

Erstellung einer Referenzarchitektur anhand von individuellen Unternehmensanforderungen

Andreas Reidt¹, Markus Duchon¹, Helmut Krcmar²

¹fortiss GmbH, München

²TU 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 manuellen 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 Kompatibilitätsproblemen 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 (Redt & 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 (Redt & 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 Zwecks 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 ¹ 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	Kommunikationsmöglichkeiten
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-/Anlagenzuweisung z. Personen	Wartungsberichte	Unterstützung Datentypen
18	Überwachung/Protokollierung von Maschinendaten und Zuständen	Status Störung		Bereitstellung von 3D-Daten

¹ (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
- 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

- 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: Digitale 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.
- Laplace, 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
- Redt, 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>
- Redt, 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.