden

Das ERP-System (oder eine externe Anwendung mit der passenden Funktionalität) registriert sich beim Ressourcen-Cockpit und bekommt für die Datenübermittlung ein Token zur Verifizierung.

Im Ressourcen-Cockpit können dann der externen Anwendung die Methoden zugewiesen werden (Abbildung 20), auf die sie Zugriff bekommen soll, wobei jeder Methode nur eine Anwendung zugeteilt werden kann. Damit wird vermieden, dass mehrere Systeme konkurrierende Daten austauschen. Ein Beispiel hierfür sind Bestandsdaten von Ersatzteilen, wo es unter Umständen zu fehlerhaften Lagerbeständen kommen kann.

Typische Anwendungsfälle für den Datenaustausch mit einem ERP-System sind:

- Abgleich der Anlagendaten
- Übernahme der Werkzeuge
- Auslösen von Ersatzteilbestellungen
- Abfrage von Beständen und Kalenderinformationen

Exemplarisch befindet sich eine Schnittstelle zum von CBS vertriebenen ERP-System Microsoft Dynamics AX 2012 in der Entwicklung.

## 6 Einsatzszenarien

Für den Einsatz des Ressourcen-Cockpits sind verschiedene Geschäftsmodelle denkbar, die in diesem Kapitel kurz diskutiert werden sollen.

Das Ressourcen-Cockpit kann durch einen Maschinenbauer zusammen mit einer komplexen Anlage ausgeliefert werden. Der Anbieter hat die für die Maschine wichtigen Informationen in das Ressourcen-Cockpit eingepflegt. Falls der Kunde es wünscht, kann er den Mitarbeitern des Maschinenherstellers Zugriff auf das Ressourcen-Cockpit ermöglichen, um im Störfall eine optimale Betreuung zu erhalten.

Das Ressourcen-Cockpit kann zur Verwaltung von (heterogenen) Maschinen-Parks eingesetzt werden. Über das einheitliche Plugin-Konzept werden die Anlagen angeschlossen. Hier ist insbesondere die Nutzung des Rollenkonzeptes empfehlenswert, um sofort einen qualifizierten Instandhalter für die entsprechende Anlage zu ermitteln. Auch die Einbindung von Altanlagen ist möglich, indem die Daten teilweise manuell gepflegt werden (indem z.B. der Straßenführer die Störungsmeldung manuell einträgt) oder eine Verbindung über die S-CPS-Box hergestellt wird.

Sind die durch das Ressourcen-Cockpit zu betreuenden Anlagen geographisch weiträumig verteilt, wie das zum Beispiel für Betreiber von Windkraft-



anlagen (Projektpartner BLUe) typisch ist, so ist eine Nutzung des Ressourcen-Cockpits über einen Cloud Service in Erwägung zu ziehen. Die technische Basis für einen solchen Dienst kann zum Beispiel Microsoft Azure bilden. Dieser Software as a Service (SaaS) kann auch durch CBS als den Entwickler des Ressourcen-Cockpit betreut werden, wobei hier der Vorteil besteht, dass immer die neueste Version genutzt werden kann. Jedoch werden gegen solche Geschäftsmodelle oft Sicherheitsbedenken geäußert, wobei fraglich bleibt, ob das von einem professionellen Cloud-Anbieter entwickelte Sicherheitskonzept schlechter ist, als die von der nicht regelmäßig geschulten eigenen IT-Abteilung implementierten Maßnahmen.

Im Gegensatz zu den hier vorgestellten Stand-Alone-Ansätzen kann auch eine engere Einbindung der Funktionen des Ressourcen-Cockpits in das ERP-System verfolgt werden. Nach Erfahrung von CBS sind Instandhaltungsprozesse regelmäßig Bestandteil des Lastenheftes von ERP-Anwendern, nicht zuletzt weil gesetzliche Vorgaben zum Nachweis der regelmäßigen Anlagenwartung zu erfüllen sind.

## 7 Literaturverzeichnis

- Hopf, H., Jentsch, D., Löffler, T., Horbach, S. & Bullinger-Hoffmann, A. C. (2014). *Improving Maintenance Processes with Socio-Cyber-Physical Systems*. In F.F. Chen (Hrsg.), *Proceedings of the 24th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing* (S. 1163-1170). - Lancaster, Pennsylvania, USA: DEStech Publications.
- Krasner, G.E., Pope, S.T. (1988). *A Description of the Model-View-Controller User Interface Paradigm in the Smalltalk-80 System*. Mountain View, California, USA: ParcPlace Systems.
- Microsoft. (2016). *Microsoft Dynamics AX 2012 R3 – ERP-Anbieter | Microsoft Dynamics*. Abgerufen am 14. Dezember 2016 von <http://www.microsoft.com/de-de/dynamics365/ax-overview>
- Microsoft. (2016). *Microsoft Dynamics NAV – Übersicht | Microsoft Dynamics*. Abgerufen am 14. Dezember 2016 von <https://www.microsoft.com/de-de/dynamics365/nav-overview>
- Microsoft. (2016). *Unternehmenslösungen und -software | Microsoft Dynamics*. Abgerufen am 14. Dezember 2016 von <https://www.microsoft.com/de-de/dynamics365/home>

Trommler, U. (2016). Ressourcen-Cockpit bringt alle Daten für die Instandhaltung zusammen. Vortrag auf Konferenz *Smart Maintenance für Smart Factories*. Abgerufen von <https://www.sv-veranstaltungen.de/fachbereiche/smart-maintenance-fuer-smart-factories/>

Trommler, U., Horbach, S., Bullinger-Hoffmann, A.C., Löffler, T., Müller, E. & Hopf, H. (2014). Instandhaltung in der Industrie 4.0. *Industrie Management*, 30 (6), 51-54.

## Autoren



### Dr. Horbach, Sebastian

Dr.-Ing. Sebastian Horbach, geb. 1968 studierte Wirtschaftsmathematik an der TU Chemnitz. Anschließend war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb der TU Chemnitz. Dort arbeitete er in verschiedenen Forschungsprojekten mit und promovierte auch in dieser Zeit. Seit 2014 ist Dr. Horbach als Projektleiter bei der CBS Information Technologies AG tätig. Sein Schwerpunkt lag dabei bisher auf der Mitarbeit im Forschungsprojekt S-CPS.



### Trommler, Ullrich

Dipl.-Ing. (FH) Ullrich Trommler, geb. 1950, studierte Informationselektronik an der Ingenieurhochschule Dresden. Er arbeitete als technischer Leiter im VEB Rechentechnik und Organisation in Karl-Marx-Stadt, jetzt Chemnitz. Im Jahr 1990 gründete U. Trommler die CBS GmbH. Ab 2001 war U. Trommler Vorstandsvorsitzender der CBS Information Technologies AG. Den Vorsitz gab er im Frühjahr 2016 ab, bleibt aber in der Position als Vorstand der CBS AG erhalten. U. Trommler ist Projektkoordinator des Projektes S-CPS. Daneben war und ist er in weitere Forschungsprojekte involviert.

# Entwurf einer informationstechnischen Schnittstelle für die Fehlerdiagnose in Sozio-Cyber-Physischen Systemen

Hans Fleischmann<sup>1</sup>, Jörg Franke<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik,  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

## Zusammenfassung

Cyber-Physische Systeme (CPS) führen zu einer steigenden Komplexität technischer Anlagen und Maschinen in vielen industriellen Bereichen. Zunehmende Variantenvielfalt sowie sinkende Losgrößen verstärken diesen Trend zusätzlich und erschweren die Fehlerdiagnose. Vor diesem Hintergrund widmet sich das Projekt S-CPS dem Betrieb von CPS im Kontext der Instandhaltung realer Produktionsumgebungen und legt hierbei besonderes Augenmerk auf das Zusammenwirken zwischen dieser neuen Technologie und seinem Bediener. In diesem Kontext sollen eine generische informationstechnische Schnittstelle und entsprechende Fehlerdiagnosemechanismen entwickelt werden, die in Verbindung mit einem breiten Spektrum an Produktionsprozessen im Internet der Dinge und Dienste standardisiert nutzbar sind.

## 1 Einleitung

Das Projekt S-CPS „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“ entwickelt ein sogenanntes Ressourcen-Cockpit, das für die Instandhaltung und Fernwartung relevante Datenströme der Produkte und Produktionsressourcen zusammenführt und dem mobilen Mitarbeiter – zum Beispiel auf einem Tablet – zur Verfügung stellt (Hopf et al., 2014). Das Ressourcen-Cockpit erstellt automatisiert und dynamisch eine Übersicht der anstehenden Aufgaben, notwendigen und freien Ressourcen, Maschinenzustände und Termine und ist an verschiedene Nutzerrollen anpassbar (z. B. Instandhalter, Disponent, Entscheider). Es unterstützt den Mitarbeiter bei der Zustandsüberwachung und ermöglicht einen optimierten Anlagenbetrieb (Trommler et al., 2014).

Entscheidend für die Realisierung des Ressourcen-Cockpits ist die Entwicklung eines Fehlerdiagnose- und Maschinenanbindungskonzepts, sodass auf Maschinen- bzw. Anlagenebene Aussagen zu Fehlereintritten prospektiv möglich werden (Fleischmann et al., 2016a, Fleischmann et al., 2016b). Diese Veröffentlichung gibt Aufschluss darüber, wie diese Aspekte in Sozio-Cyber-Physischen Systemen (Sozio-CPS) abbildbar sind. Das Ergebnis ist die Spezifizierung einer Schnittstelle zwischen Anlagen und Ressourcen-Cockpit zur Anforderung von Instandhaltungsaufgaben auf Basis bereits getätigter Diagnosevorgänge. Neben der Evaluierung von I4.0-Kommunikationsstandards steht die Entwicklung eines semantischen Informationsmodells auf Basis des Industrie 4.0-Kommunikationsstandards Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) im Vordergrund, über das sich Maschinen und deren Komponenten in vernetzten Produktionssystemen hinsichtlich ihrer Fähigkeiten, Anforderungen und Limitierungen selbst beschreiben können. Grundlage für die Entwicklung bilden Interviews mit den Praxispartnern, Informationen aus den Lastenheften sowie bestehende Forschungsarbeiten des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS).

## 2 Anforderungsanalyse und Rahmenbedingungen der Systemgestaltung

Die Gestaltung des angestrebten Sozio-CPS findet nicht im kontextfreien Raum statt. Vielmehr muss das Fehlerdiagnosesystem mit den vorhandenen fachlichen und technischen Strukturen der jeweiligen Unternehmen sowie den technischen Anwendungskontexten in Einklang gebracht werden. Im Rahmen der Anforderungsanalyse sind Fabrikaurüster, IT-Unternehmen, Windenergieanlagen-Betreiber sowie OEM in der Automobilindustrie als Nutzer des Ressourcen-Cockpits in jeweils unterschiedlichen technischen Anwendungsdomänen identifizierbar (Hopf et al., 2014, Trommler et al., 2014). Im Rahmen der Entwicklung sind nachfolgende Kategorien für die Gestaltung der Maschinnenschnittstelle in Sozio-CPS identifizierbar:

### **Konzeption von Strategien für die Datenintegration in das Ressourcen-Cockpit**

Bei den Industriepartnern befinden sich verschiedenste Hard- und Softwaresysteme und Komponenten im Bereich der Automatisierungs- und Informationstechnik im Praxiseinsatz. Für eine breite Nutzbarkeit des Ressourcen-Cockpits müssen diese existierenden Maschinen- und Anlagenbestände informationstechnisch integrierbar sein.

### **Entwicklung serviceorientierter Architekturen unter Nutzung interoperabler Kommunikationsstandards**

Neben der Integration bestehender Maschinen und Anlagen sollen Ineffizienzen und Probleme im Bereich der Wandlungsfähigkeit und Systemintegration in Produktionssystemen adressiert werden. Bisher werden bei der industriellen Kommunikation entlang der Meldewege der klassischen Automatisierungspyramide Informationen stark verdichtet. Dies hat zur Folge, dass für die technische Instandhaltung wichtige Informationen nicht in der erforderlichen Granularität zur Verfügung stehen. Die Fehlerdiagnose bzw. –übertragung soll direkt zwischen Ressourcen-Cockpit und Maschine stattfinden, um diese Aggregation zu verhindern. Hieraus resultiert die Forderung nach generischen, plattform- und programmiersprachenunabhängigen Fehlerdiagnose- und Maschinenanbindungskonzepten auf Basis von serviceorientierten Architekturen (SOA) (Fleischmann et al., 2016c, Fleischmann et al., 2016d). Im Kontext des zu Grunde liegenden Forschungsprojekts sind daher die Fähigkeiten und Möglichkeiten propagierter SOA-basierter I4.0-Kommunikationsstandards zu evaluieren.

### **Integration von Konzepten der Fernwartung**

Insbesondere von den Praxispartnern aus dem Sondermaschinenbau wird eine stärkere Vernetzung mit den industriellen Anwendern hergestellter Maschinen und Anlagen entlang der Wertschöpfungskette angestrebt. Ein hohes Maß an dezentraler Datenhaltung erleichtert hier den Datenaustausch zwischen Betreibern, Herstellern und Dienstleistern und geht mit dem Grundgedanken der dezentralen Intelligenz von CPS einher. Im Bereich der Windenergieerzeugung existieren bereits branchenspezifische Systeme im Bereich der Fernwartung, die mittels informationstechnischer Schnittstellen integrierbar sind.

### **Nutzung existierender Fehlerdiagnosesysteme und -mechanismen der Maschinenhersteller**

Im Projekt herrscht ein klares Verständnis darüber, dass bestehende Fehlerdiagnosesysteme sowie Fehlercodes und -meldungen der Anlagenhersteller in Verbindung mit dem Ressourcen-Cockpit weitergenutzt werden sollen. Dies liegt im Wesentlichen darin begründet, dass Fabrikaurüster das höchste Verständnis über Ursache- und Wirkungszusammenhänge im Bereich der Diagnose eigens produzierter Anlagen besitzen. Weiterhin erscheint aus Kostengründen eine Neuimplementierung existierender Diagnoselogik im Rahmen des Projekts als nicht zweckmäßig.

### **Semantische Beschreibung von Daten bei der Kommunikation**

Daten werden bisher teilweise ohne beschreibende Metainformationen entlang der Systeme der klassischen Automatisierungspyramide übermittelt. Eine standardisierte Anreicherung detektierter Anomalien und Fehlerdiagnosen mit beschreibenden Daten wie Anlagenstandort, detaillierten Fehlerbeschreibungen und Handlungsanweisungen bei der Kommunikation ist notwendig.

### **Anbindung von existierenden Planungs-, Überwachungs- und Instandhaltungssystemen**

Bei den Praxispartnern werden im Bereich der Instandhaltung und Zustandsüberwachung unterschiedliche Manufacturing Execution Systems (MES) und Instandhaltungsmanagement-Systeme unterschiedlicher Leistungsfähigkeit genutzt, um ihre jeweiligen Instandhaltungsprozesse zu unterstützen. Teilweise sind proprietäre Eigenentwicklungen im Einsatz, die individuell auf die Bedürfnisse der jeweiligen Anwender zugeschnitten wurden und nur mit hohem Aufwand veränderbar sind. Zur Vermeidung von Redundanzen und für die Herstellung von Datenintegrität muss die Synchronisation des Ressourcen-Cockpits mit diesen Anwendungen erfolgen.

## **3 Entwicklung eines semantischen Datenmodells für die Instandhaltung**

Um der Forderung des Projekts nach flexiblen Lösungen für die intelligente Vernetzung in der Produktion gerecht zu werden, muss eine zu entwickelnde Daten- und Informationsstruktur ohne tiefgreifende Anpassungen für verschiedene Anwendungsdomänen und -szenarien, z. B. den Automobilbau oder aber Windenergieanlagen, nutzbar sein (Fleischmann et al., 2016e). Schnittstellen in Produktions- oder anderen Netzen müssen in hohem Maße standardisiert werden. Allgemeine Informationen zu einem beliebigen Objekt innerhalb einer Anlage sollen generisch angeboten werden, spezifische Informationen aber zusätzlich modellierbar sein. Aus dieser Überlegung heraus wurde im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung ein standardisiertes, semantisch beschriebenes, objektorientiertes und beliebig erweiterbares Informationsmodell auf Anlagenebene entworfen, über das generische und prozessspezifische Informationen bereitgestellt werden können. Ein derartiges Modell kann für die technische Realisierung der Anbindung von Maschinen und Anlagen beispielsweise mithilfe von OPC UA als semantisches Informationsmodell umgesetzt werden. Die benötigten Elemente des im Prozess des

Softwaredesign zu entwickelnden Typklassensystems für das Informationsmodell ergeben sich durch die Analyse der Lastenhefte und sind in fünf Kategorien darstellbar:

- Anforderungskategorie 1 (vgl. Abbildung 1) beinhaltet alle allgemeinen Informationen, die einer beliebigen Anlage oder Maschine zugeordnet werden können. Dazu gehören Aussagen über den Hersteller, Standortdaten, den Zweck einer Anlage und verfügbare Betriebsdaten, die den aktuellen Funktionsstatus widerspiegeln. Abbildung 2 verdeutlicht die Zuordnung von Anforderungen der Kategorie 1 zu OPC UA-Modellkomponenten.
- Anforderungskategorie 2 (vgl. Abbildung 3) ist die für die vorliegende Aufgabenstellung wichtigste Kategorie. In ihr werden Anforderungen an das Informationsmodell bezüglich der Möglichkeiten der Zustandsüberwachung und Fehlerdiagnose definiert. Abbildung 4 verdeutlicht die Zuordnung von Anforderungen der Kategorie 2 zu OPC UA-Modellkomponenten. Zu den instandhaltungsrelevanten Daten gehören vor allem Informationen über mögliche Fehler, bisherige und aktuelle Störungen sowie getroffene oder zu treffende Gegenmaßnahmen.
- In der Anforderungskategorie 3 (vgl. Abbildung 5) werden konfigurierbare Anlagen- und Maschineneinstellungen zusammengefasst. Unter Einstellungen werden z. B. spezifische, extern gesetzte Parameter oder Betriebsmodi verstanden. Abbildung 6 verdeutlicht die Zuordnung von Anforderungen der Kategorie 3 zu OPC UA-Modellkomponenten.
- In der Anforderungskategorie 4 (vgl. Abbildung 7) werden Informationen zu ausgesuchten, spezifischen Betriebsdaten gruppiert. Die hier erfassten Elemente geben nicht den Status oder Zustand einer Anlage oder Maschine wieder, sondern liefern Aussagen über die anlagen- und prozessspezifische Leistung. Abbildung 8 verdeutlicht die Zuordnung von Anforderungen der Kategorie 4 zu OPC UA-Modellkomponenten.
- Anforderungskategorie 5 (vgl. Abbildung 9) beinhaltet die Elemente des anlagen- oder maschinenspezifischen Datenmanagements, um eine gerätebezogene Datenhaltung zu ermöglichen. Abbildung 10 verdeutlicht die Zuordnung von Anforderungen der Kategorie 5 zu OPC UA-Modellkomponenten.



### 3.1 Allgemeine Anlagen- und Maschineninformationen

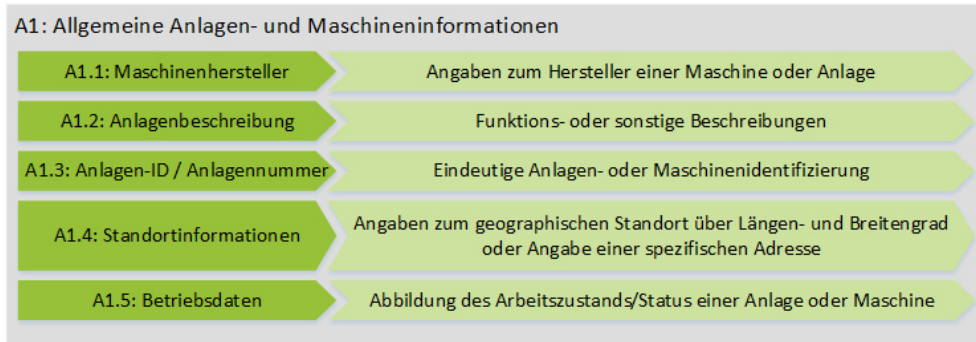


Abbildung 1: Elemente der Anforderungskategorie 1 (A1)

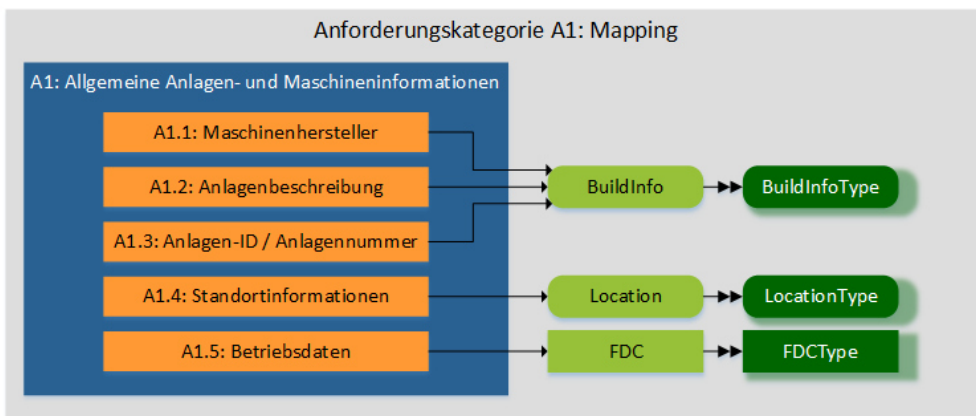


Abbildung 2: Anforderungskategorie 1 – Modellierung

## 3.2 Fehler- und instandhaltungsspezifische Informationen



Abbildung 3: Elemente der Anforderungskategorie 2 (A2)

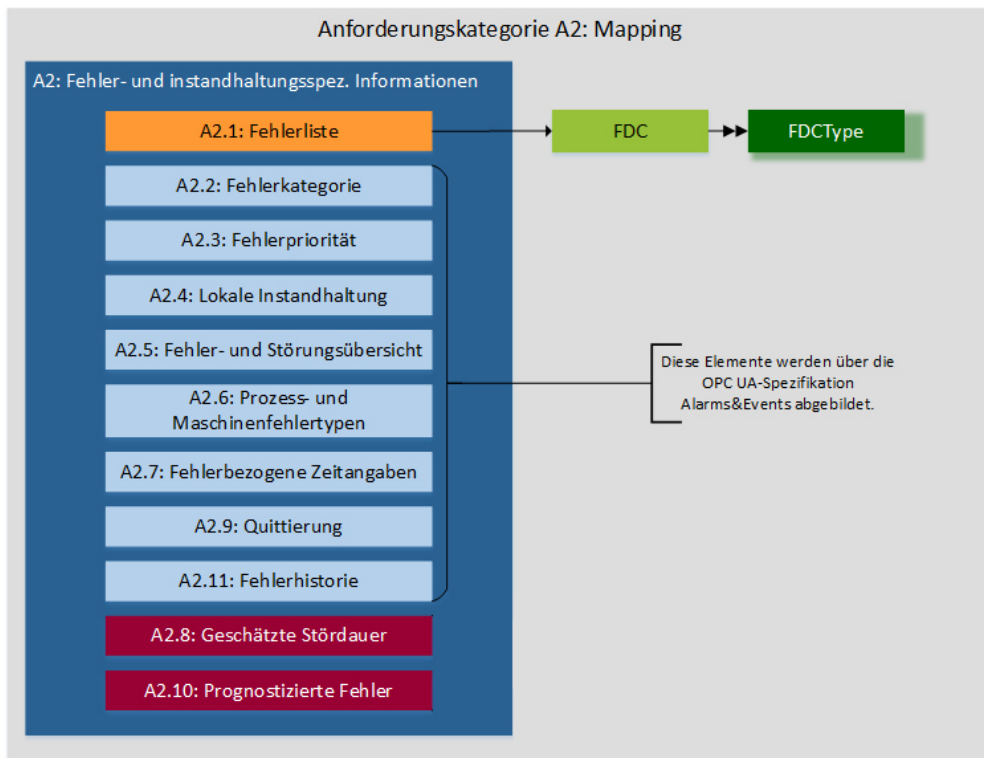


Abbildung 4: Anforderungskategorie 2 – Modellierung

### 3.3 Anlageneinstellungen

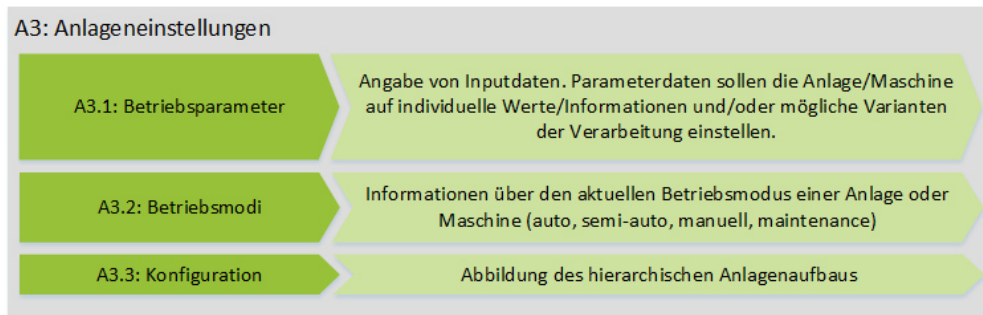


Abbildung 5: Elemente der Anforderungskategorie 3 (A3)

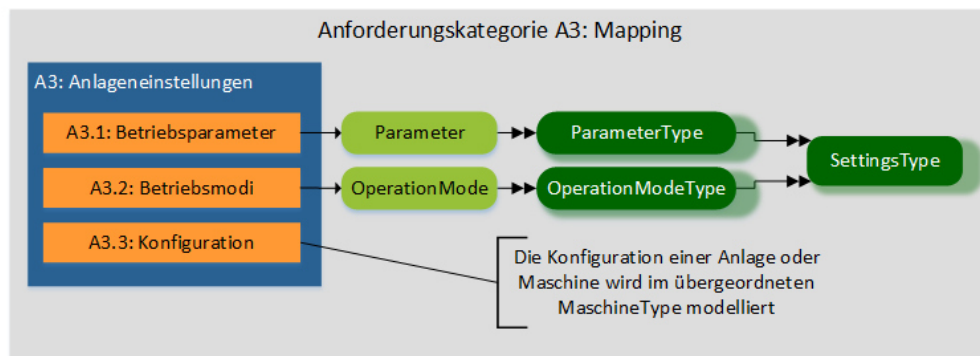


Abbildung 6: Anforderungskategorie 3 – Modellierung

### 3.4 Anlagenspezifische Informationen

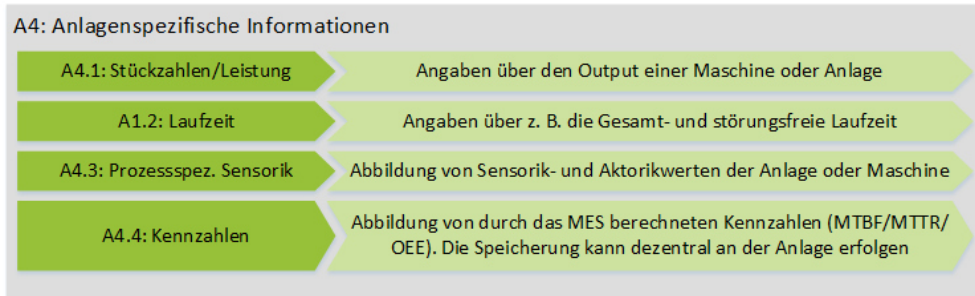


Abbildung 7: Elemente der Anforderungskategorie 4 (A4)

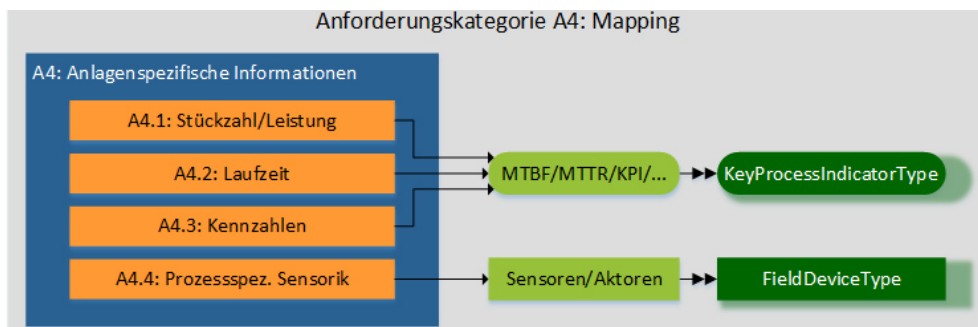


Abbildung 8: Anforderungskategorie 4 – Modellierung

### 3.5 Datenmanagement

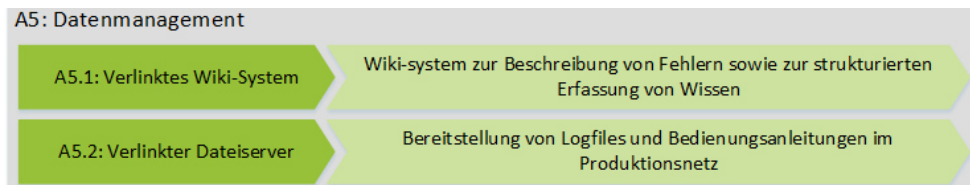


Abbildung 9: Elemente der Anforderungskategorie 5 (A5)

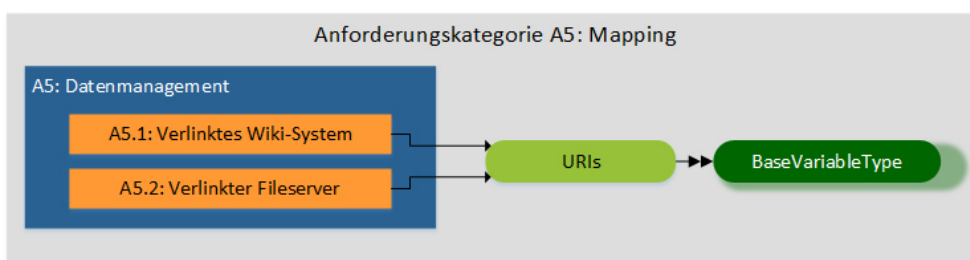


Abbildung 10: Anforderungskategorie 5 – Modellierung

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Publikation wurden mithilfe des industriellen M2M-Kommunikationsstandards OPC UA ein semantisches Informationsmodell bzw. Typklassensystem zur digitalen Abbildung und Integration von Maschinen und Anlagen entwickelt.

Nachdem das zugrundeliegende Lastenheft analysiert, instandhaltungs-relevante Elemente erfasst und Anforderungskategorien eingeführt wurden, wurde in dieser Veröffentlichung ein definiertes Informationsmodell vorgestellt. Im Laufe der Implementierung des Arbeitspakets Fehlerdiagnose im Ressourcen-Cockpit wurden auf Basis des vorliegenden Informationsmodells OPC UA-basierte Schnittstellen modelliert und implementiert, die eine I4.0-konforme Kommunikation erlauben und die Limitierungen existierender Meldewege auflösen.

Obwohl im Forschungsprojekt S-CPS bereits viele Elemente und Möglichkeiten von OPC UA vorgestellt, deren Handhabung erklärt und veranschaulicht wurden, ist das Potential dieser Technologie nicht ausgeschöpft. Die Entwicklung in diesem Bereich ist sowohl seitens der produzierenden Industrie als auch von Seiten der Softwarehersteller, die OPC UA einfach nutzbar machen

wollen, fokussiert und wird in den kommenden Jahren großen Einfluss auf die Industrie 4.0 haben.

Im Gegensatz zu den hier vorgestellten Stand-Alone-Ansätzen kann auch eine engere Einbindung der Funktionen des Ressourcen-Cockpits in ERP-Systeme verfolgt werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- Hopf, H., Jentsch, D., Löffler, T., Horbach, S. & Bullinger-Hoffmann, A. C. (2014). *Improving Maintenance Processes with Socio-Cyber-Physical Systems*. In F.F. Chen (Hrsg.), *Proceedings of the 24th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing* (S. 1163-1170). - Lancaster, Pennsylvania, USA: DEStech Publications.
- Trommler, U., Horbach, S., Bullinger-Hoffmann, A.C., Löffler, T., Müller, E. & Hopf, H. (2014). Instandhaltung in der Industrie 4.0. *Industrie Management*, 30 (6), 51-54.
- Fleischmann, H., Kohl, J. & Franke, J. (2016a). *A Reference Architecture for the Development of Socio-Cyber-Physical Condition Monitoring Systems*. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of the 11th System of Systems Engineering Conference* (S. 1-6). IEEE, New York, USA.
- Fleischmann, H., Kohl, J. & Franke, J. (2016b). *A Modular Web Framework for Socio-CPS-Based Condition Monitoring*. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of the 13th World Conference on Factory Communication Systems* (S. 1-8). IEEE, New York, USA.
- Fleischmann, H., Kohl, J., Franke, J., Reidt, A., Duchon, M. & Krcmar, H. (2016c). *Improving Maintenance Processes with Distributed Monitoring Systems*. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of the 14th International Conference on Industrial Informatics*. IEEE, New York, USA.
- Fleischmann, H., Spreng, S., Kohl, J., Kißkalt, D. & Franke, J. (2016d). *Distributed Condition Monitoring Systems in Electric Drives Manufacturing*. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of the 6th Electric Drives Production Conference*, (S. 52-57). IEEE, New York, USA.
- Fleischmann, H., Kohl, J., Blank, A., Schacht, M., Fuchs, J. & Franke, J. (2016e). Semantische Kommunikationsschnittstellen zur Zustandsüberwachung im Karosseriebau. *wt Werkstattstechnik online*, 106 (10), 699-704.

## Autoren



### Fleischmann, Hans

M. Sc. Hans Fleischmann studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Seit 2014 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand im Forschungsvorhaben S-CPS am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik tätig.



### Franke, Jörg

Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke leitet den Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Weiterhin ist er als Vorstandsvorsitzender der Forschungsvereinigung für Räumliche Elektronische Baugruppen (3-D MID e. V.) und Vorstand der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Montage, Handhabung und Industrierobotik (MHI e.V.) tätig.





# Partizipative Gestaltung eines gebrauchstauglichen mobilen Assistenzsystems für Instandhalter

Michael Wächter<sup>1</sup>, Anne Höhnel<sup>1</sup>, Thomas Löffler<sup>1</sup>,  
Angelika C. Bullinger-Hoffmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, TU Chemnitz

## Zusammenfassung

Mit dem Einsatz mobiler Produktionsassistenzsysteme entstehen neue Anforderungen an die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS). Solche MMS umfassen eine grafische Benutzerschnittstelle über die Softwareoberfläche (GUI) sowie eine tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle (tMMS) über hardwaretechnische Funktions- und Bedienelemente. Eine gebrauchstaugliche Gestaltung dieser MMS liefert ein großes Potenzial zur sicheren Bedienung und steigert deren Akzeptanz durch die Anwender. Aufbauend auf den Methoden des Usability Engineering wird die nutzerzentrierte Entwicklung einer gebrauchstauglichen MMS für das Ressourcen-Cockpit Phasen dargestellt. Grundlage hierfür bietet ein Anforderungskatalog, der die Bedarfe von Instandhaltern, Service-Technikern sowie Planungs- und Instandhaltungsleitern zusammenfasst. Auch bei der iterativen Entwicklung, Prototypengestaltung und Evaluation wird eine partizipative Vorgehensweise gemeinsam mit den Anwendern gewählt. Im Ergebnis liegen für Teilaspekte der Gestaltung und den zusammengesetzten Geometrieprototypen bereits hohe Bewertungen der Gebrauchstauglichkeit vor.

## 1 Einleitung

Durch die zunehmende Digitalisierung der Produktion entstehen neue Möglichkeiten der Vernetzung von Maschinen, Anlagen und Menschen, mit denen die Gestaltung neuer Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) einhergeht (Botthof & Hartmann, 2015). Mobile Endgeräte stellen ein zentrales Beispiel für neue MMS im Zuge von Industrie 4.0 dar und besitzen ein hohes Potenzial zur Unterstützung, z.B. im Instandhaltungsprozess. Ursprünglich für den privaten Gebrauch entwickelt, halten diese zunehmend Einzug in den Produktionsbereich und weisen, speziell im Produktionsumfeld, besondere Anforderungen auf (Spath et al., 2013). MMS von mobilen Endgeräten umfassen eine grafische Benutzerschnittstelle (GUI) zur Interaktion des Anwenders mit der installierten Software und eine tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle

(tMMS) zur Interaktion mit den Hardwarekomponenten. Der tMMS werden dabei in Ergänzung des Tangible User Interfaces (TUI), d.h. aller haptischer Bedienelemente zur Manipulation der GUI, auch alle hardwaretechnischen Funktionselemente zur Handhabung, z.B. Griffe und Transportfunktion, zugeordnet. Eine gebrauchstaugliche Gestaltung dieser MMS beinhaltet großes Potenzial zur sicheren Bedienung von Industrie 4.0-Technologien und wird vermutlich deren Akzeptanz durch die Anwender steigern (Bauer et al., 2014).

Der vorliegende Beitrag zeigt die nutzerzentrierte, partizipative Vorgehensweise bei der Entwicklung einer gebrauchstauglichen MMS des mobilen Assistenzsystems für Instandhalter im Projekt S-CPS. Zunächst wird die Erhebung der Anforderungen erläutert und der resultierende Anforderungskatalog dargestellt. Die Vorgehensweise bei der Entwicklung der gebrauchstauglichen MMS unterteilt sich in die iterative Gestaltung von GUI und tMMS, deren Ergebnisse in einem final vorgestellten Prototyp fließen. Ein Ausblick auf dabei noch offene Forschungsfragen und Implikationen für die Praxis schließen den Beitrag.

## 2 Anforderungsanalyse

Im Rahmen der Anforderungsanalyse erfolgt die Ermittlung der kontextspezifischen Anforderungen an die zu entwickelnde MMS. Hierzu zählen neben den subjektiven Bedürfnissen der Anwender auch Rahmenbedingungen, die sich aus den Tätigkeiten und dem Arbeitsablauf (DIN 31051) ergeben. Als Ergebnis dieser Phase entsteht ein Anforderungskatalog mit nichtfunktionalen und funktionalen Anforderungen, der die aufgenommenen Kriterien der Anwender und deren Nutzungskontext umfasst.

Die Anforderungsanalyse für das mobile Assistenzsystem für Instandhalter wurde bei Projektpartnern durchgeführt, die stellvertretend für Instandhaltungstätigkeiten in der Automobilindustrie (Audi AG) und in der Automobil-Zulieferindustrie (Continental Automotive GmbH) sowie für Servicetätigkeiten von Ausrüstern der Automatisierungstechnik (Xenon GmbH) stehen. Mittels leitfadengestützter Interviews konnten 36 Instandhalter, 30 Anlagenbediener, neun Planungsleiter sowie jeweils ein Instandhaltungsleiter und Betriebsrat befragt werden. Zusätzlich wurden die prozesstypischen Abläufe und Rahmenbedingungen in der Instandhaltung mittels Dokumentenanalyse und Beobachtungen aufgenommen und analysiert (Hopf & Müller, 2015).

Darauf aufbauend erfolgte eine strukturierte Literaturanalyse (Wächter & Bullinger, 2016a) zur Identifikation vorhandener Anforderungen und Richtlinien für die Gestaltung einer Benutzeroberfläche und der Hardware-Elemente

aus der Literatur. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die iterative Gestaltung des mobilen Assistenzsystems für Instandhalter.

## 2.1 Grundlegende Einstellungen der Nutzer

Die Entwicklung eines mobilen Assistenzsystems zur Bereitstellung instandhaltungsrelevanter Informationen beurteilen die Teilnehmer der Befragungen durchgehend als positiv. Als wichtigen Aspekt für eine erfolgreiche Umsetzung lässt sich die Einbeziehung zukünftiger Anwender in den Entwicklungsprozess herausstellen. So sollen die Bedürfnisse und Wünsche bereits in frühe Phasen der Entwicklung einfließen, um anschließend eine hohe Akzeptanz zu erfahren (Höhnel et al., 2015).

Trotz der steigenden Verfügbarkeit verschiedener mobiler Endgeräte wie Datenbrillen, Smartphones oder Smartwatches, halten die mittels leitfadengestützter Experteninterviews befragten Instandhalter den Einsatz eines Tablets mit einer Displaydiagonalen von acht bis zehn Zoll zur Anzeige von Dateninhalten wie z.B. Zeichnungen für sinnvoll. Eine einfache, intuitive Bedienung, eine visuelle Benutzerführung und die Robustheit für den Einsatz im Industrieumfeld stellen dabei die nichtfunktionalen Anforderungen dar.

## 2.2 Anforderungen an die Benutzeroberfläche

Die befragten Instandhalter und Servicetechniker geben folgende funktionale Anforderungen an, welche mit hoher Priorität in die Entwicklung des mobilen Assistenzsystems einfließen sollen (Höhnel et al., 2015):

- automatische, detaillierte Anzeige der Fehlermeldung und Störungsart
- Möglichkeit zur Kommunikation (Messenger, Telefonieren, E-Mail, Kontakte)
- mobiler Zugriff auf relevante Maschinendaten
- Zugang zu relevanten Webanwendungen über Internet
- Bearbeitung von Dokumenten
- Anzeige von Maschinenplänen (Steuerungspläne, SPS, etc.)
- Anzeige von Handlungsanweisungen
- Ersatzteilhandling (Informationen und Verfügbarkeit)
- Anlagen-, Bauteil- und Maßnahmenhistorie
- Priorisierung der abzuarbeitenden Tätigkeiten

Diese Anforderungen stellen die Grundlage für den inhaltlichen Entwurf der Software und den Rahmen für die Gestaltung einer geeigneten Benutzeroberfläche nach den Kriterien der Software-Usability dar.

### 2.3 Anforderungen an die tangible MMS

Im Zuge der Nutzungskontextanalyse ergeben sich durch die Betrachtung verschiedener Use-Cases folgende funktionale Anforderungen für die tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle (Wächter & Bullinger, 2015):

- aufwandsarme Möglichkeit zum Transport
- Bedienung mittels Touchscreen und physischer Tasten, Joystick oder Touchpad
- Funktion zum Hinstellen auf ebenen Flächen
- Funktion zum Anheften an Maschinen und Anlagen während der Montage

Die ermittelten Anforderungen bilden die Basis für die iterative Gestaltung der tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstelle.

## 3 Gestaltung der Benutzeroberfläche

Für die Gestaltung einer gebrauchstauglichen Benutzeroberfläche sind die Gestaltungsmerkmale Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungs-fähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit zur berücksichtigen (DIN EN ISO 9241-210). Um diese Anforderungen sicherzustellen, erfolgt die Gestaltung der GUI iterativ und in Zusammenarbeit mit den Anwendern. Im Folgenden werden die Gestaltung, die Evaluation und die Ergebnisse näher erläutert.

### 3.1 Methodische Vorgehensweise

Die Entwicklung der Benutzeroberfläche erfolgt iterativ in drei Phasen. Im Anschluss an jede Iteration bewerten die Anwender die entstandenen Konzepte und partizipieren so an der Weiterentwicklung der Oberfläche bis hin zum finalen Prototypen.

In einer *ersten* Iteration werden mit Hilfe des Prototyping-Tools Axure verschiedene Varianten der grafischen Benutzeroberfläche konzipiert. Hier fließen die Ergebnisse der Literaturanalyse zur Gestaltung einer gebrauchstauglichen GUI und die inhaltlichen, funktionalen Anforderungen aus der Anforderungsanalyse ein. Bestehende Gestaltungsgrundsätze, Gestaltungsrichtlinien

und Normen zur Software-Ergonomie (DIN EN ISO 9241-210, Bullinger et al., 2013, Nielsen, 1993, Sarodnick & Brau, 2006) dienen dabei als Basis erster Gestaltungskonzepte. Diese umfassen die Basisoberfläche mit den gewünschten Funktionalitäten der Anwender.

Aufbauend auf diesem grundlegenden Gestaltungskonzept erfolgt in der *zweiten* Iteration die Ausgestaltung der inhaltlichen Anforderungen, z.B. von Handlungsanweisungen. Dazu werden Erkenntnisse aus dem Bereich der kognitiven Ergonomie (Stapelkamp, 2010) einbezogen, um eine geringe kognitive Belastung bei der Verwendung des mobilen Assistenzsystems zu gewährleisten.

In der *dritten* Iteration werden die am besten bewerteten Konzeptvarianten aus den ersten beiden Iterationen miteinander kombiniert und anschließend final durch die Anwender bewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertung fließen anschließend in den funktionsfähigen Prototyp der Benutzeroberfläche ein.

### 3.2 Evaluation der Benutzeroberfläche

Im Rahmen jeder Iteration bewerten die Anwender (n=5) in mehreren Fokusgruppen die verschiedenen Konzeptvarianten. Mit Hilfe der Methode „Paper Prototyping“ (Snyder, 2003) werden den Anwendern im Zuge der ersten beiden Iterationen verschiedene Möglichkeiten zur Gestaltung der Benutzeroberfläche aufgezeigt und anschließend mittels Fragebogen bewertet. Zusätzlich dazu können die Benutzer über die Methode „Lautes Denken“ Feedback zu den verschiedenen Gestaltungsvarianten geben, welches anschließend in die Weiterentwicklung einfließt. Die Auswertung der aufgenommenen Fragebogendaten erfolgt deskriptiv mit der Statistiksoftware SPSS (IBM Corp., 2014), während die Auswertung der qualitativen Daten mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Bortz & Döring (2009) stattfindet.

In der finalen, noch ausstehenden Evaluation bewerten die Anwender im Rahmen eines Usability-Tests den funktionsfähigen Softwareprototyp mittels System Usability Scale (SUS). Der daraus resultierende Score zeigt die Usability eines Gesamtsystems und liefert einen guten Indikator für die erfolgreiche Gestaltung einer gebrauchstauglichen Benutzeroberfläche (Brooke, 1996).

### 3.3 Ergebnisse

Die deskriptive Analyse der Bewertungen und die qualitativen Daten der ersten beiden Iterationen bilden die Grundlage für den funktionsfähigen Softwareprototyp. Beispielhaft werden im Folgenden die Dashboard-Ansicht (Abbildung 1), die Ansicht zu aktuellen Instandhaltungsaufträgen und der Ausschnitt einer Handlungsanweisung dargestellt und erläutert.



Abbildung 1: Dashboard-Ansicht im Funktionsprototyp

Über die Taskleisten am linken und rechten Bildschirmrand sind die Anwender in der Lage, schnell und intuitiv die gewünschten Kommunikationsfunktionen und Webanwendungen zu wählen. Während auf dem Dashboard eine übersichtliche Kachelansicht mit den Primärfunktionen Anlagenübersicht, Instandhaltungsaufträge, Fehlerdatenbank, Werkzeuge und Ersatzteile sowie Handlungsleitfaden und einem Wiki zum Einsatz kommt, sind die darunterliegenden Ebenen kontextspezifisch gestaltet. Die von den Anwendern gewünschte Übersicht zu den Instandhaltungsaufträgen erfolgt z.B. in Tabellenform mit den wichtigsten Informationen zu Störungscode, Bezeichnung, Typ und ID, vorhandenen Ersatzteilen, Werkzeugen und Leitfäden sowie einem aktuellen Status der Bearbeitung (Abbildung 2).

Code	Bezeichnung	Typ	ID	Ersatzteile	Werkzeug	Leitfaden	Status
B-3-479	Sensor 3 (Palettenerkennung)	Störung	D-15	✓	✓	✓	1 min offen
B-2-384	Sensor 10 (Drucktaster)	Wartung	D-13	⚠	✓	✓	12 min in Bearbeitung
B-3-408	Fehler 69 (Schieberegister)	Störung	D-15	✓	✓	⊘	✓ abgeschlossen

Abbildung 2: Ansicht der Instandhaltungsaufträge im Funktionsprototyp

Die zu einem Störfall passende Handlungsanweisung wird dem Anwender im Funktionsprototyp automatisch vorgeschlagen und ist ebenso über die Anlagen ID und den Störungscode aufzufinden. Über eine bebilderte Anleitung wird der Anwender intuitiv durch die Fehlerbehebung navigiert und kann diese bei Bedarf über die Kamerafunktion und eine Eingabemöglichkeit ergänzen (Abbildung 3).

Anlagen ID: D-15 T55

Störungscode: B-3-479

**Beschreibung**

Öffnen Sie den Schaltschrank und überprüfen Sie die Farbe der Kontrollleuchte (Pfeil)

Die Kontrollleuchte zeigt folgende Farbe:

grün rot

Abbildung 3: Beispielscreen einer Handlungsanweisung

Die entwickelten Funktionsprototypen bilden die Grundlage für die finale Evaluation und die anschließende Überführung in eine gebrauchstaugliche Softwarelösung für die Instandhaltung.



### 3.4 Exkurs: Mensch-Technik-Arbeitsteilung

Eng mit der Gestaltung der Mensch-Technik-Schnittstelle verknüpft – und besonders in der Dialogführung der GUI sichtbar –, sind Fragen nach der Mensch-Technik-Arbeitsteilung: Wird der Mensch durch die Technik, die neuen Cyber-Physischen Produktionssysteme, eher instruiert? Oder fungieren Cyber-Physische Produktionssysteme als Assistenten, die Informationen sammeln, aufbereiten und dem Mensch kontextsensitiv bereitstellen, dem Mensch aber insbesondere problemhaltige Entscheidungen und Handlungsimplementierungen überlassen?

Im Projekt S-CPS wurden dazu folgende Empfehlungen aus dem Stand des Wissens abgeleitet (Löffler et al., 2016):

- Bei Routinen wie regelmäßigen Inspektionen und Wartungen sowie vorhersehbaren Störungen können Entscheidungsauswahl und Handlungsimplementierung von Assistenzsystemen instruiert werden, etwa durch vorgeplante, künftig auch durch Algorithmen generierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen. Dies scheint besonders für Anlernprozesse, bei Tätigkeitswechseln oder bei langen, die Gefahr des Vergessens bergenden, Intervallen sinnvoll. Um flüssige und explorative Arbeitsweisen, die zu Prozessverbesserungen und Lernen führen, zu ermöglichen, sollte die Nutzung der Instruktion jedoch fakultativ und individuell gestaltbar sein. Dies verlangt Möglichkeiten zum Ignorieren, Überspringen, Abkürzen oder Modifizieren der Instruktionsschritte sowie einen Verzicht auf kleinteiliges Quittieren.
- Bei Nicht-Routinen – für Instandhalter sind das vor allem Störungen, die erstmals auftreten, die kaum antizipiert werden können und bei denen Ungewissheit über Ursache und Wirkung bestehen – liegt der Fokus der Assistenz auf dem Sammeln und Aufbereiten von Informationen, aus denen der Mitarbeiter Entscheidungen ableiten kann. Oft ist auch schon die Sammlung und Zusammenschau aller relevanten Informationen eine Nicht-Routine bzw. problemhaltige Arbeitsaufgabe, denn die Daten zu einem Instandhaltungs-Objekt liegen in verschiedenen, meist noch proprietären IT-Systemen vor. Um künftig zu vernetzten, kommunikationsfähigen CPPS zu gelangen, in denen Informationen aufwandsarm und bedarfsgerecht auffindbar sind, sollten die Nutzer (Instandhalter, Servicetechniker etc.) und die Entwickler von CPPS möglichst ähnliche Vorstellungen (mentale Modelle) darüber entwickeln, wie die informationellen Ressourcen eines CPPS zusammenspielen und wie gerade bei Nicht-Routinen frei durch die „Cyberwelt“ der Produktion navigiert werden kann. Dafür wurde der Begriff „Digitales Bewusstsein“ geprägt.

Diese Empfehlungen wurden insbesondere bei der Entwicklung der Handlungsleitfäden exemplarisch aufgegriffen. Betreiber und Hersteller von Sondermaschinen orientieren sich dabei erwartungsgemäß stärker auf eine Unterstützung von Nicht-Routinen durch freiwillig nutzbare Empfehlungen und auf Möglichkeiten zur Rückmeldung von Erfahrungen aus den Instandhaltungsprozessen (Wiki-Funktionalität). Betreiber von stärker standardisierten Betriebsmitteln favorisieren dagegen verbindliche Handlungsanweisungen und Quittier-Funktionen.

## 4 Gestaltung der tangiblen MMS

Um die Anwender schon zu einem frühen Zeitpunkt in die Produktentwicklung einbeziehen zu können, eignet sich die Anfertigung von hardwaretechnischen Prototypen. Die späteren Nutzer erhalten so die Möglichkeit, die gewünschten Anforderungen an die Funktion des Produktes aber auch an die ergonomische Gestaltung, die Haptik und die Optik zu bewerten und schon in den frühen Phasen der Produktentstehung Feedback hinsichtlich der subjektiv wahrgenommenen Usability zu geben (Bertsche & Bullinger, 2007). Der angewendeten Methodik liegt dabei ein strukturierter Leitfaden zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS zugrunde, der die iterative Gestaltung und Evaluation methodisch und inhaltlich dem Entwicklungsstand entsprechend anlegt (Wächter & Bullinger, 2016a).

### 4.1 Methodische Vorgehensweise

In einer *Vorstudie* werden kontextunabhängige Gestaltungsideen für Griffvarianten gesucht. Vier Fokusgruppen mit Nicht-Anwendern (n=17) gestalten auf Basis der erhobenen Anforderungen mittels Modelliermasse verschiedene Gestaltungsvarianten. Anschließend fassen Usability-Experten (n=5) diese zu einem abgestimmten Gestaltungsentwurf zusammen, welcher die Grundlage für die folgenden drei Iterationen bildet:

In der *ersten* Iteration werden zunächst drei Griffvarianten gestaltet und mittels 3D-Druck umgesetzt. Griff 1 basiert auf dem Gestaltungsentwurf der Vorstudie, Griff 2 auf einem aktuell in der Produktion eingesetztem Tablet-Griff und Griff 3 baut auf den Gestaltungsvorgaben für Stellteile (DIN EN 894-3) auf.

In der *zweiten* Iteration wird aus den am besten bewerteten Griffeigenschaften der Iteration 1 und unter Hinzunahme anthropometrischer Variablen (DIN 33402-2) ein Geometrieprototyp des Griffes gestaltet und mittels additivem Verfahren gefertigt. Zusätzlich werden alle weiteren Funktionselemente, d.h.

die Transportfunktion, die Funktion zum Hinstellen sowie die Bedien- und Steuerelemente für die Benutzeroberfläche prototypisch realisiert. Die Anforderung einer Funktion zum Anheften an die Anlage wird nach Rücksprache mit den Instandhaltern zurückgestellt.

In der *dritten* Iteration wird der Geometrieprototyp des Griffes unter Berücksichtigung der Evaluationsdaten aus Iteration 2 optimiert, funktionsprototypisch umgesetzt und anschließend, mit der grafischen Benutzeroberfläche vereint, in einem Funktionsprototyp im Feldexperiment evaluiert.

## 4.2 Evaluation

Die Evaluation erfolgt analog für die beiden ersten Iterationen in drei Fokusgruppen mit Instandhaltern (n=15). Die Griffe werden dabei randomisiert getestet und mit einem leicht adaptierten Comfort Questionnaire for Handtools (CQH) (Kuijt-Evers et al., 2007) bewertet. Anschließend werden Verbesserungspotenziale über „Lauter Denken“ (Nielsen, 1993) gesammelt. Alle weiteren Funktionselemente aus dem Anforderungskatalog werden den Anwendern in verschiedenen Ausprägungen in einem morphologischen Kasten (VDI 2222) zur Bewertung vorgelegt. Die bevorzugten Umsetzungsvarianten werden anschließend zu einem Geometrieprototyp zusammengesetzt und mit dem SUS (Brooke, 1996) evaluiert.

Die Fragebogendaten werden deskriptiv ausgewertet (IBM Corp., 2014) und mit qualitativen Daten abgeglichen. Dazu werden die Sprachprotokolle der Fokusgruppen transkribiert und mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Glaser & Strauss, 1967) ausgewertet.

In der aktuell laufenden finalen Evaluation wird der Funktionsprototyp, bestehend aus tMMS und grafischer Benutzeroberfläche, im Rahmen eines Usability-Tests unter Feldbedingungen zusammen mit den Instandhaltern (n=15) evaluiert.

## 4.3 Ergebnisse

Aus der *Vorstudie* geht der kombinierte Gestaltungsentwurf als Prototyp in die erste Iteration ein. Deren Datenanalyse aus CQH und Lautem Denken zeigt, dass die Griffe 1 und 3 deutlich besser bewertet wurden als Griff 2 (Wächter & Bullinger, 2016b). Unter den Verbesserungspotenzialen ist für die zweite Iteration insbesondere die ergonomische Gestaltung mit Fingermulden (von Griff 1) sowie die runde Griffform hervorzuheben (vgl. Abbildung 4).

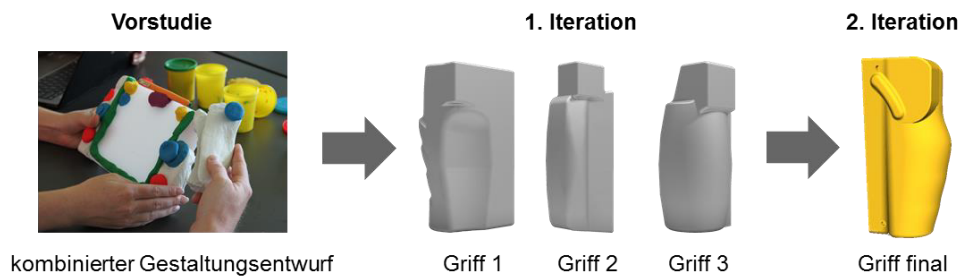


Abbildung 4: Prototypen als Ergebnis der Vorstudie und der beiden Iterationen

Zusätzlich zur finalisierten Griffform bewerten die befragten Instandhalter folgende Ausprägungen der Funktionen zum Hinstellen, zum Transport und zur Steuerung GUI am besten (Abbildung 5).



Abbildung 5: Ergebnis der Bewertung zu den bewerteten Funktionen

Die Instandhalter befürworten einen ergonomisch geformten Einhandgriff auf der Rückseite des mobilen Assistenzsystems, welcher gleichzeitig die Funktion des Hinstellens abdeckt. Eine dazu passende Halterung für den Transport und die Steuerung der Benutzeroberfläche mittels Joystick runden die gewählten Umsetzungsvarianten der Instandhalter ab. Die Bewertung des zusammengesetzten Geometrieprototyp mittels SUS ergibt einen Score von 89 Punkten, was einer sehr hohen Gebrauchstauglichkeit entspricht (Bangor et al., 2009).

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Projektes S-CPS wurden durch einen nutzerzentrierten, partizipativen und iterativen Entwicklungsprozess GUI und tMMS eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter gestaltet. Durch Nutzerevaluationen von Prototypen wurde eine hohe Gebrauchstauglichkeit – zunächst für Hard- und

Softwarekomponenten separat – nachgewiesen. Eine finale Evaluation des funktionsfähigen Prototyps wird zeigen, ob sich dieser Wert auch im Zusammenspiel zwischen GUI und tMMS und im realen Anwendungskontext bestätigen lässt. Dabei werden auch Hinweise zur Nutzerzufriedenheit mit der jeweils gewählten Mensch-Technik-Arbeitsteilung erwartet.

## 6 Literaturverzeichnis

- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114–123.
- Bauer, W., Schlund, S., & Marrenbach, D. (2014). *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland: [Studie]*. Stuttgart.
- Bortz, J., & Döring, N. (2009). *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler ; mit 87 Tabellen* (4., überarb. Aufl., Nachdr). *Springer-Lehrbuch Bachelor, Master*. Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Brooke, J. (1996). SUS: a 'quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan (Ed.), *Usability evaluation in industry*. London, Bristol, Pa.: Taylor & Francis, 189–194.
- Bullinger, H. J., Jürgens, H. W., Groner, P., Rohmert, W., & Schmidtke, H. (2013). *Handbuch der Ergonomie: Mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden* (2nd ed.). Koblenz.
- DIN 33402-2 (2005). Ergonomie - Körpermaße des Menschen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 894-3 (2010). Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Stellteilen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241-210 (2011). Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 31051 (2012). Grundlagen der Instandhaltung. Berlin: Beuth Verlag.
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research. Observations*. Chicago: Aldine Pub. Co.
- Höhnel, A., Wächter, M., & Bullinger, A. C. (2015). Effizienzsteigerung in der Instandhaltung durch Sozio-Cyber-Physische Systeme. In *Verantwortung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress, 25. - 27.02.2015, Karlsruhe*. Dortmund: GfA-Press.

- Hopf, H., Müller, E. (2015). Modellierung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen mit Sozio-Cyber-Physischen Systemen. In: Müller, E. (Hrsg.). Vernetzt planen und produzieren – VPP2015 - Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 21, TU Chemnitz, 389 - 398.
- IBM Corp. (2014). IBM SPSS Statistics für Windows. Armonk, NY.
- Kuijt-Evers, L. F., Vink, P., & de Looze, Michiel P. (2007). Comfort predictors for different kinds of hand tools: Differences and similarities. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37(1), 73–84.
- Löffler, T., Höhnel, A., Aust, A. (2016). Kompetenzförderliche Interaktion mit CPPS. Arbeiten und Lernen in der digital transformierten Produktion. *Industrie 4.0 Management*, 32 (2016) 3, S. 39-42.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann Publishers.
- Sarodnick, F., & Brau, H. (2006). *Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung* (1. Aufl.). *Praxis der Arbeits- und Organisationspsychologie*. Bern: Huber.
- Snyder, C. (2003). *Paper prototyping: The fast and easy way to design and refine user interfaces*. *The Morgan Kaufmann series in interactive technologies*. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann, Elsevier Science.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0: [Studie]*. Stuttgart.
- Stapelkamp, T. (2010). *Interaction- und Interfacedesign: Web-, Game-, Produkt- und Servicedesign Usability und Interface als Corporate Identity*. *X.media.press*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- VDI 2222 (1997). *Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*. Berlin: Beuth Verlag.
- Wächter, M., & Bullinger, A. C. (2015). Gestaltung gebrauchstauglicher Assistenzsysteme für Industrie 4.0. In A. Weisbecker, M. Burmester, & A. Schmidt (Eds.), *Mensch und Computer 2015. Workshopband* (pp. 165–169). Berlin.
- Wächter, M., & Bullinger, A. C. (2016a). Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler MMS für Industrie 4.0 – ein Leitfaden für Planer und Entwickler von mobilen Produktionsassistenzsystemen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 70(2), 82–88. doi:10.1007/s41449-016-0020-0
- Wächter, M., & Bullinger, A. C. (2016b). Gestaltung von gebrauchstauglichen tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstellen – ein Werkstattbericht. In C. M. Schlick (Ed.), *Schriftenreihe der Wissenschaftliche Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation (WGAB) e.V: Vol. 1. Megatrend Digitalisierung. Potentiale der Arbeits- und Betriebsorganisation* (pp. 163–174).

## Autoren



### Wächter, Michael

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Michael Wächter arbeitet seit 2012 an der Chemnitzer Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement. Sein thematischer Schwerpunkt innerhalb des Industrial Engineering ist die Ergonomie von Arbeitsmitteln, insbesondere die Gestaltung gebrauchstauglicher Hardware-Interfaces bei Mensch-Maschine-Schnittstellen.



### Höhnel, Anne

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Anne Höhnel ist seit 2009 an der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement tätig. Ihre Schwerpunkte sind die Gestaltung von Werker-Informationssystemen, Veränderungsprozesse, interpersonelle Zusammenarbeit und Arbeitsorganisation im demografischen Wandel.



### Löffler, Thomas

Dr.-Ing. Thomas Löffler arbeitet seit 2011 an der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement. Er leitet das Cluster Industrial Engineering und verantwortet in Lehre und Forschung die Arbeitsgebiete Produktionsergonomie und Produktivitätsmanagement.



### Bullinger-Hoffmann, Angelika C.

Prof. Dr. Angelika Bullinger-Hoffmann leitet die Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement an der TU Chemnitz. Die Schwerpunkte von Forschung und Lehre sind Innovation Engineering, Produktergonomie und Industrial Engineering auf Basis des Arbeits- und Gesundheitsschutzes. Dabei stehen Mensch, Technik und Organisation sowie deren Zusammenwirken im Fokus

# Einsatz eines Instandhaltungs–Cockpits am Beispiel einer Sondermaschine der Firma Xenon bei Continental Automotive Limbach-Oberfrohna

Jörg Stelzner<sup>1</sup>, Stefan Koppitz<sup>1</sup>, Colette Neubert<sup>2</sup>, Steffen Weiß<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Xenon Automatisierungstechnik GmbH Dresden

<sup>2</sup>P ES LBO IT, Continental Automotive GmbH – Standort Limbach–Oberfrohna

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme (S-CPS)“ ist in bilateraler Zusammenarbeit zwischen den Firmen Xenon und Continental Automotive GmbH - Standort Limbach-Oberfrohna ein Demonstrator für ein Ressourcen Cockpit der Instandhaltung entstanden, der im Folgenden näher erläutert wird.

Nach einer Übersicht zur systemtechnischen Darstellung des Demonstrator– Gesamtsystems werden die einzelnen systemtechnischen Komponenten und deren Funktionalitäten beschrieben. Besonderes Augenmerk wird dabei auf das Interface zur Selektion, Transformation und standardisierten Bereitstellung von Daten an der ausgewählten Pilotanlage gelegt. Die Einbindung des Demonstrator–Gesamtsystems in die Systemlandschaft am Continental Automotive GmbH - Standort Limbach-Oberfrohna wird beleuchtet sowie auch die externe Anbindung des Sondermaschinenbauers Xenon zur Fernwartung der ausgewählten Pilotanlage. Über die praktischen „use cases“ der Instandhaltung werden alle möglichen Aktivitäten und notwendigen Workflows zur Wartung und Instandsetzung der Pilotanlage erläutert. Diese Informationen werden dazu noch durch die Themen User, Rollenkonzepte und Berechtigungsvergabe angereichert.

In einem abschließenden Kapitel werden die erzielten Ergebnisse und die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und für die Nachnutzung aufbereitet.

## 1 Einleitung

Unsere Arbeiten zielten darauf ab, die für die Instandhaltung relevanten Datenströme des Produktionsequipments mit den relevanten Informationen für die an der Instandhaltung beteiligten Mitarbeiter zusammenzuführen, um daraus automatisiert und dynamisch Informationen und Entscheidungsvorlagen zu generieren, die eine effiziente Abarbeitung von Instandhaltungsvorfällen gewährleisten. Die Zusammenführung dieser Datenströme erfolgt im Back-



End in einem dafür adaptierten MES – System und im Front–End in einer mobilen Applikation, dem sogenannten Ressourcen – Cockpit. Über das Instandhaltungs-Cockpit sollte es auch möglich sein, alle für das Betreiben bzw. Instandhalten der Maschine erforderlichen Dokumentationen abzurufen und Handlungsanweisungen für die Beseitigung von Störungen anzuzeigen und zu ergänzen, um Wiederholstörungen effizient beheben und vorhandenes Wissen teilen und verwenden zu können.

Maschinendaten können je nach Interessenlage unter verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet werden. So sind z.B. für die Produktionssteuerung Stillstandzeiten und Verfügbarkeit mehr von Interesse als für die Instandhaltung, die auf Informationen über die Häufigkeit von Störungen angewiesen ist, um häufige Störungen und deren Ursachen zu beseitigen. Die neue Qualität der nun im MES-System vorhandenen Störmeldungen liegt darin, dass der Informationsgehalt der Störmeldung die komplette Ereigniskette im zeitlichen Ablauf umfasst und für Betreiber und Maschinen-Lieferanten im Fall der Störungsanalyse und Störungsbehebung permanent existente Informationen liefert.

Die Entwicklungsarbeiten für das System fanden dazu in verschiedenen Ebenen statt. Für die Bereitstellung der Maschinendaten wurde auf Maschinenebene von Xenon ein OPC-UA Server implementiert, der die Maschinendaten sammelt und über eine universelle Schnittstelle an einen OPC-UA Client übergibt. Auf der Betreiberseite wurde durch Continental ein OPC-UA Client implementiert, der die Daten über das lokale Netzwerk in einem dafür adaptierten MES-System ablegt. Alle Daten werden verschiedenen Endgeräten für die Auswertung zur Verfügung gestellt.

In den folgenden Abschnitten wird die Architektur und Funktionsweise des entwickelten Systems beschrieben.

## 2 Darstellung des Gesamtsystems

Die Einbindung des S-CPS in die bestehende Systemlandschaft der Continental Automotive GmbH - Standort Limbach-Oberfrohna ist, wie in Abbildung 1 dargestellt, zu beschreiben.

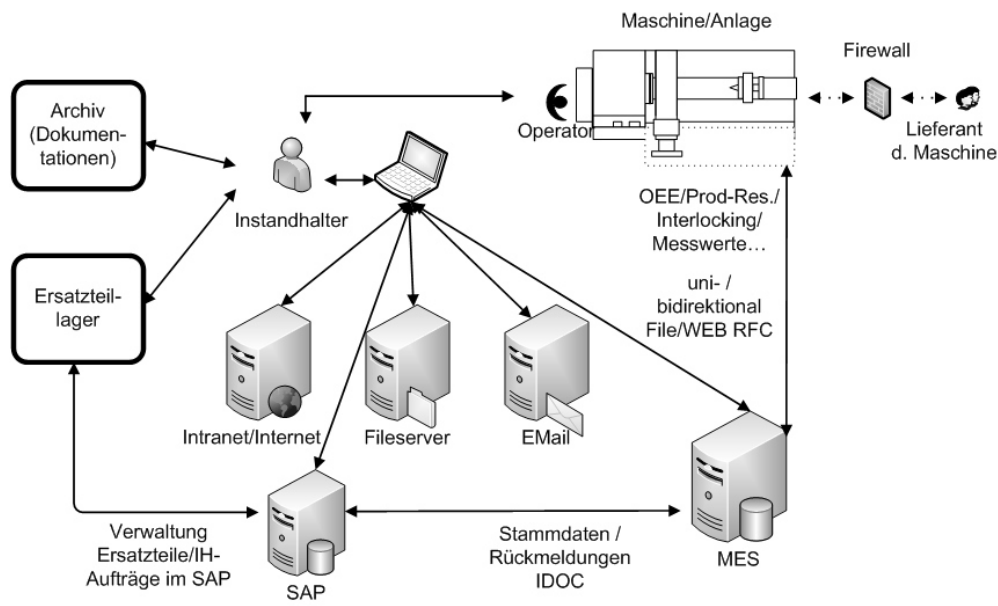


Abbildung 1: Übersicht der Systembestandteile - Basis zur Integration des S-CPS Systems (Quelle: Neubert S-CPS Lastenheft, 2014)

Der wichtigste Bestandteil des S-CPS Systems ist das Interface unserer Pilotanlage zum Continental - MES-System (Back-End). Die Pilotanlage des Herstellers Xenon wurde per Software in die Lage versetzt, neben produkt- und prozessbezogenen Informationen auch zustandsbezogene Informationen weiterzugeben. Diese Informationen werden mittels eines Gateways und dem Continental - Fertigungsclient an der Maschine visualisiert und in die MES-Datenbank übertragen. Der Bediener der Anlage entscheidet, ob die visualisierten Zustandsmeldungen der Anlage an die Kollegen des Instandhaltungsteams weitergegeben werden müssen. Dazu nutzt der Bediener eine Software - Oberfläche, die Teil des Front-Ends des Gesamtsystems ist. Wird das „Flag“ zur Weitergabe der Information an das Instandhaltungsteam gesetzt, wird diese dedizierte Meldung in der Datenbank „markiert“ und für den Kollegen der Instandhaltung sichtbar und bearbeitbar.

Das Instandhaltungsteam nutzt für die Weiterverarbeitung der zustandsbezogenen Informationen der Maschinen und Anlagen das dafür entwickelte Ressourcen-Cockpit (Front-End), sinnvollerweise als App auf den Tablets unserer Firma. Die Informationen, die in der Datenbank als relevant „markiert“ sind, werden auf dem Ressourcen-Cockpit als Liste und im Layout des Standortes

als Standortinfo der betroffenen Anlage visualisiert. Soweit hinterlegt, kann hier ein Handlungsleitfaden zur Behebung möglicher fehlerhafter Zustände hinterlegt sein, es ist aber ebenso möglich, auf alle Dokumente zur Maschinen- und Anlagendokumentation (Handbücher, E-Pläne, Projekte der Steuerungen ...) zuzugreifen.

Ist ein größerer Eingriff erforderlich, kann dies über das Anlegen eines Instandhaltungsauftrages per WEB Transaktion direkt im SAP (ERP-System) erfolgen, genauso wie die Fertigmeldung eines solchen Auftrages. Auch weitere Informationssysteme des Unternehmens sind über die App erreichbar (Email – System, Intranet ...).

Fallbezogen ist es notwendig, den Service des Maschinen- und Anlagenlieferanten in die Zustandsklärung einzubeziehen. Am Standort Limbach–Oberfrohna wurde dazu ein System der Fernwartung implementiert, das es erlaubt, kontrollierte gesicherte Verbindungen nach extern aufzubauen und damit einen Remote-Zugriff des Anlagenlieferanten zu ermöglichen. Diese Verbindungsfreigabe kann ebenso über die App durch den Instandhalter direkt vor Ort an der Maschine erfolgen.

Mit diesem Gesamtsystem ist es uns gelungen, alle notwendigen Tätigkeiten der Instandhaltung effizient und mobil zu gestalten, sodass die Verfügbarkeit von Informationen erhöht wird, zeitnah Reaktionen erfolgen können und Wegezeiten auf ein absolutes Minimum reduziert werden.

### 3 Back-End

Die Hard- und Software im Back-End, direkt an der Maschine, stellt ein Interface zur Selektion, Transformation und standardisierten Visualisierung und Weitergabe von Daten an der ausgewählten Pilotanlage zur Verfügung.

#### 3.1 Datenbereitstellung auf Maschinenebene

Bei den Daten, die zwischen Maschine und MES-System ausgetauscht werden, handelt es sich sowohl um Stör- als auch um Betriebsmeldungen. Diese sollen im Weiteren als Alarme bezeichnet werden.

Alarme werden an der Maschine ausgelöst, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt werden. Beispielhaft sei hier der Druckabfall an der Anlage genannt. Der OPC-UA-Server registriert diese Alarmmeldung von der SPS durch die Änderung einer Flanke und leitet dieses Signal an den Client weiter. Dabei kommuniziert der OPC-UA-Server mittels eines SIEMENS S7-Treibers mit der SPS. Der Alarm kann an der Anlage mittels Knopf auf dem Bedienpult quittiert

werden. Diese fallende Flanke wird wiederum vom OPC-UA-Server registriert und durch ein entsprechendes Signal an den Client weitergeleitet.

Ein Alarm besteht dann aus dem Zeitpunkt des Kommens/Auftretens, dem Zeitpunkt des Gehens/Quittierens, dem Alarmtext, dem Alarmort und dem Alarmlevel. Der Alarmlevel unterscheidet zwischen Stör- und Betriebsmeldungen. Störmeldungen führen unweigerlich zum Stillstand der Maschine bis das Problem behoben wurde. Eine Betriebsmeldung kommt einer Warnung gleich, die nicht sofort zum Stillstand führt. Denkbar wäre hier ein Materialmangel an der Maschine.

## 3.2 Datenaustausch zwischen Maschine und MES

### 3.2.1 OPC-UA – die Datenschnittstelle

Die OPC-UA (Open Platform Communications Unified Architecture) ist eine standardisierte Software-Schnittstelle für den Austausch von Daten und Informationen, insbesondere im industriellen Umfeld zur Automation, Steuerung und Kontrolle von Produktionsanlagen mit ihrer Umgebung und einzelner Anlagenbestandteile untereinander.

Namenhafte Firmen der Automatisierungstechnik haben sich 1996 zur OPC-Foundation zusammengeschlossen, um gemeinsam einen industriellen Standard zu schaffen, der einen sicheren, zuverlässigen, hersteller- und plattformunabhängigen Datenaustausch ermöglichen soll. Weiteres Ziel der Foundation ist es, die OPC-UA Standards weiter zu entwickeln und sie im industriellen Umfeld zu etablieren und auszubauen. Außerdem sollen zukünftig cloud-basierte Lösungen ermöglicht werden.

Der OPC-UA-Standard besteht aus mehreren Software-Schnittstellenspezifikationen wie Data Access (DA), Alarms & Conditions (AC), Data Exchange (DX) und weitere.

Durch OPC-UA als internationaler Industrie-Standard für die Datenkommunikation bringt dieser eine semantische Interoperabilität in die Cyber-Physical-Systems und trägt entscheidend zum Erfolg der 4. industriellen Revolution der Gegenwart bei.

Motivation und Grund für den Einsatz von OPC-UA im Pilotprojekt war vor allem die weite Verbreitung und breite Akzeptanz dieses Industrie-Standards. OPC-UA bietet eine einheitliche plattformunabhängige service-orientierte Architektur im Rahmen vom industriellen Internet der Dinge (IIoT). Mit OPC-UA wird ein optimiertes, robustes und fehlertolerantes Protokoll mit Sicherheitsmechanismen bereitgestellt. Es lässt sich eine einfache Kopplung zwischen

diversen Ereignisquellen realisieren. Die Datenübertragung ist durch die Verwendung von Eventmechanismen und ohne pollenden Zugriff schnell und performant. Zudem ist die Implementierung des OPC-UA-Kommunikationsstacks in .NET bereits vorhanden und erleichtert den Einstieg enorm. Informationen können mit objektorientierten Mitteln beschrieben werden. Der hier entwickelte OPC-UA-Server kann somit Grundlage für die standardisierte Schnittstelle zwischen Maschinenhersteller und MES sein.

Durch das ebenfalls bereits definierte Profil Alarms & Conditions im OPC-UA-Standard konnte der Austausch von Alarmen schnell vorangetrieben werden. Die sogenannten Companion Standards ermöglichen die Definition von herstellerspezifischen Profilen und somit eine gewünschte Erweiterung des Standards.

### 3.2.2 Die Pilotanlage als OPC – Server

Die Pilotanlage wird im Gesamtsystem als OPC-UA-Server (Abbildung 2) identifiziert. Die Software ist als .NET-Applikation (C#) implementiert, läuft auf einem Industrie-PC und ist per Ethernet mit dem Kunden- und dem Maschinennetzwerk verbunden.

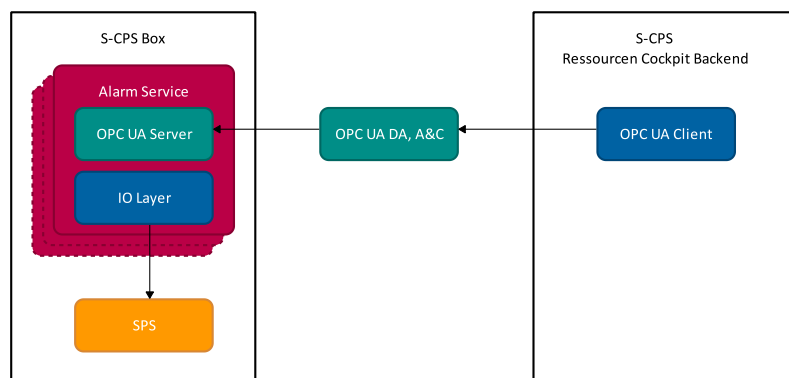


Abbildung 2: Schematischer Aufbau zum OPC-UA-Server

Die Maschine mit der SPS dient dabei als Datenquelle. Ein interner Client greift auf die Datenendpunkte (Tags) der SPS zu und leitet Änderungen an den Alarm Service weiter. Der Alarm Service als OPC-UA-Server meldet dem OPC-UA-Client per Events Alarme und stellt die Alarmdatenbank zum Abruf bereit. Das Daten- und Informationsmodell des OPC-UA-Servers wird von einer Konfigurationsdatei im XML-Format geladen.

In Abbildung 3 ist der Ablauf für die Interaktion mit dem System dargestellt. Dabei nutzt der OPC-UA-Client die Funktionen des OPC-UA-Servers. Beim **Push** (passiv) registriert sich der Client beim Server für ein bestimmtes Event. Der Server sendet dann bei Erfüllen der definierten Bedingung ein Event an den Client. Ein Polling durch den Client ist nicht erforderlich, da bei einer Änderung das Signal vom Server geliefert wird. Diese Funktion muss für den Empfang von kommenden und gehenden Alarmen verwendet werden. Beim **Pull** (aktiv) greift der Client auf Daten des Servers zu. Diese Funktion muss für den Zugriff auf die Alarmdatenbank verwendet werden.

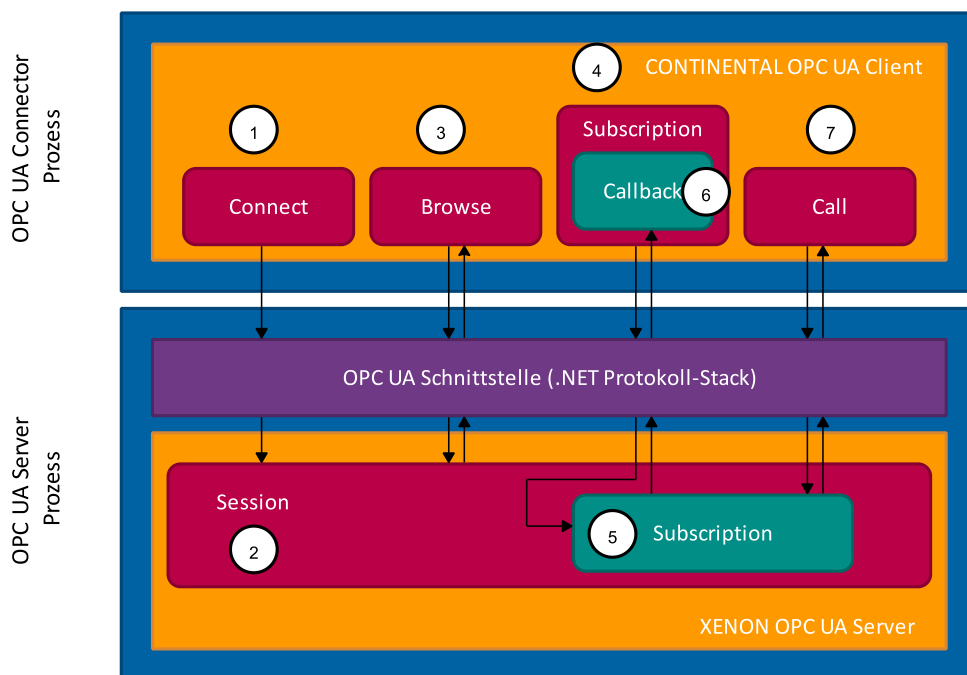


Abbildung 3: Struktur und Verhalten des Systems

Zur Umsetzung der Zielstellung musste der OPC-UA-Adressraum (Abbildung 4) erweitert werden. Da der `ConditionType` (def. in der OPC-UA-Spezifikation Teil 9) nicht mit dem angestrebten Alarmtyp in Einklang zu bringen war, wurde ein neuer Typ `AlarmEventType` zur Definition von Alarm Events eingeführt. Der Typ erbt vom Typ `BaseEventType` und übernimmt somit dessen Variablen, Methoden und Objekte.

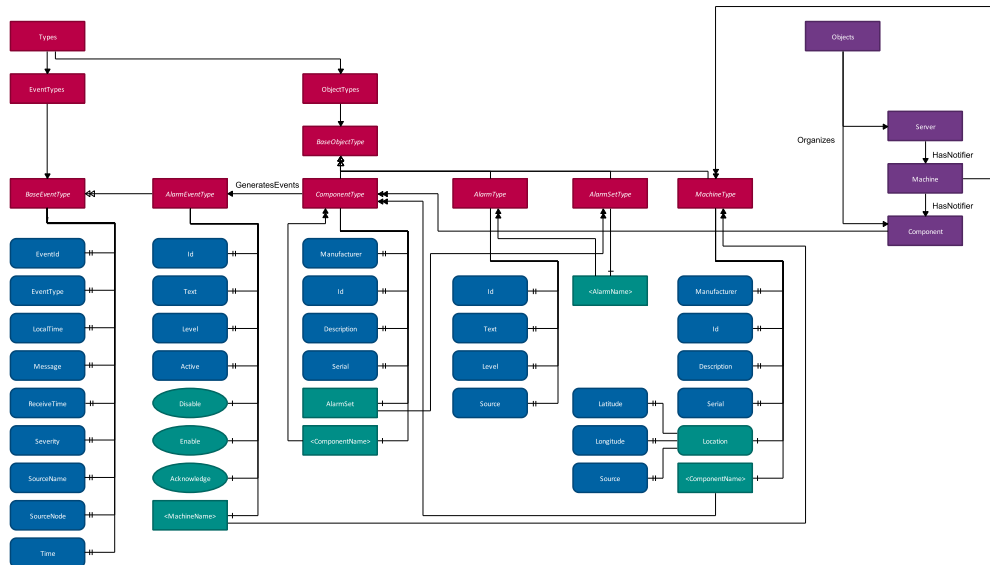


Abbildung 4: Adressraum des OPC-UA-Servers

Besondere Beachtung sollte das Objekt `<MachineName>` finden. Mit diesem wird der Ort des Auftretens kodiert. Das Objekt hat als Typdefinition den `MachineType`. Dieser Typ bildet die Struktur der Maschine/Anlage ab, da dieser rekursiv wieder aus `Components` bestehen kann. Ein `Component`-Objekt hat als Typdefinition den Typ `ComponentType`. Ein `Component` stellt die innere Struktur der Maschine/Anlage dar und kann somit z. B. ein Modul, eine Zelle oder eine Baugruppe sein. Ein `Component`-Objekt generiert dann auch die Events vom Typ `AlarmEventType`.

Für das Auslesen der Alarmdatenbank wurden die Objekttypen `AlarmType` und `AlarmSetType` eingeführt. Ein `AlarmSet` besteht dabei wiederum aus `Alarms`. Ein `Component` besitzt ein solches `AlarmSet` und stellt dieses dem Client zur Verfügung. Damit ist auch ein eindeutiger Bezug zum Ort des Auftretens gegeben.

Zur Abbildung der Maschinenstruktur im OPC-UA-Namensraum werden sogenannte `Areas` verwendet. Die Referenz `HasNotifier` wird verwendet, wenn das Ziel der Referenz ein Eventmeldeobjekt ist. Die Referenz `HasEventSource` wird verwendet, um auf die Quelle von Events zu zeigen. Die Quelle von Events können Variablen oder, wie hier, Objekte sein.

### 3.2.3 Das MES als OPC – Client

#### Allgemeines

Der OPC-UA-Client ist das Gegenstück zum OPC-UA-Server, der sich mit diesem verbindet, um Daten zwischen ihm und ein am Client angeschlossenes Back-End-System (z.B. ein MES-System) austauschen zu können. Die Verbindung erfolgt ausschließlich über das TCP/IP Netzwerkprotokoll. Der Client ist der aktive Partner der Datenkommunikation. Er verbindet sich mit dem Server und holt die für ihn bestimmten Daten ab oder übergibt Daten an den Server. Bei Verbindungsverlust wird versucht, die Verbindung automatisch wieder herzustellen. Der Client kann sich bei Bedarf mit mehreren Servern verbinden. In Abbildung 5 ist der generelle Aufbau skizziert.

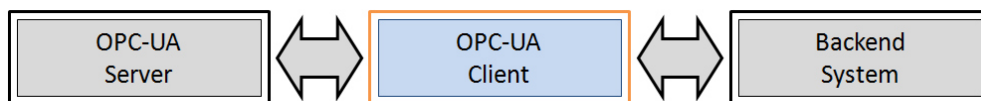


Abbildung 5: OPC-UA Client als Gateway

Im Pilotprojekt wurde eine Datenkommunikation zwischen dem OPC-UA-Server der Fertigungsanlage (Xenon) und dem MES-System der Continental Automotive GmbH als Gateway (OPC-UA-Client), wie in Abbildung 6 gezeigt, verwirklicht. Die Anbindung an das firmeneigene MES-System ist zwingend notwendig, weil dieses das zentrale Datenbanksystem der Fertigung am Standort Limbach-Oberfrohna ist und in diesem alle produktionsrelevanten Daten, so auch Maschinenalarmlage, zu speichern sind. Außerdem kann auf ein vorhandenes Portfolio an nützlichen Daten und Anwendungen (z.B.: OEE) zurückgegriffen werden.



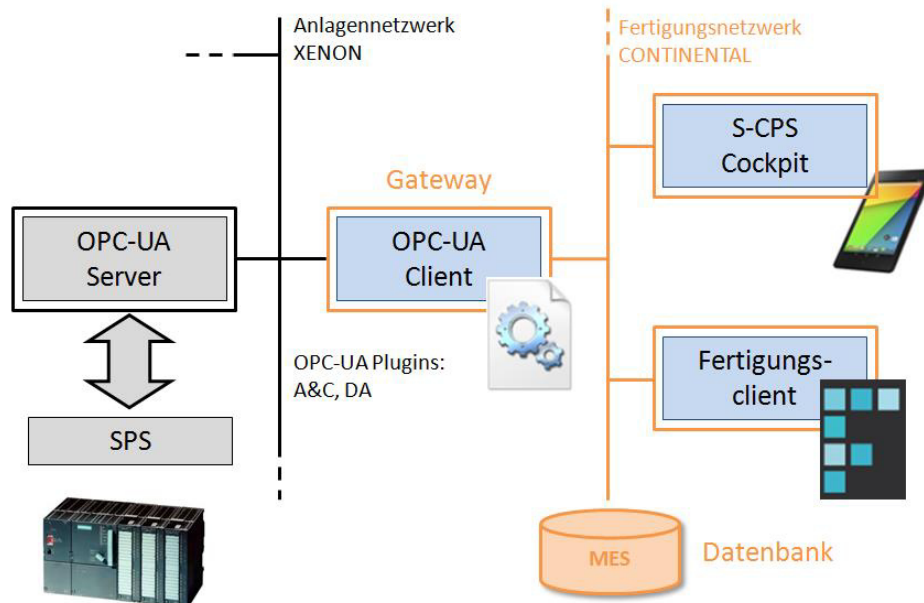


Abbildung 6: OPC-UA-Systemlandschaft

Mit dem Gateway werden ausschließlich Maschinenalarme der Pilotanlage an das MES-System übergeben. Für den spezifizierten Anwendungsfall wurden die OPC-UA-Plugins „Alarms&Conditions“ und „Data Access“ implementiert. Sämtliche Alarmer der Anlage werden sofort über den OPC-UA-Client im MES-System gespeichert. Da nur Alarmer, die nicht nach einer Erstinstandsetzungsfrist durch den Maschinenbediener behoben werden konnten an das S-CPS Cockpit weitergeleitet werden dürfen, wurde eine zusätzliche Anwendung für den Maschinenbediener geschaffen. Über diese Anwendung (ein firmeneigener Fertigungsclient) werden alle erfassten Alarmer der betroffenen Anlage visualisiert und verwaltet. Können Alarmer nicht durch die Erstinstandsetzung behoben werden, dann werden diese durch den Maschinenbediener über die Applikation an das S-CPS Cockpit der Instandhaltung weitergeleitet. Da alle drei Komponenten das gleiche MES-Datenbanksystem nutzen, erfolgte die Integration mit relativ wenig Aufwand.

### *Ablauf*

Detektiert die Anlage einen Alarm, so wird dieser im OPC-UA-Server registriert. Bei aktiver Verbindung des OPC-UA-Client (Gateway) holt sich dieser den Alarm im Status „KOMMEN“ ab und lastet ihn mit Datum/Uhrzeit, Ursache/Grund, Gewichtung, Typ und Klasse im MES-Datenbanksystem ein.

Um eine aufwendige Stammdatenpflege für Alarmer im MES-System zu minimieren, besteht die Möglichkeit, diese direkt von der Anlage zu übernehmen.

Der im MES-System gespeicherte Alarm wird am Fertigungsclient angezeigt. Wird der Alarm innerhalb der Erstinstandsetzungsfrist behoben, so ist der Alarm an der Anlage zu bestätigen (Standardbedienkonzept), was der OPC-UA-Server mit Status „GEHEN“ registriert. Ein erneutes Übernehmen dieses Alarms durch das Gateway führt dazu, dass der vorhandene Alarmstatus im MES-System zusätzlich mit Status „GEHEN“ versehen wird. Ein Refresh des Fertigungsclients wird daraufhin die visualisierte Alarmliste aktualisieren.

Nicht behobene Alarmer werden durch das Bedienpersonal über den Fertigungsclient an das S-CPS Cockpit weitergeleitet. Daraufhin wird das Fachpersonal der Instandhaltung über das S-CPS Cockpit informiert und kann seine Arbeit zur Behebung des Fehlers aufnehmen. Nach erfolgreicher Wartung ist der Alarm an der Anlage ebenfalls mit „GEHEN“ zu bestätigen, was auch zur Aktualisierung des MES-Datenbestandes und des Fertigungsclients führt.

### *Implementierung*

Das OPC-UA-Client-Gateway wurde als Windows-Service auf Basis .Net/C# und der von der OPC-Foundation verfügbaren OPC-UA-API (Kommunikationsstack) entwickelt und beinhaltet Programmlogiken zur Verbindung und zum Datenaustausch mit dem OPC-UA-Server, der MES-Datenbank und darüber hinaus Businesslogik für individuelle und anwendungsspezifische Erweiterungen inklusive Konfiguration und Setup. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 7 dargestellt.

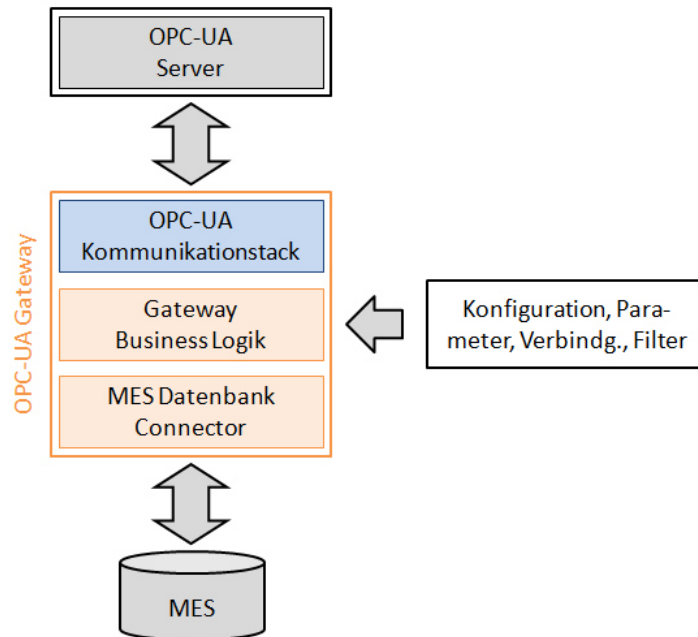


Abbildung 7: OPC-UA Client Gateway als Windows-Service

Außerdem ist das Gateway in der Lage, sich mit mehreren OPC-UA-Servern zu verbinden, so dass mit nur einem Gateway-Rechner mehrere Anlagen oder Anlagenteile abgedeckt werden könnten. Filtermöglichkeiten für Alarmquelle, Gewichtung, Klasse und Typ stehen ebenfalls zur Verfügung.

Für das Pilotprojekt „XENON Antriebsstrang Modul 33“ wurden OPC-UA-Server und -Client auf einem Rechner, der sich im Anlagennetzwerk befindet, installiert. Eine getrennte Installation auf zwei im Netzwerk befindlichen Rechnersystemen ist ebenfalls möglich.

## 4 Front-End

Das Front-End für die Interaktion mit dem Gesamtsystem besteht aus mehreren Komponenten. Hierzu gehört die Oberfläche für den Bediener der Anlage an der Maschine, die mobile Applikation (App) für das Team der Instandhaltung und die Sicht des Managements auf die Gesamtsituation.

## 4.1 Front-End Maschine

### 4.1.1 Der Continental Fertigungsclient

Am Fertigungsstandort Continental Automotive GmbH - Limbach-Oberfrohna wird ein firmeneigener, standardisierter Fertigungsclient (Abbildung 8) eingesetzt. Mit dessen Hilfe werden sämtliche produktions- und qualitätsrelevanten Daten der Produktion erfasst und in einem zentralen Datenbanksystem (MES-System) gespeichert, berichtet und archiviert.

Im Pilotprojekt dient er der Visualisierung aller an der Pilotanlage aufgelaufenen Störungen und der Weiterleitung an das Cockpit im Fall der Nichtbehebung innerhalb der Bedienererstinstandsetzungsfrist.

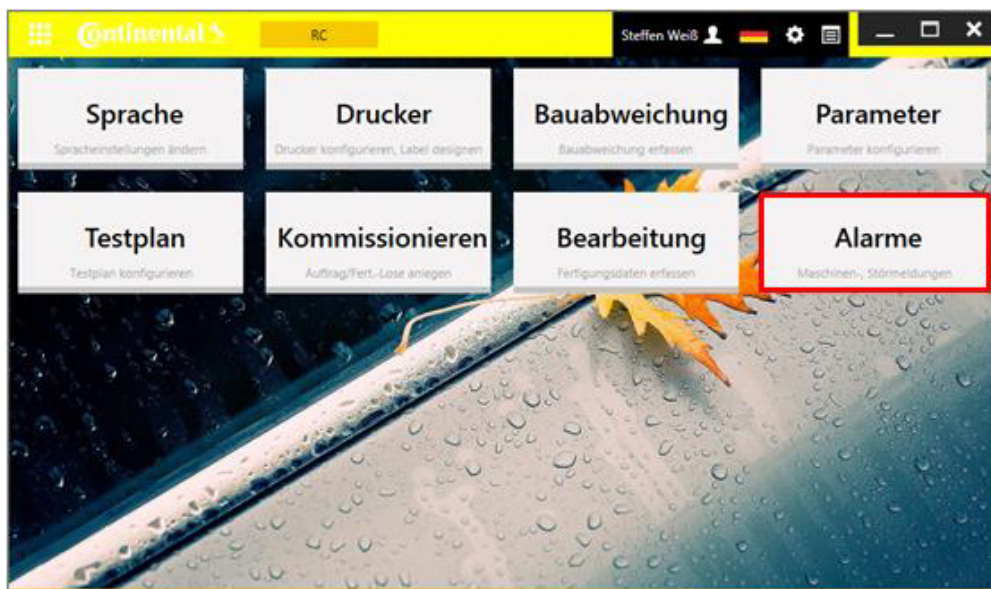


Abbildung 8: Continental Automotive GmbH Fertigungsclient

### 4.1.2 Das Alarm Applet

Für die Überwachung und Verwaltung von Maschinenalarmen durch das Maschinenbedienpersonal wurde eigens eine Applikation (Applet „Alarme“, Abbildung 9) für den Fertigungsclient entwickelt. In Abbildung 10 ist der Einsatz am BDE-System an der Pilotanlage zu sehen.

Dieses Applet hat über die MES- Datenbank direkten Zugriff auf alle aufgelaufenen Alarme und kann sich zusätzlich über WCF (Windows Communication Foundation) mit dem OPC-UA-Client-Gateway zu dessen Kontrolle und Steuerung verbinden.

The screenshot shows the 'ALARME' applet interface. The top bar is yellow with the 'Continental S' logo and 'RC' text. The main window title is 'ALARME'. Below the title bar, there are several sections:

- Informationen:** A form with fields for 'Gateway (Name):' (dropdown), 'Maschine/Anlage:' (text), 'Status:' (text), and 'Transfer (PDB):' (text). To the right, there are 'Einträge:' and 'Wartzeit:' labels with corresponding numerical values and dates.
- Alarme und Zustände:** A table with columns: 'an FM', 'Zeit', 'Alarmcode', 'Text/Bezeichnung', 'Wichtigkeit', 'Klasse', 'Typ'. Below this table is a summary table with columns: 'Alarmcode', 'gesamt', 'offen', 'bei FM'.
- Filter options:** 'Zeitspanne:' (dropdown), 'Wichtung:' (dropdown), 'Klasse:' (dropdown), 'Typ:' (dropdown).
- Function buttons:** A row of buttons labeled F1 through F10: 'Aktualisieren', 'Service initialisieren', 'Gateway starten', 'Gateway beenden', 'Transfer aktivieren', 'Transfer sperren', 'Übertragen', 'Zurücksetzen', 'Speichern'.

Abbildung 9: Fertigungsclient - Alarmapplet

Die komplette Bedienung des Fertigungsclients ist durch Benutzerrollen abgesichert. Eine Benutzung durch nicht-autorisiertes Personal wird damit unterbunden. Das Applet kann sich mit mehreren gleichgearteten Diensten verbinden. Um das passende Gateway (zur Anlage zugeordnet) auszuwählen, bedient man sich der Steuerelemente im oberen Bildschirmbereich. Dort werden auch zusätzliche Informationen wie:

- verbundene Anlage
- Betriebszustand des OPC-UA Gateway
- Verbindungstatus zum MES-System und
- Informationen zu den Datenqueues angezeigt.

Im mittleren Fensterbereich werden in der linken Liste alle Alarmer, die noch nicht geschlossen wurden (fehlender Status: GEHEN) zeitlich geordnet aufgelistet. In der rechten Liste werden alle Alarmer, summiert nach Störgrund, in einer kleinen Statistik dargestellt. In dieser werden auch Alarmer mit Status GEHEN angezeigt.

Die Behandlung von Anlagenstörungen bei der Continental Automotive GmbH am Standort Limbach-Oberfrohna ist so festgelegt, dass alle Störungen innerhalb einer Bediener-Erstinstandsetzungsfrist zu lösen sind. Erst wenn die Störung nicht behoben werden kann, wird die Fachabteilung Instandhaltung informiert, damit diese der Behebung der Störung nachgehen kann.

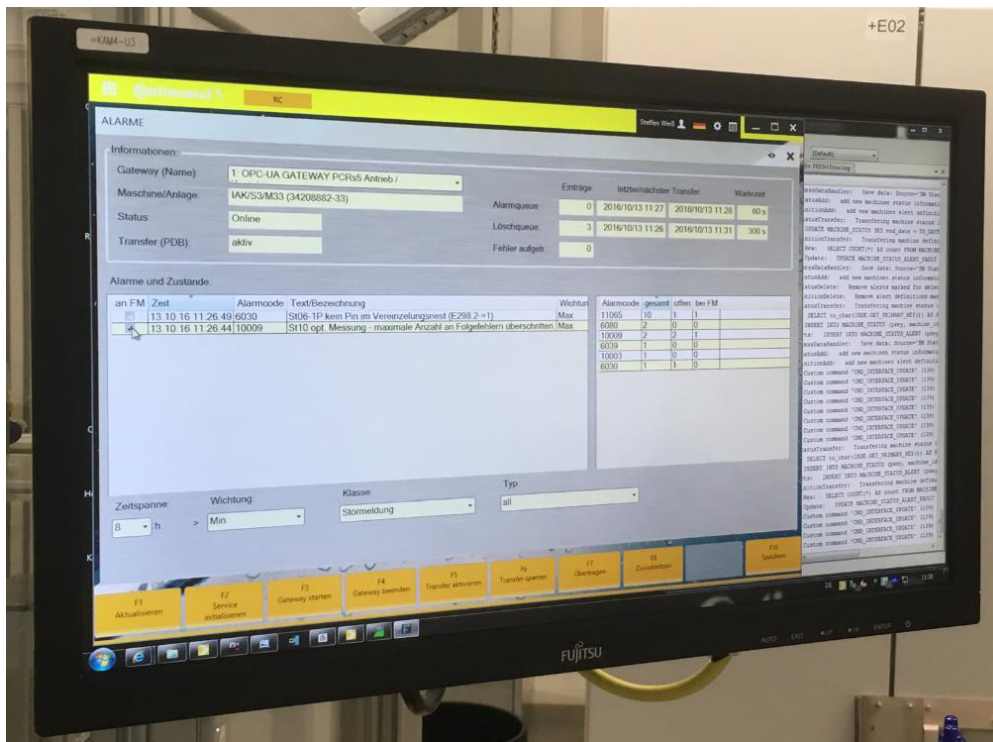


Abbildung 10: Fertigungsclient an der Xenon Pilotanlage

Dazu muss der Anlagenbediener über die Anwendung „Alarmer“ den betreffenden Alarm auswählen und über die Option „An FM“<sup>2</sup> markieren (s. Abbildung 11). Nach Speichern der Daten werden alle markierten Alarmer an das

<sup>2</sup> FM ... Facility Management (Abteilungsbezeichnung für die Instandhaltung)



Cockpit der Instandhaltung übergeben. Ein nachträgliches Ändern von an FM übergebenen Störmeldungen ist unterbunden.

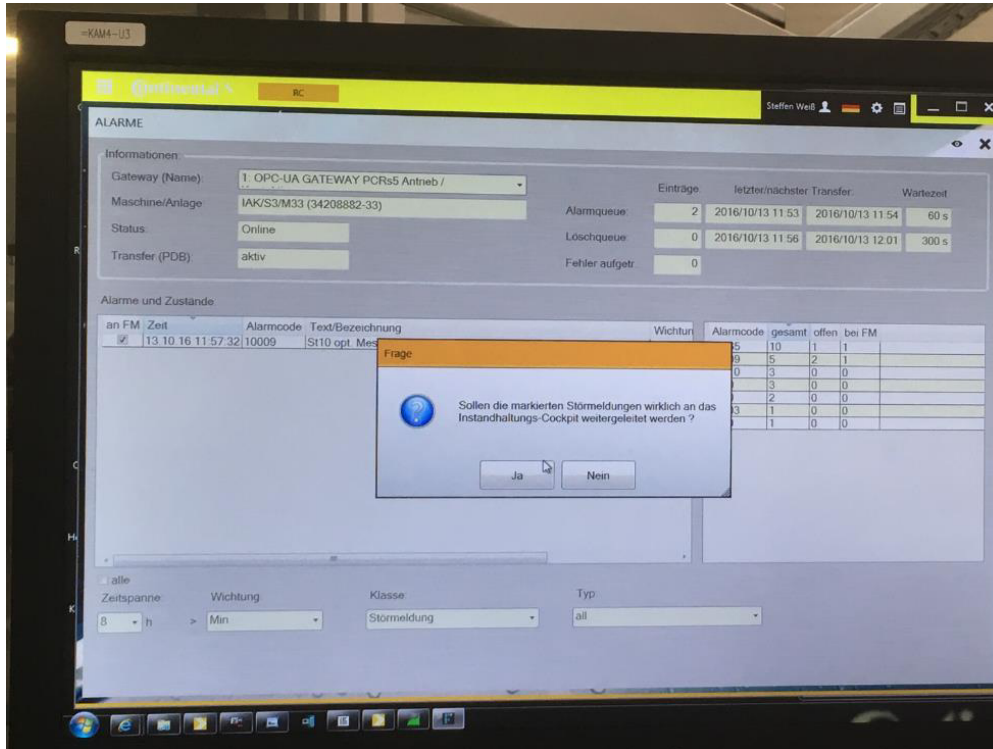


Abbildung 11: Störmeldung an das S-CPS Cockpit melden

Anschließend wird die Statistik neu berechnet und alle Ausgaben werden aktualisiert.

## 4.2 Front-End Instandhaltung/Management

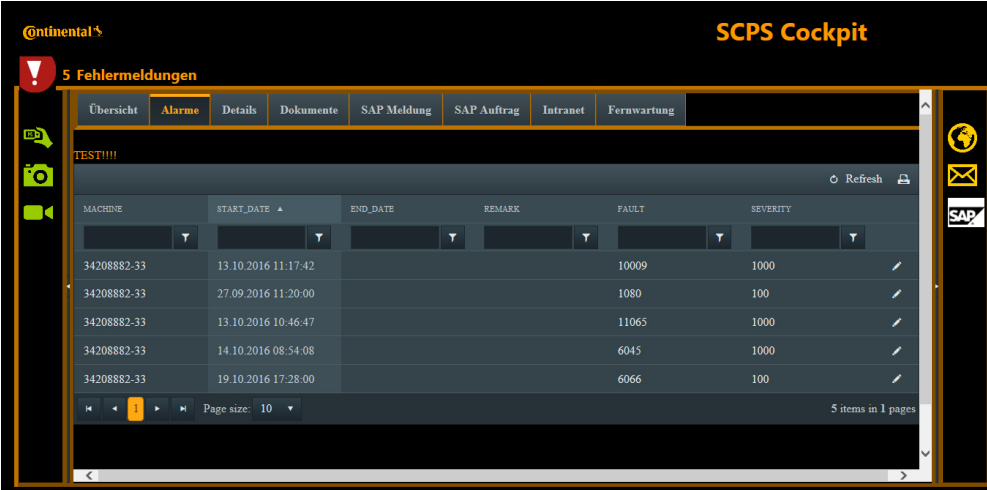
### 4.2.1 Nutzung des S-CPS Ressourcen-Cockpits

Das Continental S-CPS-Ressourcen-Cockpit wurde am Standort Limbach-Oberfrohnna entwickelt. Die Entwicklung unter .Net/C# nutzt die zentral gehostete Oracle Datenbank unseres MES-Systems als Datenquelle und -senke. Die Kommunikation erfolgt über das lokale Netzwerk des Standortes und ist als bilaterale Kommunikation ausgelegt. Damit ist das Ressourcen-Cockpit als verteilte WEB-Applikation auf beliebig vielen Geräten in unserem Firmennetz

mit einem zentralen Informationsstand nutzbar. Dies ermöglicht uns die Nutzung der App auf Tablets für das mobile Team der Instandhaltung, genauso wie die Nutzung als Darstellung der Gesamtsicht für das Management sowohl mobil als auch am normalen Desktop-Arbeitsplatz. Das Layout orientiert sich an den Untersuchungen und Vorgaben, die im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens erarbeitet wurden.

#### 4.2.2 Funktionen des S-CPS Ressourcen – Cockpits

Eine wesentliche Funktionalität des Ressourcen-Cockpits besteht in der Verarbeitung zustandsbezogener Informationen (Alarmer) von Maschinen und Anlagen. Über das standardisierte Back-End werden diese Informationen von den Maschinen und Anlagen erfasst und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung gestellt. Der Bediener der Anlage entscheidet, ob diese Informationen an der Maschine verbleiben (Zustände werden durch den Bediener abgearbeitet) oder ob sie in die nächste Ebene der Abarbeitung gehoben werden müssen. Im letzten Fall werden diese Alarmer im Ressourcen-Cockpit gelistet (s. Abbildung 12) und können durch den Instandhalter in Bearbeitung genommen werden. Die Details und mögliche Handlungsleitfäden zur Behebung der Alarmzustände können über das Ressourcen-Cockpit abgerufen werden.



**SCPS Cockpit**

5 Fehlermeldungen

Übersicht | Alarmer | Details | Dokumente | SAP Meldung | SAP Auftrag | Intranet | Fernwartung

TEST!!!!

Refresh

MACHINE	START_DATE	END_DATE	REMARK	FAULT	SEVERITY
34208882-33	13.10.2016 11:17:42			10009	1000
34208882-33	27.09.2016 11:20:00			1080	100
34208882-33	13.10.2016 10:46:47			11065	1000
34208882-33	14.10.2016 08:54:08			6045	1000
34208882-33	19.10.2016 17:28:00			6066	100

Page size: 10 | 5 items in 1 pages

Copyright©Continental Automotive GmbH - P ES INJ LBO

Abbildung 12: Zu bearbeitende Alarmer auf Basis MES-Datenbank



Diese Funktionalität wird ergänzt durch weitere Funktionen, die wesentlich zur Effizienzsteigerung der Instandhaltungstätigkeiten führen. Zu diesen Funktionen gehört der mobile Zugriff auf die Maschinendokumentationen aller Maschinen und Anlagen. Dazu kann in einem Struktur-Baum über Hallen, Maschinenbezeichner und Dokumentart selektiert werden. Das gewählte Dokument wird je nach Berechtigung/Rolle nur angezeigt oder kann in einem Editor auch bearbeitet werden (Abbildung 13).

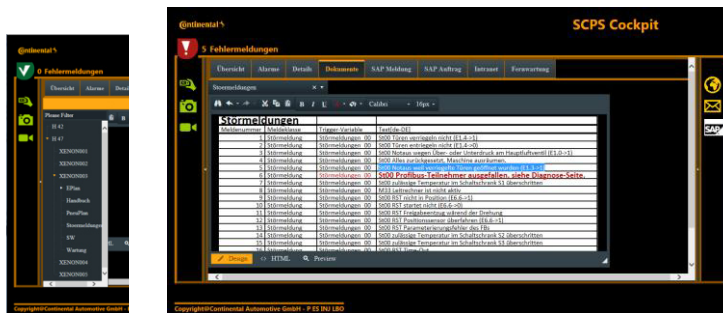


Abbildung 13: Selektion und Bearbeitung von Dokumenten

Da es fallabhängig immer wieder vorkommt, dass für die Bearbeitung von Alarmzuständen die Unterstützung des Maschinen-/Anlagenherstellers notwendig ist, ist am Standort Continental Automotive GmbH - Limbach-Oberfrohna ein System zur sicheren Remoteverbindung für diesen Anwendungsfall entwickelt worden. Diese Verbindungen müssen durch autorisierte Personen dediziert freigeschaltet werden. Um diese Freischaltung des Verbindungsaufbaus auch mobil verfügbar zu machen, ist auch diese Funktion in das Ressourcen-Cockpit integriert worden (Abbildung 14).



Abbildung 14: Dedizierte Freischaltung der Fernwartungszugänge

Als weitere Funktion ist die Abwicklung von Instandhaltungsaufträgen im ERP System SAP hinterlegt. Dazu kann direkt aus dem Ressourcen-Cockpit heraus eine Instandhaltungsmeldung (Auftrag) angelegt werden und dieser kann auch nach Abschluss der Arbeiten zurückgemeldet werden – damit ist im ERP System die Abarbeitung des Auftrages und dessen Inhalt hinterlegt und kann monetär bewertet werden. Diese Funktionen sind in der Abbildung 15 dargestellt.



Abbildung 15: SAP Auftragsbearbeitung direkt aus dem Ressourcen-Cockpit

Auch auf weitere firmeneigene Systeme kann zugegriffen werden. Dazu gehören das Intranet, das Email System und andere.

Für das Management ist auf Basis des Systems ein Überblick über die existierenden Störungen und Alarmzustände in allen Fertigungsbereichen möglich. Ressourcen-Engpässe können erkannt und zeitnah behoben werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der Forschungstätigkeiten zeigen pilothaft die Möglichkeiten eines S-CPS-Systems für die Instandhaltung. Im Ergebnis wurden Grundlagen geschaffen, Metadaten einer Maschine für verschiedene Nutzergruppen bereitzustellen und anwendbar zu machen. Der entwickelte OPC-UA-Server kann je nach den speziellen Erfordernissen sämtliche Maschinendaten aus der Maschinensteuerung (SPS) und deren untergeordneten Systemsteuerungen bereitstellen und im zeitlichen Kontext an ein übergeordnetes System übergeben. Dabei ist es unerheblich, wie viele Module eine Maschine umfasst, da über den OPC-UA-Server die Daten mehrerer Module verwaltet und organisiert werden können. Es wurde im Rahmen dieses Projektes gezeigt,

wie die innerbetriebliche Bereitstellung der Daten für verschiedene Nutzergruppen als Unterstützung für die Produktion und den Instandhaltungsprozess erfolgen kann. Dabei stand neben der Bereitstellung der Daten vor allen auch die automatische Weiterleitung der Störungsmeldungen an das Instandhaltungs-Cockpit im Focus, um eine unverzügliche Störungsbehebung durch das Instandhaltungspersonal einleiten zu können. Bei Einsatz der entwickelten Systeme können in Zukunft Produktionsstillstandzeiten wesentlich reduziert werden. Der erreichte Entwicklungsstand des Demonstrators erlaubt es, dass in nachfolgenden Schritten die Integration des OPC-UA-Servers in alle anderen Module der Xenon Maschine erfolgen kann. Bisher betrifft dies jedoch nur die Maschinendaten, die durch ein von Xenon entwickeltes SPS Programm bereitgestellt werden.

Der entwickelte OPC-UA-Server stellt die Grundlage für den Standard der neuen Leitrechnergeneration (übergeordnetes System) bei Xenon dar. Der OPC-UA-Server kann universell zur Bereitstellung von Maschinendaten in allen anderen von Xenon gelieferten Maschinen eingesetzt werden und durch Modifizierung der Schnittstellen zu übergeordneten Systemen angepasst werden. Ein weiterer Entwicklungsschritt wird die Anpassung und Integration des OPC-UA-Servers in Xenon – fremde Maschinen und Module sein, um die Datenbereitstellung für komplette Fertigungslinien zu realisieren. Das kann nur in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Systemherstellern erfolgen, da hierzu die Bereitstellung der Daten aus den jeweiligen Maschinen- und Systemsteuerungen erforderlich sind.

Der flächendeckende Einsatz dieses Systems für den kompletten Maschinen-/Anlagenbestand ist der nächste Schritt bei der Verwertung dieser Ergebnisse am Standort Continental Automotive GmbH – Limbach-Oberfrohna, wobei hier auch an die Erfassung weiterer Informationen im Sinne des „Condition Monitoring“ zu denken ist. Ist dieser Schritt abgeschlossen, geht es daran, eine weitere Integration dieses Systems in eine Service- und Systemlandschaft zu entwickeln und voranzutreiben.

## 6 Literaturverzeichnis

Neubert, C. (2014). S-CPS Lastenheft 2014 (Lastenheft für das Forschungsprojekt S-CPS). Limbach-Oberfrohna

## Autoren



### Neubert, Colette

Colette Neubert studierte an der TU Chemnitz Gerätetechnik und spezialisierte sich auf dem Gebiet der Lasertechnik und Informatik im Kontext medizintechnischer Gerätetechnik. Über die Themen Simulation, Software und Administration von Systemlandschaften im produzierenden Gewerbe erarbeitete Sie sich einen Gesamtblick auf die IT Landschaft produzierender Unternehmen und ist jetzt als IT Leiterin bei der Continental Automotive GmbH am Standort Limbach-Oberfrohna tätig.



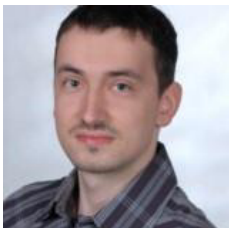
### Stelzner, Jörg

Jörg Stelzner studierte Maschinenbau Fachrichtung Konstruktionstechnik an der Technischen Universität Chemnitz. Er arbeitet seit über 20 Jahren im Bereich Service, darunter über 15 Jahre in der Instandhaltung für Werkzeugmaschinen und Produktionsanlagen. Er leitet das Service-Center der Xenon Automatisierungstechnik GmbH in Dresden mit dem Schwerpunkt der Optimierung von Serviceprozessen, unter Verwendung moderner I&K Technologien.



### Weiß, Steffen

Steffen Weiß studierte Elektrotechnik an der TU Dresden und spezialisierte sich auf dem Gebiet der Informationstechnik. Nach dem Studium arbeitete er mehrere Jahre in der Softwareentwicklung für Firmen der Messtechnik, Forschung und Automobilindustrie. Seit mehr als 15 Jahren ist er bei Continental Automotive GmbH Limbach-Oberfrohna Bereich IT beschäftigt. Seine Aufgabe ist es, in MES Themen zu beraten und Applikationen zur Unterstützung der Produktion zu entwickeln.



### Koppitz, Stefan

Stefan Koppitz studierte Medien-Informatik an der Technischen Universität Dresden und schloß dieses Studium 2009 ab. Aktuell ist er bei der Firma Xenon Automatisierungstechnik GmbH tätig und konzentriert sich auf die Programmierung von SCADA, Linien- bzw. Leitrechnersystemen und MES-Funktionalitäten.

# Entwicklung eines mobilen Shopfloor-Assistenzsystems zur Unterstützung der Instandhaltung im Karosseriebau

Michael Schacht<sup>1</sup>, Michael Niemeyer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fertigungsplanung Automatisierungstechnik Audi AG, Neckarsulm

## Zusammenfassung

In einer komplexen, hochautomatisierten Produktion, wie sie ein Karosseriebau darstellt, ist für die Erreichung der Produktionsziele eine hohe Verfügbarkeit der Komponenten unumgänglich. Aus den steigenden Produkthanforderungen resultiert eine vielfältige Prozess- und Fügetechnik, was zu einem erhöhten Anforderungsprofil der Mitarbeiter (MA) führt. Ein Weg, diesen Anforderungen zu begegnen, ist die Schaffung einer Assistenz für den Instandhalter. Vor diesem Hintergrund ist Ziel des Forschungsprojekts S-CPS, die Grundlagen für eine derartige Assistenz zu schaffen und eine Pilotanwendung umzusetzen. Der Fokus lag bei der Entwicklung in der Einbeziehung der Anwender in den Entwicklungsprozess und der Schaffung einer Plattform, die alle Prozesse und Anlagen eines Karosseriebaus bedient.

## 1 Einleitung

In dem Forschungsprojekt Ressourcen-Cockpit Sozio-Cyber-Physische Systeme (S-CPS) soll ein Ressourcen-Cockpit (RC) entwickelt werden, welches alle für die Aufrechterhaltung des Produktionsbetriebs relevanten Datenflüsse kanalisiert und dem Mitarbeiter aufbereitet zur Verfügung stellt. In dem Ressourcen-Cockpit erfolgt die Bereitstellung aller für eine Störung relevanten Informationen über ein mobiles Device, z.B. Tablet oder Smartphone.

Darüber hinaus ist ein weiteres Ziel, einen Community-Charakter über die Applikationen zu generieren, sodass Mitarbeiter und Instandhaltung das RC zur Kommunikation nutzen können. Dies soll u.a. durch einen Messenger Service realisiert werden. Ein Rechte- und Rollenkonzept bereitet die Informationen für die entsprechenden Nutzerkreise auf und stellt dynamisch die richtigen Informationen bereit.

Für die Anforderungsermittlung wurde eine Nutzerbefragung durchgeführt, welche die Entwicklung hinsichtlich Usability und Anwendungsspektrum maßgeblich beeinflusst hat. Die Nutzerkreise sind dabei alle produktionsangrenzenden Bereiche, wie Planung, Instandhaltung, Betreiber und Lagerwesen. Als Ergebnis der Anforderungsanalyse ist insbesondere eine bessere Informationsversorgung zu nennen.

Um ein detaillierteres Meldewesen zu erreichen, ist die Maschinenanbindung an das Informationsnetzwerk zu erweitern. Dafür ist eine Maschinenanbindung zu etablieren, welche den Anforderungen eines Internet der Dinge gerecht wird und soweit standardisiert ist, dass eine Flexibilität sämtlicher Komponenten der Automobilfertigung gewährleistet ist.

## 2 Ermittlung des Assistenzbedarfs bei Mitarbeitern im Karosseriebau

Das Anforderungsprofil eines Mitarbeiters in der Produktion, beziehungsweise der Instandhaltung, ist einem starken Wandel unterworfen. Methoden, wie bspw. „learnig by doing“ oder „trial and error“ haben im heutigen hochproduktiven Umfeld keinen Platz mehr. Vielmehr müssen Instandhalter und Straßenführer vor Ihrem ersten Einsatz in der Produktion über Ihre Grundausbildung hinaus qualifiziert werden, um den hohen Anforderungen gerecht zu werden. Im Zuge der gestiegenen Produkthanforderungen, wie z.B. der Reduktion des Fahrzeuggewichts, kommen heute in einem Fahrzeug verschiedenartige Materialien zum Einsatz. Aufgrund dieses Multi-Material-Designs steigen die Anforderungen an die Flexibilität der Fügeprozesse und es kommt zum Einsatz unterschiedlichster Fügeverfahren. Dies hat zur Folge, dass sich die Anzahl der derzeitig >25 Fügeverfahren in den letzten Jahren mehr als verdoppelt hat (Koglin & Elend, 2012).

Die hohe Anzahl der Fügeverfahren führt dazu, dass die Quantität und Komplexität des Qualifizierungsbedarfs steigt (vgl. Abbildung 1). Es entsteht ein zusätzlicher Qualifizierungsbedarf, der nicht nur durch Schulungen abbildbar wird. Daraus resultieren Wissenslücken, welche effizient nur durch ein Nachlernen der Technologie geschlossen werden können. Mittels einer Mitarbeiterumfrage wurde der Informations- und Unterstützungsbedarf der Mitarbeiter evaluiert. Die Durchführung der Umfrage erfolgte nach der Methode eines teilstrukturierten Interviews mit sowohl vordefinierten als auch mit Multiple Choice Fragestellungen. Die Fragestellungen wurden in einer Voranalyse ermittelt. Inhaltlich ist die Erhebung nach folgenden Themen gegliedert:

- allgemeine Fragestellungen zum Instandhaltungsprozess
- Ereignismeldungen
- Aufgabenbearbeitung
- Maßnahmendokumentation
- Gestaltung eines Assistenzsystems
- Technikaffinität zu mobilen Endgeräten

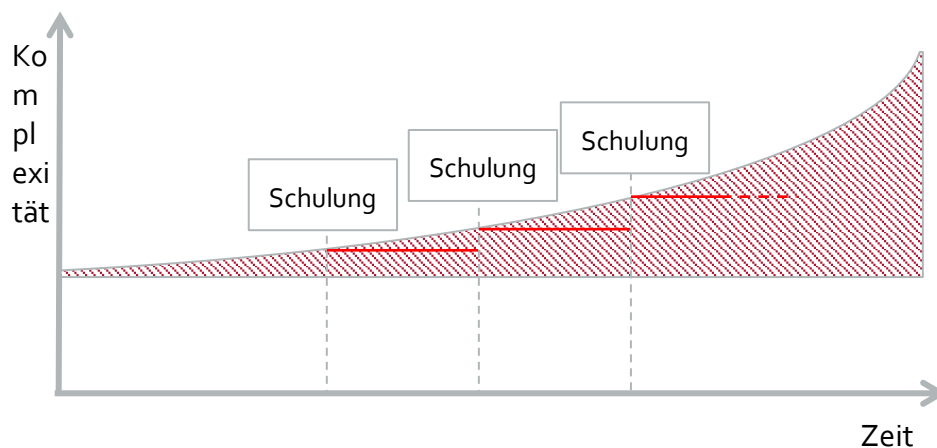


Abbildung 1: Qualifizierungsbedarf der Mitarbeiter

Die Umfrage wurde aufgrund des Jobsplits in der Anlageninstandhaltung und -wartung zwischen Produktionsmitarbeitern und Instandhaltern gleichermaßen mit beiden Parteien durchgeführt. Dadurch konnten die Anforderungen der jeweiligen Rolle, deren Informationsbedarf sowie deren Arbeitsweisen im Fall einer Anlagenstörung identifiziert werden.

### Ergebnisse der Mitarbeiterumfrage

Die Analyse des Tätigkeitsbereichs der Instandhalter hat ergeben, dass die reaktive Instandhaltung nur ca. 50% der Zeit des MA beansprucht. Zusätzliche Themen wie Wartung, Inspektion und Anlagenoptimierung teilen sich die restliche Zeit zu gleichen Anteilen auf. Eine Anlageninbetriebnahme tritt nur sporadisch beim Austausch bspw. einer Robotersteuerung auf und ist vernachlässigbar. Die Straßenführer weisen im Sinne des Jobsplits einen ähnlichen Tätigkeitsbereich auf, jedoch um die Tätigkeit des Einlegens erweitert und ei-



ner nahezu gleichmäßigen Verteilung aller Tätigkeiten. Die Qualitätssicherung der produzierten Teile ist ein zyklisch auftretender Prozess, der jedoch nur ein bis zwei Mal pro Schicht auftritt und demnach vernachlässigbar ist.

Der Zeitbedarf der Informationsbeschaffung beim Auftreten einer Störung beträgt ca. 30% der durchschnittlichen Instandhaltungsdauer, weitere 30% werden für die Laufwege zur Anlage benötigt und 40% werden für die eigentliche Instandsetzung des betroffenen Systems benötigt. Insbesondere die lange Dauer der Informationsbeschaffung stellt hierbei ein Optimierungspotential dar. Wird die Fehleridentifikation differenziert zwischen den Nutzern betrachtet, so unterscheidet sich das dahingehend, dass für Straßenführer das primäre Informationssystem das Manufacturing Execution System (MES) ist, welches die Pagermeldungen generiert und die geringste Datengranularität aufweist. Sekundär wird die Anlagenuisualisierung genutzt und als letzte Möglichkeit die Roboter-/ Prozessgerätbedienung. Als primäres Informationssystem nutzt der Instandhalter hingegen direkt die höchste Ebene der Granularität am Prozessgerät. Bei der Fehleridentifikation zeigt sich eine teilweise notwendige Unterstützung dahingehend, dass Leitfäden zur Instandhaltung herangezogen werden müssen. Diese Leitfäden sind partiell als Hardcopy an der Anlage verortet, jedoch auch digital im Instandhaltungssystem. Ein weiterer Weg der Informationsbeschaffung ist der direkte Kontakt zu anderen Mitarbeitern der Instandsetzung.

Aus der Umfrage ergibt sich das Bild, dass eine verbesserte Ereignismeldung die Produktions- und Instandhaltungsmitarbeiter unterstützen würde. Eine Ereignismeldung soll verständliche Meldetexte – unterschieden nach elektrischer oder mechanischer Störung – einem freien Instandhaltungsmitarbeiter bereitstellen.

Daraus resultiert, dass durch ein verbessertes Informationskonzept die Instandsetzungsdauer deutlich reduziert werden kann. Dies geschieht zum einen dadurch, dass bei Auftreten der Störung bereits Informationen zur Störung kommuniziert werden und zum anderen auf Basis von Handlungsempfehlungen sowie direkt verfügbaren Leitfäden der Instandsetzungszeitraum reduziert werden kann.

### **Untersuchung des Instandhaltungsablaufs**

Für die Ausgestaltung des Ressourcen-Cockpits ist dessen Anwendung innerhalb des Instandhaltungsvorgangs zu identifizieren. Dafür ist der IST-Prozess zu analysieren, um Anwendungspunkte für das RC zu finden. Diesem Prozessmodell wurde ein Informationsmodell hinterlegt. Nach Prozessopti-

mierung und Identifikation aller Daten ließ sich daraus ein Soll-Prozess ableiten, welcher den Prozess unter Einbeziehung des RC optimiert. Dem Soll-Prozess sind alle angrenzenden IT-Systeme hinterlegt, welche unmittelbar an dem gesamten Instandsetzungsprozess beteiligt sind. Die Erstellung der Prozesse erfolgte gemäß einer im Projekt erarbeiteten Modellierungsrichtlinie, so dass diese auch als Grundlage für die funktionalen Anwendungen und der Referenzarchitektur herangezogen werden konnten.

### 3 Anforderungsanalyse

Für die Umsetzung eines mobilen Assistenten ist vorerst eine detaillierte Anforderungsanalyse durch den späteren Nutzer des Ressourcen-Cockpits durchzuführen. Das Ergebnis der Anforderungsanalyse wurde mittels paarweisem Vergleich gewichtet und so Anforderungen priorisiert. Daraus ergaben sich vier Anforderungsbereiche:

- Hardwareanforderungen und Bedienbarkeit
- prozessrelevante Daten
- Softwareschnittstellen (Office-Systeme)
- Softwareschnittstellen (Produktionssysteme und Anlagen)

Bei den Hardwareanforderungen wurde primär auf eine geringe Baugröße Wert gelegt. Eine Displaygröße von fünf bis acht Zoll galt in der Bewertung als ideal, da das Gerät zur persönlichen Mitarbeiterausrüstung gehört und immer „am Mann“ getragen werden soll. Durch die ständige bewusste Mitführung des Geräts wurde die gängige Tabletgröße von zehn Zoll abgelehnt. Zusätzlich stand die Industrietauglichkeit der Geräte im Vordergrund, da ein solches Device auch bei größeren Stößen funktionsfähig bleiben muss.

Eine einfache Bedienung, analog gängiger Smartphones, wurde im Gegensatz zu Tasten bevorzugt. Ebenfalls soll die Software selbsterklärend sein und eine Softwareergonomie aufweisen, die heutigen Standards entspricht. D.h. eine gute Userführung ist ebenso wichtig wie die Beschreibung der Aufgaben und Tätigkeiten. Handlungsempfehlungen sollen durch Piktogramme, Abbildungen und kurze, verständliche Textpassagen beschrieben werden.

Das RC soll alle prozessrelevanten Daten zur Verfügung stellen. Diese beinhalten primär detaillierte Störmeldungen. Auf die Inhalte der Störmeldungen wird im vierten Kapitel ausführlich eingegangen. Zusätzlich zu den aktuell anstehenden Meldungen soll es ein Meldungsarchiv geben, in dem explizit die Historie des meldenden Prozessgeräts aufgezeigt wird. Hintergrund dafür ist, zu überprüfen, ob die vorangegangenen Störungen mit der aktuell anstehenden in Verbindung gebracht werden können. Zusätzlich ist die Stördauer mit

aufzunehmen. Dadurch kann eine schrittweise Ausweitung des Instandhalterkreises erreicht werden, um eine Störung effizient zu beheben. Darüber hinaus ermöglicht dies eine Auswertung der durchschnittlichen Instandhaltungsdauer bei bestimmten Störungsszenarien.

Eine Anlagenübersicht des aktuell betroffenen Bereichs soll Aufschluss über weitere anstehende Aktivitäten, bspw. Wartung oder Sichtprüfung, geben. Dadurch sollen Laufwege reduziert werden, sodass der Mitarbeiter die Zeit an der Anlage effizient nutzen kann. Ebenso soll ein Zugriff auf Lager- bzw. Ersatzteildaten möglich sein. D.h., sobald eine eindeutig identifizierte Störung auftritt, soll der etwaige Ersatzteilbedarf direkt bei der Rolle Lagerist auflaufen, sodass das Bauteil schnellstmöglich bereitgestellt werden kann.

Schnittstellen zu anderen Produktions- und Office-Systemen sollen durch das RC ermöglicht werden. Das beinhaltet den Zugriff auf die Prozessgeräte, die Anlagensteuerungen (SPS) und Nebenbedienpulte. Diese Anforderung resultiert aus den teilweise großen Laufwegen zwischen einem Störungsort und den Bedienelementen einer Anlage, wodurch es zu Verzögerungen im Instandhaltungsablauf kommt. Sicherheitsrelevante Aspekte sind dabei zu berücksichtigen, da eine Fernsteuerung einer Anlage ohne Sichtkontakt nicht zulässig ist. Weitere Funktionalitäten richten sich hinsichtlich des Netzwerkzugriffes auf Office- und Kommunikations-applikationen. Der Zugriff auf das Lagerverwaltungssystem soll ebenso möglich sein, wie der Zugriff auf das Manufacturing Execution System. Eine Verbesserung der Kommunikation soll über klassische Messenger-Funktionen, wie Chats und dem Versenden von Bildern erreicht werden. In Summer wurden 37 funktionale Anforderungsblöcke definiert. Aufgrund der unterschiedlichen Nutzerrollen wurde für dieses Anforderungsprofil ein Rollenkonzept erarbeitet.

### **Rollenkonzept**

Im gesamten Nutzerkreis sind elf unterschiedliche Rollen identifiziert worden. Die Rollen lassen sich nach Produktion, Instandhaltung und Planung gliedern. Für jede Rolle wurde eine Analyse durchgeführt, welche funktionalen Anforderungen zur Verfügung stehen müssen und dürfen. Zusätzlich sind die Funktionalitäten nach Lese- und Schreibrechten gegliedert. Ein Auszug des erstellten Rollenkonzepts ist in Abbildung 2 dargestellt. So ist beispielsweise der manuelle Eingriff in der Priorisierung von Störungen der Leitungsebene vorbehalten, wohingegen diese keinen Zugriff auf Bedienpulte haben.

Abteilung	Rolle	Endgerät	Mobiler Zugriff auf	Mobiler Zugriff auf	Mobiles Abarbeiten v
			Bedienpulte	Prozessgeräte	Prüfprotokollen und Checklisten
Instandhaltung	Leiter	Desktop & Tablet			
	Gruppenleiter	Tablet			
	Instandhalter Elektrik	Tablet			
	Instandhalter Mechanik	Tablet			
	Technischer Sachbearbeiter	Tablet			
	Lagerist	Desktop			
Produktion	Leiter	Desktop & Tablet			
	Gruppenleiter	Tablet			
	Straßenführer	Anlagen PC / Tablet			
Planung	Fertigungsplanung	Desktop / Tablet			
	Automatisierungstechnik	Desktop / Tablet			

Abbildung 2: Auszug aus Rollenkonzept

Zusammenfassend kann aufgrund der Anforderungsanalyse die Notwendigkeit einer Assistenz bestätigt werden. Um eine hohe Akzeptanz des Systems beim Mitarbeiter zu erreichen, muss das RC so aufgebaut sein, dass die Usability im Vordergrund steht. D.h., die Anforderungen an eine verständliche Bedienoberfläche sind elementar. Ein entsprechender Changemanagement-Ansatz ist notwendig, damit das System erfolgreich implementiert wird.

## 4 Konzept der Datenanbindung

Um die Anforderungen an ein RC bezüglich der Datenversorgung realisieren zu können, ist die bestehende Infrastruktur als Datenquelle zu bewerten. Die heutige Vernetzung zwischen Prozess- und Handhabungsgeräten sowie Steuerungen wird heute durch die Prozesssteuerung dominiert. D.h., die Systeme kommunizieren über Automatisierungsbussysteme, wie bspw. dem PROFInet. Im PROFInet werden zyklisch getaktet Informationen zur Steuerung von Prozessen ausgetauscht. Diese Daten werden Bit-basiert kommuniziert, d.h. innerhalb eines Telegramms stehen einzelne Bits zur Kommunikation von fest definierten Inhalten, bspw. dem Start eines Schweißprozesses, zur Verfügung. Aufgrund dieser codierten Verdichtung von Informationen ist eine Echtzeitfähigkeit möglich, jedoch können keine größeren Datenmengen kommuniziert werden. Des Weiteren ist nur eine hierarchische Informationsweitergabe möglich (vgl. Abbildung 3). Dadurch erfolgt bereits eine erste Verdichtung von Informationen, da das Prozessgerät an den Roboter kommuniziert und dort die Information vorverarbeitet bzw. gefiltert und an die SPS weitergeleitet wird. Tritt an einem Prozessgerät eine Störung auf, so wird eine Bitstörung oder eine Fehlernummer an den Roboter kommuniziert. Nach der Vorverarbeitung wird eine Sammelstörung an die SPS gesendet, welche nur

noch geringen Informationsgehalt aufweist. Eine direkte Kommunikation zwischen Prozessgerät und SPS oder MES kann nicht stattfinden.

Die Anforderungen an eine Vernetzung zur Kommunikation zwischen den Komponenten des Karosseriebaus und dem RC weichen in wesentlichen Aspekten von denen der Prozesssteuerung ab. Vereinfacht dargestellt ist eine Echtzeitfähigkeit bei der Kommunikation von Störungen und Meldungen nicht notwendig. Das gilt ebenso für die Übertragung größerer Datenmengen, welche bei der Analyse von Prozesskurven anfallen. Darüber hinaus müssen Informationen sowohl über Push- und Pull-Mechanismen verfügbar gemacht werden können.

Um eine dynamische Vernetzung zwischen den Produktionskomponenten zu erreichen, ist ein alternatives Kommunikationsprotokoll zu verwenden, welches ein flexibles Adressierungskonzept aufweist. In Kooperation mit den Forschungspartnern wurde gemäß der Anforderungen das OPC UA Protokoll ausgewählt. Dadurch wird eine direkte Kommunikation zwischen verschiedenen Servern (bspw. Prozessgeräte, die Daten bereitstellen) und Clients, welche die Daten und Informationen auswerten, ermöglicht.

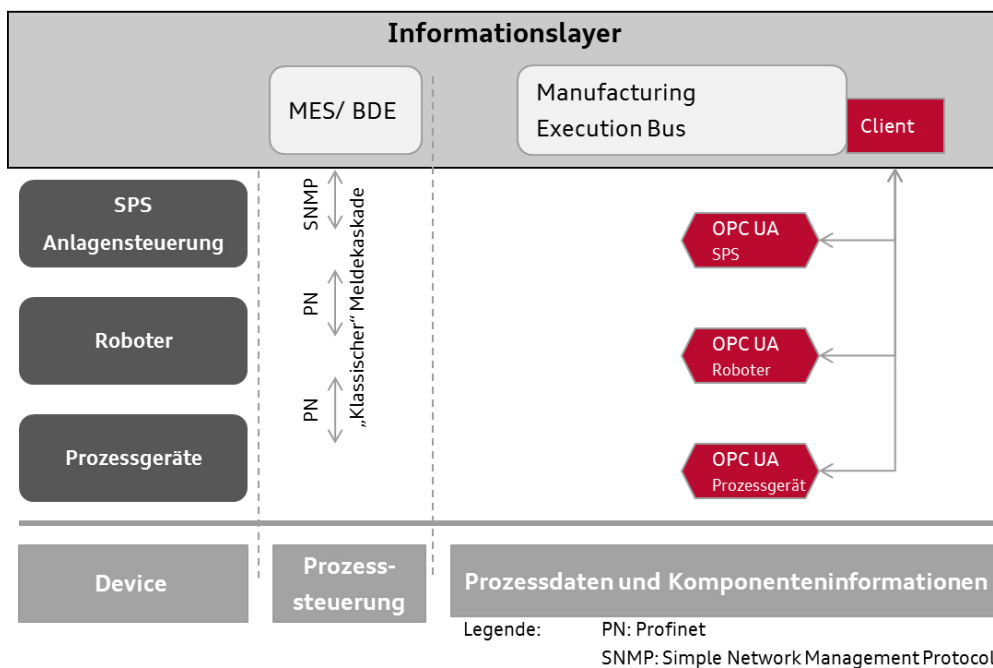


Abbildung 3: Kommunikationsprinzipien Ist (PN/SNMP) und Konzept (OPC-UA)

Durch den Aufbau eines Informationslayers ist es möglich, dass alle Datenquellen Informationen mit gleicher Semantik kommunizieren und diese somit auch interpretiert werden können. Durch eine Untersuchung der Prozessgeräte, welche im Karosseriebau eingesetzt werden, konnte ein allgemeingültiger Namensraum aufgebaut werden. Dieser Namensraum ist in drei Strukturen gegliedert, den Geräteinformationen (OpcMachineInfo), den Meldetexten (OpcErrorMessagesTXT) und der Alarmdatenstruktur (OpcAlarm). In den Geräteinformationen werden alle relevanten Maschinen-daten verortet. Sobald der Client sich mit dem Server konnektiert, wird eine Geräteinstanz angelegt. Dabei wird geprüft, ob diese Instanz bereits verbunden war. Wenn der Client bekannt ist, wird die .VersionMsgFile (vgl. Tabelle 1) mit der bekannten Instanz des Clients verglichen. Gibt es bspw. durch ein Softwareupdate Abweichungen wird die Struktur OpcErrorMessageTxt (vgl. Tabelle 2) abgefragt und somit die Instanz aktualisiert. Ist der Client nicht bekannt, werden die Meldetexte abgefragt und eine Instanz wird angelegt. Durch die am Prozessgerät eingestellte Landessprache (.countryId) werden nur die Meldetexte der jeweiligen Landessprache aktualisiert.

*Tabelle 1: Namensraum für Prozessgeräte (Geräteinformationen)*

		Datentyp	Länge	Beschreibung
OpcMachineInfo	.manufacture	String	20	Hersteller
	.devicetype	String	20	Maschinentyp
	.station	String	20	Stationsbezeichnung
	.countryId	String	20	Länderkennung
	.VersionMsgFile	String	20	Versionsinformation zu den Fehlermeldungstexten.

*Tabelle 2: Namensraum für Prozessgeräte (Meldetexte)*

		Datentyp	Länge	Beschreibung
ErrorMessagesTxt	.ErrMsgId	Dint	20	Fehlernummer
	.ErrMsgLang	String	20	Sprache
	.ErrMsgTxt	String	255	

Bei Auftreten einer Meldung wird seitens des Servers die OpcAlarm Struktur (vgl. Tabelle 3) gepusht, welche Fehlernummer, Fehlertyp, fehlerhaftes Modul und Begleitwerte kommuniziert. Aus Fehlernummer und Meldungstext wird im Client die komplette Meldung zusammengesetzt. Der Vorteil in der Kommunikation der Fehlernummer liegt in der Möglichkeit der Umsetzung einer Mehrsprachigkeit im Client. Sollen bspw. unterschiedliche Sprachen kommuniziert werden, so werden die Meldetexte in mehreren Sprachen, gemäß eingestellter .countryId im Client vorgehalten und können somit anhand der Fehlernummer zugeordnet werden. Diese kombinierte Meldung wird ans RC übertragen.

Tabelle 3: Namensraum für Prozessgeräte (Auszug aus Alarmdatenstruktur)

				Datentyp	Länge	Beschreibung
OpcAlarm	.value			Int		Trigger für den Alarmevent
	.data[1..20]			Struct	20	
		.ErrorId		DINT		Fehlernummer
		.ErrorIdAddon		DINT		
		.ErrorType		DINT		Fehlertyp
		.Module		Struct		Modulinfo

## 5 Umsetzung

Die Umsetzung der Datenanbindung wurde mit den Projektpartnern und einem Prozessgerätehersteller für Stanznietsysteme, der Firma Böllhoff GmbH & Co. KG, umgesetzt. Der OPC UA Client wurde vom Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik entwickelt und in die Softwareumgebung von der CBS Information Technologies AG integriert. Der Server wurde von der Fa. Böllhoff gemäß des beschriebenen Namensraums entwickelt. Die Erstimplementierung erfolgte an einem Live-System im Karosseriebau des aktuellen Audi A8. Auf Basis der Vorgaben an eine GUI (vgl. Abbildung 4) an die Projektpartner wurde ein Frontend entwickelt, welches die geforderte Usability an eine mobile Applikation umsetzt.

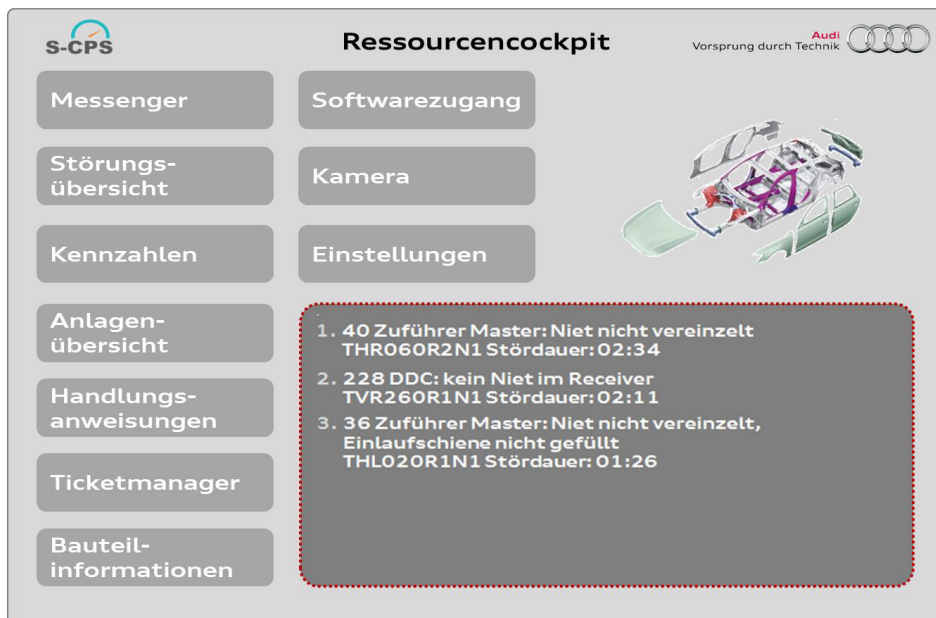


Abbildung 4: Mock-Up einer GUI des RC - Vorgabe Audi

Aus der Vorgabe und den Anforderungen der Projektpartner wurde das Frontend gemäß Abbildung 5 umgesetzt.

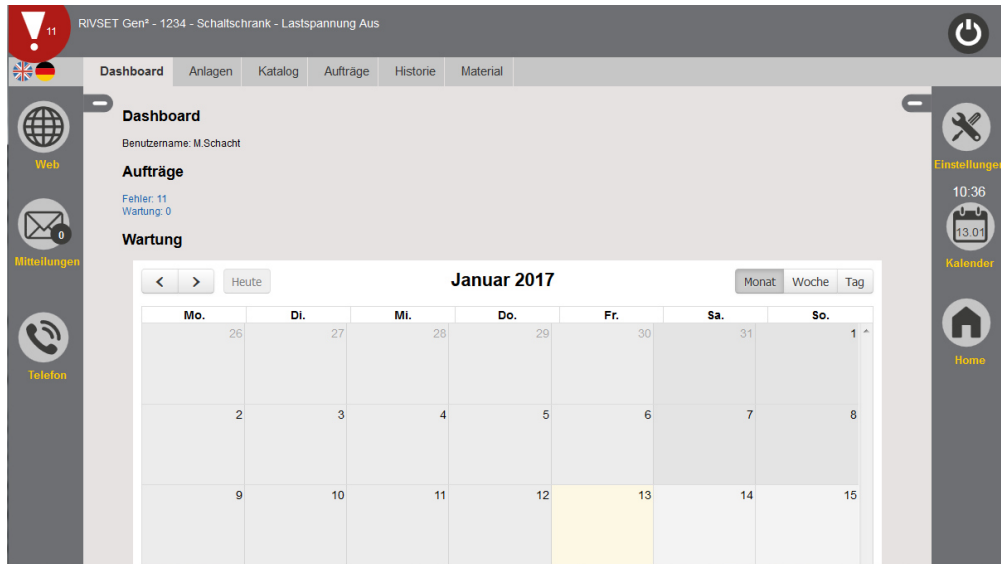


Abbildung 5: Frontend Ressourcen-Cockpit

Aufgrund der von Audi geforderten Funktionalitäten an das RC sind bspw. die Funktionen Web-Zugriff und Telefon nicht implementiert. Die Usability wurde auf einem acht Zoll Tablet getestet. Dabei wurde offensichtlich, dass Anforderungen an eine Touch-Oberfläche ein besonderes Augenmerk erfordern. Dies zeigt sich in der Gestaltung und Größe der Schaltflächen sowie bei Gestensteuerungen.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Mobile Shopfloor-Assistenzsysteme können die Effizienz im Betrieb und dessen Aufrechterhaltung steigern. Im BMBF-geförderten Forschungsprojekt Ressourcen-Cockpit Sozio-Cyber-Physische Systeme konnte diese These detailliert und bestätigt werden. Basierend auf einer Untersuchung des bestehenden Prozesses zum Assistenzbedarf des Mitarbeiters wurde eine Anforderungsanalyse durchgeführt. Daraus resultiert, dass bestehende Informationssysteme nicht die Granularität aufweisen, wie diese für eine Datenversorgung notwendig ist.



Um diese Datenversorgung zu gewährleisten wurden neue Kommunikationsmechanismen betrachtet, die eine dynamische Vernetzung und die Übertragung größerer Datenmengen ermöglichen. Auf Basis der Anforderungsanalyse wurde eine Semantik erarbeitet, die im OPC UA Standard umgesetzt werden konnte. Damit wurde eine Möglichkeit geschaffen, die eine I4.0-konforme Kommunikation erlaubt.

Die Datennutzung für die Assistenzfunktionalität wurde im Ressourcen-Cockpit umgesetzt und ermöglicht somit die Nutzung durch den Mitarbeiter der Instandhaltung und der Produktion. Um die Informationen richtig zu adressieren wurde ein Rollenkonzept erarbeitet, welches die Datennutzung und Datenmanipulation regelt. Mit dem Ressourcen-Cockpit konnte ein wesentlicher Aspekt der Anforderungsliste, die Bereitstellung detaillierter Meldetexte, erfüllt werden. Dadurch werden Auswertungen über das Verhalten der Betriebsmittel im realen Betrieb ermöglicht.

Das Projekt S-CPS hat die Machbarkeit eines mobilen Assistenzsystems für die Instandhaltung und deren Potenzial aufgezeigt. Die Umsetzung des Frontends zeigt, dass eine Steigerung der Usability notwendig ist, um die Akzeptanz bei den Nutzern zu erreichen. Die Umsetzung der Kommunikationsschnittstelle muss auf weitere Prozessgeräte ausgeweitet werden, um die Allgemeingültigkeit der Schnittstelle zu bestätigen.

## 7 Literaturverzeichnis

Koglin, K., Elend, L.-E. (2012). *The Audi Lightweight Strategy: Exemplified by the new Audi R8 GT*. In Automotive Circle International "Body Manufacturing Strategies in 2012", Bad Nauheim, Germany, 21-22 March 2012

## **Autoren**



### **Schacht, Michael**

Dr.-Ing. Michael Schacht ist in der Fertigungsplanung Ingolstadt tätig. Zuvor beschäftigt er sich in der Automatisierungstechnik am Standort Neckarsulm mit dem Themen Energieeffizienz und Digitalisierung des Instandhaltungsprozesses im Rahmen der Projekts S-CPS



### **Niemeyer, Michael**

Dr.-Ing. Michael Niemeyer leitet die Abteilung für Automatisierungstechnik bei der Audi AG am Standort Neckarsulm.



# Datengenerierung in Automationsgeräten, Datenintegration und Visualisierung in CPS-Leitständen

Christian Brenner<sup>1</sup>, Martin Hiersemann<sup>1</sup>, Rolf Hiersemann<sup>1</sup>,  
Falk Ulbricht<sup>1</sup>, Thomas Ulbricht<sup>1</sup>, Heiko Veit<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hiersemann Prozessautomation Chemnitz GmbH

## Zusammenfassung

Der durchgängige Einsatz von ETHERNET-Technologien in der Industrie ermöglicht den Durchgriff auf Daten von der (Werks-)Leitebene bis in die Feldebene (Aktoren und Sensoren). Die Realisierung dieser Funktionen bedarf struktureller und funktioneller Festlegungen und Normative, an die Entwickler und Nutzer zu binden sind. Die konzipierten und umgesetzten Daten-Erfassungs-, -Übertragungs- und -Visualisierungskonzepte konnten in ihrer Funktionsfähigkeit demonstratorhaft nachgewiesen werden. Eine Anpassung auf weitere Technologien ist möglich und im Zuge der Weiterentwicklung in Richtung Vermarktbarkeit vorgesehen.

## 1 Einleitung

In industriellen Anlagen sind überwiegend unterschiedliche Automationsgeräte verschiedener Hersteller installiert. Deshalb sind zur Datenerfassung und Datenauswertung Vereinheitlichungen von Datenstrukturen und Übertragungsmethoden für Leitsysteme erforderlich. Durch den flächendeckenden Einsatz von ETHERNET-Infrastrukturen bietet sich diese Technologie als Träger der Informationen geradezu an. Dieses Kapitel widmet sich dem zentralen Thema der Datenstrukturierung und Datenbereitstellung. Ziel ist die Erfassbarkeit entscheidungsrelevanter Daten aus unterschiedlichen Automationsgeräten und die normierte Datenbereitstellung für Datenauswertesysteme sowie eine Integration in Visualisierungssysteme.

Als wichtigste intelligente Automationsgeräte sind in der Industrie eingesetzt:

- speicherprogrammierbare Steuerungen SPS
- Industrierobotersteuerungen IRS
- Industrie-Computer IPC.

An diese Geräte sind weitere intelligente Systeme, wie messende und einstellende Systeme, Bilderkennungssysteme, Füge- und Verschraubungssteuerungen etc. angeschlossen.

Mit dem Durchdringen des ETHERNET in allen Firmenbereichen ergibt sich die Möglichkeit, auf dieser Kommunikationsplattform Daten auszutauschen und dabei die Informations-Infrastruktur bestmöglich zu nutzen.

Auf dieser Basis wurde eine Methodik zur Datenstrukturierung für die wichtigsten Automationsgeräte und deren Übertragung entwickelt, die das ETHERNET-Prinzip TCP/IP nutzt und damit für die überwiegende Mehrzahl von Automationsgeräten anwendbar ist.

## 2 Datenstrukturierung

### 2.1 Datenarten

Technische Betriebsdaten können unterschieden werden in Maschinendaten:

- Schalthäufigkeit, Unterbrechungen und Laufzeiten von Maschinen
- gefertigte Stückzahlen
- Meldungen und Störungen
- Eingriffe des bedienenden Personals
- Daten zur Instandhaltung (Standzeiten, Schaltspiele)
- Verbrauch an Material, Energie und Hilfsmitteln

und Prozessdaten:

- Qualitätsdaten
- Parameter der Prozesse
- Einstelldaten.

Aus diesen möglichen Daten heraus wurden für die Datenerfassung drei Komponenten zur Datenerfassung entwickelt:

- Maschinendatenerfassung (**MDE**): Zustände, Fehlerwerte, Teilezähler, Taktzeit, (Werte aus Prozess, die zur Optimierung der Anlage dienen)
- Prozessdatenerfassung (**PDE**): Qualität, feste Parameter (hinterlegte Konstanten), Einstelldaten der Maschine
- Qualitätsdatenerfassung (**QDE**): Qualitätsdaten des Produktteils (alle Werte, die für die Produktteilqualität relevant sind.)

## 2.2 Ablauf Datenübertragung

Der prinzipielle Ablauf der Datenübertragung ist in Abbildung 1 dargestellt. Dabei liegt der Schwerpunkt der Integration im Bereich der Datenstrukturierung. Der Ablauf der Datenübertragung kann kurz wie folgt dargestellt werden:

- Problematik: es tritt ein Fehler in einer Anlage auf. Woher kommt er?
- Idee: zeitweises Mitschneiden (loggen) der Daten, z.B. Kamera zur Teileerkennung
- Bereitstellung der Daten → Daten in Datenspeicher holen → Auswertung der Daten
- Geräte können Daten aktiv über TCP/IP senden.
- Es wird ein separater Datenspeicher (Datenlogger, PC) genutzt, auf dem eine universelle Datensammel-Software (Java- oder C#-Tool) läuft. Von allen angeschlossenen Automationsgeräten kann auf diesen Rechner zugegriffen werden.

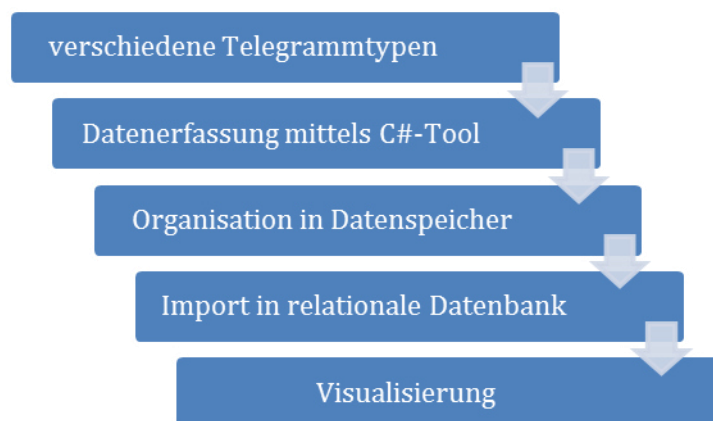


Abbildung 1: Ablauf der Datenübertragung

## 2.3 Datenbearbeitung

Status Quo: von einigen Herstellern (z.B. Bosch Rexroth, Siemens und WAGO) werden zur Visualisierung bereits Tablet- Applikationen zur Anbindung an SPS-Steuerungen offeriert.

Diese Applikationen sind jeweils nur für das Sortiment des jeweiligen Herstellers geeignet. Die Lösungen von Siemens unterstützen die LOGO-Steuerungen und die SIMATIC S7-1200. Die Bosch Applikation eignen sich nur für die

kompakten Motion-Logic-Systeme "Rexroth IndraMotion MLC". Die WAGO Lösung unterstützt wiederum das eigene Sortiment.

Die Tablet-Apps der obengenannten Hersteller haben grundsätzlich ähnlichen Bedien- und Darstellungsumfang. Es gibt unterschiedliche Grafikdarstellungen und Trendansichten für verschiedene Arbeitsbereiche. Es können durch die Apps die Betriebszustände (RUN/ STOP) angezeigt werden und Variablen/ Tags verändert und beobachtet werden.

Problem: wie diese Tablet Applikationen nun letztendlich die Daten aus der Steuerung beziehen ist nur schwer oder nicht nachvollziehbar.

Bosch nutzt für den Steuerungszugriff per Tablet den Hauseigenen OpenCore Interface. Diese Schnittstelle macht die Kommunikation zwischen hochsprachensbasierte Anwendungen und Steuerung möglich.

Andererseits realisieren Hersteller wie Siemens und WAGO dies durch einen in der SPS integrierten Webserver. Der Zugriff wird dann über TCP/IP und HTML realisiert. In der Applikation ist dann per DNS-Name und die IP-Adresse der Steuerung lauffähig.

Die vorhandenen Lösungen zur Datendarstellung werden allesamt mit Android realisiert. Realisierungen mittels Apple iOS sollen in Entwicklung sein. Windows Applikationen sind nicht aufgeführt.

Fazit: Zur Gestaltung der Darstellung der Daten auf einem (oder mehreren) Endgerät(en) ist die Methodik des Zugriffs auf die Daten der Automationsgeräte entscheidend. Eine normierte Datenübertragung ist für die Anwendung auf unterschiedliche Steuerungssysteme erforderlich.

## 2.4 Datenzugriff

Beim Zugriff auf Daten der Automatisierungsgeräte spielt in erster Linie die Sicherheit eine entscheidende Rolle. Es darf nur berechtigenden Personen der Zugriff auf die Steuerung gestattet sein. Dementsprechend muss es eine Art Filterung geben, die dann schon vom Bediener abhängig gemacht wird (Werker/Instandhalter...).

Die analysierten Steuerungszugriffsmöglichkeiten sind wie folgt.

- 1) Einsatz von Steuerungen mit integriertem Webserver, der seine Daten für die unterschiedlichen Clients schon aufgearbeitet zur Verfügung stellt.
- 2) Einsatz zusätzlicher IPC zwischen SPS und Clients. Zugriff über OPC Server.

Bei Steuerungen mit integriertem Webserver könnte der Zugriff auf die Steuerung über WLAN gestaltet werden, mit einem zwischengeschalteten Router. Durch den Router könnte man eine gewisse Sicherheit hineinbringen, indem man einen MAC-Filter erstellt. Der Webserver sollte HTML Seiten bereithalten, die zur Darstellung der Prozesse oder auch nur bestimmter Variablen verwendet werden. Auf den Webserver könnte dann das Tablet mittels HTTP/HTTPS auf die Daten zugreifen und diese dann weiterverarbeiten. Die Gestaltungsmöglichkeiten und weitere Zugriffsbeschränkungen (z.B. Benutzerebenen) sind auf den Webserver begrenzt. Die Möglichkeiten sind bei den integrierten Webservern durch die Hersteller eingegrenzt und haben von Hersteller zu Hersteller ihre eigenen Besonderheiten.

Beim Einsatz eines Datensammel-PC zwischen SPS und Client (Tablet) können Daten vorverarbeitet werden. Dieser zusätzliche (kleine) PC gibt die Daten an das ein Leitsystem oder ein Tablet weiter. Dies kann wiederum über einen Webserver geschehen oder einen OPC Server (OPCtoWeb).

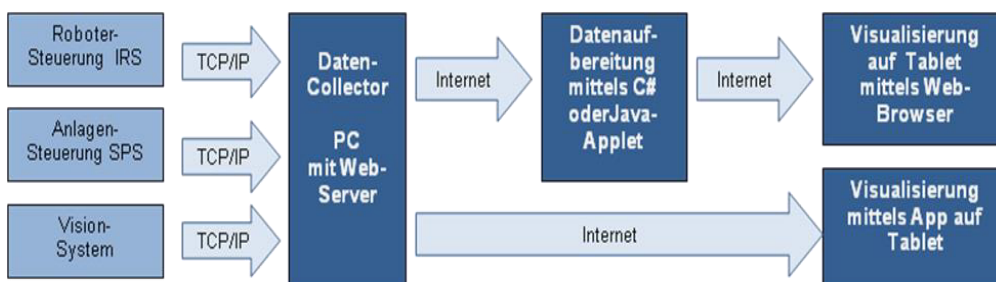


Abbildung 2: Datenzugriff auf Steuerungen über TCP/IP-Telegramme

In den Varianten mit Einsatz der OPC-Technologie ist die Intension, das Tablet als OPC Client zu deklarieren und somit einen Zugriff auf den OPC Server, der mit der Steuerung verbunden ist, zu gewährleisten. Hierfür kann auch die Norm OPC UA verwendet werden. Dadurch würden Konfigurationsprobleme von DCOM sowie eine Bindung an Windows vermieden. Des Weiteren existieren einige OPC Android Apps wie OPC XML DA Client und OPC XML DA Explorer, die genutzt werden können.

Eine weitere Variante besteht darin, die Steuerung mit dem OPC Server zu verbinden und diesen dann mit einem OPC WebClient zu verbinden. Das Tablet greift dann auf die Daten des OPC WebClients zu (OPCtoWeb). (s. Abbildung 3)



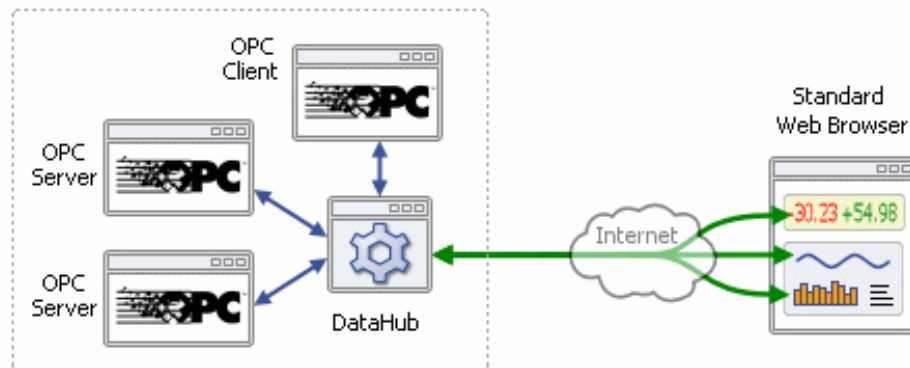


Abbildung 3: Datenzugriff auf Steuerungen via OPC

## 2.5 Nutzergruppen

Die Analyse des Kundenstammes (vorrangig Automobilindustrie und Automobilzulieferindustrie) führte zu einer Klassifizierung unterschiedlicher Anwenderszenarien und Nutzerprofile aus Sicht CPS.

Zwei prinzipielle Nutzergruppen sind zu erkennen:

### 1) Nutzergruppen in der Steuerungs- und Feldebene (Geräteebene)

- Für diese Nutzergruppen dominieren spezialisierte Bedien- und Beobachtungsgeräte. Diese Bediengeräte sind sowohl räumlich als auch informativ konzentriert.
- Fest installierte und tragbare Bedienstellen für:
  - Entwicklungspersonal und Inbetriebnehmer
  - Einrichtpersonal und Instandhalter
  - Bestücker / Bediener / Werker
  - Qualitätsverantwortliche.

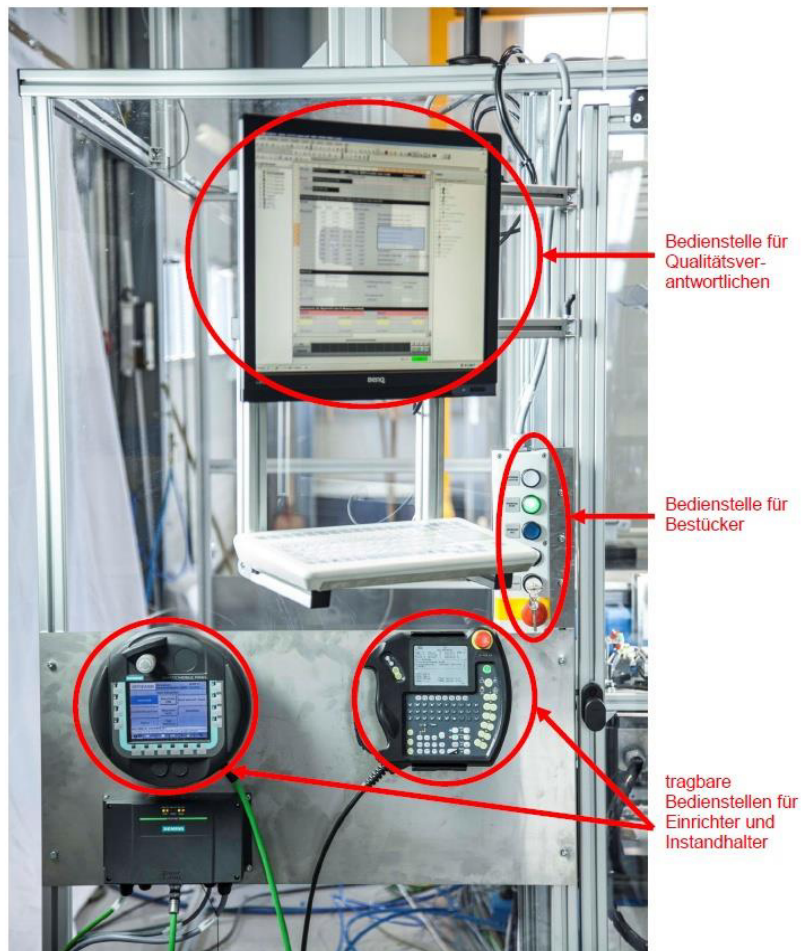


Abbildung 4: Typische Bedienstellen für Nutzergruppen der Geräteebene

## 2) Nutzergruppen in der Management- und Leitebene

- Für diese Nutzergruppe sind mobile Bediengeräte zur Analyse und Auswertung von Produktionsprozessen vorzusehen, besonders geeignet erscheinen hierzu Tablet's.
- Die Visualisierungsoberflächen sollen aussagekräftige Elemente in verschiedenen Cockpits enthalten:
  - Überblicks- Cockpit
  - Fehler- Cockpit
  - Zustands- Cockpit
  - Qualitäts-Cockpit.

Nutzergruppe	Tätigkeit	Informationsniveau
Anlagenführer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung der Anlage</li> <li>• Rüstaufgaben</li> <li>• Störungsbeseitigung</li> <li>• Wartungstätigkeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• relevante Informationen zum Betreiben der Anlage</li> </ul>
Instandhalter des Anlagenbetreibers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instandhaltung und Wartung</li> <li>• Instandsetzung und Störungsbeseitigung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• relevante Informationen zur Instandhaltung der Anlage</li> </ul>
Instandhalter des Anlagenherstellers (Service-Techniker)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instandhaltung und Wartung (bei Wartungsvertrag)</li> <li>• Instandsetzung und Störungsbeseitigung</li> <li>• wird bei schweren Störungen informiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• relevante Informationen zur Instandhaltung und zum Service der Anlage sowie zur Fehlersituation</li> </ul>
Instandhaltungsleiter/ Fertigungsleiter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einteilung Personal</li> <li>• Monitoring der Prozesse (wöchentlich)</li> <li>• wird bei schweren Störungen informiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zusammengefasste Informationen zu Produktivität, Ausfallraten, Stillstandzeiten</li> </ul>

Abbildung 5: Nutzergruppenübersicht

## 2.6 Datenaufbau in Telegrammformat

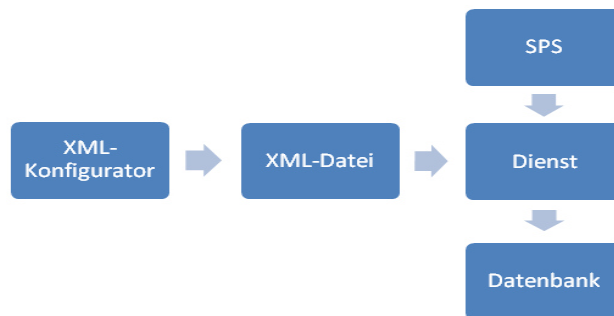


Abbildung 6: Grobstruktur einer XML-basierten Telegrammgestaltung.

Zur Datenbereitstellung aus den Automatisierungsgeräten in übergeordnete Datenerfassungsgeräte wurden zwei unterschiedliche Datenstrukturierungen für den Telegrammgrammverkehr Steuerungen - Datenerfassungssystem (PC) entwickelt. Am Beispiel von Fehlerdaten soll diese erläutert werden.

Die Datenerfassung kann sowohl mit fester Datenstrukturierung als auch mit variabler, XML-basierter Datenstruktur erfolgen (siehe Abbildung 7).

Für durchgängig konzipierte Automationsanlagen mit vereinheitlichter Steuerungs- und Softwarestruktur wird die Anwendung fester Datenstrukturen emp-

fohlen. Bei Anlagen mit inhomogener Automationsstruktur sind variable Datenstrukturen zu empfehlen. Damit ist eine zwar aufwendigere, aber flexiblere Anbindung an die Spezifik von Anlagenstruktur und -funktionen möglich.

Im Kopfteil der flexiblen Datenstrukturierung erfolgen Festlegungen zu

- Hersteller-Kennung
- Anlagen-/Maschinen-Kennung
- Anlagen-/Maschinen-Funktion
- Serien-Nummer
- Standort-Festlegungen.

Damit sind Anlagen, Anlagenkomponenten bzw. Maschinen eindeutig identifizierbar.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<SCPS xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="file:///C:/S-CPS-Schema.xsd">
  <HEAD>
    <!-- Beginn des Kopf-Teils -->
    <manufacturer>Hiersemann</manufacturer>
    <!-- Hersteller -->
    <id>HPC-5033A</id>
    <!-- Anlagen-ID -->
    <description>Prüfanlage</description>
    <!-- Beschreibung -->
    <serialnumber>2015-5033-A</serialnumber>
    <!-- Seriennummer -->
    <location>
      <!-- Standortinformationen -->
      <latitude>32.904237</latitude>
      <longitude>73.620290</longitude>
      <place>Halle 12</place>
    </location>
  </HEAD>
  <!-- Ende des Kopf-Teils -->
```

Abbildung 7: XML-basierte Datenfestlegung (Header)

Im Parameterteil folgen die Informationen zu

- Fehlermeldungen und
- Statusmeldungen (Warnungen).

```

<DATA>
  <!-- Beginn den Daten-Teils -->
  <faults>
    <!-- Beginn der Fehler -->
    <present_faults>
      <fault>
        <number>35</number>
        <!-- Fehlernummer -->
        <description>Kommunikation Schrauber</description>
        <!-- Beschreibung -->
        <time_coming>2015-03-08T10:31:24Z</time_coming>
        <!-- Zeitpunkt gekommen -->
      </fault>
    </present_faults>
    <fault_history>
      <fault>
        <number>12</number>
        <!-- Fehlernummer -->
        <description>Fehler Spannungsversorgung</description>
        <!-- Beschreibung -->
        <time_coming>2015-03-08T08:31:24Z</time_coming>
        <!-- Zeitpunkt gekommen -->
        <time_going>2015-03-08T08:35:24Z</time_going>
        <!-- Zeitpunkt gegangen -->
        <time_quit>2015-03-08T08:32:24Z</time_quit>
        <!-- Zeitpunkt quittiert -->
      </fault>
    </fault_history>
    <future_faults>
      <fault>
        <number>16</number>
        <!-- Fehlernummer -->
        <description>Not-Aus betätigt</description>
        <!-- Beschreibung -->
        <time_coming>2015-03-07T10:31:24Z</time_coming>
        <!-- Zeitpunkt gekommen -->
        <time_going>2015-03-07T10:35:24Z</time_going>
        <!-- Zeitpunkt gegangen -->
        <time_quit>2015-03-07T10:32:24Z</time_quit>
        <!-- Zeitpunkt quittiert -->
      </fault>
    </future_faults>
  </faults>
  <!-- Ende der Fehler -->
  <warnings>
    <!-- Beginn der Warnungen -->
    <present_warnings>
      <warning>
        <number>102</number>
        <!-- Meldenummer -->
        <description>Mangel Schraubenzuführung</description>
        <!-- Beschreibung -->
        <time_coming>2015-03-08T09:31:24Z</time_coming>
        <!-- Zeitpunkt gekommen -->
      </warning>
    </present_warnings>
    <warning_history>
      <warning>
        <number>60</number>
        <!-- Meldenummer -->
        <description>Öl kontrollieren</description>
        <!-- Beschreibung -->
        <time_coming>2015-03-08T06:31:24Z</time_coming>
        <!-- Zeitpunkt gekommen -->
        <time_going>2015-03-08T08:31:24Z</time_going>
        <!-- Zeitpunkt gegangen -->
      </warning>
    </warning_history>
  </warnings>
  <!-- Ende der Warnungen -->
  <!-- Betriebsmodi -->
</DATA>
<!-- Ende des Daten-Bereichs -->
</SCPS>

```

Abbildung 8: XML-basierte Datenfestlegung (Parameterteil)

Hierbei sind kommende und gehende Informationen deklarierbar (siehe Abbildung 8).

Im Fall der festen Datenstrukturierung der Telegramme von den Automationsgeräten zum Daten-Collector (S-CPS-Box) wurden folgende Festlegungen getroffen.

Telegramm-Kopf		28 Byte (ASCII)
Byte	Bedeutung	
4	Telegrammzähler	
4	Anlage	
2	Station	
2	Nest	
2	Gerätetyp	
1	Gerätenummer	
3	Telegrammtyp	
2	Version	
Anlage	Beispiel	
Byte	Bedeutung	
250	Fehler-Klartext	
2	Betriebsart	
2	Sicherheit geschlossen	
2	Sicherheit verriegelt	
2	Sicherheit quittiert	
12	frei belegbar	
Station	Beispiel	
Byte	Bedeutung	
2	Betriebsart Station	
2	Start Bearbeitung	
2	Ende Bearbeitung	
12	frei belegbar	

Abbildung 9: Fixer Telegrammaufbau, Strukturanteile Kopf, Anlage und Komponente

Diese Struktur bildet auch die Grundlage für die Entwicklung des Demonstrators Experimental- und Digitalfabrik (EDF) an der Technischen Universität Chemnitz.

## 3 Demonstrator EDF

### 3.1 Demonstratoraufbau

Der Demonstrator EDF basiert auf einer installierten mechanischen, automatisierungstechnischen und informationstechnischen Infrastruktur, die die Integration zusätzlicher Komponenten und Funktionen ermöglicht.

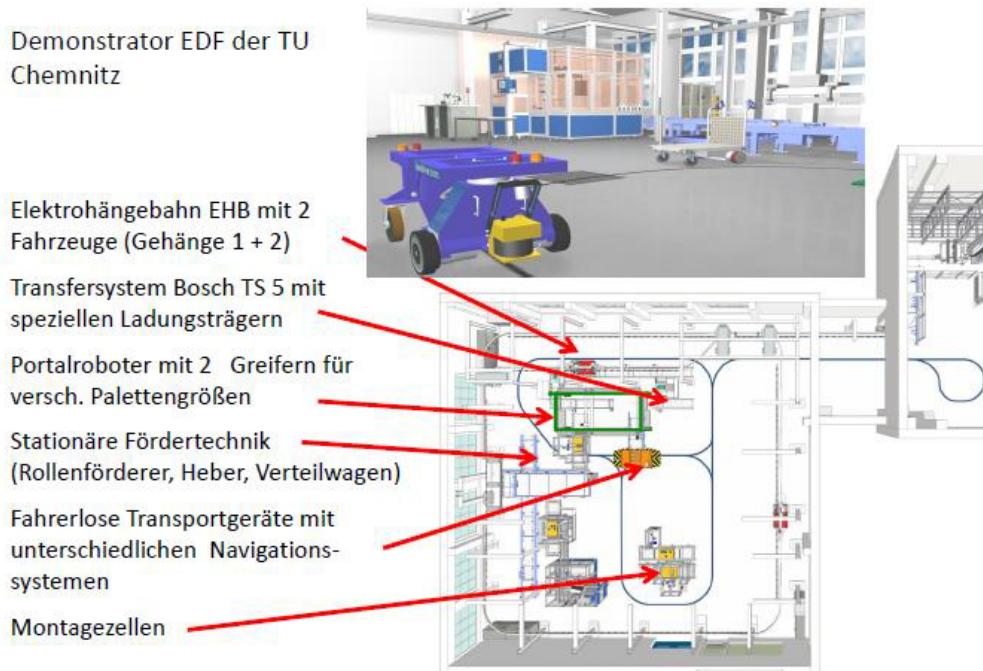


Abbildung 10: Demonstrator EDF der TU Chemnitz: Funktionsstruktur

An logistischen Komponenten sind stationäre Fördertechnik (Rollenbahnen, Transfersystem, Scherenhubtische, Verteilwagen) und ortsveränderliche Geräte (Elektrohängebahn-Fahrzeuge, fahrerlose Transportgeräte) kombinierbar mit einem Portalroboter mit variablem Greifersystem.

Diese logistischen Komponenten dienen zur Realisierung der Material- und Informationsströme zwischen Hochregallager und ortflexiblen Montagestationen.

Die Auftragserteilung erfolgt durch einen Fertigungsleitstand, der Logistikleitstand realisiert aus den erteilten Aufträgen die logistische Transportfolge und die Datenübertragung mittels OPC-Datenfächern.



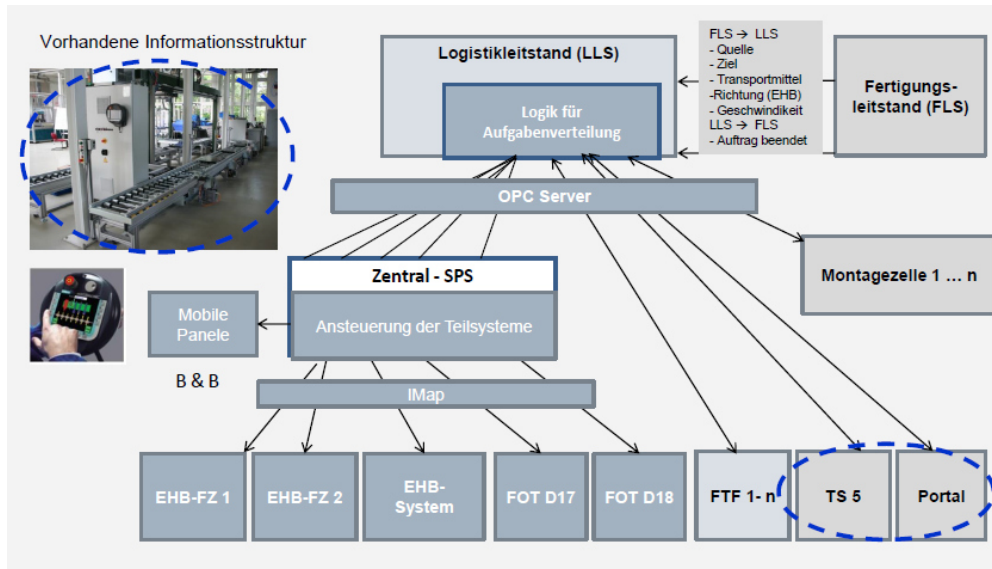


Abbildung 11: Demonstrator EDF der TU Chemnitz: Automationsstruktur

Grundlage der Automationsstruktur bildet das Prinzip der komponentenbasierten Automation (PROFINET cba) auf Basis vernetzter Maschinen und Anlagen.

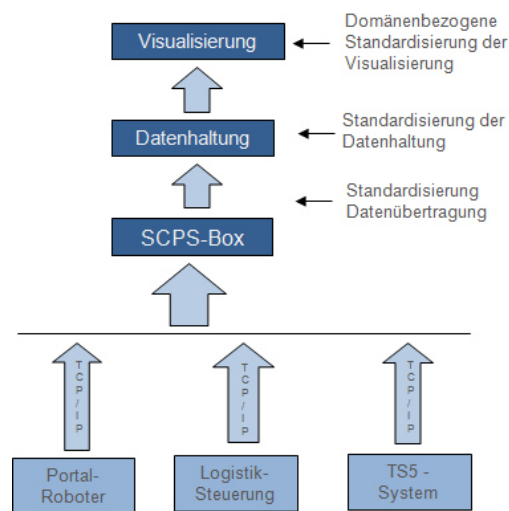


Abbildung 12: Grobstruktur der Datenankopplung von EDF-Komponenten



Durch die Baukastenstruktur sind Erweiterungen mit neuen Komponenten möglich. Vorhandene und zukünftige Automationsgeräte können datentechnisch an das Erfassungssystem (S-CPS-Box) und weiter an das Visualisierungssystem für Instandhaltungsfunktionen (S-CPS-Cockpit) angekoppelt werden.

### 3.2 Demonstrator-Erweiterung

Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit der entworfenen Datenerfassungs- und Datenübertragungsverfahren wurde der Demonstrator EDF um ETHERNET-Schnittstellen und ein Datenerfassungs-IPC (S-CPS-Box) mit den entsprechenden Funktionen erweitert.

Dazu erfolgte eine Erweiterung der SPS-Programme in den Steuerungen, beginnend mit dem Transfersystem TS 5 und dem Portalroboter. Die weiteren Steuerungen sind danach für eine Anbindung an das S-CPS-Cockpit via S-CPS-Box anzupassen.

Durch den generellen Einsatz industrietauglicher Automationsgeräte der Baureihe SIMATIC S7 werden Vereinheitlichungen von Datenstrukturen und Übertragungsverfahren erleichtert.

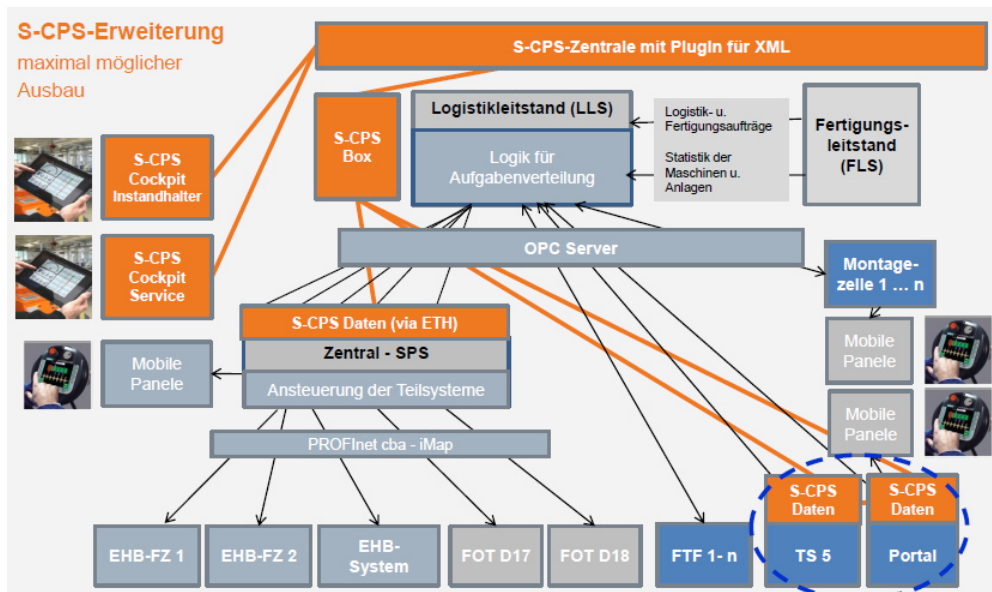


Abbildung 13: S-CPS-Erweiterung der Automations-Infrastruktur der EDF

Die Datenstrukturierung in den Steuerungen folgt einem fixen Datenstrukturmuster, ebenso die Übertragung von Steuerung zur S-CPS-Box.

Danach werden aus den aus den Automationsgeräten empfangenen Daten-telegrammen Erweiterungen in Form von Geräte-Lokalisierung und Zeitzuordnung sowie Informationsklassifizierung getroffen.

Für die Datenübertragung von S-CPS-Box zum S-CPS-Cockpit wurde die XML-basierte flexible Struktur auf die EDF angewendet.

Diese erweiterten Informationen werden über ein sog. Plugin nachfolgend der S-CPS-Zentrale (Cockpit) übermittelt.

### 3.3 Cockpit-Integration

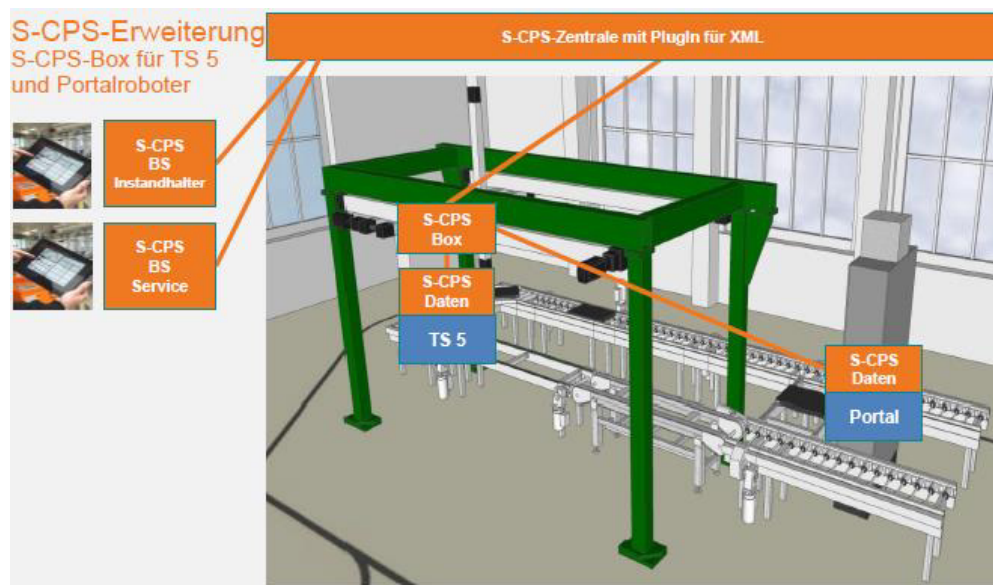


Abbildung 14: S-CPS-Erweiterung: S-CPS-Box für TS 5 und Portalroboter

Die Datenübertragung von Automationsgerät zum S-CPS-Cockpit erfolgt mehrstufig. Der Beginn basiert auf einer standardisierten Datenstrukturierung in den Automationsgeräten.

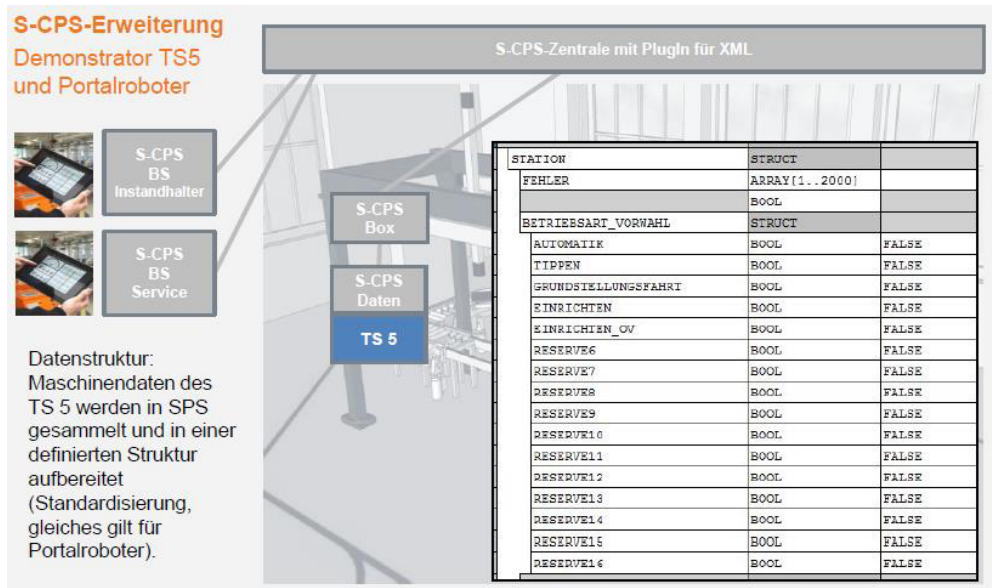


Abbildung 15: S-CPS-Erweiterung: Datenstrukturierung in den Automationsgeräten

Die Datenübertragung in die S-CPS-Zentrale (Cockpit) erfolgt anschließend mittels XML-basiertem Datenstrom.

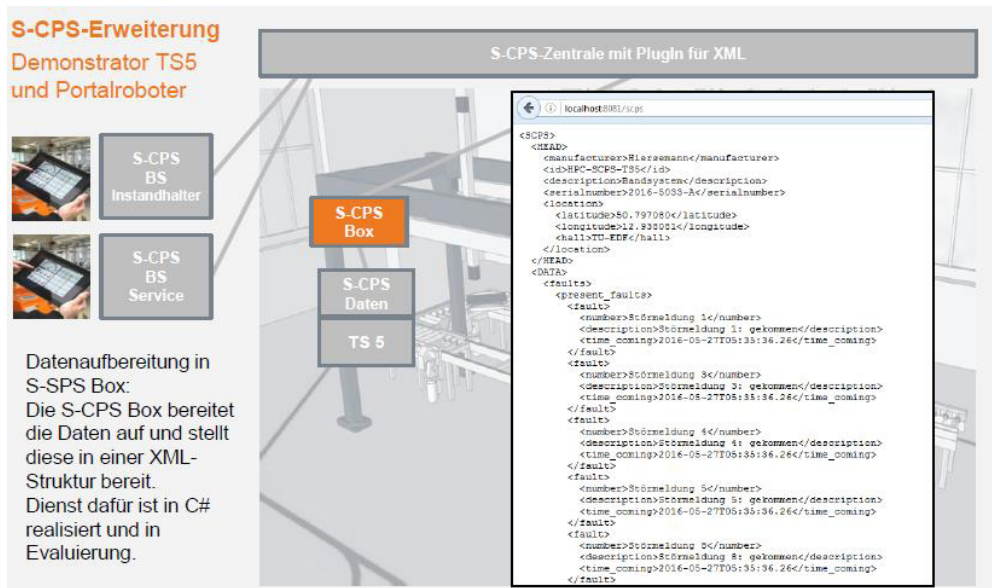


Abbildung 16: S-CPS-Erweiterung: XML-basierte Datenübertragung zum Cockpit

### 3.4 Datenvisualisierung

Für die Datenvisualisierung wurden verschiedene Varianten entwickelt und untersucht, die je nach Anwenderintension genutzt werden können.

Im Zusammenhang mit dem Demonstrator EDF erfolgte die Integration in das von der Firma CBS Chemnitz entwickelte Cockpit beginnend mit TS5 und Portalroboter.

Für die Evaluierung der Nutzergruppen Instandhalter und Service wurde, beginnend mit Transportsystem TS5 und Portalroboter, die datentechnische Ankopplung an die S-CPS-Zentrale vorgenommen und getestet.

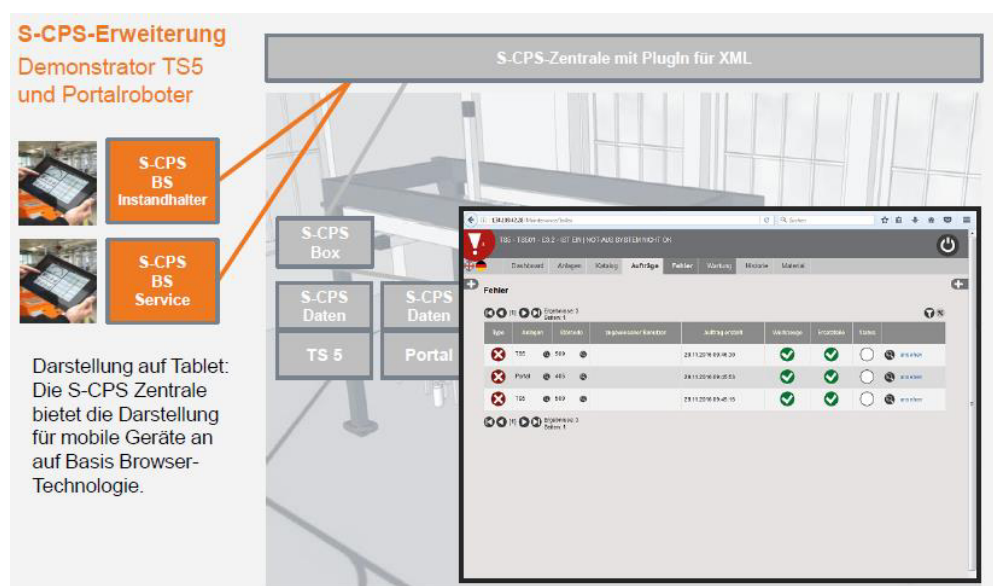


Abbildung 17: Portal- und TS5-Daten-Visualisierung des S-CPS-Cockpits auf Tablet

Im Zusammenhang mit dem Demonstrator EDF erfolgte die Integration in das von der Firma CBS Chemnitz entwickelte Cockpit beginnend mit TS5 und Portalroboter.



Abbildung 18: Portal- und TS5-Daten-Visualisierung direkt auf der S-CPS-Box

Weiterhin steht für Vergleichszwecke eine direkte Visualisierung der Daten auf der S-CPS-Box zur Verfügung.

## 4 Literaturverzeichnis

- Berger, R. /BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (2015): Die digitale Transformation der Industrie. Was sie bedeutet. Wer gewinnt. Was jetzt zu tun ist. Berlin/ München
- Brenner, C.; Hiersemann, M.; Hiersemann, R.; Ulbricht, F.; Ulbricht, T.; Veit, H. (2016): Konzept zur Datenerfassung in Automationsanlagen und Datenübertragung in CPS-Leitstände. TU Chemnitz, VPP 2016
- Firlej, A.; Walther, T.; Hiersemann, R. (2015): Kontextbezogene Informationsbereitstellung zur Entscheidungsassistenz in komplexen Fertigungen. TU Chemnitz, VPP 2015
- Hiersemann, M., Hiersemann, R. (2012): Optimierung von Produktionssystemen durch energieeffiziente Automatisierungstechnik, Wandlungsfähigkeit und Synergien von Fabrik- und Gebäudeautomation – Trends und Innovationen. 22. IWKM – Internationale wiss. Konferenz Mittweida, Hochschule Mittweida 2012
- Lichan, M. (2014): Entwurf einer Visualisierung für Betriebs- und Maschinen-daten zur Prozessoptimierung mittels Smart Wearables. Praxis-Beleg, Hochschule Mittweida 2014

## **Autoren**

### **Brenner, Christian**

Studium Prozessinformatik zum Dipl.-Ing. (BA), arbeitet im Gebiet Informatik bei der Hiersemann Prozessautomation GmbH

### **Hiersemann, Martin**

Studium Automatisierungstechnik zum Dipl.-Ing. (FH), Studium Wirtschaftsingenieurwesen zum M. Sc., Hauptgeschäftsführer der Hiersemann Prozessautomation GmbH

### **Hiersemann, Rolf**

Studium und Promotion Automatisierungstechnik und technische Kybernetik zum Dr.-Ing., Honorarprofessor für Automatisierungstechnik, Geschäftsführer der Hiersemann Prozessautomation GmbH

### **Ulbricht, Falk**

Studium Elektrotechnik zum Dipl.-Ing. (FH), Technischer Leiter bei der Hiersemann Prozessautomation GmbH

### **Ulbricht, Thomas**

Studium Mechatronik zum Dipl.-Ing. (FH), arbeitet im Gebiet Steuerungstechnik bei der Hiersemann Prozessautomation GmbH

### **Veit, Heiko**

Studium Automatisierungstechnik Dipl.-Ing. (TU), arbeitet im Gebiet Robotik bei der Hiersemann Prozessautomation GmbH



# Integrierte Geschäftsmodelle – Industrie 4.0-basierte Dienste in der Windkraftbranche

Claudia Lehmann<sup>1</sup>, Rajko Balun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Center for Leading Innovation and Cooperation (CLIC), HHL Leipzig Graduate School of Management

<sup>2</sup>BLUe KommanD GmbH

## Zusammenfassung

Der wachsende Kosten- und Konkurrenzdruck zwingt Unternehmen zu innovativen Lösungen. Prozesse werden digitalisiert, zusätzliche Dienstleistungen zur Kundenbindung angeboten und neue Geschäftsmodelle entwickelt. Dabei wird immer durchdringender proklamiert, die Möglichkeiten von Industrie 4.0 gezielt und kundenorientiert auszuschöpfen. Mit der zunehmenden Vernetzung steigen die Datenmengen und somit auch die Möglichkeiten der Auswertung und Nutzung. So wissen Unternehmen oft nicht wie sie mit dieser steigenden Komplexität umgehen können und vor allem, wie ein Mehrwert für den Kunden bzw. Stakeholder geschaffen werden kann, welcher sich letztendlich monetär niederschlägt.

Gerade mittelständische Unternehmen begegnen im Hinblick auf Innovationsanstrengungen jedoch einer Vielzahl an Hemmnissen. Beschränkte finanzielle Ressourcen limitieren mögliche Innovationsinvestitionen, eine starke Fokussierung auf das operative Tagesgeschäft führt zu begrenzten personellen Kapazitäten und unzureichendes Wissen hinsichtlich der Einsatz- und Gestaltungsmöglichkeiten der Digitalisierung und Serviceorientierung führt zu Unsicherheiten. Existierende Ansätze zur Visualisierung und Strukturierung von Geschäftsmodellen werden in der Praxis oft nur unspezifisch eingesetzt und bieten nur wenig Hilfestellung hinsichtlich der Realisierung von Geschäftsmodellen. Vor diesem Hintergrund beschreibt der folgende Beitrag schrittweise eine mögliche Vorgehensweise, um individuelle differenzierende Geschäftsmodelle zu identifizieren und diese umzusetzen. Pro Schritt werden die wichtigsten Werkzeuge beschrieben, die sich in der täglichen Arbeit mit Industrie 4.0 bewährt haben.

## 1 Einleitung

Digitalisierung schreitet zweifelsfrei voran und Geräte bestehen längst nicht mehr nur aus Hardware. Der Software-Anteil wird immer wichtiger und Produkte bekommen Steuerungen und Kommunikationsmodule, um mit der Außenwelt kommunizieren zu können. So steigt die Anzahl der mit dem Internet verbundenen Geräte exponentiell an. Großkonzerne wie Intel schätzen, dass bereits in drei Jahren die Anzahl der angeschlossenen Maschinen und Anlagen auf etwa 50 Mrd. ansteigt (Intel, 2014).



Laut einer Studie des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) haben alle mittelständischen Unternehmen mit 50 und mehr Mitarbeitern in den vergangenen drei Jahren in Digitalisierung investiert (VDI, 2016). Leider schaffen viele Unternehmen aber nur Grundlagen wie etwa durch eine aktualisierte Internetseite, verbesserte Hard- und Software oder neue IT-Sicherheitskonzepte. Selten werden neue Maßnahmen zur Effizienzsteigerung oder innovative Geschäftsmodelle durch eine intensive Vernetzung angegangen. Ein wesentlicher Grund liegt in der fehlenden Methodik, Geschäftsmodelle zu konzipieren und umzusetzen (Bach 2010). Meist ist die Herausforderung, digitale Technologien und Prozesse nicht nur rein technologisch zu beherrschen und weiter zu entwickeln, sondern auch geeignete Geschäftsmodelle zu entwickeln. Vor allem der Mittelstand ist oft für große Investitionen noch nicht bereit, da viele Unternehmen den Nutzen für das eigene Geschäft nicht wahrnehmen bzw. nicht bewerten können (VDI 2016).

Im Rahmen des Förderprojekts „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“ (S-CPS) (Förderkennzeichen: 02PJ4027), welches ein besonderes Augenmerk auf das Zusammenwirken zwischen cyber-physischen Systemen (CPS) und Menschen im Unternehmen gelegt hat, konnte gezeigt werden, dass der Nutzen für viele Unternehmen jedoch größer ist, als sie denken. Im Mittelpunkt steht vor allem die Nutzung von Daten, welche durch die vernetzten Geräte erzeugt werden und durch deren Integration in betriebswirtschaftliche und technische Prozesse eine Bedeutung bekommen. Die somit entstehende, schreitende Veränderung der Wertschöpfungsnetzwerke und vor allem die systematische Entwicklung neuer digitaler Geschäftsmodelle ermöglicht es Unternehmen, aus einem eigenen technologischen Vorsprung unternehmerischen Gewinn zu erwirtschaften.

In vielen Fällen fehlt schlicht und ergreifend der Überblick darüber, was aktuelle und zukünftige Entwicklungen für etablierte Geschäftsmodelle bedeuten. Der vorliegende Beitrag soll Unternehmen bei dieser essentiellen Aufgabe unterstützen und zeigt daher die wesentlichen Treiber von Industrie 4.0 auf und setzt diese in Beziehung zu neuen und etablierten Geschäftsmodellen. Anschließend wird aufgezeigt welche Potenziale, Chancen aber auch Risiken sich daraus für Unternehmen ergeben.

## 2 Industrie 4.0 Komponenten

Im Mittelpunkt des Modells stehen zweifelsohne cyber-physische Systeme (CPS), (Oks et al., 2017, Oks et al., 2016). Diese intelligenten Systeme entstehen durch Sensorik, eine eindeutige Identität, entsprechende Software und Steuerung, welche Objekte, Maschinen und Anlagen miteinander verbinden. Durch eingebettete Systeme (embeded systems) in den Maschinen werden Daten erzeugt und durch den automatisierten Datenaustausch, „Machine-to-Machine“ (M2M), zwischen Maschinen und IT-Systemen weitergegeben. Maschinen und Geräte werden an die globale Netzwerkstruktur, das „Internet der Dinge“, angeschlossen und darüber überwacht und gesteuert. Aus den großen Datenmengen (Big Data), welche durch häufige Datenübertragung zwischen den einzelnen Anlagen entstehen, können in der Auswertung Fehlermuster und Vorhersagemodelle abgeleitet werden. Sie bekommen dadurch einen Mehrwert und werden zur Smart Data. Selbstlernende Systeme können selbstständig Zusammenhänge erkennen und damit die Prozesse erkennen. Bei der Augmented Reality wird die reale Welt mit situationsgerechten virtuellen Daten angereichert.

Das Besondere an Industrie 4.0 ist das spezielle Zusammenspiel der verwendeten Technologien und Komponenten. Neben der Schöpfung neuer Marktteilnehmer ist eines der zentralen Konzepte von Industrie 4.0 die Unterstützung der horizontalen Wertschöpfungskette, bestehend aus Lieferanten, Herstellern, Händlern und Kunden (Kagermann et al., 2013). Der Kunde und die zu lösende Aufgabenstellung sind Mittelpunkt des resultierenden Modells. Zur besseren Vorstellung lässt sich Industrie 4.0 in eine Feld-, Daten-, Prozess- und Geschäftsmodellebene einteilen (Kaufmann, 2015). Wie Abbildung 1 zeigt, bauen die einzelnen Ebenen aufeinander auf.

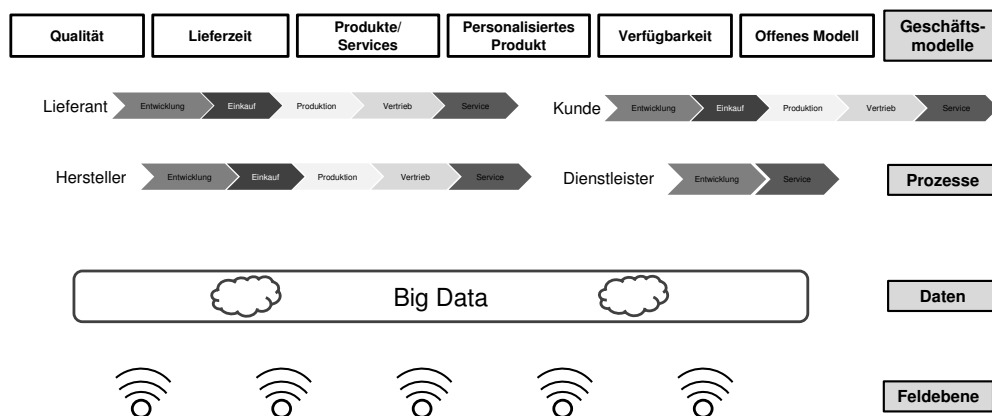


Abbildung 1: Die vier Ebenen des Industrie 4.0 Modells

Auf der Feldebene werden Maschinen, Anlagen und Produkte des Kunden mit Hilfe von M2M-Technologien miteinander verbunden, wodurch große Datenmengen (Big Data) entstehen. Diese Informationen wiederum müssen in die einzelnen Wertschöpfungsketten der beteiligten Stakeholder (Lieferanten, Hersteller und Händler) integriert werden, um betriebswirtschaftliche Prozesse leistungsfähiger und produktiver zu gestalten.

Erst dadurch werden ein Mehrwert generiert und Geschäftsmodelle beeinflusst oder neue Geschäftsmodelle kreiert. Innovative Produzenten schaffen es, durch die Nutzung von CPS ganz neue Bedürfnisse bei Ihren Kunden zu wecken. Dabei spielt es eine entscheidende Rolle, wie Unternehmen ihr Geschäft rund um ihre Produkte und Dienstleistungen auf- und ausbauen.

### 3 Geschäftsmodell-Komponenten

Der Begriff „Geschäftsmodell“ wurde von Peter Drucker entwickelt, der das Geschäftsmodell als Antwort zu den Fragen: Wer ist der Kunde? Was ist der [konkrete] Wert für den Kunden? Wie kann dieser Wert für einen angemessenen Preis angeboten werden? beschreibt.

Geschäftsmodelle aus betriebswirtschaftlicher Sicht haben ihren Ursprung in Publikationen von Peter Drucker (1954). Mit den Bezeichnungen „logic of business“ und „theory of the business“ schuf Drucker einen Vorläufer dessen, was heute unter dem Konzept verstanden wird. Folgerichtig bilden Geschäftsmodelle das Grundgerüst unternehmerischer Tätigkeit. Trotz vielfältiger Definitionen des Geschäftsmodellbegriffs, besteht wissenschaftlicher Konsens, dass Geschäftsmodelle aus den Elementen „value proposition“, „value creation“ und „value capture“ bestehen. Unter „value proposition“ wird ein Angebot in Form von Produkten, Dienstleistungen oder einer Kombination von beidem verstanden. Es ermöglicht Kunden, ein fundamentales Problem effektiver, zuverlässiger, oder bequemer zu einem angemessenen Preis zu lösen. Das Element „value creation“ beinhaltet vornehmlich die Frage, wie die „value proposition“ gegenüber dem Kunden erbracht wird (Bieger & Reinhold, 2011). Zum einen soll dargestellt werden, wie genau durch die Kombination von unternehmensinternen und externen Ressourcen und Fähigkeiten die „value proposition“ erbracht wird, zum anderen, ob und wie mit Partnern, z.B. Zulieferern oder Kunden, für die Leistungserstellung in einem Partnernetzwerk zusammengearbeitet werden soll. Das Element „value capture“ beinhaltet das Ertragsmodell und die Kostenstruktur. Es definiert, wie der Wert, den das Unternehmen durch die Erfüllung des Leistungsversprechens für seine Kunden schafft, in Erträge transformiert wird und an das Unternehmen zurückfließt (Abdelkafi et al., 2012, Johnson, 2010, Bieger & Reinhold, 2011).

Casadesus-Masanell & Ricart (2010) konstatieren, dass jedes Unternehmen implizit ein Geschäftsmodell besitzt und zwar unabhängig davon, ob es absichtlich gewählt wurde oder aktiv gesteuert wird. Geschäftsmodellinnovation ist definiert als eine neuartige Veränderung in mindestens einem der oben genannten drei konstituierenden Elemente des Geschäftsmodells (Velamuri et al., 2013). Innovationen von Geschäftsmodellen können extrem wertvoll sein, wenn sie richtig durchgeführt werden, indem sie beispielsweise Märkte radikal verändern und neue Möglichkeiten der Wertschöpfung erlauben. Die immer größer werdende Dynamik und Komplexität im Umfeld der Produktion führt zur Ablösung zentraler hierarchischer Strukturen in Unternehmen und hin zu offeneren Wertschöpfungssystemstrukturen.

Etwas breiter gefasst können Geschäftsmodelle als ein System, welches aus verschiedenen Komponenten zusammengesetzt ist, beschrieben werden (Alt & Zimmermann, 2001; Gassmann et al., 2013; Johnson et al., 2008; Morris et al., 2005; Osterwalder & Pigneur, 2011).

Unternehmen, welche durch Nutzung von CPS und der Verknüpfung von Maschinendaten mit den betrieblichen Daten für ihre Kunden Mehrwerte generieren möchten, müssen sich fragen, welche Chancen diese Daten für die Geschäftsmodelle der Unternehmen bieten. Basierend auf Gassmann et al. (2013) können zur Beschreibung folgende vier Dimensionen herangezogen werden:

- Der Kunde – Wer sind unsere Zielkunden?
- Das Nutzenversprechen „value proposition“ – Was bieten wir den Kunden an?
- Die Wertschöpfungskette „value creation“ – Wie stellen wir die Leistung her?
- Die Ertragsmechanik „value capture“ – Wie wird Wert erzielt?

Die wichtigste Komponente eines Geschäftsmodells beschreibt die unterschiedlichen Kundensegmente, die bedient werden sollen. Da ein Unternehmen ohne zahlende Kunden nicht dauerhaft überlebensfähig ist, wird diesem Baustein eine zentrale Bedeutung zugesprochen. Ein Geschäftsmodell kann gleichzeitig mehrere unterschiedliche Kundensegmente adressieren. Nach der Festlegung der Kundensegmente kann das Geschäftsmodell auf Basis des Verständnisses der Kundenwünsche weiterentwickelt werden. Kundensegmente unterscheiden sich dabei nicht nur durch ihre Zahlungsbereitschaft, sondern auch durch ihre konkreten Bedürfnisse und ihren Wert für das Geschäftsmodell (Schallmo, 2013).

Eine weitere wichtige Komponente ist das Nutzenversprechen, das angebotene Gesamtpaket von Produkten und Dienstleistungen. Dieses Angebot er-

füllt ein Bedürfnis oder löst ein kundenseitiges Problem und stiftet für ein bestimmtes Kundensegment einen gewissen Nutzen (Johnson et al., 2008). Die Kaufentscheidung der Kunden wird meist aufgrund der Eigenschaften des Nutzenversprechens bewusst für oder gegen ein bestimmtes Unternehmen getroffen. Dabei wird der durch den Kunden wahrgenommene Wert durch quantitative (z. B. Preis) und qualitative (z. B. Qualität des Wertangebots) Eigenschaften beeinflusst (Bieger et al., 2011). Des Weiteren wird die Kaufentscheidung der Kunden beispielsweise durch die Aktualität der Leistung (State of the art bei Technologieprodukten), das Design, den Grad der Anpassung an konkrete Kundenwünsche sowie durch die Marke eines Produkts beeinflusst (Osterwalder & Pigneur, 2011).

Wie die einzelnen Kundensegmente erreicht und angesprochen werden, um das Wertangebot zu vermitteln, wird durch die Wertschöpfungskette dargestellt (Bieger et al., 2011). Dabei werden insbesondere die Kommunikations-, Distributions- und Verkaufskanäle, welche die direkten Kontaktpunkte zu den Kunden darstellen, berücksichtigt. Durch diese wird das Wertangebot unterbreitet, der spezifische Kauf ermöglicht sowie die Kundenbetreuung nach dem Kauf sichergestellt. Alle Kanaltypen können dabei vom jeweiligen Unternehmen selbst betrieben oder von Partnern gesteuert werden. Ein wichtiger Erfolgsfaktor dabei ist die richtige Mischung der Kanäle, um ein Wertangebot erfolgreich auf den Markt zu bringen.

Die monetären Einkünfte, die in den einzelnen Kundensegmenten generiert werden, sind in der Ertragsmechanik beschrieben. Die Zahlungsbereitschaft der Kunden bestimmt die Einnahmequellen für jedes Kundensegment (Morris et al., 2005). Jede Einnahmequelle kann dabei unterschiedliche Preisfestlegungsmechanismen wie beispielsweise Listenpreise, Auktionen oder Verhandlungen besitzen (Schallmo, 2013). Osterwalder und Pigneur (2011) beispielsweise unterscheiden zwei grundsätzliche Arten von Einnahmequellen. Zum einen existieren Transaktionseinnahmen aus einmaligen Geschäften; zum anderen besteht die Möglichkeit, wiederkehrende Einkünfte aus fortlaufenden Zahlungen zu erzielen. Einnahmen können aus dem Verkauf von Wirtschaftsgütern oder Lizenzen, durch Mitglieds- oder Nutzungsgebühren, sowie durch den Verleih von Gütern oder durch Werbung generiert werden (Osterwalder & Pigneur, 2011).

Kaufmann (2015) folgend können Geschäftsmodelle im Industrie 4.0-Kontext in folgende drei Kategorien unterteilt werden:

- Geschäftsmodell-Innovationen auf Basis existierender Modelle
- Verbesserung bestehender Geschäftsmodelle
- neu zu definierende Geschäftsmodelle

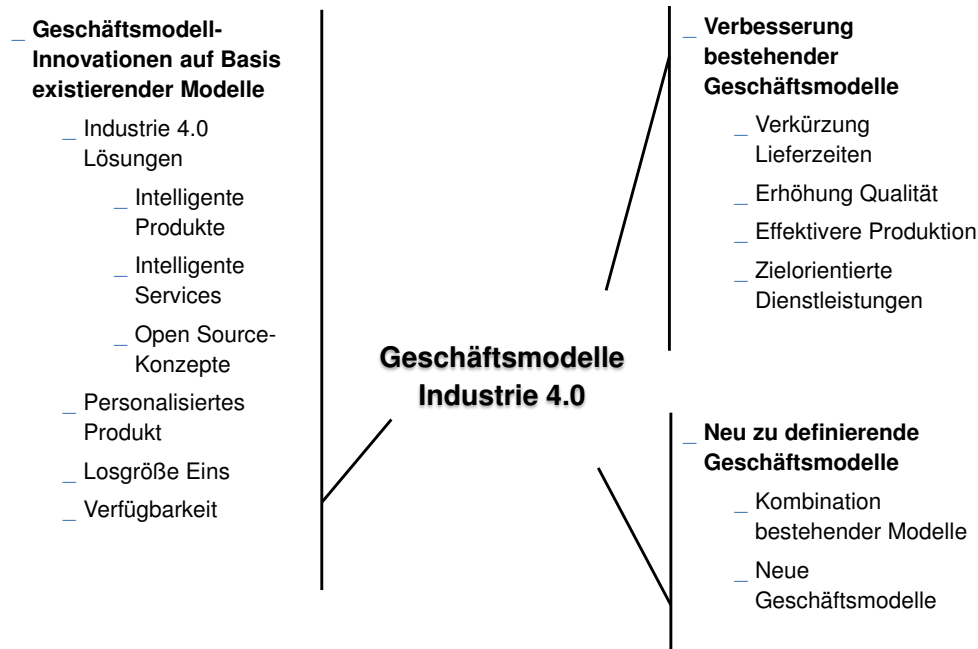


Abbildung 2: Kategorien von Geschäftsmodellen im Industrie 4.0 Kontext

Wie Abbildung 2 verdeutlicht, zeichnen sich Geschäftsmodell-Innovationen auf Basis existierender Modelle durch den Transfer von Geschäftsmodellen aus anderen Branchen in das innovierende Unternehmen aus (z. B. der personalisierte Turnschuh von Adidas). Die Adaption bzw. Verbesserung bestehender Geschäftsmodelle durch Industrie 4.0-Technologien bedeutet, dass mindestens eine der Geschäftsmodell-Dimensionen (Kunden, Nutzenversprechen, Wertschöpfungskette und/oder Ertragsmechanik) verändert wird. Neu zu definierende Geschäftsmodelle bürden mit Sicherheit das größte Potential, aber gleichzeitig auch die größte Herausforderung in sich, denn es handelt sich hierbei um Modelle, die noch nicht erfunden wurden.

## 4 Use Case: Windkraftanlagen

Im Bereich der Systemarchitektur und Vernetzung sind Nutzungsszenarien aus Anwender- und aus wirtschaftlicher Sicht zu definieren sowie die Quantifizierung von Kosten und Nutzen für Unternehmen in Bezug auf die Produktivität und momentane Geschäftsmodelle voranzutreiben (Uckelmann et al., 2011).

In der Domäne der Windkraft werden die strategischen Ansätze von Industrie 4.0 zunehmend interessant. Die Entwicklung intelligenter Services durch die Anschlussfähigkeit der Produkte an das Internet und die Verfügbarkeit von Maschinen- und Sensordaten ermöglichen ganz neue Arten von Dienstleistungen (vgl. Abbildung 3).

Neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen basieren, wie oben beschrieben, auf den anfallenden bzw. bereitgestellten Daten, der dazugehörigen Aufbereitung mit Datenanalysemethoden und resultieren in Optimierungsmodellen und Vorhersagen mit Hilfe von mathematischen Modellen.

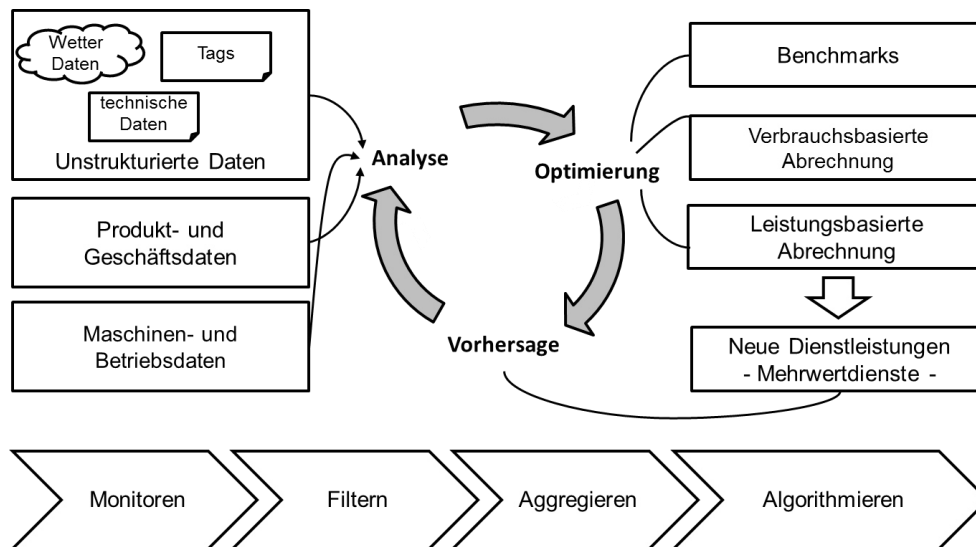


Abbildung 3: Zusammenspiel Datensammlung, Analyseverfahren und neue Dienstleistungen

Die erzeugte Energie einer Windkraftanlage hängt stark von den äußeren Wetterfaktoren wie Windstärke, -richtung oder Temperatur ab. Deshalb ist es schwer, Durchschnittswerte zu berechnen, welche allerdings nötig sind, um eventuelle Leistungsabfälle einer Anlage zu erkennen, um wiederum wichtige Optimierungen bzw. Reparaturen vorzunehmen.

Für die Betreiber von Windkraftanlagen, wie bspw. der Projektpartner BLUe Kommand GmbH, wird es vor dem Hintergrund der dezentralen Energieerzeugung immer wichtiger, Verbräuche und erzeugte Energiemengen zu ermitteln und abzugleichen. Die Anlagen müssen flexibel zu- und abgeschaltet werden können und gleichzeitig die Einspeiserichtlinien erfüllen. Condition Monitoring wird durch intelligente Strommesswandler an Windkraftanlagen und

Netz-Einspeise-Punkten ermöglicht und so lassen sich Windkraftanlagen und Windparks koppeln und in einem virtuellen Kraftwerk verwalten.

Automatisierungslösungen mit der entsprechenden Sensorik sind die Grundlage des Condition Monitorings. Sie erfassen die benötigten Daten und stellen sie bereit, was insbesondere für kostenintensive Offshore-Windkraftanlagen extrem attraktiv ist, da sich beispielsweise Rissbildungen oder Schäden, durch bspw. starke Lasten an Getriebe, Schrauben und anderen Teilen, rechtzeitig erkennen lassen. Dabei sollen vor allem Unregelmäßigkeiten im Betrieb frühestmöglich erkannt werden, um teure und aufwändige Service-Einsätze zu reduzieren und rechtzeitig Instandhaltungs- und/oder Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Vor allem im Offshore-Bereich finden aus diesem Grund zunehmend Remote Access, Fernwartung und Industry Clouding Anwendung.

Ein wichtiges Feld sind zudem Anti-Icing-Systeme für die Rotorblätter von Windkraftanlagen. Sie schalten sich bei entsprechenden Wetterbedingungen automatisch ein und enteisen die Rotorblattkante, da es hier durch Eisbildung und dadurch verbundenen Unwuchten am Rotor zu Ertragsausfällen kommen kann.

## 5 Systematische Geschäftsmodellinnovation

Systematische Geschäftsmodellinnovation bietet Unternehmen einen methodischen und konzeptionellen Rahmen zur Entwicklung neuer digitaler Geschäftsmodelle als Grundlage zukünftiger Wettbewerbsfähigkeit und Differenzierung gegenüber den wichtigsten Wettbewerbern. Deshalb sollten das Geschäftsmodell und die zugehörigen Prozesse und IT-Systeme individuell auf die entsprechenden Wettbewerbsvorteile zugeschnitten werden, um durch individuelle Wertschöpfungsprozesse und Lösungen individuelle Mehrwerte beim Kunden zu heben.

Einflüsse auf und Parameter von Geschäftsmodellen im Rahmen von Industrie 4.0 stellen Unternehmen vor die große Herausforderung, nicht nur Faktoren zu identifizieren, die das etablierte Geschäftsmodell bedrohen, sondern auch systematisch die Chancen von Industrie 4.0 für neue Geschäftsmodelle zu suchen. Während in den meisten Unternehmen etablierte Prozesse zur Entwicklung neuer Produkte bestehen, fehlen solche Vorgehensmodelle zur systematischen Entwicklung neuer Geschäftsmodelle häufig. Dies ist oft Aufgabe externer Berater in einer Krisensituation, nicht aber ein Regelprozess. Insbesondere für KMU ergeben sich daraus erhebliche Risiken, von den Entwicklungen der Technologie und des Markts überholt zu werden.



In diesem Teil wird eine mögliche Vorgehensweise schrittweise beschrieben, um das individuelle differenzierende Geschäftsmodell zu identifizieren und umzusetzen. Pro Schritt werden die wichtigsten Werkzeuge beschrieben, die sich im Rahmen des Projektes bewährt haben.

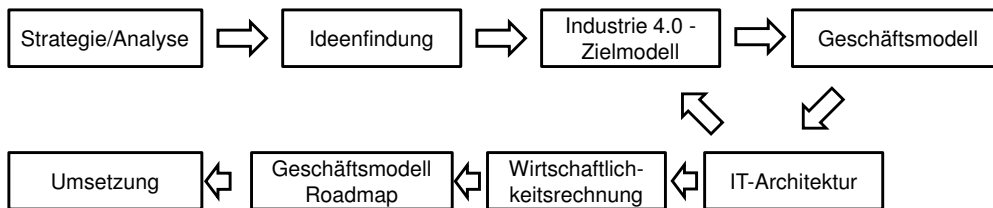


Abbildung 4: Vorgehensmodell zur systematischen Geschäftsmodellentwicklung

Startpunkt des Modells ist die Analyse des Unternehmensumfeldes und das bisherige Geschäftsmodell. Dabei ist es wichtig, den Industrie 4.0-Reifegrad des Unternehmens zu ermitteln. Die Reifegradbewertung hat entscheidenden Einfluss auf die nächsten Schritte. In der anschließenden Ideenfindung gilt es, gute Ideen für neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. Dabei sollte man sich nicht von einer Machbarkeitsbewertung bremsen lassen. In dieser Phase geht es um die Idee für neue Geschäftsmodelle, welche schrittweise über die nächsten drei bis fünf Jahre umgesetzt werden sollen. Die entwickelten Ideen bilden die Basis für das Industrie 4.0-Zielmodell, dabei sollten die Verantwortlichen nicht nur das einzelne Unternehmen betrachten, sondern das gesamte Ökosystem inklusive Lieferanten, Händlern, technischen Komponenten, Wettbewerb inklusive den dazugehörigen Datenflüssen. Auf Basis des geplanten Industrie 4.0-Zielmodells wird das spezifische Geschäftsmodell mit der dazugehörigen IT-Architektur (S. 43 ff.) entworfen. Nach Definition der Architektur lassen sich mit Hilfe einer Wirtschaftlichkeitsrechnung Mehrwerte und Kosten ableiten. Diese stellt den Rahmen für die „Industrie 4.0-Roadmap“, welche aufzeigt, wie das Geschäftsmodell in kleinen, machbaren Schritten umzusetzen ist. Empfehlenswert ist es, jeden Schritt durch eine Validierung mit dem Kunden zu begleiten.

Der Analyse muss besondere Bedeutung beigemessen werden. Die Reifegrad-Analyse eignet sich für die Standortbestimmung, in welcher Stufe sich das Unternehmen tatsächlich befindet, und bildet die Grundlage für die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Erst müssen die technischen Voraussetzungen wie Anschluss der Geräte, Aufbau von Big-Data-Systemen und die entsprechenden Analysemöglichkeiten geschaffen werden, um dann im

nächsten Schritt Lösungen zu entwickeln, welche die Geschäftsmodelle signifikant beeinflussen. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Reifegrade der Industrie 4.0.

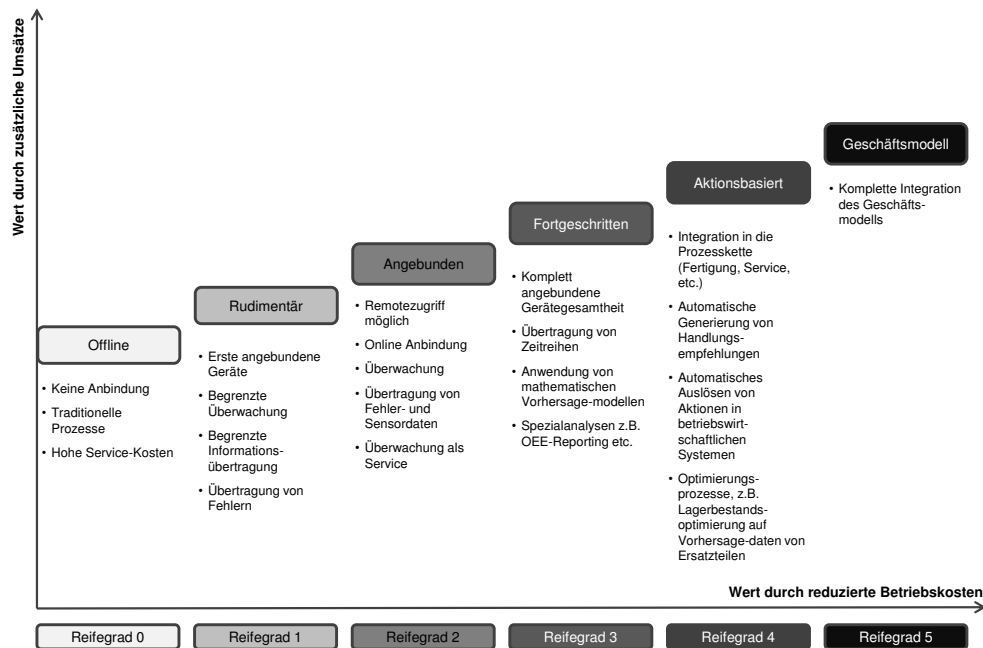


Abbildung 5: Überblick über die Reifegrade der Industrie 4.0

In der Ideenfindung ist es wichtig, die möglicherweise auftretenden Probleme (Technik, Organisation, Budget etc.) zunächst außer Acht zu lassen und nach kreativen, visionären Ideen zu suchen, wie unter idealen Bedingungen ein Geschäftsmodell aussehen kann. Dabei wird im ersten Schritt jede noch so verrückte und unwirkliche Idee zugelassen. Diese Ideen werden immer weiterentwickelt. Ideen dürfen verworfen oder verfeinert werden, bis sie gut genug sind. Es ist selten, dass Ideen aus der ersten Runde gleich weiterentwickelt werden können. Es empfiehlt sich, mehrere Runden (3–4) der Ideenfindung zu absolvieren. Die Design Thinking-Methode (Vianno et al., 2014) eignet sich als gutes Werkzeug für die Ideenfindung. Es ist eine kreative Methode zur Entwicklung neuer Ideen. Insbesondere für die Geschäftsmodellentwicklung eignet sich diese Methode, da sie den Kunden und den Anwender der Lösung stark in den Vordergrund stellt.

Nach Entwicklung der Idee geht es um die Definition und Konkretisierung des Geschäftsmodells und der IT-Architektur. Für die Beschreibung und Entwicklung von Industrie 4.0-Geschäftsmodellen eignet sich insbesondere der Business Model Canvas (Osterwalder et al., 2010). Da die Besonderheiten von Industrie 4.0, Daten, Datenflüsse, Analysen und Marktteilnehmer nicht ausreichend berücksichtigt werden, sei an dieser Stelle auf die Weiterentwicklung des Canvas zum Business Model Framework BizMO<sup>TM</sup> verwiesen (VDI/VDE, 2016).

Durch den starken IT-Fokus spielt der Entwurf der zukünftigen Enterprise- und IT-Architektur im Zusammenspiel mit der Automatisierungs- und Gerätearchitektur eine große Rolle. Oft geht es um die Fragestellung, welche Funktionalitäten an der Maschine abgebildet werden müssen, welche in der Cloud und welche Funktionen in den betrieblichen und technischen Systemen verbleiben. Ein weiterer Aspekt ist die Erreichbarkeit der Informationen. Die Daten müssen mobil verfügbar sein, mit Berechtigungen für einzelne Rollen (S. 61 ff.) innerhalb des Unternehmens und Marktteilnehmern außerhalb. Kunden dürfen sicherlich weniger Daten und Informationen sehen als Service-Techniker und Entwickler.

Viele Maschinenbauer und Hersteller von intelligenten Produkten beauftragen Softwarefirmen, um sich das nötige Software-Know-how an Bord zu holen. Oft haben Firmen aus Differenzierungsgründen die Absicht, einen großen Anteil der benötigten Software selbst zu erstellen. Die spannende Frage ist aber, ob es sich gerade für mittelständische Firmen lohnt, die Software selber zu entwickeln oder bei einem spezialisierten IT-Provider einzukaufen.

Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung für einen Anbieter in einem Zukunftsthema zu rechnen, ist eine Herausforderung, da es schwierig ist Kosten und Umsätze fünf Jahre und mehr im Voraus zu schätzen. Viele der Wirtschaftlichkeitsrechnungen würden nie genehmigt und umgesetzt, wenn realistische Zahlenschätzungen zu Grunde gelegt werden und eine Amortisationsdauer von mehr als drei Jahren berechnet wird. Bei Industrie 4.0 kommt die Herausforderung dazu, dass die Technologien noch nicht ausgereift sind. Diese Unsicherheit führt zu möglichen Verschiebungen und Reduzierung der Umsatzerwartungen und möglicherweise zu höheren Kosten.

Ist die Investition genehmigt worden, kann die Umsetzung starten. Das Geschäftsmodell soll Kundenanforderungen erfüllen, die nur durch Industrie 4.0-Technologien möglich werden. Empfehlenswert ist es, ein Industrie 4.0-Projekt in kleinen überschaubaren Schritten zu implementieren. Abhängig von den Reifegraden der bisherigen IT-Infrastruktur ist entscheidend, mit welchem Schritt gestartet wird:

- Sind die Daten in der richtigen Qualität vorhanden?
- Muss mit der Datenanbindung oder der Integration in die betriebswirtschaftliche Prozesskette gestartet werden?

Wichtig ist auch die Reihenfolge der einzelnen Schritte. Der Blick zum Markt und Wettbewerb ist aber auch entscheidend: Was ist das „Jagdgebiet“, also das Marktthema, das fokussiert werden soll? Es geht darum, durch neue Ideen für Geschäftsmodelle Marktbedürfnisse zu erfüllen, die nur durch neue Industrie 4.0-Technologien ermöglicht werden.

Das Neue an Industrie 4.0 ist die Kombination der Technologien, um innovative Geschäftsmodelle zu unterstützen. Viele der Technologien sind allerdings noch nicht ausgereift. Deshalb sind klassische Projektansätze wie die Wasserfall-Methodik nicht geeignet. Bei dieser Methodik geht man schrittweise vor und schließt eine vorgehende Phase erst ab, bevor die nächste gestartet wird. So wird vor der Realisierung erst die Konzeption theoretisch abgeschlossen. Gerade bei Industrie 4.0-Ansätzen ist es schwierig, am Anfang die komplett neuen Prozesse, Datenmodelle und Technologieentscheidungen etc. theoretisch ohne Praxisbezug zu durchdenken. Bewährt hat sich deshalb die „Prototyping-Methode“. In jeder Projektphase wird ein anfassbarer Prototyp aufgebaut.

In klassischen IT-Projekten wird häufig das Change Management nicht ausreichend berücksichtigt. In Industrie 4.0 müssen oft die einzelnen Abteilungen noch deutlich stärker zusammenarbeiten als in der Vergangenheit, um die entsprechenden Potenziale zu heben. Beispiel: im Anwendungsfall Personalisiertes Produkt müssen Entwicklung, Produktion und Service Hand in Hand arbeiten, um die benötigte Integration aufzubauen. Von daher ist es besonders wichtig, Change Management möglichst ausreichend einzuplanen. Technologisch ist vieles möglich. Wenn die entsprechenden organisatorischen Voraussetzungen nicht gegeben sind, wird das Projekt scheitern.

## 6 Herausforderungen und Chancen

Es lässt sich zusammenfassen, dass die drei Trends Digitalisierung, Serviceorientierung und Nachhaltigkeit aktuell gravierenden Einfluss auf Geschäftsmodelle von Unternehmen aller Branchen haben. Daher laufen selbst Unternehmen, welche heute mit ihren Geschäftsmodellen erfolgreich am Markt sind Gefahr, bei Nichtbeachtung dieser Trends vom Markt verdrängt zu werden.

Das hier beschriebene Vorgehensmodell zur systematischen Geschäftsmodellentwicklung soll als durchgängiger methodischer Ansatz dienen, welcher kollaborativ das verteilte Wissen einer Organisation zusammenführt und bei

Managementaufgabe unterstützen (Kessler et al. 2016). Verantwortliche sollten dabei immer im Blickfeld haben, dass die Umgebung die Kreativität und Zusammenarbeit beeinflusst. Der Raum zur Ideenfindung sollte dem Prozess alle Möglichkeiten zur kreativen Zusammenarbeit bieten: eine Sofaecke zum kreativen Denken in einer Kaffeepause, Stehtische zur Förderung der Konzentration, Whiteboards zum schnellen Skizzieren und Visualisieren von Gedanken, Stellwände, damit die Ideen im Blickfeld bleiben, Post-it Notes, damit Ideen schnell verschoben und sortiert werden können (Brannen 2015). Das tiefe Verständnis des Nutzers bzw. Kunden und seiner Bedürfnisse sollte im Mittelpunkt des Geschäftsmodellentwicklungsprozesses stehen. Design Thinking als designorientierter Ansatz zur Entwicklung innovativer Ideen stellt dazu eine hervorragende Basis bereit. Die Methode basiert auf einem iterativen Vorgehen. Dies bedeutet eine schrittweise Optimierung und Weiterentwicklung der Produkte, Dienstleistungen und Konzepte, im Vergleich zu üblichen linearen Organisationsprozessen. Die zentrale Herausforderung dabei besteht schließlich darin, das entwickelte Geschäftsmodell in die Markt- und Unternehmensrealität zu überführen.

Viele vor allem mittelständische Unternehmen, sehen sich vor konkreten Problemen wie etwa der Realisierung der technischen Anpassungen durch Schaffung von Schnittstellen, Umstellung des Produktions- und Logistikprozesses, Aufrüstung der Anlagen unter dem realen Kosten- und Zeitdruck. Insbesondere die bereits vorhandenen heterogenen Systeme, mit teilweise langer Restnutzungsdauer, besitzen keine kompatiblen Schnittstellen und haben unzureichende Sicherheitsstandards und stellen damit ein wesentliches technisches Hemmnis dar. Hinzu kommen bestehende Regelsysteme, Compliance-Richtlinien und rechtliche Rahmenbedingungen und intangible Faktoren wie fehlende Bewertungssysteme für Daten und Dienstleistungen.

Interorganisationale Netzwerke fordern innerhalb des Unternehmens Anpassungen der Zusammenarbeit unter den Mitarbeitern. Daher ist es Aufgabe des Managements, Modelle und Vereinbarungen mit Mitarbeitern und deren Vertretung zu finden, welche eine zufriedenstellende Lösung bezogen auf Flexibilität in den Prozessen, Datenschutzbestimmungen und Weiterbildung für alle Seiten darstellen. Dazu zählt auch, Beschäftigungsmodelle zu finden, welche Mitarbeitern eine gewisse langfristige Sicherheit geben. Auch wenn es aus Unternehmenssicht kurzfristig ökonomisch sinnvoll erscheint, Kontrakte in Abhängigkeit von sich schnell wandelnden Märkten zu vereinbaren.

Letztendlich sollte der Hauptherausforderung der Verschmelzung von Unternehmens-, Produktions- und Produktinformationssystemen durch die Personifikation eines ranghohen Verantwortlichen (bspw. dem Chief Digital Officer) organisatorisch abgebildet werden. Dieser trägt die Verantwortung für die strategische digitale Entwicklung und weiß die relevanten Abteilungen und

Stakeholder einzubinden, durch welche neue Angebote für den Markt geschaffen bzw. entwickelt werden können. Eine der zentralen Aufgaben ist dabei die Synchronisation der unterschiedlichen Innovations-geschwindigkeiten (längere Zyklen im Maschinen- und Anlagenbau vs. sehr kurze Zyklen in der Softwareentwicklung und/oder Cloud und Mobile Applikationen).

Eine Industrie-4.0-Lösung sollte immer mehr als die Summe ihrer Teile sein. Die Berücksichtigung und Lösung der genannten Herausforderungen wird ein wesentlicher Faktor werden, um neue Geschäftsmodelle durch Industrie 4.0 erfolgreich am Markt zu etablieren.

## 7 Literaturverzeichnis

- Abdelkafi, N. (2012). Open business models for the greater good: A case study from the higher education context. *Die Unternehmung: Swiss journal of business research and practice; Organ der Schweizerischen Gesellschaft für Betriebswirtschaft (SGB)*, 66(3).
- Abdelkafi, N., Makhotin, S., and Posselt, T. (2013). Business model innovations for electric mobility – what can be learned from existing business model patterns? *International Journal of Innovation Management*, 17, 1.
- acatech (Hrsg.) (2011). *Cyber-physical systems-Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion*. acatech POSITION. Heidelberg: Springer.
- Alt, R. & Zimmermann, H.-D. (2001). Introduction to Special Section - Business Models. *Electronic Markets*, 11(1), 1–13. Doi: 10.1080/713765630
- Bach N, et al. (2010). *Geschäftsmodelle für Wertschöpfungsnetzwerke*. Ilmenau: ilmedia.
- Bieger, T., Knyphausen-Aufseß, D. zu & Krys, C. (2011). *Innovative Geschäftsmodelle*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Binner, H. F. (2015). Mitarbeiterfreundliche Industrie 4.0. Arbeitsorganisation und arbeitsplatzbezogene Qualifizierung systematisch gestalten. *zfo - Zeitschrift Führung + Organisation*, 84(3), 177-183.
- Brannen, V. (2015). Der Mensch im Mittelpunkt von Industrie 4.0. Technologie, die sich am Menschen und nicht am technisch Machbaren orientiert. *zfo - Zeitschrift Führung + Organisation*, 84(3), 170-176.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2014). *Industrie 4.0 – Innovationen für die Produktion von morgen*. Berlin: BMBF

- Casadesus-Masanell, Ramon, and Joan Enric Ricart. "From Strategy to Business Models and onto Tactics." (2010) Special Issue on Business Models Long Range Planning 43, no. 2 (April 2010): 195–215.
- Fortino, G., Guerrieri, A., Russo, W., & Savaglio, C. (2014). Middlewares for smart objects and smart environments: overview and comparison. In G. Fortino, & P. Trunfio (Hrsg.), *Internet of things based on smart objects—technology, middleware and applications* (S. 1-27). Heidelberg: Springer International Publishing.
- Gassmann, O., Csik, M. & Frankenberger, K. (2013a). *Geschäftsmodelle entwickeln: 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator*. München: Hanser.
- Gassmann, O., Frankenberger, K. & Csik, M. (2013b). *Geschäftsmodelle aktiv innovieren*. In D. Grichnik & O. Gassmann (Eds.), *Das unternehmerische Unternehmen* (S.23–41). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Geisberger, E., & Broy, M. (Hrsg). (2015) *Living in a networked world—integrated research agenda cyber-physical systems (agendaCPS)*. acatech Study. München: Herbert Utz Verlag.
- Johnson, M. W., Christensen, C. M. & Kagermann, H. (2008). Reinventing your business model. *Harvard Business Review*, 86(12), 57–68.
- Kagermann H, et al. *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. Berlin: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.; 2013. Kagermann H, et al. *IT-driven business models: global case studies in transformation*. Berlin: acatech; 2014.
- Kaufmann, T. (2015): *Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge: Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit*. Springer Vieweg: Heidelberg.
- Lee, E. A. (2008). Cyber physical systems: design challenges. In 11th IEEE international symposium on object/component/service-oriented real-time distributed computing (S. 440–451).
- Morris, L. (2009). Business Model Innovation. *The Strategy of Business Breakthroughs*. *International Journal of Innovation Science*, 1(4), 191–204.
- Oks, S. J., Fritzsche, A., & Lehmann, C. (2016). The digitalisation of industry from a strategic perspective. *R&D Management Conference (RADMA)*.

- Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslein, K. M. (2017). An application map for industrial cyber-physical systems. In H. Song, S. Jeschke, C. Brecher, & D. B. Rawat (Hrsg.), *Industrial internet of things: cybermanufacturing systems* (S. 21-46). Springer International Publishing.
- Osterwalder, A. & Pigneur, Y. (2011). *Business Model Generation: Ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer*. Frankfurt am Main: Campus Verl.
- Reichwald, R., Piller, F. & Ihl, C. (2009). *Interaktive Wertschöpfung: Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung* (2nd ed.). Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Reidt, A., Duchon, M., & Krcmar, H. (2016). *Referenzarchitektur eines Ressourcen-Cockpits zur Unterstützung der Instandhaltung*. München: fortiss.
- Schallmo, D. R. A. (2013a). *Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und implementieren*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schallmo, D. (2013). *Geschäftsmodell-Innovation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Uckelmann, D. and Harrison, M. and Michahelles, F. (eds) (2011): Architecting the Internet of Things*. Springer, Berlin
- VDI (2016) (VDI Nachrichten (Ausgabe 46 vom 17.11.2016)). *Ungenutzte Potenziale*.
- Velamuri, V.K., Bastian, B., Neyer, A.-K., and Möslein, K.M. (2013) *Product service systems as a driver for business model innovation: lessons learned from the manufacturing industry*. *International Journal of Innovation Management*, 17, 1.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). *User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View*. *MIS Quarterly*, 27 (3), 425-478.



## **Autoren**

### **Balun, Rajko**

Rajko Balun ist Geschäftsführer der BLUe KommanD GmbH, bei welcher er sich seit mehreren Jahren mit der Entwicklung innovativer Serviceleistungen für Windkraftanlagenbetreiber beschäftigt. Sein Forschungsfokus liegt auf der Bereitstellung der Windkraftanlagen als Systemdienstleistungen und der Frage, wie Zuverlässigkeit und Qualität für den Kunden erhöht werden können.

### **Dr. Lehmann, Claudia**

Dr. Claudia Lehmann absolvierte ihr Wirtschaftsingenieurstudium an der TU Dresden. In diesem spezialisierte sie sich in Luftfahrtsverkehr sowie Technologie- und Innovationsmanagement. Als Beraterin unterstützte sie Unternehmen bei der Planung und Controlling von F&E Projekten. Seit 2009 arbeitet und forscht sie an der HHL Leipzig Graduate School of Management, wo Sie seit 2015 das Center for Leading Innovation & Cooperation als Executive Director leitet. Ihre Forschungsschwerpunkte sind Innovation Prototyping, Geschäftsmodellentwicklung und Dienstleistungsproduktivität.





Angelika C. Bullinger-Hoffmann (Hrsg.)  
**Abschlussveröffentlichung**  
**S-CPS: Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme**

ISBN-13 978-3-944192-08-6



Seit mehr als fünf Jahren sprechen wir in Deutschland von und über Industrie 4.0 und die Digitalisierung der Produktion. Dabei geht es immer auch um die Zukunft menschlicher Arbeit – das Ausmaß künftiger Automatisierung, die wachsende Bedeutung von Dienstleistungen, neue Geschäftsmodelle sowie um Veränderungen der Mensch-Technik-Arbeitsteilung und Mensch-Technik-Interaktion. In der Produktion dürfte menschliche Arbeit vor allem bei außerplanmäßigen und problemhaltigen Aufgaben mit nicht-routinehaften Entscheidungen von großer Bedeutung bleiben. Typische Beispiele solcher Tätigkeiten sind die Instandhaltung von Maschinen und Anlagen und – dazu komplementär – der Service seitens der Ausrüstungslieferanten.

Genau in dieser Domäne wurde 2014 bis 2016 das Projekt „S-CPS: Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“ durchgeführt. Ziel des Projektes war es, Instandhalter und Servicetechniker durch kontextsensitive Informationen und Kommunikationsangebote auf mobilen Endgeräten – den sogenannten Ressourcen-Cockpits – direkt am Ort ihrer Tätigkeit zu unterstützen. Mit diesem Abschlussband geben die Projektpartner Einblicke in den Entwicklungsprozess des Ressourcen-Cockpits und stellen die im Projekt S-CPS entstandenen Demonstrator-Lösungen vor. Die Beiträge richten sich einerseits an betriebliche Praktiker, die ähnliche Arbeitsassistenzsysteme für mobile, an veränderlichen Arbeitsorten tätige Mitarbeiter entwickeln, auswählen oder einführen wollen. Andererseits werden auch Wissenschaftler angesprochen, die sich mit der Frage befassen, wie die im Kontext von Industrie 4.0 postulierten Cyber-Physischen-Systeme und der Mensch künftig interagieren werden.