

Schlussbericht vom 14.12.2021

zu IGF-Vorhaben Nr. 20768 BG

Thema

MarryIT – IT-OT-Integration bei produzierenden KMU

Berichtszeitraum

01.08.2019 – 31.05.2021

Forschungsvereinigung

FIR e. V. an der RWTH Aachen

Forschungseinrichtung(en)

FIR e. V. an der RWTH Aachen

Autoren:

Sebastian Kremer
FIR e. V. an der RWTH Aachen

Max-Ferdinand Stroh
FIR e. V. an der RWTH Aachen

Gefördert durch:

A Inhaltsverzeichnis

A	Inhaltsverzeichnis.....	2
B	Abbildungsverzeichnis	4
C	Tabellenverzeichnis	5
1	Einleitung	7
1.1	Zielstellung des Projekts	7
1.2	Projektplan und -verlauf	8
2	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	11
2.1	Identifikation von IT-OT-Nutzenpotenzialen und deren Anforderungen	11
2.2	Herausarbeitung technischer und organisatorischer Merkmale von IT- und OT-Systemen.....	15
2.3	Zuordnung der Nutzenpotenziale zu den Merkmalen von IT-OT-Systemen	20
2.4	Ableitung von Handlungsmaßnahmen zur Realisierung von Nutzenpotenzialen.....	23
2.5	Validierung mit Anwendungspartnern	26
2.6	Leitfaden zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methodik.....	29
2.7	Projektmanagement und Transfer	36
3	Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	37
4	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen für KMU	37
5	Fortschreibung des mit dem Antrag vorgelegten Plans zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft und Einschätzung der Realisierbarkeit des Transferkonzepts	39
6	Zusammenfassung und Ausblick	43
7	Literaturverzeichnis	45
D	Anhang.....	48
D.1	Liste und Beschreibung der Nutzenpotenziale.....	48
D.2	Anforderungssteckbriefe zu den Nutzenpotenzialen.....	52
D.2.1	Digitales Auftragstracking	52
D.2.2	Digitale Mitarbeiterführung.....	52
D.2.3	Digitaler Schatten	54
D.2.4	Digitaler Zwilling.....	55
D.2.5	Predictive Maintenance	56
D.2.6	Automatische Qualitätsdokumentation im Prozess	57
D.2.7	Dynamische Preisgestaltung in der Produktion	58
D.2.8	Energiemanagement in der Produktion durch Data-Analytics	58
D.2.9	Automatische Qualitätsauswertung im Prozess mittels Machine Learning und AI	59

D.2.10	Automatische Konfiguration der Produktionsanlage basierend auf Auftragsdaten	59
9		
D.2.11	Automatische Sammlung der Produktions-KPIs	60
D.2.12	Regeln des Fertigungsprozesses durch Data-Analytics	61
D.2.13	Adaptive Anpassung der Produktion auf Basis von Störungen	6161
D.3	Liste der gesammelten Anforderungen	6262
D.4	Leerer Integrationssteckbrief ohne Erläuterungen	688
D.5	Leerer Integrationssteckbrief mit Erläuterungen	700
D.6	Nutzenpotenzial Soll-Steckbriefe	73
D.7	Sammlung der Handlungsempfehlungen	922
D.8	Leitfaden zur Ableitung der Handlungsempfehlungen	966
D.9	Leitfaden zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methode	97
D.9.1	Leitfaden zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methode	977
D.9.2	Die Methodik	977
D.9.3	Schritt 1: Nutzenpotenziale auswählen	988
D.9.4	Schritt 2: Ist-Aufnahme der IT-OT-Landschaft	100
D.9.5	Schritt 3: Matching der Nutzenpotenziale mit der Ist-Aufnahme	104104
D.9.6	Schritt 4: Scoring und Handlungsempfehlungen	105
D.9.7	Weiterführende Informationen zum Projekt	107
D.9.8	Förderhinweis	108
D.9.9	Materialien für die Anwendung (Anhang)	1088
D.10	Workshop zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methode	108

B Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlauf des Projekts ‚MarryIT‘	10
Abbildung 2: Zielsystem für die Einordnung von Nutzenpotenzialen	13
Abbildung 3: Anwendung der Steckbriefe zur Ableitung von Anforderungen und der Steckbriefe am Beispiel "Predictive Maintenance"	14
Abbildung 4: Ausschnitt aus der Anforderungsliste für die Realisierung der Nutzenpotenziale	14
Abbildung 5: Vergleich der unterstützten Schnittstellen pro Anbieter	16
Abbildung 6: Anonymisierte IT-OT-Landschaft im Steckbrief-Format nach der Ist-Aufnahme (anonymisiert).....	26
Abbildung 7: Ergebnisse der methodisch generierten Erfüllungsgrade der Nutzenpotenziale mit Evaluation.....	27
Abbildung 8: Automatisiert generierte Handlungsempfehlungen der Nutzenpotenziale mit Relevanz für das betrachtete Unternehmen.....	28
Abbildung 9: Anonymisierte Resultate der Validierung durch die drei untersuchten Unternehmen.....	29
Abbildung 10: Übersicht über das ‚MarryIT‘-Vorgehen	30
Abbildung 11: Auswahl der Nutzenpotenziale im ‚MarryIT‘-Web-Tool	31
Abbildung 12: Beispielhafte Ist-Aufnahme der IT-OT-Landschaft im ‚MarryIT‘-Web-Tool.....	32
Abbildung 13: Erfassungsbogen eines IT-Steckbriefs im ‚MarryIT‘-Web-Tool	33
Abbildung 14: Automatisierte Auswertung einer beispielhaften Systemlandschaft mit dem ‚MarryIT‘-Web-Tool.....	34
Abbildung 15: Resultat des automatisierten Matchings beispielhafter Soll- und Ist-Steckbriefe im ‚MarryIT‘-Web-Tool.....	35
Abbildung 16: Visuelle Aufbereitung der IT-OT-Vernetzung durch das ‚MarryIT‘-Web-Tool..	36
Abbildung 1: Die ‚MarryIT‘-Methode im Überblick	97
Abbildung 2: Vorgehen zur Ableitung von Handlungsempfehlungen	106

C Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die abgeleiteten Nutzenpotenziale für die IT-OT-Integration	12
Tabelle 2: Morphologie zu den wichtigsten Anforderungen für die Realisierung der Nutzenpotenziale.....	15
Tabelle 3: Muster-Steckbrief	17
Tabelle 4: OT-Integrationssteckbrief	17
Tabelle 5: Schnittstellen-Integrationssteckbrief.....	18
Tabelle 6: IT-Integrationssteckbrief.....	19
Tabelle 7: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Predictive Maintenance“	21
Tabelle 8: Beispielhafter Abgleich von Ist- und Soll-Zustand der OT für „Predictive Maintenance“.....	23
Tabelle 9: Individuelle Bewertung der „extrinsischen“ Schwierigkeit von 0 (leicht) bis 1 (aufwendig) für spezifische nicht-lösungsneutrale Merkmalsausprägungen – undefinierte Werte deuten auf keinen Einfluss.....	24
Tabelle 10: Weitere Ergebnisse aus der Erfassung der IT-OT-Landschaft (anonymisiert)....	27
Tabelle 11:: Während der Projektlaufzeit geplante & durchgeführte Transfermaßnahmen ...	40
Tabelle 12: Leerer Integrationssteckbrief ohne Beschreibungen	68
Tabelle 13: Muster-Steckbrief	70
Tabelle 14: OT-Integrationssteckbrief	70
Tabelle 15: Schnittstellen-Integrationssteckbrief.....	71
Tabelle 16: IT-Integrationssteckbrief.....	71
Tabelle 17: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Digitales Auftragstracking“	73
Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Predictive Maintenance“	74
Tabelle 19: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Digitale Mitarbeiterführung“	76
Tabelle 20: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Reduktion der Stillstandzeiten“	77
Tabelle 21: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Realisierung eines Digital Twin“	78
Tabelle 22: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Realisierung des Digital Shadow“.....	79
Tabelle 23: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Automatische Qualitätsdokumentation im Prozess“	80
Tabelle 24: Sammlung der systematisch ermittelten Handlungsempfehlungen, Teil 1	92
Tabelle 25: Sammlung der systematisch ermittelten Handlungsempfehlungen, Teil 2 – Handlungsempfehlungs-Matrizen (Indices-Schlüssel unten angefügt)	95
Tabelle 1: Übersicht über die abgeleiteten Nutzenpotenziale für die IT-OT-Integration	99
Tabelle 2: Muster-Steckbrief	101
Tabelle 3: OT-Integrationssteckbrief	101
Tabelle 4: Schnittstellen-Integrationssteckbrief.....	102
Tabelle 5: IT-Integrationssteckbrief.....	103

1 Einleitung

Industrie 4.0 bringt für Unternehmen zahlreiche Nutzenpotenziale mit sich. Dies kann bspw. der Einsatz von Predictive Analytics im Produktionsprozess sein, durch den Qualität der Produkte gesteigert sowie die Kosten der Herstellung drastisch gesenkt werden können (s. BISCHOFF ET AL. 2015, S. 14–18; REINHART 2017, S. 10–12). Die Vernetzung der OT-Landschaft mit der IT-Landschaft eines Unternehmens ist die Grundlage für Industrie 4.0 sowie der Umsetzung der darin enthaltenen Nutzenpotenziale (s. SCHLICK ET AL. 2017, S. 24; WEBER U. VIEHMANN 2017, S. 35; 2017, S. 62). Unter OT¹-Systemen werden die sog. Shopfloor-Systeme verstanden (Maschinen, Sensoren, shopfloornahe Softwaresysteme), unter IT²-Systemen die Officefloor-Systeme, wie ERP-Systeme oder IoT-Plattformen.

In der Vergangenheit wurden OT-Systeme auf Basis der individuellen Anforderungen auf dem Shopfloor eines Unternehmens entwickelt, ohne die gesamte OT, geschweige denn die IT-Systemlandschaft zu berücksichtigen. Das führte dazu, dass die Systeme miteinander inkompatibel und als Silos angeordnet sind (s. AGARWAL U. BREM 2015, S. 5). Darüber hinaus sind die meisten OT-Landschaften extrem heterogen, weil sie aus den unterschiedlichsten Maschinen, aber auch Waagen, Sensoren und Softwaresystemen bestehen und dadurch unübersichtlich werden (s. URBACH U. AHLEMANN 2017, S. 309). Durch diese Ausgangssituation ist es ohne ein strukturiertes Vorgehen nahezu unmöglich, erfolgreich den Vernetzungsaufwand zu beurteilen. Diese Vernetzung wird oft als IT-OT-Integration oder IT-OT-Convergence bezeichnet. Eine besondere Herausforderung ist hier ebenfalls, dass Bereiche mit unterschiedlichen Zielsystemen gezwungen sind, zusammenzuarbeiten. Dazu zählt die IT, die vor allem eine hohe Systemstabilität anstrebt, aber auch die Produktion, die oft eine hohe Auslastung anstrebt (s. MEHTA 2015; KUUSK U. GAO 2014, S. 1716; BLOEM ET AL. 2014). Da IT-OT-Integration die Grundlage für Industrie 4.0 bedeutet, ist es entscheidend, KMU bei diesem Prozess zu unterstützen (s. LEE ET AL. 2015, S. 18; HENKE ET AL. 2016, S. 10).

Das Forschungsprojekt ‚MarryIT‘ zielte darauf ab, den KMU diese methodische Unterstützung zu bieten und dafür ein strukturiertes Vorgehen zu entwickeln.

1.1 Zielstellung des Projekts

Das Ziel des Forschungsprojekts ‚MarryIT‘ war es, KMU bei der Umsetzung von Industrie-4.0-Anwendungsfällen (sog. Nutzenpotenzialen) zu unterstützen. Sie sollen eine Entscheidungsgrundlage erhalten, die es ihnen ermöglicht, ressourcenschonend die auf Basis ihrer Ausgangssituation am besten geeigneten Nutzenpotenziale auszuwählen. Dies soll durch die gezielte und strukturierte Aufnahme der Ist-Landschaft im Unternehmen geschehen. Diese soll mit den gewählten Nutzenpotenzialen abgeglichen werden. Auf dieser Basis soll den Unternehmen eine Grundlage für eine erfolgreiche Investitionsentscheidung geboten werden, die die Unternehmen benötigen (s. SAAM ET AL. 2016, S. 16; WISCHMANN ET AL. 2015, S. 8). So erhalten KMU die Möglichkeit, ihre begrenzten finanziellen Mittel unterstützt durch ein

¹OT (Operational Technology): Hard- und Softwaresysteme auf dem Shopfloor, die Geräte unter Nutzung von Echtzeitdaten überwachen und steuern (s. NORONHA ET AL. 2014, S. 15; KUUSK U. GAO, S. 1716)

²IT (Information Technology): Office-Floor-System, das (vorverarbeitete) Daten und Informationen im Unternehmen erfasst, verarbeitet und bereitstellt (s. NORONHA ET AL. 2014, S. 15; KUUSK U. GAO, S. 1716)

methodisches Vorgehen mit Bedacht einzusetzen und das Risiko einer Fehlinvestition zu umgehen.

Diese Zielsetzung wurde konkret durch die Entwicklung einer mobilen Anwendung umgesetzt, die es den Unternehmen ermöglicht, die in ‚MarryIT‘ entwickelte Methode anzuwenden. Dafür werden zunächst Nutzenpotenziale selektiert. Als nächstes wird mithilfe des entwickelten Steckbriefs die Ist-Systemlandschaft, bestehend aus IT-Systemen, Schnittstellen und OT-Systemen, aufgenommen. Diese wird dann mit den ausgewählten Nutzenpotenzialen automatisiert abgeglichen. Daraus wird ersichtlich, welche Nutzenpotenziale direkt umsetzbar sind und welche Nutzenpotenziale welchen Übereinstimmungsgrad mit den anderen selektierten Nutzenpotenzialen aufweisen. Daraufhin wird die Schwierigkeit der Umsetzung für jedes Nutzenpotenzial für die Integration sowie konkrete Handlungsmaßnahmen zur Integration, auf Einzelsystemebene abgeleitet.

1.2 Projektplan und -verlauf

Das Projekt gliederte sich in sieben Arbeitspakete (AP). Im ersten Arbeitspaket „Identifikation von Nutzenpotenzialen und deren Anforderungen“ wurde zunächst auf Basis von Literaturrecherche sowie Experteninterviews innerhalb und außerhalb des pbAs eine Liste von Nutzenpotenzialen abgeleitet. Anschließend wurden aus dieser Liste mithilfe der Schablone nach RUPP konkrete Anforderungen abgeleitet. Die zentralen Anforderungen wurden in einer Anforderungsmorphologie zusammengefasst.

Im zweiten Arbeitspaket „Herausarbeitung technischer und organisatorischer Merkmale von IT-OT-Systemen“ wurde zunächst eine Markt- und Literaturrecherche zu den bestehenden IT-OT-Systemen durchgeführt. Im zweiten Schritt wurden die Ergebnisse aus AP 1 nach gängigen Normen und Standards klassifiziert. Daraus wurde abschließend ein IT-OT-Integrationssteckbrief als morphologischer Kasten abgeleitet. Dieser dient im Projekt als Integrationssteckbrief. Der erarbeitete Steckbrief wurde mit den Mitgliedern des pbAs abgeglichen.

Im dritten Arbeitspaket „Zuordnung der Nutzenpotenziale zu den Merkmalen von IT-OT-Systemen“ wurden als erstes die Nutzenpotenziale auf Basis der ihnen zugrundeliegenden Anforderungen in die Integrationssteckbriefe eingeordnet. Diese wurden in einer Datenbank gesammelt. Abschließend wurde eine Analyse der Wirkungszusammenhänge zwischen den Steckbriefen durchgeführt und die Ergebnisse mit den Mitgliedern des pbAs wurden verifiziert.

Innerhalb des vierten Arbeitspakets „Ableitung von Handlungsmaßnahmen zur Realisierung von Nutzenpotenzialen“ wurden zunächst Handlungsmaßnahmen zur Transformation der IT-OT-Landschaft im Unternehmen abgeleitet. Danach wurde ein Algorithmus zur Abschätzung des Aufwands zur Umsetzung der Nutzenpotenziale aufgebaut. Diese Ergebnisse wurden in einem Entscheidungsmodell zusammengeführt.

Das fünfte Arbeitspaket „Validierung mit Anwendungspartnern“ diente dazu, die entwickelte Methodik insgesamt bei drei Unternehmen aus dem pbA anzuwenden. Die dort gesammelten Erkenntnisse flossen in die Optimierung der entwickelten Methode ein und wurden mit dem pbA und vor allem den Anwendungspartnern erörtert und verifiziert. Aufgrund der andauernden Corona-Pandemie und der Bestimmungen zur Kontaktbeschränkung bei den Unternehmen des pbAs wurde die Validierung durch virtuelle Treffen, sowohl zur Aufnahme der Daten als auch zur gemeinsamen Auswertung, durchgeführt.

In Arbeitspaket sechs „Leitfaden zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methodik“ wurden die für die Anwendung der Methodik entwickelten Unterlagen final aufbereitet und anschließend in einen KMU-gerechten Leitfaden überführt. Zur vereinfachten Anwendung wurde eine mobile Anwendung entwickelt, mit der die ‚MarryIT‘-Methodik vollständig angewendet werden kann. Sie erleichtert die Anwendung erheblich und wurde von den Mitgliedern des pbAs stark gelobt.

Das Arbeitspaket sieben „Projektmanagement und Transfer“ diente dazu, die Erfüllung der einzelnen Ergebnisse in den AP sicherzustellen und zu kontrollieren. Darüber hinaus wurde darin sichergestellt, dass die Transferziele erreicht werden. Dies ermöglichte eine angemessene Reaktion auf die Einflüsse der Corona-Pandemie und Verschiebungen im Projektverlauf.

Das Projekt wurde für den Zeitraum vom 01.08.2019 bis zum 31.01.2021 bewilligt. Aufgrund einer aufwandsneutralen Laufzeitverlängerung wurde der Zeitraum um vier Monate bis zum 31.05.2021 verlängert.

Die aufwandsneutrale Verlängerung begründete sich in Verzögerungen im Projektverlauf durch die Einflüsse der Corona-Pandemie. Dies betraf vor allem die Arbeitspakete drei, vier und fünf, die eine hohe Interaktion mit den Mitgliedern des pbAs erforderten. Da die Unternehmen insbesondere zu Beginn der Pandemie aufgrund anderer interner Prioritäten nicht zur Verfügung standen, konnten die geplanten pbA-Treffen nicht durchgeführt werden. Da die Validierung der Projektergebnisse in Form von Vor-Ort-Terminen geplant war, sollte durch die Laufzeitverlängerung ermöglicht werden, diese Termine doch noch in Persona durchführen zu können. Da dies trotz der Laufzeitverlängerung nicht absehbar war, wurde gemeinsam mit dem pbA entschieden, die Validierungen virtuell durchzuführen. Dies erwies sich als sehr einfach, insbesondere, weil die Unternehmen bei der Anwendung der Methodik „auf sich gestellt“ waren. Sie konnten die Methodik mit den bereitgestellten Methoden erfolgreich anwenden.

Der zeitliche Verlauf des Forschungsprojekts ist in Abbildung 1 dargestellt.

Projektplan																							
Forschungsstelle	FIR e. V. an der RWTH Aachen																						
Geplanter Beginn	1. August 2019																						
	1. Forschungsjahr										2. Forschungsjahr		Summe										
Arbeitspakete	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	[Monate]
1 IT-OT-Nutzenpotenziale																							3
2 Merkmale von IT-OT-Systemen																							3
3 Zuordnung der Nutzenpotenziale																							4
4 Ableitung von Handlungsmaßnahmen																							4
5 Validierung mit Anwendungspartnern																							3
6 Leitraden zur Anwendung der Methodik																							4
7 Projektmanagement und Transfer																							18
Sitzungen des PA	◆																						
Meilensteine			■	◆						■	◆							■	◆			■	

Abbildung 1: Verlauf des Projekts MarrayT

2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die im Forschungsvorhaben durchgeführten Arbeiten und die erzielten Ergebnisse beschrieben. Diese sind entlang der im Arbeitsplan verankerten AP strukturiert.

Während der Projektlaufzeit wurden Änderungen zur Begegnung der Auswirkungen der Corona-Pandemie vorgenommen. Diese betreffen vor allem die zeitliche Verschiebung und die Durchführung der Validierungsgespräche, die virtuell durchgeführt wurden. Inhaltlich wurde die Zielstellung einzelner Arbeitspakete durch Praxisanforderungen der pbA-Unternehmen ergänzt, wodurch die Praxistauglichkeit der entwickelten Webanwendung sowie des Vorgehens gewährleistet wurde. Die Ergebnisse wurden auf den regelmäßigen Treffen des pbAs diskutiert und nach Befürwortung der Unternehmen inhaltlich umgesetzt.

2.1 Identifikation von IT-OT-Nutzenpotenzialen und deren Anforderungen

Im Rahmen des APs 1 wurde eine Liste von IT-OT-Integrations-Nutzenpotenzialen erarbeitet sowie die daraus resultierenden Anforderungen zur Umsetzung der Nutzenpotenziale abgeleitet. Die Nutzenpotenziale wurden in einer Liste zusammengestellt und durch den projektbegleitenden Ausschuss validiert. Die Anforderungen wurden ebenfalls in einer Liste konsolidiert. Die zentralen Anforderungen wurden in einem morphologischen Kasten zusammengestellt.

Der erste Schritt im AP 1 lag in der Identifikation der Nutzenpotenziale von IT-OT-Integration für KMU. Die Nutzenpotenziale wurden einerseits durch Literaturrecherche wie andererseits auch durch Expertengespräche gesammelt. Die Ergebnisse wurden in einer gemeinsamen Liste konsolidiert und nach den Größen Wirtschaftlichkeit, Qualität, Geschwindigkeit und Variabilität klassifiziert. Ursprünglich war eine Einordnung nach Zeit, Kosten, Qualität geplant. In Abstimmung mit dem pbA wurden die Bezeichnungen entsprechend der Literatur angepasst und die Größe Variabilität ergänzt (s. SCHUH ET AL. 2020). Durch die verschiedenen Einflüsse der Experten und den intensiven Austausch mit dem pbA erwies sich der Prozess zur Sammlung der Nutzenpotenziale als höchst iterativ.

Ein Nutzenpotenzial wird dabei als Maßnahme verstanden, mit der ein bestimmter Geschäftsnutzen realisiert werden kann. Es setzt sich aus der Maßnahme, wie etwa „Digitales Auftragstracking“ und dem dazugehörigen Nutzen, bspw. „Senkung der Kosten“ zusammen. Somit ist sichergestellt, dass alle Maßnahmen einem bestimmten Nutzen untergeordnet sind und nicht losgelöst ausgeführt werden und damit nicht wertstiftend sind (s. SCHUH U. KREUTZER 2017; CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS 2020; SCHUH ET AL. 2020).

Die Sammlung von Nutzenpotenzialen erfolgte im engen Austausch mit den Mitgliedern des pbAs in unterschiedlichen Arbeitstreffen und Expertengesprächen (u. a. *elisa* 22.01.2020, *Industrie 4.0 Maturity Center* 12.02.2020) und im Rahmen des ersten pbA-Treffens (18.10.2019) und sowie des zweiten pbA-Treffens (03.03.2020). Die empirischen Erkenntnisse wurden mit den Ergebnissen einer intensiven Literaturrecherche unterfüttert. Zu den untersuchten Quellen zählen: GOTO, S., O. YOSHIE, AND S. FUJIMURA. 2017; WORLD ECONOMIC FORUM (WEF) 2019; REINHART 2017; KLEINEMEIER 2017; LECHLER U. SCHLECHTENDAHL 2017; PELINO U. HEWITT 2016.

Die abgeleiteten Nutzenpotenziale wurden schlussendlich nach den Größen: *Wirtschaftlichkeit*, *Qualität*, *Geschwindigkeit* und *Variabilität* klassifiziert und in Expertengesprächen mit den Mitgliedern des pbAs validiert sowie durch deren Input kontinuierlich weiterentwickelt. Tabelle 1 zeigt die Übersicht der abgeleiteten Nutzenpotenziale. In Anhang D.1 befindet sich zu jedem der Nutzenpotenziale eine konkrete Beschreibung seiner Inhalte.

Tabelle 1: Übersicht über die abgeleiteten Nutzenpotenziale für die IT-OT-Integration

Nr.	Nutzenpotenziale	Wirtschaftlichkeit	Qualität	Geschwindigkeit	Variabilität
1	Ableitung der realen Prozesskosten basierend auf Daten	X			
2	Adaptive Anpassung der Produktionslinie bei Störungen / Fehlern			X	
3	Automatische Konfiguration (Einstellung) der Produktionsanlage basierend auf den Auftragsdaten		X	X	
4	Automatische Qualitätsauswertung durch Data Analytics / Machine Learning		X	X	
5	Automatische Qualitäts-Dokumentation im Prozess		X		
6	Automatische Sammlung der Produktions-KPIs			X	
7	Digitale Aufnahme der Ist-Zeiten der Auftragsdurchführung	X		X	
8	Digitale Mitarbeiterführung durch den Produktionsprozess		X	X	X
9	Digitales Assettracking	X		X	
10	Digitales Auftragstracking	X	X	X	
11	Digitales Materialtracking	X		X	
12	Dynamische Preisgestaltung der Produktion durch Informationen über Kapazitäten, Nachfrage und Stillstände	X			X
13	Energiemanagement durch den Einsatz von Data Analytics	X			X
14	Erstellung eines zentralen Data-Lakes für alle Datenquellen		X		X
15	Nahtloser Übergang zwischen den Systemen der Entwicklung, Produktion und Vertrieb durch digitale Integration (keine Medienbrüche)		X	X	
16	Optimierung der Durchlaufzeiten	X		X	
17	Optimierung des Fertigungsprozesses durch Data Analytics / Machine Learning		X		
18	Prädiktives Nachfrage- und Supply-Chain Management			X	
19	Predictive Maintenance	X	X		
20	Produktionsprozess-Optimierung (Gesamter Prozess) durch Data Analytics / Machine Learning	X	X	X	
21	Realisierung des Digitalen Schattens der Produktion		X	X	
22	Realisierung eines Digital Twin		X	X	
23	Realisierung von Condition Monitoring	X			
24	Realisierung von Process-Mining	X	X	X	
25	Reduktion der Stillstandszeiten der Maschinen	X			X

Um die Einordnung der Nutzenpotenziale zu vereinfachen, wurde über die Anforderungen im Antrag hinaus ein Zielsystem erarbeitet. Das Zielsystem ermöglicht es den Unternehmen, jedes Nutzenpotenzial nach ihren individuellen Anforderungen zu klassifizieren und zusätzlich mithilfe der Stufen des *Industrie 4.0 Maturity Index* einzuordnen (s. SCHUH ET AL. 2020; SCHUH ET AL. 2017). Darüber hinaus können so neue Nutzenpotenziale in die Logik von ‚MarryIT‘ überführt werden. Das Zielsystem wurde mit den Mitgliedern des pbAs validiert und stieß auf sehr positive Resonanz. Abbildung 2 zeigt das entwickelte Zielsystem. Seine Anwendung wurde, neben den ersten Erkenntnissen zu den Nutzenpotenzialen und der Projektmethodik, auf der internationalen Konferenz Pro-VE-2020 veröffentlicht und dort mit zahlreichen Experten der Wissenschaft diskutiert (s. SCHUH ET AL. 2020). In der Veröffentlichung wird die Anwendung des Zielsystems anhand eines Beispiels beschrieben.

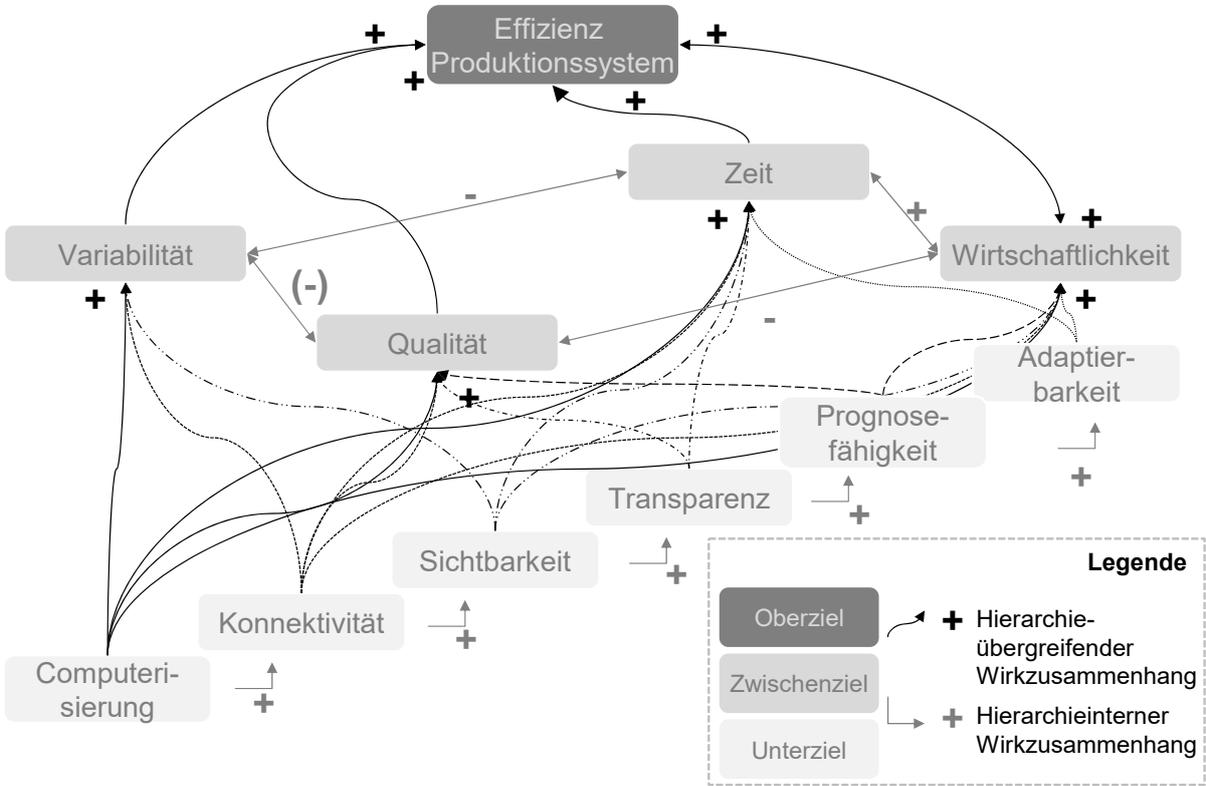


Abbildung 2: Zielsystem für die Einordnung von Nutzenpotenzialen

Im Anschluss an ihre Ableitung wurden die Anforderungen, die zur Realisierung der Nutzenpotenziale notwendig sind, abgeleitet. Sie dienen dazu, die Ableitung des IT-OT-Integrationssteckbriefs möglichst einfach zu gestalten. Die Anforderungen wurden in einer Anforderungsliste gesammelt und schlussendlich in Form einer Anforderungsmorphologie zusammengefasst. Die Ableitung der Anforderungen erfolgte pro Nutzenpotenzialgruppe durch den Einsatz eines Steckbriefs, mit dessen Hilfe die Nutzenpotenziale in ihre einzelnen Bestandteile zerlegt werden konnten. Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Anwendung eines solchen Steckbriefs für die Einordnung des Nutzenpotenzials „Predictive Maintenance“. Die vollständige Liste der Anforderungssteckbriefe findet sich in Anhang D.2.

Beispiel „Predictive Maintenance“

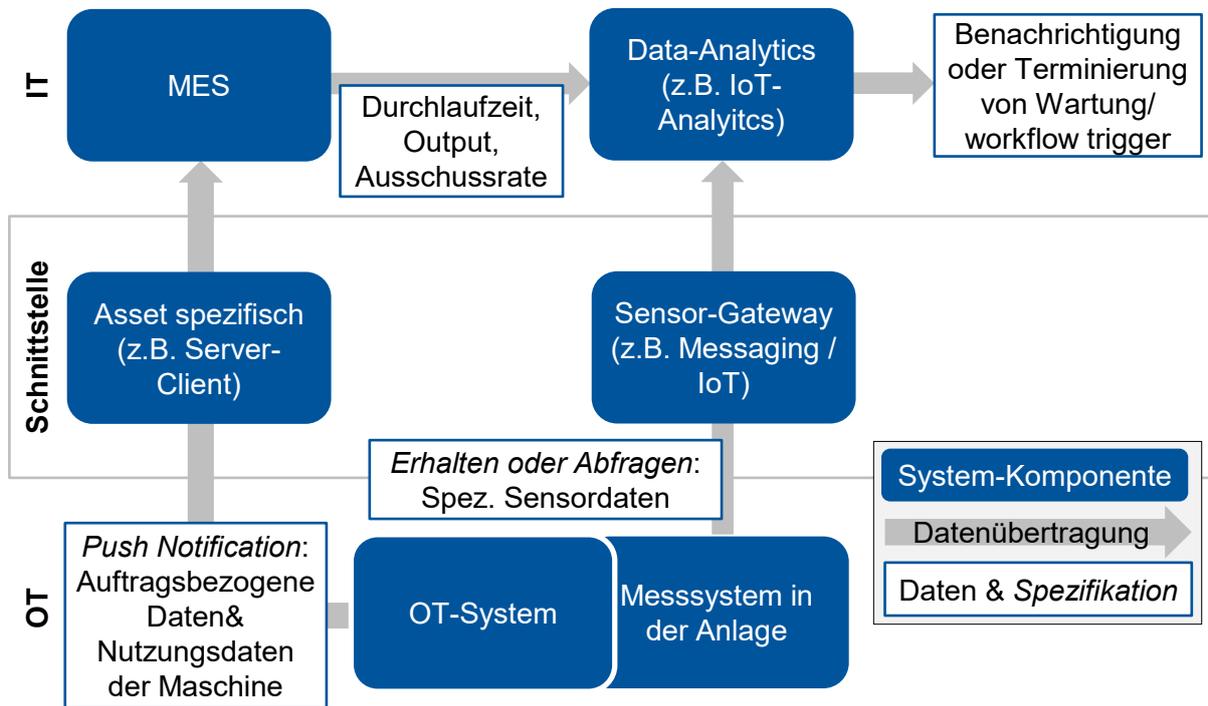


Abbildung 3: Anwendung der Steckbriefe zur Ableitung von Anforderungen und der Steckbriefe am Beispiel "Predictive Maintenance"

Die Anforderungen wurden schlussendlich in einer Anforderungsliste gesammelt und nach der Schablone von RUPP formuliert. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus der erstellten Anforderungsliste. Die vollständige Liste ist im Anhang D.3 zu finden.

Bedingung	Verbindlichkeiten	Identifizierung System	Funktionalität
Um die Datenerfassung aus einem OT-System zu ermöglichen	muss	ein IT-System	fähig sein
Um die Datenerfassung aus einem IT-System für den Endnutzer zu ermöglichen	muss	ein IT-System	fähig sein
Für die Datenaufbereitung	muss	ein IT-System	fähig sein
Für die Datenveredelung	muss	ein IT-System	fähig sein
Für die Datenvirtualisierung	muss	ein IT-System	die Möglichkeit zur
Für die Datenvirtualisierung	muss	ein IT-System	die Möglichkeit zur
Um digitales Auftragstracking zu realisieren	muss	das IT-System	fähig sein
Um digitale Mitarbeiterführung zu realisieren	muss	das IT-System	fähig sein
Um einen digitalen Schatten zu erzeugen	muss	das IT-System	einer IoT-Plattform die Mö bieten
Um einen digitalen Zwilling zu erzeugen	muss	das IT-System	fähig sein
Um einen digitalen Zwilling zu erzeugen	muss	ein IT-System	fähig sein
Um Predictive Maintenance zu implementieren	muss	ein IT-System	fähig sein
Um Predictive Maintenance zu implementieren	muss	ein IT-System	fähig sein
Um eine dynamische Preisgestaltung in der Produktion	muss	ein IT-System	fähig sein

Abbildung 4: Ausschnitt aus der Anforderungsliste für die Realisierung der Nutzenpotenziale

Die zentralen Anforderungen wurden analog der Vorhabensbeschreibung in einer Morphologie zusammengefasst. Diese ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Morphologie zu den wichtigsten Anforderungen für die Realisierung der Nutzenpotenziale

System	Anforderung	Ausprägungen				
OT	Datenaufnahme	Prozessdaten	Auftragsdaten		Umgebungsdaten	
OT	Schnittstelle	gleiches Protokoll		gleicher Anschluss		
OT	Datenübertragungshäufigkeit	täglich	stündlich	sekündlich	Echtzeit	
Schnittstelle	Datenmenge	gering		mittel		hoch
Schnittstelle	Programmierung	Low-Code		Simple Requests		Programmierschnittstelle
IT	Funktionen	Ist-Soll-Abgleich		Entscheidungsautomatisierung		Persistierung
IT	Datenverarbeitung	speichern		auswerten		weitergeben
		umwandeln		berechnen		alarmieren
IT	Datenarten	Produktionsplandaten	Fertigungsparameter	Auftragsdaten	Prozessdaten	Energie-daten

2.2 Herausarbeitung technischer und organisatorischer Merkmale von IT- und OT-Systemen

Ziel des zweiten APs war es, die technischen und organisatorischen Merkmale von IT- und OT-Systemen abzuleiten. Dafür wurden zunächst eine Markt- und Literaturrecherche durchgeführt sowie die bestehenden Standards und Normen mit Einfluss auf IT-OT-Integration analysiert. Anschließend wurden die Normen herangezogen, um die Merkmale von IT- und OT-Systemen zu klassifizieren. Die dort gesammelten Erkenntnisse sowie die in AP 1 erarbeiteten Anforderungen wurden dann verwendet, um einen IT-OT-Integrationssteckbrief abzuleiten. Dieser wurde mit den Mitgliedern des pbAs finalisiert und validiert.

Im Rahmen der Markt- und Literaturrecherche wurden zahlreiche Quellen herangezogen. Diese reichten von einzelnen Maschinen- und Steuerungsherstellern über wissenschaftliche Veröffentlichungen zur IT-OT-Integration bis hin zu den unterschiedlichen Normen und Standards im Bereich Industrie 4.0. Besonders aufschlussreich war dabei die Untersuchung unterschiedlicher Steuerungshersteller und die von ihnen unterstützten Protokolle zur Vernetzung ihre Produkte. Abbildung 5 zeigt einer Übersicht unterstützten Schnittstellen verschiedener Steuerungen von den Herstellern Siemens und Fanuc.

	Protocol								Interface						Operating System			
	TCP/IP, UDP P/IP	Profinet CBA, IRT	OPC UA	MT Con- nect	DNP3	T101	Modbus	ISO on TCP/IP	Profibus DP	USB	Fanuc IO Link	Ether- Net/IP	RTU	RS485/RS 232	Profinet IO	Windows XP	RTOS	Linux
SCADA					✓	✓							✓	✓	✓	✓		
Fanuc NC (30i-B, 30i- B5, 0i-F)	✓		✓	✓				✓		✓	✓			✓	✓			
Siemens NC (Sinumerik 808, 840, 828 D)	✓		✓	✓				✓	✓						✓			
Siemens PLC (Simatic S7 300, 1200, 1500)	✓	✓				✓							✓	✓		✓		

Abbildung 5: Vergleich der unterstützten Schnittstellen pro Anbieter

Schlussendlich muss festgestellt werden, dass die Menge an möglichen Schnittstellen und Übertragungsprotokollen überwältigend ist. Durch die unterschiedlichen, sich entwickelnden Standards in verschiedenen Branchen, wie Umati³ im Maschinenbau oder im Euromap⁴ im Bereich Spritzgussmaschinen, ist eine erschöpfende Betrachtung jener nicht möglich. Vielmehr muss der zu entwickelnde Steckbrief zentrale Übertragungsparadigmen, subsummiert in einfachen und gängigen Protokollen, widerspiegeln. Dies wurde bei der Auswahl der Schnittstellen für die Integrationsmorphologie berücksichtigt.

Zu den untersuchten Normen und Standards zählen unter anderem das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0), Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) sowie das ISO/OSI-Referenzmodell (IEC 2019; IIC 2019; ISO 2018; BITKOM ET AL. 2015; ISO 1994). Als grundlegende Norm stellt das ISO/OSI-Referenzmodell wichtige Elemente für die Kommunikation zwischen den einzelnen Elementen im IT-OT-System zur Verfügung. Sie waren maßgebend bei der Entwicklung des IT-OT-Integrationssteckbriefs und finden sich unter anderem in den einzelnen Merkmalen wieder. Die Arbeitsergebnisse der AP 1 und 2 werden schlussendlich durch die entwickelte IT-OT-Integrationsmorphologie zusammengefasst. Diese sind in Tabelle 3 bis Tabelle 6 dargestellt:

³ <https://umati.org/>

⁴ <https://www.euromap.org/euromap83>

Tabelle 3: Muster-Steckbrief

Muster-Steckbrief	
Merkmal	Beschreibung
Merkmalausprägungen	

Tabelle 4: OT-Integrationssteckbrief

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen		Abstrakte Datentypen, die vom System erzeugt und/oder benötigt werden (diskret, Mehrfachwahl)			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	Keine		
OT-Hardware-Schnittstelle		Hardware-Schnittstellen, die das System unterstützt (diskret, Mehrfachwahl)			
Analog / Digital (parallel)		Klemmen (bspw. UART, SPI, CAN, I2C/TWI)			
RS232	USB	RJ45	Profibus	Freitext	Keine
OT-Software-Schnittstelle		Protokolle, die vom System unterstützt werden (diskret, Mehrfachwahl)			
HTTP/S	OPC-UA	Profibus	MQTT (o.ä.)	Freitext	keine
Zugriff		Möglichkeit, Funktionen und Konfigurationen des Systems anzupassen (diskret, Einfachwahl)			
proprietär		proprietär, aber freischaubar		nicht proprietär	
Push-Capabilities (Data-out)		Frequenz, in welcher das System aktiv Daten absenden kann (kontinuierlich, Einfachwahl)			
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)		Aktualität der Daten, die von dem System angefordert werden (kontinuierlich, Einfachwahl)			
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
Historische Maschinendaten		Datenerhebung auf Request		keine	
Interaktionsmöglichkeit		Berechtigungen, die das System hinsichtlich Daten und Funktionen bereitstellt (diskret, Mehrfachwahl)			
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Tabelle 5: Schnittstellen-Integrationssteckbrief

Schnittstellen-Steckbrief					
Verbundene OT-Systeme		OT-Systeme, die über diese Schnittstelle vernetzt sind (Referenzen zu mehrfachen OT-Steckbriefen)			
<i>Liste von OT-Steckbrief-Referenzen</i>					
Protokoll OSI 5-7 (Anwendungsebene)		Protokoll(e), das durch die Schnittstelle implementiert wird (diskret, Mehrfachwahl)			
HTTP/S	OPC-UA	Profibus	MQTT (o.ä.)	<i>Freitext</i>	keine
Konfiguration der Schnittstelle		Format, in welchem die Schnittstelle konfiguriert ist und umkonfiguriert werden kann (diskret, Mehrfachwahl)			
proprietär / Hardcoded		programmierbar			
Konfigurationsdateien		Low-Code / No-Code			
Rolle(n) des IT-Systems		Rolle, die verbundene IT-System in dieser Schnittstelle vertreten (diskret, Mehrfachwahl)			
Server		Client			
Datenübertragung		Art bzw. Format der Datenübertragung, die/das durch die Schnittstelle implementiert ist (diskret, Mehrfachwahl)			
Stream		Simple Request		Datenbank	
Dateibasiert		Manuelle Eingabe		<i>Freitext</i>	
Datenübertragungsmenge		Menge der über die Schnittstelle übertragenen Daten, hinsichtlich der Schnittstellen-Auslastung (kontinuierlich, Einfachwahl)			
gering		mittel		hoch	
Verbundene IT-Systeme		IT-Systeme, die über diese Schnittstelle vernetzt sind (Referenzen zu mehrfachen IT-Steckbriefen)			
<i>Liste von IT-Steckbrief-Referenzen</i>					

Tabelle 6: IT-Integrationssteckbrief

IT-Steckbrief						
IT-Software-Schnittstelle		Protokolle, die vom System unterstützt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
HTTP/S	OPC-UA	Profibus	MQTT (o.ä.)	Freitext	Keine	
IT-System Typ		Typ, in den sich das IT-System klassifizieren lässt (diskret, Einfachwahl)				
ERP	PLM	MES	IoT-Plattform	Datenbank	Dashboard	Andere
Systemfunktion(en)		Funktionen, die durch das IT-System bereitgestellt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Datenerfassung (aus OT)		Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung		
Datenveredelung (Anreicherung)		Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)		
Datenspeicherung		Datenanalyse		Datenbereitstellung		Datenvisualisierung
Data-Analytics		Funktionen, die durch eine eventuelle Datenanalyse eines IT-Systems bereitgestellt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Ist-Soll-Abgleich		Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)		
Prognose		Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine		
Daten-/ Informationsbedarf		Abstrakte Datentypen, die vom System benötigt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Prozessdaten		Auftragsdaten		Umgebungsdaten		keine
Daten-/ Informationsangebot		Abstrakte Datentypen, die vom System erzeugt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Prozessdaten		Auftragsdaten		Umgebungsdaten		keine

Die entwickelten Steckbriefe sind in die Ebenen IT, OT und Schnittstellen unterteilt. Dies liegt vor allem in der Vereinfachung der Anwendbarkeit sowie in der Vereinfachung des späteren Matchings begründet. Die ursprüngliche Zielstellung sah nur eine Zweiteilung in IT- und OT-Steckbrief vor. Diese wurde jedoch im Rahmen der zahlreichen Expertengespräche sowie der Validierungsworkshops in die Dreiteilung überarbeitet, um eine möglichst gute Anwendbarkeit zu gewährleisten. Insbesondere das spätere Matching wird erleichtert, weil es zwischen den einzelnen Systemen immer eine „1 zu n“-Beziehung geben kann. Durch die Einführung der Zwischenebene kann diesem Umstand Rechnung getragen werden.

Alle drei Steckbriefe sind nach einem ähnlichen Schema aufgebaut. Sie sind so gestaltet, dass sie mit wenig Aufwand befüllt werden können. Selbst wenn keine Fachkenntnisse vorhanden sind, können die Inhalte aus den Maschinen- und Systemhandbüchern, im Austausch mit den Experten im Unternehmen oder den Herstellern bzw. Anbietern ausgefüllt werden. Dabei wird für jedes vorhandene System und jede Schnittstelle ein Steckbrief angefertigt. Bei den meisten

Merkmale ist ein symbolisches Freitextfeld vorgesehen. Dies ermöglicht es, weitere domänen- oder unternehmensspezifische Ausprägungen mit in die Steckbriefe aufzunehmen. Die Untersuchung der unterschiedlichen Ausprägungen hat gezeigt, dass insbes. im Bereich der digitalen Schnittstellen eine Vielzahl an domänenspezifischen Schnittstellen und Protokolle, wie etwa „Umati“⁵ im Maschinenbau, besteht. Durch das Freitextfeld können diese individuell ergänzt werden. Mit den vorhandenen Ausprägungen wurden nur die wesentlichen Schnittstellen aufgenommen. Die Steckbriefe verfügen über ausgegraute Elemente. Dies ist für das spätere Matching mit anderen Steckbriefen relevant. Die Ausprägungen müssen mit den korrespondierenden Elementen bei der Schnittstelle bzw. IT und OT übereinstimmen.

Im OT-Steckbrief wird als erstes der ausgetauschte Datentyp erfasst. Dies bedeutet, welche Daten seitens der Maschine verfügbar sind. Im Anschluss werden die physischen sowie die digitalen Merkmale der Schnittstelle sowie die Art der Zugriffsmöglichkeiten erfasst. Danach werden die Aktualisierungsraten sowie die lokale Vorhaltung der Daten aufgenommen. Abschließend wird aufgenommen, welche Interaktionsmöglichkeiten mit der Maschine möglich sind.

Der Schnittstellen-Steckbrief dient zur Aufnahme der bereits existierenden Schnittstellen und der Aufnahme der vorhandenen Verbindungen zu IT- und OT-Systemen. Dies wird durch die Merkmale „Verbundene OT-Systeme“ und „Verbundene IT-Systeme“ aufgenommen. Dort befinden sich exemplarisch die Systeme 1 bis X. Neben den verbundenen Elementen wird die Rolle des Systems vermerkt, die Art der Datenübertragung und die Menge der über die Schnittstelle übertragenen Daten.

Der Steckbrief für die IT-Systeme nimmt zunächst die vorhandene Schnittstelle und den Systemtyp auf. Des Weiteren werden dort die zentralen Systemfunktionen aufgenommen. Anschließend wird der Grad der Data-Analytics in Anlehnung an das „*Data Analytics Maturity Model*“ nach KART ET AL. (2013) aufgenommen (KART ET AL. 2013). Zudem wird sowohl das Daten- und Informationsangebot als auch der Daten- und Informationsbedarf des Systems aufgenommen. Hier wird die Symmetrie zum OT-Steckbrief sichtbar, um ein Matching zu erleichtern.

Die Steckbriefe wurden im Rahmen von Expertengesprächen mit den Konsortialmitgliedern (bspw. i2solutions am 15.10.2020 und JanzTec am 03.11.2020) sowie im Rahmen des pbA-Treffens (17.11.2020) erörtert und validiert. Die finale Validierung fand im Rahmen der konkreten Anwendung bei den Unternehmen des pbAs im Rahmen des APs 5 statt.

2.3 Zuordnung der Nutzenpotenziale zu den Merkmalen von IT-OT-Systemen

Das dritte Arbeitspaket umfasste die Entwicklung eines morphologischen Beschreibungsmodells, welches die in AP2 entwickelte Morphologie zur standardisierten Beschreibung der identifizierten Nutzenpotenziale zugrunde legt. Das Ergebnis umfasst eine Sammlung von Steckbriefen, die Merkmale einer IT-OT-Landschaft beschreiben, welche für die Umsetzung des betrachteten Nutzenpotentials nach aktuellem Stand der Technik notwendig sind.

Die Erstellung dieser Steckbriefe erfolgte auf Basis einer datenorientierten Analyse der betrachteten Nutzenpotenziale. Die Analyse der Nutzenpotenziale erfolgte durch Modellierung

⁵ <https://umati.org/>

des erforderlichen Datenflusses entlang der Dimensionen IT, OT und Schnittstellen, wie in Abbildung 3 demonstriert. Die Modellierung ist ein Resultat der Benennung der involvierten Systemkomponenten wie bspw. Maschinen als Datenquellen in der OT und auswertenden IT-Systemen und der Abbildung von Art und Weise der übertragenen Daten. Die „Weise“ beschreibt dabei die Typisierung des Datentransfers, wie etwa die notwendige Datenrate oder Push-Pull-Mechanismen, und wurde dabei anhand der für die Erfüllung des Nutzenpotentials sinnvollen Anforderungen definiert.

Auf Basis dieser Modellierung wurden dann die in der Morphologie aufgeführten Attribute für die Nutzenpotenziale abgeleitet. Der exemplarische Soll-Steckbrief, des Nutzenpotenzials *Predictive Maintenance* ist in Tabelle 7 gezeigt. Die farblich markierten Ausprägungen kennzeichnen die für das Nutzenpotenzial in der Regel mindestens zu erfüllenden Anforderungen. Alle weiteren ausgefüllten Steckbriefe finden sich in Anhang D.6.

Tabelle 7: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Predictive Maintenance“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	Nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
Historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben		ausführen		keine

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief		
Systemfunktion(en)		
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)	Datenaufbereitung

Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)	Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)	
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)	Transparenz & Diagnose (ergründen)	
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung	keine	
Daten-/ Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/ Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Explizit zu verdeutlichen ist hier, dass der Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials Merkmale wie bspw. den „Zugriff auf OT-Systeme“ oder die „Konfiguration der Schnittstelle“ nicht definiert. Dies ist dadurch begründet, dass diese Merkmale nicht lösungsneutral definiert werden können und sich damit zur Definition eines generischen Soll-Zustands nicht eignen. In Kapitel 2.4 wird die dennoch bestehende Nützlichkeit dieser Merkmale in der Morphologie erläutert. Die in der Untersuchung erstellten Soll-Steckbriefe für die jeweiligen Nutzenpotenziale wurden mit dem projektbegleitenden Ausschuss diskutiert und verifiziert. Eine vollständige Liste der Steckbriefe zu jedem Nutzenpotential ist im Anhang 0 beigefügt.

Die erstellten Soll-Steckbriefe dienen dem direkten Vergleich mit der Ist-System-Landschaft. Mittels einer Ist-Aufnahme können Unternehmen ihre individuelle Landschaft mit den Anforderungen beliebiger Nutzenpotenziale abgleichen und entsprechende Abweichungen identifizieren. Die daraus abzuleitenden Handlungsmaßnahmen werden im Folgekapitel behandelt. Zur automatisierbaren Auswertung wurden die erstellten Steckbriefe in eine Datenbank überführt und im Rahmen einer Webanwendung aufbereitet.

Wie geplant wurden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Anforderungen zur Umsetzung der einzelnen Nutzenpotenziale analysiert. Durch die erarbeiteten Steckbriefe und vor allem die Einordnung der Nutzenpotenziale in den Steckbrief zur Ableitung der Anforderungen war ein Vergleich zwischen den einzelnen Potenzialen einfach möglich. Diese wurden im paarweisen Vergleich untersucht. Hier zeigte sich jedoch, dass die erarbeiteten Nutzenpotenziale alle eine Form der Middleware-basierten Vernetzung benötigen. Grundsätzlich erwiesen sich die Nutzenpotenziale als synergetisch und wenig widersprüchlich. Etwaige Widersprüche oder konträre Anforderungen wurden für die Ableitung der Handlungsempfehlungen und der Umsetzungsschwierigkeit berücksichtigt. Die gewonnenen Erkenntnisse, die Anforderungen sowie die eingeordneten Nutzenpotenziale wurden im Rahmen von Expertengesprächen mit den Mitgliedern des pbAs diskutiert und verifiziert. Die Ergebnisse wurden im Rahmen des pbA-Treffens vorgestellt und gemeinsam angewendet.

2.4 Ableitung von Handlungsmaßnahmen zur Realisierung von Nutzenpotenzialen

Auf Basis der entwickelten Morphologie diente AP 4 der Definition von Handlungsmaßnahmen zur Weiterentwicklung der IT-OT-Landschaft. Ziel dieser Handlungsmaßnahmen ist es, der anwendenden Person mit konkreten Verbesserungsvorschlägen zur Erreichung des angestrebten Nutzens zu verhelfen.

Die zu verfolgenden Maßnahmen werden direkt aus der Morphologie abgeleitet. Nach einer Ist-Aufnahme der individuellen IT-OT-Landschaft in das Format des IT-OT-Integrations-Steckbriefs wird dieses mit den Steckbriefen der betrachteten Nutzenpotenziale abgeglichen. Anhand der umgehend erkennbaren Abweichungen lassen sich potenzielle Handlungsbedarfe ableiten, die sowohl spezifischen Systemen bzw. Schnittstellen und Merkmalen zuzuordnen sind als auch einen für das betrachtete Nutzenpotenzial empfohlenen Zielzustand definieren. Ein beispielhafter Abgleich einer fiktiven IT-OT-Landschaft mit dem Nutzenpotenzial „Predictive Maintenance“ ist in Tabelle 8 an dem Beispiel des OT-Steckbriefs gezeigt.

Tabelle 8: Beispielhafter Abgleich von Ist- und Soll-Zustand der OT für „Predictive Maintenance“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten^{1,2}	<i>Umgebungsdaten^{2,3}</i>	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
<i>Echtzeit^{2,3}</i>	> stündlich	stündlich¹	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
Historische Maschinendaten^{1,2}	Datenerhebung auf Request¹		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen^{1,2}	schreiben¹	ausführen		keine	

¹ Ist-Zustand (fett markiert)

² Soll-Zustand (farblich markiert)

³ Abweichungen (kursiv markiert)

Der demonstrierte Abgleich weist im Merkmal „Ausgetauschte Datentypen“ eine nicht durch den Ist-Zustand erfüllte Anforderung „Umgebungsdaten“ auf. Dies weist darauf hin, dass das betrachtete OT-System womöglich um Sensorik erweitert werden muss, die prozessrelevante Umgebungsgrößen (wie bspw. Temperatur, Feuchtigkeit, Vibrationen) erfasst und bereitstellt. Ebenso besteht im Beispiel eine Abweichung in dem Merkmal „Push-Capabilities“ des OT-Systems, welches lediglich stündlich Berichte zu den betrachteten Datentypen bereitstellen kann. Zu Zwecken einer extensiven und kontinuierlichen Evaluation des gegenwärtigen Maschinen-Zustands erfordert das Nutzenpotenzial jedoch eine Echtzeitbereitstellung von Umgebungsdaten, welche an dieser Stelle konfiguriert oder nachgerüstet werden müssen. In der manuellen Herleitung von Handlungsempfehlungen kann eine Erfüllung der Kriterien in diesem Beispiel durch kritische Evaluation der Abweichungen im individuellen Anwendungsfall erfolgen. So kann, beispielweise durch Anbringung externer Sensorik, die Datenpunkte in Echtzeit bereitstellt, hier bereits eine individuelle Lösung zur Erfüllung beider Anforderungen erzielt werden.

Die systematische Herleitung der Handlungsempfehlungen basiert zunächst auf einem Vergleich der Merkmale von Ist-Steckbrief und Soll-Steckbrief. Unterschieden wird bei dem Abgleich der jeweiligen Merkmale zwischen diskreten und kontinuierlichen. Diskrete Merkmale, wie etwa „Ausgetauschte Datentypen“, erfordern für einen als abweichungsfrei bewerteten Abgleich, dass der Ist-Steckbrief die vom Soll-Steckbrief ausgewählten Optionen erfüllt (zusätzliche, nicht vom Soll-Steckbrief geforderte, aber durch den Ist-Steckbrief erfüllte Optionen, beeinflussen den Abgleich nicht). Kontinuierliche Merkmale, wie etwa „Push-Capability“, definieren mit dem Soll-Wert dagegen eine Mindestanforderung. Ein solches Merkmal ist durch den Ist-Wert als erfüllt zu bewerten, wenn dieser gleich- oder höherwertig als der Soll-Wert zu betrachten ist.

Der direkte Abgleich der in Kapitel 2.3 erwähnten nicht-lösungsneutralen Merkmale fällt hierbei aus, da diese nicht durch die Soll-Steckbriefe definiert werden. Stattdessen dienen diese der weiteren Einschätzung der Komplexität, die bei der Anwendung der Handlungsempfehlungen zu erwarten ist. Es werden drei Kategorien von Schwierigkeiten definiert, die sich im Rahmen eines Steckbriefs bei der Betrachtung dieser Merkmale berechnen: die Schwierigkeit, eine Schnittstelle zu implementieren, die Schwierigkeit, ein betrachtetes System umzukonfigurieren und die Schwierigkeit, Funktionalitäten im betrachteten System mittels eines Retrofits nachzurüsten. So erhöhen beispielsweise proprietäre Systeme die Komplexität einer nachträglichen Implementierung einer Schnittstelle, während die Unterstützung des weitverbreiteten HTTP/HTTPS-Protokolls diese oftmals reduziert. Die Einflüsse der verschiedenen Auswahloptionen auf die jeweiligen Schwierigkeitsbewertungen sind in Tabelle 9 dargestellt. Die Bewertung von 0 (leicht) bis 1 (aufwendig) wurde auf Basis der Rückmeldungen des pbAs eingeführt, können aber den individuellen Kompetenzen der anwendenden Person entsprechend beliebig konfiguriert werden.

Tabelle 9: Individuelle Bewertung der „extrinsischen“ Schwierigkeit von 0 (leicht) bis 1 (aufwendig) für spezifische nicht-lösungsneutrale Merkmalsausprägungen – undefinierte Werte deuten auf keinen Einfluss

Steckbrief	Merkmal	Merkmalausprägung	Schwierigkeit		
			Schnittstelle	Konfiguration	Retrofit
OT	OT-Hardware-Schnittstelle	analog / digital (parallel)			0.5
		Klemmen (bspw. UART, SPI, CAN, I2C/TWI)			0.2
		RS232			0.2
		USB			0.3
		RJ45			0.1
		Profibus			0.2
		Keine	1		1
	OT-Software-Schnittstelle	HTTP/S	0.1		
		OPC-UA	0.3		
		Profibus	0.3		

Schnittstelle		MQTT (o.ä.)	0.5		
		keine	1		
	Zugriff	proprietär	0.8	1	0.5
		proprietär, aber freischaltbar	0.4	0.5	0.2
		nicht proprietär	0.2	0	0.1
	Protokoll OSI 5-7 (Anwendungsebene)	HTTP/S	0.1		
		OPC-UA	0.3		
		Profinet	0.3		
		MQTT (o.ä.)	0.5		
		keine	1		
	Konfiguration der Schnittstelle	kroprietär / Hardcoded	0.5		
		krogrammierbar	0.1		
		Konfigurationsdateien	0.3		
		Low-Code / No-Code	0.3		
	Datenübertragung	Stream	0.7		
		Simple Request	0.3		
		Datenbank	0.2		
		dateibasiert	0.3		
		manuelle Eingabe	0.1		
IT	IT-Software-Schnittstelle	HTTP/S	0.1		
		OPC-UA	0.3		
		Profibus	0.3		
		MQTT (o. ä.)	0.5		
		keine	1		

Jeder Steckbrief erhält einen definiten Wert für die drei Schwierigkeitskategorien. Die Werte dieser hier als „extrinsisch“ bezeichneten Schwierigkeiten werden über den gesamten Steckbrief ermittelt. Für jedes Merkmal ist die verfügbare Ausprägung mit der geringsten Schwierigkeit der jeweiligen Kategorie maßgebend. Über den gesamten Steckbrief werden die Schwierigkeiten für jede der drei Kategorien entlang der Merkmale gemittelt und stehen der weiteren Evaluation dann zur weiteren Referenz bereit.

Zur weiteren systematischen Ableitung von Handlungsmaßnahmen wurde auf Basis der möglichen Ist- und Soll-Merkmale eine Maßnahmen-Matrix erstellt, welche für jede Kombination der Merkmalsausprägung sowohl eine Maßnahme als auch eine eingeschätzte „intrinsische“ Schwierigkeit von 0 (leicht) bis 1 (aufwendig) definiert. Zusätzlich zur „intrinsischen Schwierigkeit“, die sich alleinig durch das betrachtete Merkmal ableitet, wird die „extrinsische Schwierigkeit“ zugeordnet, die sich, wie oben erläutert, anhand anderer Merkmale berechnet. Die Zuordnung erfolgt, sofern die betrachtete Handlungsmaßnahme relevant für die verlinkte Schnittstelle, die Konfiguration oder ein eventuelles Retrofitting ist. Die Handlungsempfehlungen sind in Tabelle 24 und Tabelle 25 im Anhang beigefügt.

Durch Anwendung dieser Methodik kann anhand des Abgleichs von Ist- und Soll-Steckbrief auf eine verallgemeinerte Handlungsempfehlung geschlossen werden, die sich von der Nicht-Erfüllung spezifischer Merkmale ableitet. Darüber hinaus wird der Handlungsempfehlung eine Komplexitätsbewertung beigefügt, die den etwaigen Aufwand der Handlungsempfehlung einschätzt. Die Inklusion des Aufwands erlaubt differenziertere Vergleichbarkeit der Eignung verschiedener Nutzenpotenziale. Somit differenziert eine umfassende Auswertung mehrerer Nutzenpotenziale zwischen jenen, die viele Handlungsbedarfe mit jedoch geringem Aufwand besitzen und solchen, die lediglich eine, aber dennoch eine sehr schwerwiegende Hürde besitzen. Unabhängig der Anzahl ausgesprochener Handlungsempfehlungen, wird demnach eine Gesamtschwierigkeit der Umsetzung berechnet.

2.5 Validierung mit Anwendungspartnern

Im Rahmen der Validierung testeten drei Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses die entwickelte Methodik an realen Systemlandschaften. Die Testphase umfasste je teilnehmendem Unternehmen eine Aufnahme der individuellen IT-OT-Landschaft, die Auswertung und zuletzt die gemeinsame Validierung.

In der anfänglichen Vorstellung der Methodik wurden die Teilnehmenden mit der entwickelten Morphologie vertraut gemacht. Diese wurde als Mittel zur Ist-Aufnahme bereitgestellt, damit eine gezielte Ermittlung der notwendigen Parameter durchgeführt und diese umgehend strukturiert gesammelt werden konnten. Die Inhalte der Aufnahme wurden in einem Interview mit dem FIR reflektiert, um Feedback der Teilnehmenden aufzunehmen und ein von der Morphologie unabhängiges Bild der IT-OT-Landschaft zu erhalten. Zusätzlich wurden konkrete Digitalisierungsziele der jeweiligen Unternehmen erfragt und im Rahmen der Nutzenpotenziale festgehalten. Die Ergebnisse der Aufnahmephase eines teilnehmenden Unternehmens sind in Abbildung 6 und Tabelle 10 dargestellt.

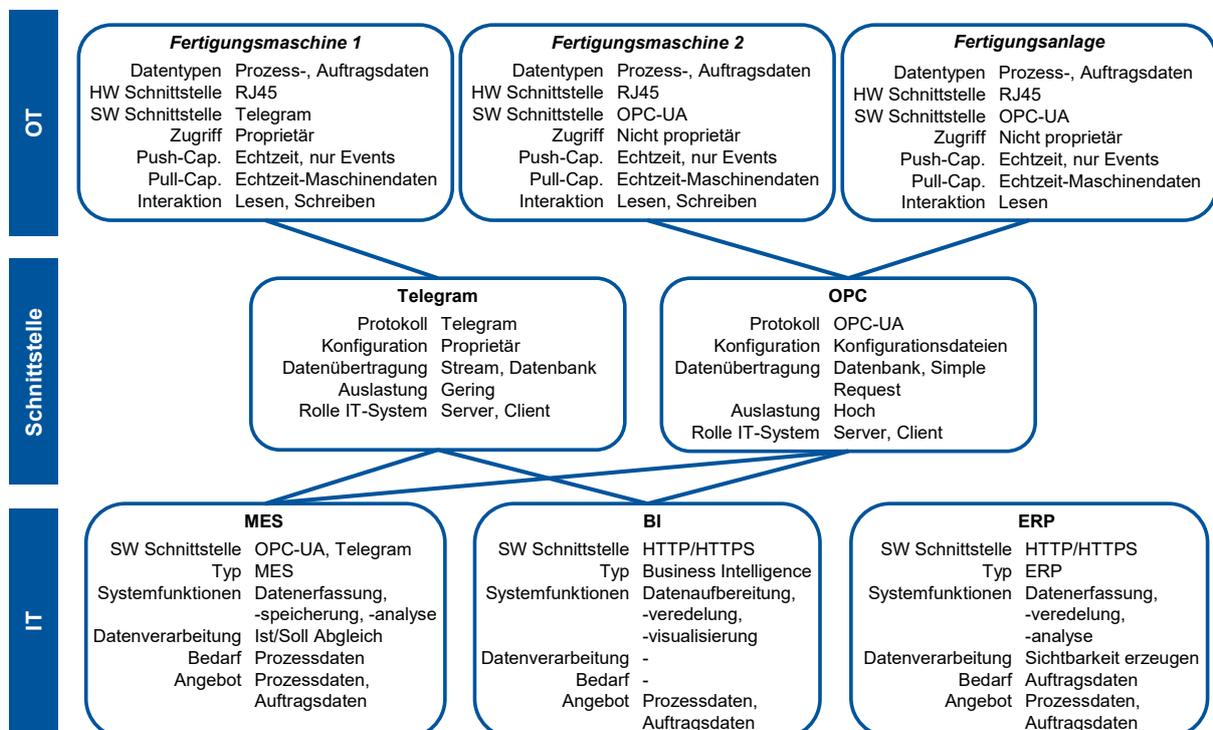


Abbildung 6: Anonymisierte IT-OT-Landschaft im Steckbrief-Format nach der Ist-Aufnahme (anonymisiert)

Tabelle 10: Weitere Ergebnisse aus der Erfassung der IT-OT-Landschaft (anonymisiert)

Allgemeine Erkenntnisse aus dem Validierungsgespräch	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es existiert bereits eine grundlegende Vernetzung des Shopfloors mit verschiedenen IT-Systemen ▪ Die Unterstützung von OPC-Schnittstellen ermöglicht eine transparente und hochkonfigurierbare Vernetzung für verschiedene Anwendungsfälle ▪ Zur Verwaltung einer überschaubaren OT ist die herrschende IT-Architektur vollkommen ausreichend
Relevante Nutzenpotenziale (und dafür notwendige Handlungsbedarfe)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatische Qualitätsdokumentation (Erfassung und systematische Ablage von Prozess- und weiteren Umgebungsdaten) ▪ Automatische Sammlung der Produktions-KPIs (Erfassung und systematische Ablage von Prozess-, Umgebungs- und Auftragsdaten)

Nach der Ist-Aufnahme evaluierte das FIR die aus den Digitalisierungszielen abgeleiteten Nutzenpotenziale der jeweiligen Unternehmen. Zusätzlich wurden für das betrachtete Unternehmen weitere relevante Nutzenpotenziale frei von der Methodik anhand der in Digitalisierungsprojekten gesammelten Erfahrung definiert. Nach Anwendung der Methodik, die sich auf Basis der erfassten IT-OT-Steckbriefe beschränkt, konnten somit die generierten Bewertungen und Empfehlungen mit diesen abgeglichen werden, um eine erste Validierung zur Relevanz der Ergebnisse durchzuführen. Die mit der Methodik erzielten Ergebnisse, sowie deren erste Bewertung sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 gezeigt.

Adaptive Anpassung der Produktionslinie bei Störungen / Fehlern	53%
Automatische Konfiguration (Einstellung) der Produktionsanlage basierend auf den Auftragsdaten	48%
Automatische Qualitäts-Dokumentation im Prozess	57%
Automatische Qualitätsauswertung durch Data Analytics / Machine Learning	58%
Automatische Sammlung der Produktions-KPIs	55%
Digitale Mitarbeiterführung durch den Prozess	66%
Digitales Auftragstracking	80%
Dynamische Preisgestaltung der Produktion durch Informationen über Kapazitäten, Nachfrage und Stillstände	59%
Energiemanagement durch den Einsatz von Data Analytics	47%
Optimierung des Fertigungsprozesses durch Data Analytics / Machine Learning	60%
Predictive Maintenance	54%
Realisierung des Digitalen Schattens der Produktion	54%
Realisierung eines Digital Twin	51%
Reduktion der Stillstandszeiten der Maschinen	61%
Handlungsempfehlungen folgen auf nächster Folie	

Evaluation der Nutzenpotenziale

- Die autom. Qualitätsdokumentation sowie die autom. Sammlung der Produktions-KPI fallen im Tool moderat aus, werden aber als Potential erkannt
- Das bisher nicht betrachtete Auftragstracking kann mit bestehenden Mittel schnell umgesetzt werden
- Die Relevanz der digitalen Mitarbeiterführung konnte auf Basis des Interviews nicht bestätigt werden

Evaluation der Handlungsempfehlungen

- Die automatische Qualitätsdokumentation wird mit dem Einsatz von Retrofits zur Aufnahme von Umgebungsdaten korrekt erfasst
- Die Empfehlung eines Datalakes zur zentralen Datenhaltung ist eine sinnvolle Maßnahme, bei aktueller geringer Komplexität aber nicht notwendig
- IT-seitige Handlungsempfehlungen sind vermehrt nicht notwendig, da sie aus einer Schwäche der Auswertungsmethodik für verteilte IT-Funktionalitäten resultieren

Abbildung 7: Ergebnisse der methodisch generierten Erfüllungsgrade der Nutzenpotenziale mit Evaluation

Automatische Qualitätsdokumentation	Automatische Sammlung der Produktions-KPIs	Digitales Auftragstracking
<p>OT</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mit der Platzierung entsprechender Sensorlösungen können fehlende Umgebungsdaten erfasst werden. <p>Schnittstelle</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Bandbreite der Schnittstelle (Telegram) muss erhöht werden. <p>IT</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die in der OT noch fehlenden Umgebungsdaten müssen durch Einsatz spezifischer Sensoren erfasst werden. ▪ Die Aufbereitung von Daten ist notwendig. ▪ Zur Datenspeicherung müssen entweder die entsprechenden Systeme mit einer individuellen Datenbank ausgestattet werden oder ein zentraler Data Lake implementiert werden. ▪ <i>Weitere Handlungsempfehlungen resultieren aus der methodisch unreinen Bewertung der systemisch getrennten Funktionen</i> 	<p>OT</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mit der Platzierung entsprechender Sensorlösungen können fehlende Umgebungsdaten erfasst werden ▪ Pull-Capabilities müssen mit einem Retrofit nachgerüstet werden. <p>Schnittstelle</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Bandbreite der Schnittstelle (Telegram) muss erhöht werden. <p>IT</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zur Datenspeicherung müssen entweder die entsprechenden Systeme mit einer individuellen Datenbank ausgestattet werden oder ein zentraler Data Lake implementiert werden. ▪ Die in der OT noch fehlenden Umgebungsdaten müssen durch Einsatz spezifischer Sensoren erfasst werden. ▪ Zur Erzeugung von Sichtbarkeit sollte je nach Komplexitätsgrad Excel-Auswertungen bis hin zu dedizierten Dashboards auf Basis der erzeugten Daten werden. 	<p>OT</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Keine Handlungsempfehlungen</i> <p>Schnittstelle</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Keine Handlungsempfehlungen</i> <p>IT</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zur Datenspeicherung müssen entweder die entsprechenden Systeme mit einer individuellen Datenbank ausgestattet werden oder ein zentraler Data Lake implementiert werden. ▪ Zur Anreicherung von Daten empfiehlt sich die Implementierung einer breiten Interkonnektivität der IT-Systeme. ▪ Die Auftragsdaten aus der OT fehlen. (MES & BI) ▪ Zur Erfassung von Daten aus der OT sollte eine IoT-Plattform implementiert werden.

Abbildung 8: Automatisiert generierte Handlungsempfehlungen der Nutzenpotenziale mit Relevanz für das betrachtete Unternehmen

Wie in Abbildung 7 gezeigt und erläutert, erhielten die in der Ist-Aufnahme eingeschätzten Nutzenpotenziale „Automatische Qualitätsdokumentation“ und „Automatische Sammlung der Produktions-KPIs“ vergleichsweise durchschnittliche Erfüllungsgrade von 57 % bzw. 55 %. Darüber hinaus wurden durch die Auswertung weitere Nutzenpotenziale erkannt, die im Falle des Nutzenpotenzials „Digitales Auftragstracking“ für relevant befunden wurden.

Die hier dargestellten Resultate wurden anschließend mit den jeweiligen Unternehmen diskutiert. Die Validierung durch die Unternehmen fokussierte insbesondere die Relevanz der empfohlenen bzw. gut bewerteten Nutzenpotenziale, die Eignung der ausgesprochenen Handlungsempfehlungen und die Abdeckung individueller Randbedingungen. Die individuellen Ergebnisse der anschließenden Validierung sind in Abbildung 9 dargestellt. Insgesamt konnte eine generelle Relevanz der geeigneten Nutzenpotenziale festgestellt werden. Darüber hinaus wurden weitere Potenziale erkannt, die weder durch Unternehmen noch das FIR initial vorgeschlagen wurden, jedoch in Retrospektive als relevant zu bewerten sind. Die Nützlichkeit der ausgesprochenen Handlungsempfehlungen fällt dagegen geringer aus, da diese durch eine Verallgemeinerung sehr individueller Ausgangssituationen für eine direkte Anwendung zu generisch sind. Allenfalls dienen sie einer Orientierung, um konkretere, individuelle Maßnahmen einzugrenzen und zu identifizieren. Hochindividuelle Fälle, wie die gewonnene Flexibilität durch die Eigenentwicklung eines IT-System, konnten erwartungsgemäß nicht durch die Methodik erfasst und bewertet werden.

Unternehmen 1	Unternehmen 2	Unternehmen 3
<p>Digitalisierungsstand</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nicht-vernetzter und nicht-digitaler Shopfloor ▪ Zentrales IT-System mit umfangreichen Funktionen aber manueller Schnittstelle <p>Nutzenpotentiale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatische Qualitätsdokumentation wurde wie eingeschätzt als relevantes NP erkannt ▪ Vorher nicht betrachtete NP wurden aufgrund geringerer Anpassungen in der OT identifiziert <p>Aussagefähigkeit der Methodik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Generelle Notwendigkeit von Retrofits erkannt ▪ Potentes IT-System hat hohen Einfluss auf die Bewertung 	<p>Digitalisierungsstand</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nicht-vernetzter aber teil-digitaler Shopfloor ▪ Zentrales IT-System aus eigener Entwicklung <p>Nutzenpotentiale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewünschtes NP Automatische Konfiguration wird als vergleichsweise positiv bewertet ▪ Potentes IT-System begünstigt nachvollziehbar die Automatische Qualitätsauswertung <p>Aussagefähigkeit der Methodik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Vorzüge des <i>hochindividuellen & flexiblen</i> IT-System konnten nicht abgebildet werden ▪ Die Abbildung manueller Schnittstellen werden fälschlicherweise zu positiv bewertet 	<p>Digitalisierungsstand</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bereits vernetzte Maschinen im Shopfloor ▪ Breitere Abdeckung von IT-Systemen <p>Nutzenpotentiale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bessere Bewertung der Nutzenpotentiale, insb. einfach umzusetzendes Auftragstracking ▪ Schlecht bewertetes, eingangs identifiziertes NP aufgrund überbewerteter Abweichungen <p>Aussagefähigkeit der Methodik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Guter Digitalisierungsstand wurde abgebildet ▪ Proprietäres Kommunikations-Protokoll hat die Bewertung nicht merklich negativ beeinflusst
<p>Erkenntnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Methodik hat den ersten Abgleich von Systemlandschaft und Nutzenpotentiale gut abgebildet und weitere Potentiale beleuchtet ▪ Diskrepanzen zwischen Erwartungen und Auswertungsergebnissen wurden zur weiteren Plausibilisierung schnell identifiziert ▪ Ausgesprochene konkrete Handlungsempfehlungen sind für den individuellen Anwendungsfall oftmals zu generisch ▪ Das vergleichsweise leicht umsetzbare Nutzenpotential „Digitales Auftragstracking“ wurde bei allen Partnern relativ hoch bewertet ▪ Die Entwicklungsausrichtung eigener Systeme kann durch Variation der Systemparameter schnell geprüft werden 		

Abbildung 9: Anonymisierte Resultate der Validierung durch die drei untersuchten Unternehmen

In einem letzten Schritt erhielt der gesamte projektbegleitende Ausschuss die Möglichkeit zur angeleiteten Nutzung der Methodik über eine dafür entwickelte Webanwendung. Dies diente sowohl zur Veröffentlichung der Projektergebnisse als auch der weiteren Diskussion der Projekthinhalte. Insgesamt fiel das Feedback sehr positiv aus und es bestand großes Interesse an der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Anwendung. Insbesondere die strukturierte Erfassung der eigenen IT-OT-Landschaft erwies sich für die Unternehmen dabei als ein praktikables Mittel, sich mit der individuellen Systemlandschaft auseinanderzusetzen und die eigenen Digitalisierungspotenziale zu evaluieren. Oftmals verleitete die angeleitete Ist-Aufnahme zu einer erstmaligen Transparenz über vorhandene Systeme und deren System-Capabilities. Die automatisierte Auswertung diente dabei vermehrt als sinnbildliche Karte und Kompass, um sich in der Vielzahl der Nutzenpotenziale schneller identifizieren zu können.

Konkrete Verbesserungspotenziale für die Methodik liegen in der Abbildung von komplexeren IT-OT-Netzwerken sowie der Präzisierung von Handlungsempfehlungen. Dem steht allerdings der Anspruch technologie- bzw. lösungsneutraler Handlungsempfehlungen entgegen, der aber berechtigt ist, da die Methodik so im Kontext der fortwährenden Entwicklung von Digitalisierungstechnologien und IT-Architekturen auch zukünftig anwendbar ist.

2.6 Leitfaden zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methodik

Ziel des AP 6 war es, die Anwendung der ‚MarryIT‘-Methodik für KMU möglichst einfach zu gestalten. Dafür wurden zunächst die relevanten Materialien gesammelt und in einer anwenderfreundlichen Form zusammengestellt. Als nächstes wurde ein Leitfaden gestaltet, der es den Anwendern ermöglicht, ohne weitere Vorkenntnisse über die Methodik diese selbständig anzuwenden. Um die Anwendung über analoge Medien hinaus zu ermöglichen und somit noch intuitiver zu gestalten, sollte eine mobile Anwendung (App) gestaltet werden, die den Einsatz der ‚MarryIT‘-Methodik sowie deren Verbreitung noch leichter möglich macht.

Zunächst wurden die Erkenntnisse aus den vorherigen Kapiteln in einem Vorgehensmodell zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methodik zusammengefasst. Dieses ist in Abbildung 10 dargestellt.

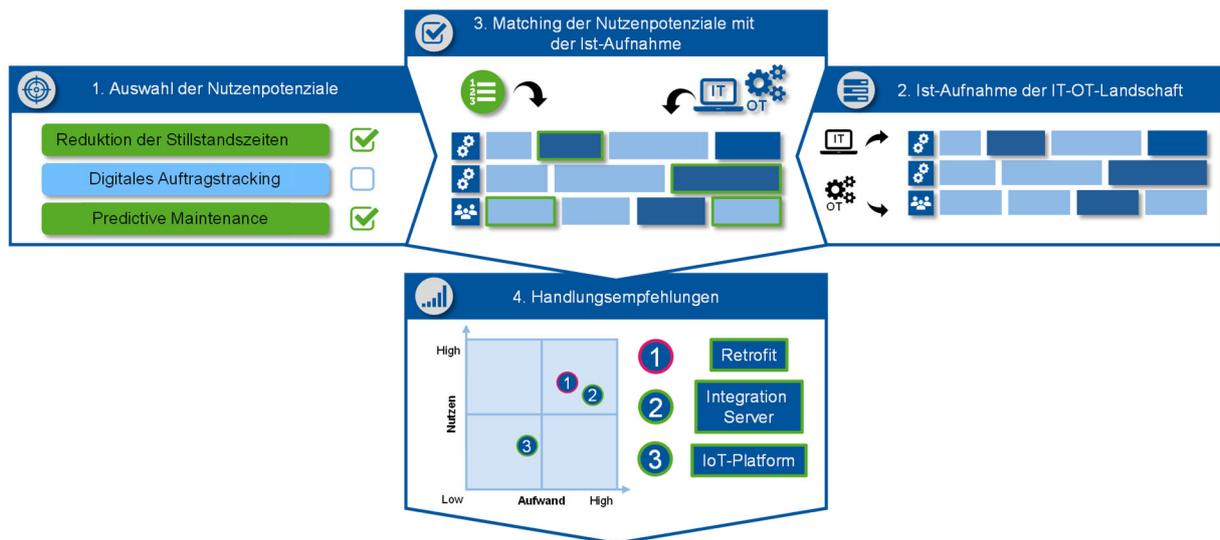


Abbildung 10: Übersicht über das ‚MarryIT‘-Vorgehen

Im ersten Schritt werden die Nutzenpotenziale ausgewählt, die ein Unternehmen umsetzen möchte. Diese werden gemeinsam mit den Entscheidungsträgern im Einklang mit der Unternehmensstrategie ausgewählt. Es ist möglich, eigene Nutzenpotenziale hinzuzufügen; dies sollte jedoch von erfahrenen Anwendern der Methodik durchgeführt werden. Die Nutzenpotenziale entsprechen der Liste aus Tabelle 1. Die Auswahl der Nutzenpotenziale kann ebenfalls in der mobilen Anwendung durchgeführt werden.

Im zweiten Schritt wird eine Ist-Aufnahme der IT-OT-Landschaft im Unternehmen durchgeführt. Dies geschieht mithilfe der bereitgestellten Steckbriefvorlagen. Für jedes IT- und OT-System sowie die vorhandenen Schnittstellen zwischen den Systemen wird ein Steckbrief erstellt. Dies kann analog mithilfe der bereitgestellten Steckbriefe oder mithilfe der entwickelten mobilen Anwendung durchgeführt werden. Bei einer Vielzahl von Steckbriefen, die aufgenommen werden müssen, empfiehlt es sich, entweder die mobile Anwendung einzusetzen oder die Steckbriefe in ein Tabellenprogramm wie MS Excel zu überführen.

Im dritten Schritt erfolgt das Matching zwischen den ausgewählten Nutzenpotenzialen und den Steckbriefen. Dies erfolgt durch das Vergleichen der Steckbriefe für den Soll-Zustand sowie die aufgenommenen Steckbriefe. Dabei wird einerseits abgeglichen, welche Vernetzungsmöglichkeiten es bereits zwischen den Systemen gibt und anschließend, wie diese den Sollzustand abdecken. Der direkte Vergleich zeigt direkt Anpassungsmöglichkeiten auf.

Im letzten Schritt werden Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Nutzenpotenziale durch IT-OT-Integration abgeleitet. Dafür wird für die Umsetzung eines jeden Nutzenpotenzials ein Schwierigkeits-Score berechnet, der anzeigt, wie leicht oder schwer die Umsetzung des Nutzenpotenzials ist. Auf dieser Basis kann entschieden werden, mit welchen Nutzenpotenzialen begonnen werden kann. Des Weiteren werden auf Merkmalsebene konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet. Dies ist rein analog möglich, jedoch erheblich aufwendiger, als die automatisierte Berechnung im Rahmen der mobilen Anwendung zu verwenden. Der zugrunde liegende Algorithmus wurde in Abschnitt 2.4 vorgestellt.

Die Anwendung des oben genannten Vorgehens sowie die Verwendung der enthaltenen Materialien ist in einem KMU-gerechten Leitfadens zusammengefasst. Dieser findet sich in Anhang D.8 dieses Dokuments.

Zur leichteren Verwendung der ‚MarryIT‘-Methodik, insbesondere der Sammlung der aufgenommenen Steckbriefe und deren späterer Auswertung, wurde eine mobile Anwendung entwickelt. Diese begleitet die Anwender intuitiv durch die entwickelte ‚MarryIT‘-Methodik. Ihr Einsatz wurde mit den Mitgliedern des pbAs im Rahmen der Validierungen und auch im Rahmen eines pbA-Treffens erprobt. Insbesondere die App stieß auf großes Lob der Mitglieder des pbAs, da die Anwendung der Methodik so „spielerisch“ ermöglicht wird. Die Anwendung der Webanwendung wurde im Rahmen der Zeitschrift „UdZ – Unternehmen der Zukunft“ erläutert, um die Verbreitung der Anwendung zu steigern. Sie wurde mit Abschluss der Erprobungen und Nachbesserungen auf Basis des erhaltenen Feedbacks veröffentlicht und ist nun unter der URL **marryit-tool.fir.de** frei verfügbar.

Die Verwendung der Webanwendung leitet die anwendende Person interaktiv durch das Vorgehensmodell. Zur Anwendung der Morphologie zwecks Ableitung von Handlungsmaßnahmen wurde ein Algorithmus entwickelt, der die korrekte Identifikation von notwendigen Maßnahmen unterstützt. Dieser Algorithmus wurde entsprechend in die Web-Anwendung integriert. Neben den Inhalten sowie der interaktiven Anleitung des Vorgehensmodells bietet die Webanwendung weitere Funktionen und Veranschaulichungen, die bei der Analyse der IT-OT-Landschaft dienlich sind. Der entwickelte Algorithmus sowie der darüber hinaus gebotene Umfang werden im Folgenden anhand der Webanwendung erläutert.

Zu Beginn wählen die Anwender die für sie relevanten Nutzenpotenziale von der im Rahmen von ‚MarryIT‘ erstellten Sammlung aus (s. Abbildung 11). Die Webanwendung dient dabei insbesondere mit Erläuterungen in Form von Infotexten zum Verständnis jedes Potenzials sowie eine interaktive Suche mittels Freitextsuche oder der Wahl von übergreifenden Nutzenkategorien Wirtschaftlichkeit, Variabilität, Qualität und Geschwindigkeit. Mit der Auswahl werden die entsprechenden Soll-Steckbriefe für den anschließenden Vergleich bestimmt.

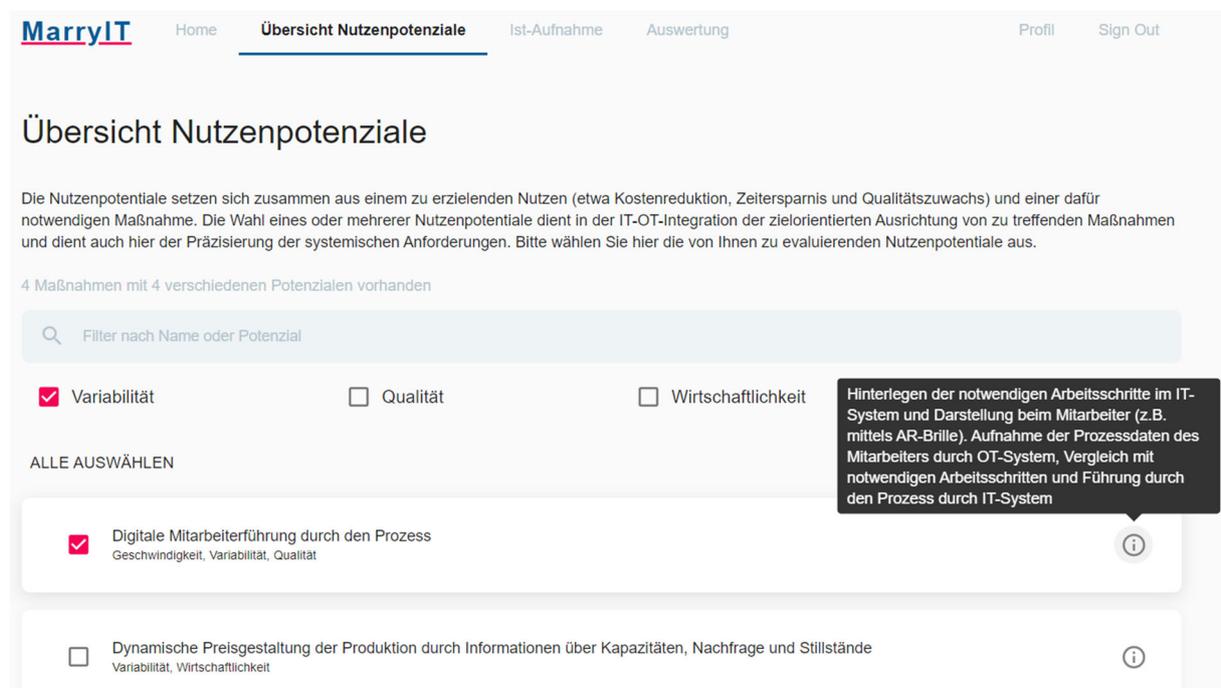


Abbildung 11: Auswahl der Nutzenpotenziale im ‚MarryIT‘-Web-Tool

Darauf folgt die Ist-Aufnahme. Die vollständige Erfassung der zu bewertenden IT-OT-Landschaft umfasst die Aufnahme von sämtlichen Maschinen in OT-Steckbriefe, sämtliche IT-Systeme in IT-Steckbriefe und bereits bestehende IT-OT-Schnittstellen in Schnittstellen-Steckbriefe. Die Webanwendung stellt für diese Aufnahme eine praktische System-Objekt-orientierte Ansicht bereit, die einen Überblick der zu erfassenden Kriterien liefert und sich für die direkte mobile Anwendung im Shopfloor eignet (s. Abbildung 12 und Abbildung 13). Durch den Nutzenden definierte Inhalte, wie spezifische Protokolle, werden direkt für die Auswahl in anderen Systemen verfügbar gestellt, um die wiederholte Eingabe zu vermeiden. Komfortfunktionen wie eine Suche und individuelle Klassifizierungen erleichtern dabei die Aufnahme größerer Systemlandschaft. Verbindungen zwischen IT-Systemen werden in Methodik sowie Web-Tool explizit als vorhanden angenommen, da diese oftmals in ein zugängliches Unternehmensnetzwerk eingebunden sind.

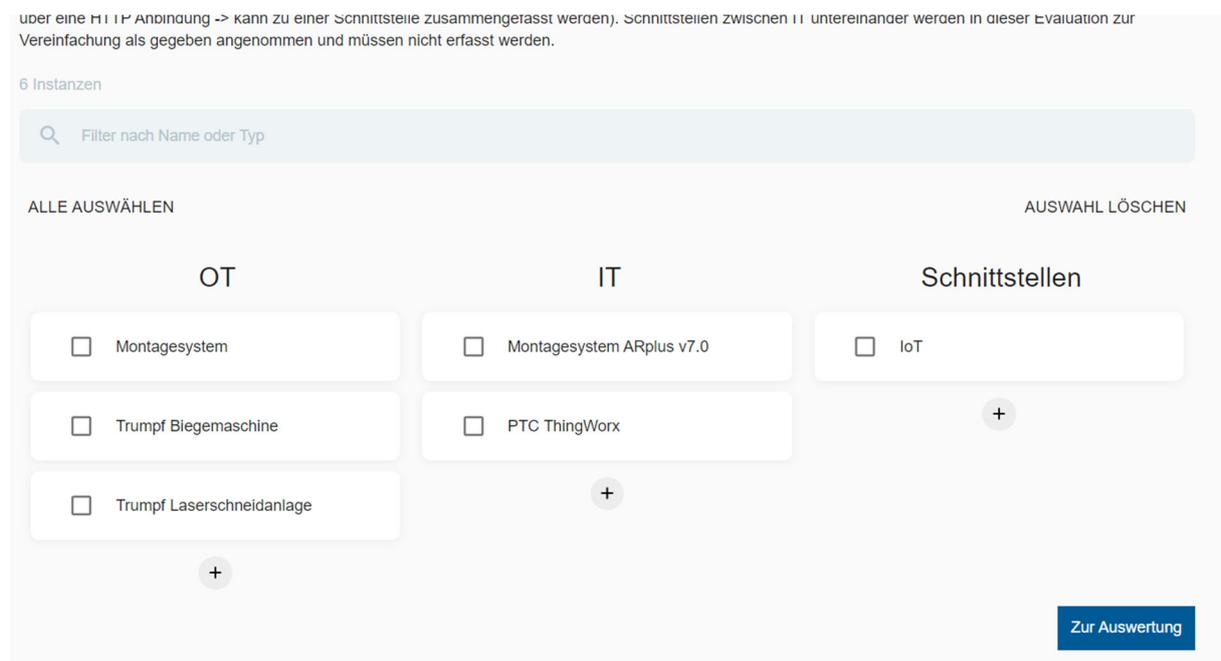


Abbildung 12: Beispielhafte Ist-Aufnahme der IT-OT-Landschaft im MarryIT Web-Tool

IT-Fragebogen

Diese Maske dient zur Aufnahme eines IT-Systems in die für die Analyse verfügbare Systemlandschaft. Bitte wählen Sie die für dieses IT-System unterstützten Merkmale aus. Wählen Sie dabei alle standardmäßig verfügbaren/unterstützten Optionen des betrachteten Systems aus und nicht ausschließlich durch die bereits implementierten. Fügen Sie selbst definierte Optionen mit dem + Knopf hinzu (achten Sie für ein korrektes Matching auf eine einheitliche Schreibweise).

* Feld ist erforderlich

Bezeichnung *						
Ort						
Gruppe						
IT-Software Schnittstellen	MQTT	HTTP/HTTPS	OPC-UA	Profibus	Umati ^X	+
IT-System Typ *	MES	ERP	IoT-Plattform	Datenbank	Dashboard	+
Systemfunktionen *	Datenerfassung (aus OT)		Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)			

Abbildung 13: Erfassungsbogen eines IT-Steckbriefs im ‚MarryIT‘-Web-Tool

Mit Navigation zur Auswertung wird die Analyse der IT-OT-Landschaft mit den ausgewählten Nutzenpotenzialen automatisch durchgeführt. Wie in der analogen Anwendung der Methodik werden die erfassten Steckbriefe mit den jeweiligen Soll-Steckbriefen des Nutzenpotenzials derselben Kategorie – IT, OT oder Schnittstelle – abgeglichen, wie im Kapitel 2.4 vorgestellt. Die definierten Schnittstellen evaluieren zudem die Anforderungen der angebotenen Systeme hinsichtlich der Konnektivität über definierte Protokolle.

Im Kontext der IT-OT-Integration ist ebenso die tatsächliche Vernetzung von OT und IT über die Schnittstellen zu bewerten. Für das Nutzenpotenzial fehlende Vernetzung ist daran zu erkennen, dass ein OT-System in keiner definierten Schnittstelle referenziert wird. Hier besteht eine Abweichung in der Vernetzung des betrachteten OT-Systems nach Maßgabe des Soll-Steckbriefs der Schnittstelle. Fehlende Verlinkungen zu IT-Systemen sind hier wiederum weniger kritisch bewertet, sofern mindestens ein IT-System verlinkt ist, und werden durch die Methodik in diesem Fall folglich ignoriert. Dies begründet sich durch in der Praxis nicht-lösungsneutrale und gänzlich unterschiedliche IT-Architekturen. Ein IT-System wie ein MES in einer strikt hierarchischen Systemlandschaft oder wie eine IoT-Plattform in der Rolle eines „Gateways“ kann exemplarisch als alleiniger Knotenpunkt für Datenflüsse zur OT-Landschaft dienen und dennoch allen anderen IT-Systemen Zugriff auf OT-Daten gewähren. Fehlende Schnittstellen werden im Web-Tool im Hintergrund durch Erstellung einer sogenannten Dummy-Schnittstelle bewertet, über welche nicht verbundene Systeme als verbunden, jedoch mit Abweichung der notwendigen Kriterien von IT- und OT-System, angenommen werden.

Das Ergebnis dieses Evaluationsschritts sind bereits erste Abweichungen zum Nutzenpotenzial und entsprechende Erfüllungsgrade der jeweiligen Ist-Steckbriefe (s. Abbildung 14).

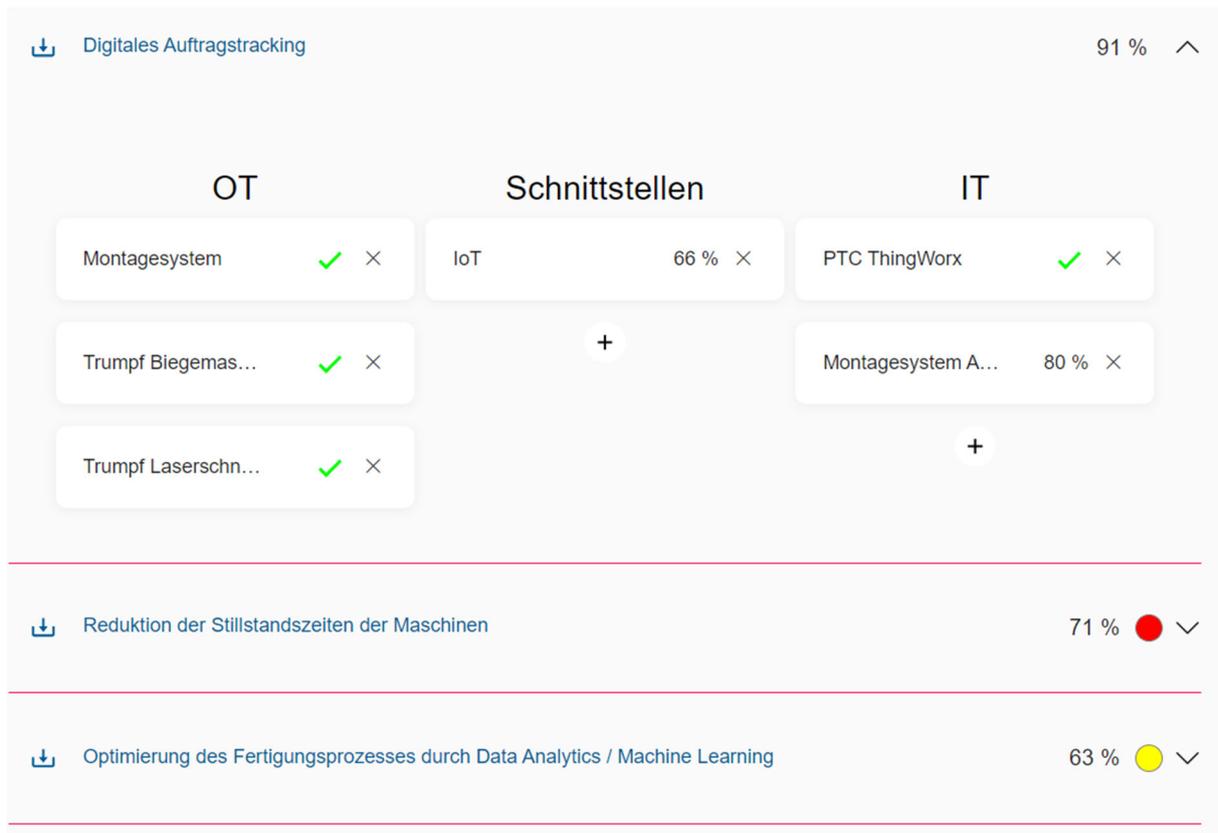


Abbildung 14: Automatisierte Auswertung einer beispielhaften Systemlandschaft mit dem ‚MarryIT‘-Web-Tool

Zur Plausibilisierung der ersten Ergebnisse ist allerdings eine individuelle Nachbearbeitung der Anwender notwendig. Zunächst sollten anstelle der gesamten IT-OT-Landschaft nur solche Ist-Steckbriefe ausgewertet werden, für die das betrachtete Nutzenpotenzial Relevanz besitzen. Beispielweise sollten solche Maschinen nicht betrachtet werden, für die ein Anwendungsfall nicht zutrifft bzw. nach Einschätzung des Unternehmens nicht Anwendung finden soll. Dazu können im Web-Tool je Nutzenpotenzial beliebig Steckbriefe für die Bewertung an- und abgewählt werden. Weiterhin erfolgt die Auswertung der IT-Systeme durch Aggregation der Ist-Steckbriefe in einen konsolidierten Steckbrief. Dies dient dazu, die angenommene vereinfachte Vernetzung zwischen IT-Systemen abzubilden und die in der Praxis verschieden verteilten Funktionalitäten systemunabhängig zu bündeln – zur Erfüllung des Nutzenpotenzials ist das Vorhandensein der Gesamtheit geforderter Funktionalitäten hier als wichtiger angenommen als die tatsächliche systemische Verortung. Die Analyse durch das Web-Tool wird mit den durchgeführten Änderungen durch die nutzende Person fortgehend aktualisiert.

Das Web-Tool bietet in der Detailansicht jedes Nutzenpotenzials sowie der zugeordneten Steckbriefe die detaillierten Resultate der Auswertung. Zunächst werden identifizierte Abweichungen transparent für jeden Steckbrief aufgelistet und visuell aufbereitet, wie in Abbildung 15 gezeigt. Die daraus automatisiert abgeleiteten Handlungsmaßnahmen werden entsprechend Kapitel 2.4 ebenfalls generiert und aufgelistet.

IoT

[Matching](#)
[Handlungsempfehlungen](#)
[Verbindungen](#)

Kategorie	Ist-Attribute	Soll-Attribute	Matching	
Rolle des IT-Systems	Client	Server	✓	
	Server			
Datenübertragung	Datenbank	Simple Request	✗	
Schnittstellenauslastung	Gering	Gering	✓	

Verbundene Instanzen	HTTP/HTTPS	MQTT	OPC-UA	Umati
Trumpf Laserschneidanlage	✗	✗	✓	✓
Montagesystem	✓	✗	✗	✗
PTC ThingWorx	✓	✓	✓	✓

Abbildung 15: Resultat des automatisierten Matchings beispielhafter Soll- und Ist-Steckbriefe im ‚MarryIT‘-Web-Tool

Die Abbildung des Vorgehensmodells konnte durch die Webanwendung anschaulich aufbereitet und angeleitet werden. Darüber hinaus werden Komfortfunktionen bereitgestellt, wie die verschlüsselte Speicherung der aufgenommenen Steckbriefe für eine spätere Re-evaluation und Anpassung. Besonders visuell ansprechend ist die Präsentation der aufgenommenen Systemlandschaft in einem automatisch generierten Graphen, der es ermöglicht, einen schnellen Überblick über die Systeme und deren Vernetzung zu erhalten, etwaige Fehleingaben in den Schnittstellen schneller zu identifizieren sowie weitere individuelle Handlungsmaßnahmen abzuleiten (s. Abbildung 16).

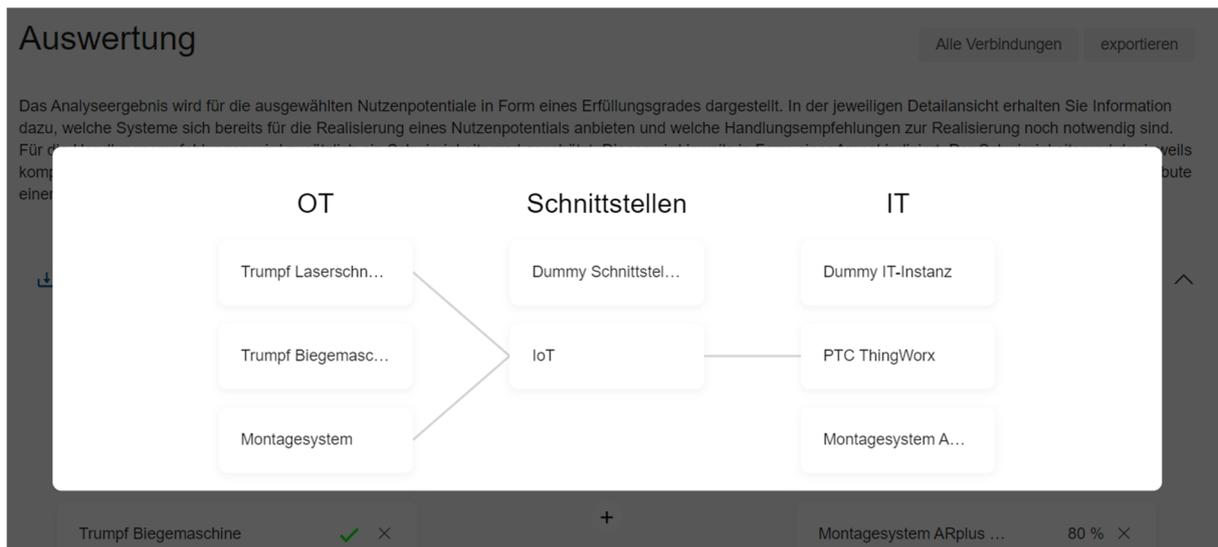


Abbildung 16: Visuelle Aufbereitung der IT-OT-Vernetzung durch das ‚MarryIT‘-Web-Tool

2.7 Projektmanagement und Transfer

Ziel dieses Arbeitspakets war es, die Zielerreichung in den einzelnen Arbeitspaketen sicherzustellen sowie eine kontinuierliche Dissemination der Projektergebnisse zu ermöglichen. Dies sollte sowohl mit dem pbA als auch durch die geplanten Veröffentlichungen im Laufe des Projekts geschehen.

Das Projektmanagement erfolgte durch den Einsatz klassischer Projektmanagementmethoden, wie der Einrichtung von Regelterminen zur Kontrolle des Projektfortschritts und der zu erreichenden Meilensteine, sowie dem regelmäßigen Reporting der Ergebnisse. Dies gelang dem Projektteam erfolgreich. Dadurch wurde schnell deutlich, dass einige Aufgaben aufgrund der Corona-Pandemie nur mit Verzögerung erledigt werden konnten. Diese Verzögerung konnte durch eine aufwandsneutrale Laufzeitverlängerung aufgeholt werden.

Während der Projektlaufzeit wurden die zentralen Projektergebnisse regelmäßig veröffentlicht. Dabei sind insbesondere die erfolgreichen Konferenzbeiträge auf der ProVE-Konferenz 2020 und 2021 sowie die Beiträge in den Zeitschriften UdZPraxis und UdZForschung zu nennen, die eine große Resonanz bei den potenziellen Anwendern erzielte (s. Abschnitt 5). Die Beiträge auf der ProVE-Konferenz bildeten die Grundlage für den wissenschaftlichen Austausch zu den Projektergebnissen. Hier erhielt das Projektteam viel Ermutigung und konstruktive Hinweise für den weiteren Einsatz der Methodik. Die Artikel in der Zeitschrift „UdZPraxis“ bilden den entsprechenden Gegenpol. Dort wurde eine breitere Leserschaft aus der Praxis angesprochen, die als potenzielle Anwender der ‚MarryIT‘- Methodik verstanden werden können. Hier erhielten die Autoren ebenfalls positive Resonanz. Neben den schriftlichen Veröffentlichungen wurden die Projektergebnisse auf den Roundtables „Information Manager“ des FIR mit den Auftraggebern solcher Projekte diskutiert. Dadurch konnten zwei sehr geschätzte Teilnehmerunternehmen für den pbA gewonnen werden.

Trotz der Einflüsse der Pandemie, die auch dieses Projekt und vor allem die Anwender seiner Ergebnisse betroffen haben, konnten geeignete Maßnahmen gefunden werden, um mit den neuen Rahmenbedingungen umzugehen. Dazu zählt beispielsweise die Durchführung der Treffen des pbAs und der Expertengespräche in Form von virtuellen Meetings. Besonders die pbA-Treffen erfreuten sich so großer Beliebtheit, da eine weite Anreise für viele nicht nötig war

und die Agenda in komprimierter Form umgesetzt werden konnte. Dennoch wünschten sich die Teilnehmer langfristig weiterhin physische Treffen, kombiniert mit virtuellen Treffen.

3 Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Forschungsprojekt „MarryIT – IT-OT-Integration für produzierende KMU“ orientierte sich an einem geordneten zeitlichen Projektablauf. Dabei wurde besonderer Wert auf eine ganzheitliche Abarbeitung der Inhalte der Arbeitspakete gelegt. Die erarbeiteten Ergebnisse sind dem Projektziel angemessen und können der Initialisierung weiterer Forschungsprojekte dienen.

Die im Forschungsprojekt ‚MarryIT‘ durchgeführten Arbeiten entsprechen in vollem Umfang den im Antrag vereinbarten Inhalten und waren daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Der geplante Umfang wurde an manchen Stellen übertroffen und an anderer Stelle den Gegebenheiten im Projekt angepasst. Beispielsweise wurde ein Zielsystem aufgebaut, das es den Anwendern ermöglicht, neue Nutzenpotenziale den eigenen Zielen zuzuordnen. Dies bietet einen zusätzlichen Mehrwert für die Anwender der Projektergebnisse. Der Umfang der entwickelten Web-Anwendung übertrifft die Ziele des Antrags erheblich, dient aber umso mehr der intuitiven und einfachen Anwendung der entwickelten Methodik. Sie stellt ein starkes Mittel zur Verbreitung der Methodik dar.

Die Einflüsse der Corona-Pandemie führten auf unterschiedlichen Wegen zu Verzögerungen im Projekt. So konnten die Unternehmen zu Beginn der Pandemie nicht an den Treffen des pbAs teilnehmen, weil sie sich selbst auf die anstehenden Veränderungen einstellen mussten. Das hatte Einfluss auf den zeitlichen Ablauf der Abarbeitung der einzelnen Arbeitspakete. Nach einer Periode der „Verzögerung“ folgte eine äußerst produktive Arbeitsphase in Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des pbAs. Die virtuelle Durchführung von Treffen bot für alle Arbeitspakete die Möglichkeit, die geplanten Ergebnisse zu erzielen. Die Verzögerung im Projektverlauf konnte durch eine aufwandsneutrale Laufzeitverlängerung aufgefangen werden. Somit war auch hier die Förderung angemessen und notwendig.

Alle Änderungen im Projektverlauf wurden zum jeweiligen Projektzeitpunkt durch neu-gewonnene Erkenntnisse begründet und dienten der erfolgreichen Erreichung der Ziele des Projekts. Die Änderungen und daraus folgenden Anpassungen wurden stets mit den Mitgliedern des pbAs abgestimmt.

4 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen für KMU

Unternehmen, insbesondere KMU, stehen vor der Herausforderung, ihre Produktion digital zu vernetzen, um die Vorteile von Industrie 4.0 heben zu können. Dies gelingt durch die gezielte Vernetzung der IT- mit den OT-Systemen. Für die Unternehmen stellt das jedoch auf verschiedenen Ebenen eine Herausforderung dar. Zum einen fehlt ihnen die Übersicht über die möglichen Anwendungsfälle (bei ‚MarryIT‘ die sogen. Nutzenpotenziale), auf der anderen Seite stellt sich die Integration als große technische und organisatorische Herausforderung dar. Den Unternehmen fehlt häufig das Domänenwissen im Bereich der Maschinenvernetzung sowie ein klar definiertes Vorgehen zur gezielten Integration der Systeme, die für eine

Integration notwendig sind. Die Entscheidungen, die im Rahmen des IT-OT-Integrationsprozesses getroffen werden, können schwerwiegende Konsequenzen haben, sowohl aus inhaltlicher als auch aus finanzieller Sicht.

Diese Herausforderungen wurden im Rahmen des Forschungsprojekts ‚MarryIT‘ adressiert. Der Nutzen für die Unternehmen liegt dabei sowohl in den wissenschaftlich-technischen Inhalten, die im Rahmen des Projekts erarbeitet wurden, als auch in den wirtschaftlichen Vorteilen, die durch den Einsatz des entwickelten Vorgehens und der entwickelten Methoden ermöglicht werden. Sie reduzieren das Risiko von Fehlentscheidungen für die Integration von IT-Systemen und reduzieren somit die Kosten eines Integrationsprojekts. Des Weiteren sorgen sie durch die schnelle Umsetzung der Nutzenpotenziale und der gewonnenen Transparenz für eine mögliche Umsatzsteigerung bei den Unternehmen.

Diese für die Unternehmen geschaffenen Mehrwerte können entlang der erzielten Ergebnisse des Projekts aufgezeigt werden. Die erarbeiteten Nutzenpotenziale geben den Unternehmen auf einfache Weise eine Übersicht über die Möglichkeiten, die ihnen die IT-OT-Integration bietet. Darüber hinaus werden direkt die möglichen Einflüsse auf die Produktion aufgezeigt. Zudem kann das Unternehmen so einen genauen Plan für sich aufstellen, welche Nutzenpotenziale umgesetzt werden sollen. So werden die meist begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen gewinnbringend eingesetzt. Die erarbeitete Integrationsmorphologie sorgt für einen Wissenstransfer zu den Anwendern in den KMU. Sie werden an IT-OT-Integration herangeführt und erhalten eine strukturierte Methode zur Anwendung. Dies erleichtert den Integrationsprozess erheblich. Die generierte Übersicht über die IT-OT-Systemlandschaft im Unternehmen bringt den Unternehmen über die eigentlichen Ziele des ‚MarryIT‘-Vorgehens hinaus zahlreiche Vorteile bei der zukünftigen Planung ihrer Integrationsprojekte. Dies wurde von vielen Mitgliedern des pbAs ausdrücklich bestätigt. So ist eine langfristige Nutzung der Methodik im Unternehmen gesichert. Der entworfene Algorithmus zur Ableitung des Scores für die Schwierigkeit der Integration erlaubt den Unternehmen eine Abschätzung, wie aufwendig die geplanten Integrationsprozesse sind. Dies verhindert den Start von kostspieligen Projekten, die nicht zum Erfolg führen und erlaubt den KMU, sich auf die Projekte zu konzentrieren, die innerhalb ihres individuellen Spielraums liegen. Darüber hinaus können die Unternehmen mit dem entwickelten Vorgehen und den darin enthaltenen Methoden auch gezielt die Weiterentwicklung ihrer Systemlandschaft anstoßen. Somit können sie sowohl Kosten in den geplanten Projekten sparen als auch gezielt ihre Unternehmenslandschaft für die Zukunft ausbauen. Die gesamte Anwendung der Methodik wurde durch die Realisierung der Webanwendung noch intuitiver für die Anwender. Ein Beispiel hierfür ist die Übersicht über die bestehenden IT-OT-Systeme in einer gemeinsamen Landkarte und die automatisierte Speicherung und Auswertung aufgenommenen Steckbriefe. So können sich die KMU auf die Anwendung der Methode konzentrieren. Die entwickelte Anwendung wurde von den Mitgliedern des pbAs explizit gelobt.

Die erarbeiteten Transfermaßnahmen tragen dazu bei, die Nutzung der Methodik in den Anwenderkreisen zu verbreiten und ermöglichen eine flächendeckende Bekanntheit der Anwendung. Dies wird zum langfristigen Erfolg des Vorgehens beitragen. Die weitere Anwendung der Methoden in der *Industrie 4.0 Maturity Center GmbH* (pbA) sowie das Commitment der *GKD AG* (pbA) zur regelmäßigen Anwendung des Vorgehens bestätigen die Einschätzung. Die positiven Rückmeldungen aus den wissenschaftlichen Austausch auf internationalen Konferenzen lassen ebenfalls eine Adaption und Weiterentwicklung der Inhalte erhoffen.

Zusammenfassend zeigen die erarbeiteten Projektergebnisse einen sehr hohen wissenschaftlich-technischen Nutzen sowie einen sehr hohen wirtschaftlichen Nutzen für KMU.

5 Fortschreibung des mit dem Antrag vorgelegten Plans zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft und Einschätzung der Realisierbarkeit des Transferkonzepts

Der Transfer der Erkenntnisse aus dem Projekt wurde während der Projektlaufzeit wie auch darüber hinaus durchgeführt. Dies geschah sowohl zwischen dem FIR und den Mitgliedern des pbAs als auch mit externen Interessengruppen.

Die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse wurden regelmäßig mit den Mitgliedern des pbAs erörtert und verifiziert. Der Austausch mit den Unternehmen als mögliche Anwender erwies sich als sehr wertvoll für die Weiterentwicklung des ‚MarryIT‘-Vorgehens. Insgesamt wurden vier Treffen des pbAs durchgeführt. Die reduzierte Zahl der Treffen ist den Auswirkungen der Corona-Pandemie geschuldet. Viele Unternehmen mussten sich insbesondere zu Beginn der Pandemie neu organisieren und so blieb keine Zeit für weitere Projekttreffen. Die durchgeführten Treffen erfreuten sich jedoch immer eines großen Teilnehmerkreises (sowohl in Persona als virtuell). Neben dem engen Austausch und der Dissemination im „1 zu 1“-Verhältnis mit den pbA-Mitgliedern wurden die Projektergebnisse auf der Fachtagung „Convention on Digital Opportunities (CDO)“ vorgestellt. Die Teilnahme erfolgte während wie auch nach der Projektlaufzeit. Dort war ein direkter Austausch mit Anwenderunternehmen (KMU und Nicht-KMU) sowie Experten aus der Industrie möglich. Die geplanten Vorstellungen beim CPS.Hub NRW wurden nicht durchgeführt, da eine Teilnahme an den Arbeitskreisen zu dem Zeitpunkt im Projekt, als dies sinnvoll gewesen wäre, nicht mehr möglich war. Das Projekt und dessen Ergebnisse wurden über die Projektwebsite zur Verfügung gestellt. Die geplante Vorstellung der Projektergebnisse beim VDMA war durch die Einflüsse der Corona-Pandemie nicht möglich. Stattdessen wurden die Projektergebnisse im Rahmen des RIM (Roundtable Information Manager) des FIR vorgestellt und diskutiert. Neben dem Austausch konnten noch weitere Unternehmen für die Teilnahme im pbA gewonnen werden. Die Erkenntnisse aus dem Projekt wurden im Rahmen von zwei Konferenzbeiträgen auf der Konferenz proVE veröffentlicht. Hier wurde sie einem breiten Fachpublikum vorgestellt und diskutiert. Die Veröffentlichung eines geplanten Artikels in einem wissenschaftlichen Journal wurde aufgrund der Einflüsse der Corona-Pandemie und der dadurch entstandenen Verzögerungen nicht durchgeführt. Die wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurden durch entsprechende Veröffentlichungen in praxisnahen Medien ergänzt. Hierzu zählen zwei Beiträge in der Zeitschrift UdZ. Diese wurden durch einen Beitrag in der Zeitschrift MM Maschinenmarkt ergänzt, in dem die gesamte Methode vorgestellt wurde. Die Erkenntnisse konnten erfolgreich in die universitäre Lehre überführt und durch eine Abschlussarbeit vertieft werden. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Projekts ‚Digital in NRW‘, die sich mit dem Aufzeigen von Digitalisierungspotenzialen in Unternehmen beschäftigen, wurden in der ‚MarryIT‘-Methodik unterwiesen und können diese Inhalte gezielt an KMU weitergeben, wenn die Rahmenbedingungen dies erlauben, und tragen so zur Verwertung der Inhalte bei. Eine Übersicht der durchgeführten Transfermaßnahmen ist in Tabelle 11 zu finden:

Tabelle 11:: Während der Projektlaufzeit geplante & durchgeführte Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Ort / Rahmen	Zeitraum (Plan)	Status
Vorstellung bei der Convention on Digital Opportunities (CDO)	Bekanntmachen des Projekts und der Ergebnisse besonders in der Praxis	Aachen, FIR	November 2019	vorgestellt - 11.-12.11.2019 - 12.-13.11.2020
Laufende Vorstellung der Ergebnisse bei fünf PA-Treffen	Bekanntmachen des Projekts und der Ergebnisse besonders in der Praxis	Aachen, FIR	Gesamte Projektlaufzeit	durchgeführte Sitzungen - 17.10.2019 - 03.03.2020 - 17.11.2020 - 25.05.2021 Es wurde wg. Corona eine Sitzung weniger durchgeführt, dafür ergab sich durch die Möglichkeit zur digitalen Teilnahme eine erhöhte Teilnehmerzahl
Vorstellung beim CPS.Hub NRW	Bekanntmachen des Projekts und der Ergebnisse in der Praxis	Fachgruppentreffen CPS in der Produktionspraxis	2018 / 2019	Zum Zeitpunkt im Projekt, in dem die ersten Ergebnisse zur Vorstellung vorlagen, war die Teilnahme an den Treffen nicht mehr möglich.
Präsenz im Internet	Bekanntmachen der Ergebnisse und Termine	Projekt-Webseite; FIR-Webseite; Projektblog; Twitter	Gesamte Projektlaufzeit	Projekt-Website wurde eingerichtet (Link), Publikation in Newslettern des FIR und auf LinkedIn
Presse-/ Öffentlichkeitsarbeit	Bekanntmachen des Projekts und der Ergebnisse	Pressemitteilungen über den IDW – Informationsdienst Wissenschaft	laufend	Projektstart, Veranstaltungen, Projektende
Vorstellung bei VDMA-Veranstaltungen	Verbreitung und Diskussion der Ergebnisse in der Praxis	Vorstellung bei zwei VDMA-Veranstaltungen	2018/2019	Eine Vorstellung der Ergebnisse war durch Corona in der geplanten Form nicht möglich. Die Inhalte wurden zusätzlich auf dem

				„Roundtable Information Managers“ des FIR vorgestellt. - 03.06.2019 - 16.12.2020
Vorstellung auf Konferenzen	Verbreitung und Diskussion der Ergebnisse in der wissenschaftlichen Community	Vorstellung auf zwei Konferenzen, z. B. APMS, Pro-VE	2018/2019	- Pro-VE 2020 (14.-16.09.2020); Link - Pro-VE 2021 (22.-24.11.2021); Link
Veröffentlichung von Ergebnissen in wissenschaftlichen Medien	Integration der Ergebnisse in den Status quo der Forschung; Diskussion der Ergebnisse	Veröffentlichung in mind. einer wissenschaftlichen Zeitschrift, z. B. Journal of Information Technology	2018/2019	Durch die pandemiebedingte Projektverzögerung war die Erstellung eines weiteren wissenschaftlichen Beitrags nicht möglich
Veröffentlichung der Projektergebnisse mit Fokus auf die Praxis	Verbreitung der Ergebnisse und Integration der Ergebnisse in die Unternehmenspraxis	Veröffentlichungen in mind. zwei praxisorientierten Zeitschriften, z. B. IT&Production, Business & IT	2018/2019	Erstellung von zwei Beiträgen in der Zeitschrift UdZ „Unternehmen der Zukunft“ - Ausgabe 2021/1: Link
Integration in die universitäre Lehre	Seminar- und Abschlussarbeiten zum Thema „IT-OT-Integration“, Einbindung in die Vorlesung Produktionsmanagement II	RWTH Aachen	2018/2019	2020/ 2021 Internationale Abschlussarbeit: „Development of a profile-based methodology for IT - OT Integration Assessment in Manufacturing“ Einbindung in die Vorlesung Produktionsmanagement II
Einsatz der Methodik im Projekt Digital in NRW	Einsatz in Potentialworkshops und Gestaltungsworkshops	NRW	2018/2019	Schulung der Mitarbeiter aus dem „Digital in NRW“-Team des FIR in der Anwendung der ‚MarryIT‘-Methode. Nennung und selektiver Einsatz bei den Unternehmen.

Die Erkenntnisse aus dem Projekt waren für die Mitglieder des pbAs äußerst hilfreich. So kann das *Industrie 4.0 Maturity Center* in Absprache mit dem *Center Smart Services* die

Nutzenpotenziale für seine Angebote weiterverwenden, die als Ergebnis der Geschäftsmodellentwicklung verstanden werden können. Darüber hinaus konnten die Ergebnisse in die Entwicklung unterschiedlicher Kursangebote einfließen. Die Entwicklung des Projekts und dessen finale Ergebnisse wurden auf der CDO Aachen 2021 vorgestellt. Eine Vorstellung im Rahmen der Hannover Messe für 2022 ist ebenfalls geplant. Die Teilnahme an anderen Messen wurde zurückgestellt.

Tabelle 4: Nach Ablauf des Projekts geplante Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Zeitraum	Status
Kooperation mit dem Center Smart Services	Entwicklung neuer Geschäftsmodelle aus den Projektergebnissen.	Aachen, FIR	Nach Projektabschluss	Die Ergebnisse können in der Zusammenarbeit mit dem <i>Industrie 4.0 Maturity Center</i> eingesetzt werden. Eine Geschäftsmodellentwicklung in Zusammenarbeit mit dem Center Smart Services wird daher vorerst nicht angestoßen
Fortbildungsangebote im Rahmen des FIR-Zertifikatskurses „Chief Information Manager“	Überführung der Projektergebnisse in das Schulungskonzept zur Qualifizierung von Mitarbeitern aus KMU	Aachen, FIR	Konzeption während der Projektlaufzeit; Durchführung nach Ende der Projektlaufzeit	Übertragung der Erkenntnisse in das Webformat „Bausteine der digitalen Transformation“ um ein kostenloses Format bereitzustellen. Dieses Format ersetzt den Kurs „Chief Information Manager“. Für die Anwendung wurde ein Workshopkonzept (analog und Remote) innerhalb der Demonstrationsfabrik entwickelt und auf dem Abschlusstreffen am 29.05.2021 vorgestellt. Siehe Anhang D.9 Einbringung der Erkenntnisse in den Zertifikatskurs „Digital Transformation Expert“; Link

Integration der Ergebnisse in die universitäre Lehre	Verbreitung der Ergebnisse und Einbindung in die Ausbildung; Integration in die wissenschaftliche Diskussion	Vorlesung „Industrielle Logistik“ von Prof. Stich an der RWTH Aachen	Ab 2021	Integration der Inhalte in die Vorlesung „Industrielle Logistik“ und in die Vorlesung „Produktionsmanagement II“ von Dr.-Ing. Michael Riesener
Vorstellung der Ergebnisse auf Fachtagungen und Fachmessen	Weitere Verbreitung der entwickelten Vorgehensweise und Werkzeuge	Deutschlandweit	Nach Projektabschluss	<ul style="list-style-type: none"> - Vorstellung auf der CDO 2022 – 17.11.2021 - Teilnahme an Messen wurde aufgrund der Pandemie zurückgestellt - Teilnahme an Hannover Messe 2022 geplant
Publikation der Projektergebnisse im Internet und in Fachmagazinen und/oder Studien / Schlussbericht und/oder Dissertationen	Verbreitung der Ergebnisse innerhalb der relevanten Zielgruppe	deutschlandweit	nach Projektabschluss	<p>Beitrag zur Vorstellung der Methodik in MM Maschinenmarkt eingereicht → 11.01.2022 (Link)</p> <p>Veröffentlichung in FIR-Zeitschrift „UdZ“: Ausgabe 1/2021 (Link) und Ausgabe 3/2021 (Link)</p>
Veröffentlichung des Leitfadens zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methode	Verbreitung der Ergebnisse innerhalb der relevanten Zielgruppe	deutschlandweit	nach Projektabschluss	Veröffentlichung auf Projektwebsite am 10.12.2021 (Link)

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Forschungsprojekt „MarryIT – IT-OT-Integration bei produzierenden KMU“ hatte zum Ziel, eine Methodik zu entwickeln, die es KMU ermöglicht, gezielt und ressourceneffizient Industrie-4.0-Anwendungsfälle im Rahmen von IT-OT-Integration umzusetzen. Das Projekt begann am 01.08.2019.

Zunächst wurde gemeinsam mit dem projektbegleitenden Ausschuss und auf Basis einer Literaturrecherche sowie der Einschätzung externer Experten eine Liste von Nutzenpotenzialen erarbeitet. Auf deren Basis wurden Anforderungen abgeleitet und in einer Morphologie zusammengeführt. Im nächsten Schritt wurde im Rahmen einer Markt- und Literaturrecherche sowie anhand der gesammelten Anforderungen ein IT-OT-Integrationssteckbrief aufgebaut. Der Steckbrief gliedert sich in OT-Systeme, Schnittstellen

und IT-Systeme. Die Erkenntnisse wurde mit dem pbA im Rahmen der Treffen und in Expertengesprächen abgeglichen. Anschließend wurden die gesammelten Nutzenpotenziale in die aufgebauten Integrationssteckbriefe eingeordnet. Diese wurden analysiert und mit den Mitgliedern des pbA abgeglichen und weiterentwickelt. Auf Basis der Erkenntnisse wurde ein Algorithmus entwickelt, mithilfe dessen der Aufwand für die Umsetzung eines Nutzenpotenzials abgeschätzt werden kann. Des Weiteren wurden gemeinsam mit den pbA-Mitgliedern Handlungsempfehlungen entwickelt, die zur Realisierung eines Nutzenpotenzials notwendig sind; diese wurden in einem Entscheidungsmodell zusammengefasst.

Die erarbeiteten Erkenntnisse wurden daraufhin bei drei Mitgliedern des pbAs angewendet. Durch die Einflüsse der Corona-Pandemie fand die Anwendung nur virtuell statt, erwies sich jedoch als sehr erfolgreich, da die Unternehmen gezwungen waren, die Methodik ohne die Unterstützung des FIR anzuwenden. Das erarbeitete Vorgehen erwies sich als sehr erfolgreich. Die Ergebnisse wurden im Rahmen des pbAs diskutiert und zur Verbesserung der Methodik herangezogen. Die für die Methodik erarbeiteten Inhalte wurden anschließend KMU-gerecht gestaltet und in einem Leitfaden zusammengefasst. Neben dem schriftlichen Leitfaden wurde eine mobile Anwendung entwickelt, die die Anwendung der ‚MarryIT‘-Methodik digital unterstützt. Sie begleitet die Anwender:innen durch jeden Schritt des Vorgehens. Sie erfreute sich großer Beliebtheit bei den Mitgliedern des pbAs und darüber hinaus, da sie die Aufnahme und die Auswertung der Steckbriefe erheblich erleichtert.

Aufgrund der positiven Resonanz der Ergebnisse des Projekts könnte eine Erweiterung der Methodik auf andere Bereiche im Unternehmen herangezogen werden. Beispielweise könnte der Bereich der technischen Gebäudeausstattung in Zukunft mit einbezogen werden. Die Inhalte könnten als Standard für die Fabrikplanung herangezogen werden, um eine möglichst hohe Integrationsfähigkeit seitens der Infrastruktur des Unternehmens sicherzustellen.

7 Literaturverzeichnis

- AGARWAL, N.; BREM, A.: Strategic business transformation through technology convergence. Implications from General Electric's industrial internet initiative. In: International Journal of Technology Management 67 (2015) 2/3/4, S. 196 – 214.
- BISCHOFF, J.; TAPHORN, C.; WOLTER, D.; BRAUN, N.; FELLBAUM, M.; GOLOVEROV, A.; LUDWIG, S.; HEGMANN, T.; PRASSE, C.; HENKE, M.; HOMPEL, M. TEN; DÖBBELER, F.; FUSS, E.; KIRSCH, C.; MÄTTIG, B.; BRAUN, S.; GUTH, M.; KASPERS, M.; SCHEFFLER, D.: Erschließen der Potenziale der Anwendung von 'Industrie 4.0' im Mittelstand. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Mülheim an der Ruhr, Juni 2015. https://www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Publikationen/Wertsch%C3%B6pfungskette-Erschlie%C3%9Fen-der-Potenziale.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- BITKOM; ZVEI; VDMA (HRSG.): Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. Berlin, April 2015. https://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/Industrie_4.0/2015-04-10_Umsetzungsstrategie_Industrie_4.0_Plattform_Industrie_4.0.pdf (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- BLOEM, J.; VAN DOORN, M.; DUIVESTIEN, S.; EXCOFFIER, D.; MAAS, R.; VAN OMMEREN, E.: The Fourth Industrial Revolution. VINT research report 3 of 4. Sogeti, Paris 2014. <https://www.sogeti.com/globalassets/global/special/sogeti-things3en.pdf> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS (HRSG.): [Definition] Potential. Cambridge English Dictionary online, Januar 2023. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/potential> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- GOTO, S.; YOSHIE, O.; FUJIMURA, S.: Industrial IoT Business Workshop on Smart Connected Application Development for Operational Technology (OT) System Integrator. 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore, 10. – 13.12.2017. IEEE, Piscataway (NJ) 2017, S. 125 – 129. DOI: 10.1109/IEEM.2017.8289864
- HENKE, N.; BUGHIN, J.; CHUI, M.; MANYIKA, J.; SALEH, T.; WISEMAN, B.; SETHUPATHY, G.: The age of analytics. Competing in a data-driven world. McKinsey online, 07.12.2016. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-age-of-analytics-competing-in-a-data-driven-world> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- ISO 21823-1: Internet of things (IoT) – Interoperability for iot systems. ISO/IEC 21823-1:2019(E), Genf, Januar 2019.
- IIC (HRSG.): The Industrial Internet of Things. Volume G1: Reference Architecture. Version 1.9, 19.06.2019. <https://www.iiconsortium.org/pdf/IIRA-v1.9.pdf> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- ISO/IEC 7498-1:1994-11: Informationstechnik – Kommunikation Offener Systeme – Basis-Referenzmodell. Beuth, Berlin, November 1994.
- ISO/IEC 30141: Internet of Things (IoT) – Reference architecture. ISO, Genf, August 2018.

- KART, L.; LINDEN, A.; SCHULTE, R.: Extend Your Portfolio of Analytics Capabilities. Gartner Research online, 23.09.2013. <https://www.gartner.com/en/documents/2594822> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- KLEINEMEIER, M.: Von der Automatisierungspyramide zu Unternehmenssteuerungs-Netzwerken. In: Handbuch Industrie 4.0; Bd. 1: Produktion. Hrsg.: B. Vogel-Heuser; T. Bauernhansl; M. ten Hompel. 2., erw. u. bearb. Auflage. Springer Vieweg, Berlin [u. a.] 2017, S. 219 – 226.
- KUUSK, A. G.; GAO, J.: Consolidating People, Process and Technology to Bridge the Great Wall of Operational and Information Technologies. In: Engineering asset management 2013. Proceedings of the 8th world congress. Hrsg.: P. W. Tse; J. Mathew; K. Wong; R. Lam; C. Ko. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham [u. a.] 2014, S. 1715 – 1726.
- LECHLER, A.; SCHLECHTENDAHL, J.: Steuerung aus der Cloud. In: Handbuch Industrie 4.0; Bd. 1: Produktion. Hrsg.: B. Vogel-Heuser; T. Bauernhansl; M. ten Hompel. 2., erw. u. bearb. Auflage. Springer Vieweg, Berlin [u. a.] 2017, S. 61 – 74.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A.: A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. In: Manufacturing Letters 3 (2015) 1, S. 18 – 23.
- MEHTA, R.: Why Industrial IoT platform is best hope for IT and OT convergence. CIO online, 31.08.2015. <https://www.cio.com/article/244982/why-industrial-iot-platform-is-best-hope-for-it-and-ot-convergence.html> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- NORONHA, A.; MORIARTY, R.; O'CONNELL, K.; VILLA, N.: Attaining IoT Value: How To Move from Connecting Things to Capturing Insights. Gain an Edge by Taking Analytics to the Edge. Cisco, San Jose (CA) [u. a.] 2014. https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/pdfs/iot-data-analytics-white-paper.PDF (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- PELINO, M.; HEWITT, A.: The Forrester Wave™: IoT Software Platforms, Q4 2016. The 11 Providers That Matter Most And How They Stack Up. Forrester Research online, 15.11.2016. <https://www.forrester.com/report/the-forrester-wave-iot-software-platforms-q4-2016/RES136087> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- SAAM, M.; VIETE, S.; SCHIEL, S.: Digitalisierung im Mittelstand. Status Quo, aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen. Forschungsprojekt im Auftrag der KfW Bankengruppe. Mannheim, 18. August 2016. ZEW-Gutachten und Forschungsberichte. Frankfurt 2016. <http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Digitalisierung-im-Mittelstand.pdf> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- SCHLICK, J.; STEPHAN, P.; LOSKYLL, M.; LAPPE, D.: Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: Handbuch Industrie 4.0; Bd. 2: Automatisierung. Hrsg.: B. Vogel-Heuser; T. Bauernhansl; M. ten Hompel. 2., erw. u. bearb. Auflage. Springer Vieweg, Berlin [u. a.] 2017, S. 3 – 29.
- SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; HOMPEL, M. TEN; WAHLSTER, W.: Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies. Utz, München, 25. April 2017. <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-managing-the-digital-transformation-of-companies/download-pdf?lang=en> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)

- SCHUH, G.; HICKING, J.; JORDAN, F.; STROH, M.-F.; SAß, S.-A.: Strategic target system to select digitalization measures in manufacturing companies. In: Boosting Collaborative Networks 4.0. 21st IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2020, Valencia, Spain, November 23–25, 2020, Proceedings. Hrsg.: L. M. Camarinha-Matos; H. Afsarmanesh; A. Ortiz. IFIP Advances in Information and Communication Technology (IFIPAICT); Vol. 598. Springer, Cham [u. a.] 2020, S. 227 – 237.
- SCHUH, G.; KREUTZER, R.: Methodology to Assess the Utility Potentials of Cyber-Physical Systems' Field Data. A Literature Review and Rough Solution Concept. In: International Journal of Emerging Engineering Research and Technology 5 (2017) 12, S. 1 – 10.
- Schuh, G.; Salmen, M.; Jussen, P.; Riesener, M.; Zeller, V.; Hensen, T.; Begovic, A.; Birkmeier, M.; Hocken, C.; Jordan, F.; Kantelberg, J.; Kelzenberg, C.; Kolz, D.; Maasem, C.; Siegers, J.; Stark, M.; Tönnies, C.: Geschäftsmodell-Innovation. In: Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Teil A: Prozesse der Smart Factory. Hrsg.: G. Reinhart. Hanser, München [u. a.] 2017, S. 3 – 30.
- URBACH, N.; AHLEMANN, F.: Die IT-Organisation im Wandel. Implikationen der Digitalisierung für das IT-Management. In: HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik 54 (2017) 3, S. 300 – 312.
- WEBER, H.; VIEHMANN, J.: Unternehmens-IT für die Digitalisierung 4.0. Herausforderungen, Lösungsansätze und Leitfäden. Springer, Wiesbaden [u. a.] 2017.
- WISCHMANN, S.; WANGLER, L.; BOTTHOF, A.: Industrie 4.0. Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin, März 2015. <https://vdivde-it.de/system/files/pdfs/industrie-4.0-volks-und-betriebswirtschaftliche-faktoren-fuer-den-standort-deutschland.pdf> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)
- WORLD ECONOMIC FORUM (WEF) (HRSG.): Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution. In collaboration with McKinsey & Company. White Paper. Genf, Dezember 2019. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Lighthouse_Network.pdf (Link zuletzt geprüft: 28.01.2023)

D Anhang

D.1 Liste und Beschreibung der Nutzenpotenziale

Nr.	Nutzenpotenziale	Beschreibung	Wirtschaftlichkeit	Qualität	Geschwindigkeit	Variabilität
1	Ableitung der realen Prozesskosten basierend auf Daten	Erfassung der Maschinenzeiten (Bearbeitungs-, Wartungs-, Wartezeit etc.) durch OT-System, Übermittlung an IT-System, Berechnung der aktuellen Kosten und Speichern der Daten im IT-System	X			
2	Adaptive Anpassung der Produktionslinie bei Störungen / Fehlern	Erfassung von Störungen durch OT-System, Übermittlung der Störung an IT-System und Ermitteln der optimalen Antwort auf diesen Störfall			X	
3	Automatische Konfiguration (Einstellung) der Produktionsanlage basierend auf den Auftragsdaten	Diese Maßnahme dient der automatischen Einstellung der Maschine auf den Auftrag. Abruf der Auftragsdaten aus dem IT-System durch das OT-System, anhand der Auftragsdaten erfolgt eine Optimierung der Maschineneinstellung und dadurch eine automatische Konfiguration der Produktionsanlagen.		X	X	
4	Automatische Qualitätsauswertung durch Data-Analytics / Machine Learning	Aufnahme von Produktdaten durch OT-System (z. B. Fotos), Übermittlung an IT-System, Auswertung der Daten mittels Data-Analytics, Ermittlung des Produktzustands (i. O. vs. n. i. O.) und Darstellung des Zustands sowie möglicher Fehler / Abweichungen		X	X	
5	Automatische Qualitätsdokumentation im Prozess	Automatische Erfassung der Produkt- und Produktionsdaten durch OT-System, Bereitstellung der Daten an IT-System und Speichern der Daten im ERP		X		
6	Automatische Sammlung der Produktions-KPIs	Umfassende Datenaufnahme an der Maschine und Erfassung durch OT-System, Bereitstellung der Daten an IT-System, Berechnung der relevanten Kennzahlen durch das IT-System			X	
7	Digitale Aufnahme der Ist-Zeiten der Auftragsdurchführung	Aufnahme der Ist-Bearbeitungszeiten an der Maschine, Übermittlung an IT-System und Speichern der Daten in ERP	X		X	
8	Digitale Mitarbeiterführung durch den Produktionsprozess	Hinterlegen der notwendigen Arbeitsschritte im IT-System und Darstellung beim Mitarbeiter (z. B. mittels AR-Brille). Aufnahme der Prozessdaten		X	X	X

		des Mitarbeiters durch OT-System, Vergleich mit notwendigen Arbeitsschritten und Führung durch den Prozess durch IT-System				
9	Digitales Assettracking	Verfolgung eines Assets innerhalb der Produktion. Erfassung der Daten durch OT-System, Bereitstellung der Daten an IT-System und Abgleich mit den Soll-Daten	X		X	
10	Digitales Auftragstracking	Verfolgung eines Auftrags entlang der Produktionslinie. Erfassung der Daten durch OT-System, Bereitstellung der Daten an IT-System und Abgleich mit den Soll-Daten	X	X	X	
11	Digitales Materialtracking	Verfolgung der Materialherkunft / des Zulieferers und der entsprechenden Charge sowie Tracking der Standortdaten des Materials entlang der Produktionslinie. Erfassung der Daten durch OT-System, Bereitstellung der Daten an IT-System und Abgleich mit den Soll-Daten	X		X	
12	Dynamische Preisgestaltung der Produktion durch Informationen über Kapazitäten, Nachfrage und Stillstände	Erfassung der Kapazitäten und Stillstände durch OT-System, Übermittlung an IT-System, Abgleich mit Maschinennachfrage bzw. Produktionsplanung, Berechnung der zukünftigen Auslastung, Berechnung des Preises anhand der Auslastung und Übermittlung an Vertrieb	X			X
13	Energiemanagement durch den Einsatz von Data-Analytics	Aufnahme des Energieverbrauchs und der Prozessdaten der Maschine durch OT-System, Übermittlung an IT-System, Abgleich mit historischen Daten, Ermittlung möglicher Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs und Übermittlung der Maßnahmen an OT-System	X			X
14	Erstellung eines zentralen Data-Lakes für alle Datenquellen	IT-System sammelt alle vom OT-System erfassten Daten sowie die Analyseergebnisse des IT-Systems (z. B. digitaler Schatten, Predictive Maintenance). Mittels Preprocessing werden die Daten zugeordnet und bereinigt. Anschließend erfolgt die Speicherung in einem zentralen Data-Lake.		X		X
15	Nahtloser Übergang zwischen den Systemen der Entwicklung, Produktion und Vertrieb durch digitale Integration (keine Medienbrüche)	Digitale Integration der verschiedenen Datenquellen mittels Middleware, sodass Daten unternehmensübergreifend genutzt werden können. Datenaufnahme der Produktion erfolgt in OT-Systemen und Datenaufnahme der Entwicklung und des Vertriebs in IT-Systemen. Die aufgenommenen Daten werden über		X	X	

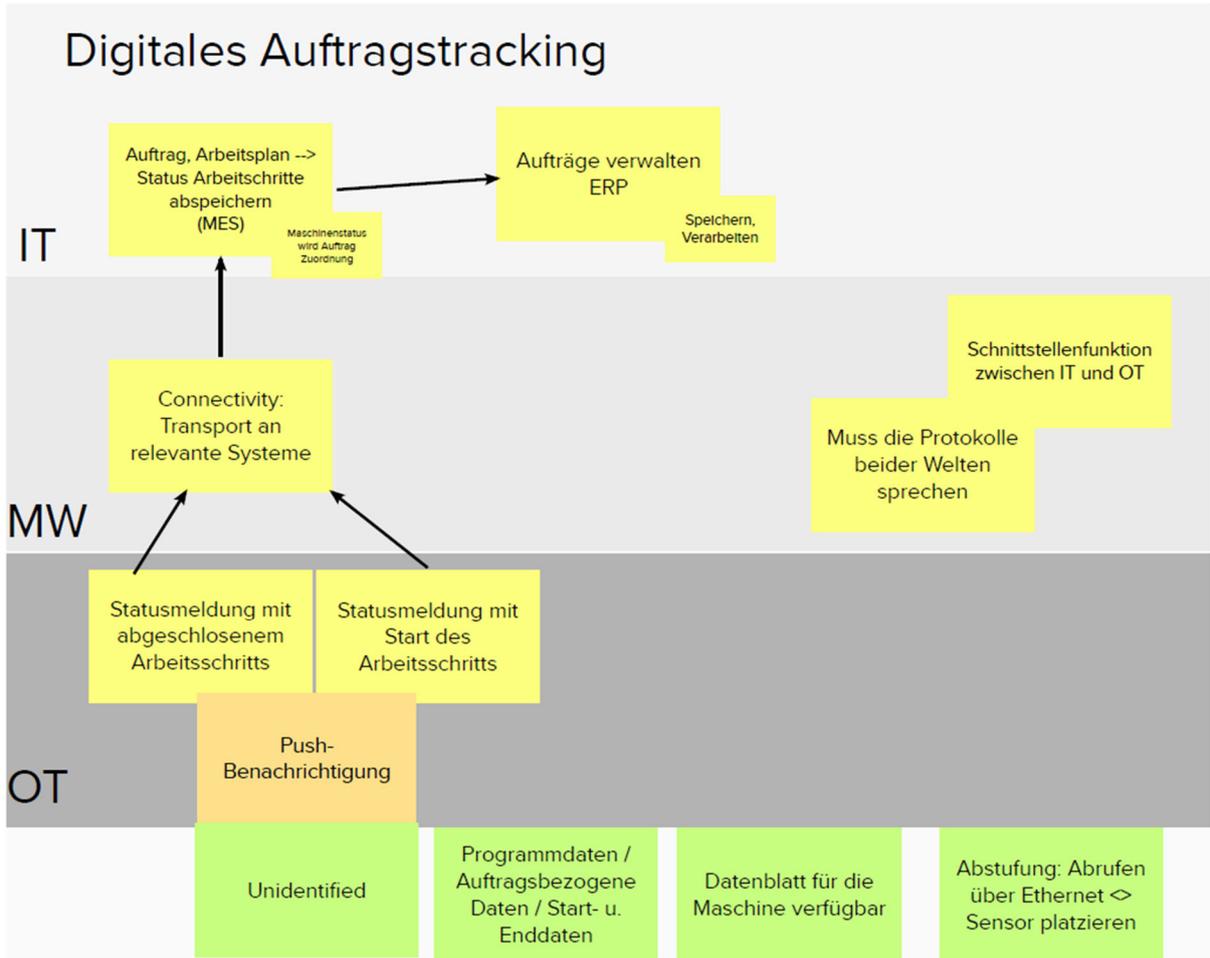
		Schnittstellen an das jeweils andere System übertragen.				
16	Optimierung der Durchlaufzeiten	Optimierung der Durchlaufzeiten durch eine Optimierung der Auslastung. Berechnung der optimalen Auslastung durch IT-System, Speicherung der Ergebnisse in den Betriebsdaten und Übermittlung an das OT-System/Planungssystem. Anpassung der Produktionsplanung entsprechend der optimalen Auslastung durch OT-System	X		X	
17	Optimierung des Fertigungsprozesses durch Data-Analytics / Machine Learning	Dem IT-System wird ein digitaler Schatten einer Maschine bereitgestellt. Das System analysiert diesen und leitet konkrete Maßnahmen ab. Die Maßnahmen werden dem OT-System übermittelt und von diesem umgesetzt.		X		
18	Prädiktives Nachfrage- und Supply-Chain-Management	Erfassung des Materialverbrauchs und der Materialvorräte durch OT-System, Übermittlung an IT-System, Abgleich mit Produktionsplanung, Berechnung des zukünftigen Verbrauchs, Ableitung des Materialbedarfs und Ermittlung der benötigten Lieferzeiten sowie Bestellzeitpunkte			X	
19	Predictive Maintenance	Aus Abgleich von Sensordaten an der Maschine und historischen Daten sowie Herstellerangaben abgeleiteter Wartungszustand und Wartungsmaßnahmen. Predictive Maintenance baut auf Condition-Monitoring auf. Dabei nimmt das OT-System an der Maschine Sensordaten auf und stellt sie an das IT-System bereit. Das IT-System leitet den derzeitigen Maschinenzustand ab, sagt mögliche Wartungsfälle vorher und legt entsprechende Wartungsmaßnahmen fest.	X	X		
20	Produktionsprozess-Optimierung (Gesamter Prozess) durch Data-Analytics / Machine Learning	Dem IT-System wird basierend auf dem digitalen Schatten ein digitaler Zwilling der Produktion bereitgestellt. Das System analysiert diesen hinsichtlich potenzieller Fehler und leitet dadurch konkrete Optimierungsmaßnahmen ab. Die Maßnahmen werden dem OT-System übermittelt und von diesem umgesetzt.	X	X	X	
21	Realisierung des digitalen Schattens der Produktion	Umfassende Datenaufnahme aller OT-Systeme, Bereitstellung der Daten an ein IT-System, um ein Abbild der realen Produktion erstellen zu können.		X	X	
22	Realisierung eines Digital Twins	Der digitale Zwilling ist die umfassende Anwendung der aufgenommenen Daten		X	X	

		aus der Produktion oder einer Maschine zur Simulation und Weiterentwicklung der Produktion. Dabei erfolgt eine umfassende Datenaufnahme an der Maschine und Erfassung durch das OT-System, die Daten werden an ein IT-System bereitgestellt, wo diese zur Simulation und Weiterentwicklung der Produktion genutzt werden.				
23	Realisierung von Condition-Monitoring	Umfassende Datenaufnahme an der Maschine und Erfassung durch OT-System, Bereitstellung der Daten an IT-System und Echtzeit-Überwachung der Maschine durch das IT-System	X			
24	Realisierung von Process-Mining	Aufnahme der Prozesse durch OT-System, Übertragung an IT-System, detailgetreue Abbildung und Anreicherung der aufgenommenen Prozesse durch IT-System, Analyse der Prozesse durch Identifizieren von Abweichungen zu Soll-Prozessen, Aufzeigen von Handlungsempfehlungen	X	X	X	
25	Reduktion der Stillstandszeiten der Maschinen	IT-System legt anhand der Ergebnisse der Predictive Maintenance den Wartungstermin fest. OT-System plant den Wartungstermin in die Produktionsplanung mit ein.	X			X
26	Transparenz über Aufträge und deren Status in der Produktion	Verfolgung des Bearbeitungsstatus eines Auftrags sowie Status des Auftrags im Produktionsprozess. Erfassung der Daten in der Produktion durch OT-System, Bereitstellung an IT-System und Abgleich mit den Soll-Daten		X		

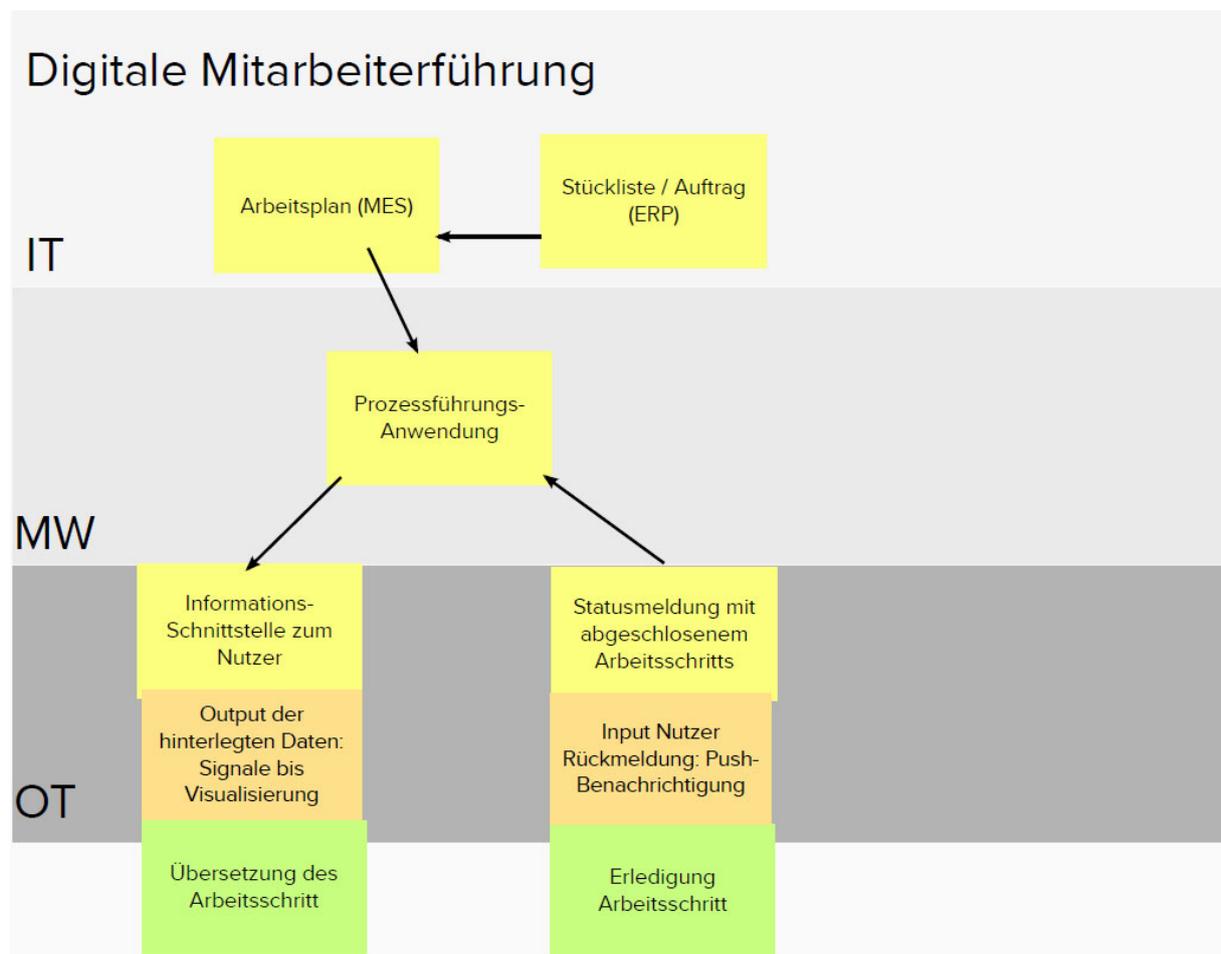
D.2 Anforderungssteckbriefe zu den Nutzenpotenzialen

D.2.1 Digitales Auftragstracking

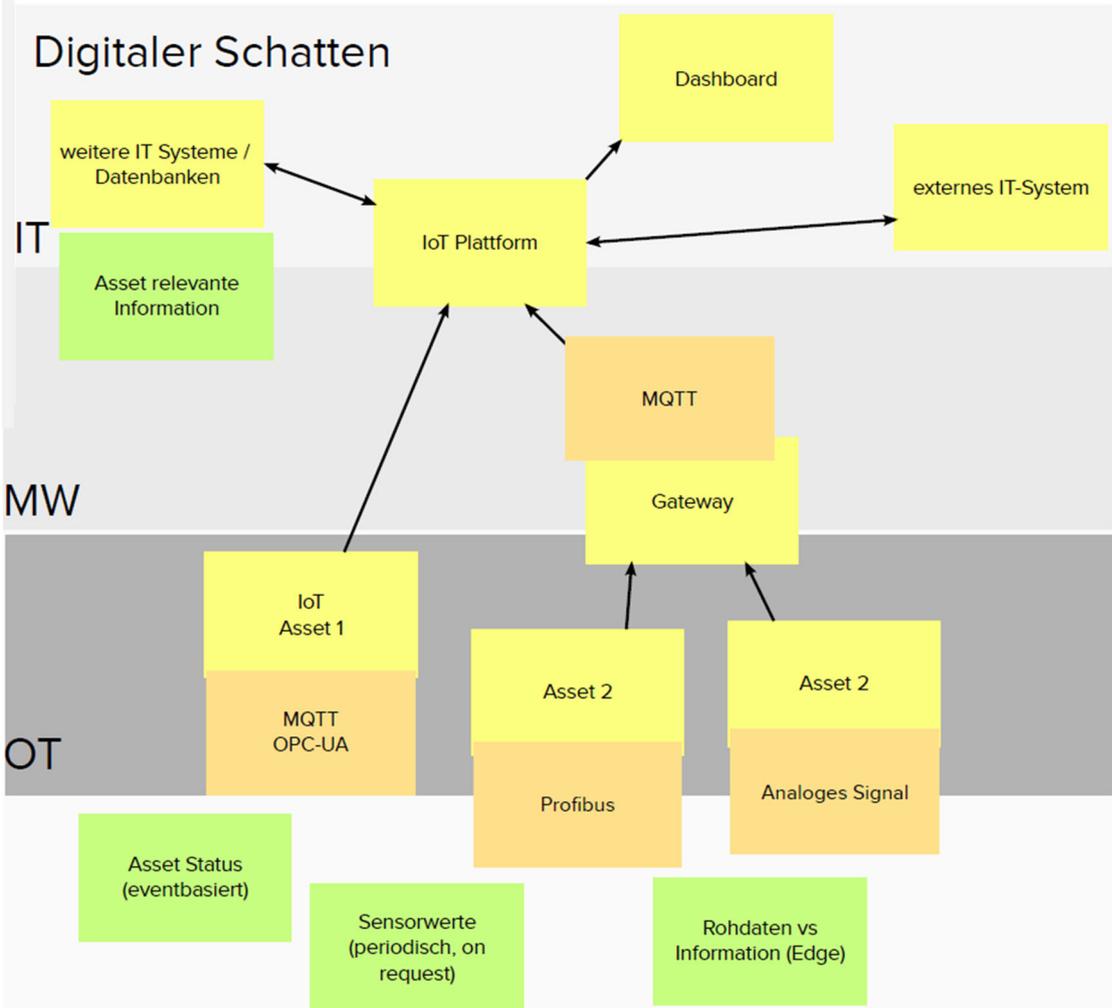
Digitales Auftragstracking



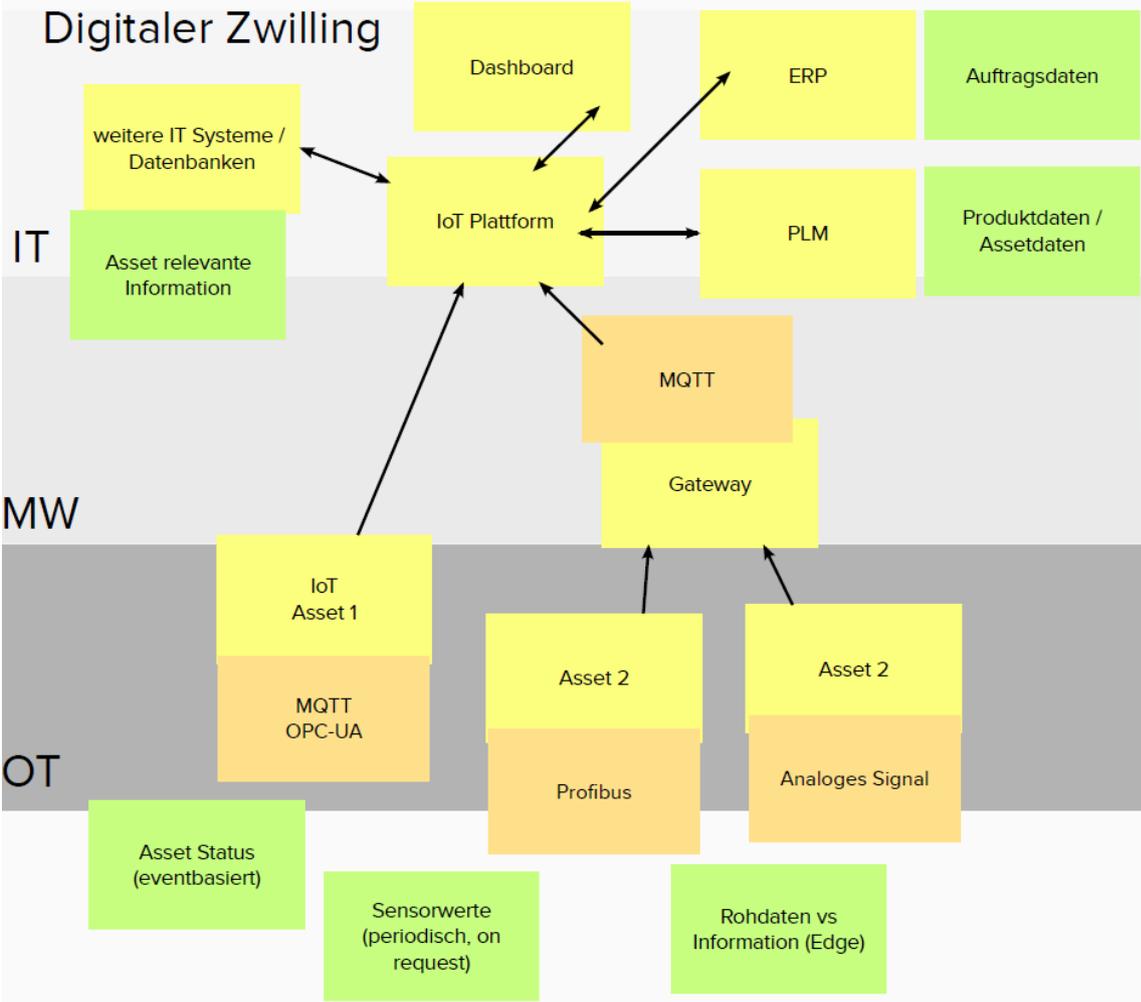
D.2.2 Digitale Mitarbeiterführung



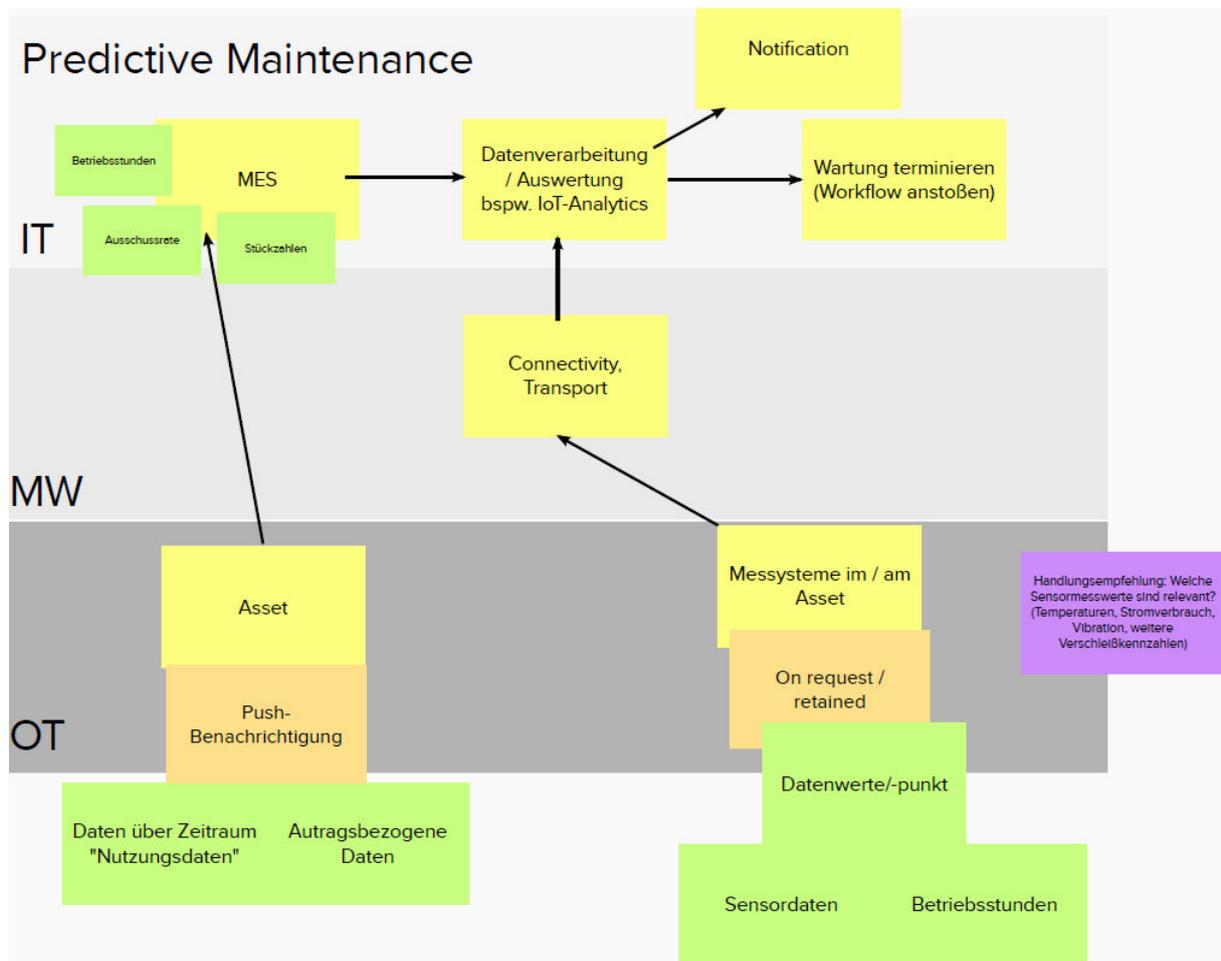
D.2.3 Digitaler Schatten



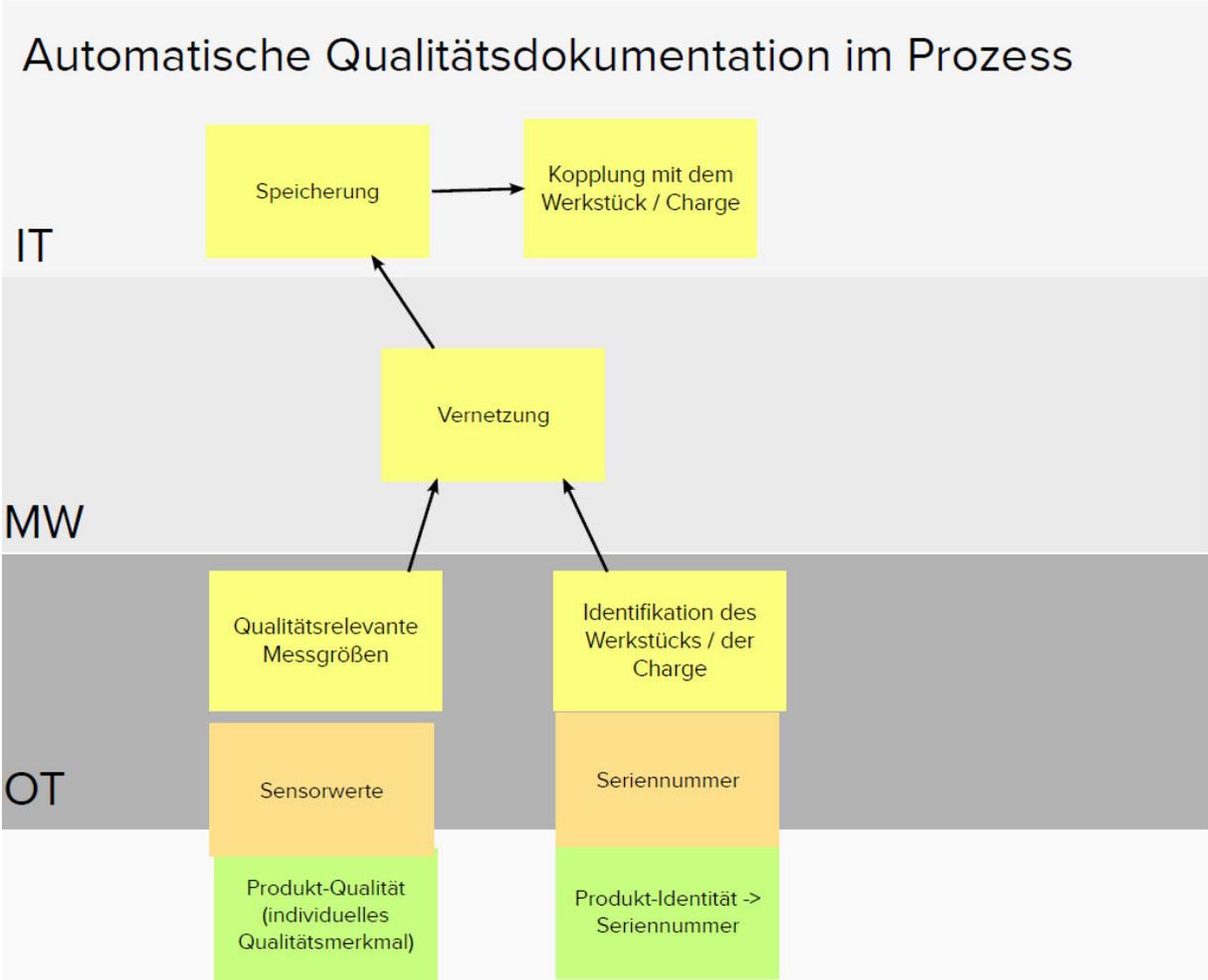
D.2.4 Digitaler Zwilling



D.2.5 Predictive Maintenance

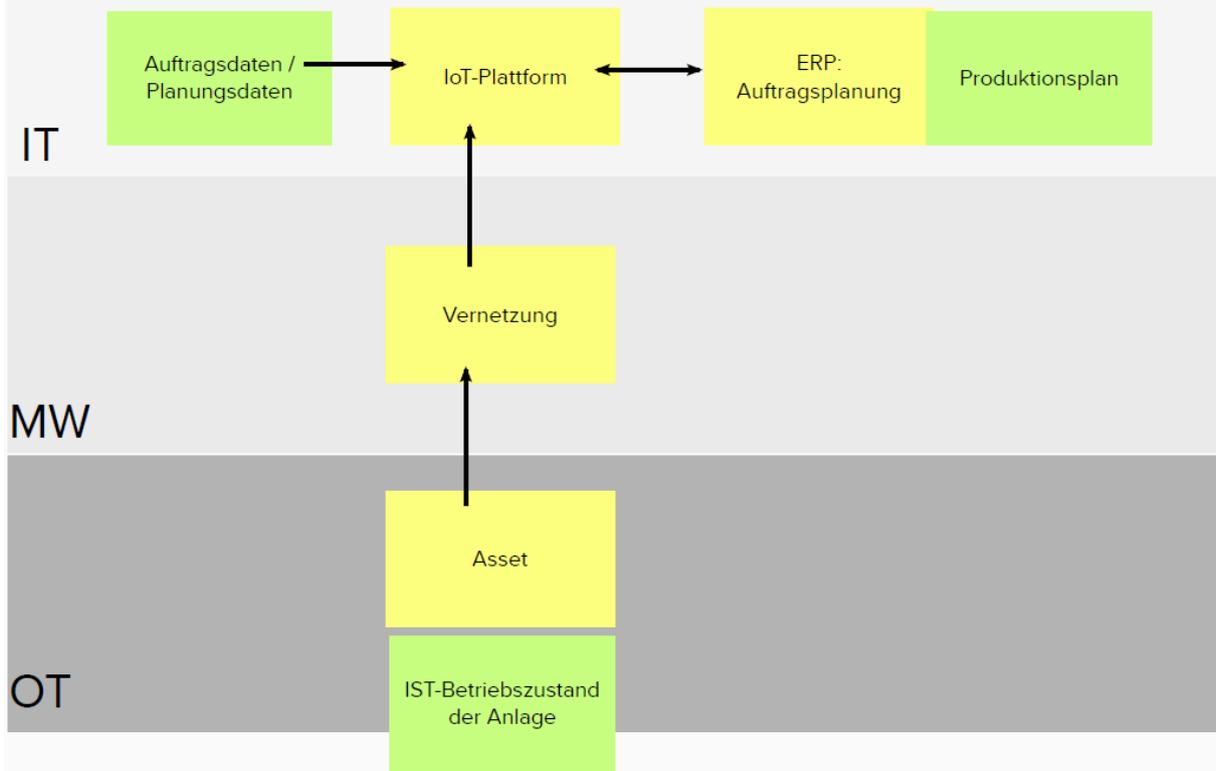


D.2.6 Automatische Qualitätsdokumentation im Prozess



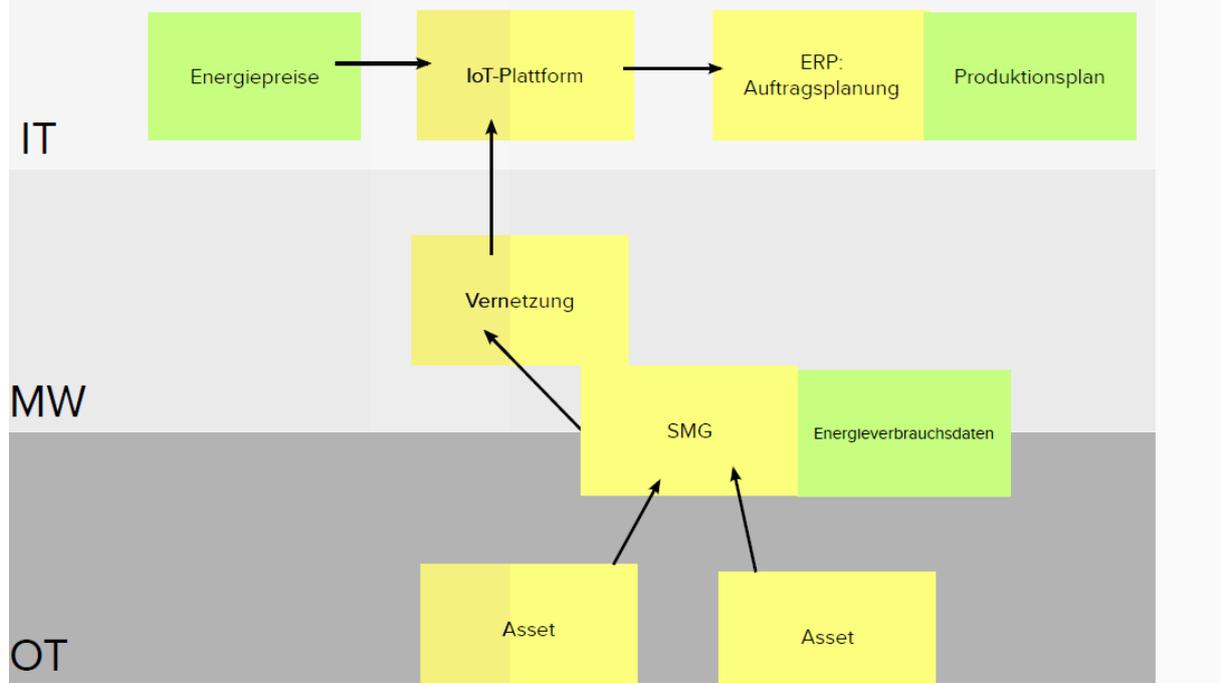
D.2.7 Dynamische Preisgestaltung in der Produktion

Dynamische Preisgestaltung der Produktion

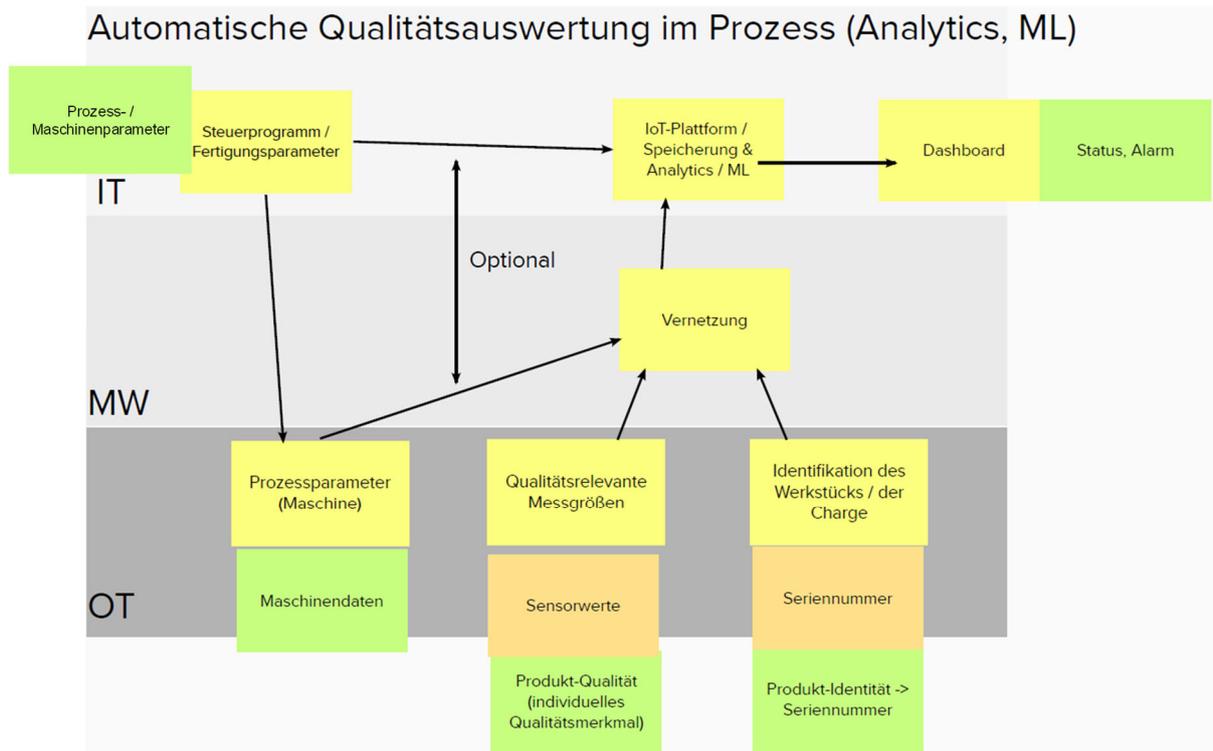


D.2.8 Energiemanagement in der Produktion durch Data Analytics

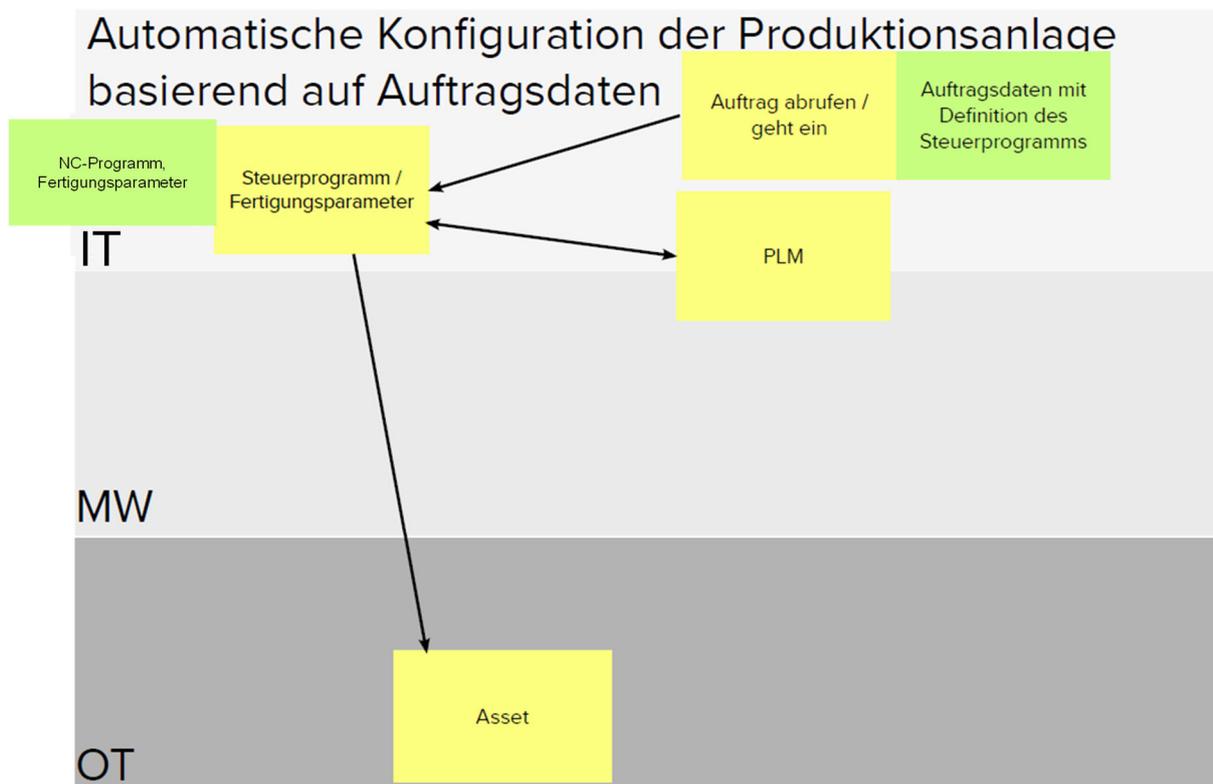
Energiemanagement in der Produktion durch Data-Analytics



D.2.9 Automatische Qualitätsauswertung im Prozess mittels Machine Learning und AI

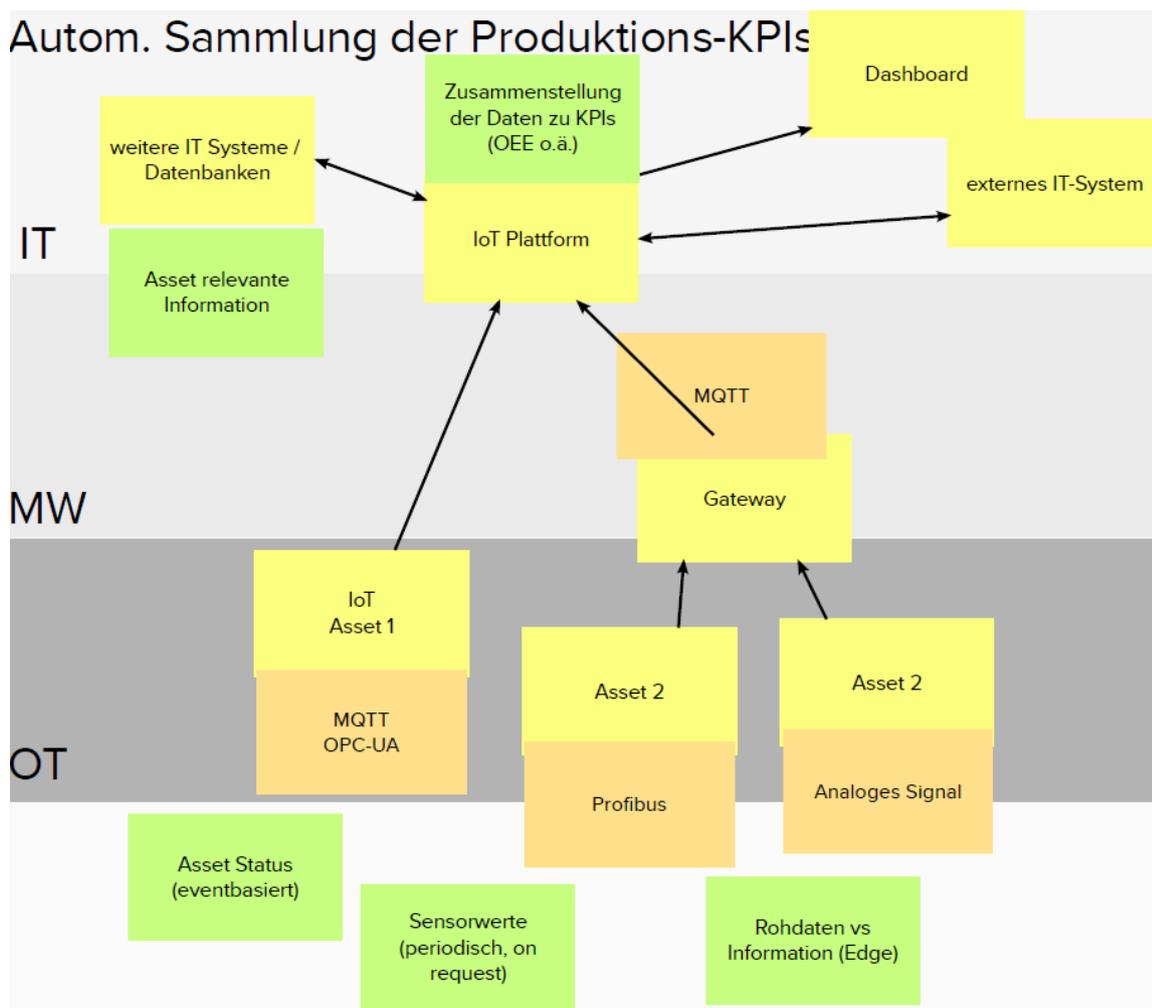


D.2.10 Automatische Konfiguration der Produktionsanlage basierend auf Auftragsdaten

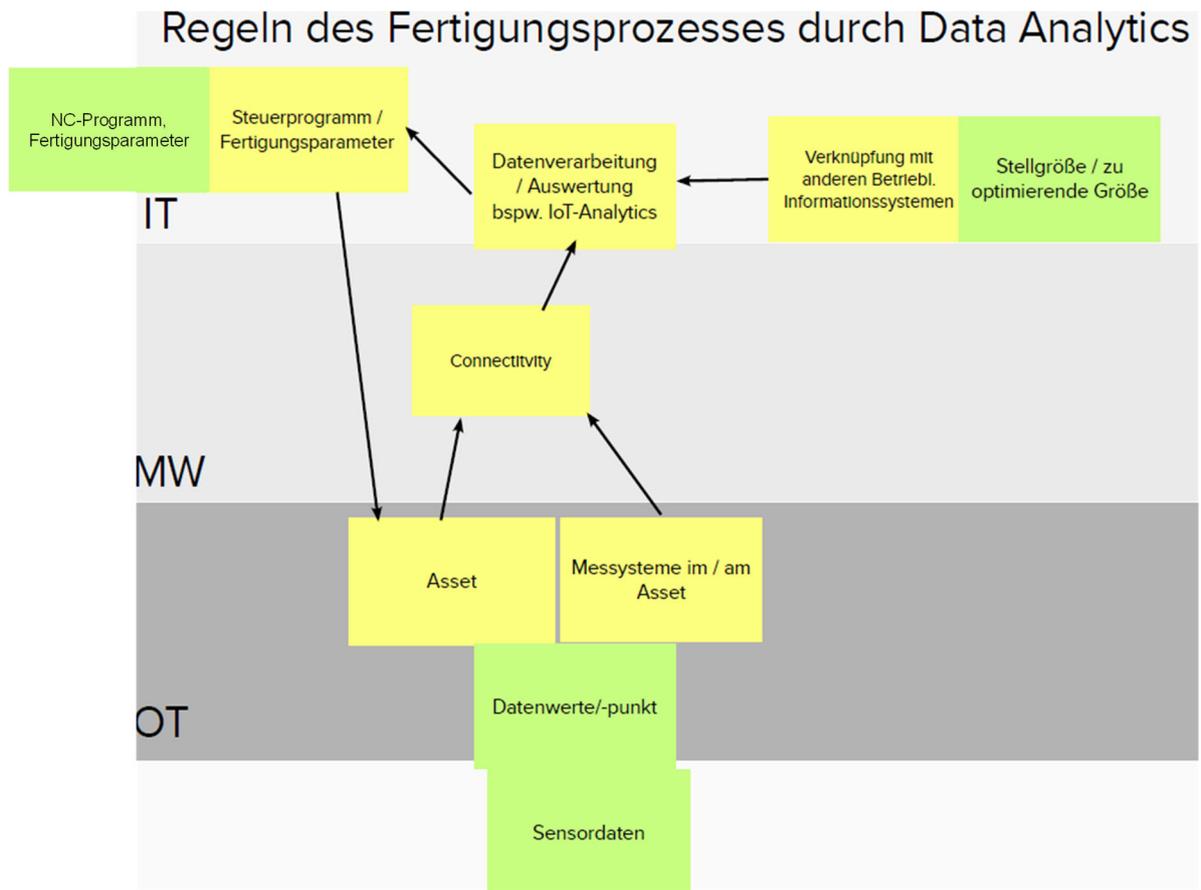


D.2.11 Automatische Sammlung der Produktions-KPIs

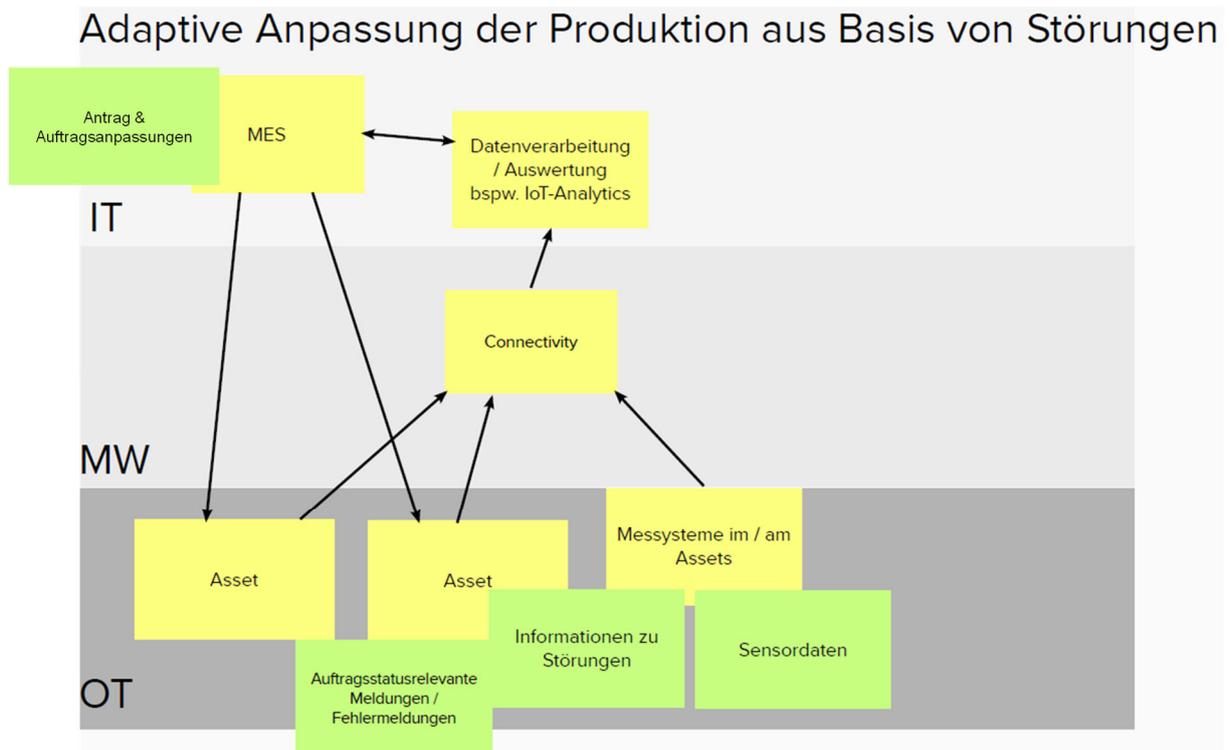
Autom. Sammlung der Produktions-KPIs



D.2.12 Regeln des Fertigungsprozesses durch Data-Analytics



D.2.13 Adaptive Anpassung der Produktion auf Basis von Störungen



D.3 Liste der gesammelten Anforderungen

Bedingung	Verbindlich-keiten	Identifizierung System	Funktionalität	Identifizierung Objekt	Identifizierung Funktionalität
Um die Datenerfassung aus einem OT-System zu ermöglichen	muss	ein IT-System	fähig sein,	basierend auf den Prozessdaten	einen Ist-Soll- Abgleich durchzuführen.
Um die Datenerfassung aus einem IT-System für den Endnutzer zu ermöglichen	muss	ein IT-System	fähig sein,	die Auftragsdaten	sichtbar darzustellen.
Für die Datenaufbereitung	muss	ein IT-System	fähig sein,	die Umgebungsdaten	transparent dazustellen und Diagnosen ergründbar machen.
Für die Datenveredelung	muss	ein IT-System	fähig sein,	eine Prognose	zu erstellen
Für die Datenvirtualisierung	muss	ein IT-System	die Möglichkeit zur	Adaption	bieten.
Für die Datenvirtualisierung	muss	ein IT-System	die Möglichkeit zur	Entscheidungs automatisierung	bieten.
Um Prozessdaten erfassen zu können,	muss	ein OT-System	fähig sein,	die Prozessdaten	in Echtzeit zu lesen.
Um Auftragsdaten erfassen zu können,	muss	ein OT-System	fähig sein,	die Auftragsdaten	ein Mal pro Tag schreiben zu können.
Um die Umgebungsdaten aufbereiten zu können,	muss	ein OT-System	fähig sein,	die Umgebungsdaten	ein Mal pro Stunde ausführen zu können.
Um Daten veredeln zu können,	muss	ein OT-System	fähig sein,	Daten	weniger als 1 Mal pro Stunde auf Request zu erheben.

Um Prozessdaten erfassen zu können,	muss	Eine Schnittstelle	einem OT-System die Möglichkeit bieten,	die Prozessdaten	an eine IoT-Plattform zu streamen.
Um Prozessdaten erfassen zu können,	muss	eine Schnittstelle	einem OT-System die Möglichkeit bieten,	geringe Datenmengen	übertragen zu können.
Um Prozessdaten erfassen zu können,	muss	eine Schnittstelle	die Möglichkeit bieten,	/	proprietär konfiguriert zu werden.
Um Auftragsdaten erfassen zu können,	muss	eine Schnittstelle	einem OT-System die Möglichkeit bieten,	die Auftragsdaten	in Form einer Datenbank an ein IT-System zu übergeben.
Um Auftragsdaten erfassen zu können,	muss	eine Schnittstelle	einem OT-System die Möglichkeit bieten,	eine mittlere Menge an Daten	übertragen zu können.
Um Auftragsdaten erfassen zu können,	muss	eine Schnittstelle	die Möglichkeit bieten,	/	programmierbar konfiguriert zu werden.
Um die Umgebungsdaten aufbereiten zu können,	muss	eine Schnittstelle	einem OT-System die Möglichkeit bieten,	die Umgebungsdaten	dateibasiert an ein IT-System zu übergeben.
Um die Umgebungsdaten aufbereiten zu können,	muss	eine Schnittstelle	einem OT-System die Möglichkeit bieten,	eine hohe Menge an Daten	übertragen zu können.

Um die Umgebungsdaten aufbereiten zu können,	muss	eine Schnittstelle	die Möglichkeit bieten,	/	mithilfe von Konfigurationsdateien konfiguriert zu werden.
Um Daten veredeln zu können,	muss	eine Schnittstelle	einem OT-System die Möglichkeit bieten,	manuell eingegebene Daten	an ein IT-System zu übertragen.
Um die Daten veredeln zu können,	muss	eine Schnittstelle	die Möglichkeit bieten,	/	mithilfe eines Low-Codes programmiert werden zu können.
Für die Datenvirtualisierung	muss	eine Schnittstelle	einem OT-System die Möglichkeit bieten,	simple Requests	an ein IT-System zu übertragen.
Um digitales Auftragstracking zu realisieren,	muss	das OT-System	fähig sein,	je eine Statusmeldung für den Start und das Ende eines Arbeitsschrittes	über eine Schnittstelle an das IT-System zu übertragen.
Um digitales Auftragstracking zu realisieren,	muss	das IT-System	fähig sein,	die empfangenen Statusmeldungen bzgl. der Arbeitsschritte	abzuspeichern, auszuwerten und in einen Arbeitsplan umzuwandeln.
Um digitale Mitarbeiterführung zu realisieren,	muss	das IT-System	fähig sein,	den Arbeitsplan	an eine Prozessführungsanwendung zu übergeben.
Um digitale Mitarbeiterführung zu realisieren,	muss	ein OT-System	fähig sein,	eine Statusmeldung für einen abgeschlossenen Arbeitsschritt basierend auf dem Input des Nutzers	an eine Prozessführungsanwendung zu übergeben.
Um digitale Mitarbeiterführung zu realisieren,	muss	eine Prozessführungsanwendung	fähig sein,	die Signale bis hin zu der Visualisierung und Übersetzung des Arbeitsschrittes	über eine Informationsschnittstelle zum Nutzer weiterzugeben.

Um einen digitalen Schatten zu erzeugen,	muss	das IT-System	einer IoT-Plattform die Möglichkeit bieten,	Asset-relevante Informationen	aus weiteren Datenbanken abzugreifen.
Um einen digitalen Schatten zu erzeugen,	muss	das OT-System	fähig sein,	Sensordaten und Rohdaten als Assets	an eine Auswertungseinheit zu übergeben.
Um einen digitalen Schatten zu erzeugen,	muss	das OT-System	fähig sein,	einen Asset-Status	an eine Auswertungseinheit zu übergeben.
Um einen digitalen Zwilling zu erzeugen,	muss	das IT-System	fähig sein,	die Auftragsdaten	mit einer Auswertungseinheit auszutauschen.
Um einen digitalen Zwilling zu erzeugen,	muss	ein IT-System	fähig sein,	Produkt- bzw. Assetdaten	auszutauschen.
Um Predictive Maintenance zu implementieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	eine Datenauswertung	durchzuführen.
Um Predictive Maintenance zu implementieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	Wartungen zu terminieren und Benachrichtigungen	auszugeben.
Um eine dynamische Preisgestaltung in der Produktion zu etablieren,	muss	ein OT-System	fähig sein,	den IST-Betriebszustand der Anlage	in einem Asset bereitstellen.
Um eine dynamische Preisgestaltung in der Produktion zu etablieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	Auftragsdaten	zu übergeben
Um eine dynamische Preisgestaltung in der Produktion zu etablieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	einen Produktionsplan	auszutauschen.
Um ein Energiemanagement in der Produktion durch Data-Analytics zu etablieren,	muss	ein OT-System	fähig sein,	Energieverbrauchsdaten über eine Vernetzungsschnittstelle	bereitzustellen.

Um ein Energiemanagement in der Produktion durch Data-Analytics zu etablieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	Energiepreise weiterzugeben und mithilfe der Eingangsdaten	einen Produktionsplan auszugeben.
Um eine Automatische Konfiguration der Produktionsanlage zu etablieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	Auftragsdaten	abzurufen.
Um eine Automatische Konfiguration der Produktionsanlage zu etablieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	Fertigungsparameter	zu übergeben
Um den Fertigungsprozess durch Data-Analytics zu regeln,	muss	ein OT-System	fähig sein,	Sensordaten als Assets	an das IT-System weiterzugeben.
Um den Fertigungsprozess durch Data-Analytics zu regeln,	muss	ein IT-System	fähig sein,	die Datenverarbeitung mit anderen betrieblichen Informationssystemen	zu vernetzen
Um den Fertigungsprozess durch Data-Analytics zu regeln,	muss	ein IT-System	fähig sein,	basierend auf den Auswertergebnissen ein Steuerprogramm	anzusteuern.
Um die Produktion auf Basis von Störungen anzupassen,	muss	ein OT-System	fähig sein,	auftragsrelevante Fehlermeldungen oder Informationen zu Störungen als Assets	an die Datenverarbeitungseinheit weiterzugeben.
Um die Produktion auf Basis von Störungen anzupassen,	muss	ein IT-System	fähig sein,	die eingehenden Informationen zu den Störungen	auszuwerten
Um die Produktion auf Basis von Störungen anzupassen,	muss	ein IT-System	fähig sein,	Rückschlüsse aus den eingehenden Informationen zu den Störungen	an das OT-System zu übergeben.

Um eine automatische Qualitätsdokumentation im Prozess zu implementieren,	muss	ein OT-System	fähig sein,	qualitätsrelevante Messgrößen, basierend auf Sensorwerten, sowie die Informationen zur Identifikation des Werkstücks, wie z .B. die Seriennummer,	aus dem Prozess abzugreifen
Um eine automatische Qualitätsdokumentation im Prozess zu implementieren,	muss	das IT-System	fähig sein,	die empfangenen Daten zur Produktqualität	mit der jeweiligen Seriennummer zu verknüpfen und die Informationen zu speichern.
Um eine automatische Qualitätsauswertung im Prozess zu implementieren,	muss	das OT-System	fähig sein,	Prozessparameter, wie z. B. Maschinendaten sowie qualitätsrelevante Messgrößen und die Identifikation des Werkstücks	über eine Schnittstelle an das IT-System weiterzugeben.
Um eine automatische Qualitätsauswertung im Prozess zu implementieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	die eingehenden Prozessparameter, Sensorwerte und Seriennummern	zu speichern.
Um eine automatische Qualitätsauswertung im Prozess zu implementieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	die eingehenden Prozessparameter, Sensorwerte und Seriennummern	auszuwerten
Um eine automatische Qualitätsauswertung im Prozess zu implementieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	die Qualitätsauswertung	in einem Dashboard als Status darzustellen.
Um eine automatische Qualitätsauswertung im Prozess zu implementieren,	kann	ein IT-System	fähig sein,	den Nutzenden	über einen Alarm über Qualitätsabweichungen zu informieren

Um einen Auftrag entlang der Produktionslinie zu verfolgen,	muss	ein OT-System	fähig sein,	die entsprechenden Daten an der Produktionslinie	zu erfassen
Um einen Auftrag entlang der Produktionslinie zu verfolgen,	muss	ein IT-System	fähig sein,	die vom OT-System bereitgestellten Daten mit Soll-Daten	abzugleichen
Um einen Ist-Soll-Abgleich durchführen zu können,	muss	ein OT-System	fähig sein,	die entsprechenden Daten an der Produktionslinie	einem IT-System bereitzustellen
Um die Durchlaufzeit zu optimieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	die optimale Auslastung	zu berechnen.
Um die Durchlaufzeit zu optimieren,	muss	ein IT-System	fähig sein,	basierend auf der optimalen Auslastung den Produktionsplan	anzupassen.
Um die Variabilität zu erhöhen,	soll	ein IT-System	fähig sein,	alle Prozessdaten	in einem zentralen Data-Lake zu Auswertungs- und Analyse Zwecken zu speichern.

D.4 Leerer Integrationssteckbrief ohne Erläuterungen

Tabelle 12: Leerer Integrationssteckbrief ohne Beschreibungen

OT -Steckbrief								
Merkmal	Merkmalsausprägungen							
Ausgetauschte Datentypen	Prozessdaten		Auftragsdaten		Umgebungsdaten		keine	
OT-Hardware-Schnittstelle	Analog / Digital (Parallel)		RJ45		RS232		Profibus	
	USB		Klemmen (Uart, SPI, CAN-Bus, i2c/TWI)		Freitext		keine	
OT-Software-Schnittstelle	MQT T	HTTP/ HTTPS		OPC-UA		Profibus	Freitext	keine
Zugriff	proprietär			nicht proprietär			proprietär, aber freischaubar	

Push-Capabilitys (Data out)	Echtzeit	1 x pro Tag	1 x pro Stunde	< 1 x pro Stunde	nur Events	keine	
Pull-Capabilitys (Data out)	historische Maschinendaten	True-Echtzeit-Maschinendaten	Buffer-Echtzeit-Maschinendaten	Datenerhebung auf Request	keine		
Interaktionsmöglichkeit	lesen		schreiben		ausführen		keine

Schnittstellen-Steckbrief							
Merkmal	Merkmalsausprägungen						
Verbundene OT-Systeme	Verbundenes OT-System 1		Verbundenes OT-System 2		Verbundenes OT-System 3		Verbundenes OT-System X
Protokoll OSI 5-7 (Anwendungsebene)	MQTT	HTTP/HTTPS		OPC-UA	Profibus	Freitext	keine
Konfiguration der Schnittstelle	proprietär / Hardcode		programmierbar		Konfigurationsdateien		Low-Code/ No-Code
Rolle des IT-Systems	Server				Client		
Datenübertragung	Stream	Datenbank	dateibasiert	manuelle Eingabe	Simple Request	Freitext	
Datenübertragungsmenge	gering			mittel		hoch	
Verbundene IT-Systeme	Verbundenes IT-System 1		Verbundenes IT-System 2		Verbundenes IT-System 3		Verbundenes IT-System X

IT-Steckbrief							
Merkmal	Merkmalsausprägungen						
IT-Software-Schnittstelle	MQTT	HTTP/HTTPS		OPC-UA	Profibus	Freitext	keine
IT-System-Typ	MES	ERP	IoT-Plattform	Datenbank	Dashboar	PLM	Freitext
Systemfunktion(en)	Datenerfassung (aus OT)		Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)	Datenaufbereitung	Datenveredelung (Anreicherung)		Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)
	Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)		Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung		Datenvisualisierung

Data-Analytics	Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)	Transparenz & Diagnose (ergründen)	Prognose	Adaption & Entscheidungsautomatisierung	keine
Daten-/Informationsbedarf	Prozessdaten	Auftragsdaten		Umgebungsdaten	keine	
Daten-/Informationsangebot	Prozessdaten	Auftragsdaten		Umgebungsdaten	keine	

D.5 Leerer Integrationssteckbrief mit Erläuterungen

Tabelle 13: Muster-Steckbrief

Muster-Steckbrief	
Merkmal	Beschreibung
<i>Merkmalausprägungen</i>	

Tabelle 14: OT-Integrationssteckbrief

OT-Steckbrief						
Ausgetauschte Datentypen		Abstrakte Datentypen, die vom System erzeugt und/oder benötigt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Prozessdaten		Auftragsdaten		Umgebungsdaten		keine
OT-Hardware-Schnittstelle		Hardware-Schnittstellen, die das System unterstützt (diskret, Mehrfachwahl)				
Analog / Digital (parallel)			Klemmen (bspw. UART, SPI, CAN, I2C/TWI)			
RS232	USB	RJ45	Profibus	<i>Freitext</i>	Keine	
OT-Software-Schnittstelle		Protokolle, die vom System unterstützt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
HTTP/S	OPC-UA	Profibus	MQTT (o.ä.)	<i>Freitext</i>	Keine	
Zugriff		Möglichkeit, Funktionen und Konfigurationen des Systems anzupassen (diskret, Einfachwahl)				
proprietär		proprietär, aber freischnittbar		nicht proprietär		
Push-Capabilities (Data-out)		Frequenz, in welcher das System aktiv Daten absenden kann (kontinuierlich, Einfachwahl)				
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine	

Pull-Capabilities (Data-out)	Aktualität der Daten, die von dem System angefordert werden (kontinuierlich, Einfachwahl)		
	True-Echtzeit-Maschinendaten	Buffer-Echtzeit-Maschinendaten	
	Historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request	keine
Interaktionsmöglichkeit	Berechtigungen, die das System hinsichtlich Daten und Funktionen bereitstellt (diskret, Mehrfachwahl)		
	lesen	schreiben	ausführen
			keine

Tabelle 15: Schnittstellen-Integrationssteckbrief

Schnittstellen-Steckbrief					
Verbundene OT-Systeme	OT-Systeme, die über diese Schnittstelle vernetzt sind (Referenzen zu mehrfachen OT-Steckbriefen)				
<i>Liste von OT-Steckbrief Referenzen</i>					
Protokoll OSI 5-7 (Anwendungsebene)	Protokoll(e), das durch die Schnittstelle implementiert wird (diskret, Mehrfachwahl)				
	HTTP/S	OPC-UA	Profibus	MQTT (o. ä.)	Freitext
					Keine
Konfiguration der Schnittstelle	Format, in welchem die Schnittstelle konfiguriert ist und umkonfiguriert werden kann (diskret, Mehrfachwahl)				
	proprietär / Hardcoded			programmierbar	
	Konfigurationsdateien			Low-Code / No-Code	
Rolle(n) des IT-Systems	Rolle, die verbundene IT-Systeme in dieser Schnittstelle vertreten (diskret, Mehrfachwahl)				
	Server			Client	
Datenübertragung	Art bzw. Format der Datenübertragung, die/das durch die Schnittstelle implementiert ist (diskret, Mehrfachwahl)				
	Stream	Simple Request		Datenbank	
	dateibasiert	manuelle Eingabe		Freitext	
Datenübertragungsmenge	Menge der über die Schnittstelle übertragenen Daten, hinsichtlich der Schnittstellen-Auslastung (kontinuierlich, Einfachwahl)				
	gering	mittel		hoch	
Verbundene IT-Systeme	IT-Systeme, die über diese Schnittstelle vernetzt sind (Referenzen zu mehrfachen IT-Steckbriefen)				
<i>Liste von IT-Steckbrief-Referenzen</i>					

Tabelle 16: IT-Integrationssteckbrief

IT-Steckbrief	
IT-Software-Schnittstelle	Protokolle, die vom System unterstützt werden (diskret, Mehrfachwahl)

HTTP/S	OPC-UA	Profibus	MQTT (o.ä.)	<i>Freitext</i>	Keine	
IT-System Typ		Typ, in den sich das IT-System klassifizieren lässt (diskret, Einfachwahl)				
ERP	PLM	MES	IoT-Plattform	Datenbank	Dashboard	Andere
Systemfunktion(en)		Funktionen, die durch das IT-System bereitgestellt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Datenerfassung (aus OT)		Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung		
Datenveredelung (Anreicherung)		Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)		
Datenspeicherung		Datenanalyse		Datenbereitstellung		Datenvisualisierung
Data-Analytics		Funktionen, die durch eine eventuelle Datenanalyse eines IT-Systems bereitgestellt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Ist-Soll-Abgleich		Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)		
Prognose		Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine		
Daten-/Informationsbedarf		Abstrakte Datentypen, die vom System benötigt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Prozessdaten		Auftragsdaten		Umgebungsdaten		keine
Daten-/Informationsangebot		Abstrakte Datentypen, die vom System erzeugt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Prozessdaten		Auftragsdaten		Umgebungsdaten		keine

D.6 Nutzenpotenzial Soll-Steckbriefe

Tabelle 17: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Digitales Auftragstracking“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
Historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	Manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			

Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
--------------	---------------	----------------	-------

Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Predictive Maintenance“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
Historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben		ausführen		keine

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)	Datenaufbereitung	
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)	Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)	
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)	Transparenz & Diagnose (ergründen)	
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung	keine	
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			

Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
--------------	---------------	----------------	-------

Tabelle 19: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Digitale Mitarbeiterführung“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten		Buffer-Echtzeit-Maschinendaten			
Historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 20: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Reduktion der Stillstandzeiten“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server	Client	
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	Manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 21: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Realisierung eines Digital Twin“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 22: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Realisierung des Digital Shadow“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 23: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Automatische Qualitätsdokumentation im Prozess“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben		ausführen		keine

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Automatische Qualitätsauswertung im Prozess“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten		Datenerhebung auf Request		keine	
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben		ausführen		keine

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Ergründen der Kausalitäten im Fertigungsprozess durch Data Analytics“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
Historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben		ausführen		keine

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)	Datenaufbereitung	
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)	Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)	
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)	Transparenz & Diagnose (ergründen)	
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung	keine	
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			

Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
--------------	---------------	----------------	-------

Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Regeln des Fertigungsprozesses durch Data Analytics“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server		Client
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Dynamische Preisgestaltung“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> Stündlich	Stündlich	Täglich	Nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten		Buffer-Echtzeit-Maschinendaten			
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen	keine		

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server	Client	
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)	Datenaufbereitung	
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)	Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)	
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)	Transparenz & Diagnose (ergründen)	
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung	keine	
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Energiemanagement“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server	Client	
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)	Datenaufbereitung	
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)	Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)	
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)	Transparenz & Diagnose (ergründen)	
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung	keine	
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Automatische Konfiguration der Produktionsanlage basierend auf Auftragsdaten“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server	Client	
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	Manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)	Datenaufbereitung	
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)	Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)	
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)	Transparenz & Diagnose (ergründen)	
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung	keine	
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			

Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
--------------	---------------	----------------	-------

Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Automatische Sammlung der Produktions-KPIs“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen	keine		

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server	Client	
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

Tabelle 18: Soll-Steckbrief des Nutzenpotenzials „Adaptive Anpassung (Störungen)“

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen					
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
Push-Capabilities (Data-out)					
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)					
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten	Datenerhebung auf Request		keine		
Interaktionsmöglichkeit					
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Schnittstellen-Steckbrief		
Rolle(n) des IT-Systems		
Server	Client	
Datenübertragung		
Stream	Simple Request	Datenbank
dateibasiert	manuelle Eingabe	keine
Datenübertragungsmenge		
gering	mittel	hoch

IT-Steckbrief			
Systemfunktion(en)			
Datenerfassung (aus OT)	Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung
Datenveredelung (Anreicherung)	Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)
Datenspeicherung	Datenanalyse	Datenbereitstellung	Datenvisualisierung
Data-Analytics			
Ist-Soll-Abgleich	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)
Prognose	Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine
Daten-/Informationsbedarf			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine
Daten-/Informationsangebot			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine

D.7 Sammlung der Handlungsempfehlungen

Tabelle 24: Sammlung der systematisch ermittelten Handlungsempfehlungen, Teil 1

Schwierigkeiten basieren auf Erfahrungswerten und sind individuell anpassbar (Schlüssel der „extrinsischen“ Schwierigkeit: **Schnittstelle, Konfiguration, Retrofit**)

Steckbrief	Merkmal	Merkmalsausprägung, die nachträglich zu erfüllen ist	Handlungsempfehlung	intrinsische Schwierigkeit	extrinsische Schwierigkeit
OT	Ausgetauschte Datentypen	Prozessdaten	Zur Aufnahme von fehlenden Prozessdaten können vereinzelt Sensoren nachgerüstet werden. Wenn mehrere Prozessdaten benötigt werden, sollte ein Retrofit geprüft werden.		K R
		Auftragsdaten	Die nachträgliche Erfassung von Auftragsdaten ist möglicherweise über einen Abgleich von Programm- und Sensordaten umsetzbar.		K
		Umgebungsdaten	Mit der Platzierung entsprechender Sensorlösungen können fehlende Umgebungsdaten erfasst werden.		R
	Interaktionsmöglichkeit	Lesen	Es muss evaluiert werden, ob ein Lesen von Daten und Informationen mit einem Retrofit hergestellt werden kann.	0.5	R
		Schreiben	Es muss ein Interface zur Übersetzung von digitaler zu analoger Bedienung entwickelt werden.	0.9	
		Ausführen	Es muss ein Interface zur Übersetzung von digitaler zu analoger Bedienung entwickelt werden.	0.9	
Schnittstelle	Rolle des IT-Server		0.5	S	

	Client		0.9	
	Dat.übertr.menge	Aufrüstung auf höheren Wert	Die Bandbreite der Schnittstelle muss erhöht werden	S
IT	Systemfunktion(en)	Datenerfassung (aus OT)	Zur Erfassung von Daten aus der OT sollte eine IoT-Plattform implementiert werden.	
		Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)	Die Vernetzung der IT-Systeme sollte durch eine IoT-Plattform als zentrale Datendrehscheibe umgesetzt werden.	
		Datenaufbereitung	Die Aufbereitung von Daten ist dort notwendig	
		Datenveredelung (Anreicherung)	Zur Anreicherung von Daten empfiehlt sich die Implementierung einer breiten Interkonnektivität der IT-Systeme.	
		Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)	Ein Datenabstrahierung bei den IT-Systemen wird durch eine IoT-Plattform ermöglicht	
		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)	Extensive Datenverteilungen zwischen den IT-Systemen können durch eine zentralisierte Datenbank oder einer IoT-Plattform ermöglicht werden; für weniger komplexe Systeme reichen direkte Anbindungen aus.	
		Datenspeicherung	Zur Datenspeicherung müssen entweder die entsprechenden Systeme mit einer individuellen Datenbank ausgestattet werden oder ein zentraler Data-Lake implementiert werden.	
		Datenanalyse		
		Datenbereitstellung		

	Datenvisualisierung			
Data Analytics	Ist-Soll-Abgleich	Ein einfacher Ist-Soll-Abgleich sollte durch manuelles Scripting oder individueller Konfigurationen in den entsprechenden Systemen erfolgen.		
	Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)	Zur Erzeugung von Sichtbarkeit sollte je nach Komplexitätsgrad Excel-Auswertungen bis hin zu dedizierten Dashboards auf Basis der erzeugten Daten werden.		
	Transparenz & Diagnose (ergründen)	Zum Erlangen von Transparenz und Diagnosefähigkeit müssen komplexere Auswertungswerkzeuge bis hin zu KI-unterstützten Data-Analytics-Tools beschafft werden.		
	Prognose	Die Prognosefähigkeit muss über spezielle Auswertungssysteme oder KI-unterstützte Data-Analytics-Tools nachgerüstet werden.		
	Adaption & Entscheidungs-automatisierung	Die automatisierte Adaption- und Entscheidungsfähigkeit muss über spezielle Auswertungssysteme oder KI-unterstützte Data-Analytics-Tools nachgerüstet werden.		
Daten-/Informationsbedarf	Prozessdaten	Die in der OT noch fehlenden Umgebungsdaten müssen durch Einsatz spezifischer Sensoren erfasst werden.		
	Auftragsdaten	Die Auftragsdaten aus der OT fehlen		
	Umgebungsdaten	Die in der OT noch fehlenden Umgebungsdaten müssen durch Einsatz spezifischer Sensoren erfasst werden.		
Daten-	Prozessdaten			
	Auftragsdaten	Zur Bereitstellung und Verwaltung von Auftragsdaten sollte ein ERP-System oder MES eingebunden werden		

		Umgebungsdaten			
--	--	----------------	--	--	--

Tabelle 25: Sammlung der systematisch ermittelten Handlungsempfehlungen, Teil 2 – Handlungsempfehlungs-Matrizen (Indices-Schlüssel unten angefügt)

Steckbrief	Merkmal	Matrizen						
		OT	Push-Capabilities (Data out)	Upgrade von Ist (unten) auf Soll (rechts)	Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich
Echtzeit								
Nur Events	1							
> Stündlich	1			2				
Stündlich	1			2	2			
Täglich	1			2	2	2		
Keine	3			3	3	3	3	
Pull-Capabilities (Data out)	Upgrade von Ist (unten) auf Soll (rechts)		True-Echtzeit-Maschinendaten	Datenerhebung auf Request	Buffer-Echtzeit-Maschinendaten	historische Maschinendaten	keine	
	True-Echtzeit-Maschinendaten							
	Datenerhebung auf Request		4					
	Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		4	5				
	Historische Maschinendaten		6	6	6			
	keine		7	7	7	7		

Schwierigkeiten basieren auf Erfahrungswerten und sind individuell anpassbar (Schlüssel der „extrinsischen“ Schwierigkeit: **Schnittstelle**, **Konfiguration**, **Retrofit**)

Index	Handlungsempfehlung	Schwierigkeit	
		intrinsisch	extrinsisch
1	Aufrüstung der Push-Übertragungsraten auf Echtzeit muss mittels eines Retrofits umgesetzt werden.	0.8	R
2	Erhöhung von Push-Übertragungsraten muss individuell überprüft werden.	0	K, R

3	Push-Capabilities müssen mit einem Retrofit nachgerüstet werden.	0.7	R
4	Die Maschine muss zum Erlangen von Echtzeit-Pull-Capabilities streamfähig sein, andernfalls ist ein Retrofit notwendig.	0.5	R
5	Zur Anpassung der Pull-Capabilities muss die Konfigurierbarkeit des entsprechenden Sensors überprüft werden.	0	K
6	Pull-Capabilities müssen auf erhöhte Datenabfrageraten überprüft werden.	0	K, R
7	Pull-Capabilities müssen mit einem Retrofit nachgerüstet werden.	0.5	R

D.8 Leitfaden zur Ableitung der Handlungsempfehlungen



Dokument: Handlungsempfehlungen
(inklusive intrinsischer Schwierigkeiten)



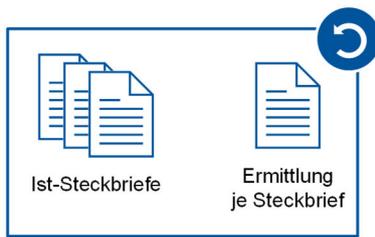
Dokument: extrinsische Schwierigkeiten

Schwierigkeiten basieren auf Erfahrungswerten und sind individuell anpassbar (Schlüssel der „extrinsischen“ Schwierigkeit: Schnittstelle, Konfiguration, Retrofit)

Steckbrief	Merkmale	Merkmalausprägung, die nachträglich zu erfüllen ist	Handlungsempfehlung	intrinsische Schwierigkeit	extrinsische Schwierigkeit
OT	Ausgetauschte Datentypen	Prozessdaten	Zur Aufnahme von fehlenden Prozessdaten, können vereinzelt Sensoren nachgerüstet werden. Wenn mehrere Prozessdaten benötigt werden, sollte ein Retrofit geprüft werden.	K	R
		Auftragsdaten	Die nachträgliche Erfassung von Auftragsdaten ist möglicherweise über einen Abgleich von Programm- und Sensordaten umsetzbar.	K	
		Umgebungsdaten	Mit der Platzierung entsprechender Sensorlösungen können fehlende Umgebungsdaten erfasst werden.	R	
			Es muss evaluiert werden, ob ein Lesen von Daten und Informationen mit einem Retrofit		

Steckbrief	Merkmal	Merkmalausprägung	Schwierigkeit		
			Schnittstelle	Konfiguration	Retrofit
OT	OT-Hardware Schnittstelle	Analog / Digital (parallel)			0.5
		Klemmen (bspw. UART, SPI, CAN, I2C/TWI)			0.2
		RS232			0.2
		USB			0.3
		RJ45			0.1
	OT-Software Schnittstelle	Profibus			0.2
		Keine	1		1
		HTTP/S		0.1	
		OPC-UA		0.3	
		Profibus		0.3	
Zugriff	MQTT (o.ä.)		0.5		
	Keine	1			
	Proprietär		0.8	1	0.5
		Proprietär, aber freischaltbar	0.4	0.5	0.2

1. Ermittlung extrinsischer Schwierigkeiten

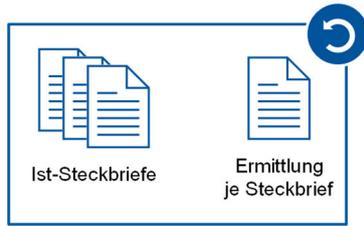


- Übertrag auf extrinsische Schwierigkeiten → Dokument
- Ermittlung der minimalen extrinsischen Schwierigkeit für jedes Merkmal
- Festlegung der extrinsischen Schwierigkeiten für den betrachteten Steckbrief

Steckbrief	Merkmal	Merkmalausprägung	Schwierigkeit			Auswertung		
			Schnittstelle	Konfiguration	Retrofit	Schnittstelle	Konfiguration	Retrofit
OT	Merkmal 1	Ausprägung A	0.5	0.3	-	0.5	0.3	-
		Ausprägung B	-	0.6	-			
		Ausprägung C	0.8	0.5	1			
	Merkmal 2	Ausprägung X	0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1
		Ausprägung Y	0.3	1				
		Gesamt	0.4	0.2	0.1			

Annotations: A blue circle with '1' points to the 'Merkmal' column. A blue circle with '2' and 'min' points to the minimum values in the 'Schwierigkeit' columns. A blue circle with '3' and '∅' points to the 'Gesamt' row.

2. Ableitung der Handlungsempfehlungen



- 1 Übertrag auf intrinsische Schwierigkeiten → Dokument
- 2 Übertrag der für Ausprägung relevanten, ermittelten extrinsischen Schwierigkeiten
- 3 Ableitung der Handlungsempfehlung für Abweichung gemäß min. Schwierigkeit

Merkmal	Merkmalsausprägung, die nachträglich zu erfüllen ist	Handlungsempfehlung	Schwierigkeit		Schnittstelle	Konfiguration	Retrofit
			intrinsisch	extrinsisch			
M1	Ausprägung 1 (gefordert, nicht erfüllt)	Handlungsempfehlung 1	0.1	S,K	0.4	0.2	
	Ausprägung 2 (gefordert und erfüllt)	Handlungsempfehlung 2					
	Ausprägung 3 (erfüllt, nicht gefordert)	Handlungsempfehlung 3					
M2	Ausprägung 4 (gefordert, nicht erfüllt)	Handlungsempfehlung 4	0.5	K,R		0.2	0.1

D.9 Leitfaden zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methode

D.9.1 Leitfaden zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methode

Vor sich finden Sie den Leitfaden zur Anwendung der ‚MarryIT‘-Methodik zur Vernetzung der Systeme auf ihrem Shopfloor mit den Systemen auf Ihrem Office-Floor. Bei den Shopfloor-Systemen wird oft von OT-Systemen (Operational Technology) und bei den Office-Floor-Systemen von IT-Systemen gesprochen. Ziel ist es, die Anwendungsfälle (auch als Nutzenpotenziale bezeichnet) auszuwählen, die sich für eine Vernetzung eignen und mit der bestehenden Systemlandschaft ermöglicht werden können. Darüber hinaus können Sie mit der vorliegenden Methode gezielt entscheiden, wie Sie Ihre Systemlandschaft zur Realisierung der Anwendungsfälle weiterentwickeln können. Die Methode soll Ihnen helfen, diesen Prozess durch den Einsatz eines strukturierten Vorgehens anzugehen und dabei unterstützen, die für Sie besten Entscheidungen zu treffen. Sie können statt der analogen Variante ebenfalls die mobile Webanwendung zur Durchführung der Methode verwenden: marryit-tool.fir.de

D.9.2 Die Methodik

Die ‚MarryIT‘-Methodik gliedert sich in die vier Schritte „1. Auswahl der Nutzenpotenziale“, „2. Ist-Aufnahme der IT-OT-Landschaft“, „3. Matching der Nutzenpotenziale mit der Ist-Aufnahme“ und „4. Handlungsempfehlungen“. Die vier Schritte sind in Abbildung 17 zusammengefasst.

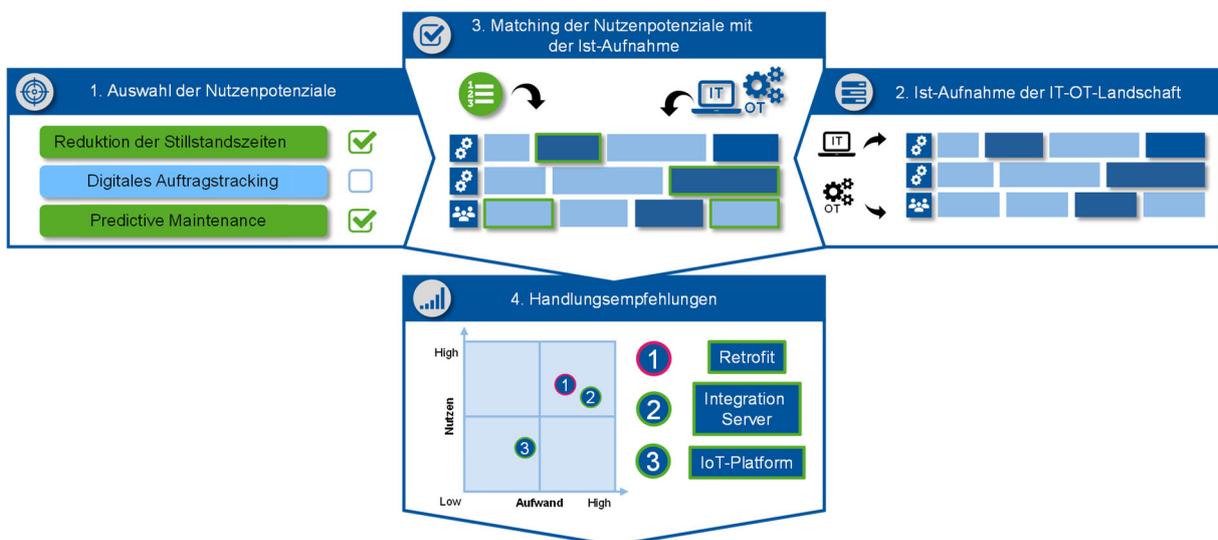


Abbildung 17: Die MarryIT-Methode im Überblick

Jeder Schritt sowie seine Anwendung und die dazugehörigen Materialien werden detailliert in den folgenden Abschnitten beschrieben.

D.9.3 Schritt 1: Nutzenpotenziale auswählen

Im ersten Schritt wählen Sie die Anwendungsfälle (= Nutzenpotenziale) aus, die Sie im Kontext der IT-OT-Integration umsetzen wollen. Dies sollten Sie gemeinsam mit den entsprechenden Führungskräften aus dem Bereich Produktion und IT oder ggf. der Geschäftsführung tun. Wichtig ist es, sicherzustellen, dass die Nutzenpotenziale, die Sie auswählen, sich mit den Unternehmenszielen decken.

D.9.3.1 Notwendige Arbeiten

[D.9.3.1.1 Auswahl Nutzenpotenziale zu Unternehmensstrategie](#)

Zur Auswahl steht Ihnen eine Liste an Nutzenpotenzialen, die bereits nach ihren Einflüssen auf die Faktoren „Geschwindigkeit“, „Wirtschaftlichkeit“, „Qualität“ und „Variabilität“ sortiert sind. Dies kann helfen, die Nutzenpotenziale mit den Unternehmenszielen abzugleichen. Dies können Sie als Vorbereitung auf einen Abstimmungstermin mit den Entscheidungspersonen im Unternehmen tun.

Wir empfehlen, die Auswahl und Zuordnung der Nutzenpotenziale im Rahmen eines Workshops durchzuführen. In diesem Workshop sollten die aktuelle Strategie und die Kernziele des Unternehmens für die Bereiche Produktion und IT vorliegen. Als Teilnehmer dieses Workshops empfehlen wir, die Entscheidungspersonen aus dem Bereich Produktion und IT hinzuzuziehen.

Auf Basis der vorliegenden Ziele können Sie die Nutzenpotenziale aus der Liste selektieren, die auf diese Ziele zutreffen. Den Unternehmenszielen können Sie dann die einzelnen Nutzenpotenziale zuordnen. Dies kann durch Kleben von Moderationskarten an einem Whiteboard oder durch gemeinsames Ausfüllen einer Liste erfolgen. Für jedes Nutzenpotenzial finden Sie eine detaillierte Erläuterung in Anhang D.9.9.1.

[D.9.3.1.2 Priorisierung der Nutzenpotenziale](#)

Nachdem die relevanten Nutzenpotenziale selektiert sind, können Sie diese entsprechend mit den Teilnehmern priorisieren. Dabei sollte jeder Teilnehmer eine bestimmte Anzahl von Punkten vergeben dürfen (bspw. 3) um die Nutzenpotenziale zu priorisieren.

[D.9.3.1.3 Finale Auswahl dokumentieren](#)

Abschließend stellen Sie eine priorisierte Liste an Nutzenpotenzialen zusammen (s. Anhang D.9.9.1).

Tabelle 26: Übersicht über die abgeleiteten Nutzenpotenziale für die IT-OT-Integration

Nr.	Nutzenpotenziale	Wirtschaftlichkeit	Qualität	Geschwindigkeit	Variabilität
1	Ableitung der realen Prozesskosten basierend auf Daten	X			
2	Adaptive Anpassung der Produktionslinie bei Störungen / Fehlern			X	
3	Automatische Konfiguration (Einstellung) der Produktionsanlage basierend auf den Auftragsdaten		X	X	
4	Automatische Qualitätsauswertung durch Data-Analytics / Machine Learning		X	X	
5	Automatische Qualitäts-Dokumentation im Prozess		X		
6	Automatische Sammlung der Produktions-KPIs			X	
7	Digitale Aufnahme der Ist-Zeiten der Auftragsdurchführung	X		X	
8	Digitale Mitarbeiterführung durch den Produktionsprozess		X	X	X
9	Digitales Assettracking	X		X	
10	Digitales Auftragstracking	X	X	X	
11	Digitales Materialtracking	X		X	
12	Dynamische Preisgestaltung der Produktion durch Informationen über Kapazitäten, Nachfrage und Stillstände	X			X
13	Energiemanagement durch den Einsatz von Data-Analytics	X			X
14	Erstellung eines zentralen Data-Lakes für alle Datenquellen		X		X
15	Nahtloser Übergang zwischen den Systemen der Entwicklung, Produktion und Vertrieb durch digitale Integration (keine Medienbrüche)		X	X	
16	Optimierung der Durchlaufzeiten	X		X	
17	Optimierung des Fertigungsprozesses durch Data-Analytics / Machine Learning		X		
18	Prädiktives Nachfrage- und Supply-Chain-Management			X	
19	Predictive Maintenance	X	X		
20	Produktionsprozess-Optimierung (Gesamter Prozess) durch Data-Analytics / Machine Learning	X	X	X	
21	Realisierung des digitalen Schattens der Produktion		X	X	
22	Realisierung eines Digital Twin		X	X	
23	Realisierung von Condition-Monitoring	X			
24	Realisierung von Process-Mining	X	X	X	
25	Reduktion der Stillstandszeiten der Maschinen	X			X
26	Transparenz über Aufträge und deren Status in der Produktion		X		

Im Anhang D.9.9.1 finden Sie die Liste der Nutzenpotenziale mit Feldern für deren Auswahl und Priorisierung.

Alternativ können Sie Ihre Auswahl in der mobilen ‚MarryIT‘-Anwendung festhalten (marryit-tool.fir.de).

D.9.3.2 Vorbereitung

- Kenntnis erlangen über die Strategie für Produktion und IT des Unternehmens
- Vorbereitung eines Konferenzraums oder virtuellen Meetings
- Vorbereitung der Moderationsmaterialien
- Ausdrucken der Liste der Nutzenpotenziale mit Zuordnung zu den Kategorien (Anhang D.9.9.1)
- Ausdrucken der Liste der Nutzenpotenziale für Auswahl und Priorisierung

D.9.3.3 Nachbereitung

- Zusammenstellung der Liste der ausgewählten Nutzenpotenziale
- Versand an Teilnehmer:innen des Termins

D.9.4 Schritt 2: Ist-Aufnahme der IT-OT-Landschaft

Im Rahmen von Schritt 2 nehmen Sie den Ist-Zustand ihrer Systemlandschaft auf. Dies erfolgt durch das Ausfüllen eines Steckbriefs pro System und deren Sammlung in einer Datenbank (Analog, digital (bspw. MS Excel) oder in MarryIT-App).

D.9.4.1 Notwendige Arbeiten

Zur Aufnahme der IT-OT-Systemlandschaft definieren Sie zunächst den Betrachtungsbereich Ihrer Ist-Aufnahme. So kann sich Ihre Aufnahme auf einen bestimmten Bereich des Unternehmens oder einen bestimmten Abschnitt der Produktion beziehen. Dies sollten Sie vor Beginn der Aufnahme definieren.

Im Anschluss an die Entscheidung für den Betrachtungsbereich können Sie mit der Aufnahme beginnen. Dafür sollten Sie als erstes die notwendigen Steckbriefe vorbereiten. Dafür können Sie den Steckbrief aus der Vorlage (Anhang D.9.9.2) ausdrucken, ein Tabellenprogramm übertragen oder einen Account in der ‚MarryIT‘-App anlegen (marryit-tool.fir.de), wo Sie ebenfalls Steckbriefe für IT-OT-Systeme anlegen können. Ihnen ist es freigestellt, mit welchen Systemen Sie beginnen und in welcher Reihenfolge Sie die Systeme erfassen. Es hat sich bewährt, bei der Aufnahme der Systeme dem Produktionsprozess im Unternehmen zu folgen. So werden die für die Auftragsabwicklung relevanten Systeme erfasst.

Tabelle 27: Muster-Steckbrief

Muster-Steckbrief	
Merkmal	Beschreibung
<i>Merkmalausprägungen</i>	

Tabelle 28: OT-Integrationssteckbrief

OT-Steckbrief					
Ausgetauschte Datentypen		Abstrakte Datentypen, die vom System erzeugt und/oder benötigt werden (diskret, Mehrfachwahl)			
Prozessdaten	Auftragsdaten	Umgebungsdaten	keine		
OT-Hardware Schnittstelle		Hardware-Schnittstellen, die das System unterstützt (diskret, Mehrfachwahl)			
Analog / Digital (parallel)			Klemmen (bspw. UART, SPI, CAN, I2C/TWI)		
RS232	USB	RJ45	Profibus	<i>Freitext</i>	keine
OT-Software Schnittstelle		Protokolle, die vom System unterstützt werden (diskret, Mehrfachwahl)			
HTTP/S	OPC-UA	Profibus	MQTT (o. ä.)	<i>Freitext</i>	keine
Zugriff		Möglichkeit, Funktionen und Konfigurationen des Systems anzupassen (diskret, Einfachwahl)			
proprietär		proprietär, aber freischaubar		nicht proprietär	
Push-Capabilities (Data-out)		Frequenz, in welcher das System aktiv Daten absenden kann (kontinuierlich, Einfachwahl)			
Echtzeit	> stündlich	stündlich	täglich	nur Events	keine
Pull-Capabilities (Data-out)		Aktualität der Daten, die von dem System angefordert werden (kontinuierlich, Einfachwahl)			
True-Echtzeit-Maschinendaten			Buffer-Echtzeit-Maschinendaten		
historische Maschinendaten		Datenerhebung auf Request		keine	
Interaktionsmöglichkeit		Berechtigungen, die das System hinsichtlich Daten und Funktionen bereitstellt (diskret, Mehrfachwahl)			
lesen	schreiben	ausführen		keine	

Tabelle 29: Schnittstellen-Integrationssteckbrief

Schnittstellen-Steckbrief					
Verbundene OT-Systeme		OT-Systeme, die über diese Schnittstelle vernetzt sind (Referenzen zu mehrfachen OT-Steckbriefen)			
<i>Liste von OT-Steckbrief-Referenzen</i>					
Protokoll OSI 5-7 (Anwendungsebene)		Protokoll(e), das (die) durch die Schnittstelle implementiert wird (diskret, Mehrfachwahl)			
HTTP/S	OPC-UA	Profibus	MQTT (o. ä.)	<i>Freitext</i>	keine
Konfiguration der Schnittstelle		Format, in welchem die Schnittstelle konfiguriert ist und umkonfiguriert werden kann (diskret, Mehrfachwahl)			
proprietär / Hardcoded			programmierbar		
Konfigurationsdateien			Low-Code / No-Code		
Rolle(n) des IT-Systems		Rolle, die verbundene IT-System in dieser Schnittstelle vertreten (diskret, Mehrfachwahl)			
Server			Client		
Datenübertragung		Art bzw. Format der Datenübertragung, die/das durch die Schnittstelle implementiert ist (diskret, Mehrfachwahl)			
Stream		Simple Request		Datenbank	
dateibasiert		manuelle Eingabe		<i>Freitext</i>	
Datenübertragungsmenge		Menge der über die Schnittstelle übertragenen Daten, hinsichtlich der Schnittstellen-Auslastung (kontinuierlich, Einfachwahl)			
gering		mittel		hoch	
Verbundene IT-Systeme		IT-Systeme, die über diese Schnittstelle vernetzt sind (Referenzen zu mehrfachen IT-Steckbriefen)			
<i>Liste von IT-Steckbrief-Referenzen</i>					

Tabelle 30: IT-Integrationssteckbrief

IT-Steckbrief						
IT-Software Schnittstelle		Protokolle, die vom System unterstützt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
HTTP/S	OPC-UA	Profibus	MQTT (o. ä.)	Freitext	keine	
IT-System Typ		Typ, in den sich das IT-System klassifizieren lässt (diskret, Einfachwahl)				
ERP	PLM	MES	IoT-Plattform	Datenbank	Dashboard	andere
Systemfunktion(en)		Funktionen, die durch das IT-System bereitgestellt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Datenerfassung (aus OT)		Datenerfassung (aus IT / von Endnutzer)		Datenaufbereitung		
Datenveredelung (Anreicherung)		Datenvirtualisierung (bspw. IoT-Plattform)		Datenverteilung (bspw. IoT-Plattform)		
Datenspeicherung		Datenanalyse		Datenbereitstellung		Datenvisualisierung
Data-Analytics		Funktionen, die durch eine eventuelle Datenanalyse eines IT-Systems bereitgestellt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Ist-Soll-Abgleich		Erzeugen von Sichtbarkeit (darstellen)		Transparenz & Diagnose (ergründen)		
Prognose		Adaption & Entscheidungs-automatisierung		keine		
Daten-/Informationsbedarf		Abstrakte Datentypen, die vom System benötigt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Prozessdaten		Auftragsdaten		Umgebungsdaten		keine
Daten-/Informationsangebot		Abstrakte Datentypen, die vom System erzeugt werden (diskret, Mehrfachwahl)				
Prozessdaten		Auftragsdaten		Umgebungsdaten		keine

Nun erfassen Sie jedes System (IT, OT oder Schnittstelle) mit einem entsprechenden Steckbrief. Dabei ist es wichtig, am Ende der Aufnahme alle Elemente auszufüllen. Sie werden voraussichtlich nicht alle Merkmale direkt befüllen können. Vielmehr müssen die notwendigen Informationen den Handbüchern der Systeme oder im direkten Austausch mit den zuständigen Personen im Unternehmen oder bei den Herstellern der Systeme eingeholt werden. Scheuen Sie sich nicht davor, den Hersteller bei offenen Fragen zu Schnittstellen oder Protokollen zu kontaktieren oder online danach zu recherchieren. Daher empfiehlt es sich, bei jeder Maschine (OT-System) ein Foto des Typenschildes zu machen. So können Sie die Maschine im Anschluss zuordnen und mit den konkreten Fragestellungen an die internen Ansprechpartner wie bspw. Instandhaltung oder dem Hersteller der Maschine wenden. Gleiches gilt für IT- und Schnittstellensysteme. Wo es keine Typenschilder gibt, können bei Softwaresystemen Versionsnummer und genaue Bezeichnung der Anwendung dokumentiert werden. Dies ist im Austausch mit der eignen IT oder dem Support des Herstellers sehr hilfreich.

Abschließend legen Sie die Sammlung der Steckbriefe zentral ab, so dass Sie diese im nächsten Schritt wiederverwenden können (Dieser Schritt entfällt bei Anwendung der ‚MarryIT‘-App)

D.9.4.2 Vorbereitung

- Festlegen des Betrachtungsbereichs der Ist-Aufnahme
- Informieren der zuständigen Personen
- Ausdrucken der Steckbriefe bzw. Vorbereitung des Systems zur digitalen Aufnahme
- Auswahl der Route zur „Begehung“ bei der Systemaufnahme, insb. auf dem Shopfloor

D.9.4.3 Nachbereitung

- Konsolidierung der Steckbriefe
- Kontaktieren von Hersteller oder internen Ansprechpartner:innen zu offenen Punkten
- Internetrecherche zu offenen Punkten
- Speicherung der Ergebnisse für Weiterverwendung im nächsten Arbeitsschritt

D.9.5 Schritt 3: Matching der Nutzenpotenziale mit der Ist-Aufnahme

Im dritten Schritt werden Ergebnisse der Ist-Aufnahme mit den ausgewählten Nutzenpotenzialen gegenübergestellt. So wird sichtbar, welche Nutzenpotenziale, welchen Vernetzungsaufwand erfordern und welche ggf. schon mit der bestehenden Systemlandschaft umgesetzt werden können.

D.9.5.1 Notwendige Arbeiten

D.9.5.1.1 Abgleich der Steckbriefe mit den Nutzenpotenzialen und Sortierung nach Übereinstimmung

Zunächst werden nun die Steckbriefe mit den vorausgefüllten Steckbriefen der Nutzenpotenziale abgeglichen (s. Anhang D.9.9.3). Hierfür gehen Sie nun für jedes Nutzenpotenzial die aufgenommenen Steckbriefe durch. Es bietet sich an, immer Steckbriefe einer Sorte, zum Beispiel OT-Steckbriefe, mit den „Soll-Steckbriefen“ der Nutzenpotenziale abzugleichen. Dies wiederholen Sie dann für die weiteren Kategorien und Nutzenpotenziale. Bei jedem Vergleich markieren Sie im aufgenommenen Steckbrief die Soll-Einordnung mit einer anderen Farbe. Diese Schritte können durch den Einsatz der mobilen Anwendung zu ‚MarryIT‘ ersetzt werden. Hier findet das Matching automatisch statt.

Im nächsten Schritt gleichen Sie die Steckbriefe der OT-Systeme und dann der IT-Systeme mit den Schnittstellen ab. Dort markieren Sie in den Schnittstellen-Steckbriefen, jeweils die OT-Schnittstellen und IT-Schnittstellen, sowie die verbundenen Systeme, falls noch nicht geschehen.

Hierbei ist nun logisches Überlegen gefragt. Nicht jede Maschine muss ggf. mit jeder Schnittstelle vernetzt werden. Hier können Sie nun entscheiden, welche Informationen zwischen welchen Systemen ausgetauscht werden müssen. Es lohnt sich, diese Vernetzung für jedes Nutzenpotenzial aufzuzeichnen. Durch diesen Schritt erhalten Sie eine Übersicht, welche Systeme miteinander vernetzt werden müssen, um welches Nutzenpotenzial zu realisieren. Darüber hinaus erhalten Sie die Information, inwieweit es schon Übereinstimmungen gibt.

D.9.5.2 Vorbereitung

- Verwendung der bisherigen Steckbriefe

- Steckbriefe der Nutzenpotenziale zur Hand haben (Anhang D.9.9.3)
- Ggf. Eintragung der Steckbriefe in Webanwendung zur Auswertung

D.9.5.3 Nachbereitung

- Speicherung/ Dokumentation der Priorisierung der Steckbriefe

D.9.6 Schritt 4: Scoring und Handlungsempfehlungen

Der vierte Schritt dient der systematischen Ableitung von Handlungsmaßnahmen und zu erwartenden Aufwände. Damit werden insbesondere Handlungsfelder deutlich, die es im Rahmen einer weiteren individuellen Evaluation zu beleuchten gilt. Auf Basis des Scorings können schnell Priorisierungen und mögliche „Problemstellen“ identifiziert werden, deren Lösung weiterer Betrachtung oder etwa eines anderen Ansatzes bedarf.

Die hier beschriebenen Schritte können automatisch durch den Einsatz der Anwendung zu ‚MarryIT‘ durchgeführt werden. Dazu müssen vorhergehende Schritte ebenfalls in der Anwendung durchgeführt worden sein.

D.9.6.1 Notwendige Arbeiten

D.9.6.1.1 Abgleich der Matching-Ergebnisse mit den Handlungsempfehlungen- und Scoring Tabellen

Zu Anfang können die vordefinierten Scoring-Werte der bereitgelegten Handlungsempfehlungen-Tabellen bei Bedarf individualisiert werden. Das Vorgehen ist in D.9.9.4 zusammengefasst.

Die Werte repräsentieren die empfundene Schwierigkeit von 0 (leicht) bis 1 (sehr aufwendig) für eine betrachtete Handlungsempfehlung bzw. für einen Transformationsschritt. Bei Bedarf schätzen Sie entsprechend der Ihnen zur Verfügung stehenden Qualifikationen die Schwierigkeiten neu ein und definieren Sie die Werte in den Tabellen. Auch bisher ausgegraute Stellen können hierbei definiert werden.



Dokument: Handlungsempfehlungen (inklusive intrinsischer Schwierigkeiten)



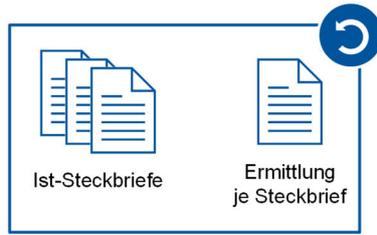
Dokument: extrinsische Schwierigkeiten

Schwierigkeiten basieren auf Erfahrungswerten und sind individuell anpassbar (Schlüssel der „extrinsischen“ Schwierigkeit: Schnittstelle, Konfiguration, Retrofit)

Steckbrief	Merkmal	Merkmalausprägung, die nachträglich zu erfüllen ist	Handlungsempfehlung	Schwierigkeit	
				intrinsische Schwierigkeit	extrinsische Schwierigkeit
OT	Ausgetauschte Datentypen	Prozessdaten	Zur Aufnahme von fehlenden Prozessdaten, können vereinzelt Sensoren nachgerüstet werden. Wenn mehrere Prozessdaten benötigt werden, sollte ein Retrofit geprüft werden.		K R
		Auftragsdaten	Die nachträgliche Erfassung von Auftragsdaten ist möglicherweise über einen Abgleich von Programm- und Sensordaten umsetzbar.		K
		Umgebungsdaten	Mit der Platzierung entsprechender Sensorlösungen können fehlende Umgebungsdaten erfasst werden.		R
			Es muss evaluiert werden, ob ein Lesen von Daten und Informationen mit einem Retrofit		

Steckbrief	Merkmal	Merkmalausprägung	Schwierigkeit			
			Schnittstelle	Konfiguration	Retrofit	
OT	OT-Hardware Schnittstelle	Analog / Digital (parallel)			0.5	
		Klemmen (bspw. UART, SPI, CAN, I2C/TWI)			0.2	
		RS232			0.2	
		USB			0.3	
		RJ45			0.1	
		Profibus			0.2	
		Keine	1		1	
	OT-Software Schnittstelle		HTTP/S	0.1		
			OPC-UA	0.3		
			Profibus	0.3		
			MQTT (o.ä.)	0.5		
		Keine	1			
	Zugriff		Proprietär	0.8	1	0.5
			Proprietär, aber freischaltbar	0.4	0.5	0.2

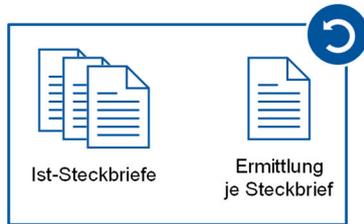
1. Ermittlung extrinsischer Schwierigkeiten



- 1 Übertrag auf extrinsische Schwierigkeiten → Dokument
- 2 Ermittlung der **minimalen** extrinsischen Schwierigkeit für jedes Merkmal
- 3 Festlegung der extrinsischen Schwierigkeiten für den betrachteten Steckbrief

Steckbrief	Merkmal	Merkmalausprägung	Schwierigkeit			Auswertung		
			Schnittstelle	Konfiguration	Retrofit	Schnittstelle	Konfiguration	Retrofit
OT	Merkmal 1	Ausprägung A	0.5	0.3	-	0.5	0.3	-
		Ausprägung B	-	0.6	-			
		Ausprägung C	0.8	0.5	1			
	Merkmal 2	Ausprägung X	0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1
		Ausprägung Y	0.3	1	-			
2 min						3 Ø		
Gesamt						0.4	0.2	0.1

2. Ableitung der Handlungsempfehlungen



- 1 Übertrag auf intrinsische Schwierigkeiten → Dokument
- 2 Übertrag der für Ausprägung relevanten, ermittelten extrinsischen Schwierigkeiten
- 3 Ableitung der Handlungsempfehlung für Abweichung gemäß min. Schwierigkeit

Merkmal	Merkmalausprägung, die nachträglich zu erfüllen ist	Handlungsempfehlung	Schwierigkeit			Schnittstelle	Konfiguration	Retrofit
			intrinsisch	extrinsisch				
M 1	Ausprägung 1 (gefordert, nicht erfüllt)	Handlungsempfehlung 1	0.1	S,K	0.4	0.2	0.1	
	Ausprägung 2 (gefordert und erfüllt)	Handlungsempfehlung 2						
	Ausprägung 3 (erfüllt, nicht gefordert)	Handlungsempfehlung 3						
M 2	Ausprägung 4 (gefordert, nicht erfüllt)	Handlungsempfehlung 4	0.5	K,R		0.2	0.1	

Abbildung 18: Vorgehen zur Ableitung von Handlungsempfehlungen

Beginnen Sie die Auswertung dann durch Berechnung der sogenannten „extrinsischen“ Schwierigkeiten für jeden Steckbrief. Die extrinsischen Schwierigkeiten teilen sich in drei Kategorien und beschreiben den Aufwand für den betrachteten Steckbrief für die Fälle: Anpassung einer verbundenen Schnittstelle (S), Nachrüstung mittels eines Retrofits (R) und Konfiguration zu Erzielung gewünschter Funktionalitäten (K). Zur Berechnung dieser Werte nehmen Sie sich einen Steckbrief zur Hand und bestimmen für jedes Merkmal entsprechend den ausgewählten Merkmalsausprägungen den geringsten durch die Tabelle aufgeschlüsselten Score der Werte für Schnittstelle (S), Retrofit (R) und Konfiguration (K). Haben Sie Werte für jedes Merkmal bestimmt, ergeben sich die extrinsischen Schwierigkeiten S, R und K für den betrachteten Steckbrief aus dem Mittelwert der Merkmale.

Beispiel: Das Merkmal A besitzt Ausprägungen x und y und das Merkmal B Ausprägung z. Die Tabelle bewertet x mit (**S: 0.5; R: 0.3; K: -**), y mit (**S: -; R: 0.6; K: -**) und z mit (**S: 0.3; R: 0.1; K: 1**). Daraus ergibt sich für A die Bewertung (**S: 0.5**, da y dies nicht definiert; **R: 0.3**, da 0.3 aus x geringer als 0.5 aus y ist; **K: -**, da es weder durch x und y definiert wird). B bewertet sich identisch zu z, da keine anderen Ausprägungen gewählt wurden. Die letztliche extrinsische Bewertung des Steckbriefs ergibt sich aus dem Durchschnitt von A und B nun zu (**S: 0.4, R: 0.2, K: 1**). Daraus ist zu deuten, dass bei einer Anpassung der mit diesem Steckbrief verbundenen Schnittstelle ein moderater Aufwand zu erwarten ist. Soll das betrachtete System mit einem Retrofit ausgestattet werden, ist dies vergleichsweise einfach zu bewerkstelligen.

Ist hingegen eine Konfiguration des betrachteten Systems notwendig, wird ein sehr hoher Aufwand erwartet.

Sind für jeden Steckbrief seine extrinsischen Schwierigkeiten berechnet, können die Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Dazu betrachten Sie die im Matching definierten Abweichungen und ordnen gemäß den Handlungsempfehlungs-Tabellen die entsprechende Handlungsempfehlung zu. Über die sogenannte „intrinsische“ Schwierigkeit der jeweiligen Handlungsempfehlung, leiten Sie den zu erwartenden Aufwand ab. Sind für eine Handlungsempfehlung ebenfalls extrinsische Schwierigkeiten definiert, vergleichen Sie diese untereinander, um eine potenziell einfachere Lösung abzuleiten.

Beispiel: Merkmal A besitzt Abweichung x. Abweichung x schlüsselt sich laut Tabelle zu einer Handlungsempfehlung mit intrinsischer Schwierigkeit (**I: 0.5**) auf. Für die Handlungsempfehlung sind die extrinsischen Schwierigkeiten R und K angegeben, die zur Bewertung hinzugezogen werden. Analog zum vorherigen Beispiel nehmen wir für den Betrachteten Steckbrief eine extrinsische Schwierigkeit von (**S: 0.4, R: 0.2, K: 1**) an. Die originale Handlungsempfehlung wird nun zugunsten der einfacheren Option verworfen, das System mit einem Retrofit auszustatten, da der Wert für R geringer als I ist. Eine Neu-Konfiguration des betrachteten Systems stellt hierbei keine sinnvolle Alternative dar, da die Schwierigkeit K sehr hoch bewertet ist.

Wenden Sie diese Vorgehensweise für sämtliche Steckbriefe an, die im Rahmen eines Nutzenpotenzials betrachtet werden sollen. Ein Sonderfall ergibt sich für Steckbriefe des Typs Schnittstelle. Ist für eine Schnittstelle eine Anpassung notwendig, müssen die extrinsischen Schwierigkeiten S (Schnittstelle) aller damit verbundenen IT- und OT-Steckbriefe hinzugezogen werden, um eine Bewertung des zu erwartenden Aufwands vorzunehmen.

Nutzen Sie die erhaltenen Ergebnisse, um sich zur Ableitung konkreter individueller Maßnahmen zu orientieren und erste Aufwände abzuschätzen. Eine Plausibilisierung der abgeleiteten Handlungsmaßnahmen ist dabei explizit empfohlen. Die generisch definierten Handlungsempfehlungen lassen sich erwartungsgemäß nicht ohne Anpassungen auf spezifische extensive Ausgangssituationen mit realen Problemstellungen anwenden, sollten aber Handlungsfelder für weitere individuelle Maßnahmen aufzeigen.

D.9.6.2 Vorbereitung

- Verwendung der bisher ausgewerteten Steckbriefe
- Handlungsempfehlungen-Tabellen (inkl. Scoring) zur Hand haben
- Ggf. Scoring-Werte zur Individualisierung nach eigenem Ermessen anpassen
- *Bei Verwendung der Anwendung werden diese Schritte automatisch durchgeführt*

D.9.6.3 Nachbereitung

- Plausibilisierung der Handlungsempfehlungen und Schwierigkeits-Bewertungen
- Kritische Evaluation zur Ableitung konkreter individueller Handlungsmaßnahmen

D.9.7 Weiterführende Informationen zum Projekt

Sie benötigen Unterstützung oder sind interessiert an weiterführenden Informationen zum Projekt? Alle Informationen sowie Ansprechpartner:in finden Sie auf der Website des Projekts: marryit.fir.de

D.9.8 Förderhinweis

Wir bedanken uns bei den Fördergebern des Projekts:

Das IGF-Vorhaben 20768 BG der Forschungsvereinigung FIR e. V. an der RWTH Aachen, Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

D.9.9 Materialien für die Anwendung (Anhang)

D.9.9.1 Liste zur Auswahl der Nutzenpotenziale

Vgl. Abschnitt D.1 Liste und Beschreibung der Nutzenpotenziale

D.9.9.2 Blanko Steckbriefe zur Einordnung

Vgl. Abschnitt D.5

D.9.9.3 Ausgefüllte Steckbriefe für die Nutzenpotenziale

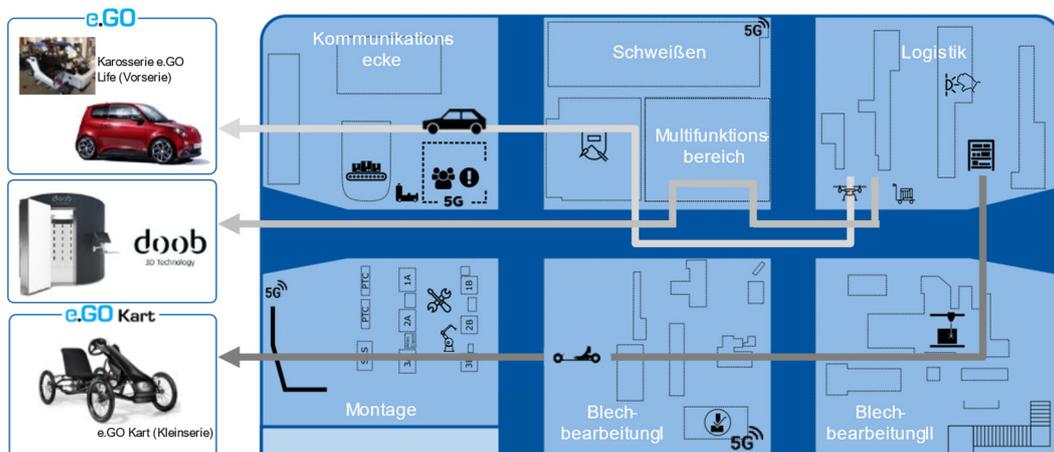
Vgl. Abschnitt D.6

D.9.9.4 Vorgehen und Sammlung der Handlungsempfehlungen

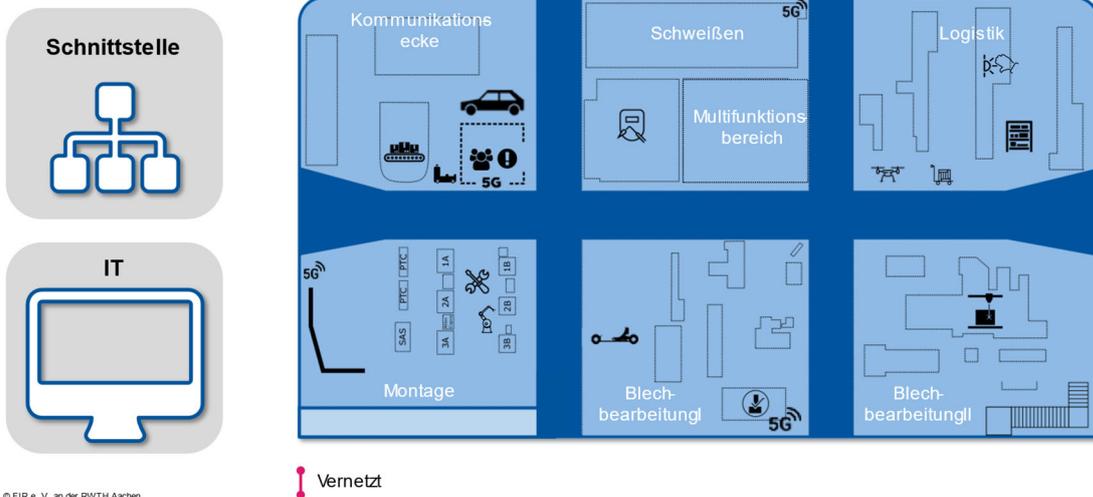
Vgl. Abschnitte D.7 und D.8

D.10 Workshop zur Anwendung der MarryIT-Methode

Workshop: IT-OT-Integration in der Demonstrationsfabrik (DFA)
Die Produkte



Grobdarstellung der Demonstrationsfabrik und ihrer Produkte



© FIR e. V. an der RWTH Aachen

22

Aufgabenstellung

Nun sind Sie dran: Die Interviews wurden bereits von uns für Sie durchgeführt.

- Bitte nehmen Sie die Systeme in die Anwendung auf und analysieren Sie das Integrationspotenzial
- Verwenden Sie die dazu bereitgestellten Steckbriefe sowie den Plan der Demonstrationsfabrik

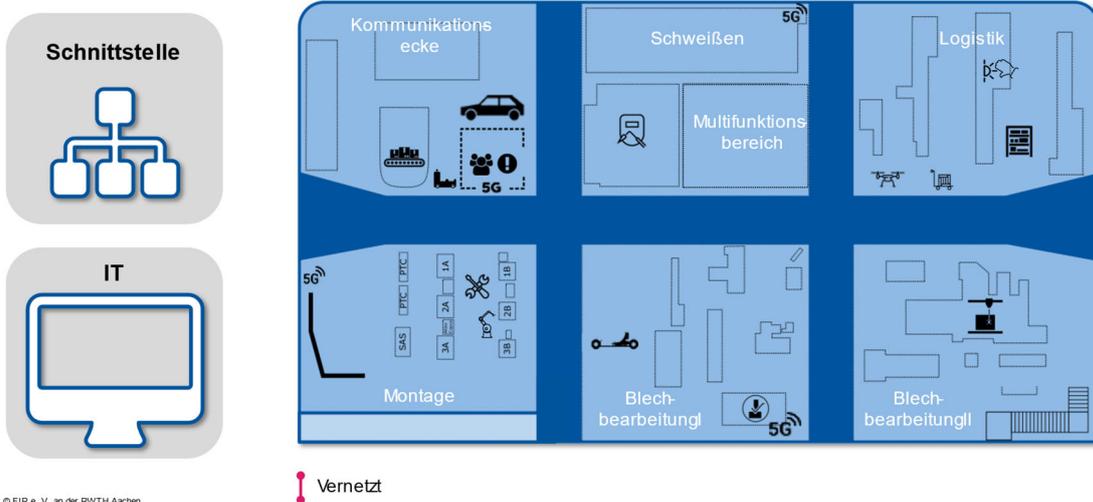


© FIR e. V. an der RWTH Aachen

Photo by [Gisela Jordan](#) on [Unsplash](#).

24

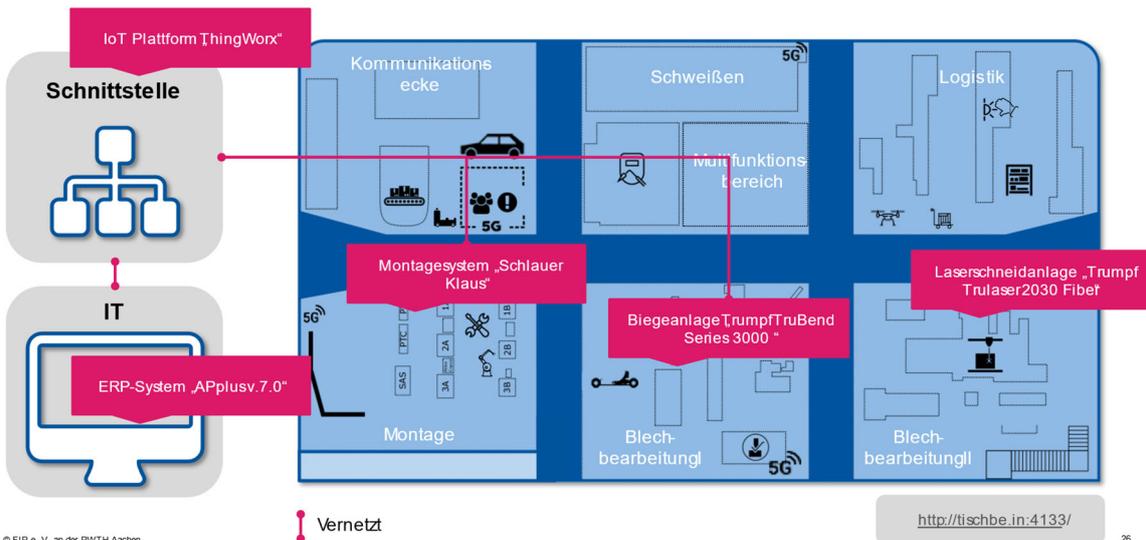
Workshop: IT-OT-Integration in der Demonstrationsfabrik (DFA)
Der Untersuchungsbereich



© FIR e. V. an der RWTH Aachen

25

Workshop: IT-OT-Integration in der Demonstrationsfabrik (DFA)
Der Untersuchungsbereich



© FIR e. V. an der RWTH Aachen

26

Workshop: IT-OT-Integration in der Demonstrationsfabrik (DFA)

Die Interviewergebnisse

- Name: Trumpf Laserschneidanlage „ Trulaser 2030 Fiber“
- Ausgetauschte Daten: Prozessdaten, Auftragsdaten
- Anschlüsse: USB, Ethernet (RJ45)
- Protokolle: OPC-UA, Umati
- Zugriff: Proprietär, Freischaltung über TRUMPF durchgeführt
- Datenübertragung: Echtzeit
- Datenerhebung erfolgt auf Request
- Interaktion: Lesen



© FIR e. V. an der RWTH Aachen

Bildquelle: https://www.trumpf.com/de_DE/produkte/maschinen-systeme/biegemaschinen/trubend-serie-3000/

27

Workshop: IT-OT-Integration in der Demonstrationsfabrik (DFA)

Die Interviewergebnisse

- Name: Trumpf Biegemaschine „ TruBend Series 3000“
- Ausgetauschte Daten: Prozessdaten, Auftragsdaten
- Anschlüsse: USB, Ethernet (RJ45), RS232
- Protokolle: MQTT, Umati
- Zugriff: Proprietär
- Datenübertragung: Echtzeit
- Datenerhebung erfolgt auf Request
- Interaktion: Lesen



© FIR e. V. an der RWTH Aachen

Bildquelle: https://www.trumpf.com/de_AT/produkte/maschinen-systeme/20-laserschneidmaschinen/trulaser-2030-fiber/

28

Workshop: IT-OT-Integration in der Demonstrationsfabrik (DFA) Die Interviewergebnisse

- Name: Montagesystem „Schlauer Klaus“
- Ausgetauschte Daten: Auftragsdaten
- Anschlüsse: USB, Ethernet (RJ45)
- Protokolle: HTTPS
- Zugriff: Frei
- Datenübertragung: Echtzeit
- Datenerhebung erfolgt auf Request
- Interaktion: Lesen, Schreiben



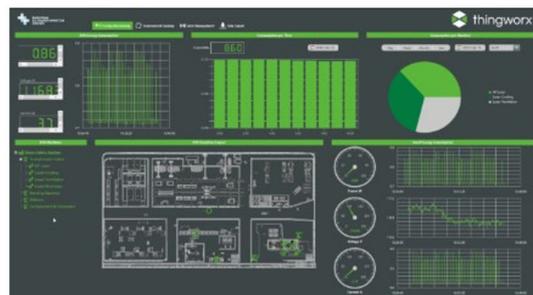
© FIR e. V. an der RWTH Aachen

Bildquelle: <https://www.industrial-production.de/montagetechnik/schlauer-klaus-unterstuetzt-de-montage-des-a4.htm>

29

Workshop: IT-OT-Integration in der Demonstrationsfabrik (DFA) Die Interviewergebnisse

- Name: PTC ThingWorx
- Schnittstelle: HTTPS, MQTT, OPC-UA, UMATI
- Funktion: Datenerfassung, Datenveredlung, Speicherung, Visualisierung
- Konfiguration: Programmierbar, Low -Code
- Datenübertragung: Datenbank
- Verarbeitete Daten: Auftragsdaten, Prozessdaten
- Datenverarbeitung: Alle Funktionen



© FIR e. V. an der RWTH Aachen

30

Workshop: IT-OT-Integration in der Demonstrationsfabrik (DFA) Die Interviewergebnisse

- Name: Montagesystem „APplus v7.0“
- Schnittstelle: HTTPS, MQTT
- Funktion: Datenerfassung, Datenveredlung, Speicherung, Visualisierung
- Zugriff: Frei
- Verarbeitete Daten: Auftragsdaten
- Datenverarbeitung: Ist -Soll abgleichen
- Datenübertragung: Echtzeit

