

Reihe 2

Fertigungstechnik

Nr. 700

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger
(Berlin)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl
(Stuttgart)

RetroNet – Retrofitting von Maschinen und Anlagen für die Vernetzung mit Industrie 4.0 Technologie

Abschlussbericht
Verbundforschungsprojekt

RetroNet

**Retrofitting von Maschinen und Anlagen für die Vernetzung mit Industrie 4.0
Technologie**

Ein im Rahmen des Förderprogramms Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen unter der Bekanntmachung „Industrie 4.0 – Forschung auf den betrieblichen Hallenboden“ durchgeführtes Verbundforschungsprojekt.

Am Verbundforschungsprojekt RetroNet beteiligten sich folgende Konsortialpartner:

PI Informatik GmbH

Bosch Rexroth AG

Finow Automotive GmbH

F&M Werkzeug- und Maschinenbau GmbH

AUCOTEAM GmbH

KleRo GmbH

Technische Universität Berlin

Universität Stuttgart ISW

Fraunhofer IPK

Projektleitung: Holger Lüer, PI Informatik GmbH

Editor:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl

Das diesem Bericht zugrundeliegende Verbundforschungsprojekt RetroNet wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des Dachprogramms "Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit" gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 2

Fertigungstechnik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger
(Berlin)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl
(Stuttgart)

Nr. 700

**RetroNet – Retrofitting
von Maschinen und
Anlagen für die
Vernetzung mit
Industrie 4.0 Technologie**

VDI verlag

Krüger, Jörg / Verl, Alexander

RetroNet – Retrofitting von Maschinen und Anlagen für die Vernetzung mit Industrie 4.0 Technologie

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 700. Düsseldorf: VDI Verlag 2019.

152 Seiten, 72 Bilder, 13 Tabellen.

ISBN 978-3-18-370002-8, ISSN 0178-9406,

€ 57,00/VDI-Mitgliederpreis € 51,30.

Für die Dokumentation: IIoT – Retrofitting – Bestandsanlage – Industrie 4.0 – Cloud – Methodische Vorgehenskonzepte – Big Data – Wertschöpfungspotentiale – Smart Services

Produktionsanlagen bieten im Laufe ihres meist mehrere Jahrzehnte andauernden Lebenszyklus diverse Nachrüstungs- und Optimierungspotentiale. Besonders die intensive digitale Datenerfassung und anschließende Auswertung von Mehrwertdiensten bewährt sich als Werkzeug, solche Potentiale zu identifizieren und gewinnbringend zu nutzen. Jedoch fehlt es Bestandsanlagen an den nötigen digitalen Schnittstellen die den Zugriff für die Datenerfassung ermöglichen. Im Kontext dieser Problemstellung exploriert das Konsortium des öffentlich geförderten BMBF-Projektes „RetroNet: Retrofitting von Maschinen und Anlagen für die Vernetzung mit Industrie 4.0 Technologie“ das Segment der IIoT-Geräte und präsentiert die Erfahrungen für ein methodisches Vorgehen, wie solche Geräte ökonomisch für das Retrofitting von Bestandsanlagen eingesetzt werden können. Dabei werden die Herausforderungen von der effektiven Nachrüstung von digitaler Sensorik sowie der Entwicklung von rückführender Mehrwertdienste beleuchtet. Schlussendlich werden die entwickelten Konzepte an vier realen Anwendungsszenarien auf ihre Praxisfähigkeit validiert.

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 2019

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 978-3-18-370002-8

Vorwort

Der deutsche Mittelstand gilt als das Rückgrat der deutschen Wirtschaft. Mit den Herausforderungen durch die Digitalisierung zu kundenindividuellen Produkten, einer Beschleunigung der Abläufe und einer immer engeren Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette zeichnen sich sowohl Chancen als auch Risiken ab. Allerdings sind es gerade die innovativen mittelständischen Fertigungsunternehmen, die in der Regel die größten Digitalisierungsdefizite aufweisen. Dabei fehlt es an einer klaren Strategie, wie die eigene Produktion weiterentwickelt werden kann, um mit dem Wettbewerb Schritt zu halten. Das Ziel des Projekts RetroNet war hier einen Beitrag zu leisten und aufzuzeigen, wie die Transformation von bestehenden Altanlagen hin zu einer digitalisierten und vollständig vernetzten Fertigung gelingen kann. Dabei sollte nicht nur die Technik im Fokus stehen, sondern auch die Methodik, wie dieses Ziel für den deutschen Mittelstand profitabel erreicht werden kann.

In den letzten 3 Jahren Projektlaufzeit, wurde die Idee des Retrofitting von vielen aufgegriffen. Jedoch wurden hierbei eine methodische Herangehensweise sowie eine modulare Hardwareunterstützung als vorausgesetzt betrachtet und sich auf die technische Basis fokussiert. Dabei fehlt besonders KMU das nötige Fachpersonal für einen ökonomischen Umstieg. RetroNet zielt ab, diese Lücken zu schließen und deutsche KMU somit vollständig für das I4.0 Retrofitting, mithilfe von methodischen Konzepten und technischen Werkzeugen, fit zu machen.

Wir möchten uns an dieser Stelle ganz herzlich für die Unterstützung durch den Projektträger PTKA und bei dem VDI-Verlag für die Möglichkeit bedanken, diese neuen Erkenntnisse aus der Forschung im Rahmen dieses Buches an die Öffentlichkeit zu tragen.

2019, Jörg Krüger & Alexander Verl

„Die Informationen in diesem Werk werden ohne Rücksicht auf eventuelle Patente oder weitere Werke veröffentlicht.

Bei der Zusammenstellung der Inhalte sowie der Präsentation der Konzepte wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Jedoch können Fehler hierbei nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Darum übernehmen Verlag, Herausgeber sowie Autoren keine Haftung oder juristische Verantwortung für fehlerhafte Angaben und deren Folgen.“

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielstellung.....	2
1.3 Konzept	5
2 Methodische Konzepte für ein effizientes Industrie 4.0-Retrofitting	8
2.1 Ausgangssituation und Herausforderungen	8
2.2 Motivation und Zielsetzung	9
2.3 Verringerung der Einstiegshürde: Vom Komplexen zum Einfachen	11
2.3.1 Vereinfachung: eine Vorbetrachtung.....	11
2.3.2 Struktur- und Prozessperspektive	13
2.3.3 Projektperspektive	14
2.3.4 Entscheidungs- und Leistungsperspektive.....	15
2.3.5 Datensicht	17
2.4 Methodische Konzepte/Vorgehensmodelle	19
2.4.1 Überblick	19
2.4.2 Initial-Projekt.....	22
2.4.3 Hackathon = Low Hanging Fruits	27
2.4.4 Plattformgestütztes Retrofitting.....	32
2.5 Aufwands- und Nutzenbetrachtung	37
2.5.1 Zwischen operativem Ad-Hoc-Effekt und strategischer Organisationsplanung	37
2.5.2 Aufwand und Kosten	39
2.5.3 Mehrwert und Nutzen	42
2.6 Verstärkung des Wissens: Lernen in der Organisation	44
2.6.1 Strategische Grundausrichtung	44
2.6.2 Motivation.....	46
2.6.3 Inhalt und Form	47
3 Dynamisch erweiterbare Plattformarchitektur für Mehrwertdienste	50
3.1 Motivation und Herausforderungen	50

3.2	Allgemeine Systemarchitektur	52
3.3	I4.0-Konnektor	54
3.4	Systemintegration nachzurüstender I4.0-Konnektoren unter dem Aspekt heterogener IT-Komponenten	57
3.4.1	Struktur der Datenkommunikation und -schnittstellen	58
3.4.2	Varianten der Konnektivität	60
3.4.3	Systematik zur IoT-Vernetzung	63
3.4.4	IoT-Software-Stack	71
3.4.5	Experimentelle RetroNet-Testanordnungen	74
3.5	Mehrwertdienstplattform	79
3.5.1	Motivation und Herausforderungen	79
3.5.2	Plattformarchitektur	81
3.5.3	Unternehmensübergreifendes Datenmodell	84
3.5.4	Mehrwertdienstekzept	97

4 Industrie 4.0 - Sicherheitskonzepte für nachgerüstete

Fertigungsanlagen	103
4.1	Einleitung..... 103
4.2	Herausforderungen an die Sicherheit im Kontext Industrie 4.0..... 103
4.3	Vorgehensmethodik zur Entwicklung von Sicherheitskonzepten 105
4.4	Systemanalysen auf Basis von technischen Landkarten 107
4.5	Fazit: Anwendungsspezifische Sicherheit 108

5 Anwendungsszenarien und Ergebnisse

5.1	Einleitung	111
5.2	Datengetriebene Anwendungserstellung	116
5.2.1	Anwendungsszenario	116
5.2.2	RetroNet-Integration für datengetriebene Anwendungsszenarien	119
5.2.3	Umgesetzte Methodik und Konzepte	123
5.2.4	Ergebnisse	126
5.3	Einheitliche Benutzerschnittstellen	127
5.3.1	Anwendungsszenario	127
5.3.2	Umgesetzte Methodik und Konzepte	128
5.3.3	Ergebnisse	129
5.4	Condition Monitoring	130
5.4.1	Anwendungsszenario	130

5.4.2	Umgesetzte Methodik und Konzepte.....	131
5.4.3	Ergebnisse.....	133
5.5	AR – Visualisierung.....	134
5.5.1	Anwendungsszenario.....	134
5.5.2	Umgesetzte Methodiken und Konzepte.....	135
5.5.3	Ergebnisse.....	136
5.6	I4.0-Konnektor als Retrofittingwerkzeug	138
5.6.1	Anwendungsszenario.....	138
5.6.2	Umgesetzte Methodik und Konzepte.....	139
5.6.3	Ergebnisse.....	140
6	Zusammenfassung und Ausblick	141
7	Literatur	143

1 Einleitung

M. Strljic

1.1 Motivation

Mit Industrie 4.0-Technologien können Produktionsanlagen durch eine verbesserte Vernetzung der Systeme flexibler und effizienter produzieren. Dies resultiert aus den nun zusätzlich verfügbaren digitalen Informationen und Schnittstellen, die einen tiefen und präzisen Einblick in den Zustand von Produktionsmaschinen und ein dynamischeres Zusammenspiel mit ihnen ermöglichen. So kann beispielsweise im Bereich der vorausschauenden Instandhaltung der Verschleiß von Werkzeugen durch die Analyse von Datenhistorien im Voraus abgeschätzt und das Werkzeug zu einem optimalen Zeitpunkt während der Produktion ausgetauscht werden, bevor ein kritischer Verschleiß auftritt. Solche Funktionalitäten ermöglichen es, Stillstandzeiten oder Schäden an Anlagenteilen zu reduzieren und so den Durchsatz von Produktionslinien zu optimieren. Für eine solche Analyse werden neben den historischen Daten der Maschine, zusätzlichen Umgebungsparametern des Standorts sowie weiteren Informationshistorien identischer Werkzeugtypen verwendet, um den Verschleiß eines Werkzeugs auf Basis des erfassten Produktionsprozesses je nach aktueller Situation zu approximieren. Ein weiteres Feld ist das allgemeine Design von I4.0-Produktionssystemen, deren Steuergeräte bereits als serviceorientierte cyberphysikalische Systeme entwickelt wurden. Gerade für die Anforderungen der kundenspezifischen Maßfertigung spielt dies eine immer wichtigere Rolle, da einmal gekaufte Maschinen mit Hilfe flexibler Steuerungsmöglichkeiten mit immer dynamischeren Kundenanforderungen konfrontiert werden können.

Damit die Vorteile der bestehenden I4.0-Lösungen genutzt werden können, müssen sie auch die notwendigen I4.0-Technologien zur Vernetzung bereitstellen. Der Trend von I4.0 und den damit verbundenen Basistechnologien wie OPC UA ist jedoch noch relativ jung für diesen Technologiebereich. Im Gegensatz dazu sind die Lebenszyklen von Produktionsanlagen sehr hoch und je nach Anwendung sind Lebenszyklen von mehr als 25 Jahren keine Seltenheit. Dies offenbart natürlich direkt einen Konflikt, der die motivierende Herausforderung für das Forschungsprojekt RetroNet darstellt. Obwohl es innovative Lösungen für zukünftige Produktionen gibt, können sie nicht an alle Produktionsbereiche angepasst werden, weil die in ihnen eingesetzten Systeme nicht über die notwendigen Softwareschnittstellen verfügen oder weil bestimmte Produktionsparameter nicht vom Anlagensteuergerät digital erfasst werden, um diese Mehrwert-Dienstleistungen zu

erbringen. Da der Kauf einer neuen Produktionsmaschine oder einer Roboterzelle vor allem für KMU eine finanzielle Herausforderung darstellt, werden IoT-Gateways zur Nachrüstung fehlender I4.0-Grundtechnologien immer beliebter. Den verfügbaren Lösungen fehlt jedoch die Offenheit der Softwarekomponenten und ihre Hersteller binden ihre Kunden an ein geschlossenes Ökosystem hinsichtlich der angebotenen Mehrwertdienste und Datenerfassungssysteme. Daher wird ein unabhängiges IoT-Gateway als Werkzeug benötigt, das diese Freiheiten besitzt und bei Bedarf für den notwendigen Anwendungsfall eingesetzt werden kann.

Ein schwerwiegender und oft vernachlässigter Faktor ist die Methodik für die Nachrüstung solcher Anlagen. Solche Systeme sind hochkomplex und die Funktionalität zur digitalen Erfassung der Ist-Werte der mechanischen Systeme erfordert oft mehr als nur den Anschluss eines Ethernet-Kabels. Zunächst wird das Fachpersonal benötigt, um die erforderliche Funktionalität und Datenerfassung für die Nachrüstung in einem Produktionsprozess zu ermitteln. Anschließend müssen die erforderlichen Sensoren von geschultem Personal nachgerüstet werden. Die Auswahl an verfügbaren Nachrüstmöglichkeiten ist groß, aber nicht jede davon ist in einer bestimmten Ausgangssituation sinnvoll. Daher ist es wichtig, Methoden einzusetzen, die einen echten Mehrwert für einen Produktionsprozess erwirtschaften. Es fehlt jedoch an einfachen Richtlinien, die es Unternehmen ermöglichen, einen effektiven Ansatz für eine bestimmte Ausgangssituation zu wählen. Dies gilt insbesondere für KMU, die Fachkräfte als externe Dienstleistung zu hohen Kosten einkaufen müssen und deren Budgets stark von der Budgetierung beeinflusst werden.

1.2 Zielstellung

Um sowohl die wirtschaftliche Belastung durch massive Investitionen zu umgehen, als auch schnellstmöglich die Anwendung entwickelter Technologien zu ermöglichen, zielt das Projekts RetroNet auf eine allgemeine Methodik zur Integration des historisch gewachsenen Maschinen - und Anlagenbestands in eine I4.0-orientierte Produktionsinfrastruktur. Hierfür werden Bewertungsschemata der vorhandenen Maschinen und Anlagen für die Kompatibilität mit einer I4.0 Infrastruktur entwickelt. Darauf aufbauende Lösungen zum Retrofitting dieser Maschinen und Anlagen für die Integration in eine unternehmens-interne I4.0-Plattform dienen dazu, Daten aus Maschinen und Produktion zu gewinnen, auswertende und bidirektional interagierende Dienste bereitzustellen sowie einheitliche Benutzerschnittstellen verfügbar zu machen. Dieser Ansatz ermöglicht kleinen und mittleren Unternehmen unter Berücksichtigung des bereits bestehenden heterogenen Maschinenparks deutlich schneller den Zugang zu modernen Produktionsmitteln und -

technologien. Die Interaktion zwischen Werker und Maschine wird erleichtert und erlaubt überhaupt erst den nahtlosen Wechsel zu einem intelligenten Maschinenverbund nach dem Vorbild einer SmartFactory in unterschiedlichen Skalierungsstufen.

Die Integration älterer Maschinen in eine gemeinsame Plattform und der Zugriff auf die im Prozess anfallenden Daten werden von allen beteiligten Unternehmen als notwendig angesehen. Erst so können die folgenden Ziele erreicht werden: Kontinuierliche Aufzeichnung prozess- und qualitätsrelevanter Daten zur nachfolgenden Optimierung, Überwachung von Ausfallzeiten, Maschinenauslastungen und Betriebszustand, Beobachtung, Analyse und Verringerung des Energieverbrauches, Kontrolle des Ressourcenverbrauches bis zur Zuordnung auf einzelne Bauteile sowie die Vereinheitlichung der Benutzerschnittstellen durch Verwendung generischer I4.0-Dienste (Apps). Das Zusammenführen der verfügbaren Daten schafft neue Optionen, auf Abhängigkeiten und Querbeziehungen, wie Qualität und Energieverbrauch, einzugehen. So wird der Grundstein für eine ganzheitliche Koordination und Optimierung der Anlagen gelegt.

Ziel des Projektes RetroNet ist die Erschließung von Effizienzgewinnen durch Anbindung von älteren Maschinen und Anlagen an die zentralen Dienste einer Produktionslandschaft. Im Fokus stehen Maschinen und Anlagen, die üblicherweise über keine der modernen Kommunikationstechnologien wie Industrial Ethernet oder OPC/UA verfügen. Die angestrebte kommunikationstechnische Befähigung der Maschinen erfolgt über einen I4.0-Konnektor, der als Bindeglied zwischen der Cyber- und physischen Ebene in Hard- und Software fungiert. Er versteht und bedient die individuellen Schnittstellen der Einzelmaschinen und leitet die gewonnenen Daten über eine einheitliche I4.0-Schnittstelle zur zentralen Plattform. Das Spektrum der möglichen Schnittstellen (SPS, RS232, DNC, I/O, digital, analog u.a.m.) wird offen gestaltet und im Rahmen der konkreten Anwendung spezifiziert. Dazu sollen jeweils am konkreten Anwendungsfall physische und logische, lokale und zentrale Konnektoren-Technologien, sowie Referenz-Bibliotheken bereitgestellt und auf der Grundlage eines generalisierten Maßnahmenkatalogs implementiert werden.

Das RetroNet-Konzept sieht vor, dass jede Maschine Schnittstellen bereitstellen kann, um mit der zentralen I4.0-IT-Plattform zu interagieren. Auf der Plattform laufen Dienste, die auf die Maschinendaten zugreifen und erweiterte Funktionen zur Verfügung stellen. Über die Dienste können Datensammler und verarbeitende Algorithmen zusätzlichen Mehrwert aus den bisher flüchtigen Prozessdaten generieren.

Die im Projekt geplanten (Mehrwert-)Dienste unterstützen den Anwender u.a. bei

- der Prozessüberwachung und -optimierung
- der Optimierung in der Kalkulation von Fertigungsaufträgen
- Auslastungs- und Zustandsanalysen
- Wirtschaftlichkeitsanalysen und Investitionsplanungen
- der Energieverbrauchsoptimierung
- der Werkerunterstützung in der Konfiguration und Umrüstung von Maschinen

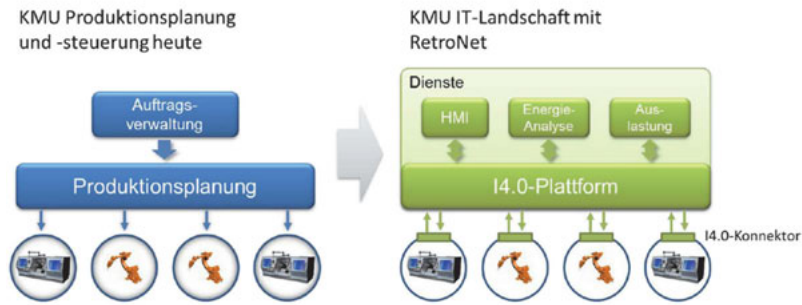


Abbildung 1: Transformation der IT-Landschaft durch RetroNet

Insbesondere sollen neben den Grundlagen für die Gestaltung einer Konnektoren-Technologie folgende Potentiale und deren Auswirkungen auf den industriellen Einsatz betrachtet und validiert werden:

- Eine Methodik zur Analyse von bestehenden Anlagen hinsichtlich der nutzbaren Daten kann die Potentiale sowohl direkt wie auch indirekt messbarer Daten und auch robuster Schätzwerte analysieren und hinsichtlich deren Eignung zur Mehrwertgenerierung bewerten. So lassen sich konkrete Analysen im Hinblick auf die zuvor genannten Beispiele entwickeln.
- Die Entwicklung eines I4.0-Konnektors (spez. Hard- und Software) als Bindeglied zwischen Maschine und I4.0-Plattform. Er dient zur zeitsynchronen Erfassung, Bereitstellung und Zusammenführung von Daten als „Multifeldbusschnittstelle“. Durch das Plug’n’Produce-Konzept wird die bisher vorhandene Lücke zwischen der I4.0-Plattform und den Maschinen geschlossen. Dieser I4.0-Konnektor soll mit geringem Installations- und Konfigurationsaufwand bei der Einführung der angestrebten Lösung eingesetzt werden können.

- Der Aufbau und Betrieb einer zentralen (Cloud-)Plattform für anwendungsspezifische Applikationen im KMU-Maßstab auf Grundlage von „Software-as-a-Service“. Sie verwaltet und aggregiert die bereit gestellten Daten der angeschlossenen CPS-Systeme. Durch die zugrundeliegende Architektur und Methodik wird ein geringer Integrationsaufwand (Installations-, Konfigurations- und Initialisierungsaufwand) bei der Einführung der Lösung angestrebt. Die Plattform ist hierbei Bestandteil einer Gesamtarchitektur von Plattform, Mehrwertdiensten und Konnektionskomponenten.
- Mit Unterstützung des Gesamtsystems sollen Integrationsaufgaben bedarfsgerecht umgesetzt und realisierte Strukturen dynamisch an die jeweiligen Erfordernisse der Produktionssteuerung angepasst werden können. Die Lösung soll für KMU wie für Großunternehmen skalierbar sein.
- Die Definition und Bereitstellung von Mehrwertdiensten (Apps). Sie setzen die Analysekonzepte und neuen Bedienerchnittstellen exemplarisch basierend auf den bereitgestellten Daten aus der Plattform um. Die Verwaltung und Ausführung erfolgt koordiniert durch die IT -Plattform.
- Die Umsetzung der Kopplung der Methoden mit der zugrundeliegenden Systemarchitektur und den dazugehörigen Komponenten erfolgt durch die Realisation anwenderspezifischer Demonstratoren. Diese repräsentieren die Bandbreite der unterschiedlichen Anwendungsfelder und Aspekte der Bewertung (Unternehmensgröße, Komplexität, Wertschöpfungspotentiale).
- Im Kontext des Beziehungsfeldes zwischen Mensch, Maschine und Organisation ist die Methodik ein wichtiges und wesentliches Instrument zur Gestaltung der Produktionslandschaft. Dementsprechend müssen Konzepte entwickelt werden, die dem Anwender die Aneignung der dafür notwendigen Expertise im Produktionsprozess sicherstellt und ihn beim Aufbau von Entscheidungskompetenz unterstützt. Durch die Entwicklung geeigneter Konzepte in der Wissensvermittlung soll langfristig eine Akkumulation des Wissens im Unternehmen sicherstellt werden.

1.3 Konzept

Das Konsortium von RetroNet mit einem großen Spektrum an beteiligten Partnern ist ein idealer Ausgangspunkt, um die gewünschten Ergebnisse praxisnah zu erarbeiten. Die beteiligten Forschungseinrichtungen garantieren eine objektive Expertise hinsichtlich der Aktualität und Vollständigkeit der entwickelten Methoden und die Industriepartner

vertreten alle relevanten Stakeholder für den Nachrüstprozess von Altanlagen vom Produktionsanlagenbetreiber, Business Intelligence über den IoT-Gateway-Hersteller sowie Systemintegratoren und können die Praxistauglichkeit angemessen beurteilen.

Im Rahmen des Vorgangs wurden vier Leitszenarien definiert, die jeweils eine einzigartige Herausforderung im Rahmen der Nachrüstung darstellen. Jedes dieser Anwendungsszenarien hat eine anwendungsorientierte Ausgangssituation für KMU, um die daraus resultierenden Ergebnisse den Unternehmen als Leitlinien für eine effiziente Nachrüstung zur Verfügung zu stellen. Dies sind die folgenden Szenarien:

1. Datengetriebene Anwendungserstellung:

Es handelt sich hierbei um die nachträgliche digitale Datenerfassung von älteren Maschinen, wie z.B. Drehmaschinen, welche über die zusätzlich zur Verfügung stehenden Informationen um Funktionen zur Qualitätsverbesserung des Produktionsprozesses aufgerüstet werden sollen.

2. Einheitliche Schnittstelle:

In Altanlagen befinden sich herstellerspezifische Automatisierungslösungen, die nicht den weit verbreiteten Kommunikations- oder Informationsstandards entsprechen. Die meisten sind vollständig proprietäre Systeme, deren Entwickler keinen Support mehr für das Produkt oder die Softwareplattform bieten. Das bedeutet, dass man diese Systeme in einer I4.0-Umgebung noch korrekt anschließen und konfigurieren muss. Dies ist der Fokus dieses Szenarios, in dem die proprietären Schnittstellen in einer zentralen Anwendung gekapselt und über eine standardisierte Schnittstelle extern verfügbar gemacht werden.

3. Condition Monitoring:

Dieses Szenario befasst sich zum einen mit der Langzeitdatenerfassung von Altanlagen über eine zentrale Auswertungsplattform und zum anderen dem Nachrüsten von Anlagenfunktionalitäten mithilfe lokaler Mehrwertdienste. Das Nachrüsten von Funktionalitäten soll aktuelle Standardfunktionen, wie z.B. einer zusätzlichen lokalen Anzeige für den Zustand der Produktionsanlage umfassen, welche dem Werker Vorort erlaubt eine Aussage über den Maschinenstatus zu erhalten. Die Datenerfassung soll über Mehrwertdienstanalysen eine Feinjustierung der Produktionsanlage erlauben, um die Qualität des Prozesses zu verbessern.

4. AR-Visualisierung:

Neben der Datenerfassung und dem Nachrüsten von aktuellen Funktionen einer Altanlage müssen die resultierenden Lösungen sich nicht nur den aktuellen Herausforderungen und Anwenderbedarfen stellen, sondern sollten auch für

zukünftige Technologien gerüstet sein. AR- und VR-Applikationen repräsentieren in diesem Anwendungsfall solche Technologien, welche mit ihren vielversprechenden Möglichkeiten Einzug in innovative Produktionsanlagen von Morgen halten. Es wird hierbei versucht ein älteres Modell eines Roboterarms über die entwickelten Retrofitting-Methoden in einer AR-Umgebung zu integrieren und dessen Bewegungen live in einer AR-Applikation zu visualisieren.

Für diese ausgewählten Anwendungsszenarien wurden die Anforderungen an ein IoT-Gateway gesammelt, um die jeweiligen beteiligten Systeme mit den erforderlichen Sensoren und digitalen Schnittstellen nachzurüsten. Die Integration neuer Komponenten in eine bestehende Infrastruktur hat neben der nachgerüsteten Funktionalität auch ggf. negative Auswirkungen auf die gesamte Produktionsumgebung. Da IoT-Gateways direkt in die Anlageninfrastruktur integriert sind, bestehen besonders hohe Sicherheitsrisiken. Entsprechen solche Geräte nicht den aktuellen Sicherheitsstandards, sind sie potenzielle Angriffspunkte für Hackerangriffe, deren Bedrohungspotenzial vom Datenverlust bis hin zur Beschädigung der Produktionsanlage reichen kann. Die in einem solchen Fall auftretenden Risikofaktoren werden im Kapitel 4 mit möglichen Lösungen und einer Risikobewertung untersucht. Zusätzlich zur Methodik wurde das oben genannte IoT-Gateway für die Implementierung entwickelt. Neben der Nachrüstung von direkten Maschinenfunktionalitäten über lokale Mehrwertdienste bietet dies die Datenerfassung für Mehrwertdienste, die auf externen Cloud-Plattformen betrieben werden. Die Varianz beim Aufbau solcher Cloud- und Mehrwertdienstplattformen ist sehr hoch. Aus diesem Grund wurden zwei Architekturen für solche Plattformen entwickelt und als Beispiele für die vier vorgestellten Leitszenarien bewertet. Die für das IoT-Gateway und die Mehrwertdienstplattform verwendeten Hard- und Softwarekomponenten werden im Kapitel 3 mit ihrer Implementierung vorgestellt. Abschließend werden die zuvor vorgestellten Leitszenarien im Kapitel 5 vorgestellt. Zuerst wird das Ausgangsszenario beschrieben und dann die Nachrüstung mit den verwendeten Methoden und den daraus resultierenden Ergebnissen erläutert.

2 Methodische Konzepte für ein effizientes Industrie 4.0-Retrofitting

H. Lüer

2.1 Ausgangssituation und Herausforderungen

Ausgangssituation

Maschinen- und Anlagenintegration Richtung I4.0 wird zum heutigen Stand in der Industrie bereits intensiv gelebt. Dabei ist bei der Projektierung und Umsetzung von neuen Maschinen- und Anlagenkonzepten die Fragestellung zur Einbindung von bestehenden und noch lauffähigen Altmaschinen und -anlagen regelmäßig zu beantworten. Als Entscheidungsalternativen können u.a. folgende Optionen betrachtet werden:

- Weiterbetrieb der Maschine / Anlage im Status Quo
- Ersatz / Ausmusterung des Anlagenbestandes
- Umrüstung bzw. datentechnische Erweiterung bzw. Erschließung der Maschine bzw. Anlage

Im Entscheidungsfall für den Weiterbetrieb der Maschine und einer ggf. notwendigen Integration in Richtung I4.0 bzw. Digitalisierung erfolgt die Umsetzung meistens in Form von IT- und Integrationsprojekten. Neben den zu berücksichtigenden Voraussetzungen wie organisatorische und technischen Rahmenbedingungen, verfügbarer Kompetenz u.a.m. ist das konkrete Vorgehen wichtiger Erfolgsfaktor. Insbesondere auf die Fragestellung nach dem „Wie“, nach der Methodik, der Art und Weise muss für die Gestaltung des Umsetzungsprozesses eine Antwort gegeben werden.

Herausforderungen / Problemstellungen

Die Umsetzung von Integrationsprojekten setzt meistens ein systematisches und strategisch ausgerichtetes Vorgehen in der Unternehmensführung voraus. Der jeweils notwendige Projektvorlauf ist bis zu einer ersten, klaren Problem-, Aufgaben- und Zieldefinition nicht unerheblich (Dokumentationen, Lasten-, Pflichtenheft, Projektpläne, grafische Konzepte u.a.m.). Die Umsetzung, Steuerung und das Controlling binden in den meisten Fällen ebenfalls nicht unerhebliche Kapazitäten.

Für die notwendige Steuerung des Integrationsprozesses gibt es bereits eine etablierte Bandbreite an Methoden und Konzepten, die je nach Aufgabenstellung und Umfang einbezogen werden können. Etablierte Methoden und Konzepte der Prozesssteuerung sind u.a. Business Process Reengineering (BPR), Change Management, Prozessmanagement, Six Sigma. Im Vordergrund der Konzepte stehen als Ausgangspunkte eine intensive Prozessanalyse sowie mögliche Optionen in der Organisationsgestaltung. Den darauf aufbauenden Projekten gemeinsam: Sie sind meistens komplex, zeit- und kostenintensiv, die Umsetzung erfordert einen hohen kommunikativen und steuerungstechnischen Aufwand. Darüber hinaus erfordert die erfolgreiche Umsetzung zwingend Methoden- und Steuerungskompetenz für das jeweilige Verfahren. Voraussetzungen die bei KMU in den meisten Fällen nicht oder nur in Ansätzen vorhanden sind.

Dementsprechend stellt sich in diesem Kontext die Frage: Wie kann der vorhandene Maschinen- und Anlagenbestand effizient auf dem Weg zu Industrie 4.0 eingebunden werden ohne sich umfassender, komplexer Projektsteuerungsmethoden bedienen zu müssen. Bei dieser Fragestellung erhält insbesondere die Antwort auf ein ggf. mögliches alternatives Vorgehen einen besonderen Stellenwert. Das gewählte methodische Vorgehen entscheidet (neben der Qualität der technischen Lösung) letztendlich mit über den Erfolg oder Misserfolg der zu treffenden Entscheidungen und der daraus resultierenden Umsetzung des Retrofittings.

2.2 Motivation und Zielsetzung

Motivation

Der tägliche Produktionsprozess (insbesondere bei KMU) ist wesentlich von operativen Entscheidungen geprägt. In dem Prozess ist das Leistungsvolumen der Mitarbeiter an die Erbringung der geplanten, mitunter sich ad hoc ändernden Aufgaben gebunden. Dementsprechend überschaubar sind die freibleibenden Ressourcen für die Auseinandersetzung mit Problemstellungen der Digitalisierung. Dieser Zustand führt zwangsläufig zu einer ggf. nur temporären Wahrnehmung der Problemstellungen, die sich mit dem konkreten Bedarf und der Notwendigkeit der digitalen Erschließung der vorhandenen Maschinen und Anlagen verbindet. Darüber hinaus fällt es schwer, die Bandbreite möglichen Lösungsoptionen wie Potentiale möglicher Nachrüstverfahren wahrzunehmen und im Kontext der Unternehmensorganisation mit einzubeziehen. Dem Unternehmen fehlt es dazu in der Regel an Erfahrung bzw. an einem Vorgehensmodell bzw. Leitfaden, mit welchen Methoden und Technologien zum Nachrüsten ggf. der eigene Anwendungsfall effizient

umgesetzt werden kann. Dafür notwendiges Fachpersonal bzw. externe Expertise sind mit Kosten und einem nicht unerheblichen Zeitfaktor verbunden.

Zielstellung

Mit dem Zusammenwirken neuer technologischer Konzepte bietet sich die Möglichkeit, bisher etablierte methodische Ansätze neu zu denken, um darauf aufbauend, ein alternatives, im Sinne eines niederschweligen Einstiegs praktikables, methodisches Konzept zu entwickeln bzw. abzuleiten. Die Integrationsmethodik soll den Unternehmer insbesondere dabei unterstützen, Gestaltungsoptionen und Chancen bei der Einbindung des vorhandenen, bisher nicht I4.0-fähigen Maschinenbestandes zu identifizieren und den Einstieg Richtung Industrie 4.0 bedarfsgerecht und wirtschaftlich mit überschaubarem Aufwand erfolgreich möglich zu machen.

Neben der Gestaltung eines zielgerichteten, niederschweligen Einstiegs soll durch das Vorgehen das im Umsetzungsprozess generierte Wissen erhalten, weitergeführt und ausgebaut werden. Das Konzept soll das methodisch strukturierte Vorgehen des Anwenders unterstützen und einen Überblick über eine Auswahl an einfachen Entscheidungs- und Umsetzungsalternativen geben. Das Konzept richtet sich insbesondere an Akteure der Entscheidungs- und Leistungsebene. Folgende Anforderungen sollen durch das Konzept erfüllt werden:

- Unterstützung eines ersten Einstiegs und einer ersten technischen Umsetzung des Retrofittings mit einem überschaubaren Aufwand an Ressourcen
- Unterstützung eines Einstiegs auf dem Weg Richtung Digitalisierung auch mit einem ersten, überschaubaren Kenntnisstand
- Eine möglichst einfache Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Umsetzungsschritte und daraus hervorgegangener Ergebnisse
- Eine möglichst hohe Eintrittswahrscheinlichkeit eines ersten nutzbaren Ergebnisses auf dem Weg Richtung Digitalisierung
- Eine möglichst gute und umfassende Übertragbarkeit und Ausbaufähigkeit der erarbeiteten Ergebnisse

2.3 Verringerung der Einstiegshürde: Vom Komplexen zum Einfachen

2.3.1 Vereinfachung: eine Vorbetrachtung

Will man für den ersten Schritt auf dem Weg zu I4.0 einen möglichst niederschweligen Einstieg finden, ist es wünschenswert, den damit verbundenen Aufwand, hier im Fall das Retrofitting von Maschinen und Anlagen, möglichst überschaubar zu halten. Es ist in den meisten Fällen davon auszugehen, dass erst mit dem konkreten Beschreiten des Weges im Unternehmen die wirklich relevanten Potentiale erkannt und erschlossen werden können. Dementsprechend naheliegend ist es, von diesem Ausgangspunkt aus einem alternativen methodischen Ansatz aus den etablierten Projektmethoden heraus zu suchen und weiterzuverfolgen, der diesem Aspekt Rechnung trägt.

Hierbei erscheint es als ausgesprochen hilfreich, dass zu betrachtende Spektrum an Gestaltungsoptionen in seiner gesamten Breite zu betrachten. An den Grenzen, den Extrempunkten des Spektrums stehen sich dabei hohe Komplexität und starke Vereinfachung gegenüber. Bei der Umsetzung bietet es sich an, von diesen beiden Perspektiven ausgehend, die Endpunkte für mögliche relevanten Faktoren auszuloten, mitzudenken und die Ausgestaltung des methodischen Konzeptes im Sinne der Verringerung der Einstiegshürde in Richtung Vereinfachung zu denken. Bei der Vereinfachung steht die Reduktion, die Konzentration auf das Wesentliche im Vordergrund: Was kann bis zu welchen Punkt ausgeblendet, reduziert werden, ohne den Kern der Zielstellung in der Umsetzung zu verlieren? Dieser Ansatz kann auf mehrere Faktoren wie z.B. Nutzen, Kompetenz u.a.m. übertragen werden. Die folgende Grafik veranschaulicht ein mögliches Betrachtungsspektrum an Faktoren:



Abbildung 2: Erweiterbares, mögliches zu betrachtendes Spektrum

Dabei ist davon auszugehen, je weiter wir uns in der Skala nach rechts bewegen, desto höher werden die dafür notwendigen Aufwendungen an Zeit und Kosten:

Vorteile eines solchen Verfahrens sind im Gegensatz zu komplexeren Vorgehensmodellen der bereits erwähnte überschaubare Aufwand, eine erste Sicht auf ggf. mögliche Erfolgspotentiale, deren zeitnahe Erschließung u.a.m. Nachteile eines solchen reduzierten Sicht sind u.a. die ggf. eintretenden Risiken einer zu erwartenden Unschärfe bzw. Rustikalität des Ergebnisses, vergleichbar mit der Reduktion der Auflösung eines Bildes bis zur Unkenntlichkeit. In diesem Zustand ist der Informationsgehalt soweit ausgedünnt, dass daraus kein Erkenntnisgewinn mehr möglich ist.

Minimum	€	€€	Endpunkte der Skala	€€€	€€€€	Maximum
gering	€	€€	Komplexität	€€€	€€€€	hoch
gering	€	€€	Nutzen	€€€	€€€€	hoch
gering	€	€€	erforderliche Kompetenz	€€€	€€€€	hoch
gering	€	€€	Risiko	€€€	€€€€	hoch
gering	€	€€	...	€€€	€€€€	hoch
gering	€	€€	Kosten	€€€	€€€€	hoch
gering	€	€€	Zeit / Aufwand	€€€	€€€€	hoch

Abbildung 3: Kosten- und Zeitrelation unterschiedlicher Faktoren des Retrofitting

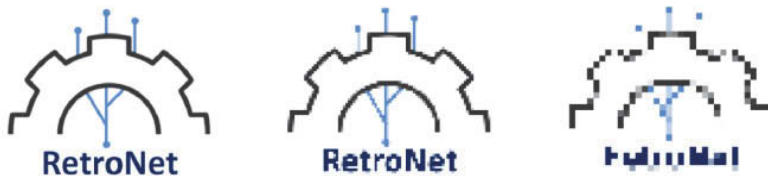


Abbildung 4: Optische Analogie der Reduktion

Im Gegensatz zur optischen Analogie bei der die Bildinformation abhandengekommen ist, kann der Nachteil im vorgestellten Verfahren dadurch kompensiert werden, indem die extreme Reduktion der Faktoren im weiteren Vorgehen aufgehoben und der Regler vom Startpunkt der Vereinfachung im Spektrum Richtung Komplexität verschoben wird. Diese Regler-Positionierung kann dann im nächsten Anwendungsfall und mögliche Erfahrungen / Erkenntnisse übertragen werden.

Übertragbarkeit

Das Prinzip der Vereinfachung kann nicht nur auf Faktoren, sondern auch auf wesentlichen Sichten in der Organisationsgestaltung übertragen werden. Im Kontext des Retrofittings hat sich die Abstraktion der Sichten u.a. auf Struktur, Prozess, Entscheidungs- und Leistungsebene als hilfreich und zielführend erwiesen. Ausgehend von dieser Abstraktionsebene der Organisationsgestaltung werden unterschiedliche Lösungswege für das Retrofitting entworfen, die konkrete Bedarfe und Anforderungen insbesondere unter dem Aspekt der Verringerung der Einstiegshürde an das methodische Konzept reflektieren.

2.3.2 Struktur- und Prozessperspektive

Die Struktur- und Prozessperspektive ist ein etablierter Ausgangspunkt zur Betrachtung, Erfassung und Steuerung der Unternehmensorganisation¹. Bei der Umsetzung des Retrofitting steht insbesondere die Sicht auf die „Struktur“ der vorhandenen Maschinen bzw. Anlagen und deren datentechnische An- bzw. Einbindung im Vordergrund². Hierbei wird die Maschine selbst sowie die vorhandenen Rahmenbedingungen (IT-Infrastruktur, ... u.a.m.) betrachtet.

Der Zustand dieser Struktur wird durch das Retrofitting einer Veränderung unterzogen. Relevante Zustände sind insbesondere die beiden Endpunkte in der Betrachtung: das VORHER (datentechnische Anbindung = NEIN) und das NACHHER (datentechnische Anbindung = JA). Dazwischen liegt ein Veränderungsprozess, der ein bestimmtes Zeitmaß umfasst. Je nach Wahrnehmungshorizont kann der Prozess eine Reihe von Zwischenstadien und Prozessebenen durchlaufen. Die Zustandsänderung selbst wird durch einen einzubringenden Aufwand³ herbeigeführt.

Als Endzustand des Retrofitting sollen mehr und bessere Daten (Quantität und Qualität) erzeugt, innerhalb der Unternehmensorganisation (Strukturen und Prozesse) über die Ressourcen der IT bereitgestellt und ein Erkenntnisgewinn generiert werden.

Diese stark vereinfachte Sicht auf Struktur und Prozess des Retrofitting lässt sich nun im Sinne des Vorgehensmodells „Komplex → Einfach“ umkehren. In der Weiterführung des

¹ Hier kann auf etablierte Sichten in der Unternehmensorganisation nach Porter u.a.m. verwiesen werden

² Beim Retrofitting sind u.a. technische, informationstechnische und organisatorische Aspekte bei der Strukturbetrachtung und -beschreibung zu berücksichtigen.

³ Analog dem Energie(eintrag) in ein System

Retrofittings und einer möglichen, darauf aufsetzenden Reorganisation von Strukturen und Prozessen kann die Komplexität sukzessive und anforderungsgerecht erhöht und die Systematik ausqualifiziert werden.

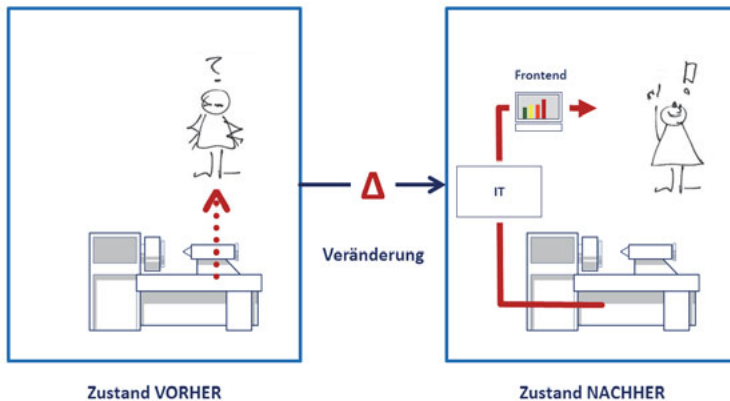


Abbildung 5: Vereinfachte Sicht auf die Struktur und den Prozess des Retrofitting

2.3.3 Projektperspektive

Im Kontext von Produktion und Produktionsplanung haben sich bis heute unterschiedliche Projektdefinitionen und Projektsteuerungskonzepte etabliert⁴. Diese detaillierten Ansätze und Konzepte sind nur bedingt dazu geeignet, mit wenigen, überschaubaren Schritten und Aufwänden möglichst einfache Umsetzungskonzepte zu unterstützen.

⁴ vgl. Hans Corsten (o. Univ.-Prof. Dr. habil) und Hilde Corsten, Projektmanagement Einführung, Oldenbourgverlag, München Wien, 2000, S. 1 ff.

Alternativ dazu: „magisches Dreieck in der Projektsteuerung“ (Zeit, Kosten, Umfang), nach Thor Möller, Florian Dörrenberg, Projektmanagement, Oldenbourg Verlag, 2003, S. 22. EN ISO 9000:2005 – Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe Abschnitt 3.4.3.,

„Ein Projekt ist ein zielgerichtetes, einmaliges Vorhaben, das aus einem Satz von abgestimmten, gesteuerten Tätigkeiten mit Anfangs- und Endtermin besteht und durchgeführt wird, um unter Berücksichtigung von Vorgaben bezüglich Zeit, Ressourcen (zum Beispiel Finanzierung bzw. Kosten, Produktions- und Arbeitsbedingungen, Personal und Betriebsmittel) und Qualität ein Ziel zu erreichen.“ Zitat Wikipedia

Systematik Projekt und Projektmanagement im Normen- und Richtlinienwesen:

DIN-Norm 69901: Projektmanagement und Projektmanagementsysteme (Grundlagen, Prozesse, Prozessmodell, Methoden, Daten, Datenmodell / VDI-Richtlinie 6600: Berufsbild Projektingenieur (Projektdefinition, Projekt auswählen, planen, starten, steuern, durchführen, dokumentieren, abschließen

Reduzieren wir die Definitionen auf das Wesentlichste, stellt ein Projekt die bewusste und zielgerichtete Herbeiführung eines Zielzustandes aus einem Ausgangszustand dar. Der Ausgangszustand birgt für den Betrachter eine Problemstellung die es zu verändern gilt. Bei der Übertragung dieser Sicht auf das Retrofitting kann eine Analogie zur vorangestellten Struktur- und Prozessbetrachtung erkannt werden. Danach stellt die Projektperspektive den Gestaltungsrahmen für die systematische und zielgerichtete Veränderung des Ausgangszustandes dar.

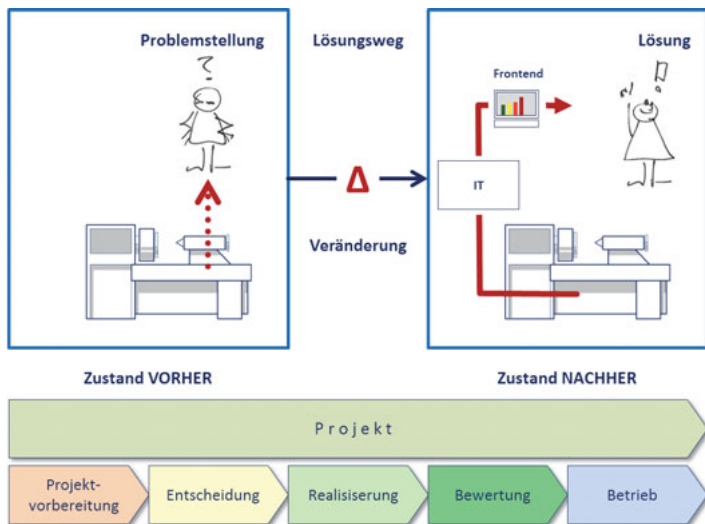


Abbildung 6: Vereinfachtes Projektschema für die Umsetzung des Retrofitting

2.3.4 Entscheidungs- und Leistungsperspektive

Für die erfolgreiche Projektrealisation ist eine Vielzahl von Faktoren (Ressourcen, Zeit, Rahmenbedingungen u.a.m.) zu berücksichtigen. Neben der präzisen Identifikation und Beschreibung des zu lösenden Problems⁵ sind insbesondere richtige Entscheidungen und das folgerichtige Handeln maßgeblich für die Zielerreichung. Mit der Entscheidung wird die jeweilige Zielstellung das WAS, das SOLL (im Sinne einer Prognose = Vorwegnahme

⁵ „Wenn ich eine Stunde habe, um ein Problem zu lösen, dann beschäftige ich mich 55 Minuten mit dem Problem und 5 Minuten mit der Lösung.“ Albert Einstein

des angestrebten Systemzustandes) sowie das WIE, der zu beschreitende Lösungsweg festgelegt. Nach Leistungserbringung wird das erreichte Ergebnis (IST-Zustand nach Veränderung) dem angestrebten Zustand (SOLL) gegenübergestellt und die ggf. vorhandene, wahrnehmbare Abweichung zwischen IST und SOLL (Δ) bewertet. Die Ergebnisbewertung der Entscheidungsebene, die Kontrolle der erbrachten Leistung, ist wiederum Grundlage für darauf aufbauende Entscheidungen und Leistungen.

Dieses Prozessprinzip von Entscheidung \rightarrow Leistung \rightarrow Kontrolle kann auf eine Vielzahl von Prozessen (ggf. auf alle) übertragen werden⁶, da eine Zustandsänderung innerhalb der Struktur bzw. des Unternehmens grundsätzlich eine Entscheidung und das zur Herstellung des angestrebten Zielzustandes notwendige Handeln (Leistung) voraussetzt. Dementsprechend werden mit dem Retrofitting beide Ebenen der Entscheidung und Leistung adressiert.

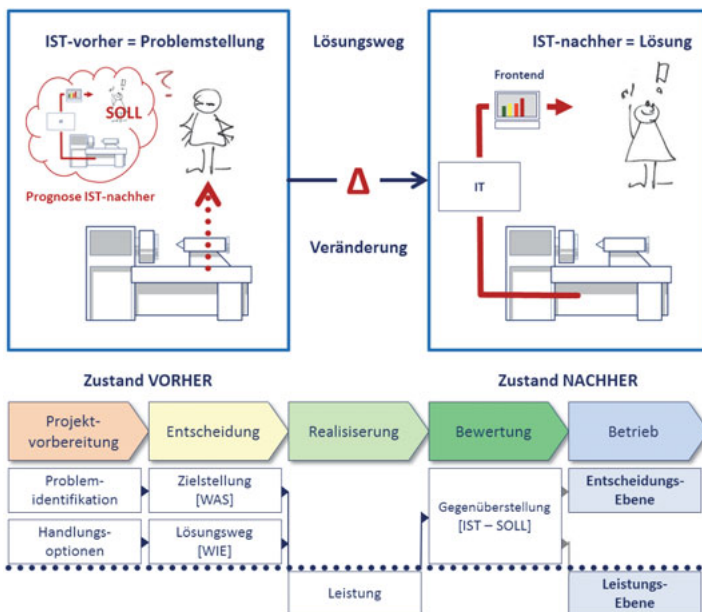


Abbildung 7: Vereinfachte Sicht auf die Entscheidungs- und Leistungsebene

⁶ Der Zielzustand des Retrofitting von Maschinen und Anlagen selbst ist das Ergebnis einer oder mehrerer Entscheidungen und der darauffolgenden Umsetzung durch die Leistungserbringung

2.3.5 Datensicht

In der Entscheidungs- und Leistungsperspektive sind die Qualität, Quantität und der zeitliche Kontext der Verfügbarkeit der zugrundeliegenden Daten ein wesentlicher Faktor für die Ergebnisqualität. Die durch das Retrofitting generierten Daten repräsentieren insbesondere die Zustände von Maschinen und Anlagen und verbessern damit die Möglichkeit in der Wahrnehmung, Beschreibung und Analyse der Ausgangssituation, die Rahmenbedingungen als Grundlage von Entscheidungen.

Darüber hinaus können die Daten in einer Vielzahl von Prozessen direkt zur Unterstützung der Leistungsebene bereitgestellt werden. Letztendlich werden auch in der Leistungsebene wieder Entscheidungen getroffen, die als Grundlage einzelner Teilleistungen dienen. Die Daten werden dementsprechend im Kontext der Entscheidungs- und Leistungsebene direkt in die Projektstruktur eingebunden.

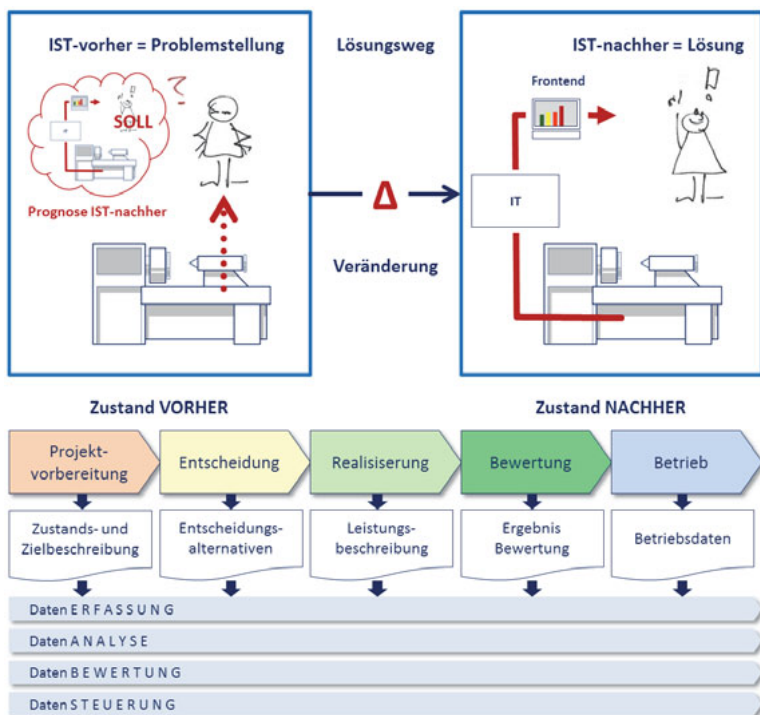


Abbildung 8: Vereinfachte Sicht auf die Daten in der Projektperspektive

Darüber hinaus sind die Generierung und Bereitstellung der Daten selbst Zielstellung und Ergebnis des Retrofitting. Mit Hilfe des Retrofittings werden Daten erzeugt, die den Zustand und das Verhalten einer oder mehrerer Maschinen oder Anlagen repräsentiert. Dementsprechend ist die Maschine der Ausgangspunkt für den Pfad der Datenübertragung, von dem aus die Daten an den jeweiligen Nutzer/Bedarfsträger weitergegeben und für die diesen bereitgestellt werden. Im Sinne des Prinzips der Datenverarbeitung haben wir damit im Übertragungsprozess zwei relevante Endpunkte, die betrachtet werden können: Die Datenquelle und das Ziel. Dazwischen liegt ein Übertragungsprozess, der einfach oder komplex, z.B. über mehrere datentechnische Instanzen sein kann.

Das Quellsystem (QS), der Endpunkt kann eine ggf. vorhandene Maschinensteuerung oder ein zu montierender Sensor sein. Das Zielsystem (ZS) ist der Anwender auf der Fachebene bzw. auf dem Hallenboden. Da der Empfänger vom Quellsystem nicht direkt adressiert werden kann, benötigt man zwischen Quell- und Zielsystem eine weitere, vermittelnde Instanz, den Konnektor. Dieser stellt den oder die jeweiligen Wert(e) bereit, die über einen bestimmten Kommunikationskanal dem Anwender zur Verfügung gestellt wird. In den meisten Fällen der Anwendung ist das eine grafisch gestaltete Anwendungsoberfläche, die optisch Daten bereitstellt (Frontend/HMI o.ä.).

Übertragen wir das Prinzip auf einen allgemeingültigen Anwendungsfall, so haben wir folgende Sicht auf folgende Bausteine in der Datendurchgängigkeit:



Abbildung 9: Vereinfachte Sicht des Datenflusses im Retrofitting

Dieses Prinzip der Darstellung beschränkt sich auf die Bereitstellung eines einzelnen Wertes für den Anwender. Für den konkreten Anwendungsbedarf in der Praxis ist es darüber hinaus notwendig, nicht nur den einzelnen Wert zu betrachten. Dieser muss im Kontext von Entscheidung und Leistung mit weiteren Daten bzw. Werten zusammengeführt und in Beziehung gesetzt werden. Erst damit entstehen für den Anwender eine konkrete Information und Wissen. Diese Funktion wird durch den „Mehrwertdienst“ (MWD) erfüllt. Dieser Dienst stellt alle relevanten Werte im Sinne von Faktoren, Kennzahlen u.a.m. zur Unterstützung der Entscheidungs- und Leistungsebene zur Verfügung. Vereinfachte Sicht auf die Datenbereitstellung mit Hilfe des Retrofitting.

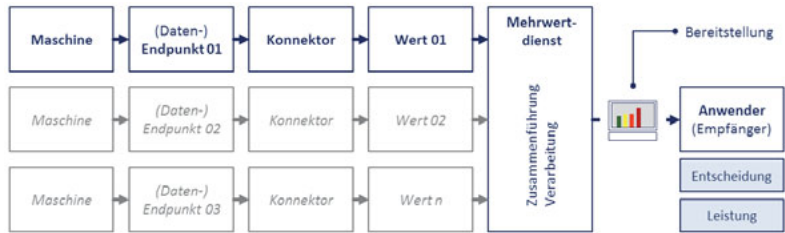


Abbildung 10: Zusammenführung der Werte in einen Mehrwertdienst

2.4 Methodische Konzepte/Vorgehensmodelle

2.4.1 Überblick

Im Sinne der Vereinfachung erscheint es sinnvoll, auch die Bandbreite möglicher Gestaltungsoptionen des Lösungsweges auf eine überschaubare Bandbreite einzuschränken. Diese Einschränkung ist naheliegend, da mit dem Retrofitting die gleiche oder analoge Problem- und Zielstellung adressiert wird.

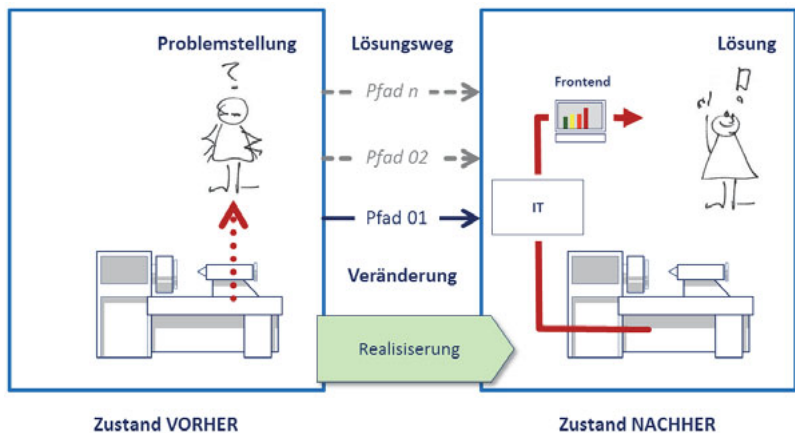


Abbildung 11: Vereinfachte Sicht auf die Datenbereitstellung mit Hilfe des Retrofitting

Im Grunde unterscheiden sich die Vorgehensweisen maßgeblich nur durch den bereits vorhandenen Reifegrad und die zugrundeliegenden Erfahrungswerte im Unternehmen.

Daraus resultieren mehrere Ziel- und Gestaltungsoptionen sowie unterschiedliche Bedarfe und Anforderungen an die Technik und die Kompetenz. Folgende Pfade bieten sich im Sinne eines ersten, einfachen Vorgehensmodells an:

Tabelle 1: Alternative Pfade des Retrofittings

Pfad	Problemstellung	Zielstellung	Ausprägung	Projekttyp
01	Bisher keine im Retrofitting Erfahrung vorhanden	Durchführung eines ersten Retrofitting-Projekts	Minimalvariante	Initialisierung
02	Fehlende Wirksamkeit der Retrofitting-Maßnahmen	Multiplikation der Erfahrung im Unternehmen	Roll Out	Hackathon
03	Einfache Reproduzierbarkeit	Systematisierung der Retrofitting-Prozesse	Formalisierung	Plattform

Allen drei Lösungswegen ist gemein, dass das Retrofitting mit einem reduzierten Aufwand (Ressourcen, Kosten, Zeit) im Sinne des Überwindens der verringerten Einstiegs-hürde erreicht werden soll bzw. werden kann. Um die jeweiligen Zielstellungen auf dem kürzesten Wege zu erreichen, erfolgt eine Vereinfachung und Verdichtung des Vorgehens. Sollte das Vorgehen in der Organisationsentwicklung aufgrund ggf. vorhandener Komplexität an seine Grenzen stoßen, kann es ohne großen Aufwand in ein konventionelles Integrationsprojekt überführt und bedarfsgerecht erweitert werden.

Tabelle 2: Alternative Pfade des Retrofittings

Pfad	Problemstellung	Zielstellung	Ausprägung	Projekttyp
04	hohe Komplexität	Durchführung eines Retrofitting-Projekts	Maximalvariante	Integration konventionell

Technischer Standardpfad

Unabhängig von den pfadspezifischen Zielstellungen bleibt die zentrale Zielstellung des Retrofittings, der Datenbereitstellung von bisher datentechnisch nicht erschlossenen Maschinen und Anlagen bestehen. Dafür soll dem Anwender auf dem Hallenboden Daten von der jeweiligen Maschine oder Anlage über ein Frontend (Anwenderoberfläche/HMI) bereitgestellt werden. Für die Lösung sind grundsätzlich mehrere technische

Komponenten sowie datentechnische Lösungsbausteine notwendig, die miteinander verbunden werden müssen. Grundsätzlich lässt sich die Lösung vereinfacht wie folgt darstellen:

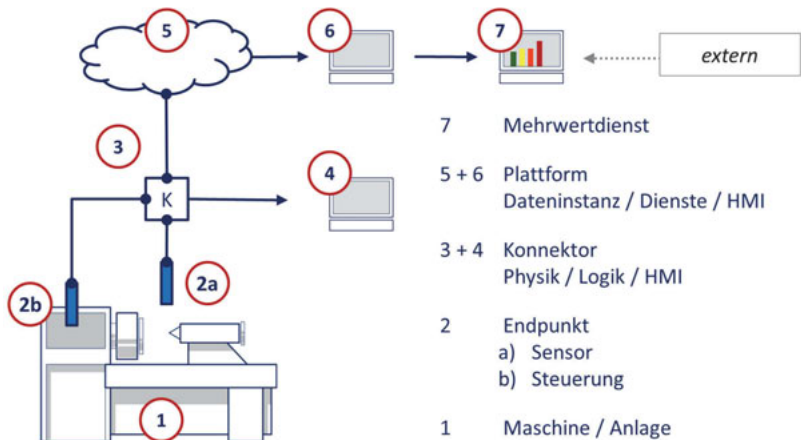


Abbildung 12: Vereinfachtes Systemschema RetroNet

Damit konzentriert sich die folgende Darstellung zu dem jeweiligen Lösungsweg auf die mögliche Gestaltung dieses Umsetzungskonzeptes unter Berücksichtigung weiterer wesentlicher Faktoren wie Aufwand, Nutzen, Kompetenz u.a.m.

Referenzpfade

Mit der folgenden detaillierteren Darstellung der einzelnen beispielgebenden Pfade wurde versucht, in Rücksicht auf die Verständlichkeit eine einfache und gute Nachvollziehbarkeit zu ermöglichen. Die zusammengestellten Inhalte geben einen ersten Einstiegspunkt zum jeweiligen methodischen Vorgehen und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die zusammengestellten Informationen und Werte, z.B. der Aufwands- und Nutzenabschätzung stellen Beispiel- bzw. Referenzwerte dar. Im jeweils Anwendungsfall sind diese auf Vergleichbarkeit zu prüfen und im Sinne der realen Bedingungen und Zustände anzupassen. Das Konzept sollte idealerweise in der realen Praxis adaptiert, durch eigene Anforderungen und Erfahrungen in der Umsetzung ergänzt bzw. erweitert werden und so die kurz-, mittel- und langfristige Organisationsentwicklung unterstützen.

2.4.2 Initial-Projekt



[01] Problemstellung

Für das Vorgehen des Initialprojekts wird davon ausgegangen, dass im Unternehmen bisher keine im Erfahrung und Retrofitting vorhanden sind. Damit fehlen im Unternehmen neben den technischen Voraussetzungen vor allem Erfahrungen in der Abfolge in der Umsetzung und in der Nutzung der technischen Komponenten.

[02] Zielstellung

Im Initialprojekt soll insbesondere die o.g. Defizite kompensiert und ausgeglichen werden. Dazu soll eine erste, einfache und lauffähige Retrofitting-Konfiguration eingerichtet werden. Auf Basis dieser kann eine erste Bewertung der Wirkung des Retrofittings und mögliche Folgeaufwände abgeleitet werden. Folgende Teilziele werden angestrebt:

Zielstellungen in der Organisation sind u.a.:

- Ermittlung der Machbarkeit anhand einer ersten konkreten technischen Umsetzung
- Erstabschätzung von Aufwand/Nutzen (Kosten/Ertrag = Äquivalent €)
- Ermittlung Status ggf. notwendiger Kompetenz (Stärken/Defizite bzw. Schwächen)
- Identifikation ggf. einfach zu ermittelnder, bereits vorhandener potentieller Risiken

Technische Zielstellungen sind u.a.

Teilziel 01: Erreichen einer ersten Datenbereitstellung auf der Ebene des Konnektors
(siehe Abbildung 12, Punkt 1-4)

Teilziel 02: Erreichen einer ersten Datenbereitstellung auf der Ebene der Plattform und Verbindung zu einfachen Mehrwertdiensten [optional] (siehe Abbildung 12, Punkt 3-7)



[03] Erarbeitung von Entscheidungs- und Handlungsalternativen

Zur Entscheidungsfindung ist eine Reihe von Vorbetrachtungen naheliegend, die eine erste Bewertung der Ausgangssituation und die Darstellung eines möglichen

Entscheidungs-, Handlungs- und Zielspektrums zulassen. Folgende Aspekte sollten u.a. dabei Berücksichtigung finden:

- Bewertung der Ausgangssituation
- Aktueller Status der vorhandenen Technik = IST Maschine bzw. Anlage
- Aktueller Status der vorhandenen Ressourcen zur Umsetzung
- Verfügbare Mitarbeiter (Zeit, Kompetenz)
- Verfügbare technische Komponenten zur Umsetzung (Hard-/Software → ggf. Beschaffung)
- Identifikation ggf. erster Potentiale in der Nutzung
- Nutzenabschätzung möglich? → JA/NEIN → ggf. erste Prognose
- Betrachtung ggf. möglicher Umsetzungsalternativen
- Betrachtung und Bewertung technischer Umsetzungsoptionen

Aufwands- und Kostenabschätzung

Mit dem Initialprojekt wird die Reduktion auf einen möglichen Minimalaufwand angestrebt. Folgende Werte können als Referenzwerte zur ersten Orientierung⁷ dienen:

Laufzeit/Dauer:	1 Tag
Notwendige Anzahl Mitarbeiter:	1
Kompetenz:	Universalkenntnisse IT bzw. Integrator
Zu planendes Budget:	~1.000 - 5.000 € (Beispielkalkulation, siehe Kap. 2.5.2, Aufwand und Kosten)

Nutzenbetrachtung

Im Initialprojekt steht eine erste Umsetzung des Retrofittings im Vordergrund. Hierbei empfiehlt es sich, eine möglichst einfache, gut umsetzbare technische Lösung anzustreben. Ein erster wesentlicher Nutzen besteht im Nachweis der Machbarkeit und einer ersten Abschätzung der unternehmensinternen Kompetenz. Darüber hinaus sollte es bei einer ersten Umsetzung aufgrund der gewonnen Daten möglich sein, erste Aussagen zu einem oder mehrerer ausgewählter Werte, wie z.B. Betriebszustand (0/1) oder

⁷ Die Werte stellen eine erste Beispielkalkulation von Aufwänden und Kosten auf Grundlage der Projekterfahrungen aus dem FuE-Projekt RetroNet dar. Diese Werte können ggf. je nach konkretem Anwendungsfall abweichen und sollten im Kontext des Aufbaus eigener Unternehmenswerte im Sinne von Kennzahlen und Benchmarks ermittelt und weitergeführt werden.

Luftfeuchtigkeit (x %) zu treffen und Korrelationen zu dem Zeitverhalten herzustellen (siehe auch Kap. 2.5.3, Mehrwert und Nutzen).

[04] Entscheidung

Vor Umsetzung sollten alle relevanten Entscheidungen getroffen werden. Diese umfassen u.a.:

- Auswahl der konkreten Maschine bzw. Anlage für das erste Retrofitting
- Festlegung welcher Bedarf adressiert werden soll (Unterstützung der Ebene: Entscheidung / Leistung)
- Festlegung der einzubeziehenden Ressourcen
- Mitarbeiter (Kompetenz)
- Auswahl zu verwendende Komponenten (Physik, Software I/II)
- Entscheidung über das weitere Vorgehen auf dem Projektpfad



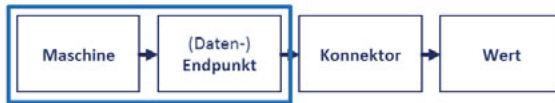
[05] Realisation

In dem Projektschritt der Realisation wird die Minimalkonfiguration der technischen Umsetzung und die Datendurchgängigkeit von der Maschine zum Wert hergestellt. Dazu erfolgt die Erstanbindung auf der physikalischen und logischen Ebene mit Hilfe der vorhandenen technischen Komponenten. Nach Herstellung der Datendurchgängigkeit sollten erste Werte mit Hilfe der Dienste generiert und visualisiert werden können. Die Anbindung erfolgt dabei in folgenden Teilschritten:

- [05.01] Anbindung Maschine → Sensor (physikalisch)
- [05.02] Anbindung Sensor → Konnektor (physikalisch/logisch)
- [05.03] Generierung und Visualisierung des ersten Wertes (logisch)
- [05.04] Anbindung Konnektor → Plattform (logisch) *optional*

Die Teilschritte lassen sich wie im Folgenden beispielhaft untersetzt umsetzen:

[05.01] Anbindung Maschine → Sensor (physikalisch)⁸



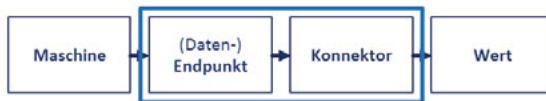
Anbindung Physik

- Maschine: Festlegung Zugangs-bzw. Montagepunkt
- Sensor: Montageprinzip⁹

Anbindung Logik

- Maschine: --
- Sensor: Bereitstellung Firmware/Treiber/Dienstprogramme

[05.02] Anbindung Sensor → Konnektor



Anbindung Physik

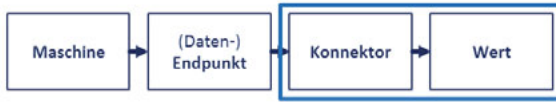
- Sensor: Montage- bzw. Steckprinzip nach Verbindungstyp
- Konnektor: Montage- bzw. Steckprinzip nach Verbindungstyp
- Inbetriebnahme Konnektor/Sensor

Anbindung Logik

- Konfiguration Konnektor / Logische Verbindung zum Sensor herstellen
- Konfiguration Sensor / Konfiguration Verbindung Konnektor/Sensor

⁸ Zusammenstellung ggf. nach Bedarf und Erfordernis adaptieren, ergänzen o.ä.

⁹ Siehe Leitfaden Sensorik VDMA

[05.03] Ableitung/Erzeugung des Wertes*Anbindung Physik*

Konnektor/Wert: --

Anbindung Logik

Konnektor/Wert: Generierung und Visualisierung des ersten Wertes

- Auswahl, Konfiguration und Initialisierung des gewünschten Dienstes
- Festlegung des visuellen Erscheinungsbildes
- Starten des Dienstes

[05.04] Anbindung Konnektor → Plattform (logisch) optional*Anbindung Physik*

Konnektor/Plattform: Netzwerkverbindung herstellen

Anbindung Logik

Plattform: Mehrwertdienst bereitstellen

- Anmeldung an Plattform
- Datentransfer Konnektor → Plattform sicherstellen (konfigurieren, initialisieren, ...)
- Mehrwertdienst erstellen (ggf. aus Bibliothek auswählen)
- Datenquelle der einzubindenden Werte definieren und konfigurieren
- Festlegung des visuellen Erscheinungsbildes
- Mehrwertdienst konfigurieren, initialisieren, bereitstellen
- Starten des Mehrwertdienstes



[06] Ergebnis und Ergebnisbewertung

Als Ergebnis sollten folgende Resultate vorliegen bzw. sollten folgende Erkenntnisse erarbeitet worden sein:

- Machbarkeit kann nachgewiesen werden JA/NEIN/JA aber
- Erste Grobabschätzung von Aufwand/Nutzen Kosten/Potentiale ist möglich und liegt vor
- Status der vorhandenen Kompetenz (Stärken/Defizite bzw. Schwächen) für die Umsetzung liegt vor
- Mögliche Optionen zur Kompensation bzw. zum Ausgleich fehlender Voraussetzungen für das Retrofitting liegen vor oder können abgeleitet werden
- Eine erste Ableitung von repräsentativen Kennzahlen kann für das Projekt vorgenommen werden (Input bzw. Benchmark für Folgeprojekte)
- Die Wahrnehmungsfähigkeit möglicher Risiken wurde verbessert
- Nach Bedarf und Anforderung adaptieren, ergänzen o.ä.



[06] Weiternutzung im Betrieb

Parallel zu dem jetzt ggf. darauf aufsetzenden Rollout kann die erste hergestellte Instanz nun ausgebaut werden. Dazu werden die geschaffenen Mehrwertdienste qualitativ wie quantitativ angereichert. Dazu bietet es sich an, die Dienste mit den konkreten Bedarfen und Anforderungen kontinuierlich zu synchronisieren.

2.4.3 Hackathon = Low Hanging Fruits



[01] Problemstellung

In der Ausgangssituation für die Umsetzung eines ersten Hackathons wird davon ausgegangen, dass im Unternehmen eines oder mehrere Initialisierungsprojekte(s) erfolgreich durchgeführt werden konnte(n). Damit stehen dem Unternehmen erste Erfahrungen sowie technische Voraussetzungen zur Umsetzung des Retrofittings zur Verfügung. In diesem

Zustand ist mit einer hohen Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass ein Überblick über die möglichen zu erschließenden Nutzenpotentiale noch nicht vorhanden ist.

[02] Zielstellung

Mit der Übertragung des Prinzips des Hackathons¹⁰ als Bestandteil des methodischen Konzeptes sollen insbesondere folgende Zielstellungen erreicht werden:

Zielstellungen in der Organisation sind u.a.

- Multiplikation der Erfahrung und Kompetenz im Unternehmen
- Sensibilisierung und systematische Einbindung der Fachebene(n)
- Identifikation und Adressierung relevanter Anforderungen und Bedarfe
- Identifikation und systematische Erschließung relevanter, leicht zugänglicher Nutzenpotentiale (Low-Hanging-Fruits)
- Konsolidierung und Erweiterung der Aufwands- und Nutzenabschätzung
- Multiplikation der Digitalisierungsmaßnahmen (Roll Out)
- Befähigung und Kompetenzerweiterung, Wissensvermittlung und Konsolidierung

Technische Zielstellungen sind u.a.

- Konsolidierung und Erweiterung der bisherigen technischen Lösung
- Erhöhung der technischen Komplexität und Variabilität (z.B. Anbindung Maschinensteuerung o.ä.)



[03] Erarbeitung von Entscheidungs- und Handlungsalternativen

Zu Beginn des Hackathons ist es ausgesprochen hilfreich, in der Projektphase der Entscheidungsvorbereitung eine gleiche Perspektive der Beteiligten auf die Ausgangssituation, Problemstellungen und Potentiale herzustellen. Dazu kann als eine erste Orientierung folgendes Fragenspektrum einbezogen und ggf. nach Bedarf erweitert werden:

¹⁰ Ziel eines Hackathons ist es, innerhalb der Dauer dieser Veranstaltung gemeinsam nützliche, kreative oder unterhaltende Softwareprodukte herzustellen oder, allgemeiner formuliert, Lösungen für gegebene Probleme zu finden. Die Teilnehmer kommen bei Software-Hackathons üblicherweise aus verschiedenen Gebieten der Software- oder Hardwareindustrie und bearbeiten ihre Projekte häufig in funktionsübergreifenden Teams. Hackathons haben immer ein spezifisches Thema oder sind technologiebezogen. Wikipedia

- Welche Problemstellungen sind vorhanden?
- Welche Daten bzw. Informationen sind notwendig, um die Problemstellung richtig zu identifizieren und zu definieren?
- Welche Daten haben einen hohen Informationsgehalt und eine entsprechend hohe Relevanz für die Prozesse, die Qualität, Entscheidungen, Leistungen u.a.m.
- Wie kann welche Ebene (Entscheidung, Leistung, Rolle o.ä.) bei welchen Prozessen durch Bereitstellung welcher Information unterstützt werden?
- Welcher konkrete Nutzen kann durch welche Daten bzw. Information generiert werden?
- Welche Entscheidungen haben welche Priorität?

Dazu bietet es sich an, die Aspekte zur Entscheidungsfindung analog dem Initialprojekt einzubeziehen und wie folgt zu erweitern:

- Bewertung der Ausgangssituation
- Erfassung möglicher Handlungsfelder für das Retrofitting
- Aktueller Status der in ggf. unterschiedlichen Bereichen vorhandenen Technik
- = IST Maschine bzw. Anlage
- Aktueller Status der vorhandenen Ressourcen zur Umsetzung
- Verfügbare Mitarbeiter (Zeit, Kompetenz)
- Verfügbare technische Komponenten zur Umsetzung (Hard-/Software → ggf. Beschaffung)
- Identifikation und Systematisierung von relevanten Potentialen (Hauptprobleme)
- Abschätzung, Gegenüberstellung und Bewertung der Potentiale
- Betrachtung ggf. möglicher Umsetzungsalternativen
- Betrachtung und Bewertung technischer Umsetzungsoptionen
- Priorisierung der Problemstellungen und möglichen Lösungskonzepte

Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und kann nach Bedarf und Anforderung adaptiert und ergänzt werden.

Zur zielgerichteten Erarbeitung möglicher Gestaltungsoptionen bietet es sich an, auf das Spektrum an methodischen Konzepten wie z.B. Management- und Kreativitätstechniken (ABC-, Pareto-Analyse, Brainstorming, 635 u.a.m.) zurückzugreifen.¹¹

¹¹ Die Vielzahl der Methoden und deren Anwendung findet sich in der einschlägigen Fachliteratur

Aufwands- und Kostenabschätzung

Mit dem Hackathon werden die ggf. unterschiedlichen Perspektiven der Fachebenen einbezogen. Dementsprechend wird der Personenkreis erweitert und durch Moderation gesteuert. Folgende Werte dienen für eine erste Orientierung als Referenzwerte¹²:

Laufzeit/Dauer:	1 - 5 Tag(e)
Notwendige Anzahl Mitarbeiter:	2 – 6
Kompetenz:	IT bzw. Integrator / Fachdomäne / Moderation
Zu planendes Budget:	~2.000 - 25.000 € (Beispielkalkulation, siehe Kap. 2.5.2, Aufwand und Kosten)

Nutzenbetrachtung

Beim Hackathon steht die Identifikation und die zeitnahe, möglichst einfach Erschließung relevanter Nutzenpotentiale im Vordergrund (Low-Hanging-Fruits). Die Sicht und Bewertung des Nutzens kann beim Hackathon je nach Rolle und Funktion der Beteiligten ein vielfältiges, schwer abgrenzbares Spektrum umfassen. Das Spektrum umfasst hierbei eine Vielzahl von Faktoren wie z.B. die der Prozessoptimierung, der Strukturverbesserung, Entscheidungs- und Leistungsunterstützung. Die Sicht auf das Spektrum und repräsentativen Faktoren ist immer an eine Domänenperspektive (Produktion, Logistik, Betriebswirtschaft u.a.m.) gebunden. Ausgewählte Faktoren und damit verbundene Nutzenpotentiale können in Relation gesetzt, bewertet und als Grundlage für die Entscheidungs- und Umsetzungsoptionen herangezogen werden (siehe auch Kap. 2.5.3, Mehrwert und Nutzen).

[04] Entscheidung

Vor Umsetzung sollten analog zum Initialprojekt alle relevanten Entscheidungen getroffen werden. Diese umfassen u.a.:

- Auswahl eines konkreten Anwendungsfalls (Problemstellung der Fachabteilung bzw. Domäne) der umgesetzt werden soll
- Festlegung der Zielstellung

¹² Die Werte stellen eine erste Beispielkalkulation von Aufwänden und Kosten auf Grundlage der Projekterfahrungen aus dem FuE-Projekt RetroNet dar. Diese Werte können ggf. je nach konkretem Anwendungsfall abweichen und sollten im Kontext des Aufbaus eigener Unternehmenswerte im Sinne von Kennzahlen und Benchmarks ermittelt und weitergeführt werden.

- Festlegung der einzubeziehenden Ressourcen
- Mitarbeiter (Kompetenz)
- Zeitrahmen
- Auswahl ggf. optional zu nutzendes Spektrum an Komponenten (Physik, Software u.a.)



[05] Realisation

Im Hackathon bietet es sich an, die Abfolge der technischen Umsetzung analog dem Initialprojekt zu gestalten und nach Bedarf und Anforderung zu erweitern:

- [05.01] Anbindung Maschine → Sensor (physikalisch)
- [05.02] Anbindung Sensor → Konnektor (physikalisch/logisch)
alternativ Anbindung Steuerung → Konnektor (physikalisch/logisch)
- [05.03] Generierung und Visualisierung des ersten Wertes (logisch)
- [05.04] Anbindung Konnektor → Plattform (logisch) *optional*

Diese Schrittfolge kann für die Umsetzung von Gestaltungsoptionen sequenziell oder in themenspezifischer Gruppenarbeit parallel durchlaufen werden. Wichtig ist hierbei im Gegensatz zum Initialprojekt, dass die Betrachtung des Aufwand-/Nutzenaspekt kontinuierlich einbezogen und als Grundlage für weitere Entscheidungen und Umsetzungssequenzen im Sinne der Multiplikation herangezogen wird.



[06] Ergebnis und Ergebnissbewertung

Als Ergebnis sollten u.a. folgende Resultate vorliegen bzw. sollten folgende Erkenntnisse erarbeitet worden sein:

- Identifikation und Umsetzung von Themen und Problemstellungen mit einer möglichst hohen Aufwand/Nutzen-Korrelation (Grenze durch die Machbarkeit im vordefinierten Zeitraum)
- Mindestens ein konkreter Anwendungsnutzen ist umgesetzt worden
- Eine konkrete anwendungsfallbezogene Abschätzung von Aufwand/Nutzen bzw. Kosten/Potentialen kann im Sinne einer Quantifizierung vorgenommen werden

- Ein weitergehender Blick auf die Potentiale im Sinne der Weiterführung und Übertragbarkeit ist vorhanden, ggf. Identifikation möglicher größerer Nutzenpotentialen (größere Komplexität und Anforderungen) (, die durch weiterführende, leistungsinintensivere Projekte (etablierte Methoden der Projektrealisation) erschlossen werden können
- Die Kompetenzen, Bewertungs- und Entscheidungsfähigkeit sowie die Kollaborationsfähigkeit im Unternehmen wurden gestärkt
- Repräsentativen Kennzahlen für die konkreten Anwendungsfälle können abgeleitet werden



[06] Weiternutzung im Betrieb

Die jetzt breitbandig durchgeführte Anbindung des Maschinen- und Anlagenbestandes bietet die Möglichkeit, Betriebsdaten zusammenzuführen und in einer weiteren Ausbaustufe auf mögliche Potentiale zu untersuchen. Die Datenbasis kann somit eine Vielzahl von Prozessen unterstützen und kontinuierlich ausgebaut werden.

2.4.4 Plattformgestütztes Retrofitting



[01] Problemstellung

Mit den bisher beschriebenen Lösungswegen der Initialisierung und Rollout, wie selbst im Kontext konventioneller Systemintegration werden insbesondere ausgewählte, eigenständige Problemstellungen durch das Retrofitting adressiert und dafür problemspezifische, einzelne Lösungen generiert. Im Sinne der Wiederverwendbarkeit und der Multiplikation wäre es wünschenswert, diese Ergebnisse systematisch zusammenzuführen und formalisiert für folgende, darauf aufbauende Umsetzungsszenarien zur Verfügung bereitzustellen. Erste und einfache Möglichkeiten bieten sich für die Vervielfältigung u.a. durch Paste and Copy oder konventionelle Dokumentationsverfahren. Diese Verfahren sind jedoch in ihrer Adaption- und Leistungsfähigkeit begrenzt. Bei Zunahme der zu verwaltenden Lösungskomponenten nimmt die Komplexität zu und eine Vielzahl an anwendungsrelevanten Relationen geht damit meistens verloren.

[02] Zielstellung

Mit der Übertragung und Zusammenführung der Ergebnisse in eine zentrale Dateninstanz (RetroNet-Plattform) sollen folgende Zielstellungen erreicht werden:

Zielstellungen in der Organisation sind u.a.

- Die strukturierte, systematisierte, formalisierte und konsistente Zusammenführung der Ergebnisse konkreter realisierter Retrofitting-Vorhaben
- Die Schaffung einer Grundlage (perspektivisch ausbaufähig, dynamisch skalierbar usw.) und für eine vereinfachte, systematische und technisch-methodisch formalisierte Unterstützung von Retrofitting-Prozessen
- Die Unterstützung einer Vielzahl an Rollen und Sichten (operativ, strategisch, Sophia Entscheidungen, Leistungen u.a.m.) durch teilautomatisierte, kontextbezogene Bereitstellung von Informationen
- Erhebliche Beschleunigung und Kostenreduktion von Retrofitting-Vorhaben

Datentechnische Zielstellungen sind u.a.

- Die systematische Zusammenführung, Strukturierung und Sicherstellung der Persistenz der Datenbasis
- (Teil-)automatisierte Bereitstellung von Lösungsbausteinen
- Sicherstellung Wiederverwertbarkeit
- Bereitstellung von Diensten, Lösungsbausteinen, Bibliotheken und Katalogen
- Schnelle Reproduzierbarkeit und Adaptionfähigkeit bereits vorhandener datentechnischer Lösungen



[03] Erarbeitung von Entscheidungs- und Handlungsalternativen

Standen beim Initialprojekt der Einstieg und beim Hackerton eine möglichst zügige Multiplikation im Vordergrund, ist das plattformgestützte Retrofitting auf die Konsolidierung der bereits geschaffenen Lösungsbausteine ausgerichtet. Analog zum Initialprojekt sollte auch hierbei von der konkreten Ausgangssituation mögliche Entscheidungs- und Handlungsalternativen betrachtet werden. Dazu kann die Beantwortung folgender Fragenstellungen einen ersten Ausgangspunkt für die Betrachtung geben:

- Gibt es ausreichend viele Anwendungsfälle, die für eine Systematisierung geeignet sind?
- Welche Lösungsbausteine lassen sich am besten durch Formalisierung weiterverwenden?
- Wie können die vorhandenen wie potentiellen Lösungen am besten strukturiert und systematisch aufgebaut werden?
- Welches sind die einfachen und welche die komplexen Lösungen bzw. Lösungsbausteine?
- Kann ggf. ein externes Lösungsspektrum einbezogen werden?

Es empfiehlt sich, diese exemplarischen Fragestellungen im Sinne der konkreten, unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen nach Bedarf zu ergänzen und weiterzuentwickeln. Darüber hinaus können auch die Fragestellungen, die bereits im Kontext des Hackertons formuliert worden sind, einbezogen werden. Analog dazu können auch die bereits aus dem Initialprojekt und dem Hackerton bekannten Aspekte in der Erarbeitung der Entscheidungs- und Handlungsalternativen adaptiert und erweitert werden. Folgende Zusammenstellung gibt einen ersten Einstiegspunkt:

- Bewertung der Ausgangssituation
- Aktueller Status der bereits erarbeiteten vorhandenen Lösungen
- Identifikation der Potentiale durch ggf. Formalisierung und Übertragbarkeit
- Abschätzung, Gegenüberstellung und Bewertung der Potentiale
- Aktueller Status der vorhandenen Ressourcen zur Umsetzung
- Verfügbare Mitarbeiter (Zeit, Kompetenz)
- Verfügbare technische Komponenten zur Umsetzung (Hard-/Software → ggf. Beschaffung)
- Betrachtung ggf. möglicher Umsetzungsalternativen (Physik/Logik)
- Betrachtung und Bewertung technischer Umsetzungsoptionen
- Priorisierung der Problemstellungen und möglichen Lösungskonzepte

Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sollte nach Bedarf und Anforderung adaptiert und ergänzt werden.

Aufwands- und Kostenabschätzung

Mit der plattformgestützten Realisation werden bereits generierte Lösungsbausteine systematisch zur Wiederverwendung zusammengeführt und für Folgeprojekte zur Verfügung gestellt. Hierbei hängen die Kosten maßgeblich von dem Reifegrad der in der

Plattform bereitgestellten Dienste und Lösungen ab. Es wird davon ausgegangen, dass mit dem Anwachsen der Anzahl an Diensten und Lösungsbausteinen der Aufwand in den Folgeprojekten signifikant sinkt. Folgende Werte dienen zur ersten Orientierung als Referenzwerte¹³:

Laufzeit/Dauer:	1 - 8 h (Zielstellung)
Notwendige Anzahl Mitarbeiter:	1
Kompetenz:	IT bzw. Integrator / Fachdomäne
Zu planendes Budget:	~200 - 5.000 € (Beispielkalkulation, siehe Kap. 2.5.2, Aufwand und Kosten)

Nutzenbetrachtung

Beim plattformgestützten Retrofitting wird ein Mehrwert aus der systematischen Zusammenführung und Multiplikation des in dem jeweils einzelnen Projekt generierten, impliziten empirischen Wissens angestrebt. Hierbei können aufgrund der verfügbaren Einordnung bisher erschlossener Nutzenpotentiale diese gewichtet und in der Gestaltung der Retrofitting-Strategie einbezogen werden. Die Nutzenpotentiale können hierbei nach Bedarf und Motivation organisationsintern wie -übergreifend identifiziert und erschlossen werden. Im Sinne der Methodik kann das plattformgestützte Verfahren als wesentlicher technologischer Baustein die anderen Pfade wesentlich unterstützen (siehe auch Kap. 2.5.3, Mehrwert und Nutzen).

[04] Entscheidung

Vor Umsetzung sollten alle relevanten Entscheidungen getroffen werden. Diese umfassen u.a.:

- Auswahl der konkreten Maschine bzw. Anlage für das erste Retrofitting
- Festlegung welcher Bedarf adressiert werden soll (Unterstützung der Ebene: Entscheidung / Leistung)
- Festlegung der einzubeziehenden Ressourcen
- Mitarbeiter (Kompetenz)

¹³ Die Werte stellen eine erste Beispielkalkulation von Aufwänden und Kosten auf Grundlage der Projekterfahrungen aus dem FuE-Projekt RetroNet dar. Diese Werte können ggf. je nach konkretem Anwendungsfall abweichen und sollten im Kontext des Aufbaus eigener Unternehmenswerte im Sinne von Kennzahlen und Benchmarks ermittelt und weitergeführt werden.

- Auswahl zu verwendende Komponenten (Physik, Software I/II)



[05] Realisation

In dem Projektschritt der Realisation wird die Minimalkonfiguration der technischen Umsetzung und die Datendurchgängigkeit von der Maschine zum Wert hergestellt. Dazu erfolgt die Erstanbindung auf der physikalischen und logischen Ebene mit Hilfe der vorhandenen technischen Komponenten. Nach Herstellung der Datendurchgängigkeit sollten erste Werte mit Hilfe der Dienste generiert und visualisiert werden können. Die Anbindung erfolgt dabei in folgenden Teilschritten:

- [05.01] Anbindung Maschine → Sensor (physikalisch)
- [05.02] Anbindung Sensor → Konnektor (physikalisch/logisch)
- [05.03] Generierung und Visualisierung des ersten Wertes (logisch)
- [05.04] Anbindung Konnektor → Plattform (logisch) *optional*

Die Teilschritte lassen sich wie im Weiteren beispielhaft unterteilt wie folgt umsetzen:

- Anmeldung an Plattform
- Datentransfer Konnektor → Plattform sicherstellen (konfigurieren, initialisieren, ...)
- Mehrwertdienst erstellen (ggf. aus Bibliothek auswählen)
- Datenquelle der einzubindenden Werte definieren und konfigurieren
- Festlegung des visuellen Erscheinungsbildes
- Mehrwertdienst konfigurieren, initialisieren, bereitstellen
- Starten des Mehrwertdienstes

Diese Schrittfolge kann für die Umsetzung mehrerer Gestaltungsoptionen sequenziell oder in themenspezifischer Gruppenarbeit parallel durchlaufen werden. Wichtig ist hierbei im Gegensatz zum Initialprojekt, dass die Betrachtung des Aufwand-/Nutzenaspekt kontinuierlich mit einbezogen wird und als Grundlage für weitere Entscheidungen und Umsetzungssequenzen im Sinne der Adaptionsfähigkeit herangezogen werden kann.



[06] Ergebnis und Ergebnissbewertung

Als Ergebnis sollten u.a. folgende Resultate vorliegen bzw. sollten folgende Erkenntnisse erarbeitet worden sein:

- Machbarkeit und Umsetzung des plattformgestützten Retrofittings ist potentiell und perspektivisch sinnvoll und wird umgesetzt
- Es ist eine datentechnische Basis für die strukturierte, systematisierte, formalisierte Umsetzung von weitergehenden Retrofitting-Aufgaben vorhanden
- Erste Ergebnisse konkreter realisierter Retrofitting-Vorhaben konnten konsistent zusammengeführt werden
- Eine Grundlage (perspektivisch ausbaufähig, dynamisch skalierbar usw.) und für eine vereinfachte, systematische und technisch-methodisch formalisierte Unterstützung von Retrofitting-Prozessen liegt vor
- Retrofitting-Vorhaben können schnell und mit geringem Aufwand an Zeit, Personal und Kosten realisiert werden



[06] Weiternutzung im Betrieb

Die jetzt breitbandig durchgeführte Anbindung des Maschinen- und Anlagenbestandes bietet die Möglichkeit, Betriebsdaten zusammenzuführen und in einer weiteren Ausbaustufe auf mögliche Potentiale zu untersuchen. Die Datenbasis kann somit eine Vielzahl von Prozessen unterstützen und kontinuierlich ausgebaut werden.

2.5 Aufwands- und Nutzenbetrachtung



2.5.1 Zwischen operativem Ad-Hoc-Effekt und strategischer Organisationsplanung

Das Retrofitting ist nicht Selbstzweck, sondern ordnet sich idealerweise positiv in die, dem wirtschaftlichen Erfolg verpflichtete Entwicklung des Unternehmens ein. Die Effekte die durch das Retrofitting erreicht werden können, liegen hier in der gesamten

Bandbreite des Spannungsfeldes zwischen den operativen und strategischen Problem- bzw. Aufgabenstellungen im Unternehmen. Im operativen Kontext will man mit möglichst geringem Aufwand zeitnah einen ersten, fassbaren Effekt erzielen und daraus einen möglichst praxisnahen, problembezogenen Nutzen ziehen. Problemstellungen die hier adressiert werden sind z.B. die fehlende Transparenz bei der Maschinenauslastung, der Verfügbarkeit von Ressourcen, dem Bearbeitungsstand von Aufträgen u.a.m. Im strategischen Kontext kann das Retrofitting in Richtung Digitalisierung der Unternehmensprozesse weitergedacht werden, wichtige Informationen von der Shop-Flor-Ebene bereitstellen, an übergeordnete Instanzen übergeben und eine Vielzahl von Entscheidungs- und Leistungsprozessen unterstützen.

Diese beiden Endpunkte von operativ und strategisch, lohnt es sich grundsätzlich zusammenzudenken. Somit kann von dem einmalig erreichten Effekt in der operativen Ebene ausgehend, eine strategische Entwicklung unterstützt und ausgebaut werden. Die datengestützte Reproduzierbarkeit bietet dafür beste Voraussetzungen. Die systematische Multiplikation führt darüber hinaus zu dem Effekt, dass sich der Aufwand für die Folgeprozesse in der Integration Schritt für Schritt verringert. In der Folge kann die strategische Ausrichtung in der Breiter und/oder in der Tiefe erfolgen.

Tabelle 3: Umsetzung in der Bandbreite und Tiefe

Level		Ma- schine 01	Ma- schine 02	Ma- schine 03	Ma- schine ...	Ma- schine n
01	Funktionsspektrum einfach					
02	...					
03	Funktionsspektrum komplex					
04	Integration statisch					
05	...					
06	Integration dyna- misch					

Grundsätzlich ist unabhängig von der operativen oder strategischen Ausrichtung davon auszugehen, dass mit dem Retrofitting immer ein Aufwand und Kosten verbunden sein werden. Der Aufwand beginnt hierbei bereits mit der ersten Wahrnehmung und Auseinandersetzung mit der Themenstellung im Sinne der Entscheidungsvorbereitung und dem Projektvorlauf einer möglichen Umsetzung.

Demgegenüber wird aber auch ein Mehrwert bzw. Nutzen im Sinne eines ersten Minusmaleffekts entstehen: Die Erstabschätzung, inwieweit das Retrofitting für das Unternehmen sinnvoll oder nicht ist. Ggf. können schon erste Annahmen getroffen werden, ob, wie und in welcher Richtung ein Retrofitting sinnvoll erscheint und wie ein möglicher erster Umsetzungspfad zu gestalten sein kann. Damit wird eine erste, wenn auch mitunter noch verbesserungswürdige Grundlage für darauf aufbauende Entscheidungen im Sinne der Digitalisierung des Unternehmens geschaffen: Soll man den Pfad der Digitalisierung weiter beschreiten oder nicht und wenn ja wie? Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Retrofitting als „Enabler“ auf dem Weg Richtung Digitalisierung der Produktion dienen und hierbei einen wichtigen Beitrag leisten kann.

2.5.2 Aufwand und Kosten

Beschreitet man den Weg des Retrofittings, ist dieser grundsätzlich mit einem Aufwand an notwendiger Leistung und dafür notwendigen Ressourcen wie Mitarbeiter, Zeit, Physik und Logik, Technik, Hard- und Software, Programme, Dienste, externe Expertise u.a.m. verbunden. Die Kosten stellen einen etablierten Wertemaßstab (das ökonomische Äquivalent in Euro) zur Bewertung der Leistungen und Aufwendungen dar. Dieser Maßstab wird in die unterschiedlichen Szenarien einbezogen und erlaubt es, diese miteinander zu vergleichen. In der folgenden Tabelle sind die Kosten der in den vorangestellten Kapiteln ausgeführten Pfade beispielhaft gegenübergestellt.

Pos.		Initial-Projekt			Hackerton			Plattform			Integrationsprojekt (konventionell)		
		Kosten / EP	Anzahl / Zeit	Kosten	Kosten / EP	Anzahl / Zeit	Kosten	Kosten / EP	Anzahl / Zeit	Kosten	Kosten / EP	Anzahl / Zeit	Kosten
	Teilziel 01												
01.	Mitarbeiter												
	Anzahl		1			2-6			1			2-6	
	Stunden Mitarbeiter (min.)	100 € / h	8 h	~ 800 €	100 € / h	16 h	~ 1.600 €	100 € / h	1 h	~ 100 €	100 € / h	80 h	~ 8.000 €
	Stunden Mitarbeiter (max.)				100 € / h	240 h	~ 24.000 €				100 € / h	12.000 h	~ 120.000 €
02.	Technik (Einstiegspektrum)												
02.01.	Hardware (Physik)												
	Sensor (Low Level)	~ 50 €	1	~ 50 €	~ 50 €	1	~ 50 €	~ 50 €	1	~ 50 €	~ 50 €	1	~ 50 €
	Sensor (Industriestandard)	~ 500 €		~ 500 €	~ 500 €		~ 500 €	~ 500 €		~ 500 €	~ 500 €		~ 500 €
	Konnektor (Low Level)	~ 50 €	1	~ 50 €	~ 50 €	1	~ 50 €	~ 50 €	1	~ 50 €	~ 50 €	1	~ 50 €
	Konnektor (Industriestandard)	~ 1.500 €	1	~ 1.500 €	~ 1.500 €	1	~ 1.500 €	~ 1.500 €	1	~ 1.500 €	~ 1.500 €	1	~ 1.500 €
02.02.	Software (Logik)												
	Industrieanwendung Konnektor	---	1	---	---	1	---	---	1	---	---	1	---
	Teilziel 02 (optional)												
01.a	Mitarbeiter												
	Universal/Integrator (1)	100 € / h	8 h	~ 800 €									
02.a	Technik (Einstiegspektrum)												
02.03.	Software (Logik)												
	Plattform Bereitstellung der Dienste (Low Level)	~ 100 €	1	~ 100 €	~ 100 €	1	~ 100 €	~ 100 €	1	~ 100 €	~ 100 €	1	~ 100 €
	Plattform Bereitstellung der Dienste (Industriestandard)	~ 1.000 €	1	~ 1.000 €	~ 1.000 €	1	~ 1.000 €	~ 1.000 €	1	~ 1.000 €	~ 25.000 €	1	~ 25.000 €
	GESAMT (Teilziel 01)												
	von			~ 900 €									
	bis			~ 2.800 €									
	GESAMT (Teilziel 02)												
	von			~ 900 €									
	bis			~ 1.800 €									
	GESAMT												
	von			~ 900 €			~ 1.700 €			~ 200 €			~ 10.000 €
	bis			~ 5.000 €			~ 27.000 €			~ 3.000 €			~ 150.000 €

Abbildung 13: Beispielkalkulation der Kosten in Gegenüberstellung der einzelnen Verfahren

Um eine erste Vergleichbarkeit sicherzustellen, empfiehlt es sich, überschlägige Referenzwerte für die Betrachtung heranzuziehen, z.B. wurde in der obigen Tabelle für die Leistungsstunde eines Mitarbeiters ein Referenzwert von 100 € = angesetzt. Daraus weitergehende Werte sind:

Tabelle 4: Beispielkalkulation Referenzwerte Personalplanung

Zeit	1 Mann/Tag	1 Leistungsstunde	¼ Leistungsstunde	10 Leistungsminuten	1 Leistungsminute
Kosten	800 €	100 €	25 €	~ 17 €	~ 2 €

Diese Referenzwerte können u.a. für die Kalkulation eines möglichen Budgets für das Retrofitting herangezogen werden. Ausgehend von der Unternehmensgröße und des möglichen Umsatzes pro Jahr kann ein erster verfügbarer ökonomischer Rahmen umrissen werden. In der folgenden Tabelle ist das Spektrum in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße beispielhaft zusammengestellt.

UNTERNEHMEN									
Größe (Kategorie)	5 - 10	5 - 10	11 - 25		26 - 50		51 - 250		251 - ...
Anzahl MA	5	10	11	25	26	50	51	250	
Produkt									
Komplexität									
Diversität									
Jahresumsatz									
Ø absolut	400.000 €	1.000.000 €	1.100.000 €	3.000.000 €	3.250.000 €	12.000.000 €	12.500.000 €	50.000.000 €	
Ø MA	80.000 €	100.000 €	100.000 €	120.000 €	125.000 €	240.000 €	245.098 €	200.000 €	
Ø Gewinn									
Prozent / Jahr	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
GESAMT / Jahr	40.000 €	100.000 €	110.000 €	300.000 €	325.000 €	1.200.000 €	1.250.000 €	5.000.000 €	
Ø Gewinn / MA	8.000 €	10.000 €	10.000 €	12.000 €	12.500 €	24.000 €	24.510 €	20.000 €	
PROJEKT									
Wertsteigerung / Jahr									
Prozent / Jahr	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	
Betrag / Jahr	2.000 €	2.500 €	2.500 €	3.000 €	3.125 €	6.000 €	6.127 €	5.000 €	
GESAMT	10.000 €	25.000 €	27.500 €	75.000 €	81.250 €	300.000 €	312.500 €	1.250.000 €	
Kostenanteil Prozent	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	
Kosten	5.000 €	12.500 €	13.750 €	37.500 €	40.625 €	150.000 €	156.250 €	625.000 €	

Abbildung 14: Beispielkalkulation für einen möglichen Verfügungsrahmen

In diesem Kostenrahmen können im Weiteren die daraus resultierenden verfügbaren Kapazitäten an Ressourcen abgeleitet werden. Diese grobe Richtschnur kann nun als Grundlage für den Umfang und die Gestaltung des möglichen Retrofittings herangezogen werden¹⁴.

UNTERNEHMEN									
Größe (Kategorie)	5 - 10	5 - 10	11 - 25		26 - 50		51 - 250		251 - ...
Anzahl MA	5	10	11	25	26	50	51	250	
Personal MA / DL									
Personal MA / Tag	800 €	800 €	800 €	800 €	800 €	800 €	800 €	800 €	
Aufwand MA / Tage	5	13	13	34	37	163	168	719	
Aufwand MA / GESAMT	4.000 €	10.500 €	10.750 €	27.500 €	29.625 €	130.000 €	134.250 €	575.000 €	
Technik									
Komponenten (einmalig)									
Anzahl	1	2	3	10	11	20	22	50	
Kosten / Komponente	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	
GESAMT	1.000 €	2.000 €	3.000 €	10.000 €	11.000 €	20.000 €	22.000 €	50.000 €	
Betrieb									
Komponenten (lfd.)									
Kostenanteil Prozent	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	
Kosten / Jahr	2.500 €	6.250 €	6.875 €	18.750 €	20.313 €	75.000 €	78.125 €	312.500 €	

Abbildung 15: Beispielkalkulation für eine mögliche Ressourcenplanung.

Danach kann in etwa bereits zum Ausgangspunkt des Retrofittings abgeschätzt werden, in welchem Umfang die verfügbaren Ressourcen zur Verfügung stehen. Alternativ kann

¹⁴ Die dargestellten Werte sind Beispielkalkulationen und sollten im Kontext des jeweiligen Projektes und Unternehmens adaptiert und ggf. kritisch hinterfragt werden.

das ökonomische Äquivalent für eine Dienstleistung bereitgestellt werden. In diesem Fall sind die internen Aufwendungen mit den externen im Sinne einer möglichst erfolgreichen Projektgestaltung sinnvoll aufeinander abzustimmen.

2.5.3 Mehrwert und Nutzen

Während sich der Aufwand und daraus resultierende Kosten recht gut quantifizieren und in Relation zu dem verfügbaren Gestaltungsrahmen setzen lassen, ist die Bewertung des konkreten Nutzens aufgrund einer Reihe von unterschiedlichen Aspekten nicht immer präzise möglich.

Einerseits besteht die Möglichkeit, anhand konkreter messbarer Faktoren die Effekte in der Produktion messbar und sichtbar zu machen. Zu diesen harten Faktoren zählen z.B. die Gegenüberstellung von Prozesskosten, Werte wie Durchlauf-, Rüst-, Bearbeitungszeit u.a.m. Zur Bewertung des Nutzens wird eine Korrelation über einen oder mehrere vergleichende bzw. vergleichbare Faktoren hergestellt¹⁵. Die Quantifizierung erfolgt durch die Definition eines konkreten Wertes der idealerweise sich in einem Betrag (Geldwert, hier Euro) übertragen lässt. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von „weichen“ Faktoren, die sich einer konkreten Bewertung mit einem präzisen ökonomischen Äquivalent wie z.B. Prozessqualität, Kompetenz und Motivation von Mitarbeitern entziehen.

Unabhängig von der jeweiligen Domänenperspektive (Produktion, Logistik, Betriebswirtschaft u.a.m.) kann der Nutzen immer auf quantitative, qualitative und zeitliche Faktoren referenziert und ausgerichtet werden.

Grundsätzlich wird durch das Retrofitting ein Mehrwert durch Herstellung von Transparenz geschaffen. Durch die zielgerichtete und möglichst bedarfsgerechte Datenbereitstellung von Maschinen und Anlagen werden Auffälligkeiten, Kausalitäten, Defizite und Potentiale sichtbar. Letztendlich ist Retrofitting ein möglicher Bestandteil des unternehmensinternen Informationsmanagements und stellt Daten im jeweiligen Kontext von Struktur-, Prozess und Projektperspektive zur Verfügung, unterstützt den jeweiligen Akteur in seiner Rolle bei der Entscheidung, bei der Leistungserbringung oder bei der Kontrolle. Eine vereinfachte Übersicht möglicher Potentiale ist in der folgenden Tabelle auf

¹⁵ Dazu existiert bereits eine Vielzahl an Kennzahlen für die Produktionsplanung und -steuerung, Betriebswirtschaft u.a.m.

der Basis der in Kap. xxx beschriebenen Pfade beispielhaft zusammengestellt. Die Zusammenstellung kann je nach Kontext adaptiert und anwendungsbezogen weitergeführt und präzisiert werden.

	Perspektive	Initial-Projekt			Hackerton			Plattform		
		Quantität	Qualität	Zeit	Quantität	Qualität	Zeit	Quantität	Qualität	Zeit
01.	Struktur- und Prozessbewertung									
01.01.	Strukturen									
	Transparenz					x			x	x
	Strukturverbesserung					x				
	Kompetenzbewertung in der Organisation		x							
	...									
01.02.	Prozesse									
	Prozessoptimierung					x				
	Prozessbeschleunigung						x	x	x	x
	Erhöhung der Prozessqualität					x		x	x	x
	Kennzahlen der Prozessbewertung				x	x	x	x	x	x
	...									
02.	Projektsteuerung									
02.01.	Projektvorbereitung									
	Transparenz		x			x			x	x
	Identifikation von Mehrwerten / Potentiale					x			x	x
	Identifikation von Defizite					x			x	x
	Nachweis Machbarkeit		x			x			x	x
	...									
02.02.	Entscheidung									
	Verbesserung der Entscheidungsqualität					x	x		x	x
	Beschleunigung von Entscheidungsprozessen			x		x	x		x	x
	...									
02.03.	Realisation									
	Bereitstellung von Leistungsparametern							x	x	x
	Bereitstellung von Referenzdaten							x	x	x
	...									
02.04.	Bewertung									
	SOLL/IST-Abgleich				x	x	x	x	x	x
	Kennzahlen zur Ergebnisbewertung				x	x	x	x	x	x
	...									
02.05.	Betrieb									
	Kostenreduktion				x			x		x
	Verringerung von Ausfallzeiten				x		x			
	Unterstützung der Agilität				x			x	x	x
	...									
03.	Daten und Information									
	Verbesserung der Datenqualität								x	
	Verfügbarmachen von Information		x					x	x	
	Verbesserung der Kommunikation							x	x	x
	Kontextbezogene Datenbereitstellung							x	x	x
	...									

Abbildung 16: Aufstellung einfacher Nutzenpotentiale, die pfadbezogen erschlossen werden können

Kosten-Nutzen-Relation

Für die betriebswirtschaftliche Bewertung der durch Retrofitting zu erschließenden Mehrwerte ist es zwingend notwendig, diesen den dafür notwendigen Aufwänden gegenüberzustellen. Wie bei jeder anderen Investitionsentscheidung möchte man mit möglichst geringem Aufwand einen größtmöglichen Nutzen oder positiven betriebswirtschaftlichen Effekt erzielen. Zur Bewertung kann wie etabliert auf den ROI bzw. die Amortisation¹⁶ geschaut werden.

Bei der Kosten-Nutzen-Relation im Kontext des Retrofittings ist es zielführend, wiederum die gesamte Bandbreite an Gestaltungsoptionen zwischen langsamer und zeitnaher Amortisation, zwischen geringem und großem Effekt zu betrachten. Effekte mit einer Kosteneinsparung (z.B. Prozesskosten) kleiner als 20 % bzw. langfristiger Amortisation scheinen als Ausgangspunkt eher ungeeignet um einen wirklichen Effekt zu erzielen. Bei dem Einstieg, insbesondere bei einem frei gewählten ersten Integrationsszenario werden sich solche Ergebnisse jedoch nicht vermeiden lassen. Hier stehen maßgeblich der Zugang zur technischen Lösung und der damit verbundene Lerneffekt im Vordergrund. Erst im Nachgang dieser ersten Schritte und in der Multiplikation werden durch die nun wachsende Transparenz weitere Potentiale sichtbar. Direkte wie indirekte Effekte von 20 bis 50 % oder mehr und resultierender Amortisation lassen sich hier insbesondere durch Unterstützung der eher operativ getriebenen Entscheidungs- und Leistungsebenen der Shop-Flor-Ebene erzielen.

Auf der Strategischen Ebene kann Retrofitting einen wesentlichen Beitrag als „Enabler“ der Digitalisierung leisten.

2.6 Verstärkung des Wissens: Lernen in der Organisation

2.6.1 Strategische Grundausrichtung

Hat man sich im Unternehmen für den Weg Richtung Digitalisierung entschieden und ein erstes Retrofitting-Projekt umgesetzt, stellt sich bereits während der Umsetzung die Frage, ob und wie neben dem konkreten Ergebnis die geschaffene Kompetenz im

¹⁶ Auf die Darstellung der konkreten ROI bzw. Amortisationsrechnung wird an dieser Stelle verzichtet. Dazu finden sich in der allgemeinen Literatur bereits genug Quellen, die dazu qualifiziert Auskunft geben.

Unternehmen weitergeführt werden kann bzw. soll. Ausgehend von dem niederschweligen Einstieg gibt es für die Weiterführung der bis dahin erreichten Lösungskompetenz zwei Hauptwege, die in die Betrachtung einbezogen werden können. In der einfachsten Variante bleibt man mit der Entscheidung für das weitere Vorgehen auf der operativen Ebene und orientiert sich an dem perspektivisch und meistens sporadisch anfallenden Bedarf an Integrationslösungen der Digitalisierung. Bei diesem Vorgehen kann davon ausgegangen werden, dass ein systematischer Auf- und Ausbau von unternehmensinternem Wissen keine Priorität erhält. Schwerpunkte können in der Unternehmensentwicklung durchaus anders gesetzt und die Notwendigkeit von Kapazität und Kompetenz anders bewertet werden. Alternativ dazu bietet es sich an, dass mit den ersten Schritten auf dem Weg Richtung Digitalisierung erarbeitete Wissen weiterzuführen und die Verstärkung des Wissensaufbaus in die strategische Unternehmensplanung und -organisation einzubeziehen. Im Idealfall kann das erarbeitete Wissen konsolidiert und als Basis für die nächste Ausbaustufe herangezogen werden. Damit besteht die Möglichkeit, einen Innovationsprozess Richtung Digitalisierung zu initialisieren, in dem das Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen kontinuierlich verbessert wird.

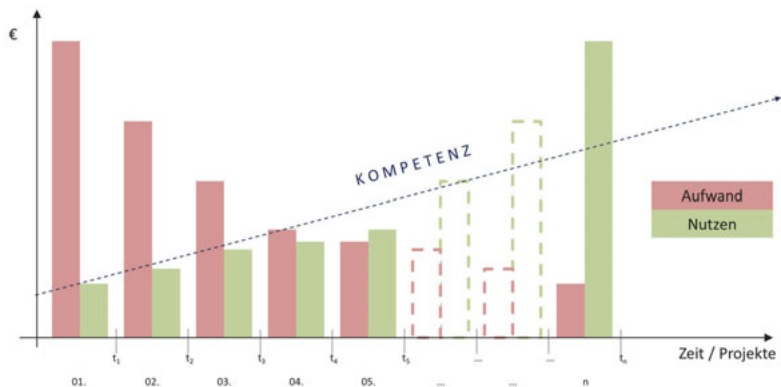


Abbildung 17: Kontinuierlicher Verbesserungsprozess durch wachsende Kompetenz (idealisiert)

Eine dritte Variante, die eine Symbiose zwischen beiden Alternativen darstellen könnte, scheint eher ungeeignet, da eine sporadisch am operativen Bedarf ausgerichtete Strategie in der Kompetenzentwicklung durch die fehlende Wiederholung und Konsolidierung regelmäßig zu einem nicht unerheblichen Erfahrungs- und Wissensverlust führt bzw. führen kann.

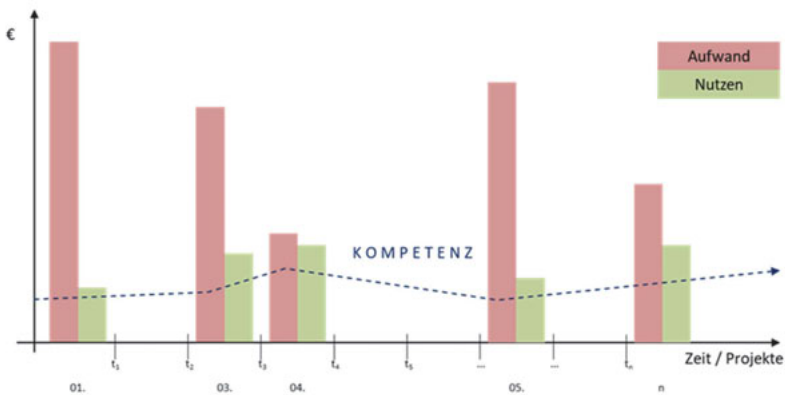


Abbildung 18: Diskontinuierliche Entwicklung der Kompetenzen

2.6.2 Motivation

Wichtigster Faktor für den Auf- und Ausbau des Wissens im Unternehmen ist der Mitarbeiter. Die beste Organisation und Technologie bringt das Unternehmen nicht weiter, wenn der einzelne Mitarbeiter nicht befähigt und motiviert wird, das eigene Wissen zielgerichtet und produktiv in die Entscheidungs- und Leistungsprozesse einzubringen. Das Wissen darüber hinaus anderen freiwillig und uneigennützig zur Verfügung zu stellen, ist dabei nicht selbstverständlich. Die mitunter über einen langjährigen Erfahrungshorizont hinaus aufgebaute Kompetenz wird gerne im Sinne eines Geschäftsmodells als „Herrschaftswissen“ betrachtet und genutzt.

Diese Barriere im Wissenstransfer kann durch interne wie externe Alternativen¹⁷ oder durch Motivation überwunden werden. Das Spektrum der Motivation reicht dabei von der Sanktion (Malus) bis zur Anerkennung (Bonus). Hierbei scheint heute die Sanktion im Kontext des gesellschaftlich postulierten Fachkräftemangels als negativer Motivationsstifter eher ungeeignet. Einen bzw. den wesentlichen Beitrag zum Erfolg beim

¹⁷ Alternativen bieten sich ggf. intern durch die Verteilung der Kompetenzen auf weitere befähigte bzw. zu befähigende Mitarbeiter oder durch die Einbindung externer Expertise. Beide Varianten lösen das Grundproblem im Sinne des Lernens in der Organisation nur bedingt und sind mit entsprechendem organisatorischem wie finanziellem Aufwand verbunden.

Wissenstransfer tragen hier im Wesentlichen positive Faktoren in der täglichen Arbeitswelt bei. Diese sind u.a. ein gutes Arbeitsverhältnis zu Kollegen und Vorgesetzten, Teamarbeit, Anerkennung und Wertschätzung der Leistung u.a.m.¹⁸. Ein angemessenes und auskömmliches betriebswirtschaftliches Äquivalent in Euro wird hier als gegeben vorausgesetzt.

Im Kontext des Retrofittings sind diese Faktoren wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Initialisierung und weitergehende Umsetzung. Insbesondere in der Rollout-Phase, wie z.B. beim Hackathon müssen die Kompetenzen einzelner Mitarbeiter aus unterschiedlichen Arbeitsfeldern zielgerichtet zusammengeführt und möglichst zeitnah in ein quantifizierbares Ergebnis gewandelt werden. Bringen die Mitarbeiter sich aufgrund mangelnder Motivation nicht oder nur unzureichend ein, ist der Erfolg meistens begrenzt und die erarbeiteten Ergebnisse nur bedingt oder gar nicht nutzbar.

Darüber hinaus kann eine positive Motivation Grundlage für den Wissenstransfer über die Unternehmensgrenzen hinaus darstellen. Ein Aspekt, der insbesondere für KMU nutzbringend sein kann. Das setzt voraus, dass das einzelne Unternehmen bereit ist, das im Kontext der Digitalisierung geschaffene Wissen mit anderen Unternehmen zu teilen und weiterzugeben. Partnerschaftliche Kollaboration, Erfahrungsaustausch und Projektdenken in Netzwerken sowie die Partizipation an dem geschaffenen Mehrwert durch den einzelnen Partner im Verbund können erste Modelle für den Aufbau eines unternehmensübergreifenden Wissensbestandes bieten. Hierbei sollte der freigegebene Wissensbestand sinnvollerweise abgegrenzt werden, um nicht unnötig wertvolles Unternehmensknowhow preiszugeben.

2.6.3 Inhalt und Form

In Rücksicht auf die ständig steigenden Anforderungen an die Ressourceneffizienz¹⁹ sind im Kontext des Retrofittings beim Aufbau und Nutzung der unternehmensinternen Wissensbasis möglichst wirkungsvolle Konzepte und Methoden gefragt. Mit Hilfe dieser müssen die für die Wissensbasis relevanten Inhalte identifiziert, im Sinne der

¹⁸ Vgl. Studie Arbeitsmotivation 2018, Manpowergroup Deutschland

¹⁹ Der Mittelstandsverbund ist seit 02/2019 Mitglied der Nationalen Plattform Ressourceneffizienz. Ressourcen sind u.a. natürliche Rohstoffe, Finanzmittel, Fachkräfte, Immobilien, vgl. Tagungsprogramm Bundesverband Logistik 04.04.2019

Aussagequalität geprüft und möglichst bedarfsgerecht im jeweiligen Prozess dem richtigen Adressaten zur rechten Zeit zur Verfügung gestellt werden. Konventionell etablierte Vermittlungsformate wie z.B. Schulungen, Workshops oder umfangreiche Fachdokumente erfüllen diese Anforderungen nur bedingt oder nur unzureichend. Sie erfordern ein hohes Maß an Zeitaufwand bei der qualifizierten Zusammenstellung und Aufbereitung wie bei der Aneignung der Inhalte. Darüber hinaus unterliegen die Inhalte meist einer eher begrenzten Halbwertszeit, sodass der Wirkungsgrad dieser Formate begrenzt ist und eine kontinuierliche Revision der Inhalte notwendig ist.

Dementsprechend anspruchsvoll gestalten sich die Anforderungen an mögliche Alternativkonzepte. In einer ersten Variante wurde z.B. die Komplexität möglicher Retrofittingprozesse aufgenommen und versucht, die hohe Varianz in der Kombination von Maschine → Datenendpunkt → Konnektor → Wert → Mehrwertdienst²⁰ strukturiert abzubilden. Der Wissensbestand konnte hier anwendungsbezogen aus dem Entstehungsprozess des jeweiligen Lösungsbausteins heraus generiert und mit diesem im Bundle für die potentiell nächsten Anwendungsfälle bereitgestellt werden. Als kompatibles Medium für die Strukturierung und Formalisierung solcher kontextbezogenen Wissensbestände bietet sich die datentechnische Kopplung mit dem jeweiligen Lösungsbaustein in der Plattformarchitektur an (Abbildung 19). Dazu sind die Entwicklungswerkzeuge um entsprechende Editier- und Redaktionsfunktionen anzureichern. Im Sinne einer rationalen Erstellung und Nutzung sind dafür Vorlagen und festgelegte Erstellungs- wie Bereitstellungspfade zu implementieren.

In einer weiterführenden zweiten Variante ist es angedacht, das Wissen aus dem Beschreibungsrahmen herauszulösen und im Sinne einer Plug-and-Produce-Lösung in die technologischen Lösungsbausteine der Plattform und des Konnektors zu integrieren. Damit würde über eine maschinelle Intelligenz dem Anwender im Integrationsfall das Wissen implizit über die zu nutzende Technik und die gewünschte Lösung ad hoc zur Verfügung gestellt werden. Dieses Konzept setzt einen hohen Automatisierungsgrad und eine komplexe technologische Durchdringung der möglichen Anwendungsfälle voraus.

²⁰ Vgl. dazu Kap. 5: Anwendungsszenarien und Ergebnisse bzw. Abbildungen 52/53: Szenarienspezifische Durchgängigkeit von der Maschine zum Mehrwertdienst 1

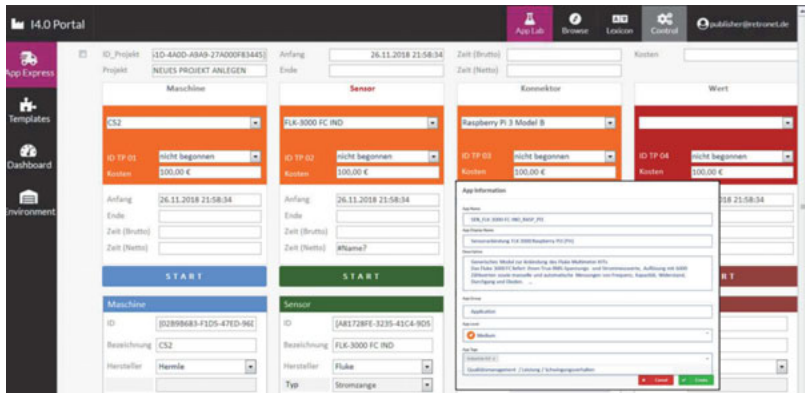


Abbildung 19: In der Plattform hinterlegtes, kontextbezogenes Wissen

Im Sinne der Methodik könnte somit das Lernen in der Organisation von der technischen Umsetzungskompetenz auf fachspezifische Problemstellungen umgeschwenkt und ein nicht unerheblicher Effizienzgewinn erschlossen werden. Problemstellungen in der strategischen Ausrichtung wie der Motivation würden damit in den Hintergrund der Unternehmensorganisation treten.

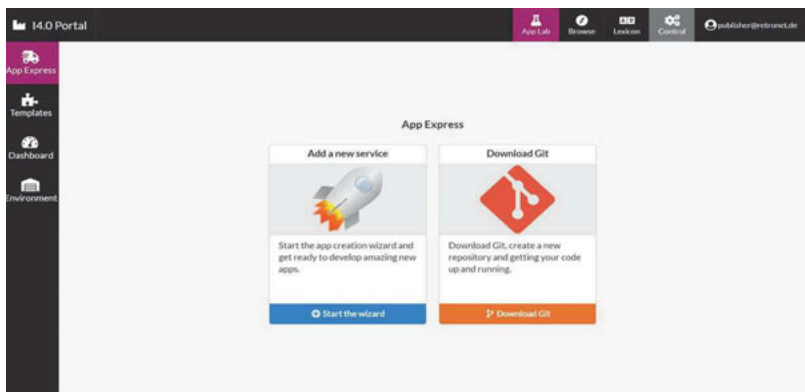


Abbildung 20: Startscreen der Wizard-gestützten, (halb-)automatischen Konfiguration

3 Dynamisch erweiterbare Plattformarchitektur für Mehrwertdienste

3.1 Motivation und Herausforderungen

M. Winter

Vielen mittelständischen Unternehmen fehlt es an zeitlichen und monetären Ressourcen zur Umsetzung einer umfangreichen Industrie 4.0-Strategie bzw. wird aufgrund der unklaren Erfolgsaussichten auf eine solche verzichtet. Der Mangel an Fachkräften schlägt sich zusätzlich darüber hinaus auf die Handlungsfähigkeit der Betriebe aus. In der Regel sind die Unternehmen in Konsequenz dessen gezwungen, operativ zu handeln und sich auf ihr Kerngeschäft zu fokussieren. Ein umfangreiches digitales Know-How kann nur in den seltensten Fällen aufgebaut werden. In Anbetracht dieser Tatsache muss paradoxerweise festgestellt werden, dass ein Großteil des IT-Haushaltes in Wartung und Pflege bestehender Software investiert wird. Nur ein relativ geringer Teil des zur Verfügung stehenden Budgets wird in Innovation investiert. Viele Möglichkeiten das vorhandene Domänenwissen in digitale Produkte zu transformieren blieben somit ungenutzt.

Die zunehmende Volatilität der Märkte und der globale Wettbewerb zwingen den deutschen Mittelstand, der oftmals als „hidden champion“ in einer hochspezialisierten Nischenbranche agiert, flexibel auf neue Konkurrenten und Trends zu reagieren. Die Digitalisierung der Wertschöpfungskette kann hierzu einen großen Beitrag leisten. Hierzu müssen initiale Hürden beim Einstieg in die Industrie 4.0 durch den weitest gehenden Wegfall von Aktivitäten, die nicht dem Kerngeschäft eines Unternehmens entsprechen, abgebaut werden.

Ziel der RetroNet-Plattform war es deshalb, die Infrastruktur, die für das Entwickeln von Anwendungen notwendig ist, weitestgehend zu automatisieren. Dieses Konzept kann im Weiteren als Basis für ein darauf aufsetzendes Wissensmanagement genutzt werden. Durch ein möglichst fachbezogenes Beschreibungsmodell, kann so z.B. die Suche und Wiederverwendbarkeit von Diensten verbessert werden.

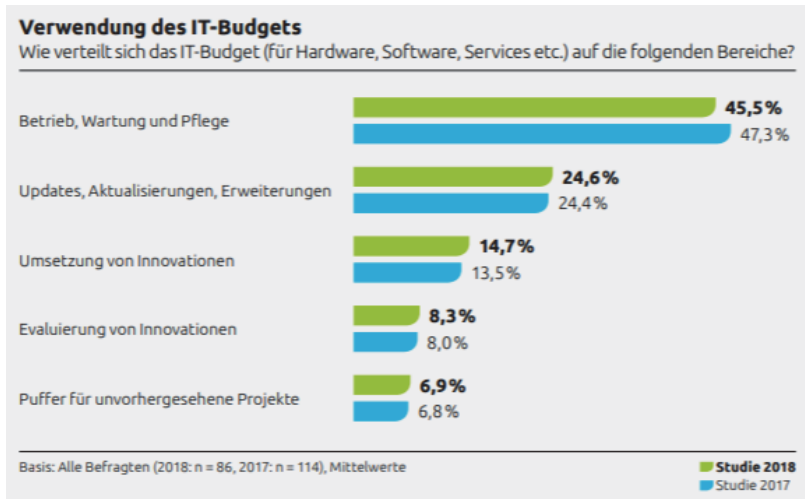
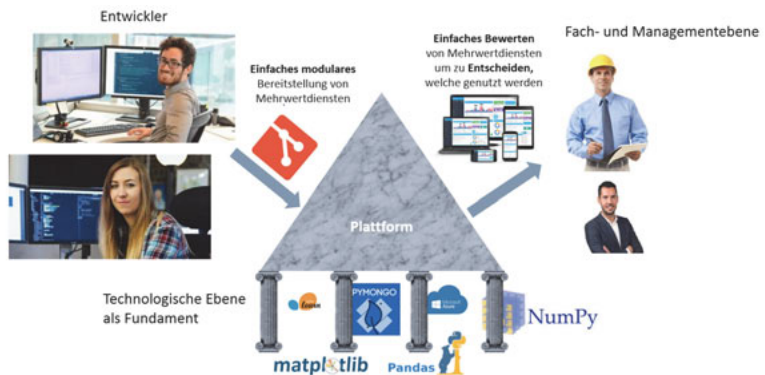
Abbildung 21: Gegenüberstellung IT-Budgets²¹

Abbildung 22: Systemkonzept der Plattform

²¹ <https://www.capgemini.com/de-de/wp-content/uploads/sites/5/2018/02/it-trends-studie-2018.pdf>

3.2 Allgemeine Systemarchitektur

M. Winter, M. Strljic

Das Konzept der Systemarchitektur sieht mehrere Teilkomponenten vor, die je nach Funktion eigenständig technologisch ausgeprägt sind. Relevante Komponenten in der Architektur sind u.a.:

- Der Konnektor zur reinen Sammlung von Daten
- Der PLC Layer für die Echtzeitverarbeitung von Daten
- Der Gateway Layer zur Sicherstellung der Interoperabilität
- Der Message Broker für die kurzzeitige Speicherung der Daten
- Der Data Lake für die Langzeitspeicherung der Daten
- Die Plattform für die Datenerhaltung, Weiterverarbeitung und für die Bereitstellung von Diensten

Die allgemeine Systemarchitektur sieht fünf Layer vor. In der untersten Ebene sorgt der PLC-Layer für eine kontinuierliche Erfassung der Daten in Echtzeit. Die Komponenten des Layers müssen vor allem den Anforderungen der klassischen Automatisierung entsprechen. Hierfür sind spezielle Industrieprotokolle, wie ADS oder Modbus notwendig. Durch die speziellen technischen Rahmenbedingungen der etablierten Produkte ist eine direkte Integration in die Cloud oftmals mit hohem Aufwand verbunden. Aktuelle Entwicklungen, wie bspw. TwinCat 3 zeigen jedoch, dass in Zukunft mit einer besseren Interoperabilität zwischen Cloud- und Automatisierungstechnik zu rechnen ist.

Die derzeit fehlende Interoperabilität, mit der insbesondere in Retrofit-Projekten zu rechnen ist, wird durch Field Gateways kompensiert. Im Rahmen des RetroNet-Projektes wird diese durch den IoT Gateway von Bosch Rexroth repräsentiert und bildet damit den zweiten Layer. Die Daten werden über diesen zum dritten Layer in Form von Messaging Systemen transferiert. Diese agieren als zentrale Schaltstelle, um Daten in der gesamten Plattform zu verteilen. Im Ergebnis sollen die gesammelten Maschinendaten analysierbar sein.

Viele technische Auswertungen erfordern eine Abtastung von Daten in sehr hohen Taktzeiten (1 – 10ms). Zur Bewältigung der resultierenden großen Datenmengen mussten spezielle Formate entwickelt werden, die einen stabilen Transfer in die Cloud-Infrastruktur ermöglichen. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit zur Nutzung eines weiteren Layers, der zur Verarbeitung der Daten dient, um diese wieder in ein analyse-geeignetes Format umzuwandeln. Im Storage Layer werden die so aufbereiteten Daten persistiert.

Aus Sicherheits- und Nutzerfreundlichkeitsgründen, ist davon auszugehen, dass Analysten und weitere Fachanwender nicht direkt mit den Datenbanken interagieren. Zur Kapselung des Storage Layers, werden endanwenderorientierte Applikationen bereitgestellt, die als Schnittstelle zwischen Fachebene und Plattform dienen.

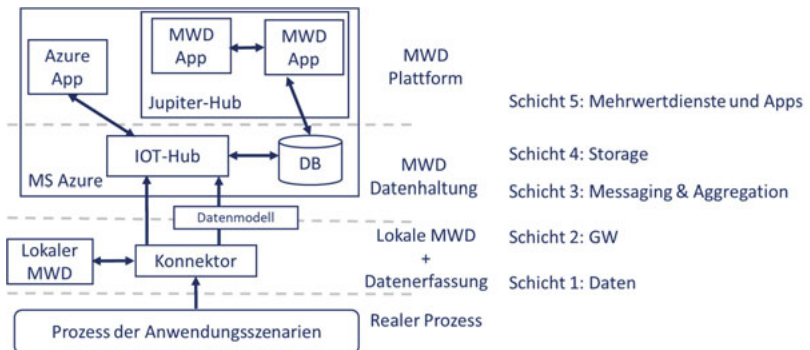


Abbildung 23: Schichten des RetroNet-Gesamtkonzeptes

Für den Anwender werden im Sinne einer I4.0-Anwendung insbesondere drei Ebenen sichtbar. Die Prozessebene bildet hierbei die unterste Ebene. Es gilt in dieser, die benötigten Prozesswerte in digitaler Form verfügbar zu machen. Teilweise stellen vorhandene Sensoren und/oder Steuerungen (PLC, NC usw.) diese schon bereit oder es können Werte aus den vorhandenen Daten abgeleitet werden. In vielen Fällen müssen darüber hinaus zusätzliche Sensoren bzw. DAQ-Systeme ausgewählt, installiert und konfiguriert werden.

Der Konnektor bildet die zweite Ebene der I4.0-Anwendung. Er ist in der Lage die Prozessdaten aus den unterschiedlichen Quellen (Sensoren, Steuerungen, DAQ-Systemen) auszulesen (auch in Echtzeit) und diese an die nächste Ebene weiterzuleiten. Aufgabe des Systemintegrators ist es, den Konnektor zu installieren, zu parametrieren (Erfassung, Verarbeitung und Weiterleitung) und später zu administrieren.

Die eigentlichen Kundenfunktionen werden auf der dritten Ebene, der Auswertungsebene, realisiert. Diese kann cloudbasiert aber vor Ort (on-premises, on-prem) erfolgen. Der Systemintegrator installiert die erforderlichen Dienste und programmiert bzw. konfiguriert die Funktionen. Auch die Wartung des Systems fällt in seinen Aufgabenbereich.

3.3 I4.0-Konnektor

G. Vetter

Der Konnektor repräsentiert die mittlere Ebene der oben beschriebenen Gesamtarchitektur. Er ist in erster Linie ein Software-Paket, das auf unterschiedlichen Plattformen installiert und betrieben werden kann.²²

Anforderungen

Folgende Anforderungen sind aus funktionaler Sicht zu erfüllen:

- Sicherstellung der Anbindung von unterschiedlichsten Sensoren, Steuerungen und sonstiger DAQ-Systeme
- Sicherstellung der Anbindung an unterschiedliche Zielsysteme (hier Cloud-Systeme) über geeignete Protokolle
- Gewährleistung der Konfiguration mittels einfacher Bedienkonzepte und -oberflächen
- Funktionale Erweiterbarkeit mittels zusätzlicher Software-Komponenten

Darüber hinaus sollte der Konnektor ggf. notwendige Security-Maßnahmen unterstützen und nach Bedarf im Aufbau und Montagemöglichkeit dem industriellen Standard entsprechen.

Hardwareaufbau des I4.0-Konnektor

Die Konnektor-Software wird auf dem Box-PC „PR21“ betrieben. Zur Erfassung von analogen und digitalen Prozesswerten in Echtzeit (äquidistante Abtastung mit bis zu 1kHz-Abtaste) wird eine SPS-Steuerung „MLC“ auf Basis der Steuerungshardware „XM21“ mit entsprechenden Analog- und Digitaleingängen eingesetzt. Der Box-PC „PR21“ sowie die SPS-Steuerung „MLC“ sind Produkte der Fa. Bosch Rexroth AG. Ist eine Erfassung in Echtzeit nicht erforderlich, kann anstelle der XM alternativ ein Buskoppler S20-ETH-BK verwendet werden.

²² Es bieten sich dazu eine zunehmende Bandbreite an Varianten von Konnektionskonzepten und IoT-Gateways auf Basis des Marktangebotes von Herstellern für Automatisierungskomponenten (Sensorenanschlüsse, IoT-Baukästen, Einplatinenrechner, Embedded-Computing u. a.)

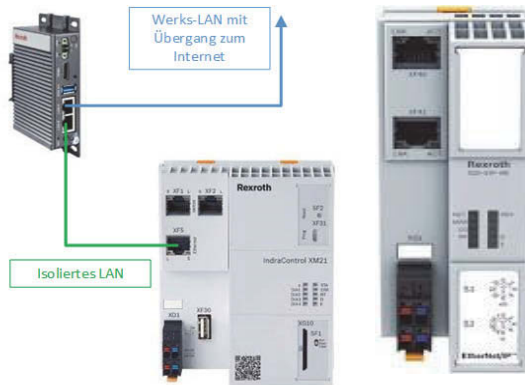


Abbildung 24: Die Hardwarebausteine PB21 MLC und S20-ETH-BK

Darüber hinaus kann Der PR21 einzeln als auch in Kombination mit der XM21 bzw. dem S20-ETH-BK in einem lüfterlosen Schaltschrank verbaut werden. Dieser Schaltschrank hier ist für den mobilen Einsatz geeignet, d. h. man kann zu Testzwecken oder prototypischem Einsatz den Schaltschrank flexibel vor Ort platzieren, die Sensorik anschließen und Prozesswerte erfassen.



Abbildung 25: Montagelösung für den temporären Anwendungsfall

Softwarearchitektur und Konnektor-Funktionen

Die interne Softwarearchitektur des Konnektors ist als 3-Schichten-Modell konzipiert und umfasst folgende Ebenen einer beispielsweise Realisierung:

- Betriebssystem Snappy Ubuntu Core 16.4 (unterste Schicht)
- Java-Laufzeitumgebung (JRE 8) (mittlere Schicht)
- Konnektor-Software als Java-Applikation. (oberste Schicht) Diese ist als OSGi-Anwendung konzipiert. Die OSGi-Anwendung setzt sich aus Framework und Komponenten zusammen, die als PlugIns integriert werden. Diese Komponenten nennt man auch „Bundles“. Als OSGi-Framework kommt das Bosch IoT Gateway (ehem. ProSyst mBS) zum Einsatz.

Zur Realisierung der erforderlichen Konnektor-Funktionen wurden neben Standard-Bundles wie z. B. Web-Server, Speichern/Laden der Konfigurationsdaten u.a.m. spezielle Bundles erstellt. Diese können wie folgt in vier Kategorien gegliedert werden:

- Konnektor-Kernfunktionen (Core)
- Geräte-Anbindung („Devices“: Sensoren, Steuerungen, DAQ-Systeme)
- Daten(vor)verarbeitung und -weiterleitung (Processing)
- Datenanzeige (Dashboard, Diagnostics)

Bundles der Kategorien zwei und drei können im Bedarfsfall deaktiviert werden. Darüber hinaus kann der Anwender selbst entwickelte Bundles hinzufügen. Für die Entwicklung eigener Bundles steht ein Software-Development-Kit (SDK) bereit.

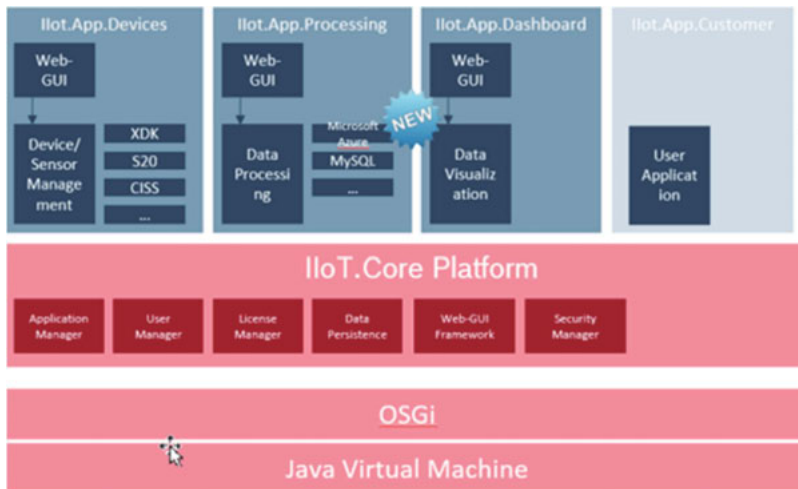


Abbildung 26: Softwarearchitektur des Konnektors

3.4 Systemintegration nachzurüstender I4.0-Konnektoren unter dem Aspekt heterogener IT-Komponenten

P. Thierse

Eine anwendungsspezifische Umsetzung des beschriebenen I4.0-Konnektor-Konzeptes auf Bestandsmaschinen erfordert meist auch die Integration in eine vorhandene bzw. zu modifizierende OT (Operational Technology)- und IT-Konfiguration. Darum sind für die Realisierung von I4.0-Konnektionen und Mehrwertdiensten auch grundsätzliche Überlegungen zur Realisierung der Datenkommunikation und Softwarearchitektur erforderlich, gerade wegen der Verringerung von Einstiegshürden (siehe Abschnitt 2.3).

Im Rahmen der Ziele des Forschungsverbundprojektes wurde dazu von AUCOTEAM eine verallgemeinerte Systematisierung der Kommunikationsarchitektur mit Hard- und Software-Komponenten einschließlich der einzurichtenden Dienste aus der Sicht der anwendungsspezifischen Systemintegration mit heterogenen OT- und IT-Komponenten, Datenprotokollen und Dienste-Anbietern entwickelt. Dieser Betrachtungsansatz soll eine Vorbereitung von Lösungen mit I4.0- Konnektoren unterstützen mit folgenden Themen und Fragestellungen:

- Technischer Ansatz der Datengewinnung aus Bestandsmaschinen über vorhandene Automatisierungstechnik und / oder zusätzliche Sensoren
- Architekturansatz bzw. Systemkonzept der Anwendungslösung aus der Sicht der Systemintegration
- Bewertung der Auswahl aus unterschiedlichen Varianten der Realisierung von Sensorik und Konnektor bzw. IoT-Gateway auf Basis des Marktangebotes von Herstellern für OT-Komponenten (Sensoren, IoT-Baukästen, Einplatinenrechner, Embedded-Computing u. a.)
- Gestaltung der Systemintegration bei Arbeitsteilung zwischen lokalen Applikationen auf I4.0-Konnektor und Cloud-Diensten auf IT-Systemen
- Umsetzung der Systemanforderungen - insbesondere bei nicht ausreichender Interoperabilität - zur Datenkommunikation und zur hardwaretechnischen Auslegung der Schnittstellen einschließlich einer Lösung von eventuellen Problemen der Protokollkonvertierung
- anwendungsspezifischer Integrationsansatz bei auszuwählender Protokollnutzung (z. B.: MQTT oder OPC) für einzurichtende Datenbasis und Mehrwertdienste auf bestehenden IT-Systemen

- Softwareintegration im lokalen System auf Basis von Embedded-Computing und Nutzung unterstützender Software-Stack-Technologien.

3.4.1 Struktur der Datenkommunikation und -schnittstellen

Ausgangsbasis einer anwendungsspezifischen Integration der Datenkommunikation sind Entscheidungen zur Auswahl der Daten (siehe Abschnitt 2.3.5.), zu ihrer Erfassung (Sensorik) und zu Zielstellungen der Datenanalyse (siehe Abschnitt 3.5 und Beispiele in Kapitel 5). Daus ergeben sich konkrete Fragen der informationstechnischen Umsetzung einer Schnittstelle zur Basis der Datenauswertung und ihren Algorithmen:

- Welche Daten sollen erfasst werden?
- Welche Datenquellen stehen zur Verfügung und welche Daten müssen zusätzlich erfasst werden?
- Welche Erkenntnisse können oder sollen mit welchen algorithmischen Verfahren gewonnen werden?
- Welche Mehrwertdienste müssen dazu eingerichtet werden?

Die Grundstruktur des Integrationsansatzes ist ein 3-Schichten-Modell (siehe Abschnitt 3.2) mit Datenerfassung aus Maschine bzw. Prozessen über I4.0-Konnektor mit Zwischendatenverarbeitung bis zur Dienste-basierenden Datenanalyse in einer Plattform (Cloud). Die Kommunikation zwischen Konnektor- und Dienste-/Plattform-Ebene sowie des Front-End zum Konnektor als auch zur Dienste-Plattform erfolgt ausschließlich über TCP/IP mit geschützten Datenprotokollen. Diese Schnittstellen machen die auf diese Weise angeschlossenen Funktionseinheiten IoT (Internet of Things)-fähig.

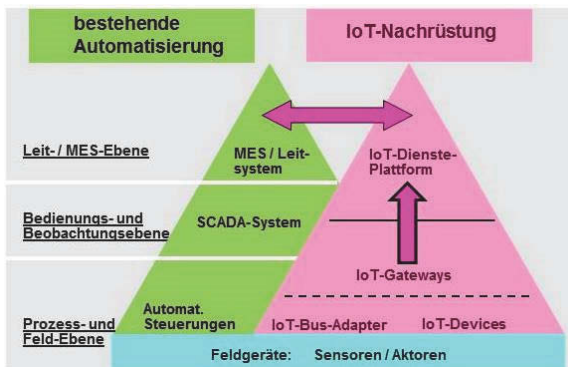


Abbildung 27: IoT-Nachrüstung parallel zu bestehender Automatisierung

Die klassische Automatisierungspyramide, die den meisten automatisierten Bestandssystemen zugrunde liegt, kann mit I4.0-Konnektionen bzw. mit IoT-Gateways ergänzt werden ohne in die bestehende Automatisierung eingreifen zu müssen (Abbildung 27).

Die Analyseergebnisse aus den über I4.0-Konnektoren erfassten Daten werden über Mehrwertdienste der Plattform dem bestehenden Leitsystem verfügbar gemacht. Im Verbundprojekt wurden datentechnische Kommunikationsschnittstellen in verschiedenen Versionen (Abbildung 28) für die genannten drei Ebenen untersucht und bezüglich ihrer Eignung über Anwendungsszenarien prototypisch getestet (Kap. 5), wie

- Webservices für Webseiten zur Darstellung von Werten und Daten im Browser der Kommunikationsteilnehmer
- FTP zur Übertragung von Konfigurationsdateien oder Binärdateien (Programme)
- OPC-UA zur Übertragung auswählbarer Steuerungsdaten an Steuerungsdaten
- Stream-Telegramm: Übertragung von Massendaten in die Plattform (aktuelle Werte, historische Werte mit Zeitstempel) auf Grundlage des offenen MQTT-Protokolls, das grundsätzlich in der Fachwelt für IoT-Lösungen empfohlen wird.
- Zur Einrichtung anwendungsspezifischer RetroNet-Lösungen müssen also folgende Möglichkeiten zur Datenkommunikation und Sicherstellung der Interoperabilität eingerichtet werden:

(1)	Datenerfassung und Datenbereitstellung:	Maschine/technische Anlage → Konnektor
(2)	Datenspeicherung und Datenanalyse:	Konnektor → Dienste-Plattform
(3)	Datenvisualisierung und Auswertungsselektion:	Web-Front-End ← Dienste-Plattform
(4)	Parametereinstellung der Konnektoren	Web-Front-End ↔ Konnektor

Die inhaltliche Anforderung und Herausforderung für RetroNet-Lösungen bei heterogenen OT- und IT-Bestandssystemen liegt in der Realisierung von Adaptern der IoT-Kommunikationsanpassung in unterschiedlich konfigurierbaren Ausprägungen (wie Device, Bus-Adapter oder Gateway) für Feldgeräte und Sensoren unter Einbeziehung unterschiedlichster Datenkommunikationsprotokolle bzw. Kommunikationsstandards, da insbesondere in Bestandsanlagen noch eine hohe Vielfalt proprietärer bzw. nicht IP-fähiger Feldbuskommunikation anzutreffen ist.

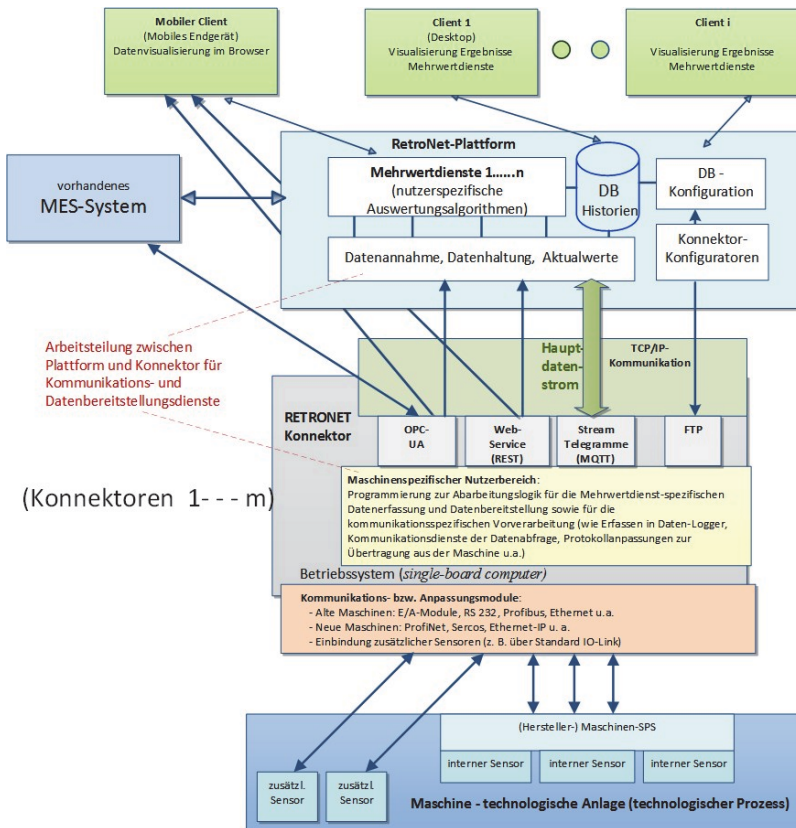


Abbildung 28: Integrationsszenarien zu Daten-Kommunikationsschnittstellen über drei Ebenen

3.4.2 Varianten der Konnektivität

Um die technischen Zusammenhänge von Maschinen und Anlagen sowie die Komplexität einer möglichen IoT-Vernetzung mit ihren Anforderungen erkennen zu können, ist es hilfreich in Anwendungsszenarien zu denken, um am Use Case kabelgebundene Anbindungen der Maschinen gegen eine drahtlose Vernetzung beispielsweise über WLAN abwägen zu können (Tabelle 5). Ein höherer Aufwand zur Entwicklung spez. Software ist dann erforderlich, wenn die Daten aus proprietären Feldbussen der Bestandssysteme in die IP-Kommunikationsebene transformiert werden müssen.

Insbesondere muss bei der Wahl der physischen Datenübertragungstechnologie (der Connectivity) auch die Gewährleistung der Sicherheit der Kommunikationsverbindungen betrachtet werden bzw. durch technische Maßnahmen gewährleistet werden.

Tabelle 5: Übersicht zu Übertragungsmöglichkeiten in der Datenkommunikation²³

	Kabelgebundene Verbindungen (z.B.: Kupfer, Glasfaser, Powerline)	Nahbereichsverbindungen (z.B.: WLAN, ZigBee, Bluetooth)	Mobilfunkverbindungen (z.B.: 3G, LTE, zukünftig 5G)	Low Power-Wide Area Networks (LPWAN) (z.B.: LTE-M, NB-IoT, LoRa)	Satellitenverbindungen (z.B.: L-Band, C-Band)
Vorteile:	Hohe Datenübertragungsrate Stabile Verbindung	Einfache Anbindung Vorabbündelung der IoT-Daten im Gateway (Router)	Hohe Datenübertragungsrate keine zusätzliche Infrastruktur notwendig	Geringer Energieverbrauch des IoT-Gerätes Hohe geografische Reichweite	Reichweite in abgelegene Gebiete Reichweite über lange Strecken
Nachteile:	Positionsveränderung des IoT-Gerätes nicht möglich Infrastrukturausbau mühevoll	Auf kurze Strecken beschränkt Hoher Energieverbrauch	Hoher Batterieverbrauch des IoT-Gerätes Keine gleichmäßige Abdeckung	Niedrige Datenübertragungsrate Schwer überschaubares Angebot am Markt	Hohe Kosten Nicht geeignet für eine hohe Anzahl an Verbindungen

In der Daten-Kommunikation (d. h. zur Einrichtung von API-Schnittstellen) gibt es entsprechend des Standes der Technik verschiedene Varianten der Konnektivität. Die grundsätzliche Forderung an den I4.0-Konnektor besteht zwar in der Web-fähigen Konnektivität, die aber mit sehr unterschiedlichen Daten-Technologien bzw. Software-Lösungen realisiert werden kann. Da das RetroNet-Konzept zur Anwendung für automatisierte Maschinen und Anlagen vorgesehen ist, müssen auch eventuelle Anforderungen zur Latenz bzw. zur Echtzeitfähigkeit mit einbezogen werden.

Folgende Alternativen der Datenkommunikation bzw. Konnektivitätsstandards wurden bezüglich ihrer Eignung für RetroNet betrachtet:

- OPC UA (Open Platform Communications United Architecture)

²³ Tabelle beruht auf einer Darstellung von Übertragungsmöglichkeiten bei IoT-Lösungen der Fa.: N+P Informationssysteme GmbH

- DDS (Data Distribution Service, Middleware-Standard, alternativ zu OPC-UA)
- oneM2M (Machine to Machine)
- CoAP (Constrained Application Protocol)
- RESTful HTTP (Representational State Transfer)
- MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

Im Vergleich dieser Technologien²⁴ sind große Unterschiede erkennbar und es ist feststellbar, dass sich diese Standard-Ansätze zur Konnektivität auch wenig überdecken. Meistens wird kein Standard zu den jeweils angestrebten Applikationen voll passen und darum wird teilweise zusätzliche Anpassungssoftware erforderlich. Aus diesem Grund wird darauf hingewiesen, vor Umsetzung einer Anwendungslösung eine umfassende Anforderungsanalyse der erforderlichen Datenkommunikation durchzuführen.

Beispielsweise ist OPC UA objektorientiert (OO), während DDS datenzentrisch ist. Dies sind wesentliche Unterschiede. Bei Objektorientierung werden Daten gekapselt und Methoden offengelegt. Bei der Datenzentrierung geht es ausschließlich um die Offenlegung der Daten und es gibt keine benutzerdefinierten Methoden. Methoden werden nur durch den Kommunikationsstandard definiert. OPC UA zielt auf eine gerätezentrische Integration im Anlagenaufbau ab und bietet eine einfachere Interoperabilität zwischen den Geräten verschiedener Hersteller. Im Gegensatz dazu ist DDS in der Softwareimplementierung auf eine prinzipielle datenzentrische Softwareintegration ausgerichtet. Werden jedoch KI-Aspekte der Datenanalyse wichtig, bietet DDS die benötigte Schnittstellenkontrolle von Datenabstraktion und Datenfluss.

OneM2M und RESTful HTTP zielen auf die Verbindung von Edge und Cloud-Services ab. Beide werden im Gegensatz zu DDS oder OPC UA nur selten für die Kommunikation zwischen Geräten verwendet. OneM2M bietet gemeinsame Dienste zur Integration mobiler Geräte. Keine der anderen Technologien diese Applikationsart orientiert.

CoAP ist ein neues Protokoll auf verbesserter http-Grundlage (UDP und DTLS anstatt TLS/SSL), dessen Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist, das sich aber zum Standard

²⁴ Connectivity im IIoT – Welcher Konnektivitätsstandard passt zu welcher Anwendung? von Dr. Stan Schneider und Reiner Duwe, 09.08.2018 <https://www.embedded-software-engineering.de/connectivity-iiot-welcher-konnektivitaetsstandard-passt-zu-welcher-anwendung-a-740525/>

für IoT-Devices qualifizieren wird, insbesondere für embedded-Systems, mit denen an bestehende Plattformen mit REST-Schnittstellen angedockt werden kann.

Da die Nutzungsziele von RetroNet für Bestandsanlagen nicht die Kommunikation zwischen Geräten und damit keine gerätezentrierte Integration in den Vordergrund steht, aber die Kommunikation zwischen Edge und Cloud organisiert werden muss, ist für die RetroNet-Konnektivität MQTT (1999 erfunden) und RESTful http bzw. später CoAP am geeignetsten. Weil aber auch OPC UA in bestehender Automatisierungstechnik eine große Rolle spielt, ergibt sich für RetroNet-Lösungen eine Relevanz folgender drei Kommunikationstechnologien: OPC UA, REST und MQTT. Weil der Aufwand zur Berücksichtigung aller drei Kommunikationstechnologien die geplante Bearbeitungskapazität im Projekt überstiegen hätte, erfolgten die abschließenden Untersuchungen zu den Anwendungsszenarien auf der Basis von MQTT, da dieses die größte Flexibilität in der softwaretechnologischen Umsetzung und Handhabbarkeit für nutzerspezifische Lösungen ermöglicht. In den Demonstrationsanordnungen zu den Anwendungsszenarien wurde darum der Datentransport vorrangig mit MQTT realisiert. Der wichtigste Aspekt von MQTT ist eine ereignisgesteuerte Publish/Subscribe-Architektur. Es gibt keine Ende-zu-Ende-Verbindung, wie beispielsweise bei HTTP mit seiner Request /Response-Architektur, sondern einen zentralen Server (Broker), zu welchem sich Sender und Empfänger von Daten gleichermaßen verbinden. Datentypen unterschiedlichster Art können ohne Festlegung auf eine bestimmte Struktur mit dem MQTT-Protokoll übertragen werden. Durch einfache Implementierung wird auch die Vernetzung von Geräten mit geringen Ressourcen möglich. Die Übertragung kann auch in instabilen Netzen bei unterschiedlichen Servicequalitäten gewährleistet werden kann. Meta-Informationen werden serverseitig gespeichert, um die Notwendigkeit einer erneuten Sendung dieser nach Wiederaufnahme der Verbindung zu vermeiden.

3.4.3 Systematik zur IoT-Vernetzung

Aus den Erfahrungen zur Systemintegration in der automatisierungstechnischen Praxis und den Analyse- Entwurfs- und Testarbeiten im Verlaufe des Verbundvorhabens RetroNet erfolgte die Ableitung einer Systematisierung bzw. Strukturierung (Abbildung 29) als grober Leitfaden zur technischen Umsetzung der Datenkommunikation für Industrie 4.0 bzw. Industrial Internet of Things (IIoT). Eine Systematisierung der Gestaltungsmöglichkeiten zur IoT-Nachrüstung (Abbildung 27) ist für folgende funktionale Ebenen hilfreich:

1. Die unterste Erfassungsebene ist ein Feldgeräte-Netz (Edge-Device), an dem die Daten entstehen, die im Rahmen der IoT-Applikation erfasst werden sollen.
2. Ein Controllergateway mit zu entwickelnden Softwarefunktionalitäten (insbesondere zur Datenkonvertierung und zur Sicherheit), inspiziert die Konsistenz der eingehenden Daten, nimmt eine Aggregation vor und übermittelt die Daten an eine Dienst-basierende Applikation (in einem Rechenzentrum oder auf einer Cloud-Plattform).
3. In einer Dienste-Plattform erfolgt eine detaillierte Analyse und Aufbereitung der Daten für konkrete Aktionen, beispielsweise zum Ändern und Anpassen von Maschinen- oder Device-Parametern bei Störungssituationen.

Die technologischen Vorteile einer systemischen Gestaltung der Konnektivität liegen in der Anbindung beliebiger Aggregate und Funktionsteile einer Maschine, einer Prozessanlage bzw. einer technischen Infrastruktur oftmals mit heterogenen IT-Komponenten. Eine solche Einsatzsystematik ermöglicht Lösungen mit vorkonfigurierten Modulen, die entsprechend der Anwendungsspezifik angepasst werden, wie

- Einrichtung beliebig skalierbarer Lösungen
- Dienste zur Informationsauswertung, die beliebig und schnell umrüstbar sind
- zentralisierte Auswertbarkeit großer Datenmengen
- Nutzung von kommerziellen Cloud- bzw. IoT-Plattformen.

Orientiert an diesen grundsätzlichen Anforderungen wurden Testkomponenten aufgebaut und Demonstrationslösungen zur Realisierung eines Dienste-Konzeptes konfiguriert (siehe Abschnitt 3.5 und Kapitel 5). Die Testkomponenten gliedern sich in die zwei Gruppen:

- (1) *Funktionen* zu Verbindungsherstellung, Datenlogging, Datenvorverarbeitung (Konvertierung), Übertragung und Applikationszuordnung, Datenspeicherung/-sicherung und Security-Mechanismen
- (2) *Dienste* für Konnektivität, Datenaufbereitung, Datenverwaltung, Applikationsaufruf zur Datenauswertung und Datenvisualisierung (Dashboard).

Im Ergebnis der experimentellen Realisierungen entstanden Gestaltungsvorstellungen zur *adaptiven Konnektivität* für die Umsetzung von I4.0-Lösungen mit nachrüstbaren Modulen. Daraus wurde eine verallgemeinerte Einsatzsystematik (Abbildung 29) abgeleitet, die eine Grundlage für einen Realisierungsleitfaden zur IP-Vernetzung von technischen Funktionen bilden kann. Gemäß dieser Systematik kann bzw. sollte konfigurierbare

Standard-Hard- und Software entwickelt bzw. vorgehalten wie auch heterogene bestehende IT-Komponenten angepasst werden. Eine solche systematische Einsatzarchitektur besteht somit aus konfigurierbaren Funktionseinheiten bzw. Modulen für

- Devices und Multibus-Datenlogger in der Prozess-nahen Ebene,
- IoT-Gateway als konfigurierbaren Datenvermittler, das auch als Edge-Cloud-System oder als Einzelsystem im Sinne eines komfortablen IoT-Devices einsetzbar ist sowie
- IoT-Dienstplattform entweder bei einem Cloud- Dienstleister oder als betriebsinterner Server.

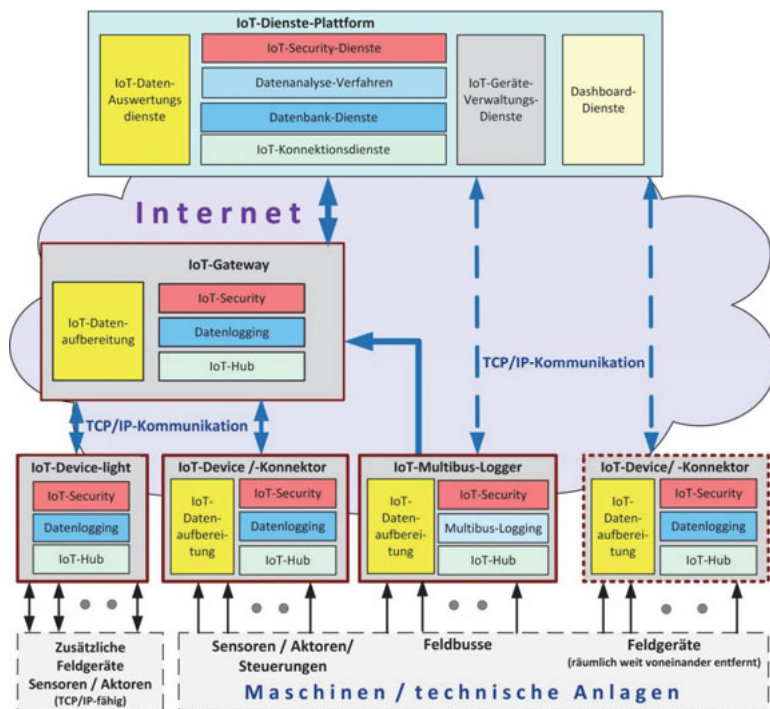


Abbildung 29: Einsatz-Systematik / Systemarchitektur der IoT-Konnektionen

Kundenspezifische Nutzerlösungen entsprechend dieser Systematik können mit hoher Flexibilität konfiguriert bzw. adaptiert werden.

Dazu wurden während der Bearbeitung des Forschungsprojektes Test-Dienste-Plattformen im Rahmen der informationstechnischen Möglichkeiten von Microsoft-Azure angelegt, um diese Microsoft-Azure-Cloud als experimentelle Basis für die Entwicklung von Diensten nutzen zu können. Es gibt aber auch eine Vielzahl anderer Anbieter von Cloud-Plattformen und es können betriebsinterne bzw. eigene Server mit Dienste-Plattformen angelegt werden.

Gegenwärtig bietet der Markt eine zunehmende Bandbreite an Varianten für IoT-Connection-Lösungen von fast allen Herstellern für Automatisierungskomponenten (Sensorik-Systeme, Sensoren-Anschlussbausteine, Einplatinenrechner, Software-Komponenten für das Embedded-Computing und komplette IoT-Baukästen). Dazu fehlt allerdings meist der letzte Schritt zur anwendungsspezifischen Umsetzung. Die beschriebene Systematik ist ein Versuch, einen Gestaltungsansatz zu einer adaptiven Kommunikationsarchitektur zu finden, die schrittweise verändert bzw. angepasst werden kann. Diese Einsatz-/Architektur-Systematik (Abbildung 29) zeigt flexibel kombinierbare Möglichkeiten der IoT-Kommunikation im Rahmen eines *Schichten-Modells*:

1. *Geräte-/Anlagenschicht mit Datenzugriffspunkten*: Die unterste Schicht realisiert die Datenabgriffe in der *technischen Anlage* bzw. *Prozessinfrastruktur* aus vorhandenen Steuerungen bzw. aus zusätzlich anzubringenden Sensoren. Diese Daten werden über einsatzspezifisch anzupassende Konnektoren (Prozessoren mit I/O- Baugruppen) zusammengeführt, auf Konsistenz überprüft und für die Weiterleitung aggregiert.
2. *Konnektivität*: Die Verbindungsschicht zur Kommunikation über Internet mit Servern bzw. Cloud (auch über das Mobilfunknetz oder eigene WiFi-Netzwerke des Unternehmens möglich). In Zukunft können die im Aufbau befindlichen LPWANs (Low Power Wide Area Networks) eingesetzt werden, eine Weiterentwicklung der Mobilfunktechnologie. Diese Verbindungsschicht kann als IoT-Hub in allen Typen der Nachrüstmodule wie auch in einsatzspezifisch anzupassende Konnektoren implementiert werden.
3. *IoT-(Verbindungs-)Modul (als Device-light / Smart Device / Gateway)*: Einfache Devices übertragen die Daten direkt an die Cloud oder ein Gateway, während Smart Devices die Daten zunächst als Embedded-Systems bearbeiten können. Der Einsatz eines Smart Devices als Gateway ist Edge-Computing („Edge“= am Rand) zum Internet, der eine Arbeitsteilung der Datenauswertung zwischen Edge und Cloud ermöglicht.

4. *IoT-Diensteplattform*: Als Verarbeitungsebene ist verantwortlich für die Sammlung, Aufbereitung, Weiterbearbeitung und Speicherung der Daten aus der Geräteschicht. Sie kann in einer Privat-Server-Cloud als auch in kommerziellen Cloud-Plattformen betrieben werden.
5. *Anwendungen (Apps, Data-Analytics)*: In der Anwendungsschicht werden die über die Plattform aufbereiteten Daten für Auswertungen, Entscheidungen und in neuartig gestaltbaren Geschäftsmodellen zur Verfügung gestellt bzw. weiterverarbeitet.
6. *Security*: Die Sicherheitsschicht besteht horizontal „neben“ den anderen Schichten, da Security in jeder Schicht berücksichtigt werden muss.

Die anwendungsrelevanten Kernkomponenten dieser Anwendungssystematik ist der Konnektor mit IoT-Software-Sack für die TCP/IP-Datenkommunikation, die Basislösung für eine Dienste-Plattform sowie Vorgaben zu den Hardwareanschlüssen an Sensoren, Feldbussen und vorhandenen Steuerungen sowie anderen bestehenden IT-Komponenten.

Die folgenden Tabellen beinhalten stichpunktartige Übersichten zu funktionellen Aufgaben und instrumentellen Anforderungen für konfigurierbare Funktions- bzw. Dienste-Komplexe, die in Modulen bzw. auf Rechnerplattformen implementierbar sein sollen. Die Tabelle 6 enthält Aufgabenstellungen, funktionale Anforderungen und Entwurfs-/ Realisierungsmerkmale. Die Tabelle 7 zeigt eine Übersicht zu möglichen Entwicklungsobjekten für den Aufbau funktioneller Softwarekomplexe zur Kommunikations- und Datenverarbeitungsstruktur in RetroNet-Lösungen. In Tabelle 8 sind funktionelle Aufgaben und instrumentelle Anforderungen zu anwendungsspezifischen Diensten der Plattform zusammengestellt.

Tabelle 6: Übersicht zu den IoT-Modulen und Diensten

IoT-Modul	Aufgabenstellung	Funktionale Anforderungen	Realisierungsmerkmale IoT-Software-Stack
Device	IoT-Anschluss von Automatisierungsgeräten (Devices im Prozess-Feld: Sensoren, Aktoren, Steuerungen) an eine IoT-Gateway oder direkt an eine Cloud-Plattform	<ul style="list-style-type: none"> • IoT-Schnittstelle der Datenverbindung zu Feldgerät der Prozessautomation • Datenlogging • Datenkonvertierung • Sicherheitsfunktionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ebedded Computing • IoT-Device-Stack • IoT-HUB • Security-Stack • Single-Board-Computer
Device-einfach	IoT-Anschluss TCP/IP-fähiger Automatisierungsgeräte (ProfiNet, Modbus, Ethernet/IP + TSN u.a.) an IoT-Gateway	<ul style="list-style-type: none"> • IoT-Schnittstelle der Datenverbindung (Connection) anzuschließender moderner Feldgeräte (TCP/IP) • Datenlogging • Sicherheitsfunktionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ebedded Computing • IoT-HUB • Security-Stack • Single-Board-Computer
Bus-Adapter	IoT-Anschluss für ein bis mehrere Feldbusse (Feldbusprotokolle wie auch TCP/IP- Protokollen) für rückwirkungsfreies Multibus-Logging	<ul style="list-style-type: none"> • IoT-Schnittstelle für Feldbusse • Scannen des Datenverkehrs • Datenkonvertierung • Sicherheitsfunktionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ebedded Computing • IoT-HUB • Multibus-Logging • Security-Stack • Single-Board-Computer
Gateway	Web-Fähigkeit der über das Gateway anzuschließenden IoT- fähigen Geräte bzw. als Edge eines kompletten Automatisierungsnetzes zur Datenkommunikation mit der Dienste-Plattform	<ul style="list-style-type: none"> • Schnittstelle zur Realisierung div. Datenverbindungen (Connection) zur Web-Plattform • Datenkonvertierung • Sicherheitsfunktionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ebedded Computing • IoT-Connecting • Gateway-Stack • Security-Stack • Single-Board-Computer
Dienste-Plattform	Web-Service-Komponenten als Dienste-Plattform im Unternehmensnetzwerk oder in einer Dienstleistungs-Cloud	<ul style="list-style-type: none"> • Connections-Dienste • Auswertungsdienste • Datenbankdienste • Datenanalyseverfahren • Dashboard-Dienste 	<ul style="list-style-type: none"> • Web-Service-Plattform • Backend-Server • Cloud-Ressourcen

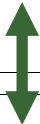


Tabelle 7: Entwicklungsobjekte für funktionelle Software

Funktionskomplex im Nachrüstmodul	Aufgaben	Instrumentelle Anforderungen
IoT-Hub	<ul style="list-style-type: none"> • Heterogene Verbindungsherstellung zum Datenabgriff entsprechend der Hardware-Eigenschaften der anzuschließenden Datenquellen • Verbindungsherstellung für Datentransport zur Dienste-Plattform 	<ul style="list-style-type: none"> • Phys. Anbindung von multiplen Datenquellen, viele unterschiedliche Feldbusprotokolle (z.B. EtherNet, Profibus, Interbus, CAN u. a.) • TCP/IP-Busse (Ethernet-IP, ProfiNet, Modbus-TCP u.a.) • M2M-Kommunikation über OPC-UA oder MQTT zur Dienste-Plattform
IoT-Datenaufbereitung	Aufgaben-spezifische Vorverarbeitung + Dienste zur Datenkonvertierung entsprechend der zu nutzenden Datenprotokolle	Konvertierung der Daten: <ul style="list-style-type: none"> • Feldbus \longrightarrow M2M • TCP/IP \longleftrightarrow M2M • M2M \longleftrightarrow Dienste-Plattform
Datenlogging	Erfassung der vorverarbeiteten Daten mit Pufferung im Übertragungsprozess bzw. mit Zwischenspeicherung aus Geräten (Sensoren, Aktoren, Steuerungseinheiten u. a.)	Datenerfassung aus den angeschlossenen Quellen, Datenprüfung, übertragungsbedingte Pufferung zur Datensicherung, funktionsbedingte Vorverarbeitung, Zwischenspeicherung und Visualisierung über Dashboard
Multibus-Logging	Rückwirkungsfreie Erfassung von Daten aus Datenbussen mit Pufferung im Übertragungsprozess bzw. mit Zwischenspeicherung	Abhören von ankoppelbaren bzw. angekoppelten Datenleitungen (Feld- und TCP/IP-Busse), übertragungsbedingte Pufferung zur Datensicherung, Zwischenspeicherung und Visualisierung über Dashboard
IoT-Security	In allen IoT-Modulen zu implementierende Sicherheitsfunktionen für Daten-, Kommunikations- und Gerätesicherheit einschließlich deren Überwachung	Realisierung von Security- Grundfunktionen (TLS, VPN, Firewall) zur Verschlüsselung, Zugriffskontrolle u.a.; ständige Überwachung und Aktualisierung der Security- Grundfunktionen mittels abrufbarer Dienste der Plattform

Tabelle 8: Übersicht zu den Diensten der IoT-Plattform

Dienste-Komplex der IoT-Plattform	Funktionelle Aufgaben	Instrumentelle Anforderungen
IoT-Connections-Dienste	Dienste-System der Verwaltung angeschlossener bzw. anschließbarer IoT-Module	Verwaltung der angeschlossenen Datenquellen entsprechend ihrer unterschiedlichen Datenbus-Protokolle sowie der M2M- Datenkommunikation (z. B. OPC-UA, MQTT u. a.)
IoT-Security-Dienste	Dienste-System für die Überwachung der Daten-, Kommunikations- und Gerätesicherheit	Ständig abrufbare Überwachung und Aktualisierung der implementierten Sicherheitsfunktionen in den IoT-Geräten
IoT-Datenaufberei-tungs-dienste	Dienste-System zur Datenaktualisierung und Datenkonvertierung sowie physische Datensicherung	<ul style="list-style-type: none"> • Verwaltung und ständiges Aktualisierung der Konnektivität für zu erfassende bzw. zu überwachende Daten • Datenprotokollspezifische Datenkonvertierung • Datensicherung
IoT-Geräteverwaltung	Sicherstellung der korrekten Funktionen der vernetzten IoT-Module	Konsequente Patches und Updates auf Software und Applikationen, die auf IoT-Geräten ausgeführt werden
Datenbank-Dienste	Datenübernahme IoT- Geräten in die Datenbank und nutzerspezifische Datenauswertung	<ul style="list-style-type: none"> • Dienste zur direkten, angeforderten oder gepufferten Datenübernahme • Nutzerspezifische Dienste der Datenauswertung
Dashboard-Dienste (Datenvisualisierung)	Web-Dienste zur Daten-Visualisierung Abrufbar von beliebigen Web-Browser	Nutzerspezifisch einzurichtende Dienste zur Visualisierung der Beobachtung, Analyse und Auswertung der Daten
Zugriffsdienste auf kommerzielle Software- Plattformen	Implementierungsdienste für Applikationen, wie z. B. für applikationsspezifische Dienste zur Datenanalyse	Nutzerspezifische Applikationen von Diensten der Datenanalyse (Big-Data, Smart-Services, Simulationsmodelle u.a.)

3.4.4 IoT-Software-Stack

Grundbaustein aller Entwicklungsobjekte zur Realisierung von Konnektor-Lösungen für RetroNet ist ein *IoT-Software-Stack* auf Basis Embedded-Computing (siehe Abbildung 30), mit dem vorkonfektionierte konfigurierbare Funktionen für IoT- Devices bzw. IoT-Gateways anwendungsspezifisch angepasst werden. Mit diesen muss auch eine geschützte Datenübertragung an eine zentrale Plattforminstanz konfiguriert werden.

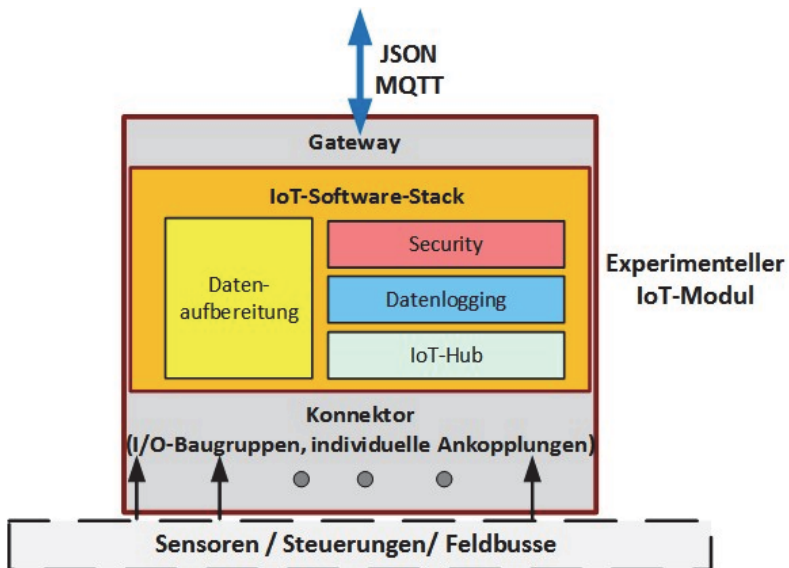


Abbildung 30: Struktur eines IoT-Moduls mit Software-Stack

Ein Stack setzt sich zusammen aus dem Betriebssystem, einem Webserver, einer Laufzeitumgebung mit der zu verwendenden Programmiersprache, einer Lösung für die Datenpersistenz (Zugriff auf Datenbasis) sowie konfigurierbaren Schnittstellen. Implementierung und Konfigurierung des IoT-Software-Stack sollten über eine vorzuhaltende Programmierplattform mit Frameworks, Bibliotheken und Software-Bausteinen (z. B. für Schnittstellen-API) wie auch mit Programmierwerkzeugen (z. B. IDE und Compiler) vorgenommen werden. Die Realisierung dieser Software-Stacks ist auch abhängig von der Firmware des zu verwendenden Einchip-Rechners.

○ Anwendung von Open Source

Zum Nachweis der Machbarkeit solch nachrüstbarer Module auf Grundlage von Embedded-Computing wurden durch AUCOTEAM insbesondere die Möglichkeiten der Verwendung von Open-Source untersucht (Tabelle 9), um preisgünstige Lösungen realisieren zu können. Dabei ist die Erschließung flexibler softwaretechnologischer Möglichkeiten wie Docker-Container sinnvoll, da in der IoT-Welt meist eine Vielzahl kleiner funktioneller Software-Bausteine in einem flexibel integrierbaren bzw. vernetzbaren Gesamtsystem genutzt werden soll.

Tabelle 9: Realisierungsoptionen für IoT-Stack u. -Dienste-Plattform mit Open-Source

Realisierungs- optionen	Open-Source Software + Werkzeuge	Kommerzielle Dienste- /Cloud-Anbieter
IoT-Stack	<ul style="list-style-type: none">• Linux / Ubuntu (Betriebssystem)• JSON (Datenaustauschformat)• Python (Programmiersprache)• Node-RED (Konfigurationswerkzeug)• OpenStack (Cloud-Computing-Komponenten)• Docker Container (Implementierungstechnologie)	<ul style="list-style-type: none">• Open-Source Werkzeuge meist nutzbar auch für kommerzielle Plattformen
Dienste-Plattform	<ul style="list-style-type: none">• Node.JS (JavaScript-Server)• OpenStack (Cloud-Computing-Server unter Apache-Lizenz)	<ul style="list-style-type: none">• RED Hat OpenStack• OpenTelekom Cloud• NextCloud

Ein von AUCOTEAM mit Open-Source-Software auf Raspberry-PI realisierter Stack war Testobjekt in verschiedenen Versuchsanordnungen. Ein solcher Stack ist auch auf anderen Single-Board- bzw. Ein-Chip-Computern implementierbar, wenn bezüglich der Firmware des zu verwendenden Einchip-Rechners bestimmte softwaretechnische Voraussetzungen vorhanden bzw. eingehalten werden. Dem entsprechend wurden zur Auswahl der Hardware-Software-Struktur für IoT-Module bzw. RetroNet-Konnektoren mehrere Einplatinen-Computer auf ihre Verwendbarkeit bewertet. Der physische Aufbau und die konstruktive Fassung in Elektronik-Gehäuse mit Steckverbindern können gemäß der am Markt verfügbarer Lösungen zu Einchip-Rechnern erfolgen.

○ Open Source Dienste-Plattform

Entsprechend der in Tabelle 9 genannten Möglichkeiten wurde zunächst als eigene bzw. separate Plattform eine schnell zu realisierende experimentelle Anordnung mit Open-Source- Komponenten eingerichtet. Sie ist in folgender Weise (Abbildung 31) aufgebaut:

Auf einer Server-Plattform, in die die Daten aus experimentellen Konnektor-IP-Gateway-Komponenten einlaufen, sind unter Node-JS Server folgende *Open-Source*- Komponenten integriert für die Realisierung von einfachen Diensten:

- *Mosquitto* - MQTT Broker
- *InfluxDB* - "Time series" Zeitreihen-Datenbank
- *NodeRED* - Entwicklungswerkzeug zur Datenverbindung anzuschließender IP-Geräte und Web-Dienste entsprechend der funktionalen Anforderungen (ein Beispiel dazu in Abbildung 58)
- *Grafana* – Analyse-Visualisierung von Messwerten aus einer Zeitreihen-Datenbank und *Chronograf* als Alternative zur Grafana
- Jupyter Notebook - Entwicklungswerkzeug zum Programmieren von Formeln, Grafiken, Diagrammen zur Auswertung von Daten einschließlich dazu generierbarer Dokumente, abrufbar über
- NGiNX – Webserver, der als Proxy dient.

Alle genannten Softwarekomponenten laufen in separaten Docker-Containern und sind miteinander vernetzt.

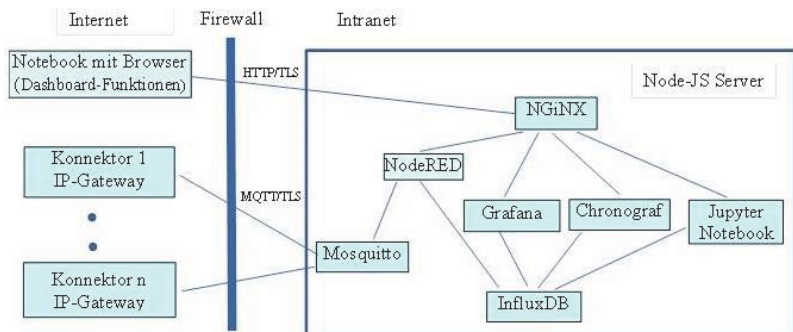


Abbildung 31: Demonstration einer Diensteplattform mit Open-Source-Komponenten

3.4.5 Experimentelle RetroNet-Testanordnungen

Repräsentativ für die - entsprechend der dargestellten Einsatzsystematik zu funktionell differenzierbaren IoT-Modulen (Tabellen 6 bis 8) - erarbeitete AUCOTEAM die Anforderungsspezifikation und einige Entwürfe zur Realisierung eines Software-Stack für eine IoT-Gateway (Abbildung 30) auf der Grundlage von Open-Source mit verschiedenen Implementierungsvarianten. Die experimentellen Implementierungen erfolgten auf dem Einplatinenrechner Raspberry-PI (Abbildung 32 und Abbildung 32), die zuerst mit einer experimentellen Dienste-Plattformen auf der Basis von Open Source-Komponenten getestet wurden (Abbildung 31).

Die andere von Projektpartner Bosch-Rexroth zuerst geschaffene Lösungsvariante eines I4.0-Konnektors auf Basis der Einplatinenrechner-Steuerung XM21 (siehe Abschnitt 3.2) wurde mit der IoT-Gateway-Lösung auf Basis des Raspberry-PI kombiniert. Beide Lösungen wurden in die mit den Projektpartnern gemeinsam eingerichtete initiale Test-anordnung der Dienste-Plattform (Abschnitt 3.5) integriert.

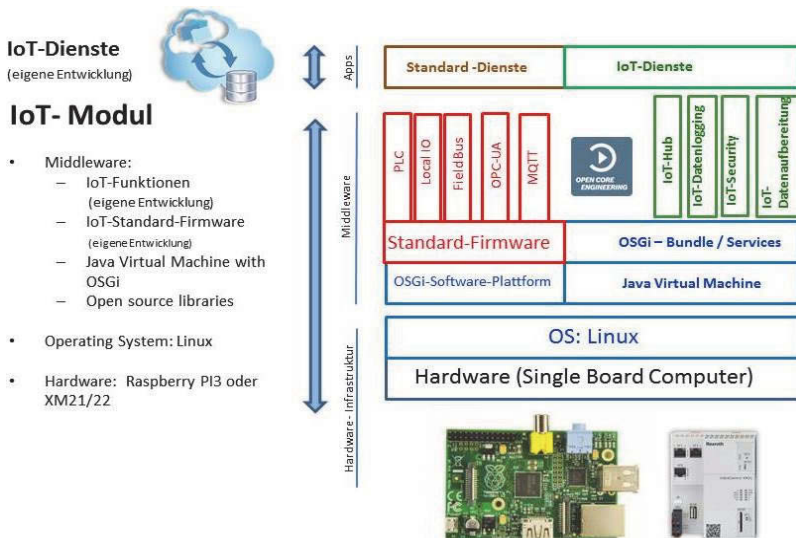


Abbildung 32: IoT-Stack auf XM21 von Bosch Rexroth, alternative Installation auf Raspberry-PI

Nach Implementierung erster Entwürfe eines IoT-Stacks auf der Soft-SPS XM21 (Abbildung 32) zusammen mit Bosch-Rexroth wurde durch AUCOTEAM der Raspberry Pi3 als eine weitere Entwicklungsbasis einbezogen, weil für diesen die Firmware frei zugänglich ist und eine breite Open-Source-Softwarebasis zu Verfügung steht.

Die alternative experimentelle Anordnung besteht aus Raspberry Pi mit programmierbarem EA-Baustein für den Konnektor zur Datenaufnahme über den AD-Wandler ADS 1256 und ein Open-Source-Stack des IoT-Gateway zur Datenübergabe an die Cloud (Abbildung 33 bis Abbildung 36). Mit diesem Test-IoT-Modul wurde die TCP/IP- Kommunikation zur Cloud mit verschiedenen Protokollen wie MQTT, OPC u.a. getestet.

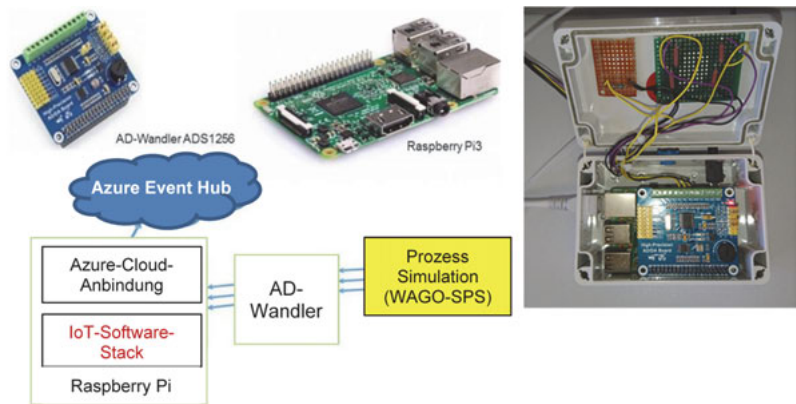


Abbildung 33: Experimentelles IoT-Modul

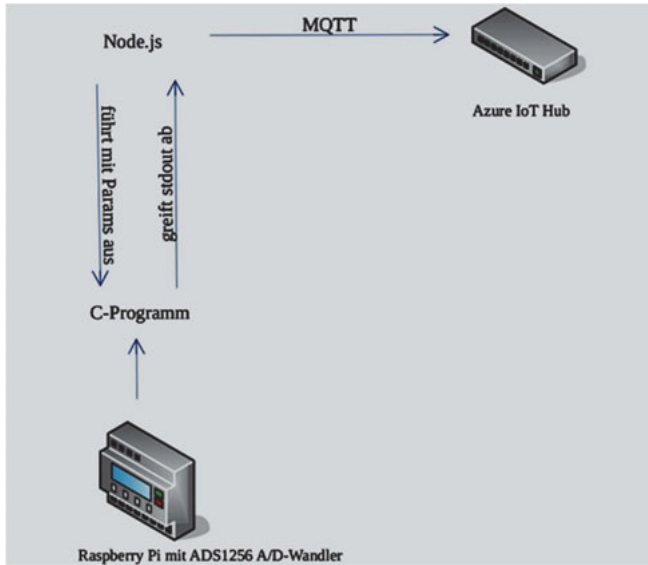


Abbildung 34: Datenaustausch Raspberry-Pi – Azure Hub

Diese Testarbeiten erbrachten Erkenntnisse zur Latenz und zu den Grenzen einer Echtzeitfähigkeit der entwickelten Lösung.



Abbildung 35: Experimentelle Anordnung mit XM21 und Raspberry-PI

Das Schema (Abbildung 36) zu der in AUCOTEAM realisierten experimentellen Anordnung zeigt den funktionellen Umfang zu technischen Connectivity, die in den Demonstrationslösungen der Anwendungsszenarien umgesetzt wurden.

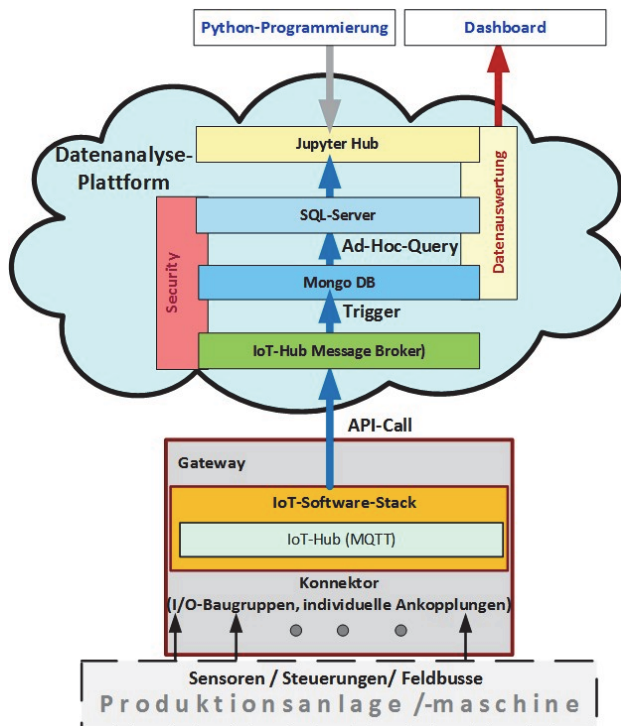


Abbildung 36: Schema zur gesamten experimentellen RetroNet-Test-Anordnung

Zur Einrichtung von Mehrwertdiensten erarbeitete der Projektpartner PI Informatik eine Realisierungsspezifikation für einen Azure IoT-Hub und implementierte diesen in einer ersten Version prototypisch auf MS-Azure (siehe 3.5.2 Plattformarchitektur). Mit diesem IoT-Hub wurden die realisierten Funktionen des IoT-Software-Stacks nachgewiesen.

In dieser ersten experimentellen Basisinfrastruktur wurden für Anzeige- und Analyse-Funktionen der Daten durch ein mit JavaScript programmierbares Dashboard realisiert. Diese Funktionen sind durch den Anwender steuerbar. Die Aufgabe besteht im Abruf von Diensten zur Datenbeobachtung und -auswertung über mobile Endgeräte (Abbildung 31 und Abbildung 37: Beispiele zur Datenauswertung).

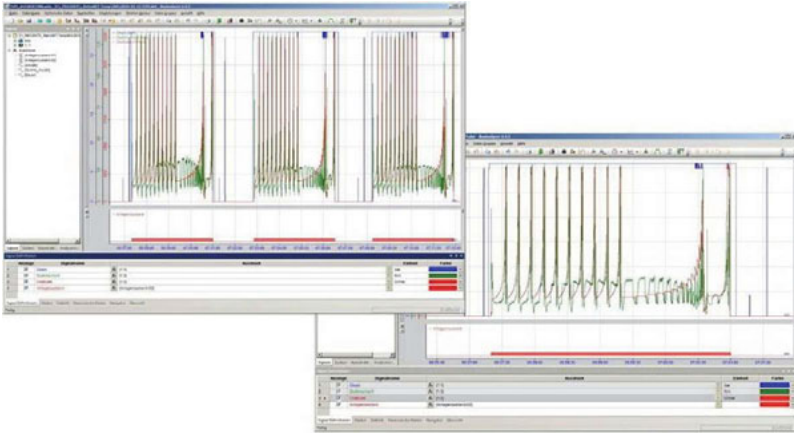


Abbildung 37: Beispiele zur Datenauswertung

Da solche Dienste über Open-Source wie auch bei jedem kommerziellen Cloud-Anbieter verfügbar sind, waren weitere eigene Entwicklungsarbeiten nicht erforderlich. Die Dashboard-Technologie ist vielfältig und ausgereift. Es können viele verfügbare Funktionen benutzt werden. Prinzipiell gibt zwei Arten von Dashboards mit interaktiven Funktionen²⁵: Stream-Übersichts- und Stream-Detail-Dashboards. Darüber hinaus können Stream-Übersichts-Dashboard homepage- oder entitätsspezifische Dashboards sein. Die entitätsspezifischen Dashboards werden in einem anderen Teil der Benutzeroberfläche konfiguriert und teilweise mit den entitätsspezifischen Konfigurationsinformationen vorab geladen. Die Stream-Übersichts-Dashboards zeigen Daten in Echtzeit für mehrere Datenstreams an. Die Streamdetail-Dashboards zeigen Echtzeitdaten über einen Stream basierend auf einer Entitätsansicht oder Warteschlange an. Benutzer können zusätzliche Filterung mit globalem Filter und Zeitrahmenfilter anwenden.

Aus der Bearbeitung der Testlösungen zur Datenkommunikation über Konnektoren-IP-Gateways mit einer Cloud-Plattform und deren Umsetzung in den Anwendungsszenarien (siehe Kapitel 5) ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

²⁵ Interaktive Dashboards konfigurieren: <https://docs.microsoft.com/de-de/dynamics365/customer-engagement/customize/configure-interactive-experience-dashboards>

- (1) Die Datenerfassung aus bestehenden Maschinen und Anlagen ist meist nur individuell bzw. aufgabenspezifisch realisierbar.
- (2) Die Nachrüstung zur Datenerfassung ist zwar schon mit preisgünstigen Sensoren und mit Open-Source-Komponenten schnell umsetzbar, bedarf aber systemischer Integrationskonzepte bei der Einrichtung von Mehrwertdiensten der Datenauswertung.
- (3) Es können zeitkritische Datenerfassungsprobleme auftreten, wenn keine ausreichenden Abtastraten über die Sensorik möglich sind oder wenn Übertragungsengpässe im IP-Netz auftreten.
- (4) Bei Zeitproblemen in der Datenauswertung bzw. bei Echtzeitanforderungen ist eine Arbeitsteilung zwischen Edge- und Cloud-Computing erforderlich. Der RetroNet-Konnektor bzw. das IoT-Gateway müssen dann zu einem leistungsfähigen Edge-Rechner erweitert werden.
- (5) Retrofit-Lösungen sind nicht vollständig mit Markt-Produkten (Konnektoren, Gateways, Busadapter u. a.) und kommerziellen Cloud-Plattformen realisierbar, es sind immer auch aufgabenspezifische individuelle Komponenten zu realisieren.

3.5 Mehrwertdienstplattform

3.5.1 Motivation und Herausforderungen

M. Winter

Motivation der Mehrwertdienstplattform war es, ein möglichst intuitives Bereitstellen von Diensten zu ermöglichen. Aus der im RetroNet-Projekt entwickelten Methodik ergab sich, dass Mehrwertdienste durch einfache Dialogführung und selbsterklärende Darstellung von Nutzerschnittstellen bedienbar sein sollten, mit dem Ziel Fachanwender und IT-Spezialisten über eine Plattform zu synchronisieren. Die derzeitigen technischen Rahmenbedingungen erfordern jedoch eine Gradwanderung zwischen umfangreichen Featureangebot, um den oftmals sehr speziellen Anforderungen der Unternehmen nachzukommen und hoher Abstraktion, die einen möglichst einfachen und allgemeingültigen Einstiegspunkt bildet.

Die angesprochene häufige Spezialisierung des deutschen Mittelstandes auf Nischensektoren, macht es zudem erforderlich eine hohe Anpassbarkeit und Unterstützung für fortgeschrittene Analyseverfahren, wie Machine-Learning zu bieten.

Hierfür ist eine komplexe Infrastruktur notwendig, die in der Regel nicht vom durchschnittlichen mittelständischen Betrieb beherrscht wird. Die umfangreiche automatisierte Bereitstellung musste demzufolge bei der Konzeption einer Mehrwertdienstplattform berücksichtigt werden.

Dies gilt insbesondere für das Datenmanagement, welches als Kernbestandteil zukünftiger Industrie 4.0-Lösungen angesehen werden kann.



Abbildung 38: Softwarearchitektur des Konnektors

Die auf dieser Basis entstehenden Mehrwertdienste sollten in ihrer Bereitstellung geringe Einstiegshürden aufweisen. Dennoch musste bei der Konzeption der Mehrwertdienstplattform auf die Einhaltung entsprechender Sicherheitsstandards und eine industrietaugliche Skalierbarkeit und Wartbarkeit geachtet werden.

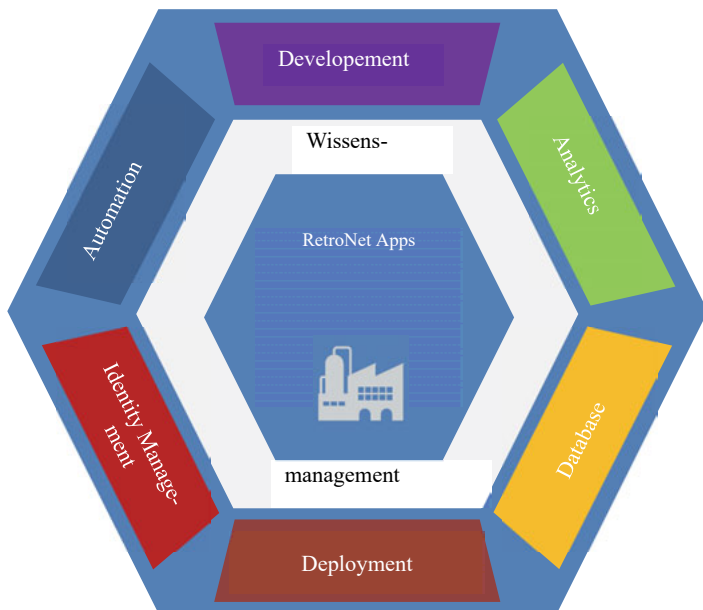


Abbildung 39: Softwarearchitektur des Konnektors

3.5.2 Plattformarchitektur

M. Winter

In der Plattformarchitektur werden die technischen Bestandteile der allgemeinen Systemarchitektur konkreter beschrieben und auf besondere Probleme näher eingegangen.

Grundlage für jegliche Art von Endanwendung ist ein stabiler und kontinuierlicher Datenfluss von der Feldebene zur Cloud. Hierzu wurden verschiedene Protokolle evaluiert, um den Datentransfer zu ermöglichen. In einem ersten Schritt, wurde das aus der Webentwicklung bekannte HTTPS-Protokoll verwendet. Ein großer Vorteil ist die weitestgehend Verfügbarkeit in den meisten Unternehmen. Ein großer Nachteil besteht jedoch darin, dass dieses Protokoll textbasiert ist und damit einen großen Netzwerkoverhead erzeugt. In einem weiteren Schritt wurde versucht über MQTT die Maschinen anzubinden. Die Datenübergabe an angrenzende Systeme kann über beliebige textbasierte oder binäre

Nachrichteninhalte erfolgen. MQTT ist im Vergleich zu HTTPS wesentlich leichtgewichtiger. In vielen Unternehmen sind die notwendigen Ports jedoch nicht freigeschaltet.

Um eine größtmögliche Flexibilität des Integrators zu ermöglichen sollte auf einen möglichst flexiblen Dienst zurückgegriffen werden, der ein einfaches Wechseln der Protokolle ermöglicht. Der Azure IoT Hub hat die Anforderungen des RetroNet-Projektes am besten abgedeckt und bildet somit das Rückgrat des Messaging Layers.

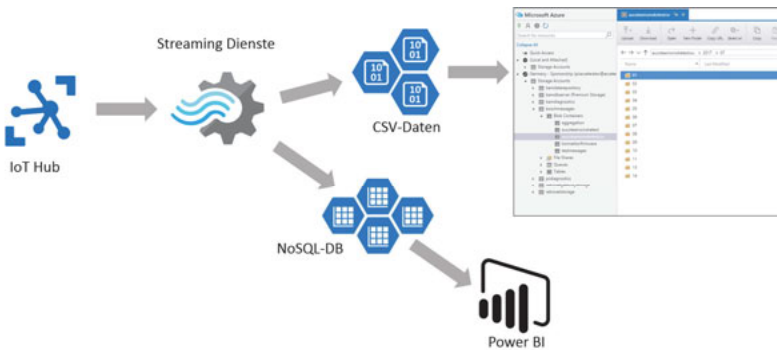


Abbildung 40: Softwarearchitektur des Konnektors

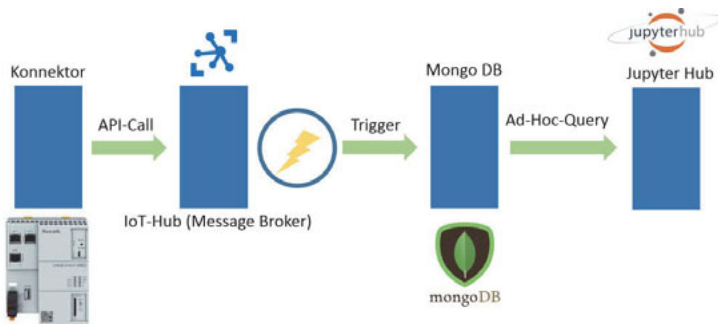


Abbildung 41: Datendurchgängigkeitskonzept

In einem ersten Schritt wurden die so erfassten Daten durch Streaming-Dienste verarbeitet. Hierbei handelt es sich um Komponenten die kontinuierlich Ereignisse von Datenquellen erfassen und deren Inhalte weiterverarbeiten können. Die notwendigen Scripte zur Filterung, Validierung und Transformation werden im Rahmen von Microsoft Azure

mit Hilfe eines speziellen SQL-Dialekts entwickelt. Auf dieser Basis wurden ETL-Prozesse implementiert, die ein kontinuierliches und preisgünstiges Speichern in Form von CSV-Daten ermöglichen.

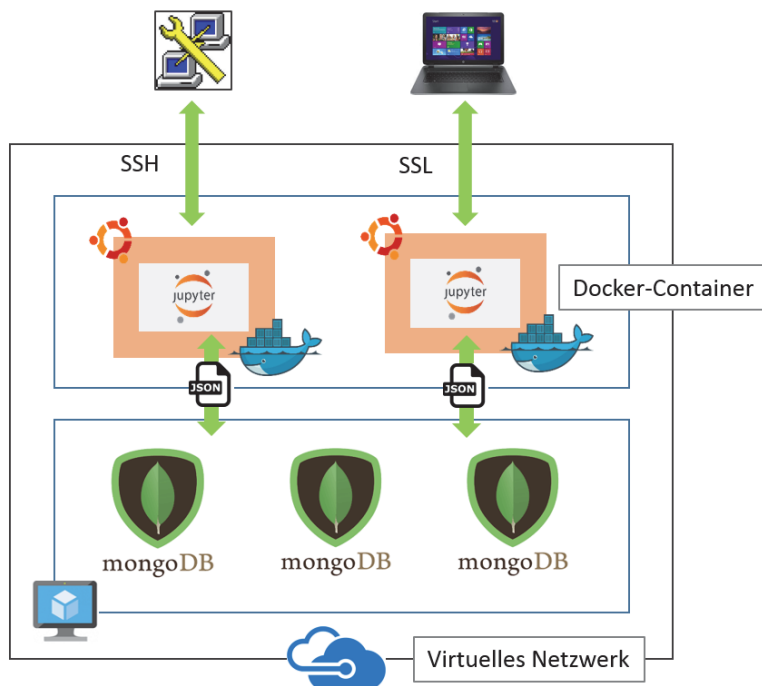


Abbildung 42: Softwarearchitektur des Konnektors

Die Visualisierung erfolgte mit OLAP-basierten Business Intelligence-Werkzeugen. Im weiteren Projektverlauf musste diese Infrastruktur jedoch aufgrund der relativ schlechten Performance beim Auswerten und laden der Daten ergänzt werden. Zu diesem Zweck wurde eine weitere Datenverarbeitungspipeline etabliert. Über Trigger-Funktionen werden die vom Konnektor erzeugten Telemetriedaten in eine dokumentenorientierte Datenbank ablegt. Eine Herausforderung bestand in der Konzeption einer geeigneten Partitionierungs-Strategie. Hierfür musste zunächst, dass am häufigsten vorkommende Datenzugriffsmuster identifiziert werden, um eine stabile und automatisierte horizontale Skalierung zu ermöglichen. Zur explorativen und performanten Analyse der Daten, wurde in Form des Jupyterhubs ein Notebook-Server aufgesetzt. Ein großer Vorteil dieser

Technologie ist die Möglichkeit sprachunabhängig Scripte zu entwickeln, welche direkt in einer Weboberfläche ausgeführt werden können. Die Installation und vor allem das Erlernen einer komplexen Entwicklungsumgebung, wie Visual Studio oder PyCharm entfällt damit und bettet sich gut in den projektübergreifenden Ansatz der Vereinfachung ein.

Insgesamt resultiert eine Architektur, die sich stark an dem Lambda-Konzept orientiert. Somit können große Datenmengen für die strategische Analyse langfristig und preisgünstig abgespeichert werden, während operative Daten temporär in einer NoSQL-Datenbank für operative Aufgaben bereitstehen. Die im RetroNet-Projekt eingesetzten Notebook-Server übernehmen auf Basis dieses Datenmanagements die Bereitstellung einer relativ leicht zugänglichen Analyse-Plattform. Die dabei entstehenden Analysen können ihrerseits durch verschiedene Webtechnologien in endanwendertaugliche Dienste überführt werden. Voraussetzung ist allerdings, dass entsprechende Analyse-Methoden etabliert oder vom jeweiligen Unternehmen entwickelt werden können. In weiteren Projekten wird die Weiterführung der Abstraktion entsprechender Analyse-Umgebungen deshalb eine große Rolle spielen.

3.5.3 Unternehmensübergreifendes Datenmodell

M. Strljic

3.5.3.1 Motivation

Industrie 4.0 bietet die Möglichkeit, durch eine erhöhte Vernetzung von Produktionsanlagen, einen detaillierten Einblick in den aktuellen Produktionsprozess zu erhalten. Durch diese Vernetzung wird es ermöglicht den gesamten Zustand einer Produktionsanlage aufzuzeichnen und innerhalb einer späteren Analyse nachzuvollziehen. Das Ziel dieser Analyse stellt die nachfolgende Optimierung des überwachten Produktionsprozesses dar, welche aus Analysen von I4.0-Mehrwertdiensten resultiert. Abbildung 1 visualisiert schematisch den Informationsfluss für ein solches Szenario. Es werden Daten aus den verschiedenen Ebenen der Produktion erfasst, in einem überliegenden Datenspeicher gesammelt und über eine Mehrwertdienst Pipeline ausgewertet. Die Ergebnisse werden als Optimierungen zurück in den Produktionsprozess eingebunden. Für die Verwendung dieser Daten in einem unternehmensübergreifenden Kontext werden zunächst die Anforderungen an eine solche Mehrwertdienst Pipeline aufgestellt, welche insgesamt fünf Anforderungen umfasst und mit A1 bis A5 abgekürzt werden. Anschließend wird eine passende

Systemarchitektur aus dem Bereich Big Data ausgewählt, um die zuvor aufgestellten Anforderungen zu erfüllen und somit eine Mehrwertdienst Pipeline zu realisieren. Die Anforderungen A1 – A5 und die Systemarchitektur werden abschließend in ein Datenmodell für die Datenerfassung und Übertragung innerhalb des Shop Floors der Produktion einfließen.

Wie die Abbildung 43 dargestellt, enthalten ERP Systeme des Office Floors bereits den Funktionsumfang, um relevante Prozessinformationen in standardisierten Formaten und Technologien an externe Datenspeicher zu übermitteln. Die Komponenten aus den Pyramidenschichten des Shop Floors besitzen diese Funktionalitäten nicht. Die Anbindung von Komponenten aus diesem Bereich an externe IT-Systeme stellen ein hohes Sicherheitsrisiko (A1) dar. Die darin verwendeten Systeme sind nicht für den unkontrollierten Zugriff aus anderen Netzwerken ausgelegt.

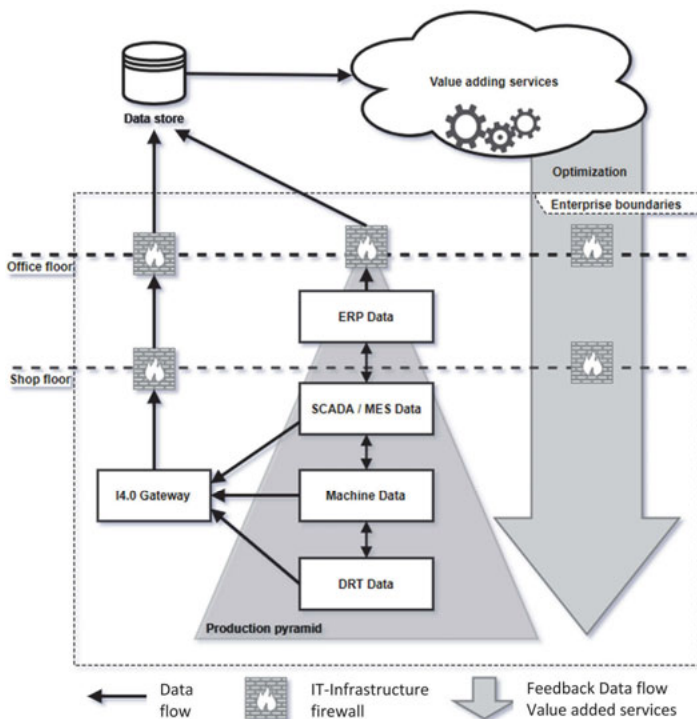


Abbildung 43: Data Flow in Manufacturing

So kann z.B. bei einer CNC-Steuerung allein ein ungeplantes Abfragen von Werten zu einem Verlust des Echtzeitverhaltens führen. Diese Abweichung wiederum kann den Stillstand des gesamten Produktionsprozesses bedeuten, sich auf die Qualität des Produktes auswirken oder sogar die Produktionsanlage beschädigen. Zusätzlich besitzen solche Systeme einen langen Lebenszyklus, erhalten jedoch nur priorisiert Systemaktualisierungen für eine Verbesserung des Produktionsprozesses. Derartige Aktualisierungen beinhalten das Potential eines Stillstands der Produktion oder unerwünschter Nebeneffekte auf den Produktionsprozess. Shop Floor Systeme werden hinter strikte Firewalls oder in Isolation betrieben, um das bestehende Risiko durch diese potentiellen Angriffsvektoren zu minimieren.

Aus diesem Grund erfolgt die Datenerfassung innerhalb des Shop Floors über zusätzliche IoT-Gateways, wie dem innerhalb von RetroNet entwickelten I4.0-Gateway. Diese Geräte dienen der Datenerfassung von prozessrelevanten Informationen aus SCADA, MES, Fertigungsanlagen und deterministischen Echtzeitinformationen aus Steuersystemen. IoT-Gateways nutzen industrielle Steuerungs- und Prozessautomatisierungsprotokolle, sowie echtzeitfähige Feldbussysteme, um die Daten aus den jeweiligen Quellsystemen auszulesen. Anschließend werden sie in ein neutrales Datenmodell transformiert und an den angestrebten Data Store übermittelt. Bei dem Data Store kann es sich um traditionale DBMS oder cloudbasierte Plattformen handeln. Diese Systeme übernehmen die Datensicherung und die Anbindung an I4.0-Mehrwertdienste.

3.5.3.1.1 Datenvariation

Eine der Herausforderung liegt in der Vielfalt (A2) der verwendeten Kommunikationsprotokolle und Steuerungstechnologien, welche von IoT-Gateways verwendet werden. So existieren innerhalb der Norm IEC 61784 neunzehn spezifizierte Feldbusprotokolle, um Daten aus Echtzeitsystemen zu erhalten. Zusätzlich werden Informationen aus den Steuerungssystemen über Automatisierungsprotokolle ausgelesen. Diese Protokolle umfassen, neben den Standards OPC UA und oneM2M, die proprietären Schnittstellen der einzelnen Maschinenbauer. Diese Protokolle besitzen eigene Serialisierungsverfahren und ein eigenes Datenmodell.

Ein solches Modell reicht hierbei von simplen Primitiven bis hin zu komplexen und dynamischen Datenstrukturen, wie z.B. OPC UA oder das Beckhoff Automation Device Specification Protokoll tief verschachtelte Hierarchien bieten. Dies wiederum bedeutet, dass wenn über ein normalisiertes Datenmodell diese Daten übertragen werden, ein Datenverlust durch die Modelltransformation geduldet wird. Die meisten IoT-Gateways

unterstützen aus diesen Gründen lediglich das Erfassen von Primitiven oder verbreitete Strukturen wie Arrays, Listen oder Key-Value-Maps. Diese bilden die größte semantische Überlappung der bestehenden Datenmodelle ab. Wenn komplexe Datenstrukturen unterstützt werden, wird dies über eine separate Datenmodelltransformation realisiert, in welcher das plattformspezifische Datenmodell auf das normalisierte Modell transformiert wird. Dies hat zur Folge, dass die strukturellen Eigenschaften des Ursprungsmodells verloren gehen und lediglich die Wertebelegungen erhalten bleiben. Es ist somit immer mit einem Informationsverlust bei der Transformation vom Quelldatenformat in das Übertragungsformat zu rechnen.

3.5.3.1.2 Datentransfer und Datenverarbeitung

Neben der hohen Varianz der verwendeten Datenmodelle, stellen die zu erfassenden und zugleich zu übertragenden Datenmengen eine Herausforderung dar (A3). So können einzelne Wertebelegungen innerhalb eines deterministischen Echtzeitprogramms unterhalb einer Millisekunde aktualisieren. Demensprechend wird eine CNC-Maschine, welche 100 zu überwachende Integer Werte mit 32 Bit bereitstellt, über 32 Gigabyte an zu verarbeitenden Daten pro Tag generieren. Diese schließt jedoch nicht die nötigen Metainformationen für die Identifikation und den Overhead für die Übertragung mit ein. Es muss somit eine hoch skalierbare Data Store Anwendung bestehen, welche aufkommende Datenvolumen eines gesamten Unternehmens und dessen Produktionsstandorte übertragen und verarbeiten kann.

3.5.3.1.3 Identifizierbarkeit und Flexibilität

Für eine spätere Auswertung der Prozessdaten von verschiedenen Fertigungsmaschinen, Produktionslinien, Abteilungen oder Unternehmensstandorte müssen diese Daten innerhalb des verwendeten Data Stores eindeutig identifizierbar sein (A4). Nur so ist es möglich, Optimierungen wieder auf die Informationsquelle zurückzuführen und somit den entstandenen Mehrwert zu nutzen. Diese globale Identifizierbarkeit ist noch nicht Teil der Steuerungssysteme von Fertigungsmaschinen oder Produktionsanlagen. Es ist z.B. bei der Datenerhebung von zwei baugleichen Anlagen durch deren verwendetes Datenmodell nicht möglich zu identifizieren von welchen der beiden Anlagen die erfassten Werte stammen. Zudem lässt sich die Qualität nur mit Kenntnis über die Infrastruktur des Produktionsprozesses erfassen. Letztlich können die jeweils erfassten Daten in deterministischer Echtzeit und somit in bestmöglicher Qualität von den Steuerungssystemen ausgelesen werden oder sie werden von Aggregationssystemen zusammengetragen, welche selbst nicht den vollen Informationsfluss erhalten oder nicht das gesamte Informations-

spektrum abbilden. Um das Problem der Datenquellenidentifikation zu lösen, werden von I4.0-Gateways oder deren Verwertungsplattformen Identifikatoren für einzelne Produktionsstandorte, Produktionslinien oder Fertigungsmaschinen vergeben. Das Problem ist die starre Verbindung zwischen Identifikatoren und zu erfassenden Daten. Denn zum einen muss für die Erfassung der Daten der passende Identifikator bei der Konfiguration existieren und zum anderem müssen bei Änderungen an den Produktionssystemen die Identifikatoren unter Umständen erneut anpasst werden. Die Anpassung der Identifikatoren selbst stellt hierbei nicht das Problem dar, sondern der Informationsfluss innerhalb des jeweiligen Unternehmens. Während dies in einem kleinen Unternehmen kein Problem darstellen muss, kann in einem Konzern dies ein erhebliches Problem bedeuten. So wird der Werker an einer Produktionsanlage nicht den Bereich seiner Zuständigkeit überschreiten und muss jegliche Änderung an der hierfür verantwortlichen Stelle beantragen und genehmigen lassen. Dies schränkt die Flexibilität für die Erstellung der nötigen Identifikatoren stark ein (A5) und kann dazu führen, dass der Werker an der Maschine, welcher mit dem Prozess und dessen Problemen vertraut ist, nicht derjenige ist, der in den Prozess der Datenerfassung mit einwirkt. Eine solche Einschränkung kann den möglichen Raum an generierbarem Mehrwert durch die Erfassung der falschen Informationen reduzieren.

3.5.3.1.4 Anforderungen eines einheitlichen Formates

Es wurde speziell für diese Anforderungen ein Datenmodell entwickelt, welches sich der Übertragung von Daten aus dem Produktionsprozess annimmt, um diese Mehrwertdienste bereit zu stellen. Dieses Datenmodell versucht, die in der Tabelle 10 aufgelisteten Anforderungen zu erfüllen.

Tabelle 10: Anforderungen an ein unternehmensübergreifendes Datenmodell

Nr.	Anforderung	Beschreibung
A1	Sicherheit	Die Verwendung des Datenmodells darf keine IT-Mechanismen voraussetzen, welche die Sicherheit einer Shop Floor IT-Infrastruktur negativ beeinflusst.
A2	Datenquellvarianz	Das Übertragen von Produktionsinformationen muss ermöglicht werden, ohne domänenspezifische Datenmodellinformationen durch eine Modelltransformation zu verlieren. Die Informationen müssen in einem Format vorliegen, damit ein Data Store diese Mehrwertdiensten interpretierbar zur Verfügung stellen kann.
A3	Skalierbarkeit	Es muss die Verwendung von skalierbaren Cloudanwendungen unterstützen und muss sich hierfür an bewährte Designpattern orientieren. Dies ist nötig, um die Übertragungsmengen zu jeder Zeit zu verarbeiten.
A4	Identifizierbarkeit	Übertragene Produktionsdaten müssen unternehmensübergreifend wieder auf dessen Datenquellen sowie dessen Informationsqualität zurück zu führen sein.
A5	Flexibilität	Die Verwendung muss es erlauben die Informationserhebung dynamisch anzupassen und sollte eine strikte Kopplung an eine übergeordnete Organisationsschicht für die Verwaltung der Identifikatoren vermeiden.

3.5.3.2 Big Data vom Hallenboden

Für das Design eines den Anforderungen entsprechenden Datenmodells muss zunächst beachtet werden, welche Art von Data Store verwendet wird. Hierfür betrachten wir die 5 V von Big Data, um zu definieren ob es sich um einen Big Data Anwendungsfall handelt. Anschließend wird für die aufgestellten Anforderungen eines der beiden Architekturmodelle Data Lake und Enterprise Data Warehouse (ESW) von Big Data ausgewählt. Die gewählte Architektur wird sich auf das Design des Datenmodells auswirken.

3.5.3.2.1 5 V von Big Data

Big Data wird durch die drei grundlegenden Eigenschaften Volume, Variety und Velocity bestimmt, welche von den Erweiterungen Validity und Value ergänzt werden. Diese Eigenschaften werden genutzt, um Anwendungsfälle bei denen es sich um reale Big Data

Anwendungen handelt zu identifizieren. Tabelle 11 zeigt auf, dass es sich bei dem Anwendungsfall, welcher innerhalb des Kapitels beschrieben wurde, um ein Big Data Anwendungsszenario handelt.

Tabelle 11: Big Data in Industrie 4.0

Big Data Merkmale	Erfüllungskriterium
Volume	Die zu überwachenden Datenmengen aus den verschiedenen Schichten der Produktionspyramide erfüllen dieses Kriterium bereits. Zusätzlich kommen zu dieser Menge an möglichen Datenquellen die hohen Aktualisierungsraten dieser Quellen, welche wie mit der Anforderung A3 bereits angedeutet ein enormes Volumen erreichen kann.
Variety	Die Anforderung A2 setzt die Erfüllung dieses Kriterium voraus.
Velocity	Hierbei ist das Anwendungsspektrum von I4.0-Mehrwertdiensten breit gefasst. Die Anwendungsszenarien reichen von Geschäftsprozessanpassung bis hin zu Parameteroptimierung einer Fertigungsmaschine. Es umfasst somit Optimierungen deren Einfließen in den Prozess keine zeitliche Beschränkung besitzen und solche die für eine maximale Wertschöpfung bereits beim nächsten Echtzeittakt der Steuerungssysteme zur Verfügung stehen sollte.
Validity	Die Datenqualität befindet sich durch die kontrollierte Konfiguration von den jeweiligen Datenquellen (I4.0-Gateways oder Cyber physische Systeme) stets in einem definierten Zustand. Wenn dieser Zustand wohldefiniert und dokumentiert ist, kann durchgehend von einer hohen Datenqualität ausgegangen werden.
Value	Das Hauptziel der Datenerfassung strebt eine Mehrwertgenerierung durch die verarbeitenden I4.0-Mehrwertdienste an. Es stellt somit per Definition des Anwendungsfalles klar, dass hierbei Business Value generiert werden soll.

Das überliegende Ziel ist die Übertragung von Produktionsprozessinformationen über ein einheitliches Datenformat, welches den Anforderungen an immer dynamischeren und skalierbaren Anwendungsszenarien von I4.0 gewachsen ist und Unternehmen dabei hilft einen Grundstein für ihre Mehrwertdienst-Pipeline zur Verfügung zu stellen.

3.5.3.2.2 Enterprise data warehouse (EDW)

Diese Systeme bestehen aus einzelnen unternehmenseigenen Data Stores. Es handelt sich hierbei um relationale DBMS, welche Daten in ein vorher zu definierendes Datenschema überführen. Dieser Prozess wird als *extract, transform and load* (ETL) bezeichnet. Die Extraktion beschreibt hierbei die einfache Datensammlung aus einer Datenquelle.

Anschließend werden die erfassten Daten über den Transformationsschritt in dafür vorgesehene und zuvor erstellte Datenbanktabellen gespeichert. Dieser Transformationsschritt setzt die Existenz eines Datenschemas innerhalb dieser Datenbanktabellen voraus und wird darum als „scheme on write“ bezeichnet. Es muss somit das Datenschema beim Speichern der Daten bekannt sein. EDW besitzen einen hohen Grad an Effizienz was die Datenerfassung und Verarbeitung betrifft und ist wie von der Anforderung A3 gefordert für den jeweiligen Anwendungszweck skalierbar. Zudem sind die hierbei verwendeten DBMS bereits für Webdienste ausgelegt und erfüllen die geforderte Unternehmenssicherheit von Anforderung A1.

Für die Datenspeicherung muss ein passendes Datenschema vorhanden sein, darum kann die Anforderung von A4 als erfüllt angenommen werden. Folglich kann bei der Schema Erstellung der benötigte Identifikator eingeplant werden. Dies ist jedoch von dem jeweiligen Prozess der Schemaerstellung abhängig. Daher ist es auch möglich die Daten ohne solche Merkmale abzuspeichern. Dies führt dazu, dass die Anforderung A4 nur teilweise erfüllt ist. Abschließend behandeln wir die beiden Schwächen von EDW Systemen. Aufgrund des Bedarfs eines Datenschemas zur Abspeicherung der Daten ist ein solches System nicht ausreichen flexibel. Zudem muss innerhalb des Transformationsschrittes von ETL mit einem Datenverlust gerechnet werden, wenn eine starke Variation in den Daten vorkommt. Diese beiden Aspekte führen dazu, dass die Anforderung A5 nicht und die Anforderung A2 nur teilweise erfüllt werden. Die teilweise Erfüllung von A2 resultiert aus Anwendungsszenarien mit einer niederen Komponentenvielfalt. In einem solchem Szenario ist der Aufwand für eine vollständige Erstellung und Verwaltung von Datenschemas realistisch.

3.5.3.2.3 Data Lake














Ein Data Lake setzt im Gegensatz zu einem EDW System nicht auf einen „Scheme on Write“ Ansatz bei der Speicherung der Daten. So wird eher davon ausgegangen, dass beim Auslesen der Daten der jeweilige Nutzer oder Service weiß, um was ein Format es sich handelt, wenn dieser die Daten aus dem System ausliest. Der Vorzug des als „Scheme on Read“ bezeichneten Vorgehens liegt in der Dynamik der Datenspeicherung. Es können jegliche Daten unabhängig von ihrer Struktur und Semantik in einen Data Lake gespeichert werden, was die Anforderungen A2 und A5 erfüllt. Ein Data Lake ist wie ein EDW darauf ausgelegt öffentlich zugänglich zu sein und erfüllt hierfür erforderliche Sicherheitskriterien. Zudem wird keine bidirektionale Verbindung benötigt, welche die IT-Infrastruktur des Shop Floors exponiert und somit die Anforderung A1 erfüllt. Ein Data Lake ist wie ein EDW System dafür konzeptioniert skalierbar zu sein und erfüllt somit

per Definition die Anforderung A3. Die Identifizierbarkeit der Daten und somit die Anforderung A4 hängt ähnlich wie bei einem EDW strikt am Prozess eines Unternehmens, daher wird diese Anforderung nur teilweise erfüllt.

Eine Gefahr von Data Lakes ist jedoch, dass wenn keine Dokumentation oder Prozess für das Speichern der Daten vorhanden ist, sie mit nicht wiederverwertbarem Datenmüll überfüllt und somit zu sogenannten „Data Swamps“ heruntergewirtschaftet werden. Dies kann in extremen Fällen soweit führen, dass die gesamten Daten innerhalb eines Data Swamps wertlos werden, da sie entweder gar nicht zu interpretieren sind oder sich nicht korrekte Daten von relevanten nicht unterscheiden lassen.

3.5.3.2.4 Auswertung der Big Data Architekturen

Tabelle 11: Big Data Zusammenfassung

Anforderungen	EDW	Data lake
A1 Sicherheit		
A2 Datenvarianz		
A3 Skalierbarkeit		
A4 Identifizierbarkeit		
A5 Flexibilität		
Legende:  erfüllt  nicht erfüllt  teilweise erfüllt		

Die Tabelle 12 fasst die in den Kapiteln 0 und 3.5.3.2.3 vorangegangenen Informationen für EDW und Data Lake Systeme bezüglich der aufgestellten Anforderungen zusammen und symbolisiert die Designentscheidung für eine Data Lake Architektur. Ein Data Lake erfüllt alle aufgestellten Anforderungen bis auf die Anforderung A4, welche teilweise erfüllt wird. Dies wirkt sich auf das Design des angestrebten Datenmodells aus, welches

nun die Dynamik eines Data Lakes voraussetzen kann, zugleich jedoch die klare Strukturierung und Identifizierbarkeit der Daten gewährleisten muss, um die Bildung eines Data Swamps zu vermeiden.

3.5.3.3 Abstraktion von Infrastruktur und Verantwortlichkeiten

Für die Erfüllung der Anforderungen A4 muss eine Identifikationsmethode verwendet werden, welche zum einen die erhobenen Daten und deren Qualität repräsentieren kann und zum anderen darf sich diese nicht statischer Konfigurationsmethoden bedienen. Denn die Verwendung von statischen Konfigurationsmethoden wirkt sich negativ auf die Flexibilitätsanforderung A5 aus. So werden für die Identifikation semantische IDs verwendet, welche eine Unified Resource Identifier (URI) darstellen. Eine solche URI besitzt für dieses Datenmodell eine spezifische Produktionsregel, deren Aufbau als Regularexpression in Abbildung 2 dargestellt ist. Das Regelwerk ist besonders einfach gehalten und dient der Abbildung einer hierarchischen Struktur, welche abstrakt den Aufbau der Produktions- und Unternehmenshierarchie dient.

```
URI := RNT://<structural path>.<informational path>
structural path := structural node (/structural node)*
informational path := informational node (/informational node)*
```

Abbildung 44: URI Produktionsregeln

Es wird hierfür zunächst eine Top Level Domain, ähnlich zu DNS, angegeben, wodurch die Zugehörigkeit zu einem spezifischen Unternehmen symbolisiert wird. Die hierarchische Struktur eines solchen Unternehmens wird anschließend als Unterknoten repräsentiert, welche die Hierarchie des jeweiligen Unternehmens entspricht. Es handelt sich hierbei um Struktur-Entitäten, welche dazu dienen physische Hierarchien abzubilden. Der oberste Knoten dieser Hierarchie repräsentiert die Managementinstanz, welche für die Verwaltung der URIs zuständig ist. Struktur-Entitäten können weitere Struktur-Entitäten mithilfe einer „Contains“-Relation beinhalten. Diese Relation ist ähnlich zu der „Composition“-Relation von UML-Modellen und deutet die Zugehörigkeit einer Komponente zu der überliegenden Komponente an. Des Weiteren können Struktur-Entitäten zusätzlich Informations-Entitäten besitzen, welche eine Eigenschaft der jeweiligen Struktur-Entität repräsentiert. Es kann sich hierbei analog zu den Attributen von ER-Diagrammen um jegliche Eigenschaft oder Information handeln. Diese URIs ermöglichen es die gesamte Produktionslinie und ihrer darin enthaltenen Informationen über eine abstrakte Baumhierarchie abzubilden. Eine solche Produktionsregel erlaubt es den Werkern oder

Wartungsingenieuren das Mapping von der ausgelesenen Systemsteuerungsinformation auf eine solche URI selbstständig vorzunehmen. Die physischen Struktur-Entitäten können statisch für das jeweilige System vorkonfiguriert werden und dynamisch mit neuen Informations-Entitäten erweitert werden. Es ist zudem möglich die gesamte Vergabe von URIs dynamisch zu gestalten. Diese Mechanik erlaubt es die jeweilig extrahierten Informationen global eindeutig zu identifizieren und dennoch eine Flexibilität zu gewährleisten. Es lässt sich zusätzlich die Qualität der Daten einschätzen. Sodass neben dem Mapping der Information die Datenquelle und das verwendete IoT-Gateway über zusätzliche URIs angegeben und somit identifiziert werden können. Dies erlaubt es die Herkunft und hierdurch die Qualität der Daten zu bestimmen.

3.5.3.4 Datenmodell

Das in Abbildung 4 dargestellte UML-Klassendiagramm repräsentiert das resultierende Datenmodell. Es handelt sich hierbei um ein an das REST-Paradigma angelehntes Modell, welches alle nötigen Informationen beinhaltet, um eine zustandslose Kommunikation zu ermöglichen. Dies hat den Vorzug, dass keine bidirektionale Kommunikation von diesem Datenmodell vorausgesetzt wird und somit die Sicherheitsanforderung A1 erfüllt wird. Zudem resultiert diese zustandslose Kommunikation in einer hohen Skalierbarkeit und dies wiederum führt zur Erfüllung der Skalierbarkeitsanforderung A3.

Für die Anforderung A2 wird eine JSON-Objektserialisierung angewendet. Diese Serialisierung wird für domänenspezifische Informationen verwendet, welche ihre Struktursemantik hierdurch erhalten und keinen Informationsverlust durch eine Modelltransformation auftritt. Für eine plattformunabhängige Serialisierung müssen vereinzelt einheitliche Typen definiert werden. So werden jegliche Zeitangaben, was Zeitstempel und Zeitspannen umfasst, mithilfe der Norm ISO 8601 bis auf die enthaltenen Nanosekunden repräsentiert. Zudem ist das Übertragen von blanken Speicherbereichen nicht vorgesehen. Diese müssen wieder in ihre Informationsstruktur überführt und als diese serialisiert werden. Da eine Speicherung von Speicherblöcken innerhalb einer Data Lake Architektur zu einer Verunreinigung des Data Lakes führt und nicht sinnvoll von Mehrwertdiensten verarbeitet werden kann.

DataVariable

Ausgelesene Prozessinformationen werden über das „DataVariable“-Objekt dargestellt. Dieses beinhaltet über den „DisplayName“ eine menschenlesbare Beschreibung der Information, welche von Plattformen wie OPC UA übernommen wurde. Die „LocalID“

stellt über ein JSON-Objekt die domänenspezifische ID für das Informationsobjekt dar. Darin sollen alle Informationen enthalten sein, welche benötigt werden, um ausgehend von der ausgelesenen Verbindung das Informationsobjekt auf der jeweiligen Steuerungsplattform zu identifizieren. Die genutzte Verbindung wird separat über das Attribut „Endpoint“ repräsentiert, welches ein JSON-Objekt darstellt. Dieses enthält die nötigen Verbindungsinformationen, um sich mit der Informationsquelle zu verbinden. Es kann sich hierbei um Informationen wie IP-Adressen oder verwendete Authentifizierungszertifikate handeln.

Für eine spätere Identifikation der Datenstruktur wird über das Attribut „Datatype“ der Datentyp übertragen. Es sollte sich hierbei um eine unternehmensintern gewartete Schema-URL handeln. Die Verwendung von lokalen und somit nicht einheitlichen Typbeschreibungen ist jedoch für eine erhöhte Flexibilität möglich.

Das „Classification“-Attribut repräsentiert die Art der ausgelesenen Information und klassifiziert diese in die folgenden Kategorien: Objekt, Variable, Methode oder Fehler. Ein Objekt stellt hierbei eine komplexe Struktur als Werteobjekt dar, welches wiederum als JSON-Objekt serialisiert werden würde. Wohingegen eine Variable einen primitiven Datentyp darstellt, wie z.B. eine einfache Integer-Zahl. Ein Fehler stellt eine spezielle Form eines Objektes dar, welches z.B. für die Repräsentation von Exceptions dienen soll. Die Methoden-Klassifikation repräsentiert ein Objekt für Methodenaufrufe.

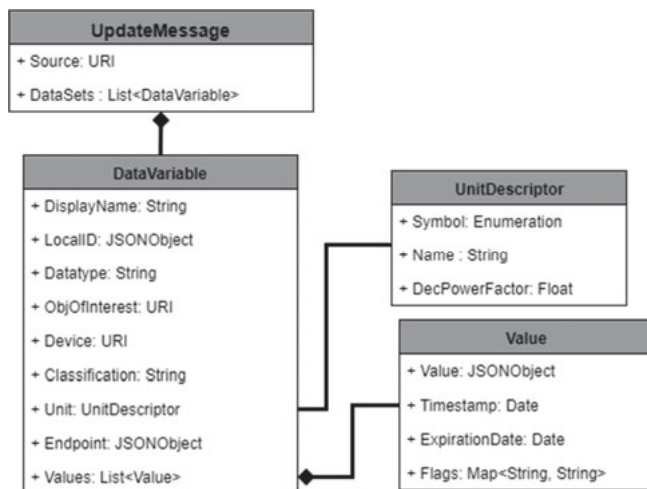


Abbildung 45: Datenübertragungsmodell

Die Identifikation der ausgelesenen Information erfolgt über die in Kapitel 3.5.3.3 vorgestellten URIs, welche zunächst in diesem Datenobjekt in den Attributen „ObjOfInterest“ und „Device“ vorkommen. Das „ObjOfInterest“-Attribut repräsentiert das Informationsobjekt, über welches die enthaltenen Informationen eine Aussage treffen. Der URI verweist somit stets auf einen Informationsknoten. Wohingegen der URI des „Device“-Attributes immer auf einen Strukturknoten verweist, der die jeweilige digitale Informationsquelle repräsentiert, wie z.B. einen OPC UA Server oder eine Beckhoff ADS Steuerung. Die Kombination der beiden URIs soll Aufschluss darüber geben, welche Information aus welcher Quelle ausgelesen wurde und dies wiederum repräsentiert anschließend die Qualität der erhaltenen Daten. Die Einheit der übertragenen Werte wird mittels dem Attribut „Unit“ über ein „UnitDescriptor“-Objekt definiert. Abschließend werden über das Listenattribut „Values“ zu übermittelten „Value“-Informationsobjekten aggregiert. Die Wahl eines Listenattributs wurde aufgrund einer erhöhten Effizienz gewählt. So ist es möglich den Overhead durch Metainformationen in Relation zum übertragenen Datenvolumen zu optimieren.

Value

Das „Value“-Objekt kapselt eine ausgelesene Information zu einem definierten Zeitpunkt. Der ausgelesene Wert wird abhängig von seiner Klassifikation des überliegenden „DataVariable“-Objektes innerhalb des Attributes „Value“ als JSON-Objekt serialisiert. Zusätzlich wird der Wert über das Attribut „Timestamp“ mit der Information angereichert, wann dieser ausgelesen wurde. Das Attribut „ExpirationDate“ gibt im Kontrast dazu die Gültigkeitsdauer des ausgelesenen Wertes an. Da eine Aussage über die Gültigkeitsdauer nicht immer getroffen werden kann, stellt dies ein optionales Attribut dar. Die Gültigkeitsdauer ist hierbei an das Quellsystem und nicht den Informationsknoten gebunden.

UnitDescriptor

Für die Definition von Einheiten wird das „UnitDescriptor“-Objekt verwendet. Dieses nutzt die „Recommendation No. 20 – Units of Measure use in International Trade“ der UNECE und bildet die darin definierten „Common Code“-Symbole auf das Attribut „Symbol“ ab. Die Verwendung dieser Tabelle erlaubt es auch nicht SI-Normen abzubilden. Für eine bessere Lesbarkeit kann zusätzlich eine textuelle Benennung über das Attribut „Name“ erfolgen. Wenn eine konstante Abweichung von der Einheitentabelle vorliegt, kann diese über das Attribut „DecPowerFactor“ ausgeglichen werden. Es handelt

sich hierbei um den Exponenten einer Zehnerpotenz, welche mit dem Werteobjekt multipliziert wird.

UpdateMessage

Aggregiert werden die erfassten „DataVariable“-Objekte über das „UpdateMessage“-Objekt, welches als Übertragungsnachrichten dient. Die verschiedenen „DataVariable“-Objekte werden im Listen Attribut „DataSets“ gesammelt. Die Identifikation des versendenden IoT-Gateways erfolgt abschließend über das URI-Attribut „Source“.

3.5.4 Mehrwertdienstekonzept

M. Winter

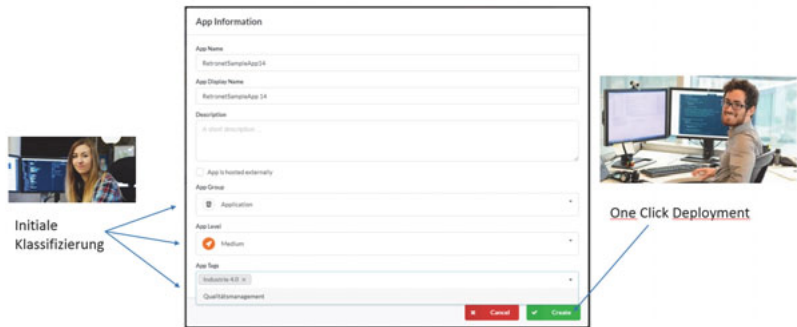


Abbildung 46: einfaches Entwicklerfrontend für die Dienstebereitstellung

Um eine standardisierte und damit möglichst einfache und automatisierbare Entwicklung von Diensten zu ermöglichen, ist ein einheitliches Mehrwertdienstekonzept unerlässlich. Hierzu mussten zunächst allgemeine Anforderungen der Dienste definiert werden. Im Ergebnis sieht das Konzept vor, Dienstinstanzen und dessen Infrastruktur über einen einzelnen Dialog aufzusetzen. Durch die automatisierte Bereitstellung von virtuellen Maschinen mit Web Servern und integriertem Repository zur Quellcode-Verwaltung, können Entwickler ihre Ergebnisse direkt im Portal zur Verfügung stellen.

Die so entwickelten Mehrwertdienste werden im Rahmen der Dialogführung mit einem semantischen Tag-System verknüpft. Dabei handelt es sich um eine Portalfunktion in der der Fachanwender ähnlich zu einem Lexikon Begriffe zu hinterlegen und diese unternehmensbezogen zu beschreiben.

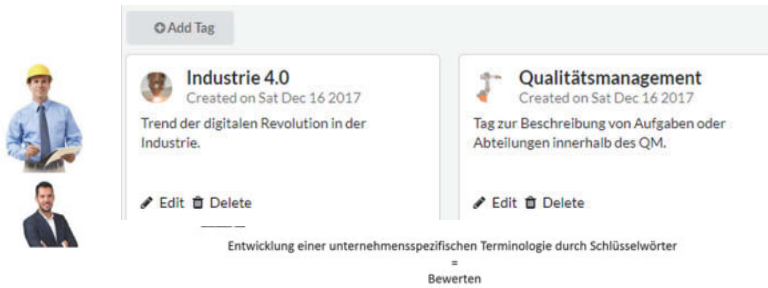


Abbildung 47: Beispiel Tagsystem

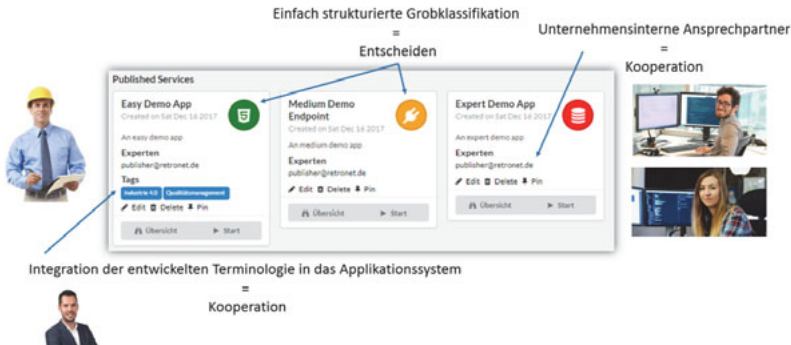


Abbildung 48: Beispiel Tagsystem

Der Entwickler hat wiederum die Möglichkeit, diese Schlüsselbegriffe zu nutzen und mit seinem erstellten Dienst zu assoziieren. Im Ergebnis entsteht im Idealfall eine gemeinsame und fachübergreifende Terminologie und damit Synergieeffekte zwischen IT-Spezialisten und Domänenexperten.

Mehrwertdienste bilden somit innerhalb des RetroNets die Schnittstelle zwischen digitalen Technologien und Anwendern. Um die schnelle Entwicklung zu ermöglichen wurde ein Mehrwertdienst zur Entwicklung und Testung von weiteren Diensten entwickelt. Ein erster Ansatz bestand darin, die bei den Anwendungspartnern vorhandenen Programmierkenntnisse zu identifizieren und in Adaption dessen eine Umgebung zu schaffen, die auf dieser Basis Kleinstanwendungen bereitstellen kann. Die Python-Programmierplattform erwies sich in diesem Kontext aufgrund ihrer Verbreitung und leichten Erlernbarkeit als geeignetes Mittel. Der Dienst wurde so weit entwickelt, dass mit Hilfe von Scripten einfache datenzentrische Webanwendungen erstellt und in einer Portalumgebung betrieben

werden können. Solche Kleinstanwendungen stehen weiteren Nutzern als Funktionsbausteine zur Verfügung, die mit deren Hilfe eigene Dashboards ohne Programmierkenntnisse erstellen können. Der Dienst stellt dabei nicht nur eine reine Entwicklungs- und Testumgebung dar. Über gut ersichtlich platzierte Hinweise, werden zudem Vorgehensweisen zur Implementierung und Technologien empfohlen und damit eine umfangreiche eigenverantwortliche Evaluierungsphase vermieden. Die Einstiegshürden zur Erstellung von Mehrwertdiensten sollen hierdurch reduziert werden. In der folgenden Darstellung ist ein einfacher, auf dieser Basis erstellter Mehrwertdienst mit der Funktion darstellt.

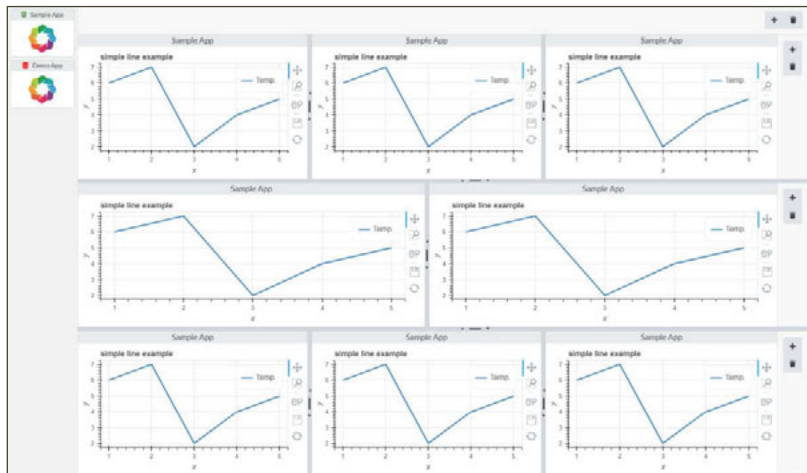


Abbildung 49: grafische Elemente für die Mehrwertdienstgestaltung

Ausgehend von ersten einfachen Anwendungen können darüber hinaus auch weitergehende, komplexere Mehrwertdienste konzipiert und umgesetzt werden. Das folgende Beispiel des Unternehmens KleRo GmbH kann hier als Beispiel dienen.

Mehrwertdienst (Beispiel)

Ziel der KleRo GmbH war im Rahmen des Projekts die Erstellung eines Mehrwertdienstes mit einer grafischen Oberfläche, die den Produktionsprozess einer Fertigungszelle in vereinfachter Form darstellt. Die Oberfläche sollte insbesondere schnell und übersichtlich Informationen zum aktuellen Stand der Zelle liefern. Dazu gehören u.a. folgende Teilaspekte:

- In welchem (Teil-) Prozess-Schritt befindet sich der Roboter?

- Der Status des Roboters, insbesondere RUN, STOPP, WAIT (inkl. Wartezeit), NOT-AUS
- Welche kritischen Informationen der Produktionszell-Peripherie liegen vor?
- Relevante statistische Produktivitätsinformationen, d.h. aktuelle Stückzahl, Ø Produktionszeit, etc.

Die Herausforderung lag dabei vor allem in der Abstraktion des Roboter-Prozesses in einer Art und Weise, die Nutzer unterschiedlicher Expertise die benötigten Informationen schnell und eindeutig verständlich liefert. Ein 2D oder 3D Modell der Zelle kam dafür nicht in Frage, denn es birgt zu viele Schwierigkeiten:

- Einen hohen Einrichtungsaufwand für jede neue Zelle, die Erstellung von Beispielmotellen für eine große Anzahl an verschiedenen Robotermodellen
- Zudem wurde die Erfahrung gemacht, dass eine reine 3D-Darstellung auch nicht alle notwendigen Informationen an weniger erfahrende Anwender liefert.

Aus diese Gründen wurde entschieden, dass der aktuelle Stand des Roboters eben nicht durch ein zwei- oder dreidimensionales Modell der Zelle visualisiert wurde, sondern stattdessen eine Aufteilung des Gesamtprozesses in seine logischen Teilschritte vorgenommen und durch ein klassisches Ablaufdiagramm dargestellt wurde.

Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass die natürliche programmiertechnische Unterteilung eines Prozesses in Prozedur-Aufrufe und Unterprozedur-Aufrufe bereits eine Struktur für die Visualisierung vorgibt und somit auch die bereits angesprochene individuell gewünschte Granulierung des Prozesses ohne Mehraufwand ermöglicht. Diese Erstellung der Visualisierung aus der Programmierung heraus gestattet zudem ein einheitliches Konzept zu verwenden, das unabhängig vom konkreten Roboterhersteller ist. Darüber hinaus sind Ablaufdiagramme den meisten Anwendern bereits bekannt, bzw. meist selbsterklärend und somit auch für Anwender ohne Expertise leicht zu verstehen. Auf Ebene eines Hauptprogramms können u.a. folgende fünf verschiedene Tätigkeiten des Roboters dargestellt werden:

- Fahren in Grundstellung
- Aufnahme eines Bauteils
- Fahren in Wartestellung
- Bearbeitung eines Bauteils
- Ablage des Bauteils

Die Tätigkeiten werden durch große Blöcke dargestellt, die durch Pfeile (welche die Programmflussrichtung symbolisieren) mit einander verbunden sind.

In obigem Beispiel würden diese Tätigkeiten als Rechtecke visualisiert werden, die im Kreis angeordnet sind. Der aktuelle Stand der Zelle würde durch Einfärbungen leicht zu verstehen sein. Ein Blau hinterlegtes Feld bedeutet, der Roboter befindet sich gerade in diesem Schritt. Alle bereits abgeschlossenen Schritte eines (!) Prozesses würden grün markiert sein, aber etwas verblasen. Die noch zu absolvierenden Schritte wären grau. Sollte der Roboter warten müssen, wäre der aktuelle Schritt gelb und gäbe es ein Problem dann wäre er rot.

Bedeutung	Farbe	Symbol
Schritt ist noch offen	Grau	Schritt 4
Schritt erfolgreich absolviert	Grün	Schritt 1
Roboter wartet in einem Schritt	Gelb	Schritt 2
Roboter bearbeitet einen Schritt	Blau	Schritt 2
Roboter-Störung in einem Schritt	Rot	Schritt 2

Ob der Roboter sich momentan bewegt oder steht würde zudem durch kleine Symbolleuchten auf der Web-Oberfläche sichtbar sein. Darüber hinaus gibt es eine kleine Tabelle, die zum einen die aktuelle und durchschnittliche Taktzeit angibt, sowie die bisher produzierte Stückzahl neben der normalerweise zu erreichbaren Stückzahl. Weitere Informationen sind an der Stelle denkbar, benötigen aber eine entsprechende Anpassung des Roboterprogramms.

Sollte der Roboter in seinem Prozess auf eine Reaktion angewiesen sein, z.B. die Freigabe eines externen Werkzeugs das entsprechende Bauteil zu entnehmen, so würde auch dieses Ereignis durch Symbolleuchten dargestellt werden. Grün bedeutet hierbei Freigabe erteilt, rot Freigabe verweigert und Grau, dass der Roboter noch keine Anfrage gestellt hat. Somit lässt sich mit einem Blick auf die Oberfläche feststellen, in welchem (groben) Schritt sich der Roboter befindet und welchen Status die für ihn relevante Peripherie in dem jeweiligen Moment hat. Zudem sind die relevanten Kennzahlen übersichtlich zusammengefasst. Für den Fall, dass eine detailliertere Ansicht gewünscht ist, wird die Ansicht gewechselt und in den aktuellen Prozessschritt gesprungen. Hier gibt es anhand der Programmstruktur eine erneute, nun detailliertere Darstellung des Arbeitsschrittes. Dabei

wird auch eine etwaige Verzweigung infolge einer Entscheidung vorgenommen. Am Beispiel des Unterschrittes „Aufnahme eines Bauteils“ könnte man für den Fall das mehrere Entnahme-Behälter bereitstehen, nach dem aktuell zu bearbeitenden Behälter unterscheiden und die Darstellung würde sich an der Stelle entsprechend verzweigen. Somit weiß man auf abstrakterer (Gesamt-)Darstellungsebene lediglich, dass der Roboter ein Bauteil entnimmt, aber auf Detailebene, dass aus welchem Behältnis die Entnahme erfolgt und damit ggf. auch, um welchen konkreten Typ es sich handelt.

Diese Detaillierung ließe sich theoretisch soweit verfeinern, dass eine jede Bewegung des Roboters nachverfolgt werden kann, mit Aktualisierung der Oberfläche, wenn der Roboter die entsprechenden Endpunkte der Bewegung erreicht. Eine solch feine Granulierung des Prozesses macht unserer Meinung nach aber keinen Sinn und hat für die angedachten Anwender keinen Informations-Mehrwert. Aus diesem Grund gibt es lediglich eine Detail-Ebene! (Zudem würde eine feinere Detaillierung eine Erhöhung der Bandbreite erfordern, welche die Einsatzszenarien bei RetroNet beschränkt.)

Gleichzeitig wird durch eine Leiste symbolisiert, in welchem Unterprozess man sich befindet und welcher Unterprozess als nächster folgt. Durch diese zweigeteilte Darstellung erweitern sich die Informationen bzgl. Anlagenstatus, während die Simplität der Anzeige erhalten bleibt. Der Erstellungsprozess der Darstellung ist dabei gegliedert in einem ersten automatischen Teil, bei dem unser Programm aus einem gegebenen Roboterprogramm die entsprechenden Informationen bereit- und darstellt. Den zweiten Schritt können dann der jeweilige Anwender (vorausgesetzt er besitzt Administratoren-Rechte) vornehmen und die Darstellung seinen Wünschen entsprechend anpassen. In diesem Rahmen lassen sich zudem die Analyse-Informationen erweitern, indem die gewünschten Signale ebenfalls auf der Übersichtsoberfläche dargestellt werden. Sollte das Tool einen Fehler zum Beispiel bei der Prozess-Verknüpfung gemacht haben, so wäre dies ebenfalls an dieser Stelle vom Nutzer korrigierbar.

Werden weitere informelle Ergänzungen notwendig, können diese aufgrund des einfachen Gestaltungsprinzips des Mehrwertdienstekonzeptes mit einem überschaubaren Programmieraufwand ergänzt werden.

4 Industrie 4.0 - Sicherheitskonzepte für nachgerüstete Fertigungsanlagen

Chr. Horn, S. Nikoleizig

4.1 Einleitung

Das Thema Informationssicherheit spielt im Kontext von Entwicklungen durch Ingenieure oft eine untergeordnete Rolle. Der Ingenieur versucht zunächst eine Funktionstüchtigkeit der zu entwickelnden Lösung herzustellen. Mögliche Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit werden dem hintenangestellt, so dass die Entwickler von Sicherheitskonzepten oftmals bestehende Strukturen und Systeme vorfinden. Auf der anderen Seite bietet die Integration von Sicherheitskonzepten vom ersten technologischen Konzept an, sog. „*Security by Design*“, ein höheres Maß an Sicherheit. Aus diesem Grund wurde die Sicherheit in diesem Kontext von Anfang an mitgedacht.

Der Schutz von stark vernetzten IT-Infrastrukturen in der produktionsnahen Wertschöpfung stellt eine zentrale Herausforderung für den Wandel zu neuen Strukturen dar. Insbesondere bei den industriellen Feldbussen, die bei älteren Maschinen auch auf einem älteren Stand sind, wurde in der Vergangenheit durch die Hersteller nach dem Prinzip der Sicherheit durch Ausschluss die Illusion einer sicheren Umgebung verbreitet. Die Verbindung dieser Systeme mit standardisierten Netzen hoher Bandbreiten stellt eine besondere Herausforderung für den Schutzbedarf dar.

Um entstehende Risiken zu minimieren und ungewollten Zugriff durch Unberechtigte zu verhindern ist als Zielstellung ein Sicherheitskonzept für das Gesamtsystem aus I4.0-Konnektor und IT-Plattform inkl. der implementierten Dienste entwickelt und integriert worden. Dies erforderte ein durchgängiges Konzept zur Datensicherheit und Authentifizierung über alle Ebenen.

4.2 Herausforderungen an die Sicherheit im Kontext Industrie 4.0

Automatisierung und Produktion wandeln sich gegenwärtig zu stark vernetzten Infrastrukturen. Unternehmen stehen vor ganz neuen Herausforderungen insbesondere in Bezug auf die Informationssicherheit.

Die zunehmende Vernetzung und Integration von für die Automatisierungswelt neuartigen Technologien wie beispielsweise Virtualisierung oder Consumer-Technologien wie Tablets und Smartphones versprechen Effizienz-, Kosten- und Wettbewerbsvorteile. Auf der anderen Seite erhöht sich dadurch aber auch das Risikopotential hinsichtlich Angriffen, Manipulation, Fehlbedienung oder technischer Störung. Die aktuellen Sicherheitslücken Meltdown und Spectre verdeutlichen dies gerade im Bereich Cloud Computing besonders auffallend. Verantwortlich dafür sind die gestiegene Komplexität der Gesamtsysteme, die Heterogenität in den technischen Systemen und Protokollen selbst, sowie eine vergrößerte Angriffsfläche und neue Angriffsvektoren. Zusätzlich wird Aufwand und Know-How-Bedarf für einen potentiellen Angreifer durch viele neue frei verfügbare, gut dokumentierte und leicht zu bedienende Angriffswerkzeuge wie beispielsweise das Metasploit-Framework geringer. Die Durchführung eines erfolgreichen Angriffes erfordert heutzutage keinen Computer-Experten mehr, jeder Laie wäre nach kurzer Einarbeitung dazu in der Lage.

Um den neuen technologischen Möglichkeiten und den gestiegenen Anforderungen an die IT-Sicherheit gerecht zu werden, muss ein Mindeststandard im Unternehmen sowohl in den technischen Voraussetzungen, als auch in den Sicherheitskonzepten geschaffen werden. Klassische Sicherheitskonzepte für Automatisierungsinfrastrukturen, bei denen Isolation und „Security by Obscurity“, also Sicherheit durch Unverständlichkeit, im Vordergrund stehen, sind nicht mehr ausreichend.

Diese Konzepte stammen aus einer Zeit, in der Geräte und Anlagen direkt mit ihren Steuerungen hart verdrahtet wurden. Die Steuerungen selbst wurden dann nur in lokalen und isolierten Umgebungen mit speziellen und nicht offenen Protokollen und an bestimmten Knotenpunkten miteinander vernetzt. Eine Anbindung der Automatisierungssysteme und -netze an Weitverkehrsnetzwerke wie das Internet wurde zu diesem Zeitpunkt nicht berücksichtigt.

Im Allgemeinen setzen Unternehmen auf bekannte präventive IT-spezifischen Security-Maßnahmen wie Firewalls, Gateways, Segmentierung in Sicherheitszonen oder Perimeter Defense. Auch Maßnahmen zur physischen Sicherung der Datenkommunikation wie SIL-Stufen und Datentunnel werden eingesetzt. Allein reichen diese Maßnahmen jedoch nicht aus. Weitere Möglichkeiten sind reaktive Sicherheitswerkzeuge wie Intrusion-Detection und Krisenmanagement. Auch die Risikoanalyse einzelner Systeme ist zur Aufdeckung aller Schwachstellen unzureichend, da ein Großteil der existierenden Sicherheitslücken durch das Zusammenwirken komplexer Systeme entsteht. Nicht zu unterschätzen sind auch mögliche Rückwirkungen, die ein bestimmtes Sicherheitswerkzeug

auf eine Automatisierungsinfrastruktur haben kann. Diese können von unbeabsichtigt ausgelösten Bewegungen eines Roboters bis hin zu Stillständen in der gesamten Produktionsanlage reichen.

Diese Herausforderungen stellen neue Anforderungen an den Schutzbedarf, insbesondere in Produktionsinfrastrukturen. Darum sind neben den IT-spezifischen Security-Maßnahmen neue innovative Verfahren der „Systemhärtung“ zur Verhinderung und insbesondere zur Bewältigung von IT- und Cyberangriffen erforderlich, die sich auf die Erhöhung der Robustheit, die Qualität und Rückwirkung der Security-Produkte, sowie die digitale Autonomie von automatisierten Systemen beziehen. Dem kann nur ein methodisches Vorgehen zur Herstellung der Informationssicherheit maßgeschneidert auf den Kunden gerecht werden.

4.3 Vorgehensmethodik zur Entwicklung von Sicherheitskonzepten

Zur Entwicklung einer Vorgehensmethodik im Projekt RetroNet spielten die gängigen Normen, wie bspw. ISO IEC 15408, 18045, 27001, 27002, eine tragende Rolle um daraus eine Vorgehensmethodik abzuleiten. Diese ist in Abbildung 50 ersichtlich.

Bei den im Vorhaben vorliegenden spezifischen Aufgabenstellungen, insbesondere im Umfeld von I4.0 und unterschiedlicher Anwendungsszenarien und deren spezifischen Anforderungen an System- und Netzadministration, sind anwendungsspezifische Abweichungen aufgetreten. Beim Einsatz der Methodik in der Praxis kann es ebenfalls notwendig sein, in einzelnen Punkten von der Vorgehensmethodik abzuweichen. In jedem Fall ist aber der zugrundeliegende Sicherheitsgedanke nicht außer Kraft zu setzen, sondern der gegebenen Situation anzupassen.

Die Basis für ein zu entwickelndes Sicherheitskonzept bildet eine **Systemanalyse** für bestehende Anlagen im Kontext der jeweiligen Infrastruktur. Hierzu ist ein systematisches Verfahren zur Technologieerfassung, -analyse und Schutzbedarfsfeststellung notwendig, das parallel die spezifischen Anforderungen des Anwendungspartner oder Kunden zur nachfolgenden Kosten- und Nutzenabschätzung, sowie und zur Risikoabschätzung ermöglicht. Der Schwerpunkt liegt hierbei bei der Analyse und Bewertung der vorhandenen Technologieparameter der untersuchten Anlagen sowie dem Potential dieser Anlage, sicher unternehmensrelevante Daten zu liefern. Hierbei sind beim Anwendungspartner oder Kunden unterschiedliche methodische Ansätze aufzunehmen und auf ihre Anwendungsfähigkeit, Praktikabilität und Ergebnissicherheit zu untersuchen.

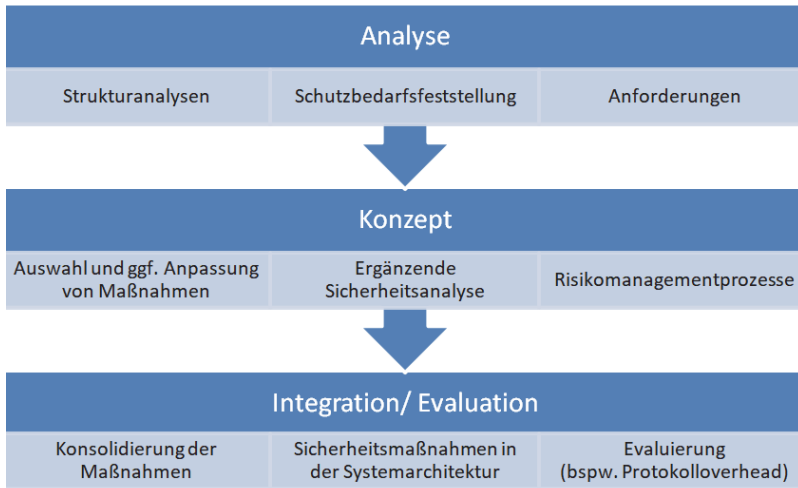


Abbildung 50: Vorgehensmethodik Security

Zur Bewertung der aufgenommenen Daten und installierten Systeme wird eine Schwachstellenanalyse durchgeführt und gemeinsam mit dem Kunden Angriffsszenarien entwickelt. Diese bilden die Basis für Risikomanagementprozesse: Identifikation, Analyse und Evaluation der Risiken. Insbesondere die Evaluation setzt eine Abschätzung der Tragweite in Kooperation mit den Kunden voraus.

In einem **Sicherheitskonzept** wird auf der Grundlage der Analyse dargestellt, mit welchen Maßnahmen Informationen und Informationstechnik geschützt werden sollen. Die nachfolgend dargestellten Grundanforderungen an IT-Sicherheit sollen berücksichtigt werden:

- Vertraulichkeit (Nur autorisierten Benutzern zugänglich)
- Integrität (Richtige, vollständige und aktuelle Informationen)
- Verfügbarkeit (Auf Informationen und Ressourcen kann innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens zugegriffen werden)
- Authentizität (Echtheit, Überprüfbarkeit und Vertrauenswürdigkeit)
- Verbindlichkeit (Juristische Akzeptanz eines elektronisch abgewickelten Geschäftes)
- Zurechenbarkeit (Eindeutige Zuordnung von Daten zu einem Partner)
- Anonymität (Schutz von Know-How)

Anschließend müssen Konzepte und Funktionen im Sinne der realen Anwendbarkeit in die Gesamtarchitektur einbettet und überprüft werden. Ein Konzept für die **Integration** in die Architektur sowie deren **Evaluation** muss grundlegend erarbeitet werden. Aufgrund der zu erwartenden Komplexität sowie der Kopplung mit möglichen Fremdsystemen sind unterschiedliche Ansätze zu untersuchen und die Praktikabilität abzuschätzen. Zielstellung ist es, durch die Integration von abgestimmten und skalierbaren Sicherheitsmaßnahmen in der Systemarchitektur die Erfolgchancen von manipulativen Angriffen zu minimieren.

4.4 Systemanalysen auf Basis von technischen Landkarten

Damit realitätsferne oder auch unterkomplexe Szenarios vermieden werden, ist diese Erarbeitung eines grundsätzlichen Systemverständnisses unerlässlich. Systemanalysen basieren auf Daten zu den jeweiligen Systemen, deren Elementen sowie Funktions- und Informationsbeziehungen, die durch eine Reihe von Verfahren von der Erhebung von Prozessdaten über die Analyse von Dokumenten und Konfigurationen bis hin zu Interviews auf unterschiedlichen Organisationsebenen reichen.

Ein besonderes Detail der Systemanalysen stellen Technische Landkarten dar. Es handelt sich hierbei um die vollständige Beschreibung der technologischen Elemente einer komplexen Informations-, Kommunikations- und Automatisierungsinfrastruktur oder -landschaft entlang einer bestimmten Systematik wie der Automatisierungspyramide. Sie bestehen im ersten Schritt aus grafischen Elementen, die im zweiten Schritt aus technisch-funktionaler Sicht beschrieben und schließlich im Schritt um weitere Angaben zu den allgemeinen organisationalen Zusammenhängen einer Infrastruktur ergänzt werden. Es sind also gleichsam fein granuliert Darstellungen des Gesamtsystems, die in einem umfassenden Sinne Auskunft über die Funktionsweisen, die durch das Prozessleitsystem realisiert werden, geben. Hierzu gehören beispielsweise:

- Prozessführung und Beobachtung der Anlagen
- Anzeige und Prozessierung von Störereignissen, Alarmen und Meldungen
- Automatik-/Handbetrieb
- Zentrale automatische Erfassung von Betriebs- und Zustandsdaten
- Berichtswesen, Statistik und Abrechnung
- Protokollierungen

Technologieaudits, Source-Code-Analysen, Analyse von Anlagen-Dokumentation und technologische Datenmitschnitte bilden die erste Gruppe von genutzten Verfahren und Methoden zu ihrer Erstellung. Zusätzlich sind aber Interviews und Workshops mit Know-How Trägern, sowie Vor-Ort-Begehungen zur Sichtung vorhandener Anlage von Bedeutung, um sich einen geeigneten Überblick über den mehrdimensionalen Aufbau der Systeme und ihre technisch organisationale Einbettung ins Gesamtsystem zu verschaffen.

Darüber hinaus ist der Ansatz zur systematischen Risikoanalyse in den Anwendungsszenarien umzusetzen (vgl. ISO 27004). Gemeinsam erarbeitete Risiken stellen dabei die Ausgangsbasis für weitere Untersuchungen dar. Ebenfalls sollen konkrete Sicherheitsanforderungen der Anwendungsfälle der Kunden ermittelt und statistisch ausgewertet werden.

Eine allgemeine Vorgehensmethodik wird nun insgesamt insbesondere um einen systematischen Ansatz zur Systemanalyse mit technischen Landkarten erweitert. Diese visualisiert die konkrete Netzwerkstruktur inklusive aller im Ausschnitt beteiligten Systeme inkl. Software und Schnittstellen des Unternehmens und den direkten Zusammenhang zum Anwendungsfall und der dafür verwendeten Technologien.

Auf dieser Basis können die anwendungsfallspezifischen Schwachstellen in den einzelnen Systemen und Technologien ermittelt werden (Schwachstellenanalyse). Dazu werden alle Systeme, Softwareprodukte, Betriebssysteme und Schnittstellen, welche im Anwendungsszenario Verwendung finden, mit Hilfe der IT-Abteilung des Kunden zusammengestellt. Ausgehend von dieser Zusammenstellung sollen in einschlägig bekannten Vulnerability Databases vorhandene Schwachstellen der Komponenten herausgearbeitet und dem betreffenden Partner widergespiegelt werden.

Die Ergebnisse der Analysen und daraus hervorgehende Angriffsszenarien dienen darauf aufbauend zur Entwicklung von angriffsbasierten technischen Landkarten.

4.5 Fazit: Anwendungsspezifische Sicherheit

Aufbauend auf den Systemanalysen der technologischen Infrastruktur eines Anwendungsszenarios entsteht ein anwendungsspezifisches Sicherheitskonzept. Dieses soll nach den Maßgaben und Anforderungen des Anwenders mit geeigneten Technologien in die Systemlandschaft integriert werden. Hierbei spielen Risiken, Vertrauen und Schnittstellen zu externen Partnern und Kunden des Anwenders eine tragende Rolle.

Eine skizzierte Darstellung von implementierten technischen Komponenten, in diesem Fall speziell Verschlüsselung des Netzwerkverkehrs, ist in Abbildung 51 ersichtlich. Speziell eine Vorgehensmethodik beim Anwender, repräsentiert durch Analysen/ technische Landkarten, Entwicklung von Gegenmaßnahmen und Verteidigungskonzepten, sowie deren technische Umsetzung sind immer anwendungsspezifisch und nicht generalisierbar.

Beispiele für eine technische Umsetzung sind auf Ebene Kanal die Verschlüsselung (VPN, IPSec,...), auf Ebene Services Monitoring, Validierung und Authentifizierung, auf Ebene der Daten Validierung, Pseudonymisierung und Verschlüsselung (selbst im Arbeitsspeicher), sowie auf Ebene der Devices Hardening und Security-by-Design.

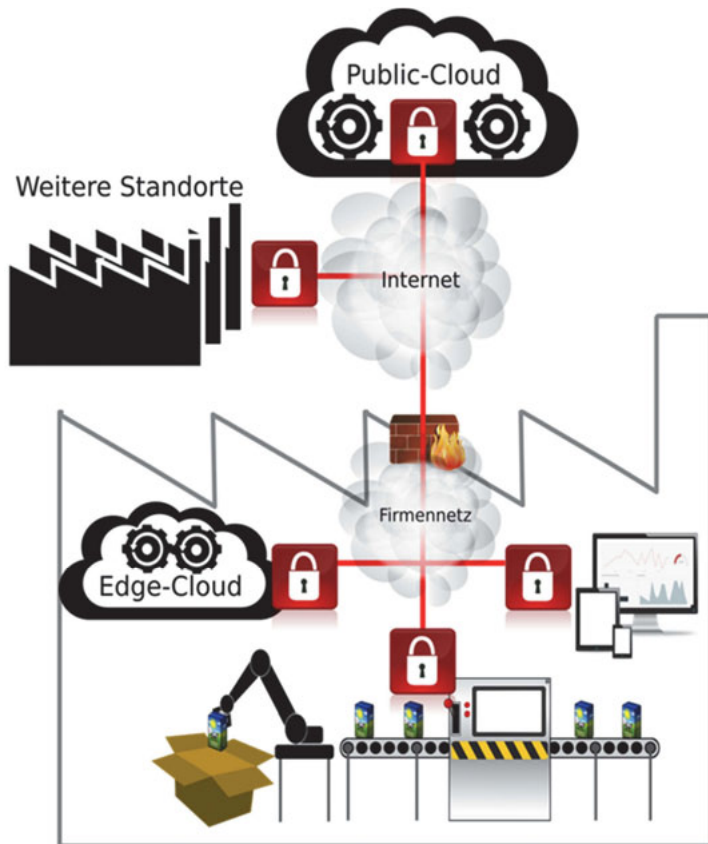


Abbildung 51: Anwendungsspezifische Sicherheit im Unternehmen

Durch den Einsatz anwendungsspezifischer Sicherheitskonzepte wird die Sicherheit der Anwenderorganisation essentiell erhöht. Die Anwender werden in die Lage versetzt, Angriffe stark zu erschweren, sowie im Falle des Einsatzes entsprechender Technologien auf Angriffe und sonstige Sicherheitsvorfälle in geeigneter Weise reagieren zu können.

Neuartige Verfahren sollten von den Anwendern genau auf den Mehrwert für Ihre Organisation geprüft und gegebenenfalls in die Infrastruktur integriert werden. Aufwände für die Anpassung der Methoden auf die eigenen Gegebenheiten können einen substantiellen Mehrwert für die Erhöhung der Sicherheit beitragen. Prozesse für die Einführung dieser Systeme, sowie Sicherheitsmanagement und Sicherheitskonzepte, sowie Sensibilisierung der Nutzer sind Voraussetzung der erfolgreichen Integration und Nutzung dieser Systeme und Verfahren. Im Idealfall kann die Anwenderorganisation bei der Entwicklung der Verfahren ihr Know-How und Expertenwissen im jeweiligen Anwendungskontext beisteuern, um das Verfahren grundlegend auf die eigenen Bedürfnisse passend zu gestalten.

Die Art und Weise der Anwendung der Verfahren in der Praxis ist letztendlich entscheidend für einen möglichen Sicherheitsgewinn.

5 Anwendungsszenarien und Ergebnisse

5.1 Einleitung

H. Lüer

Die möglichst praxisnahe Gestaltung realer Anwendungsszenarien war wesentlicher Bestandteil des Umsetzungskonzeptes. Einerseits wurden aus unterschiedlichen Anwendungsfällen konkrete Bedarfe, Problemstellungen und Anforderungen abgeleitet, andererseits wurden in der Umsetzungsphase die Machbarkeit, das konsistente Zusammenwirken sowie die Leistungsfähigkeit der methodischen wie technologischen Lösungsbausteine nachgewiesen. Hierbei war insbesondere die vielfältige und heterogene Ausprägung durch unterschiedliche Anforderungen, bestimmt durch die jeweilige Domäne, der Unternehmensgröße, die vorhandene wie einzubringende Expertise der Akteure, die technischen Rahmenbedingungen u.a.m. wichtiger Gestaltungsschwerpunkt. Aus der Vielzahl an anwendungsfallspezifischen Lösungsansätzen konnte szenarienübergreifend ein zentrales, generisch getriebenes Vorgehensmodell von der Maschine über den oder die Datenendpunkt(e) und Konnektor zum Wert und Mehrwertdienst abgeleitet und die Praxisfähigkeit nachgewiesen werden.

Die im Folgenden zusammengestellten Szenarien veranschaulichen auf sehr gute Weise die sehr unterschiedlichen Herangehensweisen und „Handschriften“ innerhalb der Unternehmen. Darüber hinaus repräsentieren sie auf eine sehr anschauliche Art und Weise das mögliche, weitgefächerte Spektrum von potentiellen Anwendungsfällen in der adressierten Domäne, der Produktion und der konkreten Struktur und Prozesslandschaft auf dem betrieblichen Hallenboden. Als erster Überblick sind einige, wesentliche Projektinformationen in der folgenden Tabelle 12 zusammengestellt. Die Informationen sind dem Projektsteckbrief des jeweiligen Anwendungsszenarios entnommen. Die darauffolgenden Grafiken veranschaulichen beispielhaft das generische Vorgehensmodell von der Maschine bis zum Mehrwertdienst.

Tabelle 12: Gegenüberstellung der Anwendungsszenarien analog zum Projektsteckbrief

Szenario	Datengetriebene Anwendungserstellung	Einheitliche Benutzerschnittstellen	Condition Monitoring
Nr.	01	02	03
Bedarf	Integration einer Drehmaschine	Qualitätssicherung im Umformprozess	Datentechnische Erweiterung der Trocknungsanlage
Anforderungen	Echtzeitfähigkeit	Valide Prozessparameter	Übertragbarkeit
Umsetzung			
Maschine			
Steuerung			
Sensorik			
Konnektor			
Werte			
Mehrwertdienst			
<i>Struktur und Prozessperspektive</i>			
Zustand vorher:	Drehmaschine nicht in die IT-Landschaft integriert		
Defizit:	Notwendige Informationen zum Betriebszustand und zu ggf. vorhandene Gefährdungspotentiale können nicht erkannt werden und sind an die Kompetenz und Wahrnehmungsfähigkeit des Mitarbeiters gebunden.		
Zustand nachher:	Drehmaschine ist in die IT-Landschaft integriert		
Mehrwert:	Informationen zum Betriebszustand und zu ggf. vorhandene Gefährdungspotentiale werden aus der zur Verfügung stehenden Datenmenge ermittelt und automatisch dem Mitarbeiter zur Verfügung gestellt werden.		

<i>Entscheidungs- und Leistungsspektive</i>			
Entscheidungen:	An welcher Maschine kann der Auftrag / das Werkstück xyz gefertigt werden?	Wann können die Motorengehäuse zum frühestmöglichen Zeitpunkt aus der Trocknungsanlage entnommen werden?	Kann das Los xyz an Rohren fehlerfrei verarbeitet werden?
	Maschine im Betrieb: An / Aus	Motorengehäuse trocken? (JA/NEIN)	Muss das Los xyz an Rohren ggf. reklamiert werden?
			Welche Voraussetzungen sind zu schaffen, dass eine Verarbeitung des Loses xyz fehlerfrei erfolgen kann (Steuerungssequenz, Umrüstung o.ä.)
Leistung:	Prüfung des Einspannzustandes	Motorgehäuse zum Zeitpunkt x entnehmen	Verwende Steuerungssequenz xyz für die Konfiguration der Umformtechnik
<i>Datensicht</i>			
Maschine:	Maschine xyz		
Endpunkt (QS):	Sensor xyz		
Konnektor:	Konnektor xyz		
Wert(e):	Stromstärke / Spannung ...	Luftfeuchtigkeit / ...	Distanz relative Abweichung / ...
Daten:	<i>[Beispieldaten Messreihe eintragen]</i>		
Mehrwertdienst:		Prüfung Trocknungsgrad	Ermittlung Elastizitätsverhalten / Erstellung Steuerungssequenz

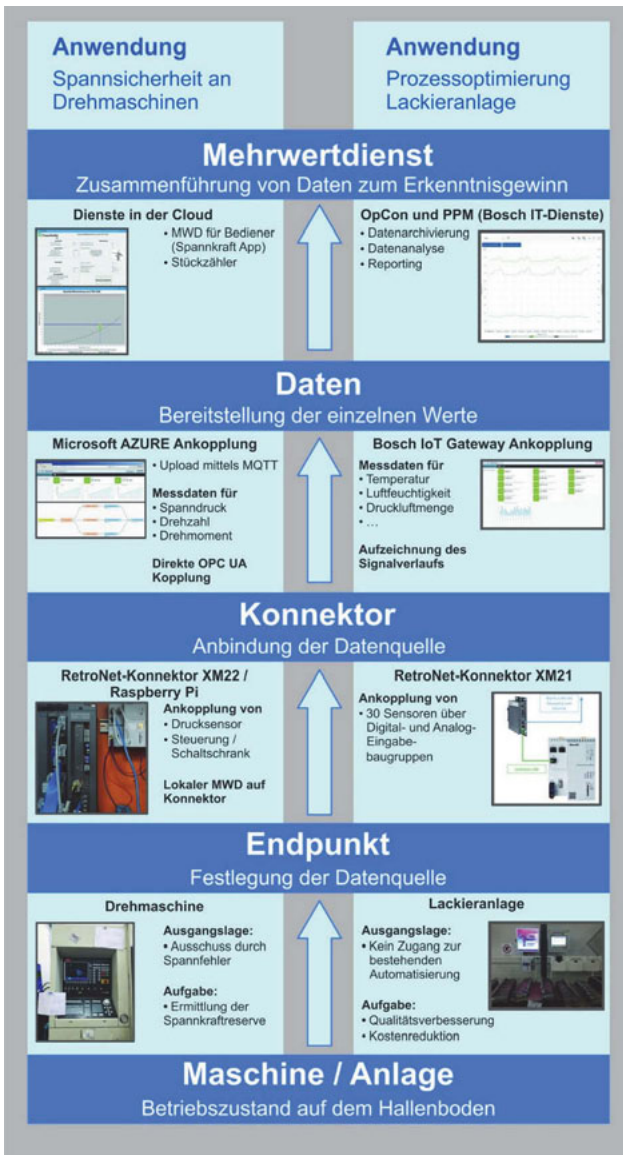


Abbildung 52: Szenarienspezifische Durchgängigkeit von der Maschine zum Mehrwertdienst 1

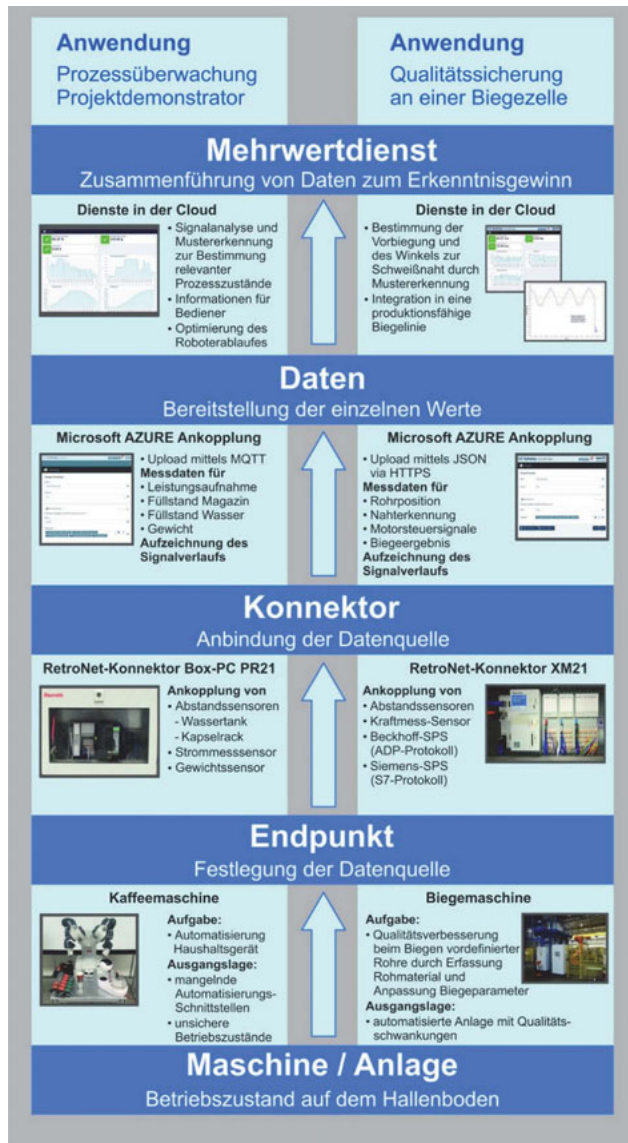


Abbildung 53: Szenarienspezifische Durchgängigkeit von der Maschine zum Mehrwertdienst 2

5.2 Datengetriebene Anwendungserstellung

Ph. Fraas, P. Thierse, M. Chemnitz

5.2.1 Anwendungsszenario

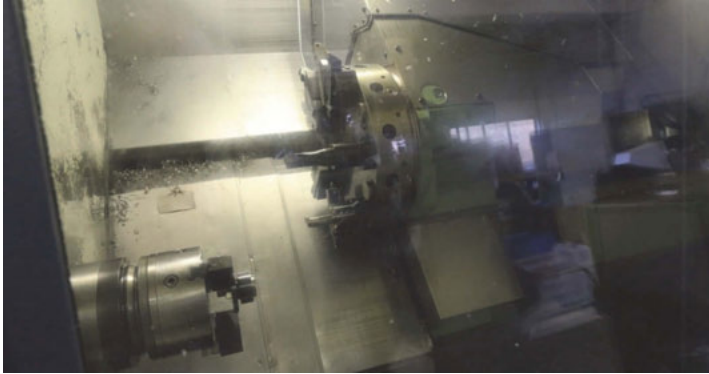


Abbildung 54: Erfassung und Auswertung der Daten an einer Drehmaschine

Im Anwendungsszenario der datengetriebenen Anwendungserstellung wurde der Einsatz von IKT im Bereich der Produktionsoptimierung bei KMUs der Lohnzerspanung von Klein- und Mittelserien untersucht. Die Fa. F&M Werkzeug- und Maschinenbau GmbH (im folgenden F&M) als Anwendungspartner in diesem Szenario kann prototypisch für eine Vielzahl von ähnlichen Produktionsbetrieben, aber auch für die allgemeine Umsetzung von Produktionsprozessen betrachtet werden. In den meisten Betrieben ist die Produktion zwar nur ein Teil des gesamten Geschäftsmodells, aber es bietet sich hier an, ein Lohnzerspanungsunternehmen zu untersuchen da dieses einen eindeutigen Fokus auf der reinen Produktion hat, und diese Ergebnisse Analog dann auch auf die Produktionsabteilungen innerhalb anderer Betriebe bzw. Geschäftsmodelle übertragen werden können.

Die beispielhafte Produktionsumgebung bei F&M ist dadurch gekennzeichnet, dass es einen gewachsenen und somit inhomogenen Maschinenbestand gibt. Die älteste automatisierte Maschine stammt aus Baujahr 1992 die Neueste aus 2008. Insgesamt wird regelmäßig an 4 Drehmaschinen und 4 Bearbeitungszentren gearbeitet wobei jeder Zerspanungsmechaniker im Ein-Schicht-System jeweils an einer Maschine arbeitet. Die Angebotskalkulation, Produktionsplanung/-steuerung und die Qualitätskontrolle wird von einem Produktionsleiter geleistet. Dieses Konzept wird so oder ähnlich von den meisten

kleinen und mittleren Betrieben in verschiedensten Personalstärken und Maschinenparks umgesetzt.

Obwohl in dieser Branche am Anfang – bei der Konstruktion durch den Kunden – und am Ende – bei der Produktion auf der Maschine, alle Daten prinzipiell digital im Sinne von IKT vorliegen, gibt es dazwischen, also bei der Angebotserstellung, Auftragsanfrage, Arbeitsvorbereitung usw. sehr viele Prozesse welche entweder komplett manuell oder nur teilweise „digital“ und damit automatisiert ablaufen. Trotz der inzwischen jahrzehntelangen Nutzung von digitalen 3D-Modellen wie z.B. STEP müssen in dieser Branche weiterhin Papier- (bzw. PDF-) Zeichnungen als maßgebliches Kommunikationsmedium eingesetzt werden. Zwar gab es schon einige Versuche z.B. Toleranzen und andere Daten, welche bisher nur den Zeichnungen entnommen werden können, in digitalen Modellen zu implementieren (z.B. ISO 10303-238) aber deren Marktdurchdringung ist im KMU-Bereich bisher kaum wahrnehmbar. Man könnte zwar von digital bzw. von Digitalisierung sprechen, wenn die PDF-Datei z.B. nicht mehr ausgedruckt wird, aber ehrlicher Weise muss man dann von einer „Schein-digitalisierung“ sprechen. Denn es wird nur das Medium Analog-Papier durch die PDF-Datei ersetzt, aber die Möglichkeiten, welche die IKT eigentlich bietet, nämlich Prozesse einfach zu automatisieren und sehr einfach skalieren zu können, werden weiterhin nur sehr selten genutzt. Die Gründe dafür liegen insbesondere in den, im Vergleich zur sich rasant entwickelnden Technologie im B2C-Sektor, grundsätzlich anderen Investitionspolitik bzw. auch einfach den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, welche eine Investition erst ermöglichen, wenn sie sich betriebswirtschaftlich darstellen lässt. Im B2C-Bereich hingegen handelt es sich oft auch um Modetrends, welche trotz Unwirtschaftlichkeit von den Konsumenten nachgefragt werden. Insbesondere auch die seit spätestens Mitte der 90er Jahre erreichte sehr hohe Reife in der mechanischen und elektrischen Auslegung von Produktionsmaschinen führen dazu, dass die Maschinen oft noch heute und oft auch für noch viele weitere Jahre wirtschaftlich nutzbar sind (vgl. Kfz-Produktion/Gebrauchtwagenmarkt). Die dann offensichtlichen Nachteile aufgrund der veralteten IKT-Technologie (Steuerung, SPS ...) innerhalb dieser Maschinen können bis jetzt, wahrscheinlich auch bedingt durch sehr gute wirtschaftliche Gesamtsituation, kompensiert werden. Deshalb liegt der Schwerpunkt des Projektes RetroNet in der nachträglichen Ertüchtigung bzw. Retrofitting auch sehr alter Maschinen im Bereich der IKT, um einerseits die bewährte Maschine weiter verwenden zu können, andererseits aber trotzdem mit der Digitalisierung der Produktion neue Effizienzreserven erschließen zu können.

Der grundsätzlich sehr komplexe Produktionsvorgang in der Zerspanung wird nach dem heutigen Stand der Technik im KMU-Bereich vorwiegend durch menschliche Problemlösungskompetenz und vor allen Dingen sehr viel Erfahrung der jeweiligen Facharbeiter gesteuert und geplant. Preiskalkulationen, Liefertermine, Produktionsabläufe usw. werden zurzeit also im Wesentlichen nach dem „Gefühl“ der erfahrenen Praktiker, nicht jedoch nach durchaus vorhandenen technisch wissenschaftlichen Methoden erzeugt. Bisher ist es z.B. wirtschaftlich nicht darstellbar, für eine Preiskalkulation, welche unverbindlich und kostenlos für den Kunden zu erbringen ist, eine genaue Kalkulation anzustellen. Die meisten Produktionsleiter schätzen diese Werte aus dem Bauch heraus. Ein weiteres Beispiel ist die Auslegung von Spannmitteln bei Drehprozessen. Trotz der Tatsache, dass dies im Wesentlichen sehr kritische Sicherheitserwägungen bzw. gesetzliche Vorgaben betrifft, und es dazu weitreichende erprobte Methoden gibt, findet eine Anwendung dieser Methoden aus vordergründig betriebswirtschaftlichen Erwägungen nicht statt. Da die Spannmittel nur nach Bauchgefühl eingesetzt werden, wird somit die Betriebssicherheit und am Ende meistens auch die Effizienz gefährdet. Denn wenn der Facharbeiter nur schätzen kann und somit eine gewisse Unsicherheit kompensieren muss, wird er den reinen Zerspanungsprozess nicht bis auf das theoretisch mögliche Effizienzniveau bringen, um nicht für ein Sicherheitsrisiko oder einen Maschinendefekt verantwortlich gemacht zu werden.

In dem Szenario bei F&M sollte ein Mehrwertdienst zur Beurteilung der Spannsituation bzw. der momentanen Spannsicherheit des Bauteils in einem Drehprozess entwickelt werden. Ziel war es, dem Werker an der Maschine eine automatisierte Berechnung nach der technischen Regel VDI3106 „Ermittlung der zulässigen Drehzahl von Drehfuttern (Backenfuttern)“ zur Verfügung zu stellen.

Die für die Berechnung erforderlichen Werte sollten nicht wie üblich vom Werker selbst ermittelt bzw. geschätzt werden, sondern sollten zu einem Teil direkt durch Sensoren ermittelt werden. Zusätzlich sollten für eine effiziente Bearbeitung Tabellen und für die vorhandenen Spannmittel typische Werte in der Software hinterlegt werden. Ursprünglich war geplant, mit den gewonnenen Messwerten eine über die VDI-Richtlinie hinausgehende Betrachtung der Momentanspannsicherheit während des Bearbeitungsprozesses zu entwickeln. Da die VDI-Richtlinie nur rein statische Worst-Case Szenarien berechnet, ist durch eine Bewertung der Momentanspannsicherheit eine signifikante Prozessverbesserung zu erwarten.

5.2.2 RetroNet-Integration für datengetriebene Anwendungsszenarien

P. Thierse

Am Beispiel des Anwendungsszenarios CNC-Drehmaschine wurde der im Abschnitt 3.4. dargestellte Ansatz einer adaptiven Kommunikationsarchitektur für die Umsetzung anwendungsspezifischer RetroNet-Lösungen experimentell von AUCOTEAM umgesetzt.

Kurz zusammengefasst umfasst diese experimentelle adaptive Kommunikationsarchitektur folgende Ebenen (Abbildung 55): Die erste Ebene umfasst die Datenzugriffspunkte in vorhandenen Steuerungen bzw. in zusätzlich anzubringenden Sensoren, die über den Konnektor die zu erfassenden Daten zusammengeführt, auf Konsistenz überprüft und für die Weiterleitung aggregiert. In der zweiten Ebene wird mittels IoT-Gateways mit Sicherheitsfunktionen die TCP/IP-Datenkommunikation zu einer Dienste-Plattform realisiert. Auf dieser Plattform als dritter Ebene erfolgt die Datenanalyse. Über die Dienste-Plattform sind über Dashboards bzw. mobile Clients als vierte Ebene vielfältige Mehrwertdienste zur Datenbeobachtung und -auswertung abrufbar.

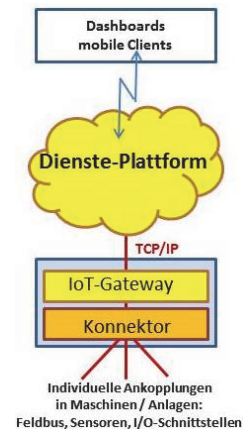
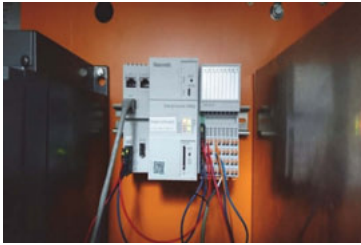


Abbildung 55: RetroNet-Ankopplung alter Maschinen

Die experimentelle Anordnung (Abbildung 56: Einbau Indra XM21 und Raspberry Pi3 an die Steuerelektronik der CNC-Drehmaschine) besteht aus einem Funktionskomplex zur Datenübernahme (Konnektor) aus der CNC-Drehmaschine einschließlich des IoT-Gateways zur Datenkommunikation mit einer experimentell eingerichteten Plattform unter Microsoft-Azure mit konfigurierbarer Datenbasis und experimentellen Auswertungsdiensten. Die Arbeiten von AUCOTEAM als Systemintegrator lagen in der Anpassung, Konfigurierung und Ergänzung von Software für den RetroNet-Konnektor zunächst mit der Steuerung XM21/22 von Bosch-Rexroth und als zweite Lösung dazu durch Softwareentwicklung für den Minicomputer Raspberry PI3 als Ergänzung und preisgünstige Alternative. Weitere Arbeiten bestanden in der Einrichtung einer experimentellen Cloud-Datenbasis, mit der auswählbare Visualisierungen und Auswertungen von Datenverläufen möglich waren. Zur IoT-Gateway wurde in der Azure-Cloud als kommunikatives

Gegenstück ein nutzerspezifischer Azure-Dienst als IoT-Hub-Connect implementiert. Dadurch kann ständig oder zu definierten Zeitpunkten über das IoT-Gateway die Datenkommunikation mit der Dienste-Plattform aufgenommen werden.



Indra XM21



Raspberry Pi 3

Abbildung 56: Einbau Indra XM21 und Raspberry Pi3 an die Steuerelektronik der CNC-Drehmaschine

Die Tests zur Datenerfassung und Datenanalyse erfolgten im Rahmen der Anwendungsszenarios zur Überwachung des Spanndruckes (bzw. der Spannkraftreserve) von eingespannten Werkstücken in der CNC-Drehmaschine. Die dynamisch erfassbaren Daten sind Momentan-Drehzahl, Momentan- Drehmoment, Spanndruck der Hydraulik (Abbildung 57 und Abbildung 62: Live-Überwachung der Spannkraft).

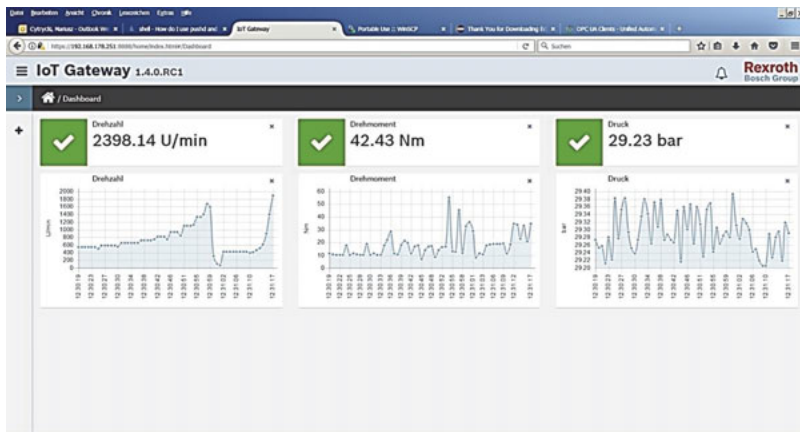


Abbildung 57: Beispiel zu erfassten und visualisierten Messdaten aus der Drehmaschine

Momentan-Drehzahl und Momentan-Drehmoment werden aus der vorhandenen Steuerung in Form von Analogwert abgegriffen. Der Spanndruck der Hydraulik wird über einen zusätzlich eingebauten Drucksensor erfasst. Vorgesehen ist auch die Einbeziehung des Spann-Weges des Hydraulikzylinders. Dazu war jedoch ein erhöhter konstruktiver Aufwand in der Umrüstung der Maschine erforderlich und konnte im Projektverlauf nicht mehr funktionell umgesetzt werden.

Unter Verwendung von Open-Source-Softwarekomponenten wurden folgende Software-Varianten zur Datenübertragung von Konnektor in eine Datenbasis (gepufferte oder direkte Speicherung z.B. in Datenlogger bzw. in Datenbanken) auf Azure-Cloud oder auf lokaler Serverbasis mit anschließender Datenauswertung realisiert und im Anwendungsszenarium getestet:

- XM22-Datenerfassung + Raspberry-Pi mit AZURE-IoT-Hub-Client → Azure Event Hub
- Raspberry-Pi mit Datenerfassung +IoT-Gateway mit AZURE-IoT-Hub-Client → Azure Event Hub
- XM22 mit OPC-UA Server → Raspberry-Pi mit NodeJS-Server (Abbildung 58) und OPC-UA Client → Windows-Rechner mit MySQL-Datenbank für Spannkraftberechnung
- Raspberry-Pi mit IoT-Gateway +OPC-UA Server → Desktop Rechner mit OPC-UA Client und JVM (Java Anwendung zur Spannkraftberechnung)

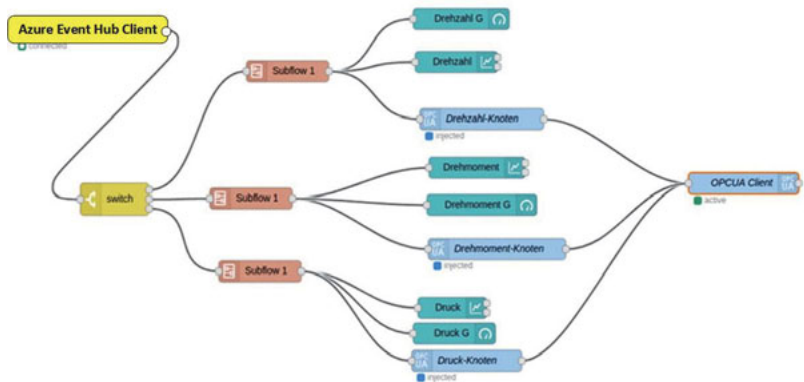


Abbildung 58: Konfigurierter NodeJS-Server

In der Datenkommunikation wurde zunächst OPC-UA eingesetzt. Die Testarbeiten ermöglichten Erkenntnisse zur Latenz und zu den Grenzen der Echtzeitfähigkeit der entwickelten Lösung. Außerdem traten Probleme durch Datenverlust auf. Aus diesem Grund erfolgte eine weitere Entwicklung der Datenkommunikation mit MQTT (siehe Abschnitt 3.4.5).

Mit der realisierten experimentellen Anordnung wurden experimentelle Datenanalysen der aufgezeichneten CNC-Daten durchgeführt (Abbildung 59: Beispiel zur klassifizierenden Datenanalyse).

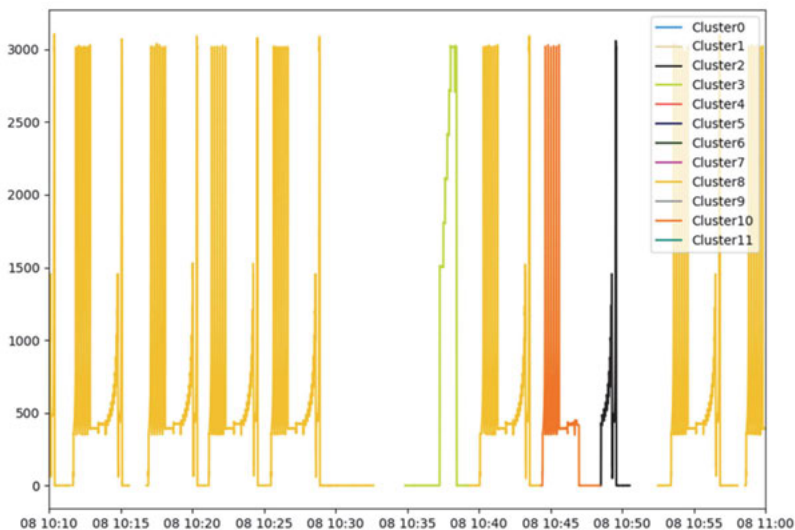


Abbildung 59: Beispiel zur klassifizierenden Datenanalyse

Es wurden folgende experimentelle Anordnungen realisiert:

1. Konnektor-Variante 1 (komfortable Lösung) besteht aus der Steuerung Indra X22 von Bosch Rexroth, in der der PLC-Zyklus für die Datenübernahme der an den Konnektor angeschlossenen Datenpunkte genutzt wird für eine gepufferte oder direkte Datenweitergabe an die IoT-Gateway auf den Raspberry-Pi, die ihrerseits die Daten in das Cloud-System überträgt (Speicherung z.B. in Datenloggern bzw. in Datenbanken der Plattform).

2. Konnektor-Variante 2 (preisgünstige Lösung) besteht nur aus dem Raspberry-Pi3, ergänzt um eine AD-Wandler-Erweiterungskarte, über die durch ein Datenerfassungszyklus-Programm im Raspberry-Pi3 die angeschlossenen Datenpunkte abgefragt werden mit anschließender Datenübertragung in das Cloud-System. Konnektor- und IoT-Gateway-Funktionalität sind vollständig auf dem Raspberry-Pi3 implementiert.
3. Experimentelle Dienste-Plattform: Für experimentelle Datenanalysen und die Einrichtung von Test-Diensten wurde mit Open-Source-Software eine initiale Datenanalyse-Plattform (Abbildung 41 und Abbildung 42) in Zusammenarbeit mit Projektpartner PI-Informatik konfiguriert. JupyterHub wird als Programmier-Tool für die Programmiersprache Python benutzt, die ein gutes Werkzeug zur Umsetzung von Algorithmen der Datenauswertung ist. Sie ist einfach zu handhaben und zu erlernen ist. Die Einrichtung von Diensten zur Datenauswertung war ein Schwerpunkt in der letzten Projektphase.

Die in Zusammenarbeit der Projektpartner entwickelten Algorithmen zur Überwachung der Spannkraftreserve wurden an einer konkreten CNC-Drehmaschine getestet (siehe folgenden Abschnitt).

5.2.3 Umgesetzte Methodik und Konzepte

Die Umsetzung für die Spannkraftmessung und -bewertung, im Folgenden als SpannkraftApp bezeichnet, wurde vom Fraunhofer IPK entwickelt. Die notwendige Sensorintegration und -nachrüstung der ausgewählten Drehmaschine wurde von AUCOTEAM durchgeführt. Die Drehzahl- und Drehmomentwerte konnten als Analogsignal aus der Steuerung abgegriffen und im Konnektor erfasst werden. Die Messung des Spanndrucks wurde über eine Messung des Hydraulikdrucks des Spannzylinders nachgerüstet und ebenfalls im Konnektor erfasst, siehe Abbildung 60.

Der Zugriff auf diese Werte ist zum einen über eine OPC UA-Schnittstelle möglich, über die Daten im lokalen Netz live ausgewertet werden können. Diese Schnittstelle wurde von der Spannkraft-App genutzt. Weiterhin wurden die Werte in die Cloud-Lösung der PI-Informatik gesendet, um für eine spätere Analyse verfügbar zu sein.

Die Spannkraft-App ermittelt aus den aktuellen Werten und den eingestellten Parametern des Bearbeitungsprozesses, siehe Abbildung 61, die notwendige Spannkraft. Diese wird mit dem gemessenen Spanndruck, der über eine durch die Maschine gegebene Kennlinie in die erzielte Spannkraft umgesetzt wird, in Relation gebracht.

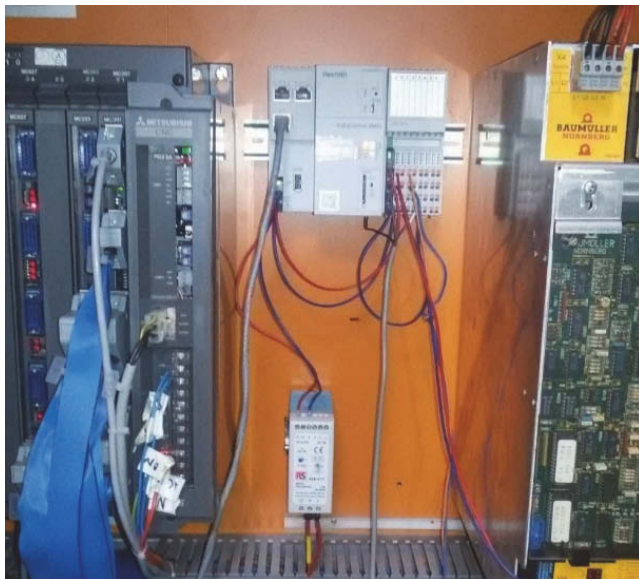


Abbildung 60: Eingebauter Konnektor in ausgewählter Drehmaschine

Abbildung 61: Parameteransicht der SpannkraftApp

Basierend auf der momentanen Drehzahl ist für die Bearbeitung eine minimale Spannkraft und damit ein minimaler Druck im Spannzylinder notwendig. Dieser Zusammenhang wird live ausgewertet und die dazugehörige Ansicht der SpannkraftApp ist in

Abbildung 62 dargestellt. Einschränkend muss genannt werden, dass der Abgriff der Werte nur alle 0,5 Sekunden erfolgen kann bedingt durch die OPC UA Implementierung auf dem Konnektor.

Es konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, die Berechnung entsprechend der VDI-Richtlinie durch die Einbeziehung von Sensorwerten zu vereinfachen bzw. zu verbessern. Für die Datenerfassung der Sensorwerte wurde ursprünglich allein der XM21/22 Industrierechner des Partner Bosch-Rexroth vorgesehen. Im Rahmen des Projektes wurde außerdem untersucht, inwieweit Strommessdaten während der Produktion Rückschlüsse auf den aktuellen Betriebszustand liefern können. Hierzu sind Abtastraten von mehr als 100Hz notwendig und es fallen schnell große Datenmengen an. Da der XM21/22 für diese Aufgabe mit der gewählten Softwareausstattung nicht optimal geeignet ist, wurden alternativ mehrere andere Hardwarekonzepte entwickelt und erprobt. Letztendlich konnte die beste Leistung mit einem Verbund aus der XM21/22 und einem weiteren Industrierechner erreicht werden. Dabei übernahm ein Rechner die reine Messwerterfassung im Sinne einer Analog-Digitalwandlung und der andere die Kommunikation mit den übergeordneten Abstraktionsschichten sowie die Prozesssteuerung.

Besonders hervorzuheben sind auch die Untersuchungen mit dem Ein-Platinen-Rechner RaspberryPi durch AUCOTEAM. Dieser bietet sich aufgrund seiner großen Entwicklergemeinschaft sowie seines sehr guten Preis Leistungsverhältnisses an, um mit standardisierter Hardware kurzfristige Lösungen in Kosten sensitiven Bereichen umzusetzen. Die von Bosch Rexroth entwickelte Konnektorsoftware ist auch auf dieser Plattform nutzbar.

Neben der oben dargestellten SpannkraftApp wurde als ein weiterer Mehrwertdienst ein Stück- bzw. Prozesszähler von F&M entwickelt. Dabei wurden die erfassten Drehzahl-Momentanwerte einer CNC-Drehmaschine dazu benutzt, einzelne Arbeitsaufträge zu klassifizieren. Durch die Klassifizierung bzw. Zuordnung bestimmter Drehzahlverläufe zu bestimmten Arbeitsaufträgen wird eine weitergehende Analyse möglich. So konnte z.B. die bisher produzierte Stückzahl abgeschätzt werden und es war möglich, Zeitstudien zur Durchlaufzeit, Bestückungszeit usw. anzustellen. Trotz der in Qualität und Quantität recht eingeschränkten Sensordaten konnte eine überraschend gute Robustheit des Algorithmus erreicht werden. Es war weiterhin positiv feststellbar, wie einfach virtuelle Sensoren entwickelt werden können.

Durch die Analyse des Momentanspanndruckes an einer CNC-Drehmaschine konnte z.B. ein virtueller Türschalter entwickelt werden. Aufgrund von Sicherheitsbestimmungen muss der Spanndruck (Hydraulikdruck) an dieser Drehmaschine abfallen, wenn die Tür

des Bearbeitungsraumes geöffnet wird. Da dieser Spanndruckabfall sehr charakteristisch ist und durch keine andere Aktion an der Maschine ausgelöst werden kann, konnte dieser Spanndruckabfall als diskriminantes Merkmal für das Öffnen der Tür verwendet werden.

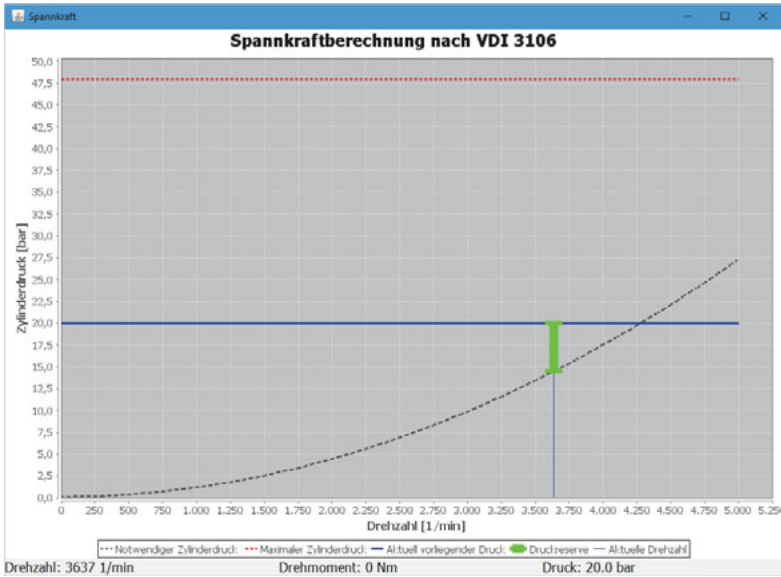


Abbildung 62: Live-Überwachung der Spannkraft

5.2.4 Ergebnisse

Die Integration eines Konnektors in eine bestehende Maschine ist nicht trivial. Die verwendete Maschine war hierzu gut geeignet, da sie für die gezeigte Anwendung die notwendigen Messwerte analog liefert. Bei der Einbindung des Konnektors konnte so auf standardisierte Eingangsmodule zurückgegriffen werden. Das Alter der Maschine war somit von Vorteil. Neuere Maschinen, bei denen diese Messwerte nur noch im internen Steuerungsbussystem geführt werden, hätten einen erheblichen Aufwand bedeutet. Der Einbau neuer Sensoren in eine bestehende Maschine ist ein gangbarer Weg, der aber auch hinreichendes Wissen über die Maschine voraussetzt, wie am Einbau des Drucksensors zur Ermittlung des Hydraulikdrucks am Spannzyylinder zeigt. Basierend auf diesen Daten wurden verschiedene Mehrwertdienste entwickelt, wie oben genannt eine Spannkraft-App, ein Stückzahlzähler, ein Türsensor und Auswertungsdienste zu Haupt- und Nebenzeiten der Maschinennutzung.

5.3 Einheitliche Benutzerschnittstellen

H. Klempnow, P. Klempnow, J. Schlössin

5.3.1 Anwendungsszenario

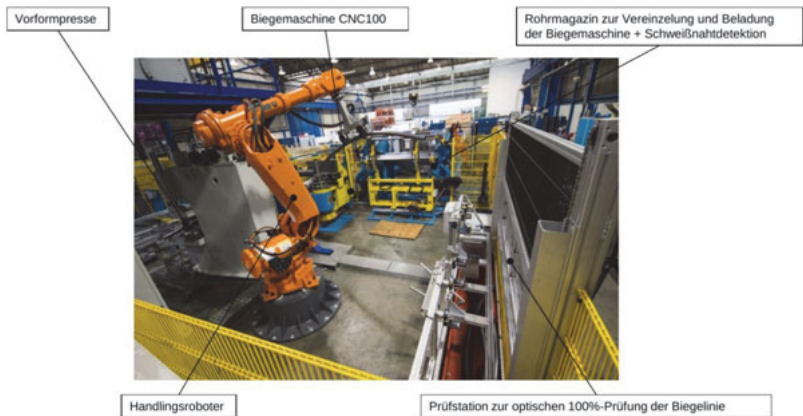


Abbildung 63: Szenario & Layout der Biegezone 2 (BZ2) bei Finow Automotive

Bei Finow Automotive wurde die Biegezone 2 (BZ2) als sinnvolle Testzone für die Anwendung der Konnektor-Technologie ausgewählt. In dieser Zone werden gerade Rohre für die nachfolgenden Prozessschritte gebogen und geprägt. Dabei kamen bisher eine Vorformpresse, eine CNC-Biegemaschine, eine Vor-Prüfung der Biegelinie, sowie ein Rohrmagazin zur Vereinzelung und Beladung der Biegemaschine und Schweißnahtdetektion zum Einsatz.

Das Problem war, dass der Biegeprozess sehr sensibel auf geringfügige Änderungen in den mechanischen Rohreigenschaften reagiert hat. Die bisherigen Fertigungsabläufe (und das bisherige Maschineninterface) erlaubten keine Rückkopplung zwischen den Umformparametern und den Umformergebnissen. Eine Reaktion auf Abweichungen vom Sollergebnis konnte somit nur durch manuelles Eingreifen des Werkers in die Biegeparameter erfolgen. Es gab zudem auch keine Sicherstellung von „i.O.“-Ergebnissen des Folgerohres durch Veränderungen der Biegeparameter auf Grundlage des vorherigen „n.i.O.“-Ereignisses (aufgrund der Abhängigkeit dieser von den individuellen mechanischen

Rohreigenschaften). Als Konsequenz ergab sich daraus eine hohe Schrott- und Nacharbeitsquote, die konsequenterweise zur Reduzierung der Gesamtanlageneffizienz führte.

Die Zielstellung im Rahmen des RetroNet-Projektes für Finow war eine individuelle 100%-Anpassung der Biegeparameter auf die mechanischen Eigenschaften eines jeden Vorrohres. Dafür bedarf es der Implementierung einer dem Biegeprozess vorgelagerten zerstörungsfreien 100%-Prüfung der Rohre zur Ermittlung der elastischen Werkstoffeigenschaften. Beide Ziele benötigen eine Übergabe der zugrundeliegenden Messwerte in einen Mehrwertdienst zur Berechnung der Biegeparameter über dann herzuleitende Rechenmodelle und Formalismen.

Bei dieser Zielstellung spielt natürlich die erfolgreiche Einbindung sinnvoller Sensorik und das Daten-Sammeln und Aufbereiten mithilfe des Bosch-Rexroth-Konnektors eine zentrale und grundlegende Rolle.

5.3.2 Umgesetzte Methodik und Konzepte

Zunächst wurde von KleRo ein optisches Wegmesssystem in der Biegezelle im Dezember 2017 eingebunden. Dieses Messsystem zeichnet von drei fixen Punkten aus den Abstand zum Rohr auf. Die Intention dabei war, entsprechende infinitesimal kleine Vorbiegungen zu detektieren und entsprechend dem Rohrcharakter zuzuordnen. Zudem wurden die Sensoren so eingerichtet, dass der eine Sensor den erwartungsgemäßen Mittelpunkt der Biegung angibt und die anderen beiden rechts und links in gleichmäßigem Abstand einen Referenzwert liefern. Aufgrund dieser Werte lässt sich dann sehr einfach ein Biegegrad errechnen. Somit konnte das Wegmesssystem die tatsächliche Verbiegung ermitteln und entsprechende Rückmeldungen an die Kraftmessdose übermitteln, die diese Verbiegung verursacht. Dadurch konnte bei idealer Verbiegung der Biegeprozess gestoppt werden, anstatt darüber hinaus das Rohr zu stark zu verbiegen, bzw. zu früh die Verbiegung zu beenden.

Analog wurde in einem zweiten Integrationsschritt die Kraftmessdose sensorisch angeschlossen, um die tatsächlich und aktuell auftretende Kraft zu messen. Auch diese Werte wurden natürlich über den Konnektor an den entsprechenden Mehrwertdienst weitergeleitet, um einen numerischen Zusammenhang zu den Werten des Wegmesssystems herstellen zu können. Dafür wurde zunächst ein externer Drei-Punkt-Biege Prüfstand entwickelt und aufgebaut, um die Rohrcharakterisierung validieren zu können. Extern aus dem Grund, weil die BZ2 in die laufende Produktion eingebunden ist und ein Ausfall entsprechend kostspielig wäre.

Im Anschluss an eine mehrwöchige Validierungsphase wurden dann die Prüfeinrichtung in die Biegezeile integriert und die Messwerte, in dem Fall analog gemessene Kraftmomente über den Stromfluss, über den Konnektor in die Cloud gesendet. In diesem Fall erwies sich die Messung des Stroms als besonders sinnvoll, um einen Rückschluss auf die Kraft zu ziehen. Ohne den Gegenpart, also das Wegmesssystem, hätten diese Werte aber keinen Mehrwert gebracht, denn allein über die aufzubringende Kraft lässt sich nicht feststellen, ob das aktuell bearbeitete Rohr die gewünschte Biegung erreicht hat oder nicht. Nur im Zusammenspiel mit der tatsächlichen Messung der Biegung mithilfe von drei Punkten, lässt sich diese Aussage treffen.

I4.0 Fertigungsablauf

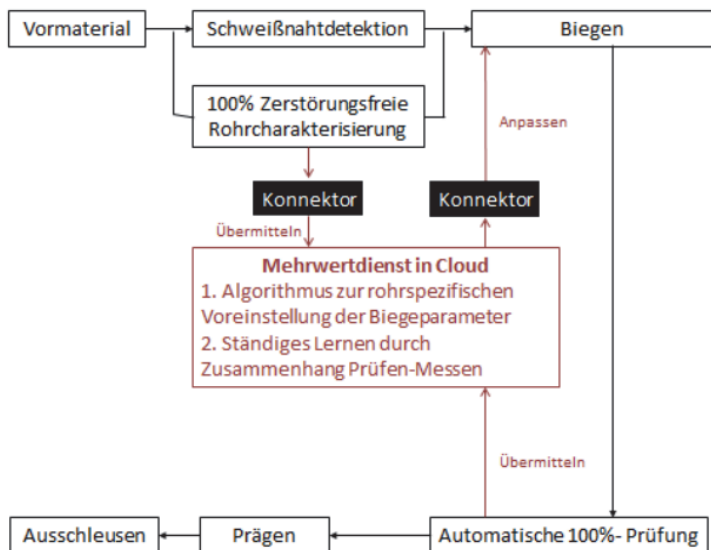


Abbildung 64: Der idealtypische I4.0-Fertigungsablauf, wie er bei Finow Automotive adaptiert wurde

5.3.3 Ergebnisse

Die Rohrcharakterisierung konnte mithilfe eines 3-Punkt-Biegeversuches erfolgreich validiert und analysiert werden. Die gesamte Biegeprüfung wurde anschließend in die Rohrvereinzlung und damit in den normalen Produktionsbetrieb fest eingebunden und hat

dort zu einer erheblichen Verringerung von Schrott- und Nacharbeitsquoten geführt. Dabei haben wir aber festgestellt, dass es von Vorteil ist, die numerischen Zusammenhänge zwischen Wegmesssystem und Kraftmessdose kontinuierlich anzupassen und somit einen gewissen Lerneffekt zu zeigen. Dabei werden Werte-Paare aufgrund ihres Alters und der anschließenden Qualität des Rohres (wird über Qualitätssicherung zu einem späteren Zeitpunkt des Prozesses ermittelt) unterschiedlich bewertet und fließen in eine Kausalitätskonstante ein. Durch die Integration der Sensoren an den richtigen Stellen, die digitale Verfügbarkeit aller Werte dank des I4.0-Konnektors und des darauf aufbauenden Mehrwertdienstes, sowie dessen Rückkopplung an die Produktionsmaschine konnte die Gesamtanlageneffizienz deutlich gesteigert werden. Mithilfe der durch den Konnektor erlangten Daten, ist es uns somit die angestrebte Umsetzung des Fertigungsablaufes nach dem I4.0-Prinzip gelungen.

5.4 Condition Monitoring

G. Vetter, A. Beck

5.4.1 Anwendungsszenario

Im Werk LoP2 der Bosch Rexroth AG in Lohr steht eine ca. 25 Jahre alte, aus „Lackierung“ und „Trocknung“ bestehende Lackieranlage für Elektromotoren, die bis Ende 2018 modernisiert werden sollte. Für die Optimierung des Fertigungsprozesses fehlte an dieser die Möglichkeit wichtige, nach heutigem Erfordernis notwendige Prozessgrößen zu erfassen sowie die Voraussetzungen für eine Vernetzung der Anlage mit Industrie 4.0-Technologien (MES-Systeme, Cloud-Services, etc.). Der Fertigungsprozess der Lackieranlage sollte nun mit Hilfe von Industrie 4.0-Technologie optimiert werden. Folgende Ziele wurden angestrebt:

- Reduzierung von Produkt-Durchlaufzeiten.
- Erhöhung der Produkt-Qualität, Sicherstellung der Lackqualität
- Langzeitspeicherung produktbezogener Qualitätsparameter, Rückverfolgung des verwendeten Lackes zum Unikat
- Unterstützung der vorausschauenden Wartung und Instandsetzung (Predictive Maintenance).

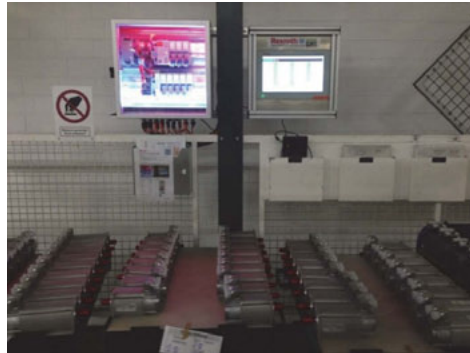


Abbildung 65: Szenario Condition Monitoring

Das Umsetzungskonzept sollte darüber hinaus so gestaltet werden, dass es als Leit- oder Referenzszenario auf weitere Anwendungsfälle übertragen werden konnte.

5.4.2 Umgesetzte Methodik und Konzepte

Technologisches Konzept

Das im Werk LoP2 vorhandene MES-System „Nexeed ME“ in der Verarbeitungsebene wurde über das IoT-Gateway von Bosch Rexroth in der Konnektor-Ebene, mit einer bestehenden Steuerung und zusätzlich installierten Sensoren verbunden. Der Einführungsprozess gliederte sich in folgende Schritte:

1. Ermittlung der beeinflussenden Variablen (Temperatur, Druck, Zeit, u.a.)
2. Datenquelle identifizieren und passende Sensorik auswählen (Analog, Digital, Steuerungen, u.a.)
3. Realisierung des Hardwareaufbaus und Verbindung der Datenquelle mit Hilfe der “Device” App (mit installierter IoT-Gateway Software auf dem bewährten Hardware-Setup und einer einfach zu bedienenden web-basierten Konfiguration)
4. Mit den gewonnenen Daten auf der Ebene des Konnektors arbeiten und bei Bedarf mit einem weiterführenden System verbinden (Nexeed ME für BDE/MDE)
5. Anhand der gewonnenen Daten und Erkenntnisse eine ständige Verbesserung des Gesamtsystems.

Ausgehend von dem Erstszenario wurde im Werk Lohr weitere Retrofitting-Szenarien initiiert. Um eine möglichst zeitnahe und effiziente Umsetzung dieser sicherzustellen,

wurde die Projektvariante des Hackathons adaptiert und in weiteren Anwendungsfällen durchlaufen.

Hackathon Bosch Rexroth

Innerhalb von Hackathons („Hacken“ und „Marathon“) werden mittels agiler interdisziplinärer Teams nutzbringende Lösungen durch den Einsatz standardisierte Tools und Use-Cases geschaffen. Die Teams setzten sich aus Produktionsmitarbeitern, Fertigungssteuere-rern, Mitarbeitern aus Technischen Funktionen, der Logistik, dem Betriebsrat, der Personalabteilung, der IT und andere am Wertstrom beteiligten Funktionen zusammen. Frühzeitig wurde ein gemeinsames Problemverständnis geschaffen und die Hauptprobleme identifiziert. Folgende fünf Grundschrte wurden dabei prinzipiell durchlaufen:

1. Zusammenbringen von IT- und Produktionssystem-Spezialisten
2. Ableiten der Themen aus dem Produktionssystem
3. Vorbereitung und Beschaffung Hardware/Software
4. Eine Woche konzentrierte Verbesserungsarbeit am Wertstrom
5. Am Ende der Woche Ergebnisse der umgesetzten Themen

Zur besseren Verständlichkeit wurde wie folgt ein Ablaufschema skizziert und als allgemeingültige, interne Kommunikationsgrundlage einbezogen.



Abbildung 66: Szenario-Multiplikation mit Hilfe des BRE-Hackathon

Als wichtige Regeltermine wurden der Eröffnungstermin im betroffenen Produktionsbereich mit Teilnahme der Leitung, die Präsentation der täglichen Teilergebnisse sowie die Abschlusspräsentation mit Teilnahme der Leitung und allen an der Wertschöpfungskette beteiligten Funktionsträgern geplant und durchgeführt. Darüber hinaus wurden in einem Lessons-Learned-Workshop einen Monat nach dem eigentlichen Hackathon die Lösungsansätze überprüft und wenn notwendig in dauerhaft betreibbare Lösungen überführt.

5.4.3 Ergebnisse

Neben der erfolgreichen datentechnischen Erschließung und Anbindung der Lackieranlage stehen bei dem Anwendungsszenario „Condition Monitoring“ insbesondere die Ergebnisse des methodischen Roll Outs im Vordergrund der Bewertung. Folgende Effekte konnten durch den Hackathon erzielt werden:

- Innerhalb kurzer Zeit sind nutzbringende I4.0-Lösungen im Wertstrom verfügbar, die zur Wertstromverbesserung bzw. Wertstromstabilisierung beitragen
- Vorhandene Lösungsansätze können auf andere Wertströmen einfach übertragen werden
- Die neuen Lösungsansätze werden auf Basis der Standardtools entwickelt und stehen damit weiteren Wertströmen zur Verfügung
- Knowhow wird bei allen Teilnehmern aufgebaut und weitergegeben („Schulungscharakter“)
- Die innovative Methodik der bereichsübergreifenden Zusammenarbeit schafft Vertrauen (z.B. Betriebsrat) und stärkt den Zusammenhalt der Mitarbeiter untereinander
- Hackathon-Methode wirkt sich positiv auf die Mitarbeitermotivation und die Firmenkultur aus
- IT-affine Mitarbeiter werden gefördert und stehen so dem weiteren Verbesserungsprozess zur Verfügung (informelle Qualifizierung „vom Facharbeiter zum Ingenieur“)

Lessons Learned Methodik

1. Der Mut, etwas Neues auszuprobieren, kommt bei den Mitarbeitern gut an.
2. Die an einem Fertigungsstandort entwickelte Methodik hat sich bestens bewährt und findet zwischenzeitlich auch an anderen Standorten von Bosch Verwendung.

3. Voraussetzungen zur Anwendung sind Lean Production und IT Security in der Produktion, ein klares Management-Commitment zur Digitalisierung und eine gesunde Fehlerkultur, die auch Fehler zulässt und auf die Mitarbeiter und ihre konkreten Problemstellungen eingeht.
4. Die zunehmende Anzahl aufgebauter UseCases erhöht die Ausbringung von folgenden Hackathon.
5. Die Professionalität des Moderators (fachlich und persönlich) wirkt sich deutlich auf das Ergebnis aus.

5.5 AR – Visualisierung

Chr. Horn, S. Nikoleizig

5.5.1 Anwendungsszenario

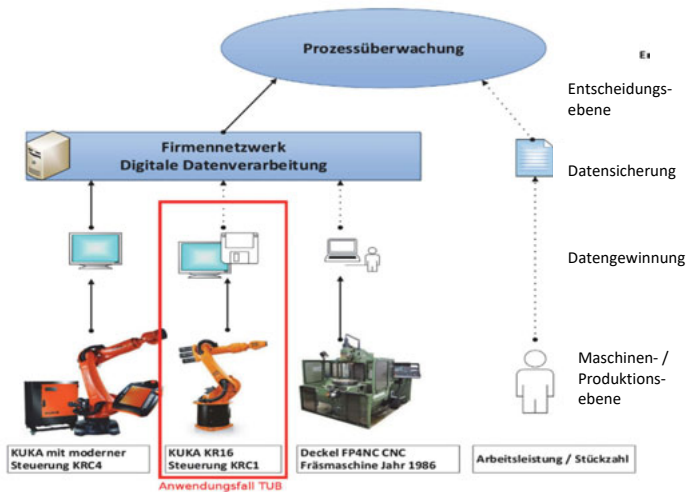


Abbildung 67: Skizzierung des Problems

Für die Lehre und Forschungsarbeiten des Instituts für industrielle Automatisierungstechnik der TU Berlin wird unter anderem ein älterer Industrieroboter KUKA KR6 verwendet. Dieser wurde aufgrund seines alten, auf Windows 98 basierenden, Steuerungssystems und den dadurch eingeschränkten Kommunikationsschnittstellen nur für lokale

Anwendungen genutzt. Daher wurden bis dahin die Daten nur am Steuerungsrechner vor Ort gespeichert, wie in Abbildung 67 dargestellt. Die Anbindung des Industrieroboters durch eine vernetzte Datenerhebung sollte dies ändern und neue Anwendungen in der Forschung und Lehre im Themengebiet Industrie 4.0 ermöglichen.

In diesem Anwendungsfall wurden dazu zwei Mehrwertdienste formuliert und umgesetzt. Der Mehrwertdienst „Schnittstellendienst“ ist für die Bereitstellung der Roboterdaten in die Cloud zuständig. Hierbei werden die Daten direkt aus dem Steuerungsrechner abgegriffen ohne zusätzliche Sensoren zu verwenden. Der zweite Anwendungsfall „Online-Roboterdaten“ beinhaltet eine Verarbeitung und Bereitstellung der Daten für eine externe Überwachung und Simulation des Roboters. Das Aufrufen und Visualisieren der roboter-internen Daten erfolgen durch mobil abrufbare Dienste auf einem Endgerät. Dies kann unter anderem ein Tablet sein.

5.5.2 Umgesetzte Methodiken und Konzepte

Die Umsetzung des Anwendungsfalls erfolgte in mehreren Phasen. Zunächst war das Ermitteln des Ausgangszustands der Anlage in einer Analysephase nötig. Dabei wurde der Steuerungsrechner mit seinem Kommunikationsschnittstellen beschrieben. Während der Konzeptphase erfolgte anschließend die Ausarbeitung der Zieldefinitionen. Das Ableiten der sich daraus ergebenden Anforderungen in einen formal definieren Lastenheft ermöglichte eine erste Umrahmung des Lösungsansatzes. Abbildung 68x zeigt hierzu den Hardwareaufbau des erarbeiteten Anwendungsfalles. Am Roboter werden die aktuellen Daten über eine serielle Schnittstelle ausgelesen. Ein Konnektor verarbeitet diese weiter und sendet sie an eine Cloud-Datenbank, welche die Daten auf Anfrage einem Mehrwertdienst bereitstellt. Der

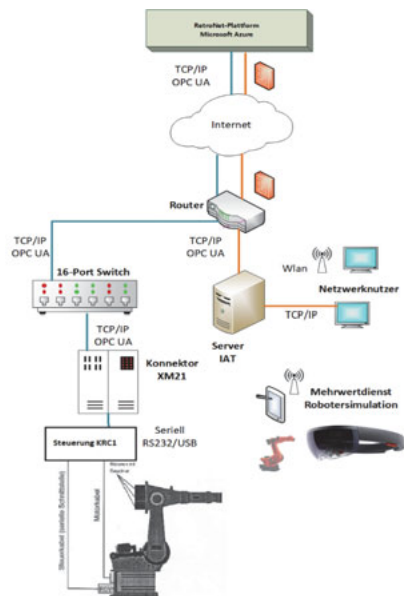


Abbildung 68: Schematischer Aufbau und Komponenten im Anwendungsfall

Konnektor wurde von dem Projektpartner BRE entwickelt und bereitgestellt. Die Cloud-Plattform wurde von PII aufgesetzt und verwaltet. Die Entwicklung der Dienste und Clients auf dem Konnektor, sowie die Anbindung der Komponenten erfolgte anschließend in separaten Teilschritten durch das IAT.

5.5.3 Ergebnisse

Der Anwendungsfall wurde im Laufe des Projektes RetroNet mit einem beispielhaften Datentyp umgesetzt. Am Roboter werden dabei die aktuellen Achsendaten über eine serielle Schnittstelle ausgelesen. Hierbei war eine Teilaufgabe die Ausarbeitung eines Übertragungsprotokolls für die serielle Datenübermittlung von der Robotersteuerung zum Konnektor über einen RS232 Port. Hierbei wurde auch die Bereitstellung der Daten aus der Robotersteuerung untersucht und umgesetzt. Mit Hilfe der KUKA Roboter Language wurden zunächst Daten testweise übermittelt und anschließend ein Konzept zur Datengewinnung erarbeitet. Durch die Nutzung des Submit-Interpreters und interner Interruptes ist es dabei möglich eine Datenübermittlung parallel zur normalen Roboteranwendung zu ermöglichen.

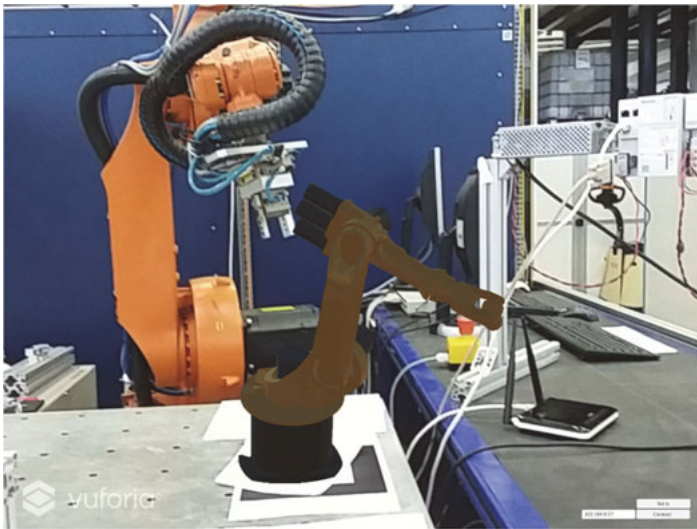


Abbildung 69: Versuchsaufbau für das AR-Szenario

Es wurde ein Java-Client, für den zu nutzenden Konnektor entwickelt, der Daten über einen Seriell-USB-Adapter einliest und verarbeitet. Während des Projektverlaufes wurde von dem Projektpartner Bosch Rexroth eine Betriebssystemversion des Konnektors basierend auf Linux entwickelt und bereitgestellt. Dabei wurde das Softwareverteilungssystem Snappy genutzt, um plattformunabhängige 32-Bit Pakete zu erzeugen, die direkt auf der Software ausgeführt werden können.

Der Mehrwertdienst „Schnittstellendienst“ ist für die Bereitstellung der Roboterdaten in die Cloud zuständig. Mit diesem Java-Clienten werden die Roboterachsenwerte zu einem Paket verpackt und mit aktuellem Zeitstempel in der Cloud gespeichert. Dazu wurde das von der PI-Informatik vorgegebene Datenmodell für die Übertragung in die Microsoft Azure Clouddatenbank umgesetzt. Die Datenpakete werden analysiert, datiert und in das mit abgestimmte Datenformat umgewandelt. Anschließend werden die Daten über das HTTPS-Protokoll versendet.

Der zweite Mehrwertdienst „Online-Roboterdaten“ beinhaltet eine Verarbeitung und Bereitstellung der Daten für eine Überwachung und Simulation des Roboters. Dafür wurde eine Anwendung entwickelt, die eine Robotersimulation mit der entsprechenden Kinematik darstellt. Die Posen werden durch die übermittelten Roboterachsenwerte gesetzt. Hierzu wurde zunächst ein Client geschrieben, der eine direkte Übertragung der Daten über TCP/IP vornimmt, um die Umsetzung unabhängig von dem Clouddienst testen zu können. Hierdurch ist eine Darstellung des Live-Status des Roboters möglich. Als Augmented Reality Endgerät wurde zur Darstellung ein Tablet als auch eine 3D Brille (Microsoft HoloLens) gewählt und erfolgreich getestet. Abbildung 69 zeigt die Ansicht des Mehrwertdienstes auf dem Tablet. Hierbei ist die Roboterzelle der TUB mit dem realen Roboter und die Darstellung der Simulation zu erkennen. Ein zusätzlich erstellter Java-Client ermöglicht das Auslesen der in der Cloud-Datenbank hinterlegten Daten über einen SSH-Tunnel. Diese werden dabei in Kommunikations-Pakete für das genutzte mobile Endgerät umgewandelt. Es kann ein Zeitrahmen vorgegeben werden, wodurch ältere Zustände des Roboters nachträglich zur Verfügung gestellt werden. Dieser Ansatz kann auch auf andere Datentypen angewendet werden, um diese auf einer GUI dem Anwender bereit zu stellen.

Die entwickelten Dienste werden genutzt um die Bedienung des Roboters von unterschiedlichen Benutzern zu sichern und bei Schadensfällen kontrollieren zu können. Bei Forschungsarbeiten können die Fahrtverläufe nun ebenfalls miteinander verglichen werden. Dadurch wurde die Anlage um zusätzliche Funktionen erweitert. In dieser

Umsetzung wird dabei die Steuerung des Roboters nicht beeinflusst und kann entsprechend normal weiter genutzt werden.

5.6 I4.0-Konnektor als Retrofittingwerkzeug

H. Klemppnow, P. Klemppnow, J. Schlössin

5.6.1 Anwendungsszenario

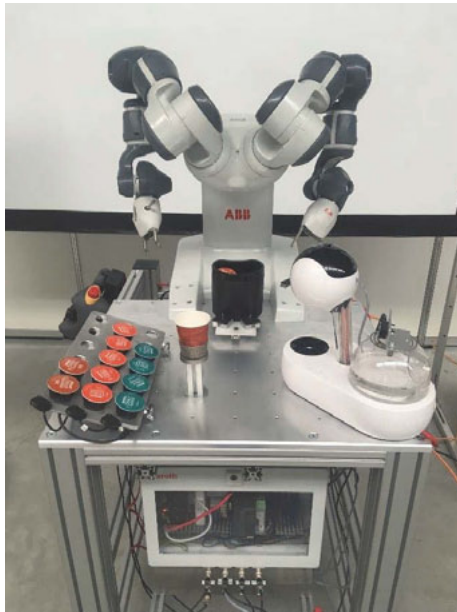


Abbildung 70: Szenario des Hackathons mit ABB IRB 14000 & Nestle Kaffeemaschine

Parallel zum Anwendungsszenario bei Finow Automotive hat sich für Klero und das RetroNet Konsortium kurz vor Abschluss des Projekts die Möglichkeit ergeben, eine Kaffeemaschine zu automatisieren. Im Hinblick auf mögliche Messe-Auftritte erschien dies als sinnvolle und mobile Alternative zu einer komplexen Produktionsanlage, die sich zudem schlecht auf eine Messe transportieren lässt.

Das zugehörige SetUp lässt sich auf dem obigen Bild gut erkennen. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um eine handelsübliche Kaffee-Maschine von Nestle, einen

kollaborativen Roboter der Firma ABB (Typ IRB14000), sowie Peripherie für die sichere Handhabung von Bechern, ein Magazin für frische Kapsel und ein Abfallbehälter, der auf einer Waage steht. An der Front des Gestells lässt sich zudem gut der BoschRexroth I4.0-Konnektor erkennen.

Eine Automatisierung des Kaffee-kochen Prozesses ohne zusätzliche Sensorinformationen benötigt leider hartcodierte, Worst-Case-Wartezeiten und muss mitzählen, wie viele Kaffee bereits gekocht wurden um grob abschätzen zu können, wann Abfallbehälter entleert, sowie Magazin und Wassertank befüllt werden müssten. Die setzt jedoch einen sauberen Initialisierungsstand voraus und dass nicht in den Prozess eingegriffen werden kann. Beides wird sich im Rahmen einer Messe-Demo Applikation erfahrungsgemäß nur schwer bewerkstelligen lassen. Aus diesem Grund wurden Sensoren eingebaut, um den Füllstand des Wassertanks, das Gewicht des Abfallbehälters und die Befüllung des Magazins zu überwachen. Zusätzlich wurde auch der Strom der Kaffeemaschine ausgelesen, um in Erfahrung zu bringen, wann die Maschine in den Stand-By Zustand übergeht (um dann vom Roboter wieder gestartet zu werden), oder wann das Befüllen einer Tasse mit heißem Getränk abgeschlossen ist.

5.6.2 Umgesetzte Methodik und Konzepte

Die Verwendung einer Kaffee-Maschine mag auf den ersten Blick ein wenig albern wirken, hat aber zwei wesentliche Vorteile:

1. Analog zu vielen alten Produktionsanlagen, ist beim Kaffee-kochen bisher nicht vorgesehen, entsprechende Daten zu sammeln und zu verwerten. Eine inhaltliche Verwandtschaft zur RetroNet-Kernbotschaft ist also gegeben. Zudem sind die Methoden die verwendet werden, um beide Prozesse zu automatisieren, identisch. Im Wesentlichen wird dabei auf Prozess-Diagramme zurückgegriffen, die in beiden Fällen sehr ähnlich ausfallen.
2. Der zweite Vorteil liegt in der wesentlich besseren Mobilität der Kaffee-Produktionsanlage im Vergleich zu beispielsweise einer Biegezelle.

Die Entscheidungen, welche Sensoren angebunden werden und wie mit den gesammelten Daten umgegangen wird, wurden im Rahmen eines Hackathons getroffen, dem u.a. Teilnehmer der Konsortialpartner AUCOTEAM, IPK, TU Berlin, PI Informatik und KleRo beigewohnt haben. Dabei wurden insbesondere Schwellwert-Analysen betrieben um Prozess-Entscheidungsrelevante Daten zu erfassen und an den Roboter weiterzureichen.

5.6.3 Ergebnisse

Wie erhofft konnte die Kaffee-Maschine durch die Sensor-Informationen präziser und schneller bedient werden, präzise in dem Sinne, als das Wartungsanfragen (neue Kapseln liefern, Wasser nachfüllen, Behälter leeren) in den richtigen Momenten nach außen getragen wurden.

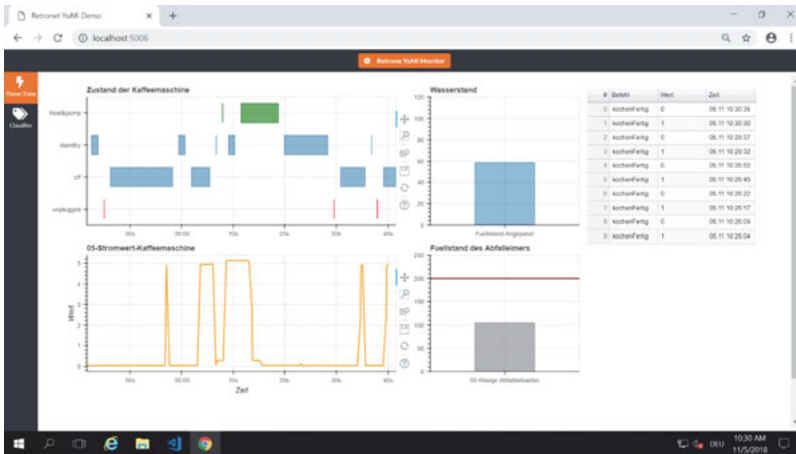


Abbildung 71: Visualisierung der Messwerte und Mehrwertdienst-Analysen in einem cloud-basierten Dashboard

Darüber hinaus lässt sich festhalten, dass auch ursprünglich nicht vorgesehene Funktionalitäten später integrierbar sind und dank der Daten-Visualisierung im IOT-Gateway schnell Entscheidungen über relevante Daten-Punkte getroffen werden können. Neben der integrierten Visualisierung im IOT-Gateway wurde für den Anwendungsfall ein Dashboard als Mehrwertdienst entwickelt, siehe Abbildung 71.

Ein Problem stellt die sich bildende Erwartungshaltung in Kombination mit der Verbindungszuverlässigkeit der verwendeten Infrastruktur dar. Es kommt leider immer wieder zu Verbindungsausfällen, was bedeutet, dass eine Anlage sich nicht darauf verlassen kann, im entscheidenden Moment die notwendigen Daten zur Verfügung zu haben. Weil dieser Anschein aber zunächst geweckt wird, ist die Verlockung groß, seine Programmstruktur daran auszurichten. Für den Fall einer unterbrochenen oder ausgefallenen Kommunikation wird dann immer eine „blinde“ Backupstrategie benötigt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

M. Chemnitz

Zielstellung des Projekts RetroNet war es, anwendungsnahe Lösungen für das verarbeitende Gewerbe zu schaffen, mit denen vorhandene Maschinen und Anlagen I4.0-fähig gemacht werden können. Hierzu hat sich ein breitaufgestelltes Konsortium aus Forschung, Integratoren und Anwendern zusammengeschlossen, vgl. Abbildung 72.

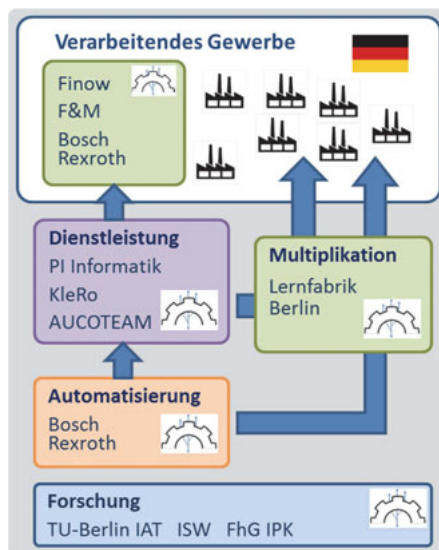


Abbildung 72: Konsortialstruktur im Projekt RetroNet

Die Basis hierfür bildet der Konnektor; eine Softwarekomponente, die auf unterschiedlicher Hardware eingesetzt werden kann und die Verbindung zwischen Bestandsmaschine und der Cloud herstellt. Neben digitalen und analogen Eingangsbaugruppen können Anlagendaten über das Siemens S7- und Beckhoff ADS-Protokoll sowie OPC-UA erfasst werden. Die Anforderungen an die Datenerfassung waren dabei zwischen den Projektpartner äußerst heterogen. Nicht nur langsame Zustandsinformationen mit weniger als 1 Hz, sondern auch schnelle anlage Messwerte mit mehr als 100 Hz zur Leistungsmessung waren gefordert. Die erfassten Daten können entweder über OPC UA direkt vom Konnektor abgegriffen und lokal weiterverarbeitet, in lokale Systeme (MES, SCADA, o.ä.) übertragen oder in die Cloud gesendet und dort analysiert werden.

Zusammengeführt und aggregiert wurden die Daten der Anwendungsfälle in einer cloud-basierten zentralen Dateninstanz. Auf der Grundlage von Microsoft Azure-Technologien (Framework, Datenbanken, Datelake u.a.m.) wurden dazu neue funktionale Konzepte entworfen und in den konkreten Anwendungsszenarien umgesetzt. Im Vordergrund stand dabei die konsistente Durchgängigkeit des Systementwurfs vom „Hallenboden“ bis zum anwenderspezifischen Mehrwertdienst. Das entwickelte technologische Konzept ist insbesondere darauf ausgerichtet, einen möglichst einfachen Einstieg auf den Weg Richtung I4.0 zu ermöglichen und die erarbeiteten Lösungen und funktionalen Bausteine dynamisch skalierbar weiterführend auszubauen. Die Anwendungsszenarien selbst repräsentieren hierbei das adressierte Anwendungsspektrum von einfach bis komplex und reichen von der Zustandsüberwachung und Qualitätssicherung und -verbesserung ganzer Fertigungslinien bis hin zu innovativen Mehrwertdiensten zur Absicherung und Effizienzsteigerung einzelner Maschinen. Daneben wurde ein Demonstrator für Messeauftritte entwickelt, der am Beispiel einer Kaffeezubereitung alle Schritte der Industrie 4.0-Integration darstellt: Datenerfassung, Cloud-basierten Auswertung und Rückmeldung an den Benutzer.

Das Projekt RetroNet hat den Konsortialpartner wertvolle Erfahrungen zur Einbindung von Bestandsmaschinen in aktuelle Industrie 4.0-Umgebungen geliefert. Beim Fraunhofer IPK wurde das Thema als ein Teilprojekt im Berliner Leistungszentrum Digitale Vernetzung aufgenommen und so verstetigt. Das am ISW entwickelte Datenmodell soll im Bereich von Edge Computing Analysen hausintern sowie in Lehrveranstaltungen genutzt werden, um Anlageninformationen eindeutig zu erfassen und Analyseergebnisse rückzuführen. Weiterhin plant das ISW die Softwarebibliothek für das Automatisierungsprojekt Beckhoff ADS unter einer Open Source Lizenz für eine verbesserte Breitenwirksamkeit in einer angestrebten Kooperation mit dem Apache Projekt PLC4X zu veröffentlichen. KleRo GmbH ist mit ihren Hauptkunden wie Daimler in diversen Vorgesprächen für Projekte mit Anwendungen die im Rahmen von RetroNet entwickelt oder neu genutzt wurden. In der praktischen Umsetzung der Ergebnisse in Kundenprojekten werden aber neben der Methodik noch ein Leitfaden, um den Nutzen einer Cloud- Anbindung für den Kunden hervorzuheben, sowie Argumentationshilfen bei Sicherheitsbedenken der Kunden gegenüber Internet- und Cloudanwendungen benötigt. Die PI Informatik GmbH entwickelt gemeinsam mit der F&M Werkzeug und Maschinenbau GmbH auf der Grundlage der Ergebnisse konkrete Lösungsbausteine und Anwendungen für die Industrieanwendung. Darüber hinaus dienen die Ergebnisse wie die aktive Zusammenarbeit und Kooperationskultur als Basis für weitergehende, gemeinsame industriennahe FuE-Projekte der Projektpartner.

7 Literatur

Referenz	Autoren	Quelle
[ABE12ISW]	Abele, E.; Eisele, C.; Schrems; S.:	Simulation of the Energy Consumption of Machine Simulation of the Energy Consumption of Machine Tools for a Specific Production Task. In: Leveraging Technology for a Sustainable World 2012, Proceedings of the 19th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, S. 233-237, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012.
[BEA13ISW]	N.N.:	BEAT-Leitfaden. http://beat-bmbf.de/de/leitfaden.html (aufgerufen am 5.02.13), 2013.
[BRE11ISW]	Brecher, C.; Bäumler, S.; Breitbach, T.; Tannert, M.; Heyers, C.:	Ressourceneffizienz im Werkzeugmaschinenbau. In: Tagungsband Kongress Nachhaltige Produktion, Neugebauer, R. (Hrsg.), S. 207-229, Verlag Wissenschaftliche Scripten, 2011.
[BRE12aISW]	Brecher, C.; Bäumler, S.; Triebs, J.:	Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen - Messtechnik und Optimierungsmöglichkeiten der Hydraulik. In: Ressourceneffiziente Produktion, Hrsg.: Brecher, C.; Krüger, K.; Uhlmann, E.; Uhlmann, E.; Verl, A.; Klemm, P.VDI Fortschritt-Berichte Reihe 2 684, ISBN 978-3-18-368402-1, S. 108 -119, VDI-Verlag Düsseldorf, 2012.
[BRE12bISW]	Brecher, C.; Lohse, W.; Bauer, S.:	Untersuchungen zur energieeffizienten Planung von NC-Bearbeitungsoperationen. In: Ressourceneffiziente Produktion, Hrsg.: Brecher, C.; Krüger, K.; Uhlmann, E.; Uhlmann, E.; Verl, A.; Klemm, P.VDI Fortschritt-Berichte Reihe 2 684, ISBN 978-3-18-368402-1, S. 92 -107, VDI-Verlag Düsseldorf, 2012.



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 978-3-18-370002-8