

Fortschritt-Berichte VDI

VDI

Reihe 2

Fertigungstechnik

Dr.-Ing. Armin Lechner,
Stuttgart (Hrsg.),
Dipl.-Ing. Alexander Schmidt,
Stuttgart (Hrsg.)

Nr. 703

iSrv – Intelligentes Servicesystem



Abschlussbericht
Verbundforschungsprojekt
iSrv – Intelligentes Servicesystem

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (02K16C010 - 02K16C019) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den jeweiligen Autoren.



Am Verbundforschungsprojekt *iSrv* beteiligten sich folgende Firmen und Institutionen:

- BRÜCKNER Trockentechnik GmbH & Co. KG, Leonberg
- COSMO CONSULT DATA SCIENCE GmbH, Würzburg
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart
- Universität Stuttgart - Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Stuttgart
- ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH, Stuttgart
- Simplifier AG, Würzburg
- PIXOMONDO Images GmbH & Co. KG, Stuttgart
- Robert Bosch GmbH, Stuttgart
- SOTEC Software Entwicklungs GmbH + Co. Mikrocomputertechnik KG, Ostelsheim
- Textilveredlung Keller GmbH, Mössingen

BETREUT VOM



Karlsruher Institut für Technologie

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart

2020

Fortschritt-Berichte VDI

R^eihe 2

Fertigungstechnik

Dr.-Ing. Armin Lechler,
Stuttgart (Hrsg.),
Dipl.-Ing. Alexander Schmidt,
Stuttgart (Hrsg.)

N^r. 703

**iSrv - Intelligentes
Servicesystem**

VDI verlag

Lechler, Armin (Hrsg.) & Schmidt, Alexander (Hrsg.)

iSrv – Intelligentes Servicesystem

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 703. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.

96 Seiten, 64 Bilder, 1 Tabelle.

ISBN 978-3-18-370302-9, ISSN 0178-9406,

€ 43,00/VDI-Mitgliederpreis € 38,70.

Für die Dokumentation: Industrie 4.0 – Smart Services – Augmented Reality – Virtual Reality
– Low-Code Plattform – Service Plattform – Edge Computing

Durch Ausfälle von Maschinen und Anlagen entstehen hohe Kosten, weshalb diese vermieden werden sollten. Insbesondere die Betreiber von Anlagen versuchen daher solche Ausfälle um jeden Preis zu vermeiden. Hersteller von Anlagen reagieren auf diesen Bedarf, indem sie ihren Kunden ein individuelles Servicepaket liefern, welches den Nutzen maximiert indem Ausfälle minimiert werden. In diesem Bericht werden aktuelle Forschungsergebnisse präsentiert, welche zeigen, wie mithilfe von Low-Code Plattformen die Entwicklung Smarter Services beschleunigt werden kann. Das Zusammenspiel von Anlagenbauern und Anlagenbetreibern, sowie die Einbindung externer Anbieter von digitalen Dienstleistungen steht dabei im Fokus. Es werden dabei sowohl theoretische Grundlagen und Konzepte, als auch konkrete Anwendungsbeispiele aus der Fertigungsindustrie präsentiert. Der Einsatz von Augmented und Virtual Reality für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten stellt ein weiteres Beispiel eines Smart Services dar.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie
(German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at
www.dnb.de.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9406

ISBN 978-3-18-370302-9

Vorwort

Durch Ausfälle von Maschinen und Anlagen entstehen hohe Kosten, weshalb insbesondere Betreiber versuchen solche Ausfälle weitestgehend zu vermeiden. Hersteller von Anlagen reagieren auf diesen Bedarf, indem sie ihren Kunden individuelle Servicepakete liefern, welche den Nutzen maximieren indem Ausfälle minimiert werden. Allerdings zeigt sich in der Praxis, dass nach wie vor enormes Potential besteht um das Problem weiter zu minimieren:

- Die Kosten für ungeplante Ausfallzeiten belaufen sich am Beispiel von Werkzeugmaschinen auf 15% der gesamten Lebenszykluskosten, für verkettete Großanlagen sind diese sogar noch höher.
- „Wir können bereits heute Maschinen- und Betriebsdaten generieren. Die Nutzung und Rückführung von Entscheidungen in die Anlagen in Echtzeit in Form einer Dienstleistung findet aber nicht statt“ – BRÜCKNER Trockentechnik GmbH & Co. KG. (Anlagenbauer)

Untersuchungen aus dem Bereich des Cloud-Computing zeigen, dass eine Kombination aus der Überwachung von Daten mit dazu passenden Eingriffsmöglichkeiten zu einer 4-fach schnelleren Behebung von Fehlern führt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass aus dem entstehenden Wissen gelernt werden kann, um das erneute Auftreten dieser Fehler zu vermeiden. Für den Anlagen und Maschinenbau ist es daher von Vorteil, wenn diese Potentiale übertragen werden.

Das Verbundforschungsprojekt *iSrv: Intelligentes – Servicesystem* hat sich mit einer unternehmensübergreifenden Lösung für die Fertigungsindustrie beschäftigt. Das intelligente Servicesystem besteht hierbei aus Komponenten zur Datenkonnektivität, Baukästen zur Analyse und Onlinemodellierung sowie Servicekonzepten sowohl für den Anlagenbauer als auch für den Anlagenbetreiber.

Dr. Armin Lechler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Zielstellung.....	1
1.2	Konzept der Intelligenten Serviceplattform.....	1
2	Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau	3
2.1	Einleitung.....	3
2.2	Qualitative Expertenstudie zu Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau	3
2.2.1	Eigene Strategien und digitale Geschäftsmodelle entwickeln.....	3
2.2.2	Services transparent und klar beschreiben.....	3
2.2.3	Datensammlung und -aufbereitung organisieren.....	4
2.2.4	Datenschutz sicherstellen	4
2.2.5	Mitarbeiter für Serviceplattformen qualifizieren	4
2.3	Empirische Studie zu Leistungsangeboten von Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau.....	4
2.4	Management von Smart Services.....	6
2.5	Design Thinking.....	7
2.6	Neue Geschäftsmodelle entwickeln.....	7
2.6.1	Bestehendes Produkt mit Smart Service ergänzen.....	7
2.6.2	Neues Produkt mit neuem Smart Service	8
2.6.3	Produktlosen Smart Service entwickeln.....	8
2.7	Service Engineering und Serviceerbringung.....	8
2.8	Zusammenfassung	9
2.9	Literaturverzeichnis.....	9
3	Konzept einer Low-Code Plattform	11
3.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	11
3.2	Lösungsansatz Low-Code.....	12
3.3	Ausprägung einer Low-Code-Plattform am Beispiel Simplifier	12
3.3.1	API & Integration.....	12
3.3.2	App Erstellung	13
3.3.3	Market Place.....	13
3.3.4	Endgeräte	13

3.4	Individualisierte Kommunikationsbausteine am Beispiel OPC/UA	13
3.4.1	Implementierung.....	14
3.4.2	Nutzung mittels Business-Objekten.....	15
3.5	Anwendungsfälle und Ausblick.....	16
4	Servicesysteme am Beispiel von Textilmaschinen.....	18
4.1	Untersuchung Fallbeispiele – Anwendungsfälle	18
4.2	Cloudbasierte Analyse der Maschinendaten.....	23
4.2.1	Viertes Fallbeispiel Störmeldungen	27
4.3	Services und deren Umsetzung	29
4.4	Erfolgsaussichten digitaler Service für die Zukunft	36
5	Realisierung und Bereitstellung von Smart Services auf Edge-Geräten in einem industriellen Umfeld mit Hilfe von cloudbasierter Datenanalyse und Modellbildung	39
5.1	Einleitung	39
5.2	Datenerfassung im industriellen Umfeld am Beispiel von Textilmaschinen.....	39
5.3	Edge Device Management und bidirektionale Datenkommunikation	40
5.4	CloudPlug Edge	41
5.5	Das Basissystem des SOTEC CloudPlug edge.....	42
5.6	Remote Device Management.....	42
5.7	Datenanalyse und Modellbildung für kundenspezifische Anwendungsfälle	43
5.8	Datenexploration, -aufbereitung und -visualisierung	45
5.9	Smart Service Energieverbrauchs-Vorhersage	46
5.10	Smart Service “Thermische Belastung der stehenden Kette”	46
5.11	Literaturverzeichnis	47
6	Intelligente Services aus der Cloud	48
6.1	Motivation und Hintergrund	48
6.2	Umsetzung von Analysebausteinen	49
6.3	Demonstrator mit Firma Brückner	53
6.4	Literaturverzeichnis	55
7	Anreicherung von Online-Modellen mit Informationen.....	56
7.1	Anreicherung von Modellen mittels grafischer Visualisierung	56
7.2	Cloudbasierter Augmented-Reality Baukasten	58

7.3	Eingriffsmöglichkeiten zur Optimierung von Prozessparametrierungen	59
7.4	Literaturverzeichnis	62
8	Entwicklung eines VR-Schulungssystems.....	63
8.1	Einleitung	63
8.1.1	Visualisierung realer Maschinendaten.....	63
8.1.2	Ausgangslage und Projektbeschreibung	63
8.1.3	Datenstruktur und Visualisierung	63
8.1.4	Übertragung und Optimierung für Virtual Reality	64
8.1.5	Fazit und weiterführende Gedanken	64
8.2	Schulungsszenario	65
8.2.1	Ausgangslage und Projektbeschreibung	65
8.2.2	Umsetzung des Prototyps	65
8.2.3	Informationsvermittlung	66
8.2.4	Fazit und weiterführende Gedanken	66
8.3	Konzept eines erweiterten Anwendungsfalls.....	66
8.3.1	Ausgangslage und Projektbeschreibung	66
8.3.2	Schulungsstruktur.....	67
8.3.3	Variable Schulung.....	67
8.3.4	Fazit und weiterführende Gedanken	68
9	Simulationsplattform und VIBN für intelligente Services	69
9.1	Nutzung der VIBN / Simulationsplattform begleitend zum Betrieb der Anlagen	69
9.2	Modellierungsbaukasten für intelligente Services	71
9.2.1	Motivation / Problembeschreibung	71
9.2.2	Konzeption eines Modellierungsbaukastens für Verhaltensmodelle	71
9.2.3	Integrationsschnittstelle für Servicesysteme auf Basis der GUI-Plattform „Simplifier“	73
9.3	Visualisierung der Simulationsergebnisse	74
9.3.1	VR/AR-Visualisierungsbausteine für intelligente Services	74
9.3.2	Anbindung von VR/AR über cloudbasierte Systeme	74
9.4	Fazit	77
9.5	Literaturverzeichnis	78

10	Anwendungsfälle bei Bosch	79
10.1	Rahmengebender Anwendungsfall	80
10.2	Qualitätskontrolle des Druckvorgangs mit Methoden der Bildverarbeitung	82
10.3	Datentransparenz im globalen Fertigungsverbund.....	83
10.4	Bedienoberfläche für den globalen Fertigungsverbund mit Simplifier.....	84
10.5	Echtzeit-Visualisierung am digitalen Zwilling	85
10.6	Speicherung von Sensordaten in Google BigQuery.....	86
10.7	Bereitstellung der iSrv-Toolbox-Services in der Arena2036.....	86
10.8	Darstellung von Handlungsanweisungen durch virtuellen Werker	86
10.9	Services mit konkretem Kundennutzen am Beispiel Sonderwerkzeug	87
10.10	Erfahrungen aus iSrv.....	88
10.10.1	Hoher Aufwand für die Datenerfassung.....	88
10.10.2	Hohe Hürden für Datentransfers.....	88
10.10.3	Heterogenität der Anwendungsfälle erschwert die Identifikation generischer IT-Architektur	89
10.11	Verwendung der Ergebnisse	89

1 Einleitung

A. Schmidt (*Universität Stuttgart ISW*)

1.1 Motivation und Zielstellung

Der Einsatz von digitalen Diensten im Maschinen- und Anlagenbau bietet das Potential zur Erschließung neuer Geschäftsbereiche. Die Unterstützung eines Instandhalters bei Wartungsarbeiten, die Voraussage von Maschinenausfällen oder die datenbasierte Optimierung von Fertigungsprozessen sind nur einige Beispiele für den Einsatz digitaler Dienste. Trotz des enormen Potenzials von digitalen Diensten, bieten nur eine geringe Anzahl von kleinen und mittelständischen Unternehmen solche Dienste an. Der Grund dafür ist in der hohen Komplexität bei der Umsetzung zu sehen. Für deren Erstellung und Betrieb werden hochspezialisierte Fachkräfte aus verschiedenen Fachdisziplinen benötigt. Für kleinere und mittelständische Unternehmen stellt dies eine Barriere bei der Umsetzung digitaler Dienste dar. Ein Lösungsansatz zur Überwindung dieser Barriere ist die intelligente Serviceplattform (iSrv). Auf dieser Serviceplattform bieten hochspezialisierte Dienstleister Smart Services an und ermöglichen somit kleinen und mittelständischen Unternehmen auf diese Services zuzugreifen um damit eigene individualisierte Dienste zu erstellen.

1.2 Konzept der Intelligenten Serviceplattform

Um einen Smarten Service auf Basis mehrerer spezialisierter Dienste zu erstellen, müssen diese Dienste miteinander Integriert werden. Dies stellt eine große Herausforderung dar, weil die unterschiedlichen Dienste einheitliche Datenmodelle, Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle verwenden müssen. Dieses Problem wird durch das Intelligente Servicesystem (iSrv) konzeptionell durch die folgenden drei Ansätze gelöst:

- Verwendung des Entwicklungsprozesses „Low-Code“
- Konsequenter Einsatz von wiederverwendbaren Baukästen
- Standardisierte Kommunikationsprotokolle

Das Konzept der Low-Code Programmierung ermöglicht die Erstellung von Applikationen unter Verwendung einer grafischen Oberfläche. Der Programmcode wird automatisiert nach einheitlichen Konventionen erstellt. Dies führt zu einem einheitlichen Quellcode, welcher nicht von individuellen Programmierstilen unterschiedlicher Entwickler geprägt ist und somit eine hohe Wartbarkeit aufweist. Der Einsatz von wiederverwendbaren Baukästen ermöglicht es dem Anwender, spezielle und individualisierte Anwendungen zu erstellen und dabei trotzdem auf standardisierte Komponenten zurückzugreifen. Die Kommunikation wird durch standardisierte Protokolle realisiert, für welche es jeweils fertige und standardisierte Kommunikationsbausteine gibt. Eine Übersicht über das Intelligente Servicesystem iSrv ist in Abbildung 1-1 zu sehen.

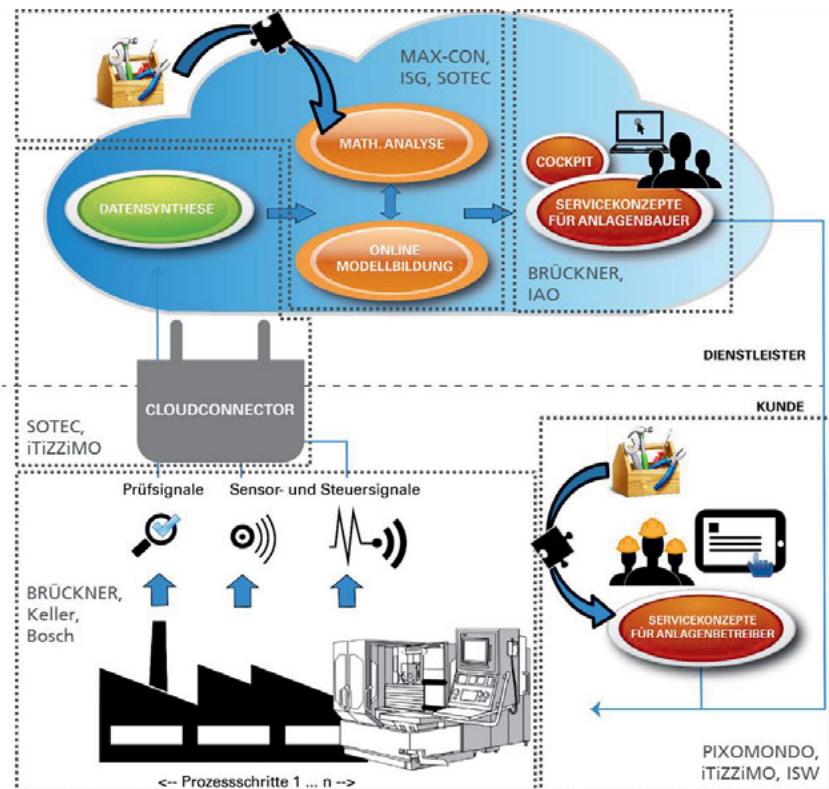


Abbildung 1-1: Übersicht über das Intelligente Servicesystem iSrv (Quelle: Universität Stuttgart ISW)

Zunächst gibt dieser Forschungsbericht eine Übersicht über den aktuellen Bedarf Smarter Services im Maschinen- und Anlagenbau (siehe Kapitel 2). Im Anschluss werden die technischen Grundlagen der Intelligenten Serviceplattform und das Konzept der „Low-Code“-Programmierung erläutert (siehe Kapitel 3). Die Praktische Anwendung der intelligenten Serviceplattform wird zum einen am Anwendungsfall einer Textilmaschine (siehe Kapitel 4) und zum anderen am Anwendungsfall des selektiven Laserschmelzen (siehe Kapitel 10) erläutert. Das Thema der Konnektivität zwischen Anlagen und Servicesystem wird anhand des „CloudPlugs“ (siehe Kapitel 5) behandelt. Weitere Smart Services welche in diesem Forschungsbericht genauer beschrieben werden sind mathematische Modelle zur Trendanalyse von Zeitreihen (siehe Kapitel 6), die Anreicherung von Modellen mit Zusatzinformationen und Augmented Reality (siehe Kapitel 7), die Unterstützung von Schulungskonzepten mittels Virtual Reality (siehe Kapitel 8) und die virtuelle Inbetriebnahme (siehe Kapitel 9).

2 Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau

M. Freitag, O. Häammerle (Fraunhofer IAO)

2.1 Einleitung

Nach der Einführung von Industrie 4.0 ist es für produzierende Unternehmen viel einfacher geworden, unter Nutzung der eingesetzten Sensoren und Plattformen ihr Angebotsportfolio um Smart Services zu erweitern [1]. Unter Smart Services werden datenbasierte Angebotskombinationen aus digitalen Dienstleistungen oder Produkten verstanden, die über integrierte Plattformen angeboten werden [2]. Dadurch ergibt sich auf der einen Seite die Möglichkeit neue Zielgruppen mit innovativen Geschäftsmodellen zu erschließen. Dies erfordert aber auf der anderen Seite eine stärkere Verzahnung zwischen datenbasierter Geschäftsmodellentwicklung und Serviceentwicklung, um so auch neue Zielgruppen profitabel bedienen zu können. Ein sich anschließendes Management dieser Smart Services ist ebenfalls notwendig, wird aber hier nicht weiter vertieft.

2.2 Qualitative Expertenstudie zu Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau

Um den Einsatz von Smart Services im Maschinenbau näher zu analysieren, wurden in einer qualitativen Studie [3], Trends und Entwicklungen im Servicebereich des Maschinen- und Anlagenbaus analysiert und zu strukturiert.

Für die Expertenbefragung wurden 15 Teilnehmer aus klein- und mittelständischen Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau ausgewählt und in Form eines semi-strukturierten, persönlichen Interviews befragt. Aus den Aussagen der Experten wurden zunächst folgende fünf Handlungsempfehlungen herausgearbeitet [3]:

2.2.1 Eigene Strategien und digitale Geschäftsmodelle entwickeln

Ein strategischer Wandel vom Produkt- zum Serviceanbieter sollte gerade für klein- und mittelständische Unternehmen schrittweise erfolgen. Darauf aufbauend ist es wichtig, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln, die möglichst schon in der Entwicklungsphase bei Pilotkunden getestet werden sollten.

2.2.2 Services transparent und klar beschreiben

Die transparente Beschreibung der ausgewählten Services ist ebenso wichtig, wie die frühzeitige Miteinbeziehung aller Partner und Lieferanten, die im besten Fall auch digital auf die Serviceprozesse zugreifen können.

2.2.3 Datensammlung und -aufbereitung organisieren

Da digitale Daten in der Regel essentiell für die Erbringung von Smart Services sind, sie jedoch in vielen Unternehmen noch nicht verfügbar sind, gilt es zu überlegen, wie diese – beispielsweise durch Sensorik – erhoben und in welchen Abständen sie gespeichert werden.

2.2.4 Datenschutz sicherstellen

Zunächst sollten grundsätzlich nur Daten erhoben werden, die für den Smart Service notwendig sind. Vor allem aber im Umgang mit personenbezogenen Daten ist der Datenschutz ein wichtiges Thema. Sollten solche personenbezogenen Daten erhoben werden, sind in jedem Fall die Mitarbeiter oder der Betriebsrat vorab zu informieren.

2.2.5 Mitarbeiter für Serviceplattformen qualifizieren

Da solche Transformationsprozesse neue Qualifikationsprofile der Mitarbeiter erfordern, ist die rechtzeitige Qualifikation und die frühzeitige Einbeziehung der Mitarbeiter von zentraler Bedeutung, nicht zuletzt, weil es bei solch neuen Qualifikationsprofilen – wie dem Data Scientist – nicht genügend externe Bewerber gibt.

2.3 Empirische Studie zu Leistungsangeboten von Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau

Ergänzend zu der Expertenbefragung wurde außerdem eine Analyse des Angebots an Smart Services der 100 größten deutschen Maschinenbauunternehmen durchgeführt und mit 100 nach dem Zufallsprinzip ausgewählten kleinen und mittleren Maschinenbauern verglichen [4]. Zielsetzung der Studie war zum einen die Untersuchung, welche Serviceleistungen die Unternehmen anbieten und wie sie diese für ihre Kunden strukturieren und beschreiben. Zum anderen war es von Interesse, inwieweit die Serviceleistungen bereits digitalisiert sind und welche Angebote besonders forciert werden.

Für die Durchführung der Studie wurden die 100 größten deutschen Maschinenbauer über die AMADEUS-Wirtschaftsdatenbank ermittelt und anschließend mit der Bisnode-Firmendatenbank abgeglichen. Um einen Vergleich mit kleinen und mittleren Unternehmen zu ermöglichen, wurden mit Hilfe einer Zufallsauswahl weitere 100 Betriebe mit weniger als 250 Mitarbeitenden ausgewählt. Um eine Vollerhebung zu ermöglichen, wurde aufgrund der erfahrungsgemäß niedrigen Rücklaufquoten auf die Erstellung und den Versand eines Fragebogens verzichtet. Stattdessen wurden für die Studie öffentlich verfügbare Quellen jedes einzelnen Unternehmens analysiert und die notwendigen Informationen auf diese Weise ermittelt. Hierzu zählten insbesondere die Servicedarstellungen im Internet, in sozialen Medien, in Presse- und Investoreninformationen, in Jahresberichten, in Printmedien (z.B. eigene Servicekataloge) sowie bei Veranstaltungen. Die Erfassung und Auswertung der Daten erfolgte anschließend mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS.

Insgesamt zeigt sich, dass bei Unternehmen aller Größenordnungen nach wie vor das „klassische“ Serviceangebot dominiert. Am häufigsten werden Ersatzteilservice, Reparaturen, Schulungen, Wartung und Optimierungen angeboten. Allerdings werden die einzelnen Serviceleistungen meist nicht sehr detailliert dargestellt. Die Regel ist nur eine eher rudimentäre Übersicht zu finden – so geht beispielsweise rund ein Viertel der untersuchten Unternehmen nicht auf so wichtige Themen wie Kundenutzen und Leistungsbeschreibung ein. Auf der einen Seite lässt sich dies dadurch erklären, dass Services nicht das Kerngeschäft der Maschinenbauer ausmachen, auf der anderen Seite werden hier jedoch möglicherweise Umsatz- und Ertragspotenziale verschenkt, weil den Kunden die notwendigen Informationen für eine stärkere Nachfrage nach Serviceangeboten fehlen.

Mit Blick auf Smart Services lässt sich feststellen, dass in der Summe bereits ein überraschend breites Spektrum an Leistungen angeboten wird. Am häufigsten tauchen verschiedene Varianten von Remote Services auf, aber auch Services wie Predictive Maintenance und Smart Training sind gut vertreten. Bei der Betrachtung der beiden untersuchten Unternehmensgruppen fällt jedoch bei den Smart Services ein deutlicher Unterschied auf, wie die Abbildung 2-1 zeigt.

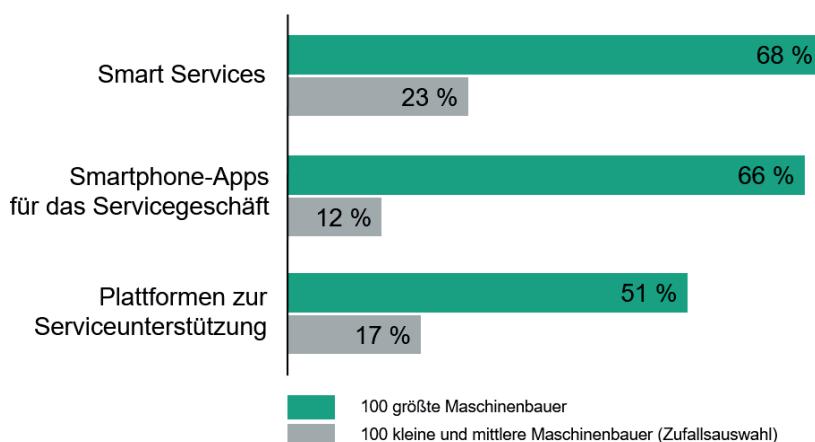


Abbildung 2-1: Digitalisierung im Maschinenbau (Quelle: Fraunhofer IAO)

Bei den 100 größten Maschinenbauern haben bereits 68 Prozent der Unternehmen Smart Services im Angebot, während dies nur bei 23 Prozent der kleineren Betriebe der Fall ist. Das gleiche Bild zeigt sich auch bei eigenen Smartphone-Apps und dem Einsatz von Plattformen zur Unterstützung des Servicegeschäfts. Es bleibt festzuhalten, dass sich bei kleinen und mittleren Maschinenbauern eine „Digitalisierungslücke“ beobachten lässt und diese insbesondere beim Thema Smart Services deutlich hinterherhinken.

2.4 Management von Smart Services

Um diese Digitalisierungslücke schrittweise und systematisch zu schließen, ist der Einsatz eines Smart Service Lifecycle Managements empfehlenswert. Abbildung 2-2 zeigt die vereinfachte Darstellung eines Smart Service Lifecycle Managements [5, 6, 7] auf der Grundlage der folgenden Phasen:

- Design Thinking,
- Geschäftsmodellentwicklung,
- Service Engineering und
- Serviceerbringung.

Während des Design Thinking-Prozesses werden gemeinsam mit Kunden und Mitarbeitern neue Ideen für Smart Services generiert. Daran anschließend erfolgt die Geschäftsmodellentwicklung der ausgewählten Ideen. Für die finanziell erfolgreichen Geschäftsmodellalternativen wird der Service dann mittels Service Engineering entwickelt und gemanagt.

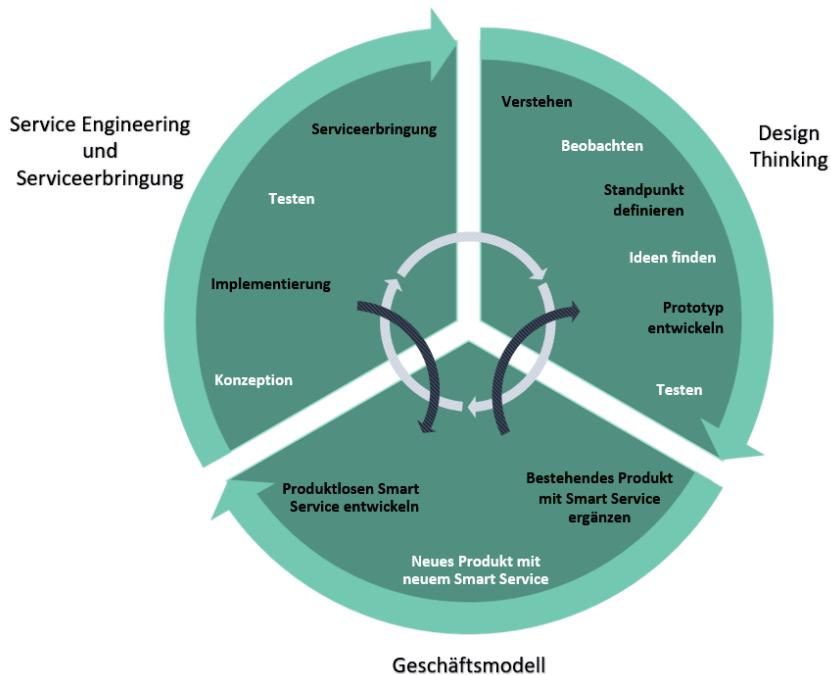


Abbildung 2-2: Phasen und Prozessschritte eines Smart Service Lifecycle Managements [5, 6, 7]

Nachfolgend werden die einzelnen Phasen näher beschrieben.

2.5 Design Thinking

Nach Plattner et al. [8] besteht der Design Thinking-Prozess aus sechs Schritten, die in Abbildung 1 dargestellt werden. Ein zentraler Aspekt während des gesamten Prozesses ist die Kundenorientierung. Diese wird insbesondere durch die Verständnis- und Beobachtungsphase zu Beginn des Design Thinking deutlich. Erst danach wird der eigene Standpunkt definiert und die Lösungsmöglichkeiten werden diskutiert.

2.6 Neue Geschäftsmodelle entwickeln

Unter einem "Geschäftsmodell" [9] ist die Abbildung des Leistungssystems eines Unternehmens oder Unternehmensteils zu verstehen. In vereinfachter Form beschreibt es, wie das Unternehmen durch verkaufsfähige Produkte und Dienstleistungen Kundenwert schafft, welche Ressourcen es dafür benötigt und wie die Dienstleistung erbracht wird [9]. Wenn die Produkte "intelligent" sind und Daten sammeln können, bedeutet dies auch, dass Unternehmen ihren Kunden einen Mehrwert bieten können, der über den eigentlichen Produktnutzen hinausgeht. Auf diese Weise können intelligente Dienstleistungen geschaffen werden. Dadurch beschränken sich Geschäftsmodelle nicht mehr nur auf eine reine Produktorientierung, sondern sind auch daten- und dienstleistungsgtrieben [2, 10, 11]. Diese Aspekte lassen sich am besten mittels einer Value Proposition herausarbeiten. Insbesondere wird dabei geprüft, welche potenziellen Wettbewerber ähnliche Smart Service anbieten oder in Zukunft anbieten werden und welche Vorteile diese aus Kundensicht haben. Diese können beispielweise im Preis oder der Nutzungsart liegen.

Bei der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle gibt es dabei verschiedene Optionen für Unternehmen, insbesondere im Verhältnis zwischen bestehenden oder neu entwickelten Produkten und den angebotenen Smart Services, die im Folgenden kurz beschrieben werden. Hier werden drei mögliche Optionen von Geschäftsmodellen vorgestellt, die sich besonders für kleine und mittelständische Unternehmen eignen und leicht umzusetzen sind [12, 13].

2.6.1 Bestehendes Produkt mit Smart Service ergänzen

Hier werden Produkte, die bereits auf dem Markt etabliert sind, um IoT-Funktionen ergänzt um zusätzlichen Nutzen zu schaffen. Bei diesem Modell werden die durch den Kauf und die Nutzung eines Produkts generierten Daten verwendet, um eine Ergänzung zum ursprünglichen Produkt anzubieten. Dadurch können sowohl ein innovatives Nutzenversprechen als auch neue Kundengruppen erreicht werden. Beispiele sind Dienste zur Vermeidung von Maschinen- oder Systemausfällen oder Analyse- und Optimierungslösungen zur Verbrauchsreduzierung, wie der Smart Service der Brückner Textile Technologies GmbH & Co. KG, der ausführlich in Kapitel 10 dargestellt wird.

2.6.2 Neues Produkt mit neuem Smart Service

Hier werden innovative Produkte mithilfe digitaler Technologien entwickelt, die vollständig mit neuen digitalen Servicefunktionen ausgestattet sind. Dadurch können Unternehmen, die mit der Branche bisher nicht vertraut waren, Innovationen in ihnen bisher unbekannten Märkten etablieren. Auch hier kann Brückner Textile Technologies GmbH & Co. KG als Beispiel dienen, wobei der Schwerpunkt auf der integrativen Neuentwicklung von smarten Produkten und Services liegt. Ein weiteres Beispiel ist die Serviceplattform "Axoom" der Trumpf GmbH & Co. KG, auf der nicht nur Smart Services von Trumpf selbst sondern auch von anderen Anbietern zu finden sind [14].

2.6.3 Produktlosen Smart Service entwickeln

Bei der Entwicklung eines produktlosen Smart Service sind vor allem die Berücksichtigung von Kundenprozessen, die Gestaltung eines digitalen Ökosystems und die Optimierung von Usability und User Experience von großer Bedeutung. Abonnements für Softwarelösungen zur Datenanalyse (SaaS-Modelle) und Umsatzbeteiligung des Plattformbetreibers für Anwendungen auf der Plattform sind nur einige Beispiele für produktlose Smart Services. Die digitale Modellierungssoftware "DigitalClone" der Sentient Science Inc. ist ein geeignetes Beispiel für einen solchen produktlosen Smart Service [15].

Durch eine gut durchdachte Geschäftsmodellentwicklung, bei der die Hypothesen nach und nach erfasst und getestet werden, kann ein Smart Service mit sehr hoher Genauigkeit entwickelt werden, der von den Nutzern dann auch nachgefragt und bezahlt wird.

2.7 Service Engineering und Serviceerbringung

Neue Smart Services werden mittels Service Engineering entwickelt. Dabei werden während der Entwicklung die drei Prozessschritte Konzeption, Implementierung und Test durchlaufen. Bei allen drei Schritten sind dabei auch die Aspekte der Geschäftsmodelle, Serviceprozesse und des Managements des Serviceökosystems zu berücksichtigen [16]. Das in den jeweiligen Schritten erlangte Wissen kann dann zur Weiterentwicklung und Anpassung des Smart Service genutzt werden.

Um ein nachhaltiges Geschäftsmodell zu entwickeln, ist es insbesondere bei Smart Services notwendig, eine Marketingstrategie festzulegen und diese später regelmäßig zu prüfen und weiterzuentwickeln, denn gerade im digitalen Umfeld ändern sich Zielgruppen und Märkte schneller.

Der gesamte Prozess ist also nicht nur auf den Smart Service allein ausgerichtet, sondern zielt auf das Management eines Smart Service Lifecycles als ganzheitliche Lösung.

2.8 Zusammenfassung

Die Verlagerung vom produktorientierten zum dienstleistungsorientierten Geschäft erfordert ein Umdenken, insbesondere in traditionellen Unternehmen der verarbeitenden Industrie. Der Prozess des Design Thinkings ist wichtig, um die mit der Neuausrichtung des Unternehmens verbundenen Herausforderungen zu verstehen und entsprechende Lösungen zu entwerfen. Aufbauend auf dem Design-Thinking-Prozess ist die proaktive Entwicklung, Überarbeitung oder komplette Neugestaltung der Geschäftsmodelle ein wichtiger Teil des Umdenkenprozesses von Unternehmen, die wettbewerbsfähig bleiben und die Möglichkeiten von Smart Service nutzen wollen. Das Konzept des Smart Service Lifecycle Management unterstützt Unternehmen dabei, von der Idee über die Geschäftsmodellentwicklung bis hin zur Markteinführung einen Smart Service entwickeln und managen zu können.

2.9 Literaturverzeichnis

- [1] Arbeitskreis Smart Service Welt (2018): Smart Service Welt – Wo stehen wir? Wohin gehen wir? Berlin. URL: <https://www.acatech.de/Publikation/smart-service-welt-2018-wo-stehen-wir-wohin-gehen-wir/> (Zugriff am 07.05.2019).
- [2] Arbeitskreis Smart Service Welt (2015): Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Abschlussbericht, acatech, Berlin.
- [3] Freitag, M.; Korb, T.; Sommer, P. (2019): Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau – eine Kurzstudie. Fraunhofer IAO, Stuttgart.
- [4] Bauer, W.; Riedel, O.; Ganz, W. (Hrsg.): Service im Wandel. Studie zu Serviceangeboten im Maschinenbau. Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2020 (im Erscheinen).
- [5] Freitag M.; Kremer D.; Hirsch M.; Zelm M. (2013): An Approach to Standardise a Service Life Cycle Management. In: Zelm, M.; Sinderen, M. v.; Pires, L. F.; Doumeingts, G.: Enterprise Interoperability. Chichester: John Wiley & Sons, S. 115.-126.
- [6] Freitag, M.; Hämmerele, O. (2016): Smart Service Lifecycle Management. Wt werkstatttechnik online 106, H 7/8, S. 477-482.
- [7] Freitag, M.; Wiesner, S. (2019): Smart Service Lifecycle Management-Rahmenkonzept und Anwendungsfall. In Industrie 4.0 Management 35 (2019) 5, S. 35-39.
- [8] Plattner, H.; Meinel, C.; Weinberg, U. (2009): Design-thinking - Understand-Improve-Apply. Landsberg am Lech: Mi-Fachverlag, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [9] Wirtz, B. W.; Schilke, O.; Ullrich, S. (2010): Strategic development of business models: implications of the Web 2.0 for creating value on the internet. Long range planning, 43(2-3), S. 272-290.

-
- [10] Dhar, V.; Agarwal, R. (2014): Big data, data science, and analytics: The opportunity and challenge for IS research.
- [11] Emmrich, V.; Döbele, M.; Bauernhansl, T.; Paulus-Rohmer, D.; Schatz, A.; Weskamp, M. (2015): Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0: chancen und Risiken für den Maschinen-und Anlagenbau. München, Stuttgart: Dr. Wieselhuber & Partner, Fraunhofer IPA.
- [12] Gassmann, O.; Frankenberger, K.; Csik, M. (2017): Geschäftsmodelle entwickeln: 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler business model navigator. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
- [13] Steimel, B.; Steinhaus, I. (2017): Neue Geschäftspotenziale mit Smart Services—Praxisleitfaden Internet der Dinge. MIND, Meerbusch.
- [14] Trumpf (2019): Homepage von Trumpf:
https://www.trumpf.com/de_AT/unternehmen/presse/pressemitteilungen-global/pressemitteilung-detaillseite-global/press/release/maschinen-sprechen-axoom-uebersetzt/, abgerufen am 04. November 2019.
- [15] Sentient Science (2019): Homepage der Sentient Science:
<https://sentientscience.com/platform/>, abgerufen am 04. November 2019.
- [16] Freitag, M.; Wiesner, S. (2018): Smart Service Lifecycle Management: A Framework and Use Case. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Springer, Cham.

3 Konzept einer Low-Code Plattform

H. Herschlein, K. Filar (Simplifier AG)

3.1 Ausgangssituation und Problemstellung

In den letzten 10-15 Jahren lag der Fokus auf die Implementierung großer Softwaresysteme (wie z.B. ERP-, CRM-, PPS- und RMU-Systeme) in Unternehmen. Heute zeichnet sich hingegen ein Trend hin zur Digitalisierung einzelner Geschäftsprozesse auf der einen Seite sowie der Einbindung von Geräten und Maschinen (Industrie 4.0) auf der anderen Seite ab.

Es ist allerdings weder technisch noch ökonomisch sinnvoll, ein ERP-System oder Maschinen individuell anzupassen oder gar zu ersetzen, um Geschäftsprozesse eines Unternehmens zu digitalisieren. Stattdessen können für einzelne Prozesse individuelle "Business-Apps" erstellt und über Schnittstellen in die IT-Landschaft der Unternehmen eingebunden werden. Aber auch durch diesen Ansatz entstehen Herausforderungen (siehe Tabelle 3-1).

Tabelle 3-1: Anforderungen bei der Erstellung einer Geschäftsanwendung

Fachkräftemangel Für die große Menge an Business-Apps werden auch entsprechend ausgebildete Entwickler benötigt. Allerdings waren in Deutschland im Jahr 2019 ~32.000 Entwicklerstellen unbesetzt.	Kostentreiber Integration Ohne Integration in bestehende IT-Systeme kann nie das volle Potenzial digitalisierter Prozesse erreicht werden, da sie sonst als isolierte Anwendung im Raum stehen.
Anpassungen dauern zu lange Die Umsetzung der Anforderungen aus den Fachbereichen dauern auch aufgrund der Administrationsarbeit der IT-Abteilungen sehr lange und sind nur mit sehr hohem Aufwand zu bewältigen.	Zeit- und Budgetdruck Es wird immer schwieriger die Anforderungen in der vorgegebenen Zeit, Qualität und im Rahmen des vorhandenen Budgets umzusetzen. Zudem steigen die Anforderungen aus den Fachbereichen.
Mangel an Flexibilität Die Systemwelt der Unternehmen ist meist über die Zeit gewachsen damit stark fragmentiert. Die IT ist damit beschäftigt, zahlreiche Insel-Lösungen und Schatten-Anwendungen zu supporten, was durch fehlende Kontrolle und Dokumentation zusätzlich erschwert wird.	

3.2 Lösungsansatz Low-Code

Eine Low-Code Plattform stellt eine Entwicklungsumgebung für Software dar, die mit wenig Programmierung auskommt. Diese Plattformkategorie verfolgt das Prinzip, dass Anwender ohne Programmierkenntnisse in die Lage versetzt werden, eigene Apps zu erstellen. Fast alle Aufgaben, Einstellungen, Designs, Logiken usw. lassen sich mit einer UI-Oberfläche und entsprechenden Elementen konfigurieren und in bestehende Systemlandschaften integrieren.

Um das zu erreichen kommen bei Low-Code-Entwicklungsplattformen anstelle individueller Programmcodes vorgefertigte Softwarebausteine zum Einsatz.

3.3 Ausprägung einer Low-Code-Plattform am Beispiel Simplifier

In der Praxis existieren aufgrund der rasant steigenden Forderung nach Digitalisierung analoger Geschäftsprozesse und der damit beschriebenen Probleme mittlerweile eine Vielzahl verschiedener Low-Code Plattformen. Die Plattform Simplifier dient nachfolgend als konkretes Praxisbeispiel.

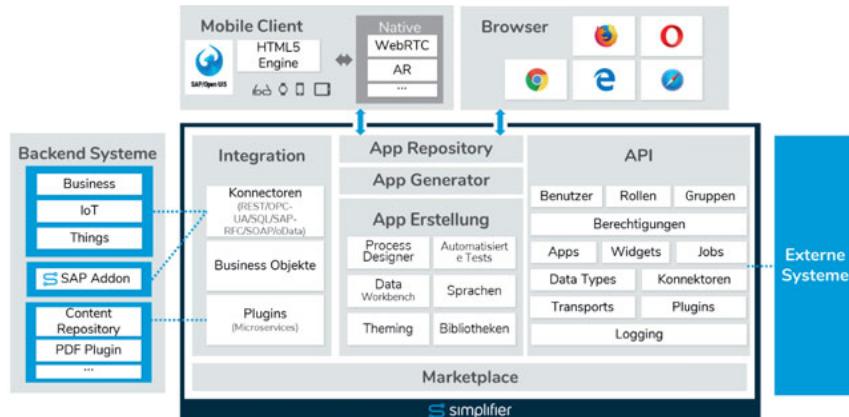


Abbildung 3-1: Architektur einer Low-Code Plattform am Beispiel Simplifier (Quelle: Simplifier)

3.3.1 API & Integration

API & Integration sorgen dafür, dass externe Systeme bidirektional angebunden werden können. Dazu gehören neben klassischer Business Software auch IoT-Geräte wie Produktionsmaschinen. Über weitere generische Konnektoren (REST, OPC/UA, OData, MQTT, SOAP, SQL, ...) kann eine Vielzahl von Software- und Hardware in die Low-Code Plattform und damit in die erstellten Applikationen eingebunden werden. Über Plugins können eventuell fehlende Funktionalitäten nachgeliefert werden.

3.3.2 App Erstellung

Zur App-Erstellung stehen verschiedene grafische Tools zur Verfügung, mit deren Hilfe Business-Applikationen anhand vorgefertigter Module konfiguriert werden können. Dabei wird auf bekannte Elemente auf Basis von BPMN und UML gesetzt. Individueller Code kann bei Bedarf eingepflegt werden (Pro-Code Ansatz), um damit konfigurierte Basis-Versionen von Business-Apps zu erweitern.

3.3.3 Market Place

Der Market Place ermöglicht die Weitergabe erstellter Apps, Konnektoren und Plugins und damit deren Wiederverwendung über Anwendungsgrenzen hinweg.

3.3.4 Endgeräte

Konfigurierte Applikationen werden automatisch für verschiedene Endgeräte deployed. Somit können neben unterschiedlichen Betriebssystemen auch unterschiedliche Geräteklassen (PC, Smartwatch, Smartglasses, Tablet und Smartphone) genutzt werden, ohne manuell Anpassungen an der Applikation vornehmen zu müssen.

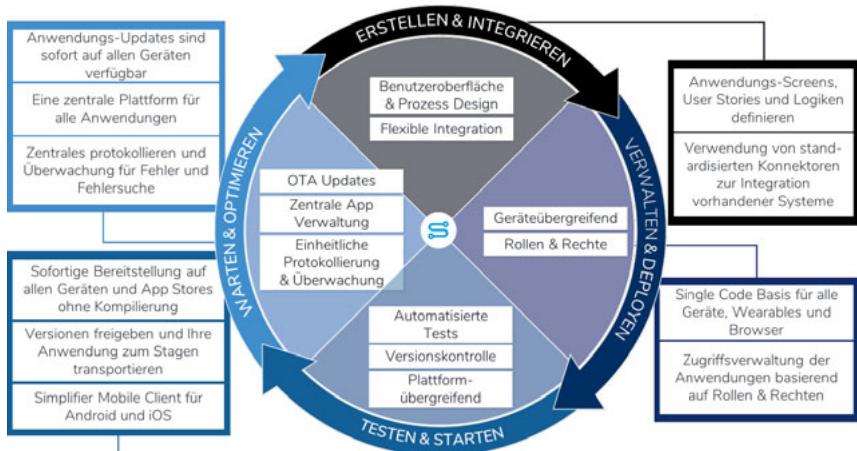


Abbildung 3-2: Application Lifecycle Management mit Simplifier (Quelle: Simplifier)

Mit Hilfe der Simplifier Plattform kann das vollständige Application Lifecycle Management abgebildet werden. Dadurch ermöglicht die Plattform nicht nur die einfache Erstellung komplexer BusinessApps sondern auch die Verwaltung, das Deployment, die (automatische) Testung sowie die Wartung und Optimierung.

3.4 Individualisierte Kommunikationsbausteine am Beispiel OPC/UA

Ein häufiges Problem im industriellen Umfeld ist die Vielschichtigkeit von Kommunikationsprotokollen. Daher wurde der Standard OPC/UA (Open Plattform

Communication/Unified Architecture) definiert. Das Ziel war und ist, die unterschiedlichen Protokolle auf universelle Art- und Weise zu vereinen.

OPC/UA bietet neben den verfügbaren Standard-Informationsmodellen auch eigenständig definierbare Informationsmodelle, welche auf den bereitgestellten standardisierten Datentypen basieren.

Informationsmodelle stellen die Sammlung an standardisierten OPC/UA Knoten dar. Diese beschreiben verschiedene Metainformationen wie Wert, Datentyp, etc. und bilden die Basis eines OPC/UA Servers. Ein Beispiel hierfür ist der Wertknoten. Er ist eine Abstraktion eines Wertes und stellt neben Datentyp, Beschreibung und Wert auch einen Zeitstempel bereit, über den weitergegeben wird, wann die letzte Abfrage des Werts von der zugrundeliegenden Maschine erfolgte.

So wird eine frei definierbare, aber dennoch standardisierte Zwischenschicht ermöglicht, die zugrunde liegende, oftmals proprietäre, Kommunikationsprotokolle (z.B. ModBus, TCP, Seriell oder Feldbusse) abbildet.

Neben der Vielfalt an Kommunikationsprotokollen stellt auch die Abbildung von maschinengesteuerten Produktionsprozessen, deren Überwachung, sowie deren Auswertung in der Industrie 4.0 ein großes Problem dar. Viele Prozesse sind zwar ähnlich aufgebaut, unterscheiden sich jedoch auf Detailebene. Diese oft marginalen Unterschiede führen aber dazu, dass die Implementierung der Prozesse sowie deren Steuerung, Überwachung und Auswertung individuell durchgeführt werden muss.

Der Simplifier ermöglicht es, generische oder teil-generische Bausteine per Low-Code zu entwickeln. Diese machen den Kern dieser Prozesssteuerung und -auswertung aus. Die Bausteine haben zwar einem unveränderlichen Kern, aber darüber hinaus auch frei konfigurierbare Bestandteile. Damit können die oben genannten feinen Prozessunterschiede berücksichtigt werden. Gleichzeitig sind die Bausteine über viele Prozesse hinweg wiederverwendbar.

3.4.1 Implementierung

Die Integration von OPC/UA findet im Simplifier mit Hilfe von Konnektoren statt. Sie stellen eine Schnittstelle zwischen externen Systemen und der Low-Code Plattform dar. Innerhalb der Plattform kommen Business-Objekte als gekapselte Logikbausteine zum Einsatz. Der OPC/UA Konnektor ist eine generische REST-Schnittstelle, die im Hintergrund die OPC/UA Services implementiert und dem Simplifier bereitstellt. Im Konnektor selbst wird der zu verbindende OPC/UA Server angegeben, Zertifikate bereitgestellt und Aufrufe definiert. Diese Aufrufe stellen den OPC/UA Attribute Service Set (lesen und schreiben eines OPC/UA Datenknotens) sowie den Subscription Service Set (Abfrage von Datenänderungen) bereit.

Im Rahmen des Projekts iSrv wurde die Grundlage des im Simplifier bereits vorhandenen OPC/UA-Konnektors auf Basis des offiziellen OPC-Foundation JAVA-Stacks neu implementiert. Aufgrund der geänderten Konnektor-Basis im Simplifier musste die Implementierung neu Konzeptioniert werden. Weiterhin mussten die Kommunikationsverwaltung sowie Serialisierungs- und Deserialisierungsmethoden bereitgestellt werden. Entgegen dem zuvor im Simplifier genutzten OPC/UA-Stack sind diese im offiziellen Foundation-Stack nicht mehr vorhanden und mussten daher ebenfalls neu implementiert werden.

3.4.2 Nutzung mittels Business-Objekten

Business-Objekte sind gekapselte JavaScript Logikbausteine, die auf Konnektoren und andere Simplifier Plattform Bestandteile zugreifen können und in denen Datenaggregationen und -transformationen durchgeführt werden. Innerhalb des Simplifiers gibt es zwei unterschiedliche Arten von Business-Objekten.

Logikbausteine im Backend können nicht allgemein eingesehen werden, da sie innerhalb der Simplifier-Plattform ausgeführt werden. Technisch gesehen wird der gelieferte JavaScript Code in der Plattform mit Hilfe der Java Nashorn Engine in einem Headless-Browser (virtueller Browser ohne DOM-Funktionalität) ausgeführt. Das Ergebnis wird über REST an das Frontend der Plattform weitergeleitet.

Logikbausteine im Frontend können im Browser eingesehen werden, da mit ihrer Hilfe Applikationen als Code generiert werden. Der Hauptanwendungszweck von Frontendobjekten ist die Abhandlung browserseitiger Logik. Ein Beispiel hierfür ist die Aufbereitung von Daten für eine Visualisierung mittels Formatkonvertierung in ein, durch eine Visualisierungsbibliothek, vorgegebenes Format.

Die Visualisierung wird mit Hilfe von Widgets umgesetzt. Diese enthalten OpenUI5 Code, mit deren Hilfe Frontendelemente generiert werden. Es ist ebenfalls möglich externe JavaScript Bibliotheken einzubinden, die Funktionalität bereitstellen, um Graphen und Charts zu generieren (z.B. ChartJS). Um darüber Daten visualisieren zu können, müssen diese in einem speziell formatierten JSON-Format (Java-Script-Object-Notation) vorliegen. Diese Formatierung übernehmen die erwähnten Frontendbusinessobjekte.

Das Zusammenspiel zwischen Konnektoren, die die Daten mittels des beschriebenen Konnektors von OPC/UA Servern abholen, Backend Businessobjekten, die diese Daten aggregieren, Frontend Businessobjekten, die die Daten für die Visualisierung final vorbereiten und Widgets, die diese Daten anschließend visualisieren wird mit Hilfe des Simplifier Prozessdesigner ermöglicht:

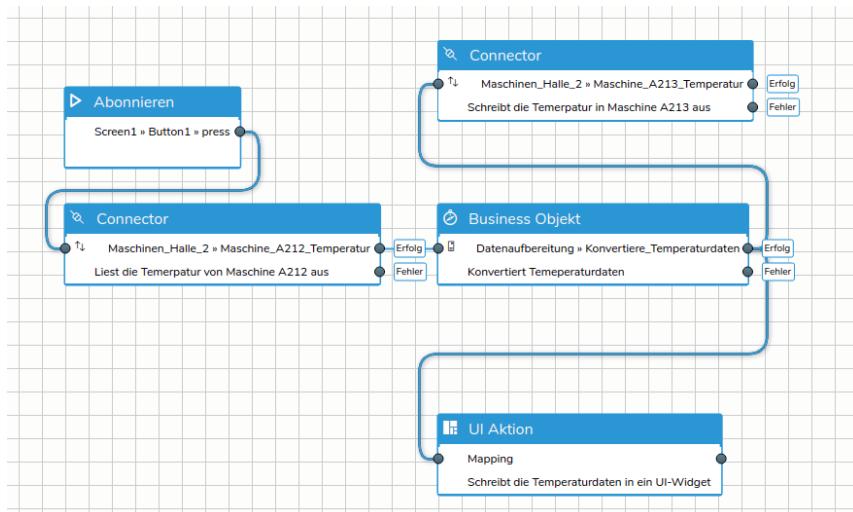


Abbildung 3-3: Exemplarischer Prozess-Workflow (Quelle: Simplifier)

Im dargestellten Beispielprozess wird der OPC/UA-Konnektor (Maschinen_Halle_2) genutzt, um an der Maschine_A212 die mittels Sensoren erfassten Temperaturen auszulesen. Im Erfolgsfall werden die Temperaturdaten im Backend-Businessobjekt „Datenaufbereitung“ konvertiert und parallel in einem Frontend UI-Widget dargestellt (siehe Abbildung „Beispiel Maschinendatenvisualisierung“). Zusätzlich werden die Temperaturdaten wiederum mittels OPC/UA-Konnektor an die Maschine A213 gesendet. Dieser exemplarische Workflow lässt sich beliebig generalisieren und erweitern.

3.5 Anwendungsfälle und Ausblick

Mittels des Kommunikationsbausteins „OPC/UA“ lassen sich relativ unkompliziert verschiedene Maschinen in Business-Apps integrieren, ohne dass die Anbindung immer wieder komplett neu implementiert werden muss. Die eigentliche Logik ist im Kommunikationsbaustein hinterlegt. Somit können Maschinendaten problemlos verwendet werden, um beispielsweise den aktuellen Status einer Maschine remote anzuzeigen. Auch eine Manipulation der Maschine aus der Anwendung heraus ist denkbar.

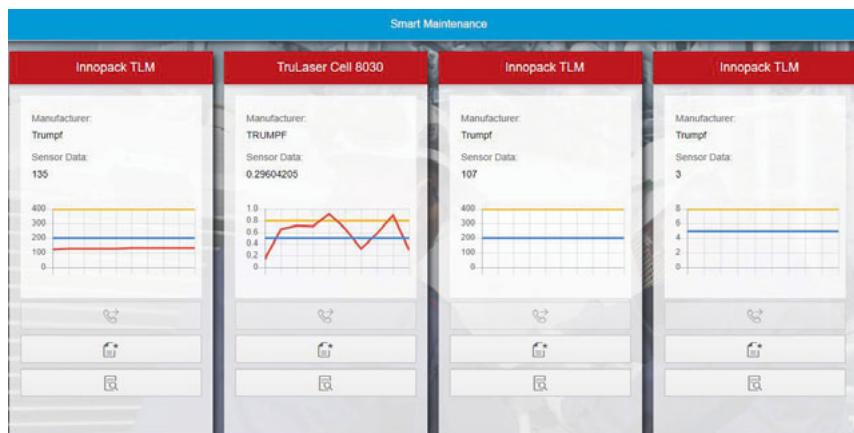


Abbildung 3-4: Beispiel Maschinendatenvisualisierung (Quelle: Simplifier)

Weitere Beispiele für Kommunikationsbausteine sind Schnittstellen für REST und SOAP. Da es sich hierbei um weit verbreitete, standardisierte APIs handelt, können darüber verschiedene Dienste angebunden werden. So ist es möglich, einfache Widgets zu erstellen, um externe Anwendungen (z.B. Simulationen oder Analysetools) zu steuern und zu nutzen. Die dadurch gewonnenen Daten können visualisiert oder anderweitig genutzt werden.

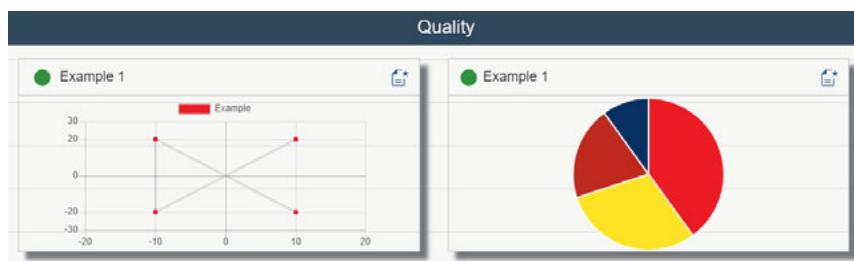


Abbildung 3-4: Beispiel Datenvisualisierung (Quelle: Simplifier)

Diese wenigen Beispiele verdeutlichen bereits, dass auch individualisierte Kommunikationsbausteine in Low-Code Plattformen als allgemein gültige Schnittstellen umgesetzt werden können. Das ermöglicht eine Verwendung auch über Projekt- und Unternehmensgrenzen hinweg.

4 Servicesysteme am Beispiel von Textilmaschinen

S. Krečák, M. Schmitt (Brückner), C. Weiß (Textilveredelung Keller)

4.1 Untersuchung Fallbeispiele – Anwendungsfälle

Im Rahmen des Forschungsvorhabens *iSrv – Intelligentes Servicesystem* wurden mit dem Partnerunternehmen, der Fa. Keller, unterschiedlichste Fallbeispiele untersucht. Als Untersuchungsobjekt wurde die Spannmaschine der Firma Brückner am Standort Mössingen verwendet.

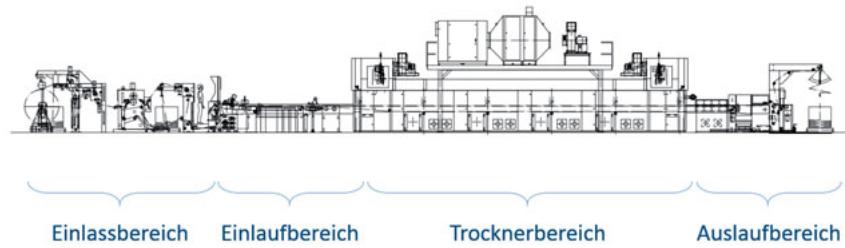


Abbildung 4-1: Anlagenlayout einer Spannmaschine der Firma Keller (Quelle: Brückner)

Eine Spannmaschine hat die Aufgabe flächige Textilien zu trocknen, thermisch zu stabilisieren und chemisch auszurüsten. Dabei durchläuft das Textil verschiedene Bereiche einer Anlage. In Abbildung 4-1 ist dies grob skizziert. Das Textil wird im Einlassbereich abgewickelt, mittig zentriert und in einem Imprägnierwerk wässrig/chemisch behandelt.

Der zweite Bereich, der Einlaufbereich, führt die Ware automatisiert in eine Transportkette und wird bei Bedarf bedämpft, sowie die Kanten mit Leim stabilisiert. Im dritten Bereich durchläuft das Textil die Thermozoneen. Abschließend wird das textile Flächengebilde im Auslaufbereich gekühlt, aufgewickelt oder in einen Wagen abgelegt.

Die einzelnen Bereiche haben Bauteile, welche in Bezug auf die Produktion ausfallkritisch zu betrachten sind und somit für eine vorrausschauende Wartung prädestiniert sind. Hierfür ist ein Prozessmonitoring notwendig, um Ereignisse zu erfassen und zu dokumentieren. Die Spannmaschine wurde deshalb so aufgerüstet, dass alle erfassten Daten der Steuerung wie zum Beispiel Produktionsgeschwindigkeiten, Temperaturen, Massenströme, Verbräuche in eine Cloud portiert wurden.

Als erstes Fallbeispiel wurde die Transporteinrichtung untersucht. Diese besteht aus seiner Transportkette welche durch die Thermozone geführt wird. Die Transportkette besteht aus vielen Gliedern, welche auf der Innenseite mit einem Nadelträgern bestückt sind, um die textile Warenbahn zu halten.

Des Weiteren wird die Kette in Stahlprofilen geführt, wobei die berührenden Stellen der bewegten Kette mit dem Stahlprofil durch Gleitstücke gebildet werden. Der Hauptantrieb erzeugt das nötige Drehmoment um die Transportkette in den Stahlprofilen, in Bewegung zu setzen. Hauptanteil des Drehmomentes wird zur Überwindung der Reibung zwischen Gleitstücke und Stahlprofil benötigt.

Die Transportkette wird nicht geschmiert, da sie eine Depotschmierung in einer Buchse aufweist. Ebenso wird die Laufbahn nicht geschmiert, so dass die Gleitstücke tribologisch gesehen trocken laufen.

Der Antriebsstrang besteht aus Umkehrkettenrad mit Ausspanneinrichtung, der Transportkette, der Führungsschienen (Stahlprofile), dem Antriebskettenrad, der Antriebswelle, dem Hauptantriebsgetriebe einschließlich Riemenübersetzung, dem Antriebsmotor (Asynchron Maschine) mit Geber und einem Frequenzumformer.

Szenarien für einen Ausfall der Transportkette ist ein Verschleiß der Bolzen, Buchsen oder der Gleitstücke. Kennzeichen für Bolzen oder Buchsenverschleiß ist eine Längung der Kette und das Auslösen eines Endschalters. Messtechnisch könnte dies über einen Druckkraftsensor erfolgen, der die Druckkraft der Kettenspannvorrichtung misst und mit dem Inbetriebnahmewert vergleicht. Verschleiß an den Gleitstücken ist durch Abrieb der Gleitstücke, am Einlauf bzw. Auslauf, optisch sichtbar. Eine Erfassung durch Sensoren ist technisch sehr aufwendig. Als mögliche Parameter zur Überwachung der Transportkette wurden die Motorströme und Endschaltersignale erfasst.

Im observierten Zeitraum von zweieinhalb Jahren konnten keine signifikanten Störungen oder Verschleißerscheinungen festgestellt werden. Das bedeutet, dass das Element Transporteinrichtung lange Wartungsintervalle aufweist und eine vorausschauende Wartung hier nicht in Frage kommt. Jährliche Sichtprüfungen sind deshalb völlig ausreichend.

In einer Studienarbeit wurde das Fallbeispiel Transportkette im Technologiezentrum redundant untersucht. Das Transportsystem ist hier eine horizontal umlaufende Kette, welche für größere Warenspannung ausgelegt ist. Die Untersuchung zeigte hier, dass unterschiedliche Lastzustände, einen Einfluss auf verschiedenen Parameter haben. Wie zum Beispiel Stromaufnahme, Moment oder den Schlupf am Antriebsmotor. Für eine Beurteilung ob ein Verschleiß vorliegt ist somit der momentane Lastzustand wichtig.

Das zweite Fallbeispiel welches untersucht wurde war das Imprägnierwerk (Foulard). Das Imprägnierwerk dient der Applikation von wässriger Chemie auf das Textil.



Abbildung 4-2: Imprägnierwerk - Foulard (Quelle: Brückner)

Im Fokus steht hier das Quetschwerk, welches überschüssige Flotte aus dem Textil presst. Das Quetschwerk stellt somit ein wichtiges Element dar, dass bei Beschädigung oder Verschleiß zu längeren Stillständen führt und somit kostspielig ist.

In der Abbildung 4-3 ist das Prinzip dargestellt, der Warenlauf ist von links nach rechts und führt durch das Quetschwalzenpaar. Die obere Walze ist fest positioniert und ist mit dem Antrieb verbunden. Die untere Walze wird pneumatisch, vertikal gegen die Ware gedrückt.

Die Walzen sind mit einem Gummibelag versehen, der je nach Anwendung weicher oder härter sein kann. Um eine gutes Abquetschergebnis zu erzielen muss der Pressdruck, also die Kontaktzone der zwei Walzen zu einander, über die Walzenbreite sehr gleichmäßig sein.

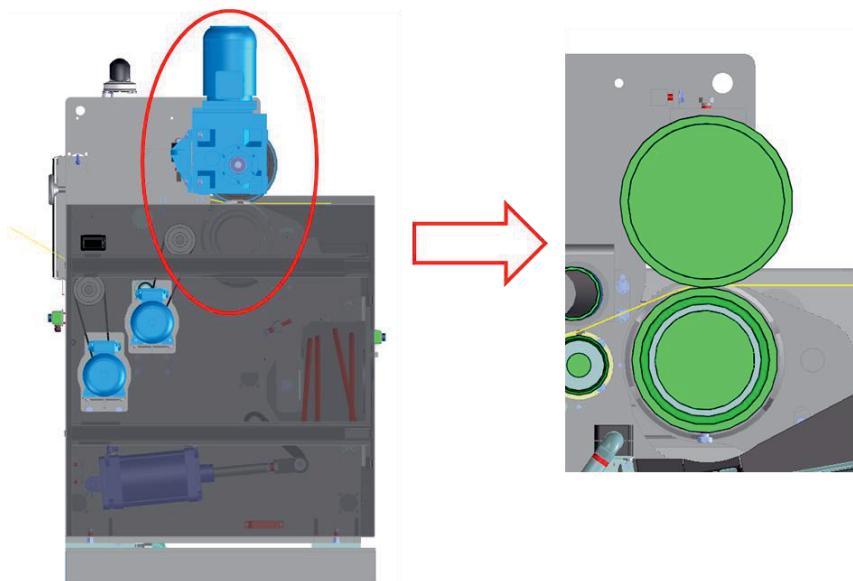


Abbildung 4-3: Imprägnierwerk - Foulard (Quelle: Brückner)

Mögliche Einflüsse für einen Wartungsfall sind verschlissenen, gealterte (Risse) Walzenbeläge sowie alle Bauteile entlang des Antriebsstranges, im Besonderen die Lagereinheiten. Um Erkenntnisse für einen Wartungsfall zu erhalten sind somit alle Signale der Antriebseinheit wichtig (Leistungsaufnahme, Drehzahlen). Auch Produktionsveränderungen können hier ein Merkmal sein, da bei verschlissenen Walzenbeschichtungen der Abquetscheffekt schlechter wird und somit ein zu hoher Feuchtegehalt den Trockner erreicht und dessen Produktionskapazität herabsetzt.

Die Observierung während eines Zeitraums von zweieinhalb Jahren konnte auch hier, wie bei der Transporteinheit kein Ereignis klassifizieren, welches zu einem Wartungsfall geführt hätte. Es gab keine signifikanten Veränderungen in der Leistungsaufnahme des Walzenantriebes oder ein Zurückgang der Produktionskapazität. Ausfall oder erhöhte Vibrationen an den Lagern waren auch nicht vorhanden, sodass in diesem Anwendungsfall festgestellt werden kann, dass eine turnusgemäße Überprüfung entsprechend der Intervalle in der Brückner-Dokumentation ausreichend ist und auch hier kein Einsatz für prädiktive Wartung vorliegt.

Das Heizungsmodul hat die Funktion die thermische Energie für die Prozesse zu liefern. Hierzu wird Prozessluft auf eine vordefinierte Temperatur gebracht und dann in die einzelnen Zonen verteilt. Die Temperatur wird durch einen Gebläsebrenner mit einer Leistung von 600kW erzeugt.

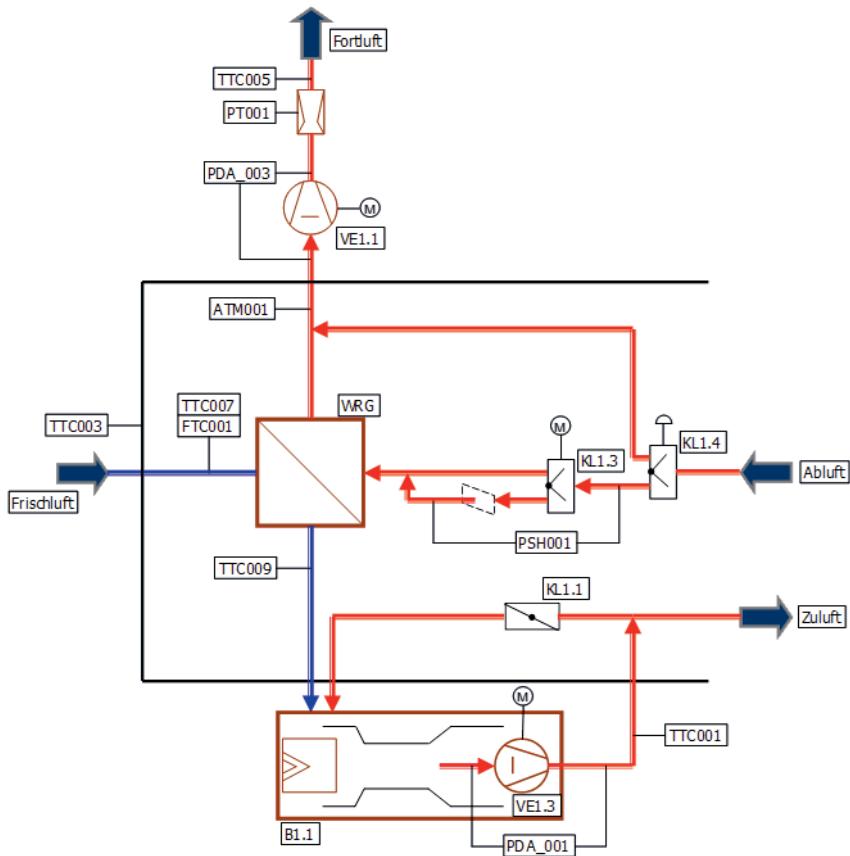


Abbildung 4-4: Schema Heizmodul (Quelle: Brückner)

Im ersten Trocknungsteil wird die Prozessluft (Zuluft) über eine Mischregelung „VR“ zugeführt. Dabei wird ein Tellerventil solange geöffnet oder geschlossen bis die eingestellte Solltemperatur am Pt100 „TTCx.1 ... TTCx.2“ erreicht ist. Am TTCx.3 wird die Temperatur der zurückströmenden Umluft gemessen und dient als Parameter für die Vorausberechnung der Prozesslufttemperatur. Die Umluft wird über zwei Ventilatorenpaare je Feld umgewälzt. Zwischen den Trocknungsfeldern wird über ein Pyrometer die Warentemperatur (TTC011 bis TTC012) erfasst.

Die elementarsten Bauteile in diesen Funktionsgruppen sind der Gebläsebrenner, der Prozessluftventilator und der Abluftventilator. Diese sind jeweils nur einmal vorhanden und somit systemkritisch bei einem Ausfall.

Idealerweise lässt sich für diese Funktionsgruppen die prozesstechnische Energiebetrachtung am besten untersuchen. Hierfür ist sowohl die thermische als auch die elektrische Art der Energiebetrachtung möglich. Dabei haben nachfolgende drei Faktoren den größten Einfluss auf die Analyse der Energiebilanz: Anlagenzustand, eingestellter Prozess und die zugeführte Produktqualität.

Letzteres führt bei Qualitätsschwankungen zu einer Fehlinterpretation der zu analysierenden Daten. Sowohl bei der Definition von Anwendungsfällen als auch später bei der Meldung von Wartungsempfehlungen. Die Qualitätsabweichung im zugeführten Produkt konnten im Projekt nicht erfasst werden. Dies erfordert kostenintensive Sensoren. Im Idealfall entsprach die Produktqualität den Laborwerten. Somit können Prozesseinstellungen berücksichtigt werden.

4.2 Cloudbasierte Analyse der Maschinendaten

Im Rahmen des Forschungsprojektes sind mehrere Use-Cases für cloudbasierte Analysedienste definiert worden. Das Hauptziel der Textilveredlung Keller ist eine möglichst frühzeitig und selbstständig Erkennung von Anlagenstörungen und die automatische Meldung dieser Störung an den Anlagenbediener. Ziel hierbei ist die Reduktion ungeplanter Anlagenstillstände. Dazu wurden zu Beginn des Forschungsprojektes die Anlagen der Firma Textilveredlung Keller mit einem Cloud-Konnektor (siehe Kapitel 5) verbunden. Sämtliche Maschinendaten konnten somit in die Cloud übertragen werden. Damit die Daten besser auszuwerten und zu clustern waren, wurde parallel zur Datenerfassung auch ein Logbuch geführt. Hierin wurde jeder Arbeitsgang auf der Anlage mit Namen, Batchnummer und Artikelnummer benannt. Die Angaben wurde vom jeweiligen Maschinenbediener an der Anlage selbst über eine Eingabe am Bedientermin vorgenommen. Somit ist jeder Arbeitsgang auch auf der Zeitschiene definiert worden.

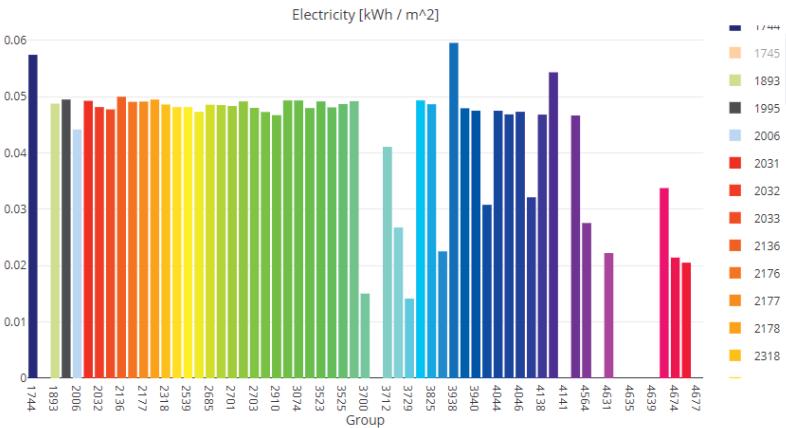
Eine auftragsbezogene Verwaltung der aufgezeichneten Daten war nur teilweise möglich. Aufgrund eines fehlenden Produktionsplanungssystems hat der Anlagenbediener die Auftragsdaten der Datenaufzeichnung manuell hinzugefügt. Sie können fälschlicherweise dem falschen Produkt bzw. den aufgezeichneten Daten zugeordnet werden. Der menschliche Faktor hat Einfluss auf die Definition eines Anwendungsfalles und später bei der Ermittlung der Ursache. Um sicherzustellen, dass die aufgezeichneten Daten mit den Produktspezifikationen übereinstimmen, ist es notwendig, die Prozesseinstellungen für die Produktspezifikation zu überprüfen. Aufgrund der sehr hohen Anzahl von Prozessparametern ist dies jedoch zeitaufwändig. Geringfügige Anpassungen der Prozessparameter aufgrund von Produktschwankungen während der Produktion führen dazu, dass aufgezeichnete Partien aus dem Daten-Cluster herausfallen.

Eine Analyse des spezifischen Energieverbrauches zum Beispiel kWh/m² oder kWh/kg ist dennoch als Indikator für den Anlagenbetreiber sinnvoll, um Hinweise auf Abweichungen in

der Produktqualität darzustellen. Indirekt weist der Indikator darauf hin, dass ein oder mehrere der oben genannten Hauptfaktoren nicht mehr dem Referenzzustand entsprechen.

Overall Consumption

Without parameter 'Other_Fabric_Inside_ActVal'



Overall Consumption

Without parameter 'Other_Fabric_Inside_ActVal'

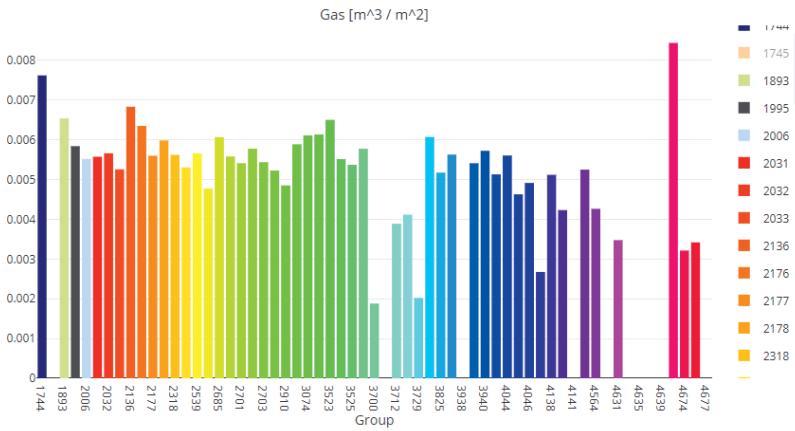


Abbildung 4-5: Vergleich spezifischer Energieverbräuche bezogen auf das gleiche Produkt (Quelle: Brückner)

Ein auf die gleiche Weise eingestellter Prozess kann als Referenz dienen, um herauszufinden, ob es Abweichungen in der Produktqualität oder Änderungen im Anlagenzustand gibt. Einer

der beiden Faktoren muss entsprechend stabil sein. Andernfalls führt es zu Fehlinterpretationen.

Die Erkenntnisse aus der Analyse in Abbildung 4-5 führten zu dem Ergebnis Anlagenzustände auf die das Produkt keinen Einfluss hat zu betrachten. Für diesen Zweck ist der Prüf- oder Anfahrbetrieb interessant.

Der Prüfbetrieb als solcher verringert die Verfügbarkeit der Anlagen. Daher werden im folgenden Anwendungsfall die Daten während des Anlaufs der Anlage bis zur Produktionsbereitschaft analysiert. In diesem Abschnitt befindet sich kein Produkt im Trockner. Darüber hinaus sind die prozesstechnischen Einstellungen nicht relevant. In diesem Abschnitt wird der Trockner mit definierten Systemeinstellungen auf Betriebsbereitschaft eingestellt. Dementsprechend ist es möglich einen produkt- und prozesstechnisch unabhängigen Leistungsindikator über den Verschmutzungszustand der Anlage zu definieren. Außerdem kann der Dienst einen Hinweis geben, wann die Anlage wieder gewartet werden muss. Im nachfolgenden Anwendungsfall wird während der Vorspülung der Brennkammern der Messwert im eingeschwungenen Zustand nach etwa 200 Sekunden Anlaufbetrieb ermittelt.

Die Analysen der Daten erfolgte über bestehende Stromzähler und Strömungssensoren. Wobei ein Stromzähler im Gegensatz zu speziellen Sensoren meistens in der Anlage integriert ist. Bei der Auswertung des im Schaltschrank installierten Stromzählers wie in Abbildung 4-6 ergab sich leider der Effekt, dass dieser Zähler den Gesamtanlagenstrom maß und dementsprechend eine Streuung der Messergebnisse in Abhängigkeit von zufällig zugeschalteten Aggregaten wie z.B. Klimatisierung verursachte.

Eine für diesen speziellen Anwendungsfall nachträgliche Installation eines Stromzählers war aufgrund der Anlagenkonstellation bzw. Verkabelung nicht ohne weiteres möglich.

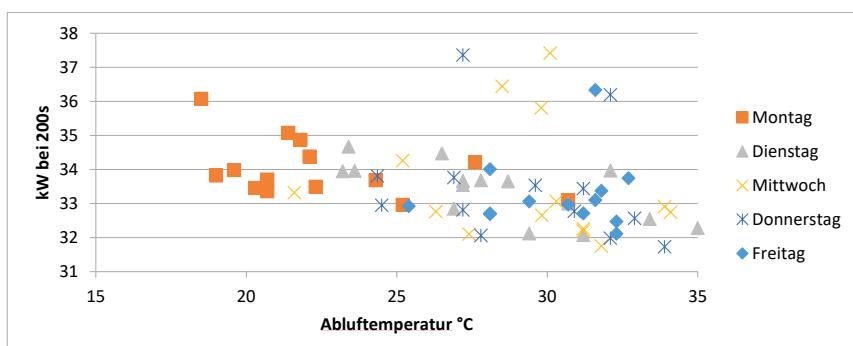


Abbildung 4-6: Vergleich spezifischer Energieverbräuche bezogen auf das gleiche Produkt (Quelle: Brückner)

Die Leistungsmessungen zeigten dennoch, dass mit jedem weiteren Tag ohne Wartung die Werte abnahmen (siehe Abbildung 4-7). In diesem Fall war es aufgrund der Verschmutzung der Wärmetauscher und Siebe nicht möglich dem Trockner ausreichend Frischluft zuzuführen. Als Folge davon müssen die Ventilatoren weniger arbeiten bzw. im Produktionsbetrieb fehlt es später an Verdampfungsleistung.

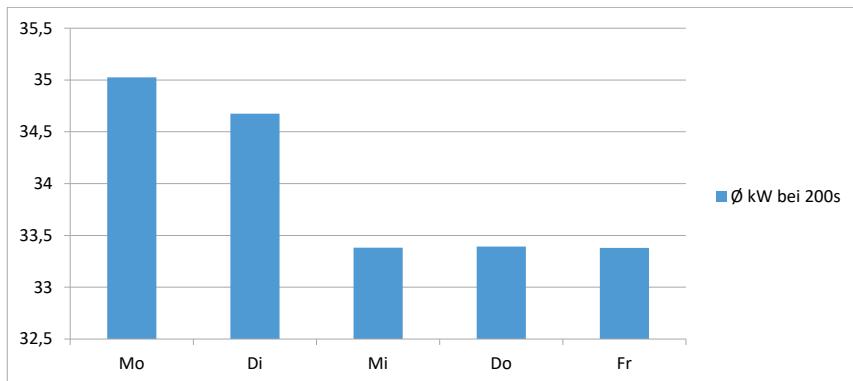


Abbildung 4-7: Ergebnisse der Leistungsmessung verteilt auf Wochentage (Quelle: Brückner)

Genauere Ergebnisse waren über die installierten Strömungssensoren in Abbildung 4-8 zu sehen. In diesem Fall kann der für die sonst thermische Regelung eingesetzte Sensor als Leistungsindikator verwendet werden.

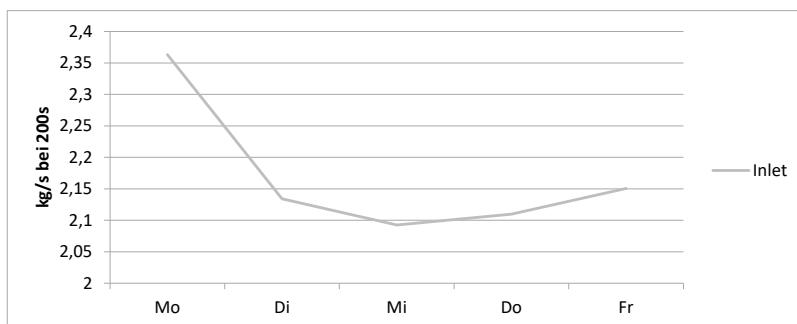


Abbildung 4-8: Ergebnisse der Massenstrommessung verteilt auf Wochentage (Quelle: Brückner)

Im Laufe des Jahres sind die durchgeführten Wartungsarbeiten in Abbildung 4-9 zu sehen. Nach jeder Wartung wird ein höherer Massenstromdurchsatz der Anlage gemessen. Über ein Ampelsystem kann nun ein Wartungshinweis bei unterschreiten einer Schwellwertes generiert werden.

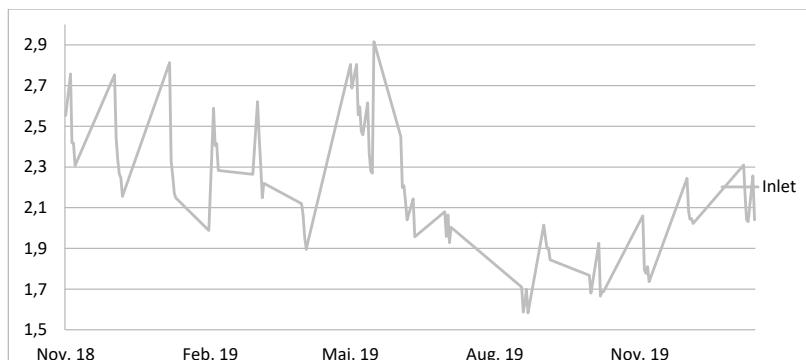


Abbildung 4-9: Ergebnisse der Leistungsmessung verteilt auf Wochentage (Quelle: Brückner)

Selbst in diesem Anwendungsfall ist es leider nicht möglich, einen 100%igen Bezug zu einer Komponente herzustellen. Je nach Sensormenge und -anordnung kann es verschiedene Ursachen geben, mit dem Unterschied, dass der Anlagenbetreiber ein Hinweis bekommt, nicht mit konstanter Systemleistung zu arbeiten. Dies hat einen indirekten Einfluss auf die Produktqualität bzw. die Korrektur muss durch manuelle Nachjustierung des Prozesses erfolgen. Dies führt jedoch zu geringerer Produktivität oder höherem Energiebedarf.

4.2.1 Viertes Fallbeispiel Störmeldungen

Die Datenmenge welche von der Anlage Keller übertragen wird, wurde um die Daten der Alarm und Fehlermeldungen Ende 2018 erweitert. Hintergrund ist die Erfassung von Ereignissen welche eventuell gehäuft auftreten und somit einen Rückschluss auf die Betriebsweise der Anlage und eventuellen Problemen von Bauteilen zulassen. Die physikalischen Daten der Anlage mit den Alarm- und Fehlermeldungen im Einklang, ergeben die Möglichkeit eine bessere und gezieltere Beurteilung hinsichtlich einer Ausfallwahrscheinlichkeit von Bauteilen abzugeben.

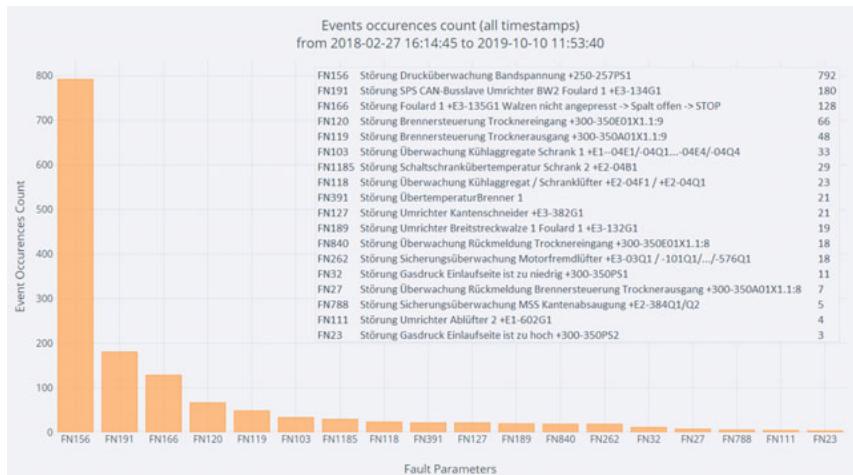


Abbildung 4-10: Störmeldeauswertung (Quelle: Brückner)

Die Statistik der Daten aus der Cloud zeigt zumindest auf, dass nur wenige Fehler/Alarm-Meldungen sehr häufig aufgetreten und davon wiederum nur wenige einen Stillstand verursachten. Bei der Analyse der Fehlermeldungen lassen sich Tendenzen feststellen. Jedoch sind keine 100%igen Vorhersagen möglich. Sie sind anlagenspezifisch und hindern die Portierbarkeit.

Im nachfolgenden Beispiel ist die Analyse der Bandspannung hervorzuheben. Die Spannung eines Transportbandes wird digital überwacht. Im Fehlerfall meldet der Sensor eine zu geringe Bandspannung. Dabei kommt es zum Anlagenstillstand. Wie in der Abbildung 4-11 zu sehen ist, wiederholen sich die Fehlermeldungen in regelmäßigen Abschnitten. Ein Algorithmus zur Vorhersage, wann wieder das Transportband nachgespannt werden müsste, wäre durchaus denkbar. Leider hängt es im wesentlich davon ab, wie stark das Transportband durch das Wartungspersonal nachgespannt wird. Entsprechend der eingestellten Spannung sowie der Beanspruchung während der Produktion kommt es zu azyklischen Meldungen. Eine Vorhersage basierend auf einem digitalen Positionsschalter ist ungenau. Besser wäre es einen analogen Sensor zur sicheren Überwachung einzusetzen.

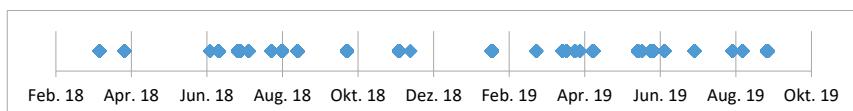


Abbildung 4-11: Wiederholungscharakter einer Störmeldung (Quelle: Brückner)

Weitere relevante Statistiken über Dauer und Auftreten der Fehlermeldungen wurden durchgeführt und diskutiert. Es wurde aber in dem Zeitraum der Erfassung kein kritischer Fehler-Parameter gefunden, welcher zu einem längeren Stillstand geführt hätte.

Die Definition von Anwendungsfällen bei Zukaufkomponenten gestaltet sich schwierig. Hier ist das Knowhow einzelner Lieferanten gefragt. Spätestens mit jedem Firmware-Update oder Hardwaremodifikation müsste der erstellte Anwendungsfall hinterfragt und neu analysiert werden. Die Herausgabe solch wichtiger Komponenteninformationen an den Anlagenbauer ist aus Transparenzgründen zur Konkurrenz schwer vorstellbar.

4.3 Services und deren Umsetzung

Bei der Umsetzung der Services stehen diverse Plattformen zur Verfügung. Jede dieser Plattform ist mit Vor- und Nachteilen behaftet. Aus Sicht des Anlagenbauers ist die Plattform zuerst nachrangig zu betrachten. Der Fokus ist an der Generierung neuer plattformunabhängiger Services und der Nähe zum Objekt zu legen. In der Anfangsphase wird ein Werkzeug benötigt, das möglichst über einen direkten Weg mit geringen Abhängigkeiten durch zahlreiche Fremdsysteme zum Ziel führt. Daher ist die Umsetzung von Services in einer bekannten oder bestehenden Umgebung erstmal hilfreich. Bei Bedarf können neue Ideen dediziert auf einer IoT Plattform getestet und umgesetzt werden. Allerdings muss der Mehrwert einzelner Services gegenüber der Summe aller angebotenen Services betrachtet werden. In den Umfragen auf den Messen war die Skepsis betreffend der Datensicherheit von IoT Plattformen sehr groß. Eine entsprechende Edge-Lösung wäre der gangbare Weg gewesen. Die Auswahl einer geeigneten IoT Plattform stellt jedoch den Anlagenbauer vor einem Problem. Falls der Anlagenbauer die komplette Prozesskette seines Kunden abdecken kann, macht die Umsetzung der Services auf einer eigenen IoT Plattform Sinn. Im anderen Fall spielt der Anlagenbetreiber eine führende Rolle betreffen der Plattformauswahl. Dieser möchte natürlich seine Anlagen bzw. die komplette Prozesskette auch von konkurrierenden Anlagenbauern auf einer Plattform abbilden. Daher fiel die Entscheidung im Rahmen des Forschungsprojekts die Services direkt in Anlagenvisualisierung und auf den lokalen Webserver der Steuerung zu entwickeln. Siehe Abbildung 4-11. Mit dieser Lösung kann die anlagenbetreiberseitige Datenhoheit gewährleistet werden. Der Anlagenbauer hat im Wesentlichen für eine transparente Datenschnittstellen zu übergeordneten Systemen zu sorgen. Im gleichen Zug kann die Prozessvorverarbeitung vor der Datenübergabe an digitale Services erfolgen.

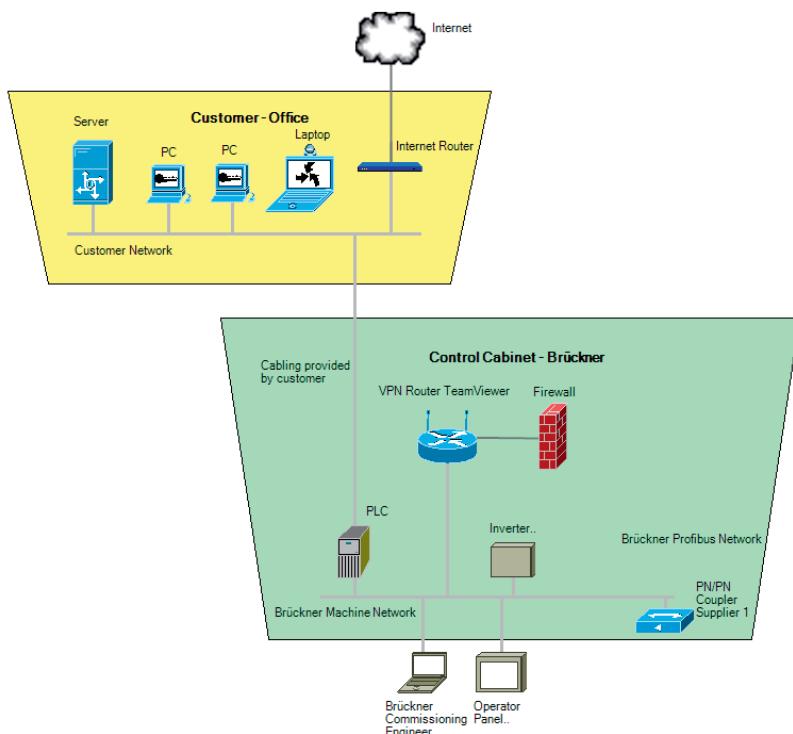


Abbildung 4-11: Topologie für die Umsetzung nachfolgender Services (Quelle: Brückner)

Aufbauend auf der neuen Architektur ist zunächst im Rahmen des Forschungsprojektes ein steuerungsnaher Wartungsmanager entwickelt worden, der ortsbezogen Hinweise zum Zustand der Anlage wie in der Abbildung 4-12 geben kann. Grund hierfür ist, dass eine Wartungsanleitung üblicherweise dem Kunden mit der Anlagendokumentation aushändigt wird. Die Services um die Wartung lassen sich nachträglich ohne eine Datenanbindung zur Anlage bis zu einem gewissen Grad in Form von Zeitintervallen digitalisieren.

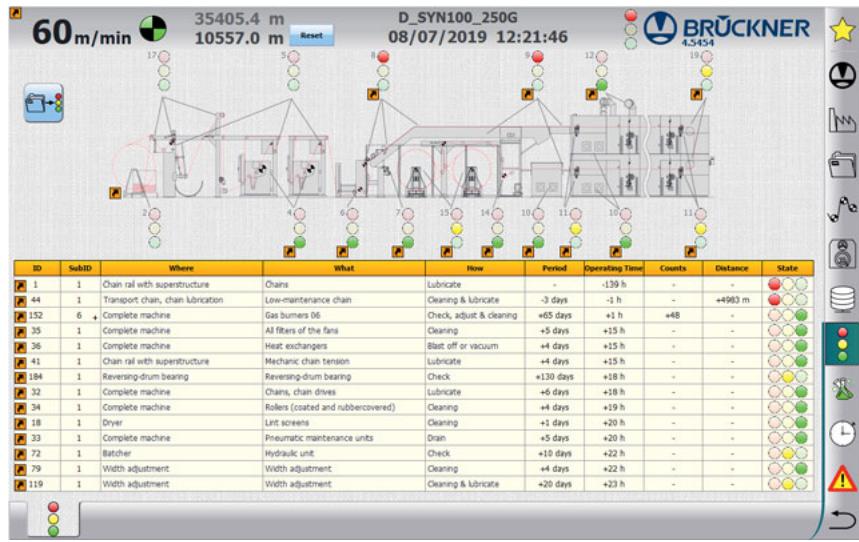


Abbildung 4-12: Wartungsmanager integriert in die Anlagenvisualisierung (Quelle: Brückner)

Mit der neuen Steuerungsarchitektur war es möglich, die zu verarbeitenden Wartungsintervalle digital an diverse Bedienungen zu verknüpfen. Eine Signalvorverarbeitung der Daten in der Steuerung ist Essenziell. Beispielhaft zu nennen wären: Kurze Ereignisse ausgelöst durch einmalige Impulse, Betriebsstunden gebunden an Freigabebedingungen und Abhängigkeiten anderer Prozessgrößen bzw. individuell aufgezeichnete Laufleistung einzelner Komponenten.

In der nachfolgenden Abbildung 4-13 sind Prozessgrößen wie Temperatur und Geschwindigkeit in Verbindung mit den Schmierintervallen einer Transportkette untersucht worden. Die genannten Parameter haben einen entscheidenden Einfluss auf den Wartungs- und Prüfintervall. Die Intervalle lassen sich sehr genau überwachen und entsprechend dem hinterlegten Algorithmus in der Steuerung ermitteln.

Operating temperatur [°C]	Test interval [operating time]	Lubricate interval [operating time]
until 150 °C	2000 – 3000 h	ca. 10000 h
150 – 200 °C	1000 – 2000 h	ca. 5000 h
200 – 230 °C	1000 – 1500 h	ca. 3000 h
230 – 250 °C	ca. 500 h	ca. 1000 h

Test SetValue	
x= °C	y= h
0	3000
150	3000
200	2000
230	1500
250	500
Formula	y= ax ² + bx + c
a	-0.1378
b	31.359
c	1372.3

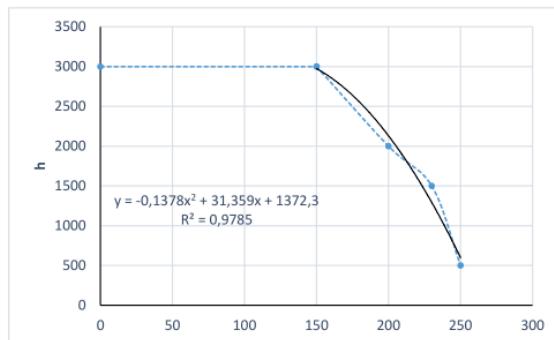


Abbildung 4-13: Algorithmus für Schmierintervalle einer bestimmten Transportkette
(Quelle: Brückner)

Andere Wartungsintervalle greifen in die Prozessqualität stärker ein. Entsprechend können Wartungsmeldungen abhängig von eingesetzten Komponenten für den Anlagenbediener generiert werden.

Im Zuge der Digitalisierung war es möglich Dokumente bzw. Dateien dem Wartungsfall entsprechend in die Anlagenvisualisierung mit zu integrieren. Eine nicht zu unterschätzende Möglichkeit war die Integration selbstgedrehter Wartungsvideos in die Anlagenvisualisierung. Hier können Wartungen die vielleicht einmal im Jahr stattfinden, digital hinterlegt werden. Entsprechend können neue Mitarbeiter schneller an die Anlage herangeführt werden. Komplizierte Sachverhalte werden mit kurzen Videos besser erklärt.

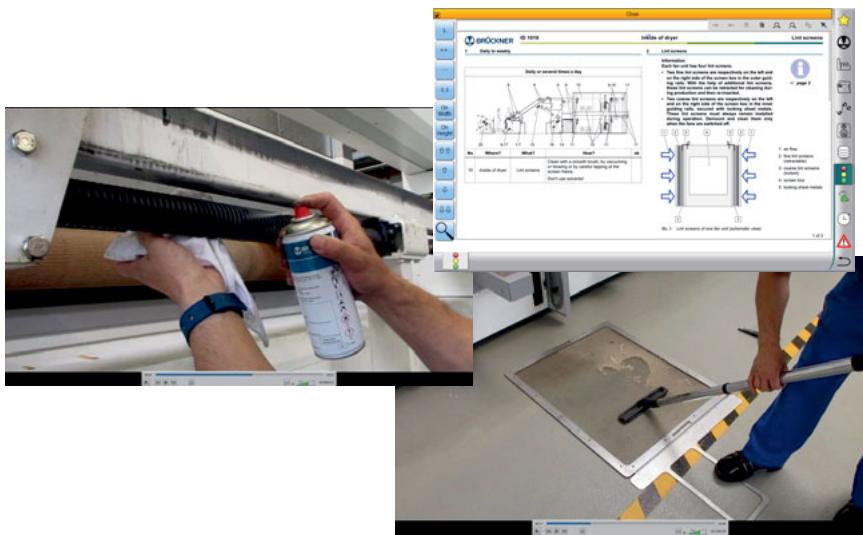


Abbildung 4-13: Integration digitaler Services in den Wartungsmanager (Quelle: Brückner)

Als Gegenstand der Untersuchung waren die Datenanbindungen an eigenen Webshop. Hier zeigten sich schnell die Grenzen des Sonderanlagenbaus. Aufgrund von Insellslösung war die Integration einzelner Wartungsfälle zu den passenden Verschließteilen im Webshop nicht durchgängig möglich. Das Kosten-Nutzen Verhältnis war nicht gegeben und wird später bei der Vernetzung digitaler Services mit Unternehmensprodukten näher erläutert.

Basierend auf der neuen Steuerungsgeneration sind weitere Servicemöglichkeiten für den Produktions- und Produktverantwortlichen untersucht worden. Hier ist die Sicht auf die Informationen eine andere. Entsprechend ist ein komplettes Abbild der Anlagenvisualisierung auf eine andere Plattform nicht Sinnvoll. Deshalb sind die Services in wesentliche Informationen verpackt und in Form von Dashboards umgesetzt worden. Ein Zugriff aus dem Büro oder aus der Ferne war durch Einsatz eines in der Steuerung integrierten Webservers möglich. Informationen zum eingestellten Prozess sind anlagentypisch dargestellt. Aus Sicht des Anlagenbauers lag die Wiederverwendbarkeit im Fokus. Maßgeschneiderte Informationen zu einzeln verbauten Komponenten sind möglich, wurden aus Kosten-Gründen gemieden.

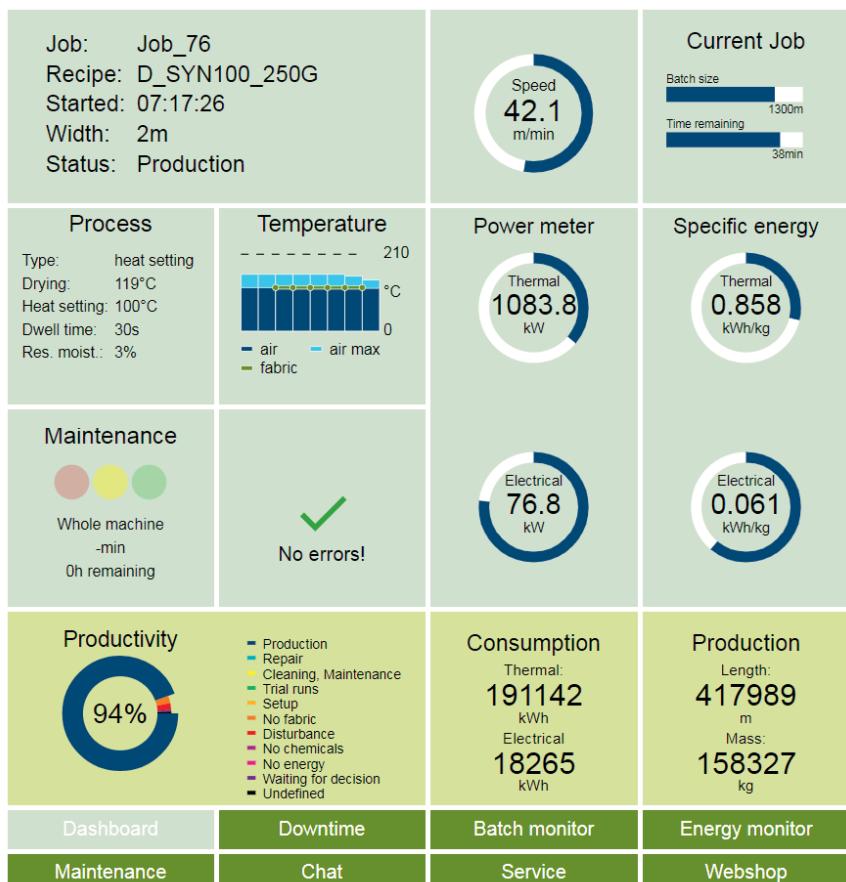


Abbildung 4-14: Umsetzung eines Dashboards im steuerungsintegrierten Webserver
(Quelle: Brückner)

Die dargestellten Services können über einen Datenschnittstelle bei Bedarf in eine IoT – Plattform oder ein zentrales Leitstand-System via OPC UA vorverarbeitet portiert werden.

Die digitale Dokumentation von Schaltplänen, Anlagenbedienung, Ersatzteilen, Zeichnungen ermöglicht eine Generierung weiterer Services. Nicht nur der Anlagenbetreiber ist der Nutznießer, sondern auch der Servicetechniker. Via Remote Desktop kann der Servicetechniker schnell auf die anlagenspezifischen Dokumente gemeinsam mit dem Anlagenbetreiber kontextbezogen zugreifen und entsprechend per Whiteboard im Servicefall unterstützend Probleme lösen. Ein digitaler Dokumentenaustausch sowie die Suche nach dem geeigneten Dokument entfallen.

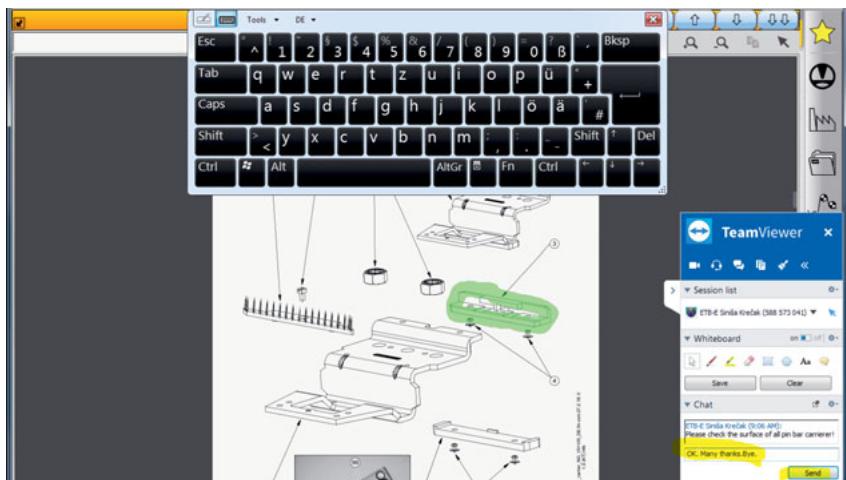


Abbildung 4-15: Unterstützung per Whiteboard im Servicefall (Quelle: Brückner)

Ein weiterer Gegenstand der Untersuchung war der Nutzen von Augmented Reality im Anlagenbau. Hierfür gab es verschiedene Hardwarekonzepte. Die generierten Services sind meist für kürzere Zeitabschnitte ausgelegt. Z.B. im Störfall.



Abbildung 4-16: Untersuchung praktischer Anwendungsfälle via Augmented Reality (Quelle: Brückner)

Das Konzept in dem der Anlagebauer keine AR Datenbrille liefert, sondern nur eine downloadfähige Software bereitstellt ist wesentlich praktikabler. Hier kommen häufig eigene kundenseitige Smartphones zum Einsatz, die meist auf dem neuesten Stand gehalten werden

und entsprechend sofort einsatzfähig sind. Entsprechend kann bei Stillstand schneller reagiert werden.

Potentiell ist die Kartographie der Anlage mit entsprechenden Dokumenten und Videos ohne Marker möglich. D.h. im Bild können zu der Komponente geeignete Dokumente, Videos erscheinen. Die Marker sind spätestens bei der Visualisierung der Anlage erforderlich. Hier kann bei mehrfachem Einsatz gleicher Komponenten keine Unterscheidung ohne Marker erfolgen.

Aus Performancegründen ist die Integration von AR Services für den weltweiten Einsatz besser bei geeigneten Plattformbetreibern als im eigenen System zu integrieren.

4.4 Erfolgsaussichten digitaler Service für die Zukunft

Mit der Kommunikation entlang der Automatisierungspyramide stehen und fallen die Erfolgsaussichten zukünftiger digitaler Services. Die Integration von Softwareschnittstellen über mehrere Ebenen hinweg ist ein nicht zu unterschätzender Kostenfaktor der sich auf das Kosten/Nutzen Verhältnis auswirkt. Hier muss immer zwischen einmalig gebauten Anlagen und Anlagen mit Wiederholungscharakter unterschieden werden. Letzteres erlaubt es die Investition neuer digitaler Services zu verteilen.

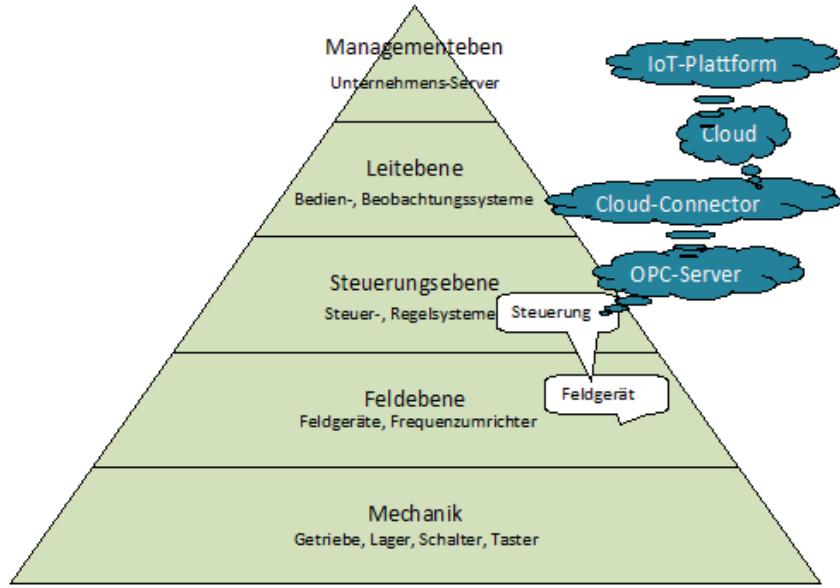


Abbildung 4-17: Automatisierungspyramide und ihre Schnittstelle bei der Fa. Keller
(Quelle: Brückner)

Eine komplettete Integration digitaler Services in ein IoT System führt zu Abhängigkeiten und hohen Kosten. Eine Umstellung bestehender Systeme und digitaler Services in ein neues IoT System würde die Fragmentierung einzelner Systeme lösen, jedoch sind neue Prozessabläufe innerhalb eines Unternehmens erforderlich, zum Beispiel nach der Aquimo-Methode [1].

Bei der digitalen Dokumentation von Instandhaltungsaufträgen rückt das mechatronische Konzept in den Vordergrund. Hier müssen sich die Unternehmen von Insellösungen trennen. Dabei ist ein sequentieller Ablauf von der Planungsphase, Engineering, Produktion bis zur Inbetriebnahme kontraproduktiv. In der Engineering Phase ist nicht nur eine Übergabeschnittstelle zwischen den einzelnen Disziplinen Mechanik, Elektrik und Software erforderlich, sondern eine gemeinsame Datenbasis. Dies betrifft ERP-, CAD-, ECAD-, Software-, Dokumentation-Systeme etc. und soll heißen, dass die für die Integration maßgeschneiderter digitaler Services bei Insellösung die Kosten bei Vernetzung digitaler Services mit Unternehmensprodukten der Anlagenbauer in die Höhe treiben.

Die Integration digitaler Services in die IoT Plattformen der Anlagenbetreiber ist aus Sicht des Anlagenbauers schwierig. Diverse Anlagenbetreibersysteme benötigen eigenes Knowhow. Der Anlagenbetreiber selbst wird ungern mit unterschiedlichen IoT Systemen der Anlagenbauer arbeiten wollen. Deshalb ist aus der Sicht des Anlagenbauers eine breite und für die vertikale Vernetzung notwendige Schnittstelle erforderlich. Hier müssen beliebige Systeme für die Produktionsplanung, Instandhaltung, Webshop, Monitoring etc. bidirektional mit Daten versorgt werden. Dabei ist eine Investition in die bestmögliche Datenvorverarbeitung auf dem kürzesten Weg erforderlich.

Untersuchungen haben gezeigt, dass vorbeugende Wartung ihre Ansätze hat. Jedoch sind nach der Maschinenrichtlinie Sicherheitsanforderungen zu erfüllen. Im Wesentlichen gibt es drei Kategorien für einen Tausch von in der Anlage verbauten Komponenten:

- Reaktiv
- Präventiv
- Prädiktiv

Im reaktiven Fall werden die Stillstände in Kauf genommen. Der tausch der Komponenten erfolgt erst im Falle eines Defekts. Beim präventiven Austausch werden Komponenten unabhängig vom Zustand nach einem bestimmten Intervall ausgetauscht. Basierend auf einer Analyse erfolgt ein prädiktiver Tausch von Komponenten. Die Analyse kann auf dem direkten oder indirekten Weg erfolgen. Auf dem indirekten Weg wird häufig aus Kostengründen versucht einen für andere Zwecke gedachten Sensor oder Aktor durch Softwarealgorithmen für die Analyse zu verwenden. Alternativ können auch andere Daten herangezogen werden. Hierbei muss vorher eine aufwändige Analyse der Komponenten erfolgen. Sie hat nur eine begrenzte Gültigkeit und ist häufig nur auf die eine Anlagenkonstellation bezogen.

Ein wesentlicher Nachteil ist die Sicherheit der Analyse. Ein hundertprozentiges Ergebnis wird es nicht geben. Falls dies jedoch gewünscht wird, ist ein prädiktiver Tausch mit einem für diesen Zweck einzusetzenden Sensor vorzusehen. Nur über dem direkten Weg kann eine hundertprozentige Sicherheit gegeben werden, dass eine Komponente verschlossen ist.

Aus Sicht des Anlagenbauers haben Remote Services die besten Erfolgsaussichten. Sie lassen sich durch messbare Zeitersparnis quantifizieren. Wenn ein Anlagenbetreiber eine Störung hat, ist die Frage: "Wie kann auf dem schnellsten Weg die Anlage wieder in die Produktionsbereitschaft versetzt werden?".

In der Vergangenheit waren kosten- und zeitintensive Reisen vor Ort erforderlich. Im Zuge von VPN Fernwartungssystemen lassen sich diese minimieren. Darauf aufbauend können weitere digitale Service generiert werden. Hierbei geht es primär um die Kommunikation zwischen dem Servicetechniker und dem Personal betreiberseitig. Dabei werden häufig Dokumente wie Zeichnungen, Schaltpläne etc. als Gesprächsgrundlage benötigt. Häufig müssen die in Papierform eingelagerten Dokumente gesucht oder erst an das Personal vor Ort versandt werden. Dabei kann es vorkommen, dass das Personal vor Ort ein anderes Dokument offen hat als der Servicetechniker am Telefon.

Durch die Integration der Dokumente in die Anlagenbedienung ist eine gemeinsame Grundlage gegeben. Über Whiteboard kann gezielt auf dem direkten Weg auf das jeweilige Dokument zugegriffen und entsprechend Maßnahmen ergriffen werden. Das größte Potential bei Remote Services hat der Einsatz von Augmented Reality im Fall einer Störung. Durch das einfache navigieren ist die Ursachenfindung auf dem schnellen Weg möglich. Hier lassen sich vor allem mechanische und elektrische Fehler begutachten und ggf. beheben. Letztlich gestaltet sich das Generieren von Anwendungsfällen basierend auf Big Data und Komponentenverschleiß als langwierig und benötigen eine gezielte Vorverarbeitung von Smart Data.

5 Realisierung und Bereitstellung von Smart Services auf Edge-Geräten in einem industriellen Umfeld mit Hilfe von cloudbasierter Datenanalyse und Modellbildung

D. Basner, R. Ang, M. Feurer, A. Gräfe (SOTEC)

5.1 Einleitung

Ziel des Forschungsprojekts iSrv war für SOTEC, das Interface-Portfolio zur Anbindung unterschiedlichster Produktionssysteme, Anlagen und Steuerungskomponenten zu erweitern und smarte Konnektoren für unser industrielles Edge Device “CloudPlug” zu entwickeln, die dann in der Produktion zum Einsatz kommen können, um die Produktionsprozesse der Anlagen zu optimieren. Zentraler Bestandteil war es dabei, eine bidirektionale Datenkommunikation zwischen Edge Device und Cloud zu etablieren, die es ermöglicht, smarte Dienste aus der Cloud auf dem Edge Device bereitzustellen. Während der Projektlaufzeit wurde hierfür an einer neuen Hardware-Generation des CloudPlugs gearbeitet, die im Laufe des Projekts fertiggestellt werden konnte.

5.2 Datenerfassung im industriellen Umfeld am Beispiel von Textilmaschinen

Für den Betrieb einer Service-Plattform ist die Erfassung von Daten essentiell. In diesem Projekt ermöglichte der CloudPlug die Anbindung von Maschinendaten an die Projektplattform. Der CloudPlug, ein modulares System das sowohl mit Maschinen als auch Software Anwendungen kommunizieren kann, wurde dabei während des Projekts entsprechend der Ziele weiterentwickelt. Zu Projektbeginn zeichnete sich der CloudPlug vor allem durch die Möglichkeit der durchgehenden Erfassung von Daten im Produktionsumfeld aus.

Nachdem zu Projektbeginn die Schnittstellen und Systemgrenzen von iSrv definiert und technische Umsetzungskonzepte erarbeitet wurden, identifizierten die Projektteilnehmer mögliche Schnittstellen, die ein Datenerfassungs-Gateway für den Einsatz in Textilmaschinen benötigt. Mit OPC UA, einem weit verbreiteten Industrie-Standard zur Erfassung von Maschinendaten, wurde ein Protokoll gewählt, dass zu Projektbeginn sowohl die untersuchten Textilmaschinen als auch der CloudPlug unterstützten. Dies erlaubte eine schnelle Bereitstellung erster Daten. Für die Anbindung an die Anwendungsseite und die Cloud wurde der Einsatz der Protokolle HTTPS und MQTTS gewählt. Während HTTPS initial verfügbar war, musste die MQTTS Implementierung definiert und implementiert werden.

Für das Projekt wurden mehrere CloudPlugs u.a. an der Versuchsanlage bei Firma Brückner in Leonberg und an einer Textilveredelungsanlage bei Firma Keller in Mössingen in Betrieb genommen. Nachdem in Absprache mit den Projektpartnern die zur Kommunikation

benötigte Netzwerkinfrastruktur in den Maschinenhallen und Schaltschränken eingerichtet wurde, wurden während zweier Vororttermine die CloudPlugs in den Schaltschränken installiert, konfiguriert und eingerichtet. Um ein möglichst vollständiges Bild vom Verhalten der Maschinen zu erlangen wurden allein von der Maschine in Mössingen mehr als 2000 Werte mit einer Frequenz von 0,2 Hz und 24 Werte mit einer Frequenz von 1Hz aufgenommen. Darunter Motorgeschwindigkeiten, Drehmomente, Motorströme, Lüftergeschwindigkeiten und -Zustände, Temperaturen in verschiedenen Bereichen der Maschine, v.a. in den Trocknerelementen, sowie Informationen über die jeweiligen Luftströme. Weiter wurden die Werte der Sensoren die die Spannung der Textilien aufzeichnen und die von der Maschine im Betrieb ausgegebenen Fehlercodes erfasst.

Die Möglichkeit innerhalb eines CloudPlugs verschiedene OPCUA-Konfigurationen mit unterschiedlichen Abtastraten zu unterstützen war wesentliche Anforderung des Projekts und wurde während der Projektlaufzeit umgesetzt.

Auf Cloud-Seite wurde von SOTEC die entsprechende Infrastruktur zur Verfügung gestellt, um die Daten entgegenzunehmen, zu verarbeiten und zu speichern. Die Speicherung der Daten erfolgte in Google BigQuery, einer Cloud-Datenbank auf Basis der Google-eigenen Kerntechnologie "Dremel" [1]. Drittssysteme von Projektpartnern wurden mit Google BigQuery integriert und somit mit Daten der angebundenen Maschinen versorgt.

5.3 Edge Device Management und bidirektionale Datenkommunikation

Für die Etablierung einer bidirektionalen Datenkommunikation wurden verschiedene Ansätze evaluiert und dann eine Architektur auf Basis von Docker entworfen. Docker basiert auf Linux Containern und erlaubt es, Applikationscode einfach und nahezu ohne Abhängigkeiten zu verteilen. Ob Docker als Edge Computing Plattform geeignet ist, wurde unter anderem von Ismail et. al untersucht [2]. Auf dem Host Betriebssystem werden die Container als voneinander isolierte Betriebssystem-Instanzen ausgeführt, die aber gemeinsame Ressourcen des Host Systems nutzen. Gegenüber virtuellen Maschinen ist die Container Technologie dadurch ressourcenschonender.

Die geplante Architektur für den CloudPlug ist in Abbildung 5-1 dargestellt. Container Images werden über ein Cloud Backend von einem Update Daemon empfangen, installiert und über die lokale Docker Engine gestartet. Innerhalb eines Images kann dabei beliebiger Applikationscode ausgeführt werden, z.B. Datenerfassung, Datenanalyse, Datenübertragung in die Cloud oder Datenaktualisierung. Die einzelnen Komponenten sind dabei lose gekoppelte Microservices. Über einen lokalen Message Bus können die Container miteinander kommunizieren und Daten austauschen.

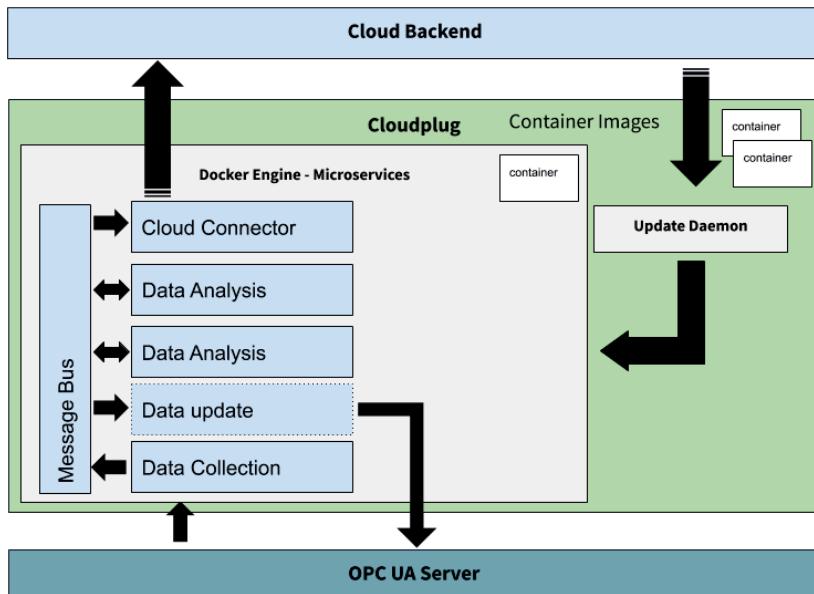


Abbildung 5-1: *System-Architektur zur Unterstützung von smart Services auf dem CloudPlug (Quelle: Sotec)*

Für die Umsetzung der Architektur war es zunächst erforderlich, die Docker Laufzeit Umgebung auf den Geräten einzurichten. Docker fordert vom zugrunde liegenden System einige Voraussetzungen, die bereitgestellt werden mussten. Dazu zählen unter anderem die Linux-Kernel-Version, Device Tree und zusätzlich notwendige Kernel Features. Die geplante Architektur wurde prototypisch auf dem CloudPlug 1 umgesetzt und diente als Basis für die weitere Entwicklung auf dem Folgegerät "CloudPlug Edge".

5.4 CloudPlug Edge

Für die Entwicklung eines CloudPlug Gerätes der nächsten Generation wurde eine völlig neue Hardware-Plattform basierend auf einem SOM (System on module) von Embedded Artist / NXP¹ konzipiert. Sie besteht aus einem Mainboard und einer Erweiterungsplatine mit wählbaren Features. Das SOM basiert auf einem iMX7 Prozessor von NXP/Freescale aus der ARM Architektur. Das Mainboard enthält außer des SOMs u.a. folgende Komponenten: Microchip CryptoAuthentication™ ATECC608A, 2 x 100/1000 Mbps Ethernet, WLAN Modul, 2

¹ <https://www.embeddedartists.com/products/imx7-dual-ucom/>

x USB-C HOST (USB 2.0), 2 x USB-A HOST (USB 2.0), 1 x RS485 / Modbus, 1 x CAN . Das Erweiterungsboard enthält folgende optionale Komponenten: 3 Status LEDs, LTE CAT Modul, 8 x Digital/Analog Eingang, Connector für TPU Edge Accelerator (USB).



Abbildung 5-2: *Industrial IoT Edge Device “CloudPlug Edge” (Quelle: Sotec)*

5.5 Das Basissystem des SOTEC CloudPlug edge

Die Entwicklung eines Betriebssystems erfolgte wie beim CloudPlug 1 mit Hilfe des Yocto Build Systems. Für dieses Build System werden die benötigten Quellen in der Regel als sogenannte Yocto Layer von den HW Providern bereitgestellt. Diese speziellen Yocto Layer, die Board Support Packages (BSP) beschreiben jedoch nur die von den HW-Providern vertriebenen Entwicklungsboards für den speziellen Prozessor bzw. SOM.

Auf der Grundlage eines solchen BSP für das Entwicklungsboard, welches auch als Vorlage für die Entwicklung des eigenen Mainboards diente, wurde ein eigener Yocto Layer als BSP für die Hardware des SOTEC CloudPlug edge entwickelt.

5.6 Remote Device Management

Das Linux OS als Basissystem ist durch das Yocto Build System vorgegeben. Bei der finalen Wahl des OS für ein IoT taugliches Gerät mussten noch folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Update Möglichkeit für OS und Applikations-Software
- Bereitstellung und Verwaltung von Docker Containern
- Zentrale Verwaltung der IoT Geräte

Unter mehreren verfügbaren Systemen fiel die Wahl auf Mender², welches für verschiedene Linux Systeme verfügbar ist aber speziell auch einen eigenen Yocto Layer zur Verwendung innerhalb eines Yocto Builds zur Verfügung stellt. Um den CloudPlug edge als IoT Gerät zur Verfügung stellen zu können, kommt als Aufsatz auf das Yocto Basisystem Mender OS zum Einsatz. Die gesamte Funktionalität basiert auf einem zentralen Mender Server und dem auf jedem CloudPlug edge laufenden Mender Client, welcher sich beim Server meldet, dort einmalig akzeptiert und damit registriert wird. Während der weiteren fortlaufenden Kommunikation werden Inventory Daten gemeldet und bei Bedarf vom Server Update Informationen bzw. Anweisungen abgerufen.

Durch dieses Kommunikationsprotokoll ist es möglich, am Server für ein bestimmtes Gerät oder für eine ganze Gruppe von Geräten verschiedenartige Updates zu starten bzw. dem Docker Subsystem eine Liste von Docker Containern zu übermitteln, welche dann vom CloudPlug edge besorgt und gestartet werden.

Es werden grundsätzlich zwei Arten von Updates unterstützt:

- Applikations Update: Container, Debian Pakete, einzelne Files, Verzeichnisse, etc.
- komplettes System Update: A/B Partitionen basierendes Root-FS Update

5.7 Datenanalyse und Modellbildung für kundenspezifische Anwendungsfälle

In den Arbeitspaketen zur Datenanalyse und Modellbildung lag für SOTEC der Fokus auf der Entwicklung von smarten Services, die “on-the-edge”, also auf Edge-Geräten maschinennah eingesetzt werden können und damit den Kreis von der Datenerfassung, -verarbeitung, Generierung von Diensten und Rückführung zur Maschine schließen. Dies veranschaulicht auch Abbildung 5-3.

² <https://mender.io>

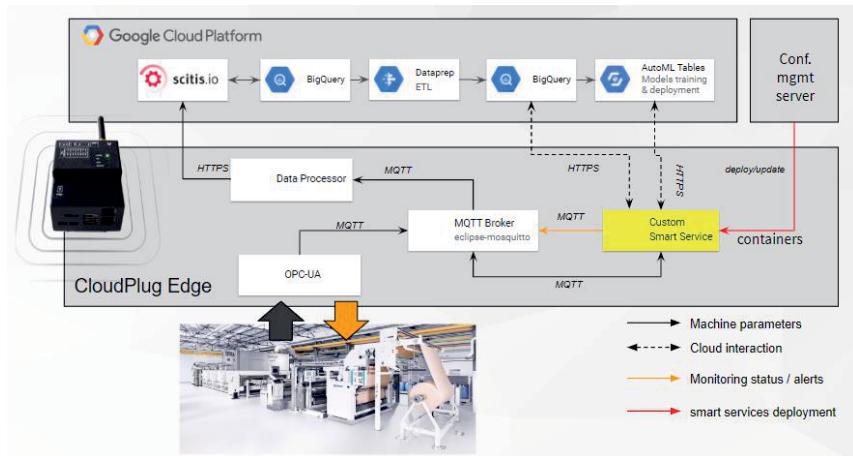


Abbildung 5-3: Smart Service Lifecycle von der Datenerfassung über Modellbildung bis zum Deployment und Einsatz auf dem Edge Device (Quelle: Sotec)

Aufgrund der Verfügbarkeit entsprechender Hardware und der Fortschritte im Bereich Machine Learning (ML) der vergangenen Jahre gibt es aktuell einen Trend in Richtung datengetriebener Entscheidungsfindung on-the-edge. Das heißt, smarte Services werden auf Edge Geräten eingesetzt zur Adhoc-Auswertung multivariater Massendatenströme und zur Erkennung komplexer Pattern [3]. Folgende Use Cases eignen sich hierfür besonders:

- Predictive Maintenance: Auswertung von meist Zeitreihendaten zur Erkennung von Verschleiß an der Maschine bevor Teile tatsächlich ausfallen
 - Optimierung der Produktion: Nutzung von ML Algorithmik zur Produktionssteigerung, Energie- oder Kosteneinsparung
 - Quality Control: Auswertung von meist bildgebender Sensorik (Kameras, 3D-Scanner) zur Prüfung der Produktqualität in der Produktion
 - Object Identification: Klassifizierung und/oder Detektion von Objekten zum Beispiel für After Sales Prozesse oder Sicherheitsaspekte
 - Smarte Produkte: Integration von ML Algorithmik in Produkte bzw. Komponenten zur Funktionserweiterung on-the-edge z.B. smarte Autositze, Fußmatten oder Komponenten mit eingebauter Zustands-/Betriebsüberwachung (Kompressoren, Hubzylinder)

Im iSrv-Projekt wurden von SOTEC die Punkte Predictive Maintenance und Optimierung der Produktion angegangen anhand folgender Anwendungsfälle bei der Firma Keller:

- Erkennung des Verschleiß der Transportkette anhand thermischer Einwirkung
 - Optimierung des Energieverbrauchs in der Produktion

5.8 Datenexploration, -aufbereitung und -visualisierung

Innerhalb des Projekts wurde zunächst eine explorative Analyse der vorhandenen Daten durchgeführt, um die Qualität und Konsistenz der gesammelten Daten zu bewerten. Das Ergebnis dieser Analyse zeigte die Existenz von Duplikaten, Ausreißern, leeren und inkonsistenten Werten im Datensatz. Die Hauptmaßnahmen, die zur Lösung dieses Problems ergriffen wurden, waren die Durchführung von cloud-basierten planmäßigen und automatisierten Daten-Reinigungsprozessen mit Hilfe von Google Cloud Dataprep. Diese Prozesse laufen in regelmäßigen Abständen ab und ermöglichen es, die Qualität der Daten so zu verbessern, dass sie für eine Durchführung von Analysen wie z.B. ML-Modelltraining geeignet sind.

Als nächster Schritt wurde eine Echtzeit-Datenvisualisierung auf der scitis.io Plattform³ für den Anlagenbediener eingerichtet, die ihm einen detaillierten Überblick über den aktuellen Zustand der Anlage gibt. Sie hilft dabei, das Verhalten der Anlage besser zu verstehen und visuell Anomalien zu erkennen. Letztendlich hilft eine visuelle Analyse auch dabei, Regeln abzuleiten, um mathematische Modelle zu trainieren, die solche Anomalien automatisch erkennen.



Abbildung 5-4: Echtzeit-Datenvisualisierung in der scitis.io Plattform (Quelle: Sotec)

³ <https://scitis.io>

5.9 Smart Service Energieverbrauchs-Vorhersage

Im ersten bearbeiteten Anwendungsfall “Energieverbrauch” wurde ein Smart Service entwickelt, der den Echtzeit-Energieverbrauch der Textilveredelungsanlage der Firma Keller überwacht und eine eventuelle Abweichung gegenüber einem Energieverbrauch Vorhersagewert erkennt. Das Modell zur Vorhersage des Energieverbrauchs wurde mit Hilfe von Google Cloud AutoML Tables⁴ auf der Grundlage der über 2 Jahre gesammelten Sensordaten wie Geschwindigkeit, Temperatur, Drehzahl, Verschiebung usw. der mechanischen Komponenten der Anlage trainiert.



Abbildung 5-5: Dashboard zur Kontrolle des Energieverbrauchs der Textilmaschine
(Quelle: Sotec)

Das daraus resultierende trainierte Modell wurde verwendet, um einen lokalen intelligenten Dienst zu betreiben, der in der Lage ist, den Echtzeit-Energieverbrauch der Maschine zu überwachen und Warnungen an den Bediener zu senden. Einmal auf dem Gerät installiert, kann ein solcher intelligenter Dienst vollständig offline arbeiten und mit anderen lokalen Diensten kommunizieren.

Diese Anwendung demonstriert die Nützlichkeit der bidirektionalen Kommunikation zwischen Anlage und Cloud: der vorgelagerte Datenfluss ermöglicht die Analyse von Maschinenverhaltensdaten und das Training des ML-Modells, während der nachgelagerte Prozess den lokalen Einsatz intelligenter Dienste ermöglicht, die auf den zuvor erstellten ML-Modellen basieren.

5.10 Smart Service “Thermische Belastung der stehenden Kette”

Für den zweiten Anwendungsfall bei der Firma Keller wurde ein smart Service zur Temperaturüberwachung der Transportkette entwickelt. Der Dienst misst die Zeit in der die stehende Kette hohen Temperaturen ausgesetzt ist und warnt den Anwender wenn eine maximal zulässige Zeitspanne erreicht ist, die vom Maschinenwart festgelegt wurde. Ein Dashboard visualisiert die Daten und stellt sie lokal auf dem CloudPlug bereit. Alle Dienste

⁴ <https://cloud.google.com/automl-tables?hl=de>

wurden wie oben beschrieben als Docker Container bereitgestellt und können per Fernzugriff auf dem Edge Device installiert und aktualisiert werden.

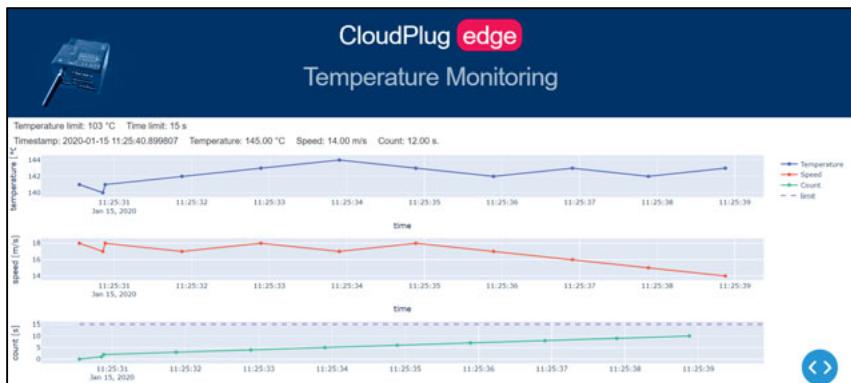


Abbildung 5-6: *Live-Temperaturüberwachungs-Dashboard, lokal auf dem CloudPlug Edge ausgeführt (Quelle: Sotec)*

5.11 Literaturverzeichnis

- [1] Melnik, Sergey, et al. "Dremel: interactive analysis of web-scale datasets." *Proceedings of the VLDB Endowment* 3.1-2 (2010): 330-339.
- [2] Ismail, Bukhary Ikhwan, et al. "Evaluation of docker as edge computing platform." *2015 IEEE Conference on Open Systems (ICOS)*. IEEE, 2015.
- [3] Patel, Pankesh, Muhammad Intizar Ali, and Amit Sheth. "From raw data to smart manufacturing: AI and semantic web of things for industry 4.0." *IEEE Intelligent Systems* 33.4 (2018): 79-86.

6 Intelligente Services aus der Cloud

F. Greschner, T. Göb (Cosmo Consult)

6.1 Motivation und Hintergrund

Alltägliche Entscheidungen werden in Unternehmen heute noch in vielen Fällen auf Basis von Bauchgefühl und Expertenwissen der Mitarbeiter getroffen. Die Nutzung von Daten zur Entscheidungsfindung wird jedoch immer wichtiger und ist nicht mehr nur für Großkonzerne, sondern auch für KMU relevant.

Das Ziel der COSMO CONSULT DATA SCIENCE ist der Aufbau eines Industrie-Service-Systems, in dem Industriedaten systemgestützt analysiert und Entscheidungen durch den Einsatz von mathematischen Modellen optimiert werden. Die Komplexität der Datenwelten erfordert in Zukunft den Einsatz von intelligenten Werkzeugen, die sich auf die jeweilige Ausgangssituation variabel ausrichten lassen. Dies klingt zunächst logisch, birgt aber einige Risiken, welche die Umsetzung erschweren. Daten, auf denen Entscheidungen systemgestützt abgeleitet werden, sind oftmals nur unzureichend verfügbar und werden oft noch nicht vollständig und systematisch erfasst. Zukunftsweisende Optimierungs- und Analysemodelle setzen jedoch valide Daten voraus, auf denen mathematische Algorithmen optimierte Entscheidungen ausführen können. Schlechte Daten hingegen führen unweigerlich zu schlechten Ergebnissen. Auch an dieser Stelle soll deutlich gemacht werden, dass eine Standardisierung mathematischer Modelle nur mit Abstrichen möglich ist und ein „blindes Vertrauen“ auf Ergebnisse solcher standardisierten Modelle zu Problemen führen kann. Die Qualität der Ergebnisse hängt in einem sehr starken Maße vom Verständnis über die Aufgabenstellung und der gewählten individuellen Ausrichtung der Modelle auf den jeweiligen Einsatzbereich (Use Case) ab.

Mathematische Analysebausteine werden in vielen Bereichen benötigt. Manche Branchen und manche Unternehmensbereiche sind dabei schon weiter fortgeschritten, manche adaptieren diese Lösungen langsamer und mit entsprechender Verzögerung. Jedoch halten datengetriebene Analysen mehr und mehr Einzug, auch in nicht hochtechnisierte Unternehmensbereiche.

Das Teilvorhaben der COSMO CONSULT DATA SCIENCE trägt dazu bei, dass kleinere Unternehmen, die sich keine Spezialisten für Analytics, Data Science bzw. Operations Research leisten können, ihre Daten über definierte Schnittstellen an die Cloud-Dienste übergeben und dann analysieren lassen können. Dabei ist von großer Wichtigkeit, die Einsatzmöglichkeiten der Bausteine genauestens zu deklarieren, sodass keine falschen Erwartungen geweckt und keine Fehlinterpretationen vorgenommen werden.

Data Science oder andere mathematische Lösungen sind häufig sehr komplex aufgebaut und führen bei kleinen Änderungen zu einem großen Anpassungsaufwand. Auch sind die Services

anfällig für Umstellungen an der Datenbasis oder den zugrundeliegenden Softwaresystemen, weil standardisierte Schnittstellen fehlen. Zentrale Anforderung an intelligente Services ist daher, dass die Dienste plattform- und softwareunabhängig funktionieren. Die Services sollen zudem so zur Verfügung gestellt werden, dass sie leicht angepasst und so von einer Vielzahl an Unternehmen simultan genutzt werden können. Die Kommunikation mit den Diensten muss einfach sein und in Bezug auf einen standardisierten Input auch einen standardisierten Output liefern.

Für solche Anforderungen haben sich sogenannte Microservices etabliert, die entkoppelt von bestehenden Systemen festgelegte Aufgaben durchführen und an das aufrufende System zurückgeben. Diese Microservices können dabei auch zu einem komplexeren Service kombiniert werden, sodass aus einer Vielzahl an kleinen Services ein „größerer“ Service mit einer komplexeren Funktionalität entsteht. Durch die Modularisierung der Lösung in Subservices ist die Wartbarkeit und Anpassbarkeit der Lösung garantiert. Eine derart entwickelte Lösung kann flexibel erweitert und von allen gängigen Systemen angesteuert werden. Neue Funktionalitäten können hinzugefügt und bestehende Services geupdated werden, ohne die definierten Schnittstellen zu ändern und dadurch die abhängigen Programme zu stören.

Im Rahmen des Förderprojektes wurde eine Toolbox mit mathematischen Analysebausteinen entwickelt, der über eine Programmierschnittstelle (API) ansprechbar ist. Der entwickelte Analysetoolbox wurde exemplarisch über die Low-Code Plattform Simplifier der Simplifier AG sowie einer für die Firma Brückner Textile Technologies GmbH & Co. KG (im Folgenden Brückner) individuell entwickelten Analyseoberfläche angesteuert. Die entwickelten intelligenten Microservices wurden darüber hinaus über eine allgemein offene URL bereitgestellt, sodass jeder Projektpartner und theoretisch auch weitere Unternehmen die Services nutzen konnten.

Da die verwendeten Analysewerkzeuge universell und klar definiert sind, ist es leicht möglich, die bestehenden Bausteine sowohl aus eigener Software als auch von anderen Systemen aus anzusteuern.

6.2 Umsetzung von Analysebausteinen

Gängiges Mittel für die Bereitstellung von Microservices sind sog. REST APIs basierend auf dem REST-Paradigma. REST APIs sind standardisierte und etablierte Schnittstellen zum Austausch von Informationen. Sie nutzen HTTP-Anfragen (Requests), um auf Daten und Algorithmen zuzugreifen. Nahezu jede Software bietet die Möglichkeit eine solche REST API anzusteuern und diese gegenüber anderen Services verfügbar zu machen.

Zur Bearbeitung mathematischer Fragestellungen hat sich in den letzten Jahren die Statistiksprache R als eine der Standardsprachen etabliert. In R können mit verschiedenen frei verfügbaren Paketen sehr viele mathematische Aufgabenstellungen einfach bearbeitet und

umgesetzt werden. Durch die breite Verbreitung, unter anderem in der Wissenschaft, sind diese Pakete von hoher Qualität. Darüber hinaus ist R eine Open Source Software, die die breite Nutzung der Services unabhängig einer komplexen Lizenzierung kostenfrei ermöglicht.

Die mathematischen Modelle des Analysebaukastens wurden – auch auf Grund der enormen Erweiterbarkeit von Modulen in dieser Sprache – in R umgesetzt. Bei der Entwicklung der Toolbox stand stets der Rahmen des Förderprojektes sowie die entsprechende Zielgruppe im Fokus. Die Services sollten dabei für möglichst viele Unternehmen und Anwendungsfälle geeignet sein. Daher wurden Bausteine insbesondere für Zeitreihendaten entwickelt, die von Sensoren kontinuierlich generiert werden. Der Analysebaukasten kann jedoch ohne größeren Aufwand um andere Funktionalitäten erweitert werden.

Die Bereinigung und spätere Vorhersage der zeitabhängigen Daten standen aufgrund des Fokus auf Zeitreihen- und Sensordaten im Mittelpunkt der Entwicklung. Dies ist insbesondere bei Maschinensensoren relevant, um Fehlfunktionen frühzeitig zu erkennen und gegensteuern zu können. Zu diesem Zweck wurden einige Funktionalitäten entwickelt, die für die Prognose von Zeitreihendaten relevant sind.

Bevor eine valide Prognose möglich ist, müssen die Daten einen Datenverarbeitungsschritt, das sogenannte Preprocessing, durchlaufen. Es existieren mehrere Analysewerkzeuge, die Teil des Preprocessings sein können. Beispielsweise existiert ein Analysebaustein, der die eventuell vorhandene Saisonalität bestimmen kann. Dies kann sowohl numerisch als auch grafisch passieren. Die erkannte Saisonalität wird in den Prognosealgorithmen verwendet. In einem weiteren Baustein können Zeitreihen um ihre Ausreißer bereinigt werden. Die Ausreißerbereinigung stellt besonders im Umfeld der Sensordaten ein zentrales und notwendiges Element dar. Hauptgrund hierfür ist, dass, anders als beispielsweise bei durch Data Warehouses generierten Daten, aufgrund vorrübergehender Messfehler fehlerhafte Daten produziert und abgespeichert werden können.

Neben den beschriebenen Elementen des Preprocessings wurde eine Methode implementiert, die Zeitreihendaten für einen beliebigen Zeitraum in der Zukunft prognostiziert. Die Prognose erfolgt hier mit dem mathematischen Verfahren der Exponentiellen Glättung, das sich im Bereich der univariaten Zeitreihenanalyse als ein Standardverfahren durchgesetzt hat [siehe dazu Gardner, 2006]. Mittels dieses Analysebausteins können per Request gelieferte Daten für einen beliebigen Horizont prognostiziert werden.

Neben den Preprocessing- und den Forecastmethoden existieren innerhalb der Toolbox verschiedene grafische Methoden, die die Prognosen bzw. einzelne Preprocessingsschritte visualisieren und als Grafik zurückliefern können.

Über die beschriebenen Einzelbausteine hinaus wurde ein Wrapper-Baustein entwickelt, der u.a. die genannten Funktionalitäten bündelt und zu einer gegebenen Zeitreihe die zukünftigen

Werte prognostiziert. Dieser Service kann besonders dann verwendet werden, wenn lediglich die Prognose und weniger die genauen Eigenschaften der zu vorhersagenden Zeitreihe von Interesse sind.

Die Toolbox ist modular aufgebaut. Erweiterungen, also neue Bausteine der Toolbox, sind daher einfach integrierbar. Durch eine Spezifikation des Inputs und des Outputs des Analysebausteins kann eine beliebige Funktionalität hinzugefügt, auf verschiedene Weisen angesprochen und auch in bereits implementierte Wrapper-Bausteine integriert werden.

Um eine universelle Einsetzbarkeit sicherzustellen wurde die beschriebene Analysetoolbox über eine API zur Verfügung gestellt. Da bereits die mathematische Funktionalität in R umgesetzt wurde, fiel die Entscheidung bei der Softwareauswahl für die Entwicklung einer REST API ebenfalls auf die Programmiersprache R, genauer auf das R-Paket plumber.

Neben der Verfügbarkeit über eine Webschnittstelle sollte es möglich sein, die Analysetoolbox in verschiedenen eigenen Umgebungen zur Verfügung zu stellen. Hierbei ist es wichtig, dass keine separate Software installiert werden muss, weil dies zum einen interne Richtlinien oft verbieten und zum anderen Kompatibilitätsprobleme bei verschiedenen Softwareversionen die Folge sein können.

Daher wurde die Toolbox über einen Docker-Container zur Verfügung gestellt. Docker ermöglichen das einfache Deployment von Lösungen, da durch die Isolation eine plattformunabhängige und schlanke Lösung entwickelt werden kann, in der alle relevanten Funktionalitäten enthalten und aufeinander abgestimmt sind. Die so erreichte Kapselung stellt sicher, dass die API sowie der Analysebaukasten leicht auf eigener Infrastruktur unabhängig vom Betriebssystem gehostet werden kann. Abbildung 6-1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des Analysebaukastens über einen Docker-Container und eine REST-API. Beide Komponenten werden in einen Docker-Container deployed, sodass die Verzahnung der API mit dem Werkzeugkasten sichergestellt wird. Die über den Server des Förderprojekt gehostete Lösung wurde über den entwickelten Container zur Verfügung gestellt.

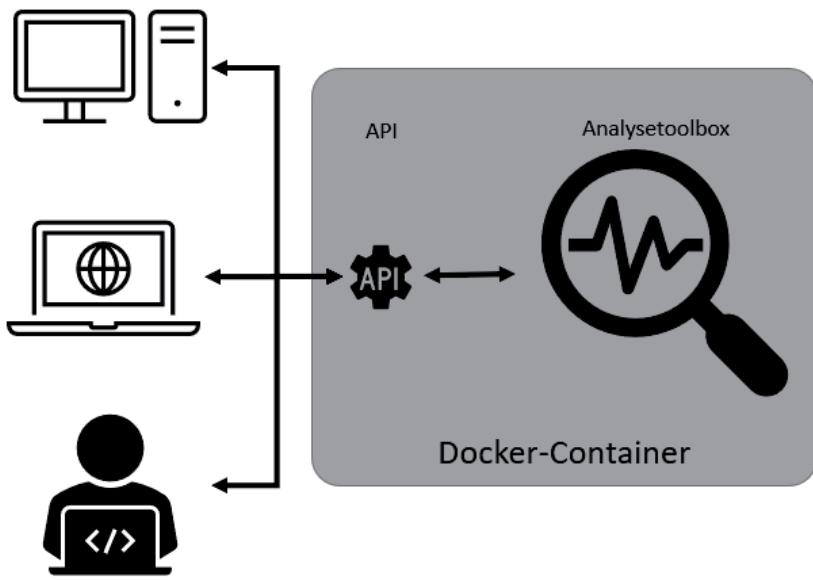


Abbildung 6-1: Architektur des Analysebaukastens (Quelle: Cosmo Consult)

Die REST-API wird mittels eines POST Request angesprochen. Die benötigten Parameter können dabei über einen curl-Befehl an die API übergeben werden. Dies hat jedoch zur Folge, dass die übertragenen Daten in der URL sichtbar sind und zudem die Länge des Inputs auf die URL-Länge des Betriebssystems begrenzt ist. Stattdessen kann der POST Request Daten über eine JSON Datei übergeben. Diese werden dabei im Request-body gespeichert und versendet. Die Daten sind dadurch weder in der URL sichtbar noch durch systemseitige Vorgaben begrenzt.

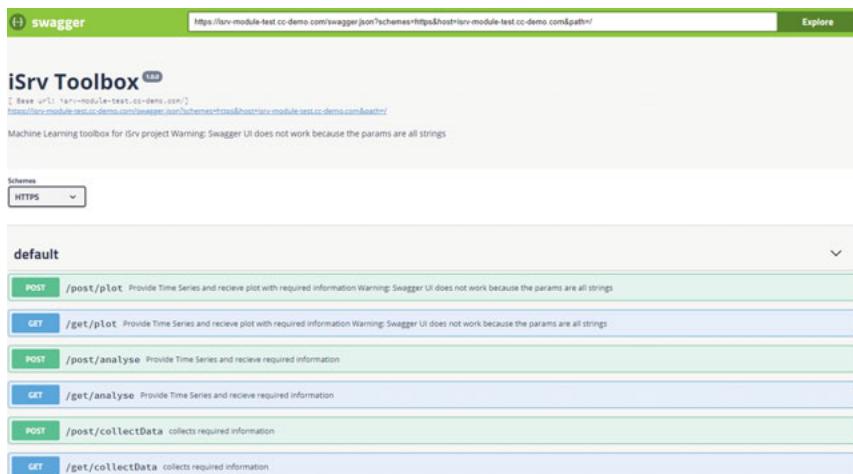
Wurde der Analysebaukasten beispielsweise auf der URL <https://isrv-module.cc-demo.com> gehostet, so kann man die Analysefunktion „analyse“ mit den Input Parametern in der Datei „data.json“ über folgenden curl Befehl ansteuern:

```
curl -d "@data.json" -X POST "https://isrv-module.cc-demo.com/post/analyse" --output Result.json
```

Die Rückgabe wird dann in die Datei „Result.json“ geschrieben.

Eine Dokumentation der zur Verfügung gestellten Analysebausteine bietet die Oberfläche der API, die über dem Pfad „/_swagger_“ der API-URL erreichbar ist. Hier sind für jede Funktion separat die Input- und Outputparameter beschrieben, sodass die Nutzung des

Werkzeugkastens ohne weitere Einweisung möglich ist. Einen Screenshot der Dokumentationsoberfläche zeigt Abbildung 6-2.



The screenshot shows the iSrv Toolbox Swagger UI interface. At the top, there's a green header bar with the 'swagger' logo and a 'Explore' button. Below it, the title 'iSrv Toolbox' is displayed with a small 'beta' badge. A status message at the top says 'Machine Learning toolbox for iSrv project Warning: Swagger UI does not work because the params are all strings'. On the left, a 'Schemes' dropdown is set to 'HTTPS'. The main area is titled 'default'. It lists several API endpoints with their methods and descriptions:

- POST /post/plot**: Provide Time Series and receive plot with required information. Warning: Swagger UI does not work because the params are all strings.
- GET /get/plot**: Provide Time Series and receive plot with required information. Warning: Swagger UI does not work because the params are all strings.
- POST /post/analyse**: Provide Time Series and receive required information.
- GET /get/analyse**: Provide Time Series and receive required information.
- POST /post/collectData**: collects required information.
- GET /get/collectData**: collects required information.

Abbildung 6-2: Dokumentation des Analysebaukastens (Quelle: Cosmo Consult)

Um die Integration in eine beliebige Software zu demonstrieren wurde eine beispielhafte Integration des Analysebaukastens in der Low-Code Plattform Simplifier der Simplifier AG entwickelt. Hierzu wurde im Rahmen des Förderprojektes ein Connector innerhalb des Simplifier geschaffen, welcher einzelne Bausteine des Analysebaukastens anspricht und die Ergebnisse zurückgespielt bekommt. So können beispielsweise mit den Funktionalitäten des Simplifier Daten aus einem Cloudspeicher abgegriffen, zur Analyse an die Analysetoolbox gesendet und die Ergebnisse mit dem Simplifier visualisiert werden. Die so demonstrierte Integration ist mit den meisten gängigen Softwareprodukten äquivalent möglich.

6.3 Demonstrator mit Firma Brückner

Im Rahmen des Förderprojektes wurden Daten einer Anlage des Herstellers Brückner, die bei der Firma Textilveredelung Keller GmbH betrieben wird, durch Sensoren gemessen und durch Konnektoren der Firma SOTEC sicher in die Google Cloud übertragen. Durch die Speicherung in der Cloud kann flexibel orts-, zeit- und endgerätenabhängig auf die Daten zugegriffen werden. Mittels dieser zur Verfügung gestellten Daten wurden für Brückner diverse relevante Anwendungsfälle bearbeitet, bei denen unter anderem der entwickelte Analysebaukasten Verwendung fand.

Brückner suchte unter anderem nach einer Visualisierungsmöglichkeit, um die Sensoren sowie den Energieverbrauch bei den Vorspülvorgängen der Anlage darzustellen. Hierfür mussten zunächst die Vorspülvorgänge datenbasiert identifiziert werden. Für dieses Vorhaben wurden

die relevanten Daten aus der Google Cloud abgegriffen. Die Umsetzung der Visualisierung erfolgte basierend auf der Programmiersprache R über eine Shiny-App. Mittels einer solchen App kann eine dynamische Webseite basierend auf html und javascript erstellt, mittels der interaktiv R-Funktionalitäten angesteuert und schlussendlich visualisiert werden. Die Shiny-App wurde wiederrum über einen Docker-Container gekapselt und deployed.

Das Abgreifen der Daten aus der Google Cloud ist zeit- und speicherintensiv, insbesondere wenn die gesamte Historie durchsucht und übertragen werden muss. Eine performante Lösung bietet eine separate Datenbank, die nur die relevante Historie sowie die relevanten Informationen enthält und zwischenspeichert. Die separate Datenbank kann regelmäßig in festgelegten Zyklen über einen Connector befüllt werden. Durch eine Routine, die zu alten Daten entfernt, ist sichergestellt, dass die lokale Datenbank stets einen gewissen Speicherbedarf nicht übersteigt. Auch die lokale Datenbank sowie der Connector zum Befüllen der Datenbank wurde in separaten Docker-Containern entwickelt.

Diese verschiedenen Docker-Container für Connector, Lokale Datenbank, Analyse-App sowie Analysetoolbox wurden in ein System deployed und über einen gemeinsamen docker-compose Befehl orchestriert. Somit ist sichergestellt, dass alle Komponenten aufeinander abgestimmt sind und der Demonstrator leicht auf andere Systeme übertragbar ist. Zudem ist es durch den modularen Aufbau leicht möglich, einzelne Komponenten, wie beispielsweise die Analyse-App, durch andere Komponenten zu ersetzen. Die Orchestrierung der verschiedenen Docker-Container ist in Abbildung 6-3 dargestellt.

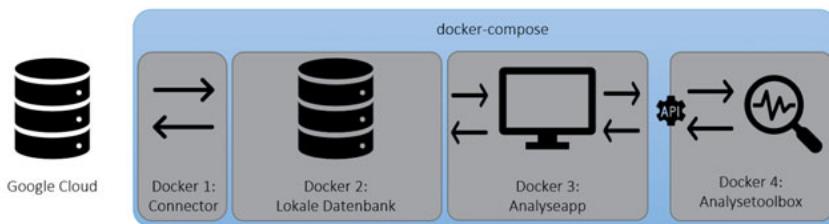


Abbildung 6-3: Architektur der Analyse-App (Quelle: Cosmo Consult)

Mittels der entwickelten Analyse-App können die Sensordaten der einzelnen Vorspülvorgänge und zudem der gemessene Energieverbrauch dargestellt werden. Die Vorspülvorgänge werden hierfür durch die durch die Fachabteilung vorgegebenen Rahmenbedingungen identifiziert, in der Lokalen Datenbank historisiert und nachgehalten und in der Analyse-App zur Visualisierung in Phase gebracht. Der Verlauf der einzelnen Sensorwerte sowie der Gesamtenergieverbrauch kann so für verschiedene Vorgänge leicht verglichen werden. Einen Screenshot der Analyse-App und der exemplarische Vergleich von Sensorwerten für verschiedene Vorspülvorgänge ist in Abbildung 6-4 dargestellt.



Abbildung 6-4: Visualisierung verschiedener Sensoren (*Quelle: Cosmo Consult*)

Mit den im Teilvorhaben erzielten Ergebnissen konnte COSMO CONSULT DATA SCIENCE zeigen, dass sich durch den modularisierten Ansatz viele Vorteile bei der Entwicklung und insbesondere beim Einsatz von intelligenten Services ergeben. Durch die Entwicklung gekapselter, modularer Bausteine ist die Integration und Übertragbarkeit so einfach wie noch nie. Dadurch entfällt ein hoher Aufwand in Installation und Wartung.

Eine Herausforderung ist weiterhin, dass in vielen Unternehmen die Datenqualität und -quantität nur unzureichend ist. Hier helfen mathematische Algorithmen nicht weiter. Vielmehr müssen insbesondere KMU erkennen, welchen Mehrwert gute Daten und die darauf aufbauenden mathematischen Analysen liefern und dass der Einstieg in die datengetriebene Wertschöpfung beispielsweise durch die Nutzung der beschriebenen Microservices oft schon mit geringem Investitionsaufwand möglich ist.

6.4 Literaturverzeichnis

- [1] Gardner Jr, Everette S. "Exponential smoothing: The state of the art—Part II." *International journal of forecasting* 22.4 (2006): 637-666.

7 Anreicherung von Online-Modellen mit Informationen

A. Schmidt (Universität Stuttgart, ISW)

7.1 Anreicherung von Modellen mittels grafischer Visualisierung

Der Datenaustausch zwischen verschiedenen Firmen und Partnern ist aufgrund der heterogenen Datenmodelle und Vielfalt in der Datenhaltung eine große Herausforderung [1]. Eine Möglichkeit dieses Problem zu adressieren ist die Verwendung eines evolutionären Datenmodells [2]. Es gibt eine Reihe von Szenarien, bei denen es sinnvoll ist, Online-Modelle von Anlagen mit zusätzlichen Informationen zu erweitern. Ein Beispiel hierfür ist der Vermerk von Störungen, welche noch nicht unmittelbar einen Stillstand der Anlage erfordern, bei der nächsten Wartung allerdings untersucht werden sollen. Bei einer Textilmaschine kann dies beispielsweise ein Motor sein, der ungewöhnliche Geräusche macht oder ein Riss, welcher in einem Riemen sichtbar ist. Der Bediener der Anlage möchte diese Informationen einem spezifischen Ort bzw. Bauteil, beispielsweise direkt dem Motor oder dem Riemen, an der Anlage zuordnen. Werden identische Bauteile oder Module mehrfach in einer Anlage verbaut, besteht hier ein Verwechslungspotential und eine mögliche Fehlerquelle.

Eine Lösung für dieses Problem ist die grafische Annotation von Bauteilen mit Informationen. Das ISW hat hierfür eine Software namens „Digitizer“ entwickelt, welche es ermöglicht Bauteile in einer grafischen Benutzeroberfläche mit zusätzlichen Informationen zu versehen (siehe Abbildung 7-1). In den meisten Fällen existieren 3D-Modelle von Anlagen in Form von CAD-Modellen. Moderne Grafik-Engines, wie beispielsweise die Unity-Engine arbeiten jedoch mit FBX-Modellen. Für den Digitizer ist deshalb ein Baustein entwickelt worden, welcher CAD-Modelle automatisiert in FBX-Modelle umwandelt. Der Bediener einer Anlage kann nun diese Anlage in den Digitizer importieren und direkt das gewünschte Bauteil, zum Beispiel den Motor oder den Riemen, anklicken und die Informationen hinterlegen.

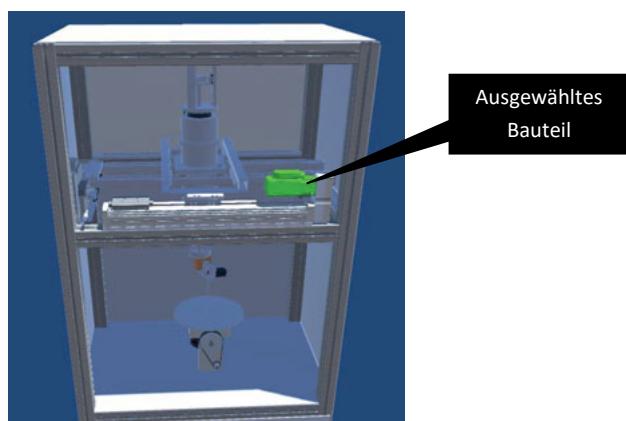


Abbildung 7-1: Selektion von Bauteilen durch das Digitizer-Tool (Quelle: Universität Stuttgart ISW)



Abbildung 7-2: Reale Anlage (links) und digitales Abbild (rechts) (*Quelle: Universität Stuttgart ISW*)

Der Anwender kann somit Informationen (z.B. Motor macht ungewöhnliche Geräusche) direkt an dem entsprechenden Motor anbringen. Insbesondere bei einer asynchronen Kommunikation zwischen dem Ersteller und dem Empfänger der Information reduziert diese Methode durch das Speichern der Kontextinformationen mögliche Verwechslungsfehler. In Abbildung 7-2 ist eine Modellproduktionsanlage dargestellt. Diese Anlage besteht aus einzelnen Stationen welche nach dem Baukastenprinzip aufgebaut sind. Durch den identischen Aufbau der einzelnen Stationen ist es wichtig, Informationen korrekt zuzuordnen und Verwechslungsfehler zu vermeiden.

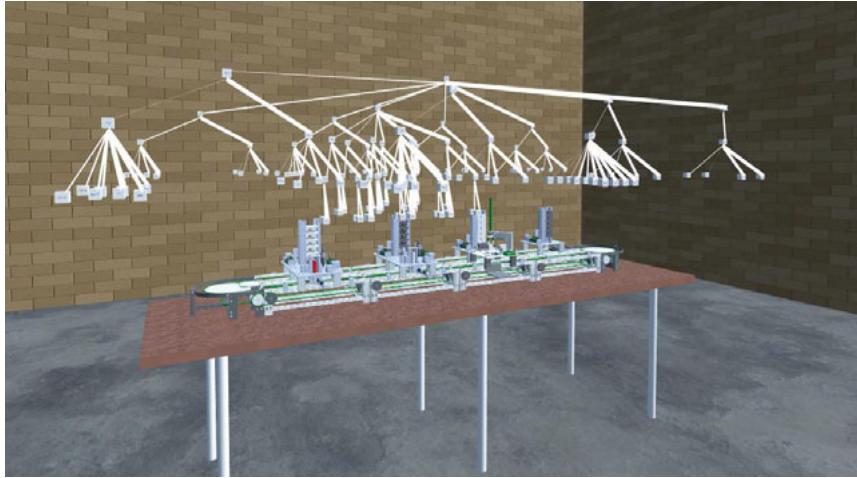


Abbildung 7-3: Visualisierung von Softwareabhängigkeiten (*Quelle: Universität Stuttgart ISW*)

In Abbildung 7-3 ist die grafische Visualisierung der Softwareabhängigkeiten der einzelnen Bausteine zu sehen. Der Bediener kann sich auf diese Art und Weise die Abhängigkeiten seiner Software direkt an der Maschine anzeigen lassen. Die Zuordnung von Abhängigkeiten zu den tatsächlichen Modulen und der physischen Anordnung in der Anlage wird somit vereinfacht.

7.2 Cloudbasierter Augmented-Reality Baukasten

In Abschnitt 7.1 wurde gezeigt, wie man mit der Software Digitizer Bauteile einer Maschine mit Informationen versehen kann. In diesem Abschnitt geht es um die Visualisierung dieser Informationen unter Verwendung von Augmented Reality [3]. Hierzu ist eine AR-App entwickelt worden, welche auf HeadUp-Displays ausgeführt werden kann. Die Entwicklung für den Endkunden lässt sich dabei in drei Schritte unterteilen (siehe Abbildung 7-4). Zuerst erfolgt das Engineering über eine Weboberfläche. Der Nutzer erzeugt in diesem Schritt neue QR-Codes und verknüpft diese mit den Hologrammen oder Informationen, welche angezeigt werden. Im zweiten Schritt definiert er die Logik zur Anzeige der Hologramme. Im dritten Schritt wird die Ausführung des Smarten Services konfiguriert und gestartet.

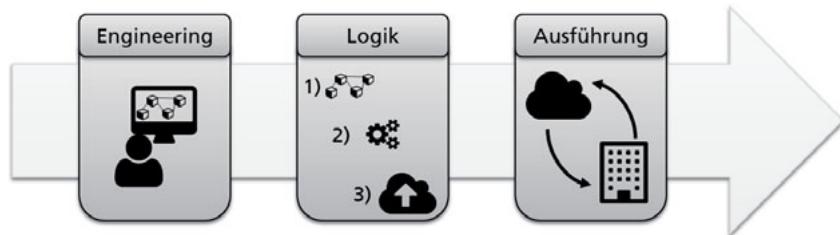


Abbildung 7-4: Ablauf der Erstellung eines Smarten Services auf Basis des AR-Baukastens (Quelle: Universität Stuttgart ISW)

Die App scannt über die Sensoren des HeadUp-Displays die Umgebung erkennt automatisiert QR-Codes. Nachdem die App einen QR-Code erkannt hat, wird eine Anfrage an den Smarten Service geschickt und alle zugehörigen Informationen werden heruntergeladen. Durch die Position des QR-Codes an der Anlage können die Informationen gezielt über dem entsprechenden Bauteil eingeblendet werden. Somit ist es möglich, dass der Text „Motor macht ungewöhnliche Geräusche“ auch tatsächlich direkt über dem entsprechenden Motor eingeblendet wird. Der Wartungstechniker kann sich somit über das HeadUp-Display die zusätzlichen Informationen und Hologramme ortsbezogen einblenden lassen.

In Abbildung 7-5 ist die Kommunikation zwischen der Anlage und der AR-Applikation dargestellt. Die Maschine stellt über einen OPC UA Server die Maschinendaten bereit. Über das Intelligente Servicesystem werden in der Low-Code-Plattform Simplifier Kommunikationsbausteine zur Konfiguration eines OPC UA Clients verwendet. Über Datenobjekte werden die Daten dann in einem neutralen Format innerhalb des Servicesystems abgebildet. Ein weiterer Kommunikationsbaustein stellt die Daten dann über einen WebSocket zur Verfügung.

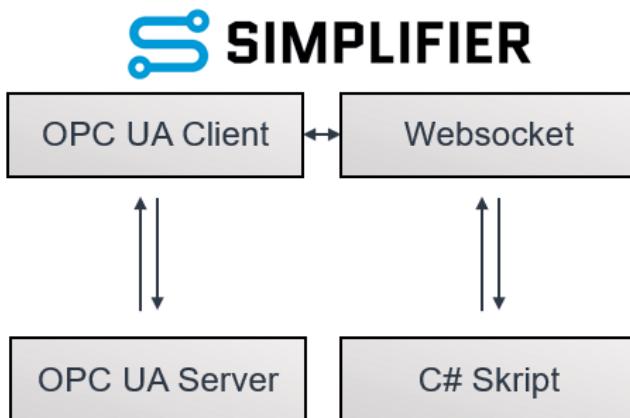


Abbildung 7-5: Ablauf der Erstellung eines Smarten Services auf Basis des AR-Baukastens (*Quelle: Universität Stuttgart ISW*)

Die AR-Anwendung für die HoloLense ist auf Basis der Unity-Engine programmiert. Über ein Skript in der Programmiersprache C# wird ein Websocket mit der Serviceplattform aufgebaut. Die Maschinendaten sind somit innerhalb der AR-Anwendung verfügbar und können zur synchronisierten Visualisierung der Hologramme verwendet werden.

7.3 Eingriffsmöglichkeiten zur Optimierung von Prozessparametrierungen

Die Optimierung von Prozessparametern stellt einen interessanten Anwendungsfall für den Einsatz von Smart Services dar. Eine grundlegende Voraussetzung ist hierbei jedoch die Möglichkeit des Smart Services, in den Fertigungsprozess einzugreifen und Parameter ändern zu können. Dieser Eingriff stellt ein Sicherheitsrisiko dar, weil eine fehlerhafte Parametrierung der Prozessparameter zu Schäden an der Maschine oder am Menschen führen kann. Aus diesem Grund ist ein Versuchsdemonstrator entwickelt worden, mit dem sich Fertigungsprozesse nachbilden lassen, der allerdings kein Sicherheitsrisiko bei falscher Parametrierung darstellt. In Abbildung 7-6 ist ein solcher Versuchsdemonstrator abgebildet, welcher aus Standardkomponenten aus der Automatisierungstechnik besteht. Ziel des nachempfundenen Kugelhebespiels ist es, eine Kugel, welche sich auf zwei parallel zueinander geführten Stangen befindet, durch das koordinierte Öffnen und Schließen der Stangen die Kugel bergauf rollen zu lassen. Je weiter die Kugel rollt, desto höher die Punktzahl und desto besser ist das erreichte Ergebnis. Die Position der Kugel wird über einen Lasersensor erfasst. Durch ein Schneckengewinde kann die Kugel, nachdem sie heruntergefallen ist, wieder automatisiert auf die Startposition angehoben werden. Der Demonstrator kann somit im Dauerlauf betrieben werden und eignet sich sehr gut, um daran Optimierungsalgorithmen zu testen.



Abbildung 7-6: Kugelhebespieldemonstrator (Quelle: Universität Stuttgart ISW)

An den oberen Enden der Stangen befinden sich Servomotoren, welche jeweils über einen Zahnriemen mit den Stangen verbunden sind. Die Motoren sind an eine Steuerung angebunden. Die Steuerung sendet als Sollwert zu den Motoren die gewünschte Soll-Position und erhält die aktuelle Ist-Position zurück. An den jeweiligen Enden der Stangen sind in beiden Richtungen Lasersensoren befestigt, welche in jedem Zustand die exakte Kugelposition auf den Stangen bestimmen können. Unterhalb der Stangen befindet sich ein Boden mit einem Neigungswinkel, welcher dazu führt das die Kugel automatisch in den Schneckenförderer rollt. Dieser Schneckenförderer hebt die Kugel automatisiert an und legt diese über eine Zuführeinrichtung wieder am Anfang der Stangen ein.

Die Steuerung der Stangenposition und die Auswertung der Lasersensoren erfolgt über eine handelsübliche Simatic ET 200SP Industriesteuerung. Auf dieser Steuerung sind zwei Betriebssysteme parallel installiert. Zum einen ist ein echtzeitfähiges Betriebssystem basierend auf Linux installiert, welches die Ausführung von IEC 61131-3 [4] konformen Steuerungscode in Echtzeit ermöglicht. Zum anderen ist ein nicht-echtzeitfähiges Embedded Windows Betriebssystem installiert, auf dem die Kommunikationsbausteine für Smart Services und die Anbindung an die Intelligente Serviceplattform installiert werden können. Zudem beinhaltet die Steuerung Kommunikationsschnittstellen um zwischen den beiden Betriebssystemen Informationen austauschen zu können.

Für den Kugelhebespieldemonstrator ist ein Smarter Service in Form eines genetischen Algorithmus entwickelt worden, welcher verschiedene Topologien von neuronalen Netzen evolviert und über einen Selektionsmechanismus die besten neuronalen Netze auswählt [5]. Das neuronale Netz übernimmt hierbei die Bewegungssteuerung der Stangen, und wird durch eine Trainingsalgorithmus im nicht-echtzeitfähigen Betriebssystem trainiert. Der Ablauf dieses Trainings ist in Abbildung 7-7 dargestellt.

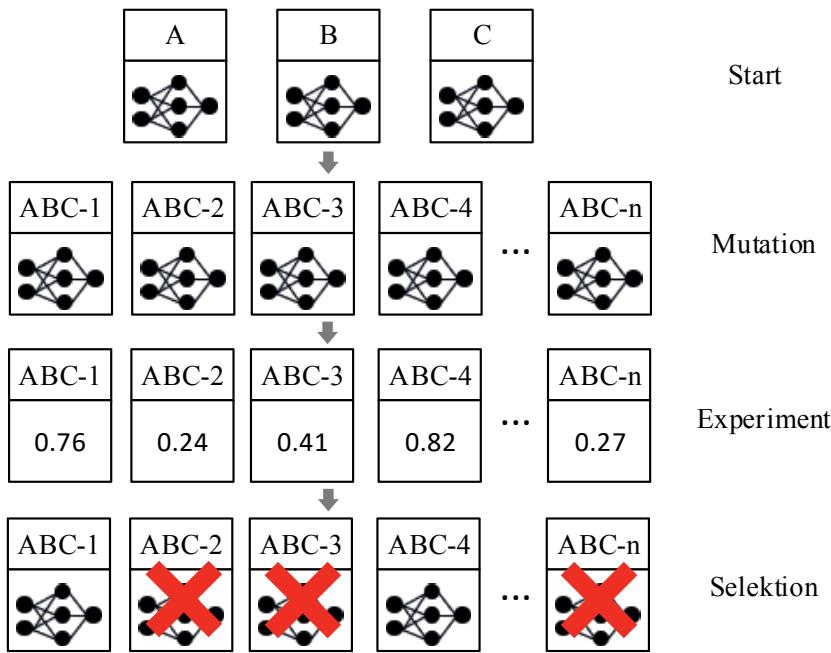


Abbildung 7-7: Funktionsprinzip des genetischen Algorithmus (Quelle: Universität Stuttgart ISW)

Ausgangsbasis ist ein Set an neuronalen Netzen. Zu Beginn des Trainingsverfahrens sind die alle bestehenden neuronalen Netze noch leer und haben nur die Schicht mit Eingangs- und Ausgangsneuronen. In der Mutationsphase werden diese neuronalen Netze zufällig miteinander kombiniert und es werden kleine zufällige Änderungen, wie das Hinzufügen oder Entfernen von Neuronen und Verbindungen innerhalb des neuronalen Netzes durchgeführt. Die neu entstandenen neuronalen Netze werden dann in IEC 61131-3 konforme Steuerungsprogramme übersetzt und auf den echtzeitfähigen Teil der Steuerung geladen. Jedes Steuerungsprogramm wird dann ausgeführt und es wird per Experiment an der realen Anlage ermittelt, wie gut das Steuerungsprogramm funktioniert. In Abhängigkeit davon, wie weit die Kugel befördert wurde, wird dem Programm eine Punktzahl zugewiesen. Diese Punktzahl wird dann als Kriterium im nächsten Schritt verwendet, um die besten Steuerungsprogramme zu selektieren. Die neuronalen Netze die in den ausgewählten Steuerungsprogrammen enthalten sind, werden dann als Set in der Startphase des nächsten Iterationsschritts verwendet. Man spricht für jede Iteration von einer neuen Generation neuronaler Netze.

Die durchgeföhrten Untersuchungen haben gezeigt, dass sich ein neuronales Netz zur Ansteuerung der Stangenposition bei einer Populationsgröße von 150 neuronalen Netzen nach etwa 45 Generationen gute Ergebnisse erzielt. Für einen Maschinenbetreiber ist es somit möglich, die Erstellung von einem Steuerungsprogramm nicht durch einen menschlichen Programmierer durchführen zu lassen, sondern automatisiert durch das selbstständige Lernen von neuronalen Netzen.

7.4 Literaturverzeichnis

- [1] M. M. Strljic, O. Riedel and A. Lechner, "Collective Cloud Manufacturing for Maintaining Diversity in Production through Digital Transformation," *2019 IEEE 21st Conference on Business Informatics (CBI)*, Moscow, Russia, 2019, pp. 594-603.
- [2] Strljic, Matthias Milan, and Oliver Riedel. "An evolutionary data model for the implementation of collective cloud manufacturing to maintain individual value-added networks." *2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX)*. IEEE, 2019.
- [3] Zinn, Bernd, ed. *Virtual, augmented und cross reality in Praxis und Forschung: technologiebasierte Erfahrungswelten in der beruflichen Aus-und Weiterbildung: Theorie und Anwendung*. Franz Steiner Verlag, 2020.
- [4] Tiegelkamp, Michael, and Karl-Heinz John. *IEC 61131-3: Programming industrial automation systems*. Vol. 14. Berlin: Springer, 1995.
- [5] Schmidt, Alexander, Florian Schellroth, and Oliver Riedel. "Control architecture for embedding reinforcement learning frameworks on industrial control hardware." *Proceedings of the 3rd International Conference on Applications of Intelligent Systems*. 2020.

8 Entwicklung eines VR-Schulungssystems

T. Reisser, M. Lubczyk, L. Joos (Pixomondo)

8.1 Einleitung

Ziel dieses Forschungsbeitrages ist es, ein möglichst ausgereiftes Konzept für eine effiziente Virtual Reality Schulung zu entwickeln. Hierbei werden in zwei separaten, praktischen Anwendungsfällen verschiedene Problemstellungen analysiert, deren Erkenntnisse dann in das rein theoretische Schulungskonzept eingeflossen sind, um so ein optimiertes Lernergebnis zu ermöglichen.

8.1.1 Visualisierung realer Maschinendaten

Im ersten praktischen Test soll eine Schnittstelle geschaffen werden, um reale Maschinendaten mittels digitalem Zwilling in einer Game Engine zu visualisieren. Dadurch soll im späteren Verlauf eine erhöhte Immersion in VR, sowie eine möglichst authentische Nachbildung eines realen Wartungsszenarios geschaffen werden.

8.1.2 Ausgangslage und Projektbeschreibung

Um reale Maschinendaten zu erhalten, wird mit der ISG GmbH kooperiert. Deren Virtuos Software ermöglicht eine Datenübertragung von realen Werten, nahezu in Echtzeit. Die Software verfügt zudem bereits über eine Möglichkeit der Visualisierung, diese soll durch Pixomondos Erfahrungen im Bereich der Computergrafik, sowie der Möglichkeit, diese in VR zu betrachten, optimiert und erweitert werden. Hierfür soll in einem Testprojekt eine Schnittstelle zur Datenübertragung erarbeitet werden, um diese dann mit Hilfe der Game Engine Unity 3D visualisieren zu können. Dabei soll direkt von Beginn an ein Performance optimierter Ansatz gewählt werden, um später eine reibungslose Darstellung zu gewährleisten.

8.1.3 Datenstruktur und Visualisierung

Dieser Prototyp befasst sich mit der reinen Schnittstelle, sowie der Übertragung der Daten. Daher wird zunächst eine Windows Applikation entwickelt, um die Funktionalität zu prüfen, die Übertragung auf die VR-Brille geschieht zu einem späteren Zeitpunkt. Bereits in den ersten Tests wird jedoch klar, dass die hohe Geschwindigkeit und Präzision der Datenerfassung mittels Virtuos Software sich nicht eins zu eins übertragen lässt, da sowohl die Übertragung, als auch die Visualisierung realistischer Grafiken in VR zu hohen Performance Einbußen führt. Somit wird für die Visualisierung ein Ansatz einer Art Wiedergabesoftware gewählt. Es soll die Möglichkeit geschaffen werden, zuvor mit Hilfe von Virtuos aufgenommene, reale Bewegungsdaten in einer Hochglanzumgebung mittels VR wiederzugeben.

Als Testobjekt dient ein Kuka-Roboter, dessen Modelldaten ebenfalls von der ISG GmbH zur Verfügung gestellt werden. Hierbei handelte es sich um einen Roboterarm, welcher über

mehrere Translations- und Rotationsachsen verfügt. Im ersten Schritt werden sämtliche Bewegungsdaten mittels CSV-Datei bereitgestellt. Diese enthält alle Daten der zu bewegenden Objekte, sowie deren Position und Rotation zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die CSV-Datei wird zunächst lokal gespeichert und anschließend mittels gängiger Parsing Methoden in die Unity 3D Engine importiert. Es werden anschließend Daten Zeile für Zeile ausgelesen und auf die gekoppelten Elemente in der Game Engine übertragen.

Da es sich hierbei um die Information einer einzigen Bewegung handelt, würde man für jede weitere Bewegung also eine zusätzliche CSV-Datei benötigen. Um diesen Ablauf zu optimieren, wird für die Daten in einem zweiten Testlauf das schnellere ProtoBuffer Format gewählt, sowie eine Client/Server Verbindung aufgebaut. Somit können aus der Windows Anwendung heraus, die realen Virtuos Daten vom Server geladen und dynamisch abgespielt werden.

8.1.4 Übertragung und Optimierung für Virtual Reality

Somit werden die Schnittstellen für eine Datenübertragung hergestellt, im nächsten Schritt sollen diese Erkenntnisse dann in einer tatsächlichen Virtual Reality Umgebung angewandt werden. Nach einiger Recherche wird die Oculus Quest als Zielhardware festgelegt, da sie kabellos funktioniert und die Anwendung somit ohne zusätzliche Verbindung zu einem Desktop PC verwendet werden kann. Zudem handelt es sich um eine verhältnismäßig günstige Lösung, was auch kleineren Unternehmen die Möglichkeit bietet, deren Daten in VR anzeigen zu können. Die Datenübertragung per se funktioniert hierbei genau gleich. Wie die meisten modernen VR-Brillen verfügt die Oculus Quest über eine WLAN-Verbindung, wodurch die Applikation die Bewegungsdaten vom Server laden kann.

Ein Problem stellt die grafische Aufbereitung dar. Da die Oculus Quest keine Verbindung zu einem leistungsstarken Rechner benötigt, ist die Performance deutlich schwächer. Die Windows Anwendung muss demnach in eine Android Applikation umgewandelt werden, was vor allem Arbeit am Modell des Roboters erfordert. Durch das Reduzieren der Polygone und Texturen, sowie das Entfernen nicht sichtbarer Teile, konnte ein grafisch ansprechendes, aber dennoch performantes Modell geschaffen werden. Während die VR Anwendung also nicht den grafischen Glanz der Windows Anwendung erreicht, kann dennoch eine Applikation geschaffen werden, welche auf dieselbe, zuvor erarbeitete Datenstruktur zurückgreift, um die Visualisierung der von Virtuos bereitgestellten Daten in einer Virtuellen Umgebung zu ermöglichen.

8.1.5 Fazit und weiterführende Gedanken

Da bereits zu Beginn klar wird, dass die enorme Geschwindigkeit der Virtuos Software in einer Game Engine nicht erreicht werden kann, wird eine Möglichkeit entwickelt, um einen zuvor aufgenommenen, reale Datensatz in einer VR Anwendung zu visualisieren. Künftig wäre es durchaus denkbar, dass auf einem Server zahlreiche Datensätze bereitgestellt werden, welche

dann dynamisch von der Brille ausgelesen werden können. Somit können situativ die richtigen Informationen angezeigt werden, welche stets auf fundierte, real gemessene Bewegungen zurückgreifen. Diese Erkenntnisse sollen später in einem Konzept für Schulungszwecke einfließen, um den Teilnehmern reale Daten als Lerngrundlage bereitzustellen.

8.2 Schulungsszenario

Nachdem eine Schnittstelle zur Übertragung von Maschinendaten, sowie eine erster VR Prototyp entwickelt wurden, soll mit Hilfe eines zweiten Prototyps getestet werden, wie sich Informationen im Rahmen einer VR Schulung am benutzerfreundlichsten vermitteln lassen.

8.2.1 Ausgangslage und Projektbeschreibung

Um eine möglichst effiziente Informationsvermittlung zu schaffen, wird ein fiktives Wartungszenario geschaffen, welches Laien ohne vorherige Einweisung absolvieren sollen. Dabei werden verschiedene Hilfestellungen implementiert, welche anschließend in einer empirischen Studie mit 30 Probanden getestet und evaluiert wird. Ziel dieser Studie ist es, die bestmögliche Variante der Informationsvermittlung zu finden, damit die Schulungsteilnehmer den Umgang mit der entsprechenden Maschine autodidaktisch erlernen können. Mit Hilfe von Fragebögen und einem kurzen Interview werden die Ergebnisse erfasst.

8.2.2 Umsetzung des Prototyps

Um die oben beschriebenen Ergebnisse zu erlangen, wird ein simpler VR Prototyp entwickelt. Ziel des Nutzers ist es hierbei, einen rauchenden Motor zunächst zu demontieren, um ihn dann anschließend durch ein neues Bauteil zu ersetzen. Es wird zu Testzwecken auf komplexe Grafiken verzichtet und wie im vorherigen Prototypen mit der Game Engine Unity 3D gearbeitet. Der Programmablauf ist hierbei in vier kurzen Schritten zu absolvieren. Der Nutzer findet nach Aufsetzen der Brille einen rauchenden Motor an einer Maschine vor. Im ersten Schritt muss er das richtige Werkzeug wählen, um den Motor zu demontieren und diesen anschließend durch einen Neuen zu ersetzen. Der neue Motor muss hierbei mit Schraubenziehern montiert werden.

Die Steuerung ist hier sekundär und wird möglichst einfach gehalten. Der Nutzer bekommt einen Oculus Touch Controller, welcher in der VR Umgebung durch eine menschliche Hand repräsentiert wird. Durch simples Knopfdrücken kann der Nutzer dann Objekte greifen, indem er seine Hand in die Nähe des jeweiligen Objektes bewegt. Es werden zudem Schraubenzieher implementiert, welche der Nutzer zunächst greifen und damit anschließend durch eine Rotation des Handgelenks Schrauben am Motor lösen muss. In einer Art Tutorial, werden die Probanden mit den Mechaniken des Greifens und Schraubens vertraut gemacht, bevor sie anschließend ohne weitere Hilfestellung das vorgegebene Szenario lösen sollen.

8.2.3 Informationsvermittlung

Bei der eigentlichen Studie, werden zwei unterschiedliche Methoden der Informationsvermittlung miteinander verglichen. Im ersten Szenario erhalten die Probanden während des Wartungsvorgangs Informationen mittels Texttafeln, welche im virtuellen Raum neben der Maschine einsehbar sind. Darauf befindet sich stets der aktuell auszuführende Arbeitsschritt, wie beispielsweise das Entfernen der Schrauben. Zudem wird hier angezeigt, wie weit der Proband im Szenario vorangeschritten ist.

Im zweiten Szenario werden diese Texttafeln durch Audiospuren ergänzt. Hierbei wird den Probanden während der Wartung nach Absolvieren der einzelnen Schritte jeweils von einem Sprecher erklärt, was als Nächstes zu tun ist. Sämtliche Probanden dürfen beide Szenarien testen, wobei jedoch 15 Teilnehmer mit der rein visuellen und weitere 15 Teilnehmer mit der auditiv unterstützten Variante starteten.

Die Auswertung der Fragebögen ergibt, dass knapp 65% der Probanden die auditive Unterstützung bevorzugten. Es wird vor allem positiv angemerkt, dass man durch den Sprecher genauer wusste, was zu tun ist und den Blick während der Erklärung nicht ständig von der Maschine abwenden muss. Dennoch sind die Texttafeln eine sinnvolle Ergänzung, da so die Arbeitsschritte nach der Erklärung bei Bedarf noch einmal nachgelesen werden können, was ein klarer Vorteil gegenüber einer rein auditiven Hilfestellung ist.

8.2.4 Fazit und weiterführende Gedanken

Letzten Endes kann durch diese Studie festgestellt werden, dass eine Mischform aus auditiver und visueller Unterstützung innerhalb einer VR Schulung von den Probanden am benutzerfreundlichsten aufgenommen wird. Diese Erkenntnis soll im finalen Konzept mit einfließen, wobei das Thema dort noch etwas ausgefeilter angewandt wird. So könnte der Nutzer beispielsweise individuell die für ihn passende Hilfestellung wählen, Audioclips wiederholen oder unter Umständen sogar auf voraufgezeichnete Videos zurückgreifen, um sich die Vorgehensweise genau anzuschauen.

8.3 Konzept eines erweiterten Anwendungsfalls

Durch die Beiden vorangegangenen Prototypen konnte eine Schnittstelle zur Übertragung und Visualisierung realer Maschinendaten, sowie ein Konzept bezüglich Informationsvermittlung in einer VR Umgebung erarbeitet werden. Diese Erkenntnisse werden nun verwendet, um ein umfangreiches Schulungskonzept zu entwickeln, welches die Stärken der modernen Technologien bestmöglich nutzt.

8.3.1 Ausgangslage und Projektbeschreibung

Bei dem hier vorgestellten Schulungsmodell handelt es sich um ein rein theoretisches Konzept, welches auf den zuvor gewonnenen Erkenntnissen basiert. Dies wird durch einige weiterführende Gedanken erweitert, um so ein möglichst ausgereiftes System zu entwickeln.

Hierbei wird eine Mischung aus erprobten Methoden, sowie neuartige Ideen kombiniert, um Schulungen effizient und kostengünstig zu gestalten.

8.3.2 Schulungsstruktur

Zunächst wird die Struktur einer klassischen Schulung betrachtet, um eventuelle Schwächen durch moderne Technik auszugleichen. Es wird ein Modell entwickelt, welches auf mehreren Stufen basiert, um so die Mitarbeiter letzten Endes bestmöglich zu schulen und auf ihre Aufgaben vorzubereiten. Dabei soll ein Großteil der Schulung sowohl von zu Hause aus, als auch im Präsenztraining möglich sein, um eine höchstmögliche Flexibilität zu gewährleisten. Zunächst beginnt die Schulung mit einem klassischen, analogen Workshop. Hier bekommen sämtliche Teilnehmer erste Informationen, Sicherheitshinweise und eine grundlegende Einführung in die Materie. Nach diesem Kickoff erhält jeder Proband eine VR-Brille, mit der er selbstständig und beliebig oft an einem digitalen Zwilling trainieren kann. Hierbei soll auf eine audiovisuelle Unterstützung, aber auch ein Mentorenprogramm zurückgegriffen werden. Zuletzt gibt es eine Art virtuelle Abschlussprüfung, in der mit Hilfe des Mentors verschiedene Szenarien geprüft und das gelernte abgefragt werden kann. Der letzte Schritt ist dann der Weg zur realen Maschine. Nach einer kurzen Einweisung am tatsächlichen Arbeitsplatz, kann der Mitarbeiter direkt mit seinen Tätigkeiten beginnen.

8.3.3 Variable Schulung

Das vorgestellte Schulungsprogramm bietet einige Vorteile. Zunächst einmal wird durch die realen Maschinendaten eine möglichst immersive Anwendung geschaffen, welche den Mitarbeiter an die tatsächlichen Maschinen gewöhnt und eben nicht nur Funktionsweisen simuliert. Somit ist diese Schulung näher an der Realität als vergleichbare Schulungen, welche auf feste Animationen und simulierte Problemfälle setzen.

Zudem bietet diese Form der Schulung die Möglichkeit, das gesamte Training (theoretisch weltweit) vorzubereiten und zu prüfen, ohne den Mitarbeiter in die Produktionsstätte einladen zu müssen und gegebenenfalls dort den Betrieb zu verlangsamen oder erhöhte Sicherheitsrisiken einzugehen. Durch die Optimierung für die Oculus Quest, benötigt jeder Teilnehmer lediglich eine VR-Brille und einen Internetzugang. Der Mentor kann hierbei stets in Echtzeit die Fortschritte der einzelnen Teilnehmer überprüfen. Zudem ist natürlich auch ein Präsenztraining denkbar, bei dem sich mehrere Probanden mit Hilfe spezieller Trackingmaßnahmen in einem Raum, gemeinsam in einen virtuellen Raum begeben können. Hier kann der Mentor dann die Funktionsweise der Maschine in einer Art Multiplayer Umgebung präsentieren, bevor jeder Teilnehmer individuell üben kann. Dies kann zeitgleich erfolgen, was eine weitere Zeitsparnis gegenüber dem Training an realen Maschinen ist.

Im letzten Schritt kann der Mentor jeden Probanden testen. Hierbei soll eine zusätzliche Anwendung entwickelt werden, in der der Mentor in Echtzeit verschiedene Szenarien

auslösen oder Werte ändern kann, auf welche der Teilnehmer dann individuell und spontan reagieren muss. So ist eine gezieltere Überprüfung des Gelernten möglich.

Im letzten Schritt müssen die Angestellten natürlich noch eine kurze Einführung an der realen Maschine erhalten, um die Sicherheit unter Realbedingungen zu gewährleisten. Doch durch das mehrstufige System aus theoretischem Kickoff, Vorführungen des Mentors, individueller Schulung mittels audiovisueller Unterstützung, sowie eine virtuelle Abschlussprüfung, kann jedem Mitarbeiter ein tiefgreifendes Wissen vermittelt werden, sodass die Einarbeitung an der realen Maschine deutlich schneller bewerkstelligt werden kann.

8.3.4 Fazit und weiterführende Gedanken

Mit Hilfe der zuvor gewonnenen Erkenntnisse bezüglich Datenübertragung, sowie den Tests der bestmöglichen Wissensvermittlung, konnte ein System aufgestellt werden, welches selbst kleinen Unternehmen durch relativ geringe Kosten ein umfassendes Schulungsprogramm bietet. Die Flexibilität und Kombination durch Präsenz und weltweites Onlinetraining in Zusammenspiel mit der mehrstufigen Wissensvermittlung über Präsenzvortrag, digitalem Training, bis hin zur realen Maschine, sorgt für tiefgreifende Festigung des Gelernten, sowie eine maximale Effizienz, sowohl für Unternehmen, als auch Teilnehmer.

9 Simulationsplattform und VIBN für intelligente Services

C. Daniel (ISG)

9.1 Nutzung der VIBN / Simulationsplattform begleitend zum Betrieb der Anlagen

Die steigende Komplexität von Maschinen und Anlagen führte in den vergangenen Jahren zunehmend dazu, dass die Steuerungssoftware erst an der realen Anlage – während der Inbetriebnahme – abschließend entwickelt und getestet wird. Mit der Entwicklung von Simulationssystemen für die virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) ist es möglich, diesen Prozess wieder in die Engineering-Phase zu verschieben (Abbildung 9-1: Markierungen ① und ②).

VIBN und Simulationsplattform im Anlagen- und Maschinenbau

Insbesondere die Potentiale der Hardware-the-Loop-Simulation sind seit längerer Zeit bekannt und werden erfolgreich in führenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus eingesetzt [1]. Mit dem Einsatz der Simulationssysteme für die VIBN wächst zunehmend der Bedarf, virtuellen Anlagen als die Komponente eines digitalen Zwillings begleitend zur Produktion der Anlagen nutzen zu können (Abbildung 9-1: Markierung ③).

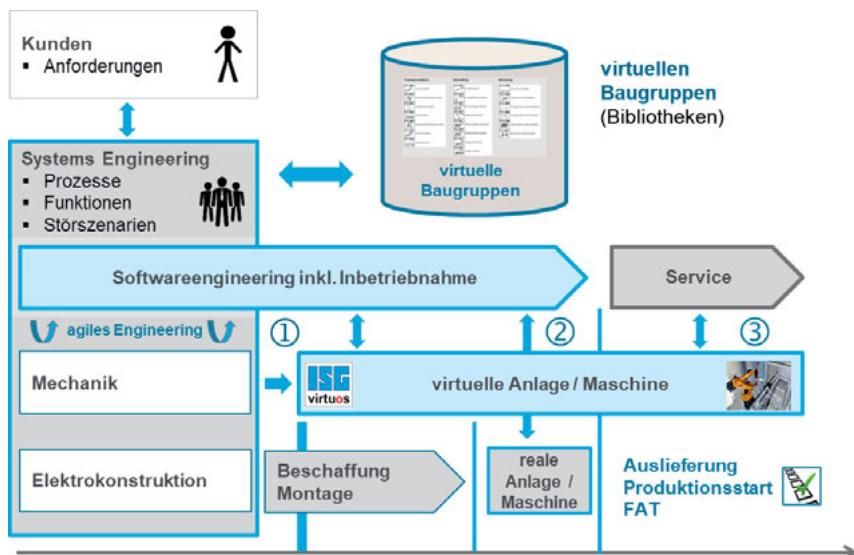


Abbildung 9-1: Nutzung virtueller Anlagen / Maschinen im Engineering und im Betrieb (Quelle: ISG)

Voraussetzung dafür ist, dass Simulationslösungen eingesetzt werden, bei denen zum einen Komponenten und Baugruppen der realen Anlage hinsichtlich ihrer Schnittstellen, Parametern

und des zeitlichen Verhaltens möglichst eins-zu-eins abgebildet werden. Zum anderen muss das Simulationssystem im Sinne einer Plattform Integrationsschnittstellen bereitstellen, um reale Produktionsszenarien durch Nutzung der originalen Steuerungs- und Bediensysteme simulieren zu können.

Auch der Test umfangreicher Produktionsszenarien kann bereits durch den Einsatz von rechnerbasierten Testsystemen automatisiert werden, wodurch reproduzierbare Testergebnisse generiert werden [2].

Erweiterung der Nutzung begleitend zur Produktion / Service

Im iSrv-Projekt wurde die Simulationsplattform ISG-virtuos für den Modellierungsbaukasten von Verhaltensmodellen inklusive der 3D-Visualisierung eingesetzt. Um die Anforderungen an ein Baukastensystem für intelligente Services optimal zu erfüllen, wurde die Architektur der Simulationsplattform modifiziert und hinsichtlich der Integrationsschnittstellen weiterentwickelt. Hierbei stand insbesondere die flexible Konfiguration der benötigten Simulationsszenarien auch für Nicht-Experten im Vordergrund.

Zwecks Absicherung der Projektergebnisse wurden mit ausgewählten Partnern Studien durchgeführt, um den Einsatz der VIBN für Schulungen und Qualifizierung von Personal beim Betreiber abzusichern und den Mehrwert durch das Nutzen der Lösungen zu verifizieren.

In der Abbildung 9-2 ist der Test eines Produktionsszenarios durch das Fachpersonal im Engineering-Prozess sowie während der VIBN dargestellt. Dem Anwender steht das digitale Abbild der realen Anlage durchgehend zur Verfügung, so dass Tests und Optimierungen der Automatisierungslösung ohne Risiken und ohne unnötige Kosten durch Belegung der realen Anlage und damit verbundener Produktionsunterbrechung entstehen.



**Abbildung 9-2: Einsatz der Simulationsplattform für die Inbetriebnahme im Service
(Quelle: ISG)**

9.2 Modellierungsbaukasten für intelligente Services

9.2.1 Motivation / Problembeschreibung

Im Rahmen des Projektes wurde das vorangestellte Ziel verfolgt, dem Ersteller und Anwender der intelligenten Services eine einfache Nutzung der Simulationstechnologie zu ermöglichen. Der niederschwellige Zugang zu dieser komplexen Technologie – insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) wird erreicht, indem das Simulationsszenario nicht jedes Mal neu erstellt, sondern aus einem Modellierungsbaukasten mit integrierter Engineering-Unterstützung konfiguriert werden kann.

9.2.2 Konzeption eines Modellierungsbaukastens für Verhaltensmodelle

Durch die optimierte, bausteinorientierte Architektur der Simulations-Plattform war es möglich, die realen Komponenten und Baugruppen einer Maschine bzw. Anlage derart digital abzubilden, dass die Modelle die gleichen Schnittstellen, Parameter und dasselbe zeitliche Verhalten wie die realen Komponenten aufweisen. Anhand konkreter Realisierungen wurde bewiesen, dass Maschinendaten aus der Produktion direkt übernommen und zur Anreicherung des onlinefähigen Modells verwendet werden können.

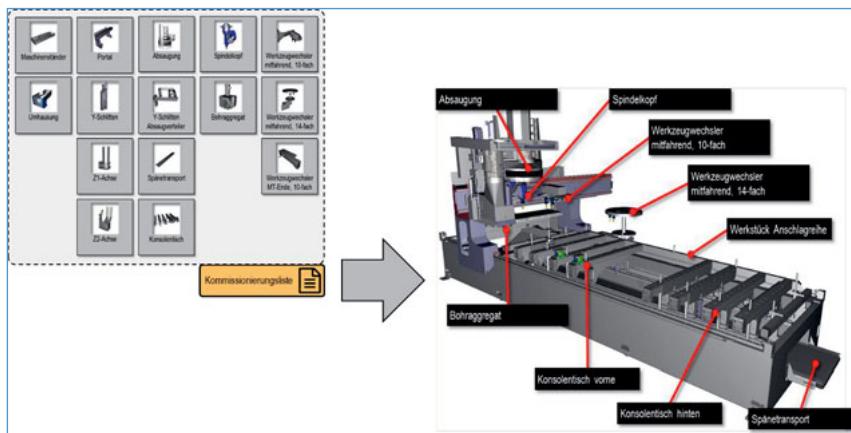


Abbildung 9-3: Modularer Aufbau einer virtuellen Anlage, mit der Möglichkeit der Übernahme von Maschinendaten (Quelle: ISG)

Ferner wurde die Bibliothekstruktur für virtuelle Komponenten weiterentwickelt und um Integrationschnittstellen für Analyse- und Optimierungsszenarien ergänzt. Die Simulationsplattform ermöglicht danach die Anbindung von Bibliotheken für den Aufbau von Verhaltensmodellen, Bibliotheken für virtuelle Modelle der Komponentenhersteller sowie die Integration von virtuellen Steuerungen im Sinne einer CO-Simulations-Lösung und die Anbindung diverse Visualisierungen inklusive VR/AR im Sinne einer CO-Simulation [3].

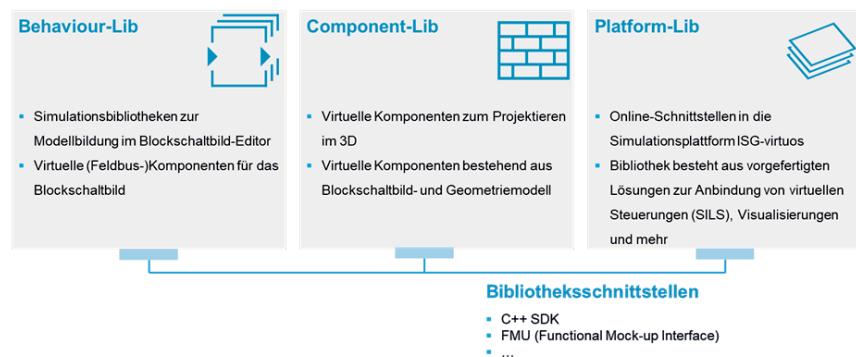


Abbildung 9-4: Modellierungsbibliotheken im Rahmen der serviceorientierten Plattform (Quelle: ISG)

Die benötigten Simulationsszenarien für den Service können zum einen durch den Anwender in einer grafischen Benutzeroberfläche konfiguriert resp. projektiert werden, indem virtuelle, mechatronische Modelle aus der Komponentenbibliothek für den Konfigurationsvorgang genutzt werden.

Der Aufbau des digitalen Abbilds für die Simulation neu konzipierter Anlagen wird ebenfalls vereinfacht, indem die konstruktive Auslegung direkt in Form der originalen 3D-CAD-Daten verwendet werden kann. Die jeweiligen 3D-Modelle der realen Baugruppen können durch den Anwender um echtzeitfähige Verhaltensmodelle aus der Bibliothek komplettiert und in der Komponentenbibliothek für weitere Projekte bzw. andere Anwender als virtuelle mechatronische Baugruppen zur Verfügung gestellt werden (Abbildung 9-5).

Diese zwei Projektierungsmöglichkeiten der der Simulationsplattform für Automatisierungssysteme werden für den Aufbau zugeschnittener Serviceszenarien genutzt.

Zwei Möglichkeiten der Projektierung

- Projektierung aus fertigen Komponenten
 - Geometrie mit gekapseltem Verhaltensmodell
 - Komponenten werden per Drag&Drop „zusammengesteckt“
- Von (statischen) CAD Daten zum Digitalen Zwilling
 - Anreicherung und Verknüpfung mit Verhaltensmodellen
 - Kinematisierung

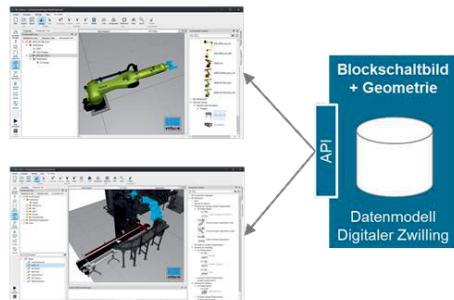


Abbildung 9-5: Projektierung von Testszenarien aus Modellbibliotheken (Quelle: ISG)

Die Bibliotheken wurden als fester Bestandteil der Simulationsplattform in der Architektur verankert und stellen bereits die Basis für serviceorientierte Lösungen bei ausgewählten Anwendern dar [4]. Die grafikorientierte Modellbildung wird sukzessive als intuitiv bedienbare Anwenderschnittstelle in enger Abstimmung mit den Anwendern der Plattform weiterentwickelt und auch zum Aufbau von cloud-basierten Diensten zur Verfügung gestellt.

9.2.3 Integrationsschnittstelle für Servicesysteme auf Basis der GUI-Plattform „Simplifier“

Im Rahmen des Projektes wurden Modellierungsbausteine für ein repräsentatives Simulationsszenario implementiert und hinsichtlich der Integration in das Gesamtsystem über die gemeinsam definierte GUI-Plattform „Simplifier“ überprüft. In diesem Zusammenhang wurden Integrationsschnittstellen mit folgenden Eigenschaften konzipiert und realisiert:

- Die Dienste wurden als SOAP Server implementiert
- Für den clientseitigen Zugriff wurde ein SOAP Connector konzipiert und realisiert
- Der V-CMD-Server ruft standardisierte Remote-Methoden der Simulationsplattform auf
- Über Widgets im „Simplifier“ wird die Simulation durch Nutzung von Commandos inkl. Parametern gestartet und ausgeführt
- Simulationsergebnisse werden zur zeitlichen Entkopplung mit Zeitstempeln in einer SQL-DB für diverse Auswertungen und intelligente Services bereitgestellt
- Die Simulationsergebnisse können im Simplifier als „dash boards“ visualisiert werden

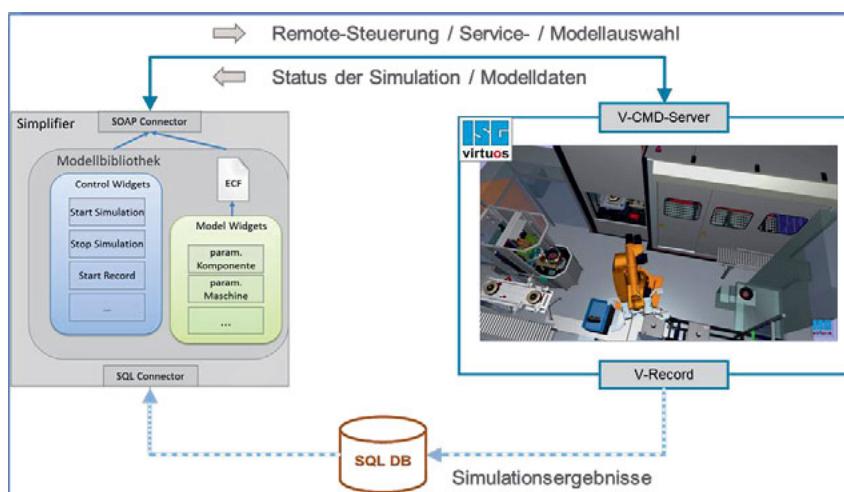


Abbildung 9-6: Modularer Aufbau einer virtuellen Anlage (Quelle: ISG)

9.3 Visualisierung der Simulationsergebnisse

9.3.1 VR/AR-Visualisierungsbausteine für intelligente Services

Die Projektarbeit konzentrierte sich auf der Realisierung von virtuellen Komponenten, die für unterschiedliche Applikationen in der digitalen Wertschöpfung genutzt werden. Die virtuellen Komponenten werden in diesem Zusammenhang in einem online-Store durch Komponentenhersteller zur Verfügung gestellt. Anwender können diese Modelle für den Aufbau ihrer Simulationssysteme inklusiver der VR/AR-Funktionalität nutzen [4].

Neben der gemeinsamen Diskussion im Konsortium und in den projektspezifischen Arbeitsgruppen wurden auch weitere Anwender der Simulationsplattform einbezogen, um die Visualisierungslösungen sowohl technisch als auch organisatorisch zu validieren.

In diesem Zusammenhang wurde die Integrationschnittstelle überprüft und an neue Anforderungen / Erkenntnisse angepasst, so dass sowohl die Kopplung von Systemen für Serviceunterstützung als auch die Anbindung rechnergestützter Lösungen für die Testautomatisierung ermöglicht wird.

Die Umschaltung zwischen einer realen Anlage und einer simulierten Anlage sowie der Parallelbetrieb beider Anlagen im Sinne eines digitalen Zwillings wurde dem Fachpublikum während des Advanced Digital Engineering Summit 2020 der Fraunhofer IAO Stuttgart vorgestellt [5].

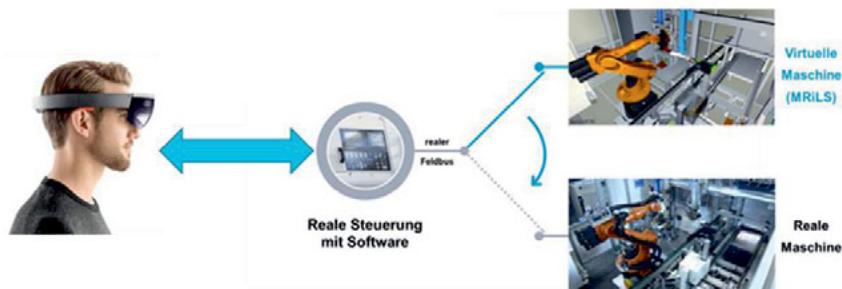
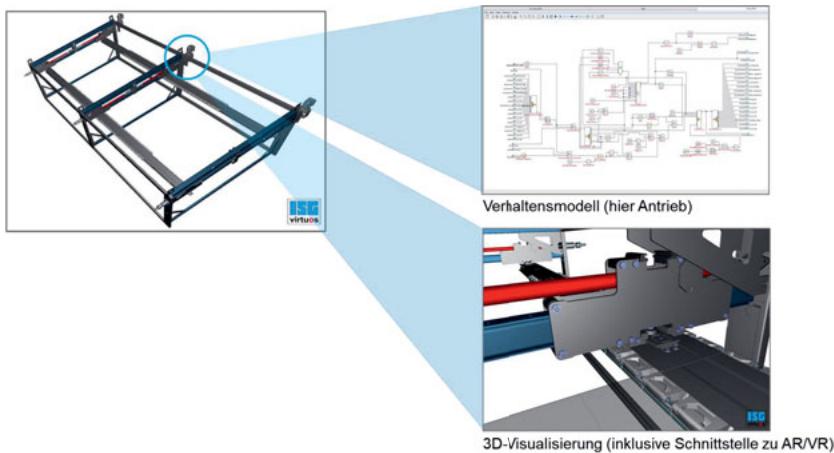


Abbildung 9-7: Einsatz der Simulationsplattform mit realistischer Visualisierung (hier mit VR/AR) (Quelle: ISG)

9.3.2 Anbindung von VR/AR über cloudbasierte Systeme

Für die digitale Abbildung der Anlage des Kooperationspartners Brückner wurde die kinematische Struktur der am Prozess beteiligten Maschinenelemente in einem Realisierungs-Workshop modelliert. Zur Visualisierung der Prozesse wurden die originalen 3D-CAD-Daten der Anlagenbauer verwendet und um Verhaltensmodelle wie zuvor dargestellt angereichert

(Abbildung 9-8). Bei der Umsetzung wurde die baugruppenorientierte Konstruktion basierend auf Skelettmodellen angewandt.



**Abbildung 9-8: Implementierung prototypischer Modellierungsbausteine
(Anlage Fa. Brückner, Workshop 24.10.2019) (Quelle: ISG)**

Die Schnittstelle zwischen den Verhaltensmodellen und den Visualisierungsbausteinen wurde neu konzipiert und realisiert, um die Kopplung fotorealistischer VR/AR-Visualisierungslösungen zu befähigen.

Bei der Visualisierung der Simulationsergebnisse mittels cloudbasierter Systeme müssen insbesondere die zeitlichen Anforderungen und Abhängigkeiten berücksichtigt werden. Die Kopplung der 3D-Visualisierung inklusive Service-Anweisungen mit den Echtzeit-Verhaltensmodellen führt zum unterschiedlichen Zeitverhalten (Abbildung 9-9).

Use Cases	Interaktionen	Modellierung	Verhalten	Schnittstellen
Kennenlernen des Aufbaus einer Anlage durch Visualisierung	Übersicht verschaffen: <ul style="list-style-type: none">▪ Skalieren der Anlage▪ Rotieren der Anlage▪ Explosionsdarstellung	1. Visualisierung (3D)	Statische Anlage	3D-Visualisierung durch neutrale Austauschformate oder Zugriff auf originale CAD-Daten
Interagieren (elementar) Kollaboratives Arbeiten Montage / Demontage Funktionen erklären Zugriff auf Dokumente	Elementare Interaktionen: <ul style="list-style-type: none">▪ Türen öffnen▪ WST etc. bewegen▪ Kontextselektive Darstellung▪ Prozessabläufe visualisieren	1. Visualisierung (3D) + 2. Modellbeschreibung	Funktionale Anlage mit kinematischen Funktionseinheiten	<ul style="list-style-type: none">▪ Datenübernahme von 3D-CAD-Systemen▪ Modellbeschreibung▪ VR/AR durch aufgezeichnete Records
Interagieren (inhaltlich) mit korrektem Funktionsverhalten der Anlagenkomponenten	Funktionale Interaktion: <ul style="list-style-type: none">▪ Elementare Interaktion +▪ Reales Verhalten der Steuerungstechnik▪ Reales Verhalten der Anlagenkomponenten	1. Visualisierung (3D) + 2. Modellbeschreibung + 3. Verhaltensmodelle (zeitenkoppelt)	Korrekte Darstellung des Verhaltens bei Interaktionen jedoch zeitenkoppelt	<ul style="list-style-type: none">▪ Datenübernahme von 3D-CAD-Systemen▪ Modellbeschreibung▪ VR/AR durch Datenstreaming
Interagieren (Echtzeit) mit realistischen Verhalten der Steuerungsfunktionalität und Anlagenkomponenten	Echtzeit-Interaktion: <ul style="list-style-type: none">▪ Steuerung der Abläufe über die Steuerung▪ Eingriff in die Abläufe durch Interaktion mit den Anlagenkomponenten	1. Visualisierung (3D) + 2. Modellbeschreibung + 3. Verhaltensmodelle (in Echtzeit)	Steuerungsechzeit hinsichtlich der Interaktionen und Signalen der Steuerungstechnik	<ul style="list-style-type: none">▪ Datenübernahme von 3D-CAD-Systemen▪ Modellbeschreibung▪ VR/AR durch direkte Anbindung an die Verhaltensmodelle

Abbildung 9-9: Use Cases in Abhängigkeit von der Simulations-Kopplung (Quelle: ISG)

Der modulare Aufbau ermöglicht eine Skalierung der Lösung und die Adaption an die zu realisierenden Use Cases.

Die Überprüfung der Schnittstellen erfolgte exemplarisch zwischen den Projektpartnern Pixomondo und der ISG. Die Visualisierungsdaten der 3D-Simulation wurden für den Aufbau eines Szenarios für ein VR-Schulungssystem genutzt.

Die VR/AR-Technologie wurde in diesem Zusammenhang auch durch Nicht-Experten genutzt und auf die Tauglichkeit für Schulungen und Service-Unterstützung positiv angenommen (Abbildung 9-10)



Abbildung 9-10: Nutzung von VR/AR-Baukastens für Schulungen und Qualifizierung von Service-Personal (Quelle: ISG)

9.4 Fazit

Das Projekt iSrv ermöglichte die Weiterentwicklung der Simulationsplattform, um die VIBN und digitale Abbilder realer Anlagen für intelligente Services verfügbar zu machen und somit einen Mehrwert für die Anwender zu generieren. Die erarbeiteten Konzepte wurden zunächst projektintern zwischen den Kooperationspartnern in den jeweiligen Arbeitsgruppen anhand von prototypischen Lösungen verifiziert. Projektbegleitend wurden weitere Anwender der Simulationsplattform einbezogen, um die Nutzung der neuen Lösungen im Markt durch die Berücksichtigung weiterer Anforderungen abzusichern.

9.5 Literaturverzeichnis

- [1] Scheifele, Dieter, et al. "Potentiale der Hardware-in-the-Loop Simulation für Maschinen und Anlagen." *Verl. A.(ua)(Hrsg.): SPS/IPC/DRIVES* (2007): 555-565.
- [2] Steuerungssoftware automatisiert prüfen. URL:
<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/steuerungssoftware-automatisiert-pruefen-a-788672/> (Abgerufen am 14.05.2020)
- [3] Plattform zur Echtzeit-Co-Simulation für die virtuelle Inbetriebnahme. Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, Scheifele, C., Stuttgart 2019
- [4] Daniel, Christian. "Simulationsplattform für Automatisierungslösungen." *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 115.special (2020): 32-35.
- [5] Advanced Digital Engineering Summit 2020, IAO Stuttgart URL:
<https://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/veranstaltungen/604/advanced-digital-engineering-summit-2020.html> (Abgerufen am 14.05.2020)

10 Anwendungsfälle bei Bosch

M. Walther, T. Jung (Robert Bosch)

Ziel von Bosch, in iSrv vertreten durch die Corporate Research, war es praxistaugliche, intelligente Services zu entwickeln. Für diese Entwicklung wurden als Leitlinie ein globaler UseCase „Additive Fertigung“ beschrieben, der ein möglichst breites Spektrum an Anforderungen widerspiegelt. Innerhalb des globalen UseCases wurden dann einzelne Szenarien definiert, wie sie auch in zukünftigen realen Anwendungsfällen in den Bosch-Werken auftreten könnten. Typische Schritte eines solchen Anwendungsfalles sind:

1. Datenaufnahme: Abgriff von Daten aus einer Maschinensteuerung oder Auslesen explizit angebrachter Sensorik. Eine Middleware zur Machine-2-Machine-Kommunikation (M2M) kann hier entscheidende Beiträge liefern, z.B. um Sensordaten auf einheitlichem Weg von den Geräten zu einem Edge-Device zu transportieren.
2. Daten-Vorverarbeitung und ggf. Kennwertberechnung: Vor einem evtl. Weitertransport werden die Daten lokal z.B. auf einer Steuerung oder einem Edge-Device vorverarbeitet, z.B. aggregiert und / oder gefiltert.
3. Datentransport zum Service-Provider: Die vorverarbeiteten Daten werden einem Dienst – typischerweise auf einer Cloud-Plattform – zur Verfügung gestellt. Typische Probleme hierbei sind Sicherheitsschranken zwischen unterschiedlichen Netzwerken und unterschiedliche Kommunikationsprotokolle.
4. Datenverarbeitung durch Service (in der Cloud):
 - a. Speicherung der Daten
 - b. Processing
 - i. Offline – gespeicherte Daten können aus einer Datenbank gelesen und „offline“ verarbeitet werden.
 - ii. Stream-Processing – Die Menge an bereitgestellten Daten wird schnell derart groß, dass eine Speicherung für die spätere Offline-Verarbeitung oft nicht sinnvoll ist. In dem Fall werden lediglich zeitlich aktuelle Daten im Stream verarbeitet.
5. Verwendung der Service-Ergebnisse
 - a. Benutzerfreundliche Darstellung von Roh- und verarbeiteten Daten in grafischer Form z.B. auf Dashboards oder am digitalen Zwilling
 - b. Darstellung von abgeleiteten Handlungsanweisungen aus den Serviceergebnissen für z.B. einen Service-Techniker
 - c. Zurückspielen von optimierten Parametern an den Prozess: Das kann ein neuer Satz Gewichte eines neuronalen Netzes (KI) sein, aber auch ein Prozessparameter der mit klassischen Optimierungsmethoden unter Berücksichtigung einer breiteren Datengrundlage in der Cloud optimiert worden ist.
6. Vergütung der Service-Ergebnisse: Im Rahmen von unterschiedlichen Geschäftsmodellen erfolgt die Abrechnung der Nutzung. Hierfür können auf allen

beschriebenen Schritten Mechanismen eingebaut werden, die Abrechnung ermöglichen und mit der nötigen Transparenz für Kunde und Anbieter versehen sind.

Diese allgemein gültigen Punkte innerhalb eines generischen Anwendungsfalls beschreiben die Perspektive des Maschinenbetreibers. Da Bosch sich in Zukunft durchaus auch in der Position IT-Service-Betreiber sieht, stand auch die Frage nach möglichen Geschäftsmodellen Fokus (6).

10.1 Rahmenggebender Anwendungsfall

Der von Bosch vorgestellte und mit dem Partner abgestimmte Anwendungsfall umfasst das Gebiet der Additiven Fertigung. Eine kurze Übersicht ist in Abbildung 10-1 gegeben. Bei der Additiven Fertigung sind unterschiedliche technologische Ansätze und Materialien möglich. Das hier ausgewählte Verfahren basiert auf einem schichtweisen Aufbau der zu fertigenden Geometrie. Als Ausgangsmaterial wird ein Metallpulver verwendet, welches mit einem Laser bahnweise aufgeschmolzen wird (SLM: „Selective Laser Melting“). Das Pulverbett senkt sich bei jeder Schicht typischerweise zwischen 10 und 300 µm ab.



Abbildung 10-1: Übersicht über Funktion, Maschine und beispielhafte Werkstücke im UseCase „Additive Fertigung“ (Quelle: Robert Bosch)

Eine detailliertere Darstellung der Funktion der additiven Fertigung und der dazugehörigen möglichen Messgrößen sind in Abbildung 10-2 aufgeführt.

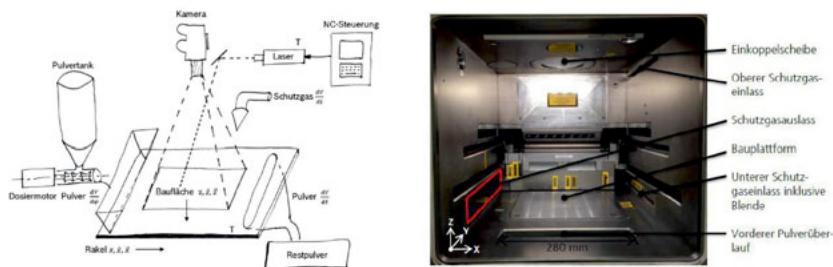


Abbildung 10-2: Schematische Übersicht der möglichen Messgröße aus dem Prozess (links) und Funktionsdarstellung in der Baukammer der SLM 280-Maschine (rechts) (*Quelle: Robert Bosch*)

Ursprünglich war geplant, den Aufbauprozess anhand der Parameter „ausgebrachte Pulvermenge“ und „Volumenstrom Schutzgas“ auf hohe Effizienz (Qualität und Geschwindigkeit pro Kosteneinsatz) zu optimieren. Viele der oben aufgeführten Schritte lassen sich wiederfinden. In einem vorbereitenden Schritt sollte der gewählte Demonstrator mit den benötigten Sensoren und ggf. Aktoren ausgestattet werden. Die Instrumentierung der Maschine gestaltete sich komplexer und schwieriger als geplant. Es war nicht möglich ohne einen „wesentlichen Eingriff“ in die Maschine den geplanten Pulvermengensensor einzubauen. Der fehlende Zugriff auf wesentliche Sensordaten (hier Pulvermenge) hat zu einer Änderung des ausgewählten Anwendungsszenarios geführt. Der zur Umsetzung des Ursprungsszenarios benötigte technische Aufwand stellte sich als unverhältnismäßig heraus. Daher haben wir gemeinsam mit den Partnern im Verlauf des Projektes entschieden, die Teilespekte eines für Bosch repräsentativen Anwendungsfalles in kleinen Teil-Anwendungsfällen umzusetzen. Grundlage für diesen repräsentativen Anwendungsfall stellt nun das in Abbildung 10-3 beschriebene Anwendungsszenario Nr. 1 dar. Hierfür kann mit den einfach verfügbaren Daten wie Kamera, Laserleistung und Leistung der Beschichtungsbewegung das benötigte Bild nach der Beschichtung genau ermittelt werden.

Nr.	Thema	Daten	Anwendung und Ziel
1	Bauteil bezogene Schichtqualität	<ul style="list-style-type: none"> Kamera NC Steuerung 	Kurze Wartezeiten durch ort- und verdachtsabhängige „Vor-ab“-Diagnose der Schichtqualität → Indikatoren & Enddiagnose, Pre/In/Post Schmelzprozess
2	Parameteradaption	<ul style="list-style-type: none"> Allgemein 	Zustandsabhängige Prozessführung, z.B. Abstimmung der Lateralverzweifluktur auf Schichtdicke

Abbildung 10-3: Schematische Übersicht der möglichen Messgröße aus dem Prozess (links) und Funktionsdarstellung in der Baukammer der SLM 280-Maschine (rechts) (*Quelle: Robert Bosch*)

10.2 Qualitätskontrolle des Druckvorgangs mit Methoden der Bildverarbeitung

Wie im vorangegangenen Abschnitt dargelegt, wurde das Anwendungsszenario gewechselt. Der Fokus wurde auf das in Abbildung 10-4 beschriebene Anwendungsszenario Nr. 1 gelegt. Somit wurde der Aufwand zur Datenaufnahme (1) adäquat minimiert. Die reinen Zeitreihendaten sind nun um eine Bildauswertung ergänzt. Durch die vorgenommene Instrumentierung (Laser- und Rakelleistung) ist aus dem erfassten Video-Stream der richtige Zeitpunkt, nach Abschluss Beschichtung und vor Beginn der Belichtung genau identifizierbar. Ebenso ist ein Bild vor der Beschichtung einfach identifizierbar. Weiter wird eine einfache Bildverarbeitung zur Erkennung von Kanten in dem Bild nach der Beschichtung benötigt. Hierzu wurde auf bekannte und passend dokumentierte Beispiele in Matlab zurückgegriffen. Zunächst erfolgte eine reine lokale Auswertung in Matlab. Eine übersichtsartige Erläuterung des neuen Anwendungsszenarios ist in Abbildung 10-4 dargestellt. Wesentlich ist hierbei die Unterscheidung zwischen einer mangelhaften und guten Beschichtung. Der neue Service soll sich hierbei auf den online verfolgbaren Fortschritt und die laufende Information des Bedieners/Auftraggebers mittels der Fehlstellendiagnose stützen.

Thema	Daten	Anwendung und Ziel
Bauteil bezogene Schichtqualität	<ul style="list-style-type: none"> • Kamera • Live-Stream oder Standbilder der Schichten • Laserleistung • Leistung der Beschrifterbewegung 	<p>Kurze Wartezeiten durch ortunabhängige Diagnose der Schichtqualität → Indikatoren & Enddiagnose, Post Beschichtung → Verknüpfung mit AR und Bediener wird informiert → Auftraggeber kann den Fortschritt verfolgen</p>

Mangelhafte Beschichtung



Kanten der unterlagerten Schicht erkennbar
Homogene Schicht ohne Störungen
Üblicherweise zwischen 300 und 6000 Schichten
Maschine kann ein Bild automatisiert machen

Gute Beschichtung



Kanten der unterlagerten Schicht erkennbar
Homogene Schicht ohne Störungen
Üblicherweise zwischen 300 und 6000 Schichten
Maschine kann ein Bild automatisiert machen

Abbildung 10-4: Übersicht und Beschreibung des neuen Anwendungsszenarios (*Quelle: Robert Bosch*)

Eine beispielhafte Auswertung ist in Abbildung 10-5 dargestellt. Hier wird der Algorithmus der Daten-Vorverarbeitung für die notwendige Kennwertberechnung (2) skizziert. Der schichtweise Charakter der analytischen Bewertung und Kenngrößenermittlung wird in Abbildung 10-6 veranschaulicht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein Online Bewertungskriterium für Qualität vorliegt und dass dieses für Services genutzt werden kann. Dieses Szenario dient als Grundlage und deckt alle Anforderungen bis einschl. (4b) ab.

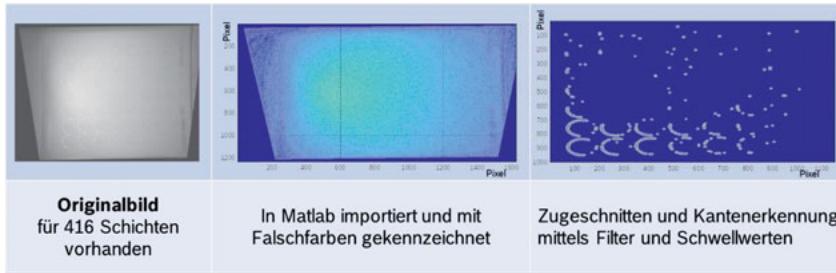


Abbildung 10-5: Schrittweises Vorgehen bei der Kennwertberechnung für die Schichtqualität am Beispiel einer Schicht, Ursprung Bild aus der Baukammer (links), Falschfarbenbild zur weiteren Analyse (Mitte), Kenngrößendarstellung nach Merkmalextraktion (rechts) (*Quelle: Robert Bosch*)

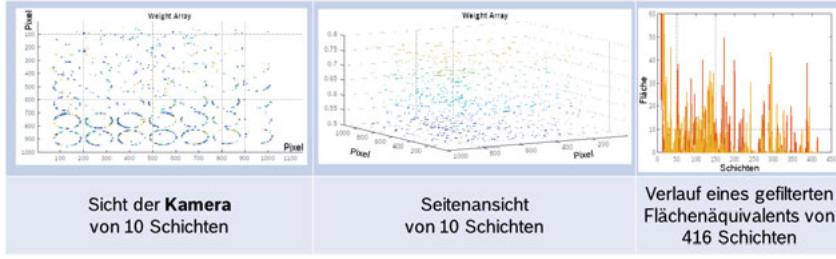


Abbildung 10-6: Überblick über die Ergebnisse der Kennwertberechnung. Draufsicht auf das Pulverbett mit Darstellung der Merkmale über die ersten zehn Schichten(links), Seitenansicht der Merkmale über die ersten zehn Schichten (Mitte), Kenngrößendarstellung über den gesamten Aufbau als normierte Fläche - pixelbasiert (rechts) (*Quelle: Robert Bosch*)

10.3 Datentransparenz im globalen Fertigungsverbund

In einem global agierenden Industriekonzern wie Bosch ist es üblich, dass dasselbe oder mindestens sehr ähnliche Produkt zur selben Zeit an mehreren, weltweit verteilten Standorten produziert wird. In diesem Szenario gibt es die übergeordnete Rolle des Wertstrommanagers, der alle Produktionslinien beobachtet, um z.B. Abweichungen zu erkennen oder die Performance (Ausstoß, Qualität) vergleichen zu können. Der Wertstrommanager möchte daher zu jedem Zeitpunkt möglichst echtzeitnah die Parameter jeder Fertigung beobachten können.

Ein natürlicher Weg dies zu erreichen ist der Ansatz, die M2M-Middlewares zweier Standorte transparent miteinander zu verbinden, so dass auf einer bestimmten Ebene keine Unterscheidung nötig ist zwischen Geräten in einer lokalen Fertigung und solchen in einer

entfernten Fertigung. Dies wurde mit Hilfe des Partners Sotec wie in Abbildung 10-7 dargestellt umgesetzt. Der Teil-UseCase deckt die Anforderungen (s.o.) 1, 2 und 3 ab.

Am Standort mit dem Produktionsmittel (Renningen) wurde ein Rexroth IoT Gateway eingerichtet, das Sensorwerte aus dem SLM-Drucker aufnimmt (1) und in MQTT-Nachrichten verpackt (2). An beiden Standorten (Renningen und Arena2036) wurde ein Sotec CloudPlug installiert. Die CloudPlugs sprechen MQTT und können als Broker oder Client auftreten. Sie verbinden sich mit einer cloudbasierten Applikation (3) auf Grundlage von „Google IoT Core“. MQTT-Nachrichten von einem Standort können jetzt an einen oder mehrere andere Standorte weitergeleitet werden.

Filterung und Vorverarbeitung der ausgetauschten Nachrichten (2) ist sowohl auf den CloudPlugs als auch in der Applikation in der Google IoT Cloud möglich. Im konkreten Fall werden die ausgetauschten Nachrichten in der Google IoT Applikation anhand ihres Betreffs („MQTT-Topic“) gefiltert und derart gelenkt, so dass nur bestimmte Nachrichten an bestimmte andere Standorte weitergeleitet werden.

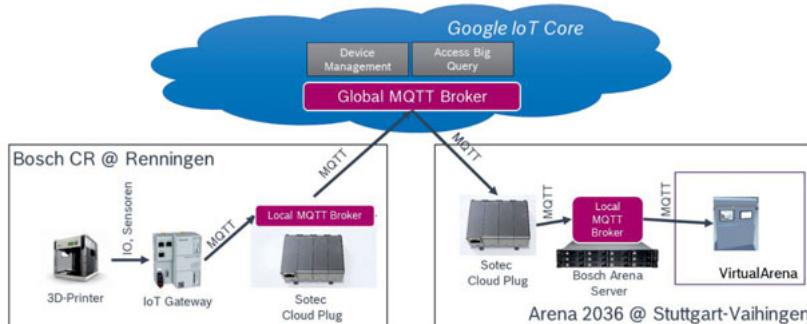


Abbildung 10-7: Verbindung mehrerer M2M-Middleware-Instanzen zu einer virtuellen globalen Instanz (*Quelle: Robert Bosch*)

10.4 Bedienoberfläche für den globalen Fertigungsverbund mit Simplifier

Um die Möglichkeiten der Simplifier Plattform kennenzulernen, wurde eine einfache Bedienoberfläche auf Basis des Simplifiers des gleichnamigen Projektpartners für die Bosch-Demoproduktionslinie auf der Arena2036 realisiert, vgl. Abbildung 10-10. Weil die M2M-Kommunikation zwischen den Komponenten dieser Demolinie auf der Verwaltungsschale und MQTT basiert, spricht auch die Simplifier-Applikation MQTT. Um die Kommunikation zwischen der Simplifier-Plattform im öffentlichen Internet und dem M2M-Netzwerk auf der Arena2036 zu realisieren, wurde eine MQTT-Bridge zwischen dem MQTT-Broker für die Arena und einem öffentlichen Broker genutzt.

Da Simplifier eine mögliche Ausführungs-Plattform für Services ist, wurden mit dieser Arbeit vor allem Voruntersuchungen für Punkt 4 des generischen UseCases abgedeckt.

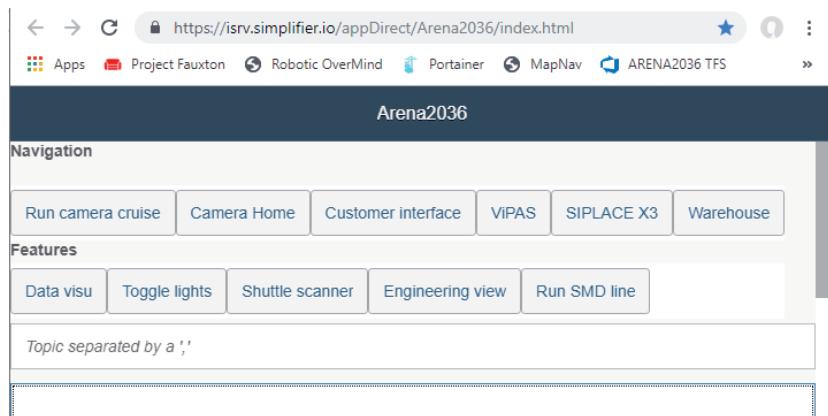


Abbildung 10-8: Simplifier Bedienoberfläche für Arena2036 (*Quelle: Robert Bosch*)

10.5 Echtzeit-Visualisierung am digitalen Zwilling

Der digitale Zwilling in Form eines 3D-Modells in einer virtuellen Umgebung ist eine intuitivere Variante der Visualisierung von Maschinenzuständen verglichen mit einem Dashboard mit Zahlwerten und Graphen. Um eine besonders intuitive Darstellung zu erreichen, wurden visuelle Metaphern für typischen Zustandsgrößen entwickelt, vgl. Abbildung 10-8. Zu sehen ist hier eine farbliche Visualisierung der Innenraumtemperatur (links) sowie die Darstellung des Druckfortschritts (grau: fertiggestellt, rot: noch nicht fertiggestellt) durch einen speziellen Shader für Unity3D.

Die Echtzeit-Visualisierung mit Visualisierungsmetapher am digitalen Zwilling deckt den Schritt (5a) des generischen UseCase ab.

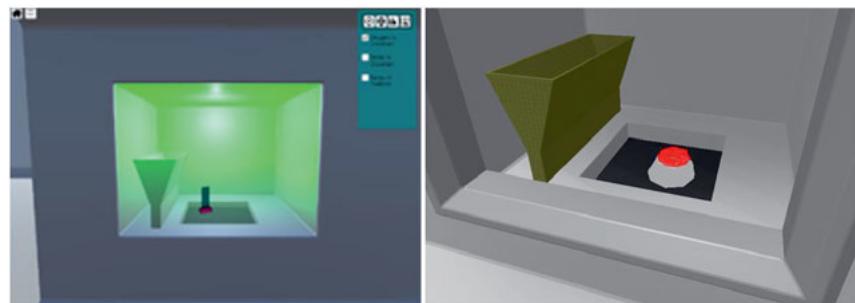


Abbildung 10-9: Visualisierungsmetaphern für interne Zustandsgrößen (links) sowie den Druckfortschritt am digitalen Zwilling (rechts) (*Quelle: Robert Bosch*)

10.6 Speicherung von Sensordaten in Google BigQuery

Die professionelle Speicherung von Sensordaten (Anforderung (4a)) in Form von Zeitreihen wurde auf mehreren technologischen Grundlagen evaluiert. So wurde auf lokaler Ebene eine „InfluxDB“-NoSQL-Datenbank eingesetzt, die auf Zeitreihen spezialisiert ist. Mit einem webbasierten Dashboard auf Grundlage von „Grafana“ können Daten aus der InfluxDB sehr einfach grafisch in Form von Kurven dargestellt werden.

Für ein Szenario mit Rückgriff auf einen der großen Serviceprovider wurde analog zum UseCase der Fa. Keller die Anbindung des „Google BigQuery“ Data Warehouse erfolgreich getestet.

10.7 Bereitstellung der iSrv-Toolbox-Services in der Arena2036

Der Projektpartner cosmoConsult hat eine Reihe typischer statistischer Funktionen realisiert und als Softwarecontainer bereitgestellt. Das ISW hostet diese Funktionen als öffentlichen Webservice, so dass sie von allen Partnern eingesetzt werden können. Wie üblich für einen Webservice, ist die iSrv-Toolbox mittels Http-Protokoll zugreifbar.

Um besonders effizient neue IoT-Applikationen realisieren zu können, kommt auf der Arena2036 eine Variante der I40-Verwaltungsschale zum Einsatz. Um auch in diesem Umfeld die iSrv-Toolbox besonders leicht zugänglich zu machen, wurde auch für sie eine Verwaltungsschale implementiert. Hierdurch können alle vorhandenen Funktionen besonders leicht und flexibel in unterschiedlichen Applikationen eingesetzt werden.

Die u.a. bereitgestellten Funktionen zur Zeitreihenanalyse und –vorhersage wurden z.B. für Temperatursensordaten evaluiert. Dieser Teil-UseCase deckt den Aspekt (4b) ab.

10.8 Darstellung von Handlungsanweisungen durch virtuellen Werker

Bei Predictive Maintenance Szenarien betrifft das Ergebnis eines Service nicht selten den Werker oder Service-Mitarbeiter, der einen Wartungseinsatz durchführen muss. Zu diesem Zweck wurde der virtuelle Werker entwickelt und im Rahmen der virtuellen Fabrik auf der Arena2036 implementiert. Es handelt sich um einen fernsteuerbaren, symbolisch dargestellten virtuellen Menschen. Der virtuelle Werker lässt sich fernsteuern und führt einfache Bewegungen („Gehe zu“) oder durch Skripte programmierte zusammengesetzte Bewegungsabläufe aus. Der virtuelle Werker demonstriert dem realen Werker die auszuführenden Arbeiten. So können missverständliche Beschreibungen entfallen. Eine Ergänzung durch akustische Beschreibungen ist denkbar.

Der virtuelle Werker deckt den Aspekt (5b) des o.g. generischen Anwendungsfalles ab. Durch die Bereitstellung des virtuellen Werkers per einheitlicher Verwaltungsschale kann er einfach von anderen Diensten im M2M-Netz genutzt werden.

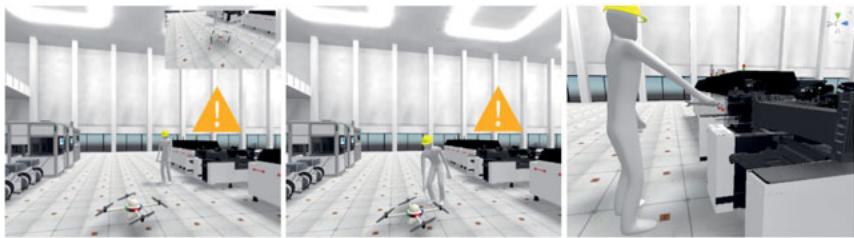


Abbildung 10-10: Der virtuelle Werker für Handlungsanweisungen zur Demonstration v.l.n.r.: (1) Warten auf Drohne, (2) Werkzeug entgegen nehmen, (3) Werkzeug anwenden (Quelle: Robert Bosch)

10.9 Services mit konkretem Kundennutzen am Beispiel Sonderwerkzeug

Abschließend zu den typischen Aspekten (1) bis (5) hat sich Bosch an der Identifikation und Definition neuer Services unter Einbeziehung bestehender Abläufe beteiligt. Das vorhandene Wissen aus der Fertigung wurde genutzt, insbesondere über mögliche Fehler im Produktionsprozess. Neben dem naheliegenden Service der Fernwartung und der zustandsabhängigen Instandhaltung, stellte sich die Frage nach weiteren Möglichkeiten. Die genaue Kenntnis des Maschinenzustandes erlaubt eine neue Form der Risikoverteilung. So kann das Risiko nicht nur zwischen Anlagenhersteller und -betreiber verteilt werden, sondern auch auf den nächsten Kunden übertragen und wirtschaftlich geteilt werden. So kann der ursprüngliche Service „Produktion“ in neuer Ausprägung angeboten werden. Hierfür ist zwingend eine neue Form der Transparenz bzw. der Qualitätssicherung nötig. Die bis dato übliche Bezahlung nach Anzahl der gefertigten Teile oder Warenmenge kann durch Maschinenzzeit oder Kapazität in Verbindung mit Maschinenfähigkeit erweitert werden. Ebenso kann der Auftrag in unterschiedlichen Ausprägungen, von der Idee des zu fertigenden Produktes bis zum ausführbaren Maschinencode, erteilt werden. So kann der Maschinenbetreiber sein Angebot und die dafür benötigten Dienstleistungen variabel gestalten – von der reinen Maschinenzzeit bis zur vollumfänglichen Umsetzung einer Idee in ein Bauteil.

Zur Erstellung von Ertragsmodellen (6) wurde eine Auswahl an möglichen Ertragsmodellen für Serviceangebote betrachtet wie Add-on, Freemium, Pay-per-Use, Performance-based, Rent Instead of Buy, Remote, Self-Service. Aus diesen identifizierten strukturellen Komponenten wurde weiter ein bevorzugtes Geschäftsmodell kombiniert.

Der augenscheinlich geeignete Modellvorschlag im Rahmen dieses Vorhabens hat Ähnlichkeiten zu einem Mobilfunkvertrag. Die Hardware wird zu einem günstigen Preis mit wenig Gewinn verkauft. Die Software wird nach dem „Pay-per-Use“-System vergütet, wobei hier sowohl eine Abrechnung nach Nutzungsdauer möglich wäre als auch eine Abrechnung nach Ausführungsanzahl der Algorithmen. Als Dienstleistung werden Hard- und

Softwarewartung, Inbetriebnahme und weitere Einstellungen der Software und Softwareschulungen angeboten. Die angebotene Serviceplattform sollte jedoch geeignet sein, dass jeder Kunde grundlegende Funktionen selbst erstellen kann.

10.10 Erfahrungen aus iSrv

10.10.1 Hoher Aufwand für die Datenerfassung

Wenn erst einmal klar ist, was mit einem intelligenten Service erreicht werden soll, besteht der erste Schritt in der Datenaufnahme an einer Maschine. Bei dem konkreten Versuch an unserem SLM-Drucker ein Datum aufzunehmen, für das kein vorkonfigurierter Pfad bereitstand ist schnell deutlich geworden, mit welch großem Aufwand dies verbunden sein kann.

Probleme, die sich stellen:

1. **Zu wenig Platz im Innenraum für zusätzliche Sensorik:** Natürlich werden die Maschinen in ihren Abmessungen auf ihren eigentlichen Einsatzweck hin optimiert. Für zusätzliche Sensoren ist oft kein freier Bauraum mehr vorhanden. Das Problem verschärft sich im Falle einer Kamera, die nicht nur Bauraum in einem bestimmten Bereich, sondern zusätzlich auch noch eine freie Sicht auf das zu beobachtende Motiv Objekt benötigt.
2. **Abgeschlossene, schlecht erweiterbare IT-Systeme:** Die in Produktionsmaschinen verbauten Steuerungssysteme sind meist noch nicht auf flexible Erweiterbarkeit ausgelegt, stattdessen handelt es sich um strikt abgeschlossene Systeme. Selbst wenn interessante Daten innerhalb eines Steuerungssystems vorhanden sind, ist es häufig sehr schwierig sie auch auslesen zu können. In dem Steuerungssystem der SLM-280 z.B. fehlte ein schlichter Trigger für den Zeitpunkt, wenn der Schmelzvorgang der aktuellen Schicht fertiggestellt ist.
3. Wenn die Änderung einen wesentlichen Eingriff in die Maschine darstellt, ist mit einem **möglichen Verlust der Konformitätserklärung** (CE-Kennzeichen) zu rechnen.

10.10.2 Hohe Hürden für Datentransfers

Die Möglichkeit zum Datentransfer aus einer Fertigung hin zu einem Serviceprovider oder umgekehrt ist essenziell für erfolgreich eingesetzte IT-Services. Doch auch in diesem Feld stehen in der Praxis nach wie vor hohe Hürden, zu deren Überwinden immer noch viele unterschiedliche Akteure zusammengebracht werden müssen.

1. **Unterschiedliche Kommunikationsprotokolle:** OPC/UA, MQTT, DDS, Kafka, ZeroMQ, AMQP, Die Menge an verfügbaren und relevanten Kommunikationsprotokollen für den Anwendungsfall ist groß und scheint stetig weiter zu wachsen. Daher sind leider häufig Adaptersysteme notwendig, um zwischen den unterschiedlichen Partnern zu vermitteln.
2. **IT-Security:** Sicherheit und Geheimhaltung sind elementare Werte. Maschinenbetreiber möchten zwar den möglichen Mehrwert in den eigenen Daten

heben, fürchten sich aber vor Datendiebstahl oder Attacken. In einem globalen Konzern wie Bosch sind deshalb ganze IT-Abteilungen damit beschäftigt, die IT-Systeme abzusichern. Bis heute hat das Thema Einfachheit der Benutzung leider noch nicht den nötigen hohen Stellenwert erlangt, wodurch die Komplexität der Erfüllung von Security-Anforderungen manchen UseCase verhindert.

10.10.3 Heterogenität der Anwendungsfälle erschwert die Identifikation generischer IT-Architektur

Die sehr heterogene Landschaft möglicher konkreter UseCases mit definierten Kommunikationsprotokollen, Hardwareschnittstellen, IT-Umgebungen, Anforderungen an Datenraten und Latenzzeiten usw. macht es schwer, generische Architekturen für IT-Services zu etablieren. Nach Analyse vieler Diskussionen und Gespräche mit Kollegen in den Boschwerken weltweit wird deutlich, dass es zwar schon viele Ansätze zur technischen Lösung zur Einbindung externer Services gibt, dass es jedoch häufig noch an wirklich beeindruckenden Anwendungsszenarien fehlt. Zukünftige Forschungsprojekte könnten daher auch die Identifikation und Analyse wirklich Mehrwert-schöpfender UseCases noch einmal in den Fokus stellen.

10.11 Verwendung der Ergebnisse

Die umgesetzten Anwendungsfälle sind zum Teil in den Bosch-Forschungsdemonstrator auf der Arena2036 eingeflossen und hierdurch Teil eines gemeinsamen „Picture-of-the-future“ geworden, das weit über die Projektlaufzeit hinaus Bestand hat und stetig weiterentwickelt wird. Konkret: Die Ergänzungen für die virtuelle Erweiterung unserer Demo-Fertigung, der virtuelle Werker und die Visualisierung des 3D-Druckers sind weiterhin Teil der Bosch-Arena Demonstration.

Durch die Einbettung in diesen größeren Kontext wird es möglich, die Ergebnisse und Erfahrungen aus iSrv vor allem im Hinblick auf kommende Weiterentwicklungen besser und anwendungs näher bewerten zu können.

Die Erkenntnisse im Bereich Datentransfer und Anbindung externer digitaler Services werden – zum Teil direkt, zum Teil durch Eingang in aktuelle und kommende Entwicklungs- und Vorausentwicklungsprojekte – auch Einfluss auf Entscheidungen in der Produktentwicklung in dem für Bosch so wichtigen Zukunftsthema „Internet of things“ und in den laufenden Aktivitäten zur weiteren Verbesserung der Fertigung bei Bosch haben.

Werden Sie Autor im VDI Verlag!

Publizieren Sie
in „Fortschritt-
Berichte VDI“



Veröffentlichen Sie die Ergebnisse Ihrer interdisziplinären technikorientierten Spitzenforschung in der renommierten Schriftenreihe **Fortschritt-Berichte VDI**. Ihre Dissertationen, Habilitationen und Forschungsberichte sind hier bestens platziert:

- **Kompetente Beratung und editorische Betreuung**
- **Vergabe einer ISBN-Nr.**
- **Verbreitung der Publikation im Buchhandel**
- **Wissenschaftliches Ansehen der Reihe Fortschritt-Berichte VDI**
- **Veröffentlichung mit Nähe zum VDI**
- **Zitierfähigkeit durch Aufnahme in einschlägige Bibliographien**
- **Präsenz in Fach-, Uni- und Landesbibliotheken**
- **Schnelle, einfache und kostengünstige Abwicklung**

PROFITIEREN SIE VON UNSEREM RENOMMEE!
www.vdi-nachrichten.com/autorwerden

VDI verlag

Die Reihen der Fortschritt-Berichte VDI:

- 1 Konstruktionstechnik/Maschinenelemente
- 2 Fertigungstechnik
- 3 Verfahrenstechnik
- 4 Bauingenieurwesen
- 5 Grund- und Werkstoffe/Kunststoffe
- 6 Energietechnik
- 7 Strömungstechnik
- 8 Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
- 9 Elektronik/Mikro- und Nanotechnik
- 10 Informatik/Kommunikation
- 11 Schwingungstechnik
- 12 Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik
- 13 Fördertechnik/Logistik
- 14 Landtechnik/Lebensmitteltechnik
 - 15 Umwelttechnik
 - 16 Technik und Wirtschaft
 - 17 Biotechnik/Medizintechnik
 - 18 Mechanik/Bruchmechanik
 - 19 Wärmetechnik/Kältetechnik
- 20 Rechnerunterstützte Verfahren (CAD, CAM, CAE CAQ, CIM ...)
 - 21 Elektrotechnik
 - 22 Mensch-Maschine-Systeme
 - 23 Technische Gebäudeausrüstung

ISBN 978-3-18-3**70302**-9