

Smart Service, Nachrüstung

# Smart-Service-Retrofit

Nachrüstung bestehender Maschinen zur Erfüllung von Kundenbedürfnissen im digitalen Zeitalter

M. Ebel, D. Jaspert, J. Pöppelbuß, D. Mann, M. Behnke

*Vorhandene Maschinen und Anlagen, die im Feld laufen, sind oftmals produktiv, aber nicht auf dem technologischen Stand, um Smart Services zu erbringen. Marktpotenziale im Servicegeschäft werden hierdurch nicht ausgeschöpft und neue Kundenbedürfnisse können nicht adressiert werden. Das stellt Unternehmen vor die Herausforderung ihr vorhandenes Equipment nachzurüsten. Dieser Beitrag soll praxisnah einen Einblick in das Vorgehen zur Nachrüstung von Maschinen und Anlagen geben.*

### **Retrofitting of existing machines to meet customer needs in the digital age**

*Existing machines and plants in the field are often productive but not state of the art to provide smart services. Market potentials in the service business are not exploited and changing customer needs due to the Industrial Internet of Things (IIoT) cannot be addressed. This challenges companies to retrofit their existing of their existing equipment. This article describe a practice-oriented retrofit approach.*

## 1 Einleitung

Sowohl eine voranschreitende Servitization als auch die Digitalisierung sind zwei omnipräsente Themenbereiche in der produzierenden Wirtschaft und in verschiedenen Forschungsbereichen. Servitization bedeutet, dass sich produzierende Unternehmen immer mehr auf Dienstleistungen und Produkt-Dienstleistungssysteme konzentrieren, um ihre Wettbewerbsfähigkeit durch kundenorientierte Lösungen zu verbessern. Eine

Prof. Dr. Jens Pöppelbuß, Martin Ebel, M. Sc.,  
David Jaspert, M. Sc  
Ruhr-Universität Bochum  
Lehrstuhl für Industrial Sales and Service Engineering  
Universitätsstr. 150, 44801 Bochum  
Tel. +49 (0)234 / 32-27367  
martin.ebel@isse.rub.de  
www.isse.rub.de

staatl. gepr. Techniker Dominic Mann,  
Dipl.-Ing. Michael Behncke  
emkon. Systemtechnik, Projektmanagement GmbH  
Bahnhofstr. 8a, 27308 Kirchlinteln  
Tel. +49 (0)4236 / 9436-192  
mib@emkon-system.de  
www.emkon-system.de

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „retrosmart“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (Förderkennzeichen 02K16C000 – 02K16C006) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

zunehmend digitalisierte Wirtschaft mit einer Vielzahl vernetzter Geräte birgt hierbei das Potenzial für innovative Angebote und neuartige Geschäftsmodelle. Intelligente Dienste, wie eine zustandsorientierte Instandhaltung, oder ein umfassendes Flottenmanagement und sogar ergebnisorientierte Geschäftsmodelle werden ermöglicht und in das Leistungsportfolio vieler Unternehmen aufgenommen. Zum Angebot dieser „Smart Services“ sind neu eingeführte Produkte und Maschinen bereits mit den notwendigen Sensoren zur Datenerfassung ausgestattet. Die Daten werden ausgewertet und für intelligente Mehrwertdienste genutzt. Im Feld existiert jedoch eine beträchtliche Anzahl älterer Maschinen, die nicht im Einflussbereich der Maschinenhersteller liegen. Marktpotenziale des lukrativen Servicegeschäftes können hierdurch nicht gut ausgeschöpft werden. In diesem Beitrag soll gezeigt werden, wie mittels einer Nachrüstung von Hard- und Softwarekomponenten bereits bestehende Industrieanlagen und Maschinen in eine vernetzte industrielle Umgebung integriert und damit für die Erbringung von Smart Service erschlossen werden können.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Kundenorientierung

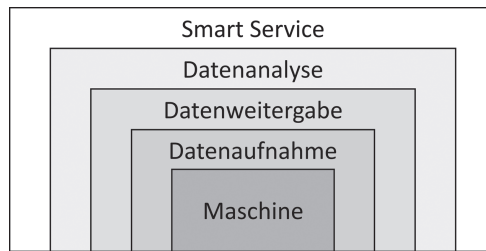
Die alleinige Fokussierung auf die Entwicklung von innovativen Produkten und Technologien reicht heutigen Unternehmen im Vergleich zur Konkurrenz nicht aus, um langfristig am Markt zu bestehen. Vielmehr ist eine langfristige Ausrichtung auf Lösungen gefragt, die sich am Kundennutzen orientieren [1]. Daher rückt der Kunde und seine Anforderungen stärker in den Vordergrund von Entwicklungsprozessen.

### 2.2 Smart Services

Die Zusammenführung von Informations- und Kommunikationstechnologien mit industriellen Produkten führt zu sogenannten smarten Produkten [2]. Diese ermöglichen Herstellern und Betreibern die Aufnahme von Produktions- und Zustandsdaten ihrer Maschinen und Anlagen. Eine gezielte Nutzung dieser Daten ermöglicht es dem Hersteller neue Dienstleistungen, sogenannte Smart Services, anzubieten [3]. Hierbei gilt es insbesondere Nutzungsdaten so auszuwerten, dass sich zum Beispiel die Verfügbarkeit einer Maschine durch die intelligente Dienstleistungserbringung erhöhen lässt. Eine solch digital veredelte Dienstleistung auch als Smart Service bezeichnet basiert auf den spezifischen Präferenzen und Anforderungen des Kunden [4]. Die Wertschöpfungsstufen eines Smart Services sind im **Bild 1** dargestellt.

### 2.3 Retrofitting

Unter dem Begriff Retrofit wird die Nachrüstung, Modernisierung und/oder der Ausbau im Betrieb stehender Maschinen und Anlagen verstanden. Im Kontext von Industrie 4.0 rücken



**Bild 1. Smart Service Wertschöpfung [2, 5, 6]**

dabei die Verwendung von digitalen Hardware-Komponenten, wie Sensoren, Mikrocontrollern und Internet-of-Things-Gateways (IoT-Gateways) sowie Software-Anwendungen zur Datenverarbeitung in den Vordergrund und werden zum Zwecke der Nachrüstung gezielt im Zusammenhang mit der alten Maschine oder Anlage verwendet. Ziel ist oftmals, die Maschinen- und Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen und gleichzeitig eine effizientere Arbeitsweise zu ermöglichen. Die Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung von Retrofit-Vorhaben ist in diesem Zuge die Sicherstellung einer informationstechnischen Infrastruktur, welche die Vernetzung zwischen den verschiedenen Maschinen und Anlagen erlaubt.

### 3 Vorgehen zur Nachrüstung

#### 3.1 Festlegung eines Betrachtungsobjekts

Innerhalb eines Nachrüstungsprojektes wird eruiert, welche Maschinen oder Anlagen sich für ein Retrofit anbieten. Hierbei ist es zunächst wichtig, eine Übersicht über die im Feld verfügbaren Maschinen zu erstellen. Besonders langlebige Produkte mit hohen Investitionssummen bieten hohe Potenziale im Servicegeschäft. Das Betrachtungsobjekt kann hierbei eine Maschine oder eine gesamte Anlage sein. Sollte das Portfolio hauptsächlich Sondermaschinen beinhalten, ist es ratsam auf einzelne standardisierte Module innerhalb dieser Anlagen zurückzugreifen. Hierdurch kann die entwickelte Lösung besser und weitläufiger übertragen werden. Zusätzlich sind die Erreichbarkeit der Anlagen sowie die Offenheit des Betreibers gegenüber einer Nachrüstung Faktoren, die in die Entscheidung einbezogen werden müssen. Schon in dieser frühen Phase der Planung eines Retrofit-Angebots wird daher ein Kundensegment ausgewählt, das durch die nachträgliche Aufrüstung und das Angebot von Smart Services angesprochen werden soll.

#### 3.2 Erfassung von Kundenbedürfnissen

In einem nächsten Schritt ist es für die Realisierung eines zielgerichteten und erfolgsversprechenden Retrofits elementar, die Kundenbedürfnisse herauszufinden. Der Kunde wird hier insbesondere durch den Nutzer der bestehenden Maschinen und Anlagen repräsentiert. Das Ziel dieses Schrittes ist es, die zentralen Aufgaben des Nutzers zu benennen und seine Probleme bei der Erledigung der ermittelten Aufgaben sowie mögliche Erleichterungen für diesen zu identifizieren. Je nach Marktumfeld bietet sich hier die Einbindung von Leadusern an. Auch wenn viele Unternehmen befürchten, hierdurch bereits eine überhöhte Erwartungshaltung auf Kundenseite im Hinblick auf den Leistungsumfang zukünftiger Dienste zu erzeugen, so wird die frühe Einbindung von Kundenbedürfnissen empfohlen.

#### 3.3 Identifikation relevanter Komponenten, Daten sowie Messstellen

Ausgehend von den Kundenbedürfnissen steht nun die Betrachtung der damit verbundenen Anwendungsumgebung im Fokus. Dies kann die Maschine selbst, die Maschinenumgebung (zum Beispiel Prozesse oder Umgebungsparameter) oder ein verschleißkritisches Bauteil sein. Um herauszufinden, welche Daten zur Erfüllung der Bedürfnisse nötig sind, muss zunächst festgelegt werden, welche übergeordneten Informationen in den Daten enthalten sein müssten. Das können zum Beispiel Indikatoren zum Verschleiß von Bauteilen, Effizienzeinbußen bei der Maschinenauslastung oder Betriebszustände einzelner Komponenten sein. Gerade für die Nachrüstung sollte hierbei betrachtet werden, welche Daten bereits erfasst werden und welche zusätzlichen Messstellen sinnvoll für die Datenerfassung sind. Die Auswahl relevanter Daten ist sehr stark an vorhandenes Prozesswissen zu den Maschinen und Anlagen geknüpft. Verschleißerscheinungen und Fehlerursachen können oftmals durch erfahrene Mitarbeiter aus dem Service beschrieben werden. Aus bekannten Workflows des Kunden oder Serviceanfragen können somit Maßnahmen abgeleitet werden, die einen Mehrwert für den Kunden darstellen. Um diese auf Erfahrungswerten basierende Entscheidung zu validieren, bietet sich eine Überprüfung anhand einer umfangreichen Messdatenerfassungen an. Gerade wenn Verschleißmuster und komplexe Zusammenhänge nicht eindeutig bekannt sind, sollte über eine externe Validierung der getroffenen Annahmen im Vorfeld nachgedacht werden. Durch hochauflösende Sensorkomponenten und umfangreiches Messequipment können zum Beispiel Versuchsmessungen an einer nachzurüstenden Maschine durchgeführt werden, um Messstellen zu verifizieren und sicherzustellen, dass sich aus potenziell erfolgsversprechenden Messdaten auch die benötigten Informationen ableiten lassen. Hierbei gibt es die Möglichkeit, das Messequipment und die Durchführung von Probemessungen von einem externen Anbieter einzukaufen oder eigene Expertise im Unternehmen aufzubauen.

#### 3.4 Datenaufnahme

Für die letztendliche Datenaufnahme bestehen verschiedene Möglichkeiten. Diese lassen sich grundsätzlich in drei Bereiche einteilen. Zum einen können Daten aus einer vorhandenen Steuerung ausgelesen werden. Viele Maschinen wurden im Zuge der fortschreitenden Automatisierung bereits mit Sensorik und Aktorik ausgestattet. Die anfallenden Daten werden allerdings häufig noch nicht für eine weitergehende Serviceerbringung genutzt. Vorteil dieses Ansatzes ist es, dass keine baulichen Veränderungen an der Maschine vorgenommen werden müssen, was je nach Anwendungsfall zu Problemen führen kann. Zu beachten ist aber, dass ein Auslesen vorhandener Steuerungs-

systeme je nach Schnittstelle erheblichen Implementierungsaufwand bedeutet. Gerade bei einer hohen Anzahl identischer Maschinen im Feld kann sich dieser hohe Aufwand einer Entwicklung von Schnittstellen-Konvertern oder von Softwaretools zum Auslesen aber rentieren. Sollten gewisse Messdaten noch nicht durch vorhandene Sensorik erfasst werden oder das Auslesen vorhandener Messwerte einen zu großen Aufwand bedeuten, kann über die Anbringung externer Sensorik als zweite Möglichkeit nachgedacht werden. Es gibt heutzutage eine große Auswahl an verschiedener Sensorik. Ob zum Beispiel eine einfache Temperaturmessung von Verschleißteilen oder optische Sensoren zur Abstands- und Distanzmessung für einen konkreten Anwendungsfall in Frage kommen, basiert auf den Überlegungen der vorangegangenen Arbeitsschritte. Zur Übersicht von Messprinzipien für verschiedene Messgrößen und weitere technische Eigenschaften zur Auswahl des richtigen Sensortyps bietet zum Beispiel der Leitfaden des VDMA eine übersichtliche Hilfestellung [7]. Als Einstieg für eine Nachrüstung etablieren sich auch sogenannte Multisensorsysteme, die auf kleinstem Raum unterschiedlichste Messgrößen aufnehmen. Auch wenn hauptsächlich Sensoriken innerhalb des Betrachtungsobjekts von Bedeutung erscheinen, können auch externe Datenquellen als dritte Möglichkeit sinnvoll genutzt werden. Hierzu können beispielsweise Auftrags- und Produktionsdaten aus den ERP- und MES-Systemen aufgenommen werden oder Daten zu Lieferzeiten von Ersatzteilen sowie Umweltdaten einfließen.

### 3.5 Datenübermittlung

Nachdem feststeht, welche Daten an welchen Messstellen durch welche Sensorik gewonnen werden können, stellt sich die Frage der Datenübermittlung. Hierbei gibt es je nach Anwendungsszenarium verschiedene Möglichkeiten. Die Gewährleistung von Datensicherheit und -schutz steht bei vielen Maschinenbetreibern im Vordergrund, was eine Übermittlung der Daten über Unternehmensgrenzen hinweg häufig erschwert. Sollte eine unmittelbare Datenübertragung zum Hersteller nicht möglich sein, kann eine Datenspeicherung direkt an der Maschine vorgesehen werden. Der Datenspeicher wird dann nur ausgelesen, wenn das Servicepersonal des Herstellers vor Ort Zugriff hierauf hat. Dies schränkt dementsprechend viele Möglichkeiten einer proaktiven Serviceerbringung ein. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, die Daten an einen zentralen Server am Standort des Betreibers zu übertragen und ihm somit die Entscheidungshoheit über eine mögliche Datenweitergabe zu überlassen. Gerade in Zeiten des Industrial Internet of Things zeigt die Praxis aber auch immer häufiger eine gewisse Offenheit gegenüber der Datenübermittlung. Verschiedene industrielle Projekte arbeiten mit dezentral gehosteten Servern zur Datenhaltung. Zur Übermittlung werden IoT-Gateways eingesetzt, die die aufgenommenen Daten in einem standardisierten Protokoll weitersenden. Hierbei bieten sich insbesondere zunehmend verbreitete Industriestandards wie MQTT oder OPC-UA an. Zusätzlich sollte noch geklärt werden, welche Daten zu welchem Zweck übermittelt und gespeichert werden müssen. Eine Vorverarbeitung der aufgenommenen Daten mit einem verknüpften Alarming bei Überschreitung von definierten

Grenzwerten kann beispielweise den Datenverkehr reduzieren. Oftmals sind nicht alle Daten relevant, sondern müssen erst bei gewissen Anomalien oder Grenzwertverletzungen analysiert werden.


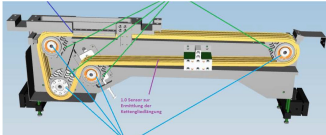

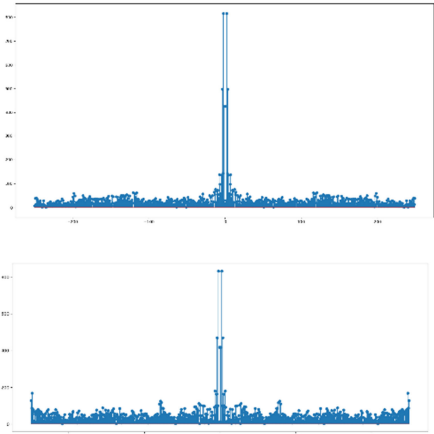
### 3.6 Datenauswertung

Auch die Datenauswertung kann auf verschiedenen Wegen mit unterschiedlicher Zielsetzung erfolgen. Dabei hat sowohl der Grad der Auswertungstiefe, wie auch die zugrundeliegende Anwenderphilosophie in Bezug auf Datenschutz einen direkten Einfluss auf die Art der Auswertung. Es kann zwischen einem beschreibenden, diagnostizierenden, vorausschauenden und verordnenden Auswertungskontext unterschieden werden [8]. Ein reines Reporting von ermittelten Daten kann hierbei zur Zustandsbeschreibung des nachgerüsteten Objekts genutzt werden. Eine Visualisierung und ein fortlaufendes Monitoring der Daten ermöglicht es dem Anwender Zeitverläufe zu betrachten und darauf basierend Diagnosen zu stellen. Dagegen findet bei einer vorausschauenden Auswertung eine Analyse durch Mustererkennung statt, bei der auf Erfahrung beruhende Referenzdaten mit den Objektdaten abgeglichen werden und eine Meldung ausgegeben werden kann, die einen potenziellen Fehler in der Zukunft voraussagt. Der höchste Analysegrad ermöglicht eine individuelle Handlungsempfehlung durch die Datenverarbeitung und -interpretation. Beispielhaft ist hier die automatische Instandhaltungsplanung und Ersatzteilbestellung auf Grundlage von Verschleißparametern zu nennen, noch bevor die Maschine ausfällt. Zusätzlich ist zu überlegen, wo und durch wen die Datenauswertung stattfindet. Dies kann vor Ort und automatisiert direkt an der Maschine oder mithilfe eines Leitstands erfolgen. Die übermittelten und gespeicherten Daten können so zentral sowohl von Anwender- als auch von Herstellerseite ausgewertet werden. Vor allem bei großen Datenmengen bietet sich eine dezentrale Auswertung mithilfe von Cloud-Lösungen an. Hierbei können dann auch zusätzlich Drittanbieter für die Analyse hinzugezogen werden.

## 4 Fazit und Ausblick

Die beschriebene Vorgehensweise lässt sich exemplarisch anhand der Nachrüstung einer Verpackungsmaschine beschreiben, welche im Rahmen des Forschungsprojekts „retrosmart“ durchgeführt wurde. Die verschiedenen Arbeitsschritte sind in der **Tabelle** beschrieben. Wie aus dem Fallbeispiel erkennbar, lassen sich mit dem beschriebenen Retrofit-Vorgehen erste Erkenntnisse für ein Angebot von Smart Services ableiten. Bereits durch simple Sensoriken können Annahmen validiert und mögliche Verschleißüberwachungen installiert werden. Durch die Überwachungsmöglichkeit kritischer Komponenten können so Verfügbarkeiten von Maschinen erhöht werden. Hierbei gilt es aber zu beachten, dass eine rein technische Nachrüstung zunächst keinen Mehrwert für den Kunden darstellt sondern dieser nur durch darauf aufbauende Dienstleistungsangebote generiert werden kann. Der Beitrag stellt eine Orientierung dar, welche Schritte unternommen werden müssen und was zu berücksichtigen ist, wenn Smart Services für bestehende Maschinen etabliert werden sollen.

**Tabelle 1. Vorgehen zum Retrofit anhand einer Verpackungsmaschine**

<b>Betrachtungsobjekt: Emkon. Flex (Bild 2)</b>		
	Anwendung: Flexibler Beutelpacker Geschwindigkeit: 120 Beutel/Minute Größe LxBxH: 6000 x 2800 x 2200 mm Gewicht: 5500 kg Anlagen im Feld: 15 Gebaut seit: 2009	
<b>Kundenbedürfnisse eines Produktionsleiters in der Tabakindustrie</b>		
<b>Kundenaufgabe</b>	<b>Kundenproblem</b>	<b>Kundenwunsch</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Output der Maschinen sicherstellen</li> <li>• Qualität des Produktes überwachen</li> <li>• Wartungsplanung</li> <li>• Kostenreduktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Wartungsslots</li> <li>• Maschine verschleißt stetig und fällt u. U. aus, wenn keine Wartung gemacht wird</li> <li>• Ungeplante Ausfälle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorrasschauendes Handeln</li> <li>• Hohe Teileverfügbarkeit</li> <li>• Minimale Instandhaltungszeiten</li> </ul>
<b>Identifikation des Kettenantriebes als relevante Komponente</b>		
<b>Kettenantrieb</b>	<b>Information</b>	<b>Messstellen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ketten haben bis 20m Länge (siehe Bild 3)</li> <li>• Ketten und Riemen längen sich mit der Zeit</li> <li>• Spannräder können die Längung nach einer Weile nicht mehr kompensieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschleiß der Kette soll ermittelt werden</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Längung und Spannung der Kette sind von Relevanz</li> <li>• Zahnflanken verändern sich durch den Verschleiß</li> <li>• Schwingungsmessung am Antrieb kann möglicherweise Auskunft über Zustand geben</li> </ul>
<b>Datenaufnahme</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Sensoren für die benötigten Informationen vorhanden</li> <li>• Daten aus vorhandenen Sensoren (Positionsgeber, Abstandsmessung) werden nicht aufgezeichnet</li> <li>• Erste Messaufnahmen mit Multisensorsystem (hier Bosch XDK)</li> <li>• Dieser muss mit einer Halterung für den Antrieb versehen werden</li> </ul>		
<b>Datenübermittlung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohdaten wurden per USB an einen PC übertragen und im neutralen CSV-Format gespeichert</li> <li>• Etwa 500 Messpunkte pro Sekunde</li> <li>• Höhere Frequenzen sind mit dem derzeitigen Aufbau nicht möglich</li> <li>• Neuer Aufbau mit andere Hard- und Software in Arbeit</li> </ul>		
<b>Datenauswertung</b>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohdaten wurden nach optischer Beurteilung in Abschnitte von etwa 1 Sekunde zerlegt, was einem Takt der Maschine entspricht</li> <li>• Zukünftig soll zusätzlich ein Taktsignal aufgenommen werden.</li> <li>• Verarbeitung der Datenpunkte mittels einer Fast-Fourier-Transformation (FFT) in Python/NumPy</li> <li>• Frequenzspektrum der Kette im gespannten Zustand zeigt gut erkennbar die Taktfrequenz, sowie ein Hintergrundrauschen durch die Maschine selbst</li> <li>• bei der verschlissenen Kette sind Veränderungen und Ausreißer erkennbar</li> <li>• Schwingungsanalysen können daher Rückschlüsse auf den Verschleiß geben</li> <li>• Für spätere Analysen müssen Hintergrundschwingungen der Maschine herausgerechnet werden (zum Beispiel mittels Referenzsensoren an der Maschine)</li> </ul>	

### Literatur

[1] Bruhn, M.; Hadwich, K.: Dienstleistungen 4.0. Konzepte – Methoden-Instrumente. Band 1. Forum Dienstleistungsmanagement. Springer-Verlag 2017

[2] Porter, M. E.; Heppelmann, J. E.: How smart, connected products are transforming competition. Harvard business review: HBR 92 (2014) 11, pp. 64–88

[3] Engelhardt, S. von; Ensthaler, J.; Hinrich Gieschen, J. et al.: Smart Service Welt Innovationsbericht 2018. Smart Service Welt – Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft (2018)

[4] Chaudhuri, S.; Dayal, U.; Narasayya, V.: An overview of business intelligence technology. Communications of the ACM 54 (2011) 8, S. 88

[5] Fleisch, E.; Weinberger, M.; Wortmann, F.: Geschäftsmodelle im Internet der Dinge. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 67 (2015) 4, S. 444–465

[6] Kagermann, H.; Riemensperger, F.; Hoke, D. et al.: Smart Service Welt. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Berlin: acatech (2014)

[7] VDMA: KIT wbk Institut für Produktionstechnik: Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0. Wege zu kostengünstigen Sensorsystemen

[8] Kart, L.; Linden, A.; Schulte, W. R.: Extend Your Portfolio of Analytics Capabilities, Hrsg. v. Gartner 2013. Internet: [www.gartner.com/en/documents/2594822/extend-your-portfolio-of-analytics-capabilities](http://www.gartner.com/en/documents/2594822/extend-your-portfolio-of-analytics-capabilities). Zugriff am 01. August 2019