



Plug CONTROL

ABSCHLUSSBERICHT

des Verbundvorhabens

**„Adaptive Smart Service
Systeme zur Optimierung
und Steuerung von
Produktionssystemen auf
Basis bedarfsorientiert
konfigurierbarer
Smart Data Bausteine
(Plug_and_Control)“**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das diesem Abschlussbericht zugrundeliegende Vorhaben „Plug_and_Control“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, und Forschung unter den Förderkennzeichen 02K16C130 - 02K16C137 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Projektlaufzeit: 01.08.2017 bis 31.12.2020

Herausgeber, Koordination und Redaktion:

Technische Universität Chemnitz
Professur Fabrikplanung und Intralogistik
Prof. Ralph Riedel

Kontakt:

Technische Universität
09107 Chemnitz

Telefon: +49 (371) 531 23 220

E-Mail: fpl@tu-chemnitz.de

Stand: Mai 2021

Online: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa2-750077>

Titelbild: www.shutterstock.com, Bild-ID: 514969543

Das Werk - ausgenommen der Abbildung auf dem Titel (Titelbild) sowie der Logos der TU Chemnitz und sämtlicher, in Kapitel 3 dieses Werkes aufgeführten Partnerfirmen - steht unter der Creative-Commons-Lizenz Attribution - ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>



Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis	VII
1 Das Projekt Plug_and_Control	1
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Status Quo	2
1.3 Strategie & Forschungsfrage	3
1.4 Ziele des Projektes	4
2 Grundlagen digitaler Dienstleistungen	6
2.1 Definitionsrahmen digitaler Dienstleistungen	6
Dienstleistung	6
Digitale Dienstleistungen	7
Smart Service	7
Smart Product.....	7
hybrides Leistungsbündel	7
2.2 Beschreibung dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle mittels Gemini 4.0 Business Model Canvas	7
3 Projektkonsortium	9
3.1 Professur Fabrikplanung und Intralogistik der TU Chemnitz.....	9
3.2 ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH	10
3.3 KRS - SEIGERT GmbH.....	11
3.4 Terrot GmbH.....	12
3.5 ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V.....	13
3.6 Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH.....	14
3.7 Simba n³ GmbH.....	15
3.8 com2m GmbH	16

4	Digitales Dienstleistungskonzept.....	17
4.1	Anforderungen an die Methode.....	17
4.2	Modulares digitales Dienstleistungskonzept	18
4.3	Systembeschreibung.....	25
4.4	Zusammenhang von Servicekonzept & SDU-SMU-Sammlung.....	28
4.5	SDU-SMU-Bibliothek.....	31
5	Transfer in die Praxis.....	43
5.1	Prototypische Umsetzung des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“	43
5.1.1	Ausgangslage und Zielstellung	43
5.1.2	Konzeptionierung des Prototyps	44
5.1.3	Realisierung des Prototyps.....	48
5.2	Prototypische Umsetzung zum Anwendungsfall „Instandhaltungsmanagement“ bei der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH.....	59
5.2.1	Ausgangslage und Zielstellung	59
5.2.2	Konzeptionierung des Prototyps	60
5.2.3	Realisierung des Prototyps.....	62
5.3	Prototypische Umsetzung zum Anwendungsfall „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“ bei der KRS - SEIGERT GmbH.....	65
5.3.1	Ausgangslage und Zielstellung	65
5.3.2	Konzeptionierung des Prototyps	67
5.3.3	Realisierung des Prototyps.....	71
5.4	Prototypische Umsetzung des Anwendungsfalls „Auftragsmonitoring“ bei der Terrot GmbH	73
5.4.1	Ausgangslage und Zielstellung	73
5.4.2	Konzeptionierung des Prototyps	74
5.4.3	Realisierung des Prototyps.....	77
5.5	Prototypische Umsetzung des Anwendungsfalls „Parameterbestimmung für den IHU-Prozess“	80

5.5.1 Ausgangslage und Zielstellung	80
5.5.2 Konzeptionierung des Prototyps	82
5.5.3 Realisierung des Prototyps.....	84
5.5.4 Ausblick.....	86
5.6 Validierung und Verifikation	87
5.6.1 Validierung der prototypischen Lösungen	87
5.6.2 Validierung des modularen Servicekonzepts	89
5.6.3 Verifikation	90
6 Methode zur Implementierung von Geschäftsmodellen	92
6.1 Prototyp ableiten	93
6.2 Prototyp implementieren.....	93
6.3 Prototyp testen.....	95
7 Zusammenfassung & Ausblick.....	97
8 Danksagung.....	100
9 Autorenverzeichnis.....	101
Technische Universität Chemnitz	101
ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH.....	102
KRS - SEIGERT GmbH	102
Terrot GmbH	103
ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V.	103
Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH.....	104
Simba n ³ GmbH.....	104
com2m GmbH.....	104
10 Veröffentlichungen & Vorträge	105
Veröffentlichungen.....	105
Vorträge.....	106
11 Quellenverzeichnis	107

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenhänge diverser Dienstleistungsbegriffe abgeleitet von der DIN SPEC 33453:2019.....	6
Abbildung 2: Business Model Canvas des Forschungsprojektes GEMINI (Gausemeier et al., 2017, S. 27).....	8
Abbildung 3: Sitz des ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. (Foto: ICM).....	13
Abbildung 4: Höchste Aggregationsebene des modularen Service Konzepts aus dem Projekt Plug_and_Control (Amann et al. 2020: S. 253).....	19
Abbildung 5: Dienstleistungsmodul der Marktleistung „Maschineneinstellungen bestimmen“	20
Abbildung 6: Zuordnung von Datenthemen zu den Teilmodulen der Marktleistung Generierung von Handlungsanweisungen/Rezepturen/ Maschineneinstellungen	21
Abbildung 7: Beispiel einer konzeptionell designten digitalen Dienstleistung mittels BPMN2.0	23
Abbildung 8: Beispiel für das Design einer datenbasierten Dienstleistung aus informationstechnischer Sicht mithilfe von SMU und SDU	24
Abbildung 9: Einordnung der Begriffe und Zusammenhänge	27
Abbildung 10: SMU Daten plausibilisieren und verifizieren	29
Abbildung 11: interner Prozessaufbau der SDU „Produkt-/Dienstleistungs- und Prozessanforderungen“	32
Abbildung 12: interner Prozessaufbau der SDU „Produkteigenschaften“	33
Abbildung 13: interner Prozessaufbau der SMU „Daten plausibilisieren und verifizieren“	35
Abbildung 14: interner Prozessaufbau der SMU „Daten bereinigen“	36
Abbildung 15: interner Prozessaufbau der SMU „Datenreduktion und Clustering“	38
Abbildung 16: interner Prozessaufbau der SMU „Datenklassifikation und Evaluation“	39
Abbildung 17: interner Prozessaufbau der SMU „Risikofaktor berechnen“	41
Abbildung 18: interner Prozessaufbau der SMU „Kosten berechnen“	42
Abbildung 19: Canvas zur Beschreibung des Anwendungsfalls Bestimmung von Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen.....	44

Abbildung 20: Verwendete SDU des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“ in grau	45
Abbildung 21: Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“ mit den Smart Service Units sowie Input- und Outputdaten in gelb	46
Abbildung 22: Überführungskonzept „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“	47
Abbildung 23: Realisierte Informationsflüsse für die additive Fertigung	49
Abbildung 24: Darstellung der SDU-Strukturierungs-Workflows für verschiedene Rohdaten ...	50
Abbildung 25: Workflow zum Einlesen verschiedener Daten aus der MongoDB (Strukturierung I)	50
Abbildung 26: Generischer Workflow zur Erstellung einer SDU (Strukturierung II).....	51
Abbildung 27: Durch Kombination von SDU und SMU entstehende SSU „Daten erheben“	52
Abbildung 28: SMU Datenbereinigung mit Korrekturen durch Abstandsberechnungen	53
Abbildung 29: Ausschnitt aus der SMU Hauptkomponentenanalyse	54
Abbildung 30: SMU zur Definition der Cluster mittels k-Means-Algorithmus und Überprüfung anhand des Silhouettenkoeffizienten.....	54
Abbildung 31: Antrainieren eines Modells zum Klassifizieren von Datensätzen	55
Abbildung 32: Klassifizieren der Daten mittels Random Forest-Algorithmus.....	56
Abbildung 33: Dashboard zur Auswahl optimaler Maschineneinstellungen	57
Abbildung 34: Canvas zur Erfassung von digitalen Serviceberichten bei der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH.....	60
Abbildung 35 Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Vorgehensweise zur Reparatur bestimmen“ mit den Smart Service Units sowie Input- und Outputdaten in gelb	60
Abbildung 36: Überführungskonzept „Vorgehensweise zur Reparatur bestimmen“	61
Abbildung 37: Kundendienst-Bericht (Quelle: ERMAFA GmbH)	62
Abbildung 38: Schnittdarstellung einer Kugelschleifmaschine (Grafik: Büchs 1986, S.19).....	65
Abbildung 39: Canvas zur Digitalisierung einer Kugelschleifmaschine bei der KRS - SEIGERT GmbH.....	67
Abbildung 40: Verwendete SDU des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“ der KRS - SEIGERT GmbH in grau	68

Abbildung 41: Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“ der KRS - SEIGERT GmbH.....	69
Abbildung 42: Überführungskonzept „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“.....	70
Abbildung 43: Kugelschleifmaschine vor Umbau (rechts) und nach vollständiger Installation (links) (Fotos: KRS - SEIGERT GmbH).....	71
Abbildung 44: Dashboard zur Prototypenmaschine der KRS - SEIGERT GmbH (Fotos: KRS - SEIGERT GmbH).....	72
Abbildung 45: Canvas zur Überwachung der Kundenauftragsabwicklung bei der Terrot GmbH	74
Abbildung 46: Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Änderungsservice“ und „Auftragsnachverfolgung“ mit den Smart Service Units sowie Input- und Outputdaten in gelb	75
Abbildung 47: Überführungskonzept „Selfservice Änderungsmanagement“	76
Abbildung 48: Aufträge je Kalenderwoche nach Arbeitsschritten (Abb.: Terrot GmbH).....	77
Abbildung 49: Aufträge nach Datum und Arbeitsschritten (Abb.: Terrot GmbH).....	78
Abbildung 50: Canvas zum Technologiegenerator für IHU-Parameter des ICM e.V.....	81
Abbildung 51: Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Parameterbestimmung für den IHU-Prozess“ mit den Smart Service Units sowie Input- und Outputdaten in gelb.....	82
Abbildung 52: Überführungskonzept „Parameterbestimmung für den IHU-Prozess“	83
Abbildung 53: Clusteranalyse IHU-Prozess (Abb.: ICM e.V.).....	84
Abbildung 54: Clusteranalyse synthetischer Datensatz mit Zustandszuordnung (Abb.: ICM e.V.)	85
Abbildung 55: Konfusionsmatrix – Vorhersage mit Naive Bayes-Algorithmus (Grafik: ICM e.V.)	86
Abbildung 56: Beziehungen und zeitlicher Verlauf des Validierungsprozesses (Abb.: Hörmann RAWEMA GmbH)	87
Abbildung 57: Ergebnisse der Hauptvalidierung	88
Abbildung 58: Vorgehensmodell zur Implementierung von Geschäftsmodellen (Abb.: ICM e.V.)	95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der SDU „Produkt-/Dienstleistungs- und Prozessanforderungen“	31
Tabelle 2: Beschreibung der SDU „Produkteigenschaften“	33
Tabelle 3: Beschreibung der SMU „Daten plausibilisieren und verifizieren“	34
Tabelle 4: Beschreibung der SMU „Daten bereinigen“	35
Tabelle 5: Beschreibung der SMU „Datenreduktion und Clustering“	37
Tabelle 6: Beschreibung der SMU „Datenklassifikation und Evaluation“	38
Tabelle 7: Beschreibung der SMU „Risikofaktor berechnen“	40
Tabelle 8: Beschreibung der SMU „Kosten berechnen“	41
Tabelle 9: Bezug SDU zu Akteuren des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“	46
Tabelle 10: Bezug SDU zu Akteuren des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“	68
Tabelle 11: Bewertung des Erfüllungsgrad der Anforderungen an die Methode.....	89

1 Das Projekt Plug_and_Control

1.1 Problemstellung und Motivation

Mit der fortschreitenden, weltweiten Digitalisierung sind Unternehmen in der Regel nur dann wettbewerbsfähig, wenn sie ein durchgängiges und geschlossenes Informationsmanagement aufweisen. Dafür ist sowohl der effiziente Austausch von Daten aus verschiedenen Datenquellen und Datenbanksystemen als auch eine konsequente Informationslogistik notwendig (Tao et al. 2018: 157-169). Im Ergebnis lassen sich Optimierungspotenziale für einzelne Anlagen, umfassende Produktionsprozesse bis hin zur gesamten Supply Chain erschließen und produktionsbezogene Dienstleistungen sowie damit verbundene Geschäftsmodelle generieren. Durch den Einsatz zunehmend komplexerer mathematischer Modelle können dafür Datenanalysen entlang des gesamten Produktionsprozesses durchgeführt (Klöber-Koch et al. 2019: 116-121) und in Folge dessen ein wichtiger Beitrag zur Optimierung des Gesamtsystems geleistet werden.

Während vor allem größere Unternehmen diese Bestrebungen bereits mit Nachdruck und auf unterschiedlichen Wegen verfolgen, lassen sich in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) stark variierende Fortschritte beobachten (HHL 2019: 12-14). So existieren neben Vorreiterunternehmen mit klaren Entwicklungsstrategien und Umsetzungsprojekten (DIHK 2016) sowie Betrieben mit einigen alleinstehenden Softwareapplikationen eine Vielzahl an Unternehmen, die nur über eine lückenhaft automatisierte, größten Teils manuelle Datenerfassung verfügt (Icks et al. 2017: 255). Somit liegen im KMU-Sektor datenseitig erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Vollständigkeit, der Datenqualität und den vorliegenden Datenformaten vor. Um jedoch geeignete mathematische Modelle für Datenanalysen anwenden zu können, ist der Einsatz von Methoden zur Datenvorbereitung eine wichtige Voraussetzung. Dies gestaltet sich in einer Softwarelandschaft mit stark variierenden Datenbeständen jedoch als zusätzliche Herausforderung.

Das Projekt „Plug_and_Control“ verfolgt in diesem Zusammenhang das Ziel ein adaptives Konzept zur Konzeptionierung von digitalen Dienstleistungen auf Basis der Realisierung von Datensammlung, -analyse und -auswertung von Prozess und Maschinendaten zu entwickeln, welches

auf offenen Schnittstellen basiert und unabhängig von der Softwareumgebung angewendet werden kann. Als Basis soll dazu ein modulares Baukastensystem entwickelt werden, welches sich vor allem auf flexibel konfigurierbare, standardisierte Datenbausteine stützt und mit dessen Hilfe anschließend Mechanismen und Services zur Steuerung der unternehmerischen Produktion generiert werden können (Wilsky et al. 2018: 28). Neben Anwendungsfällen im Instandhaltungs- und Auftragsmanagement liegt der Fokus vor allem auf der IT-gestützten Formalisierung unternehmensspezifischen Prozesswissens. Der angestrebte generische und offene Charakter der Lösung fördert dabei eine branchenunabhängige und flexible Nutzung für produzierende Unternehmen mit wiederkehrenden Aufgaben bzw. Problemstellungen – vor allem im KMU-Sektor

1.2 Status Quo

Produzierende Unternehmen stehen vor der Herausforderung eine hohe Anlagenverfügbarkeit bei optimaler Kosteneffizienz sowie ein Höchstmaß an Anpassungs-/Veränderungsfähigkeit sicherzustellen, dies unter Beachtung zunehmender Komplexität und Verkettung kapitelintensiver Anlagen (Blameuser et al. 2015). Handlungsempfehlungen sind u.a. die IT-Integration der Maschinen, die Nutzung relevanter (Maschinen-) Daten zur proaktiven Instandhaltung, die Integration von Produktions- und Instandhaltungsplanung, sowie der Einsatz mobiler Technologien und die Nutzung von Echtzeitdaten.

Überwachung und Instandhaltung von Maschinen und Anlagen sind häufig Gegenstand von Dienstleistungsvereinbarungen mit Anlagenherstellern oder Instandhaltungsunternehmen. Geschäftsmodelle dafür, die speziell auf Daten aus Maschinen und Prozessen basieren, wurden bereits in den letzten Jahren entwickelt, jedoch vom Mittelstand bisher kaum adaptiert (Bienzeisler 2013). Trotzdem werden intelligente Dienstleistungen, die im Betrieb mit dem Internet verbunden sind, als Grundlage für zahlreiche neue daten- und dienstbasierte Geschäftsmodelle gesehen (Kagermann et al. 2014). Derartige produktionsbezogene Dienstleistungen und die damit verbundenen Geschäftsmodelle können jedoch nur erfolgreich verwirklicht werden, wenn es gelingt, für diese eine entsprechende technologische Basis zu schaffen. So ist es aufgrund der Fokussierung solcher Services auf Anlagenverfügbarkeit und Prozessoptimierung notwendig, dass die richtigen Informationen in ausreichender Menge und zum entsprechenden Zeitpunkt zur Verfügung stehen. Für derartige Dienstleistungen ist deshalb ein übertragbares und flexibles Konzept zur Datenvernetzung, -übertragung, -speicherung und -nutzbarmachung erforderlich, welches durch den Einsatz industrietauglicher und kosteneffizienter Technologien zum Fernzugriff auf Aggregate, die Integration in eine aggregatübergreifende Cloud-Lösung, lernende

Verfahren für Analyse und Interferenz sowie robuste Optimierungsverfahren erst ermöglicht wird (Geisberger & Broy 2015).

Während die Digitalisierung vor allem in größeren Unternehmen bereits weit vorangeschritten ist, sehen sich vor allem mittelständisch geprägte Unternehmen insbesondere im Hinblick auf eine durchgängige Datenerhebung, systemübergreifende Datennutzung sowie eine bedarfsorientierte, flexible Informationsverarbeitung erheblichen Defiziten gegenüber, die die Realisierung produktionsbezogener Dienstleistungen erschweren (HHL 2019: 14). Allen voran ist in den Unternehmen meist eine heterogene Systemlandschaft vorzufinden, die meist nur einzelne Teilprozesse unterstützen (Lindner 2019: 15). Zudem kommen in der Produktion Maschinen unterschiedlicher Hersteller und unterschiedlichen Alters, d.h. zum Teil ohne entsprechende Möglichkeit der automatisierten Datenerhebung, zum Einsatz, was zur Folge hat, dass Daten vor allem bei älteren Maschinen nur in unzureichender Menge, Aktualität und Detaillierungsgrad sowie in verschiedenen Formaten verfügbar sind. Auch ist der flexible, ortsunabhängige und bedarfsgerechte Zugriff auf Daten noch nicht in allen Unternehmen möglich, weil zum Beispiel immer noch Vorbehalte gegenüber den technischen Unsicherheiten bei Cloud-Technologien bestehen (KPMG 2020: 7-15).

Neben technischen Hürden sind auch finanzielle sowie ressourcenbedingte Gründe für die lückenhafte Digitalisierung und die damit einhergehende zögerliche Implementierung digitaler Dienstleistungen zu nennen. So mangelt es in mittelständischen Unternehmen häufig an entsprechend qualifizierten Fachkräften und somit an IT- und Data Science-Kompetenz (Saam et al. 2016: 51-52).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bereits existierende Lösungen und Methoden für Konzeptionierung und Realisierung digitaler Dienstleistungen und damit verbundenen Geschäftsmodelle derzeit nur eingeschränkt die erwähnten Besonderheiten und Rahmenbedingungen des Mittelstands – im Besonderen von KMU – berücksichtigen und jene deshalb von den Unternehmen kaum genutzt werden.

1.3 Strategie & Forschungsfrage

Seit der 4. Industriellen Revolution und der zunehmenden Digitalisierung vollzieht sich ein grundlegender Innovations- und Transformationsprozess industrieller Wertschöpfung. Hierbei werden neue Formen des Wirtschaftens und Arbeitens in globalen, digitalen Ökosystemen weg von starren und fest definierten Wertschöpfungsketten hin zu flexiblen, hochdynamischen Wertschöpfungssystemen in weltweit vernetzten Wertschöpfungsnetzwerken forciert. Als Voraussetzung

dafür sind der Zugang, die Verfügbarkeit, die Transparenz und die Nutzung der Daten als zentrale Erfolgsfaktoren zu nennen.

Im Fokus der Forschung steht zum einen die Entwicklung neuer datengetriebener Geschäftsmodelle, welche kunden- und lösungsorientiert gestaltet sind. Zum anderen sollen Produktions- und Dienstleistungsprozesse digitalisiert und darüber hinaus die innovative Verbindung von Sachgütern und Dienstleistungen zu neuen Produkt-Service-Systemen vorangetrieben werden (BMBF 2020:7). Dazu wurde im Rahmen der Hightech-Strategie 2025 der Bundesregierung das Dachprogramm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ ins Leben gerufen, zu dessen Schwerpunkten unter anderem der Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit mit technikbasierten Dienstleistungssystemen zählt. Dabei stellt der technische Fortschritt im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien den Treiber für Dienstleistungsinnovationen dar, deren Ziele u.a. die Verbesserung des kooperativen Wertschöpfungsprozesses zwischen Anwender und Anbieter durch die Individualisierung von Dienstleistungen, eine Erhöhung der Prozesssicherheit und eine Verbesserung der Kommunikation in Netzwerken sind (BMBF 2020: 8). Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei vor allem auf KMU-tauglichen Lösungen für produktions-, logistik- sowie datenbezogenen Dienstleistungen.

Aus diesem Kontext ergab sich für das Konsortium von Plug_and_Control folgende Forschungsfrage:

Wie müssen die zu entwickelnden Lösungen für datengetriebene und dienstleistungsbasierte Geschäftsmodelle gestaltet sein, um den Bedürfnissen der KMU gerecht zu werden?

1.4 Ziele des Projektes

Das Forschungsvorhaben hatte die Entwicklung eines modularen Dienstleistungsangebotes für produzierende Unternehmen zum Ziel, welches sich auf standardisierte und flexibel konfigurierbare Datenbausteine stützt. Durch diese Datenbausteine sollten fachlich zusammengehörige Daten – im Sinne von Datencontainern mit allgemeingültigem Inhalt – zusammengefasst und deren Struktur standardisierbar werden. Die Verwendung von Datenbausteinen sollte die Realisierung individualisierter, modularer und industrieller Dienstleistungen gestatten.

Das Projekt zielte darauf ab, die Lücke zwischen individuellen, flexiblen Anforderungen aus der Produktion und einer, für digitale Dienstleistungen notwendigen Datenstandardisierung zu schließen. Anhand dieser Beschreibung ließen sich verschiedene Anforderungen an das Konzept der Datenbausteine ableiten:

- Die funktionelle Beschreibung der Datenbausteine musste Technologie-agnostisch, also unabhängig von einer im Projekt verwendeten Softwarelösung erstellt werden, da somit zum einen die Adaption in beliebige Softwareprodukte und zum anderen potentiell kostengünstige Hard- oder Softwarebeschaffungen ermöglicht werden.
- Die Struktur der Datenbausteine sollte einheitlich und schlicht gehalten werden, um eine flexible Kombination der Bausteine, als auch eine effektive und effiziente Adaption für Unternehmen, auch mit begrenzten IT-Ressourcen, zu ermöglichen.
- Die Datenbausteine sollten in der Lage sein die Daten regelmäßig zu aktualisieren und die erhaltene Datenqualität zu überprüfen, um zum einen Auswertungen innerhalb der digitalen Dienstleistungen zu ermöglichen, als auch die Qualität der Analysen verlässlich zu halten.
- Die Datenbausteine müssten über ein flexibles und anpassbares Schnittstellenkonzept verfügen, um beliebige Datenquellen innerhalb der Unternehmen und deren Kunden als Eingangsinformationen nutzen zu können, da gerade Unternehmen im KMU-Sektor über diverse heterogene, nicht miteinander vernetzte Datenquellen verfügen.

Neben dem Konzept der Datenbausteine selbst war es notwendig, innerhalb des Projektes, ein entsprechendes Dienstleistungsentwicklungs-, Implementierungs- und Konfigurationskonzept zu erarbeiten, welche die Vernetzung und Konfiguration der Datenbausteine mittels darauf aufbauenden generalisierten Verarbeitungsmethoden zu digitalen Dienstleistungen in Unternehmen unterstützen.

2 Grundlagen digitaler Dienstleistungen

2.1 Definitionsrahmen digitaler Dienstleistungen

Die Vertreter aus Wissenschaft und Wirtschaft besitzen ein diversifiziertes Verständnis von digitalen Dienstleistungen und relevanten Begriffen zu diesem Thema. Dieses Kapitel beschreibt daher das Verständnis der Begriffe aus dem Projekt Plug_and_Control heraus, sodass die nachfolgenden Ausführungen klar zugeordnet werden können. Um ein einheitliches Begriffsverständnis zu fördern, verwendet das Projekt Plug_and_Control die in der DIN SPEC 33453:2019 „Entwicklung digitaler Dienstleistungssysteme“ verwendeten Begriffe. Abbildung 1 grenzt hierzu relevante Begriffe voneinander ab und definiert diese anschließend anhand der DIN SPEC 33453.

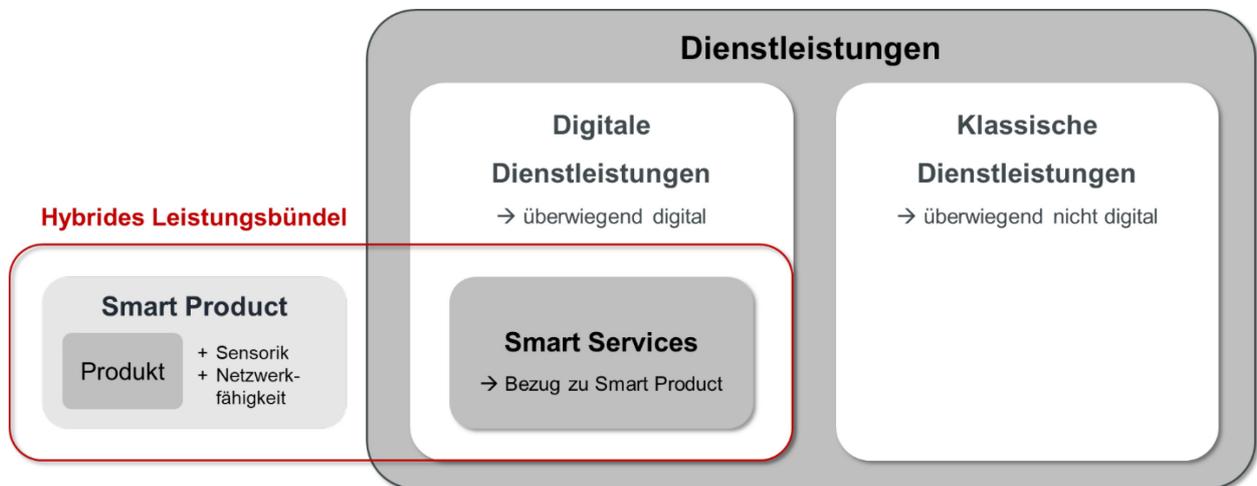


Abbildung 1: Zusammenhänge diverser Dienstleistungsbegriffe abgeleitet von der DIN SPEC 33453:2019

Dienstleistung

Eine Dienstleistung ist eine „selbstständig marktfähige Leistung, die im Zuge eines kooperativen Leistungserstellungsprozesses Kompetenzen und/oder Ressourcen von Dienstleistungsanbietern und Dienstleistungskunden miteinander integriert“ (DIN SPEC 33453, S. 7).

Digitale Dienstleistungen

„Dienstleistung, bei der die Bereitstellung entscheidender Kompetenzen und/oder Ressourcen, die Durchführung des wertschöpfenden Kernprozesses oder die Schaffung des zentralen Mehrwerts für die an der Wertschöpfung beteiligten Akteure in einem wesentlichen Umfang auf dem Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien basiert“ (DIN SPEC 33453, S. 7).

Smart Service

„Dienstleistung, die Daten aus digital vernetzten physischen Objekten (sog. Smart Products) aggregiert, verarbeitet und auf dieser Basis einen Mehrwert erzeugt“ (DIN SPEC 33453, S. 8).

Smart Product

Ein Smart Product ist ein „digital vernetztes physisches Objekt“ (DIN SPEC 33453, S. 8).

hybrides Leistungsbündel

„Leistungsbündel, das eine auf die Bedürfnisse des Kunden ausgerichtete Problemlösung darstellt, indem Sach- und Dienstleistungsanteile integriert werden, wobei die angestrebte Lösung die zu verwendenden und aufeinander abzustimmenden Sach- und Dienstleistungsanteile determiniert“ (DIN SPEC 33453, S. 8).

2.2 Beschreibung dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle mittels Gemini 4.0 Business Model Canvas

Für die Beschreibung der im Projekt bearbeiteten Anwendungsfällen wird auf das GEMINI 4.0 Business Model Canvas (Gemini 4.0-BMC) (Abbildung 2) aus der Studie des Verbundprojekts GEMINI – „Geschäftsmodelle für Industrie 4.0“ zurückgegriffen (Gausemeier et al. 2017). Dieses Canvas ist eine wissenschaftliche Weiterentwicklung des sehr häufig referenzierten und verbreiteten Business Model Canvas (BMC). GEMINI 4.0 stellt dabei besonders die Entwicklung von Geschäftsmodellen von produktionsnahen Dienstleistungen in den Fokus und erweitert die Betrachtung in Bezug auf Plattformen bzw. Dienstleistungen, die auf Plattformen angeboten werden können. Die detailliertere Betrachtung des Wertschöpfungsmodells als beim klassischen BMC fördert die Forschung innerhalb von Plug_and_Control.

Im Projekt Plug_and_Control kam dieses Vorgehen daher für die Erfassung und Erarbeitung der Dienstleistungen der Anwendungspartner zum Tragen. Es stellt mit den verschiedenen Aspekten

zudem den Zusammenhang der einzelnen Teilergebnisse der Entwicklung der jeweiligen Services dar. Die Verwendung des Gemini 4.0-BMC im Projekt Plug_and_Control fokussiert sich hierbei auf die Partialmodelle des Angebots- und Wertschöpfungsmodells und vernachlässigt das Kunden- und Anreizmodell. Dies ergibt sich aus den avisierten Zielen des Forschungsprojektes.

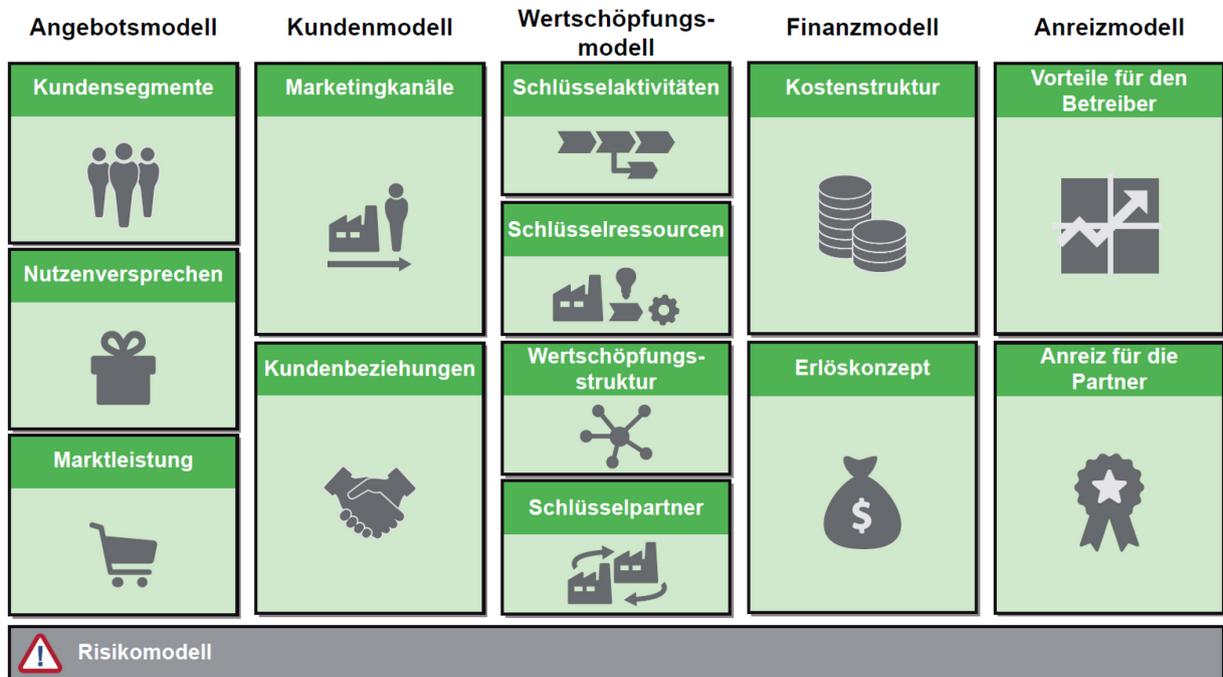


Abbildung 2: Business Model Canvas des Forschungsprojektes GEMINI (Gausemeier et al., 2017, S. 27)

3 Projektkonsortium

3.1 Professur Fabrikplanung und Intralogistik der TU Chemnitz

Die Professur Fabrikplanung und Intralogistik (früher: Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb) versteht sich mit ihren Mitarbeitern als kompetenter Partner für Planung und Betrieb ganzheitlicher Produktions- und Fabrikssysteme in Lehre und Forschung, wobei die Forschungsinhalte auf zukunftsweisende Themen ausgerichtet sind. So liegen ihre Kernbereiche beispielsweise in der Entwicklung und Realisierung flexibler, wandelbarer Fabriken sowie hierarchieloser, regionaler Produktionsnetze.



Darüber hinaus verfügt die Professur über hochwertige Kompetenzen im Bereich der rechnergestützten Fabrikplanung, Modellierung und Simulation sowie der energieeffizienten Fabrikplanung. Flexible, integrierte Produktions- und Logistiksystemlösungen sowie innovative Methoden und Instrumente in der Betriebsdatenerfassung, Prozessüberwachung und Systemdiagnose sind neben der Entwicklung reaktionsschneller und robuster Produktionsprozesse weitere Kernthemen des wissenschaftlichen Untersuchungsfeldes.

Mit der Bearbeitung zahlreicher Industrieprojekte und der Einbindung von Industriepartnern in ihre Forschungsprojekte sichert die Professur neben der Grundlagen- auch eine praxisgerechte Forschung. Um dafür eine innovationsförderliche und zukunftsorientierte Umgebung für Studierende, Mitarbeiter und beteiligte Unternehmen bereitstellen zu können, verfügt die Professur über eine realitätsnahe Experimentier- und Digitalfabrik (EDF). Deren Laborumgebung besteht aus dem Experimentiercenter mit industrietauglichen, produktionstechnischen Anlagensystemen und dem Digitalcenter mit Werkzeugen der digitalen Fabrik für Modellierung, Simulation und 3D-/VR-Visualisierung und repräsentiert den aktuellen Stand von Technik und Technologie.

3.2 ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH

Die AUERBACH Maschinenfabrik ist seit mehr als 75 Jahren als Werkzeugmaschinenbauer präsent und hat sich in den letzten Jahren insbesondere auf die Konstruktion sowie Fertigung von Tieflochbohr- und Fräsmaschinen spezialisiert. Seit vielen Jahren steht die Fertigung von komplexen Duo-Tech-Maschinen im Vordergrund, bei der die Verfahren des Tieflochbohrens und Fräsens in einer Maschine kombiniert werden. Der Kunde erhält dadurch die Möglichkeit, die Maschine flexibler zu nutzen. Die Maschinen der Marke AUERBACH sind weltweit und in zahlreichen Branchen im Einsatz: Maschinen- und Anlagenbau, Werkzeug- und Formenbau, Luft- und Raumfahrt, Gas- und Erdölindustrie, Energie- und Chemietechnik, Automotive, Rüstungsindustrie und Medizintechnik. Seit 2014 gehört das Werk in Ellefeld zur ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH mit Standort in Chemnitz. Die ERMAFA beschäftigt aktuell rund 119 Mitarbeiter, welche auf drei Standorte verteilt sind.

Neben der Fertigung von Werkzeugmaschinen am

Standort Ellefeld werden am Geschäftssitz in Chemnitz Sondermaschinen- und Anlagen projektiert sowie realisiert. Zusätzlich befindet sich in Chemnitz und in Neukirchen / Erzgebirge der Geschäftszweig mechanische Fertigung zur komplexen mechanischen Bearbeitung verschiedener Werkstücke. Der Umsatzerlös 2019 betrug 10.455.500€.

Die Erwartung der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH an das Projekt war eine Verbesserung des Kundenservices hinsichtlich der Digitalisierung von Wissen, sodass Reparatursätze sowohl schneller als auch flexibler realisiert werden können. Zudem sollen die digitalen Daten als Grundlage für die Generierung von Ausfallprognosen genutzt werden.



3.3 KRS - SEIGERT GmbH

Die KRS - SEIGERT GmbH ist ein namhaftes und traditionsreiches Unternehmen in der Metallbranche, verfügt über ca. 600 Maschinen und Anlagen auf einer Produktions- und Logistikfläche von 25.300m² und beschäftigt derzeit ca. 270 Mitarbeiter. Zum Produktionsprogramm gehören Kugeln aus unterschiedlichen Werkstoffen, Zylinder- und Nadelrollen sowie technische Sonderteile. Die KRS - SEIGERT GmbH beliefert nationale und internationale Unternehmen der Automobil- und -zulieferindustrie, des Maschinenbaus, der Zweirad- und der Lager- sowie Möbelindustrie.



Die produzierten Kleinstkugeln (ab Durchmesser 0,3mm) finden hochpräzise Anwendungen, in der Medizintechnik, der Computer-, Schreibgeräte- und Uhrenindustrie. Mit den Großkugeln bis Durchmesser 250mm bedient die KRS - SEIGERT GmbH sowohl Großlageranwendungen im Bereich der erneuerbaren Energien als auch den Schwermaschinenbau. Speziell im Bereich der Kugelproduktion reicht das bearbeitete Werkstoffspektrum von Kohlenstoff- und Wälzlagerstählen über korrosionsbeständige Stähle, Hartmetalle bis hin zu Keramikwerkstoffen wie Siliziumnitrid.

Bei Zylinderrollen liegt der Durchmesserbereich zwischen 2,5mm und 20mm und bei Nadelrollen von 1,5mm bis 10mm bei jeweils einer Länge von bis zu 40mm.

2019 wurden mehr als 8.000 Tonnen Wälzkörper bei einem Umsatz von 40 Millionen € hergestellt. Bei der Produktion der häufig sehr hohen Stückzahlen an Kugeln werden Spezialmaschinen und Anlagen eingesetzt. Die Kernprozesse sind schon alt und es gab in den letzten 50 Jahren wenig Neuerungen darin. Die Produktion lebt vom Know-How des Unternehmens und dessen Mitarbeitern.

Aufgrund der alten Fertigungsprozesse sind keine größeren Rationalisierungsmaßnahmen mehr möglich, welche die Herstellungskosten entscheidend beeinflussen könnten. Da jedoch viele Prozessparameter auf die Produktion einwirken, ergab sich in diesem Projekt die Möglichkeit eine Fertigungsmaschine als Prototyp mit Sensorik auszustatten und zu digitalisieren, um Einflüsse der einzelnen Parameter bzw. deren Abhängigkeiten zueinander genau analysieren zu können.

3.4 Terrot GmbH

Die Terrot GmbH ist ein mittelständisches Maschinenbauunternehmen. Am Standort Chemnitz werden von ca. 150 Mitarbeitern weltweit bekannte, technologisch hochwertige Rundstrickmaschinen hergestellt. Im aktuellen Jahr montierte die Terrot GmbH ca. 350 Rundstrickmaschinen. Dabei wird jede Rundstrickmaschine individuell für den Kunden konfiguriert und in Losgröße „1“ produziert.



Auf den Rundstrickmaschinen werden durch die Kunden sowohl technische Textilien als auch Textilien für die Bekleidungsindustrie gestrickt. Unter anderem findet man die Strickware im Automobilbereich, bei Sportartikeln oder auch bei medizinischen Textilien.

Die gesamte Maschine besteht aus mehr als 2.000 verschiedenen Teilen und Baugruppen, die zum Teil extern beschafft und in der eigenen mechanischen Fertigung hergestellt werden (Schlüsselkomponenten). Die eigene Fertigung besteht aus ca. 50 Ressourcen (Arbeitsplätze). Es befinden sich durchschnittlich zwischen 1.000 bis 2.000 Fertigungsaufträge im Umlauf. In der Montage werden aktuell zwischen 8 bis 10 Maschinen pro Woche montiert. Die Kaufteile werden bei ca. 600 verschiedenen Lieferanten weltweit bezogen.

Die Terrot GmbH beteiligte sich am Projekt als Anwendungspartner bei der Entwicklung eines Auftragsmonitors auf Basis der SDU, der die Produktion und Herstellung der Rundstrickmaschine abbildet. Dadurch sollte die Transparenz des Produktionssystems erhöht werden und den Mitarbeitern im Unternehmen die Möglichkeit gegeben werden, Prozesse zu simulieren und optimieren.

Langfristig sollen auf Basis des Auftragsmonitors auch dem Kunden weitere Services angeboten zum Beispiel eine Nachverfolgung des Auftragsfortschritts im Unternehmen analog zu einem Paketverfolgungssystem bei einem Logistikdienstleister.

3.5 ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V.

Das ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. ist ein leistungsstarkes, sächsisches Forschungsinstitut und steht für Innovationen und Systemlösungen aus dem Maschinen- und Anlagenbau. Seit 1992 ist es als gemeinnütziges Institut vor allem kleinen und mittleren Unternehmen ein kompetenter Partner für das Umsetzen ihrer impulsgebenden Ideen in Innovationen und ermöglicht so unternehmerischen Erfolg und Wachstum in Sachsen und Deutschland.



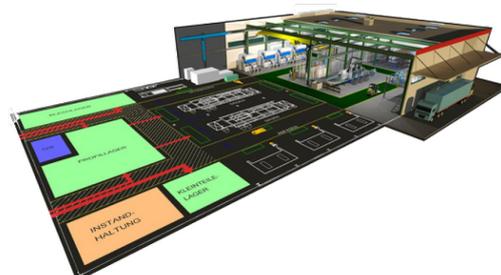
INNOVATIONEN ENTWICKELN. IDEEN WEITERDENKEN. ERFOLGE TRANSFERIEREN. Unter diesem Motto stellt sich das Team mit knapp 60 Mitarbeitern engagiert und kreativ anwendungsorientierten Aufgabenstellungen, wobei Netzwerke aus Wirtschaft, Forschung und Politik gestaltet, deren Kompetenzen gebündelt und der Maschinen- und Anlagenbau gestärkt wird. Aus Ideen und Lösungsansätzen werden im Rahmen der Vorlaufforschung bis hin zur praxisnahen Umsetzung zukunfts- und marktorientierte Technologien und Produkte entwickelt. Durch den gezielten Transfer der wissenschaftlichen Arbeitsergebnisse in die KMU wird deren nachhaltige wirtschaftliche Verwertung realisiert und gewährleistet. Das ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. ist ebenfalls kompetenter Partner für direkte Aufgabenstellungen im Bereich der Industrieforschung. Auf dieser Basis werden, durch das Einbinden aktueller Forschungsergebnisse, neue Technologien und Produkte für KMU effizient, schnell und zuverlässig realisiert.



Abbildung 3: Sitz des ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. (Foto: ICM)

3.6 Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH

Die Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH ist ein Unternehmen der eigen-
tümergeführten und mehr als 25 Tochterge-
sellschaften umfassenden Hörmann Gruppe.
Der Engineering-Bereich in diesem starken
Verbund besteht aus rund 180 Ingenieuren
und Technikern. Als innovativer, hersteller-
neutraler Fabrikplaner ist die Hörmann Ra-
wema Engineering & Consulting GmbH auf
die Erbringung technischer Fachplanungen
im industriellen Sektor mit Fokus auf Produk-
tionstechnologien, Schnittstelle zwischen
Bauwerk und Produktion sowie Logistik spe-
zialisiert.



Die Ingenieursdienstleistungen des Unternehmens erfassen den kompletten Lebenszyklus der Fabrik. Dies beginnt mit der Verantwortung als Generalplaner für die Projektierung ganzer Fabriken, erstreckt sich über das Engineering einzelner Produktionsbereiche, Prozesse und Anlagen, das Projektmanagement über alle Projektarten, -phasen und Gewerke bis hin zum Reengineering und daraus resultierenden Verlagerungsprojekten.

Indem die Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH ihre Kunden nachhaltig bei der Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0 unterstützt, macht sie diese fit für die Zukunft. In den Geschäftsfeldern Beratung, Planung, Prozessoptimierung und Projektmanagement werden Kunden aus unterschiedlichsten wirtschaftlichen Sektoren und Branchen wie der Automobilbranche, der Gießereitechnik, Schmiedetechnik und Recyclingtechnik, dem Maschinenbau oder der Logistik betreut.

Eine ständige Weiterentwicklung ist der Antrieb der Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH, sodass sie Ihren Kunden auch zukünftig qualitativ hochwertige Dienstleistungen auf dem aktuellsten Stand der Technik bieten kann.

3.7 Simba n³ GmbH

Simba n³ unterstützt branchenunabhängig Unternehmen und Behörden bei deren digitalen Transformation. Die 26 Mitarbeiter realisieren Data Science- und Digitalisierungsprojekte und entwickeln auf Basis eigener Werkzeuge Branchenlösungen für Industrie, ITK-Provider und Stadtwerke sowie im Medizinbereich.



Die mit Innovationspreisen ausgezeichneten Werkzeuge DataWarehouseBuilder und Visual-Cockpit von Simba n³ werden in Industrieanwendungen und medizinischen Lösungen für Medizinischen Versorgungszentren (MVZ), Arztpraxen, Reha-Kliniken, Laboratorien und beim MDK eingesetzt. Zum medizinischen Portfolio gehört das Großprojekt der durchgehenden Digitalisierung des Rettungszweckverbandes Südwestsachsen.

Simba n³ programmiert individuelle Software, entwickelt Komponenten für digitale Plattformen, setzt für Entscheidungsunterstützung Machine Learning und KI ein und reichert ihre Lösungen um time based (TBS) und location based Services (TBS) an.

Der Einsatz von Daten- und Modell- getriebenen Anwendungen (z.B. für Prädiktive Maintenance und ein optimiertes Auftragsmanagement) bieten Unternehmen ein großes Potenzial zur Steigerung ihrer Wirtschaftlichkeit. Die Integration relevanter Unternehmensdaten (wie z.B. von Maschinen-, Produktions-, Auftrags- und Ressourcendaten) verstärken das Potenzial, da erst damit ein durchgängiges Monitoring der eigenen Effektivität und Effizienz erreicht werden kann. Das Anwendungs- und Marktpotenzial von schlanken und KMU-konformen Lösungen ist vielfältig und nicht auf spezielle Unternehmen beschränkt.

Durch Datenknowhow und Data Science ist Simba n³ für Hoch- und Fachschulen sowie wissenschaftlichen Institute ein geschätzter Partner, auch, weil das Team von Simba n³ in branchenübergreifenden Projekten Kunden immer sehr praxisorientierte Services und Lösungen anbietet.

Mit der Kernidee von Plug_and_Control, allgemeingültige Fragestellungen über standardisierbare Datenbausteine zu lösen, werden die Paradigmen von Industrie 4.0 für KMU realisiert und damit Grundlagen für neue datengetriebene digitale Geschäftsmodelle gelegt.

3.8 com2m GmbH

Die com2m GmbH ist auf die Entwicklung von ganzheitlichen IoT-Cloud-Lösungen spezialisiert, die neben der reinen Datenerfassung von Geräten und Maschinen auch darauf aufbauende Prozesse, Auswertungen und Integrationen berücksichtigen. Die so entstehenden Lösungen bieten sowohl einen Mehrwert für Endkunden als auch Geschäftspotential für den Hersteller von Geräten und Maschinen.



Als selbständige Tochtergesellschaft der Adesso SE, einem führendem IT-Dienstleister mit mehr als 4.200 Mitarbeitern und einem Umsatz von rund 450 Mio. Euro im Jahr 2019, gilt die com2m GmbH als der IoT Experte innerhalb der Adesso Gruppe. Als noch relativ junges Unternehmen, mit inzwischen aktuell 27 Mitarbeitern, befindet sich die com2m GmbH weiter auf Wachstumskurs und konnte bereits zahlreiche Projekte erfolgreich abschließen und namhafte Unternehmen aus verschiedensten Branchen zu den Kunden zählen.

Mit seinem Know-how begleitet die com2m GmbH ihre Kunden von der Ideenfindung bis zur Umsetzung und dem Betrieb von IoT-Lösungen und setzt dabei auf die drei Schwerpunkte: der Konzeption von IoT-Lösungen, der Entwicklung und Bereitstellung einer IoT-Plattform als Baukasten für individuelle Lösungen, sowie der darauf aufbauenden Entwicklung kundenindividueller IoT-Lösungen.

Das Konzept des Projektes Plug_and_Control mit flexiblen, konfigurierbaren und standardisierten Bausteinen, den Smart Data Units, ist für die com2m ein spannender Ansatz um KMUs effektiv bei den individuellen Problemstellungen unterstützen zu können und das eigene Portfolio, über die bisherigen Funktionen der IoT-Plattform hinaus, erweitern zu können.

4 Digitales Dienstleistungskonzept

4.1 Anforderungen an die Methode

Das Projekt Plug_and_Control besitzt einen hohen KMU-Bezug, weshalb die Anforderungen an das digitale Dienstleistungskonzept an jenen Unternehmen ausgerichtet werden. Ausgehend von den in Kapitel 2.1 beschriebenen Rahmenbedingungen und Voraussetzungen von KMU wurden die Anforderungen an die entwickelte Methode wie folgt definiert:

1. Einsetzbarkeit innerhalb KMU
 - a) Benutzerfreundlichkeit: Mitarbeiter können sich auf bereits bestehende und etablierte Methoden beziehen.
 - b) Leichte Handhabung mit verhältnismäßig geringem Aufwand: Die Konzeptionierung einer digitalen Dienstleistung nimmt weniger als 8 h in Anspruch.
 - c) Unabhängigkeit: Die Gestaltung und Umsetzung aus informationstechnischer Sicht lässt sich mithilfe der im Unternehmen vorherrschenden Softwarelandschaft realisieren.
2. Anpassungsfähigkeit und Erweiterbarkeit der Methode
 - a) Modularer Aufbau, welcher durch weitere Module ergänzt und die Module selbst in verschiedenen Betrachtungsebenen (Detailliertheit) beschrieben werden können, um die Übertragbarkeit auf andere Anwender zu gewährleisten. Dies begünstigt des Weiteren die Bepreisung und befriedigt die steigende Forderung nach Transparenz und Individualisierung, da je nach Angebot und Kundenbedarf Servicemodule vom Nutzer individuell gebucht, weggelassen oder selbst erzeugt werden können.
 - b) Individualisierbarkeit, um den spezifischen Anforderungen der KMU Rechnung zu tragen und diese sich nicht einen vorgegebenen Prozess unterwerfen müssen.

4.2 Modulares digitales Dienstleistungskonzept

Aufbauend auf den Anwendungsfällen im Projekt Plug_and_Control wurde ein digitales Dienstleistungskonzept für industrielle KMU entwickelt. Der Fokus liegt in der Konzeptionierung digitaler Dienstleistungen in Form von dienstleistungsbasierten Geschäftsmodellen. Hierfür wurde im Projekt zur Beschreibung der Dienstleistungskonzepte auf das Gemini4.0-Business Model Canvas (Gemini4.0-BMC, Kap. 2.2) zurückgegriffen. Methoden zur Beschreibung von Geschäftsmodellen gestatten die Betrachtung jener in Partialmodellen. Dies unterstützt die Anwender solcher Modelle, die komplexen Sachverhalte fokussiert zu gestalten, verhindert Dopplungen und verringert Logikfehler beim Aufbau dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle. Das Gemini4.0-BMC strukturiert Geschäftsmodelle in die Partialmodelle Angebots-, Kunden-, Wertschöpfungs-, Finanz-, Anreiz- und Risikomodelle, wobei innerhalb des Projektes der Schwerpunkt auf das Angebots- (insbesondere Marktleistung) und dem Wertschöpfungsmodell gelegt wurde, um eben jene als Referenz für KMU zu standardisieren. Kunden-, Finanz-, Anreiz- und Risikomodelle werden explizit nicht im Konzept betrachtet. Es obliegt künftiger Forschungsprojekte jene zu standardisieren.

Das im Projekt Plug_and_Control entwickelte Konzept zur Beschreibung und konzeptionellen Überführung digitaler Dienstleistungen im Hinblick auf Angebots- und Wertschöpfungsmodell vollzieht sich in folgenden Phasen:

- (1) Ideation der Dienstleistung** (Bestimmung der *Marktleistung* und Definition der relevanten Module in Form von *Smart Service Units*)
- (2) Design der Dienstleistung aus Prozesssicht** (Gestaltung des *Wertschöpfungsmodells nach Gemini4.0-BMC*)
 - a. Schlüsselaktivitäten (Summe aller digitalen Aktivitäten)
 - b. Schlüsselressourcen (digitale und reale *Ressourcen*)
 - c. involvierte Akteure (*Wertschöpfungsstruktur* und *Schlüsselpartner*)
 - d. Prozessfolge (Summe aus allen *Aktivitäten*)
- (3) Design der Dienstleistung aus informationstechnischer Sicht** mithilfe von *SDU* und *SMU*
- (4) Überführung des Designs** in die informationstechnische Sicht **und anwendungsspezifische Umsetzung**

Die Phasen 1 und 2 stellen hierbei die Konzeptionierung aus unternehmerischer Sicht, die Phasen 3 und 4 die Konzeptionierung und Gestaltung aus informationstechnischer Sicht dar. Zwischen den Phasen können beliebig viele Iterationsschleifen zur detaillierten Ausarbeitung der

avisierter Dienstleistung durchgeführt werden. Aus der unternehmerischen Praxis hat sich gezeigt, dass oftmals in den Schritten 3 und 4 neue Möglichkeiten oder Hemmnisse aufgezeigt werden, die bei der detaillierten Gestaltung der Marktleistung gegenüber den Kunden berücksichtigt werden müssen.

(1) Ideation der Dienstleistung

Eine detaillierte Kundenanalyse aus Unternehmenssicht und die Beschreibung des Marktes sind für die Definition der Dienstleistung und der Module wesentlich und deshalb unternehmensspezifisch durchzuführen. Sie stellen die Basis für die zu beschreibende Marktleistung, d.h. die Beschreibung marktfähiger Produkte und Dienstleistungen (Gausemeier et al. 2017: 26), und deren Teilmodule dar. Der inhaltliche Schwerpunkt der ersten Phase liegt folglich in der Frage begründet, welche Marktleistungen gegenüber potentiellen Kunden angeboten werden sollen. Innerhalb der Anwendungsfälle des Projektes und darüber hinaus wurden hierfür folgende datenbasierten Dienstleistungen für die Industrie strukturiert:

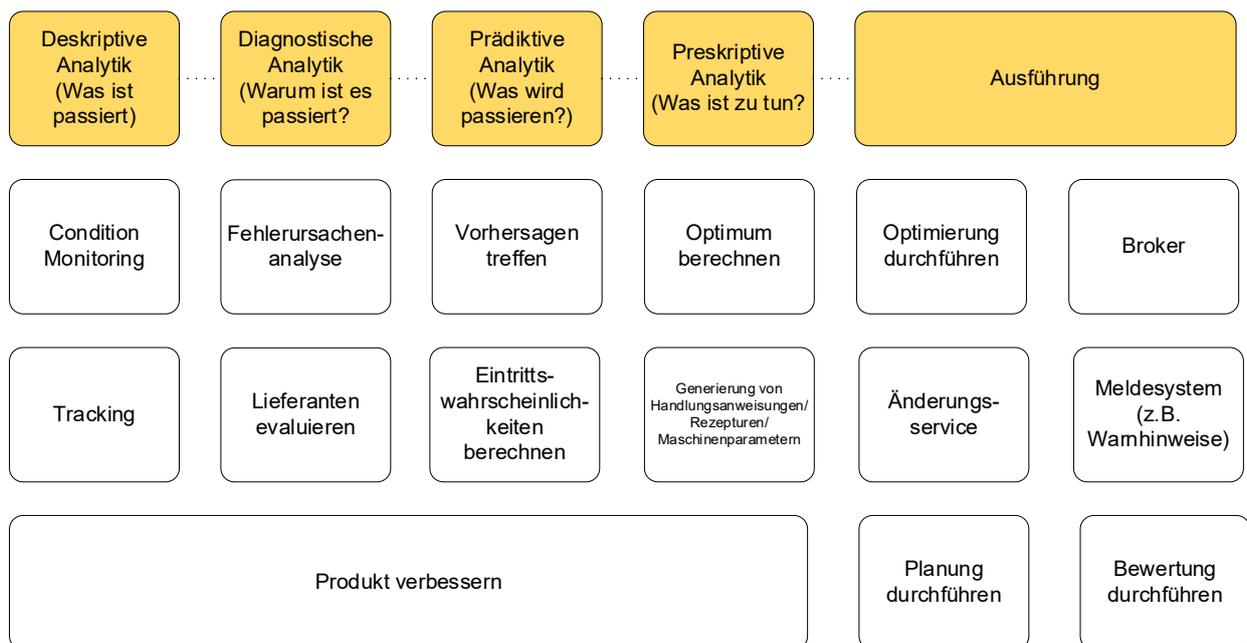


Abbildung 4: Höchste Aggregationsebene des modularen Service Konzepts aus dem Projekt Plug_and_Control (Amann et al. 2020: S. 253)

Die entwickelte Übersicht definiert daten-basierte Smart Service Units und kann für jeden Baustein weiter spezifiziert und detailliert werden. So kann bspw. der Baustein *Tracking* über die zu betrachtenden Objekte, den zu betrachtenden Ort, die Frequenz des Trackings, dem Automatisierungsgrad, die Echtzeitfähigkeit und weitere Aspekte beschrieben werden. Der Baustein *Op-*

imum berechnen ist u.a. näher über die zu betrachtenden Sachverhalte, wie Zeit, Kosten, Qualität, Energie, Personalbedarf, Material, etc. zu kennzeichnen. Je nach unternehmensbezogener Spezifikation ergeben sich verschieden Bausteine die als einzelne Module zu einer Dienstleistung kombiniert werden können. Die Bausteine *Tracking*, *Optimum berechnen* und *Eintrittswahrscheinlichkeit berechnen* könnten zum Beispiel eine digitale Dienstleistung beschreiben, die Prozesse von Materialströmen in Fabriken verbessern.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft Teilmodule der Marktleistung *Generierung von Handlungsanweisungen/Rezepturen/Maschineneinstellungen*.

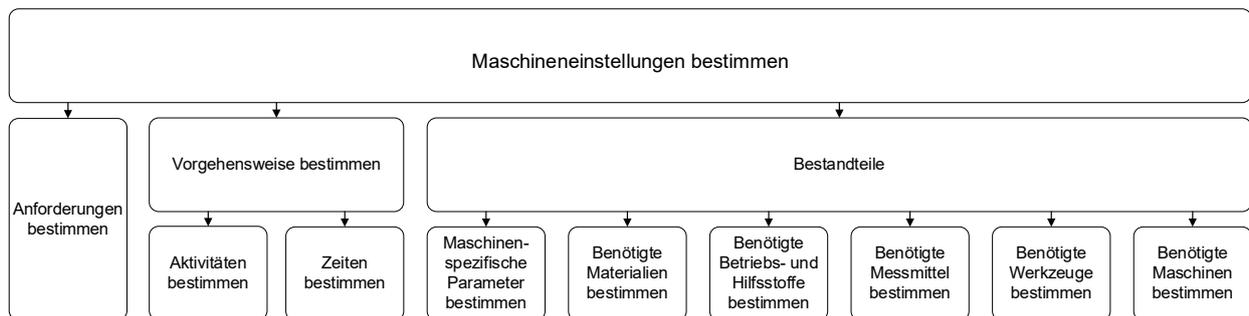


Abbildung 5: Dienstleistungsmodule der Marktleistung „Maschineneinstellungen bestimmen“

Für die Beschreibung von digitalen Dienstleistungen ist die Verwendung einer Taxonomie sinnvoll, um diese als solches und deren Anforderungen näher zu spezifizieren. Sinnvolle Kriterien sind bspw. die Datenverarbeitungsebene, Kommunikationsfähigkeit involvierter Objekte oder der Bekanntheitsgrad von Objekten in der Informationswelt¹. Prielipp et al (2018: 21) schlagen eine solche Taxonomie vor, die ebenfalls im Rahmen des Projektes Plug_and_Control entwickelt wurde.

(2) Design der Dienstleistung aus Prozesssicht

Innerhalb der Zweiten Phase des digitalen Dienstleistungskonzept wird die priorisierte Marktleistung und ihre Module über das Wertschöpfungsmodell beschrieben. Schlüsselfragen dieser Phase sind:

- Wie soll die angestrebte Marktleistung prozessual realisiert werden?
- Woher können die benötigten Daten bezogen werden?
- Wie werden die Daten verarbeitet?
- Welche Akteure verrichten welche Aktivitäten innerhalb der Dienstleistung?
- Wie vollzieht sich der Informationsaustausch?

¹ Vgl. CP-Klassifizierung. (VDI 2015, S. 15)

Zur sinnvollen Ausgestaltung der Dienstleistung eines KMU empfiehlt es sich als ersten Schritt, von der bereits angestrebten Nutzung der Daten die informationsseitige Schlüsselaktivität und der hierfür benötigten Daten (Schlüsselressourcen) abzuleiten: Wird beispielsweise die automatisierte Erzeugung von Maschineneinstellungen auf Basis von Produktanforderungen avisiert, verkörpert die Erstellung des Modells die Schlüsselaktivität und die einzubeziehenden Daten für dieses Modell die Schlüsselressourcen.

Es können den unter Phase 1 definierten Dienstleistungen und deren Module konkrete Daten zugeordnet werden (Abbildung 6), welche anschließend zur Realisierung der Dienstleistung verarbeitet werden können.

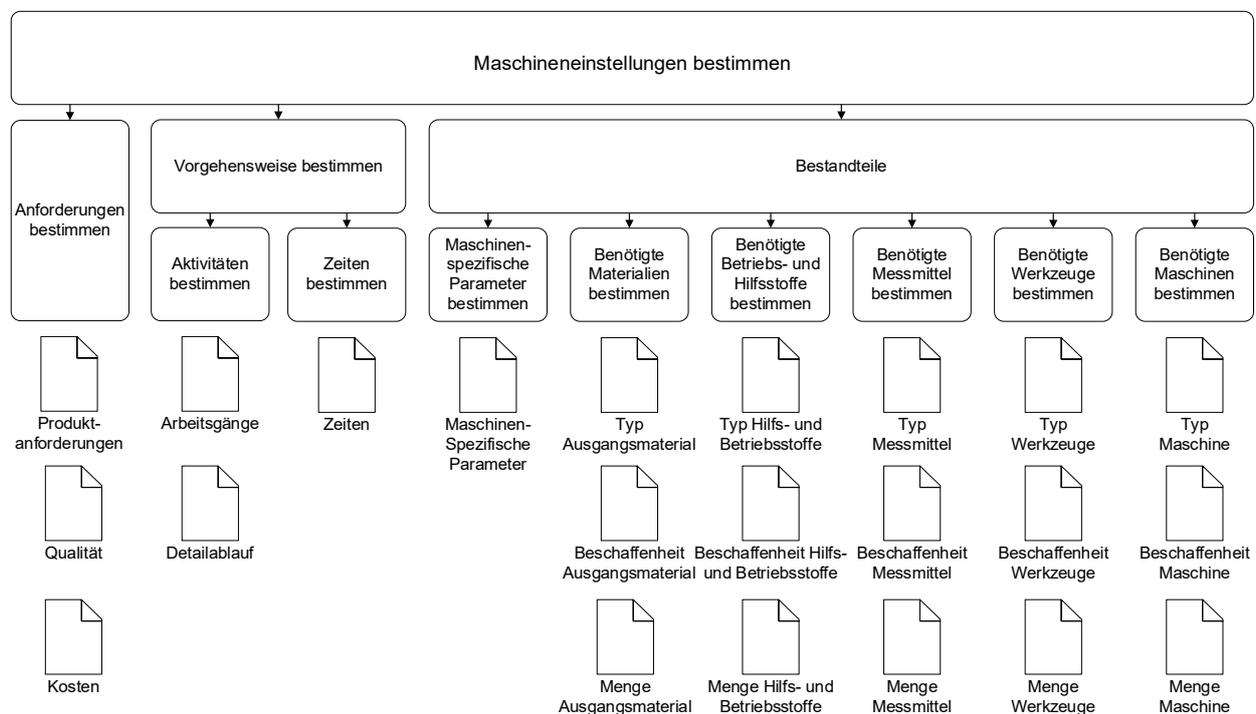


Abbildung 6: Zuordnung von Datenthemen zu den Teilmodulen der Marktleistung Generierung von Handlungsanweisungen/Rezepturen/ Maschineneinstellungen

Die identifizierten Datenpakete werden neben den einzelnen Akteuren in einem nächsten Unterschlitt den realen Prozessen zugeordnet. Die vorausschauende Verortung der Daten im eigenen Unternehmen, bei den Kunden, bei Partnern oder Zulieferern und innerhalb dieser in den jeweiligen Abteilungen ist für die anschließende Prozessgestaltung von hoher Relevanz, da die Datenerhebung und -bereitstellung sowie im Besonderen die Datenaufbereitung oftmals eine wesentliche Hürde für KMU darstellt. Die Fachexperten und Führungskräfte in den jeweiligen Abteilungen sind oftmals als einzige über die tatsächlichen Daten, deren Erhebung und Qualität aussagefähig. Sie sind deswegen für die Ausgestaltung der digitalen Dienstleistung in jedem Fall einzubeziehen.

Die realen Prozesse, die für die Dienstleistung relevant sind, wirken sich auf die logische Abfolge der Dienstleistung selbst aus, da u.U. bestimmte Datenpakete aus einem Prozess vor anderen vorliegen müssen, um den Service zu realisieren. Es gilt, die vorliegende Datenqualität zu berücksichtigen, welche die Ausprägungsstufe der Dienstleistung begrenzt (Verringerung der avisierten Marktleistung) oder Mehraufwand in der Datenakquise benötigt (Erhöhung des benötigten Aufwandes).

Aufbauend auf den erhobenen Informationen aller Akteure kann die Dienstleistung selbst prozessual konzeptioniert werden. (Vgl. Abbildung 7)

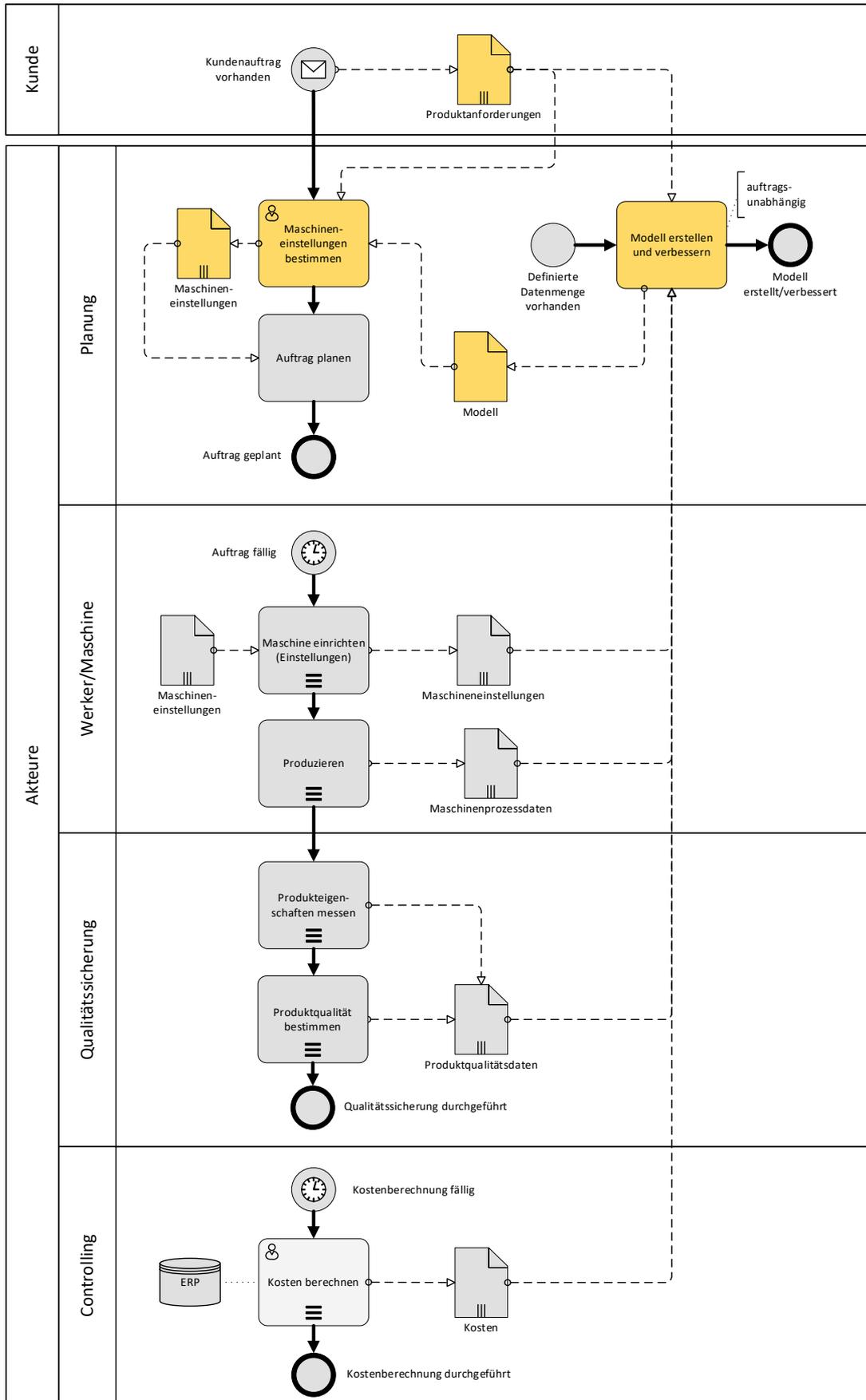


Abbildung 7: Beispiel einer konzeptionell designten digitalen Dienstleistung mittels BPMN2.0

(3) Design der Dienstleistung aus informationstechnischer Sicht

In einem dritten Schritt gilt es, die konzeptionierte Dienstleistung aus Unternehmenssicht in ein informationstechnisches Konzept zu überführen. Hierfür wurden eigens im Projekt standardisierte Daten- und Methodenbausteine entwickelt, sodass die Transformation mithilfe von Referenzen geschieht. Der Detaillierungsgrad der Betrachtung ist hierbei für alle digitalen Aktivitäten und für die Datenerhebung genauer als jener in Phase 2. Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Smart Service Unit² zur Erzeugung eines Modells zur Bestimmung von Maschineneinstellungen auf Basis von Produkthanforderungen.

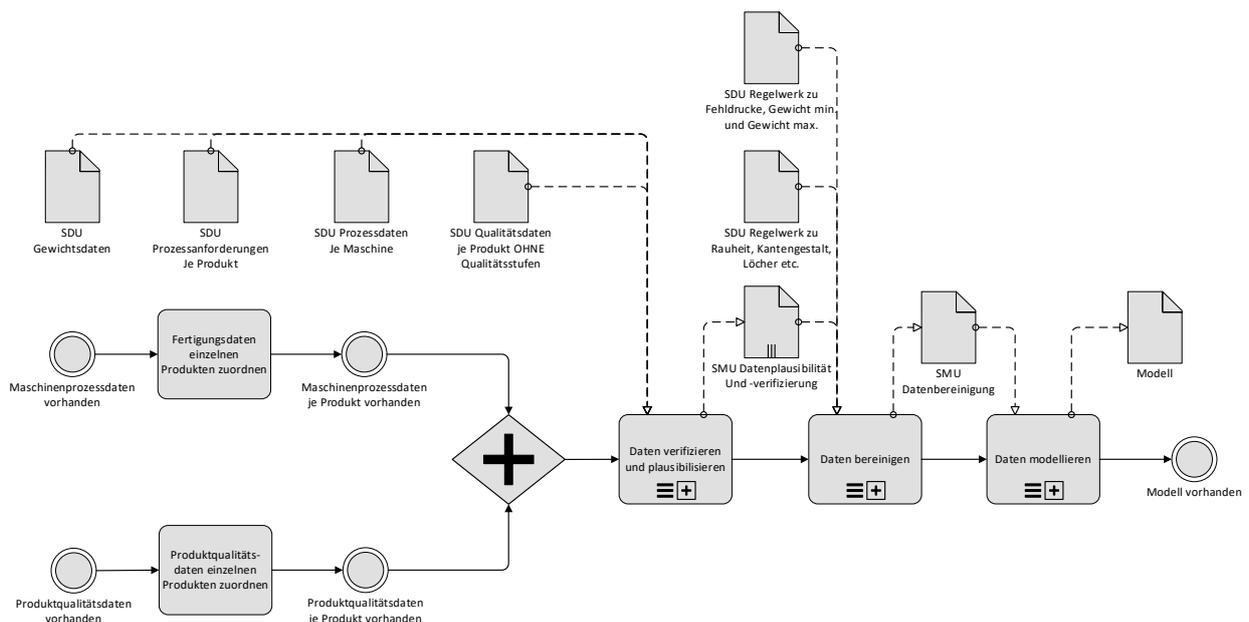


Abbildung 8: Beispiel für das Design einer datenbasierten Dienstleistung aus informationstechnischer Sicht mithilfe von SMU und SDU

Kapitel 4.4 Zusammenhang von Servicekonzept & SDU-SMU-Sammlung und Kapitel 4.5 SDU-SMU- beschreiben die Umsetzung der Transformation mithilfe der im Projekt entwickelten Artefakte detailliert und stellen die entwickelten Bausteine vor.

(4) Definition der detaillierten und anwendungsspezifischen Umsetzung

Im Gegensatz zur vorhergehenden Phase ist dieser letzte Schritt zur Überführung von datenbasierten Dienstleistungen in die softwareseitige Umsetzung anwendungsbezogen: SDU und SMU sind je nach Anwendungsfall an unternehmensspezifische Datenquellen zu knüpfen sowie mit

² Näheres hierzu im Kapitel 4.3 Systembeschreibung.

geeigneten Softwarewerkzeugen umzusetzen bzw. in geeigneter Programmiersprache zu implementieren. Kapitel 5 Transfer in die Praxis stellt die im Projekt Plug_and_Control kreierten digitalen Lösungen vor und beschreibt die Umsetzung in den einzelnen Anwendungsfällen.

Die nachfolgenden Kapitel vertiefen die Konzeptionierung und Gestaltung aus informationstechnischer Sicht zur Realisierung digitaler Dienstleistungen.

4.3 Systembeschreibung

Zur Operationalisierung des beschriebenen Dienstleistungskonzeptes wird auf verschiedene, im Projekt entwickelte Artefakte zurückgegriffen. Mithilfe dieser können modularisierte Dienstleistungen nach den jeweiligen Anforderungen der KMU gestaltet werden. Diese Artefakte sind:

- Smart Data Units (SDU), ein Baustein zur Beschreibung von Daten
- Smart Method Units (SMU), ein Baustein zur Beschreibung von Methoden
- Smart Service Units, ein Baustein zur Bearbeitung einer Aufgabe
- Configuration Units, ein Baustein zur Individualisierung der Standardbausteine

Nachfolgend werden die einzelnen Bausteine des Konzeptes detailliert vorgestellt.

Smart Data Unit (SDU)

Eine Smart Data Unit strukturiert ein definiertes und in sich abgeschlossenes Datenthema unter Einbezug von Metadaten. Mit der SDU wird definiert, in welchen Formaten die Daten für das Datenthema vorliegen müssen und wie sie in der SDU zu einer einheitlichen Struktur zusammengefügt werden. Jede SDU-Beschreibung besteht aus den Funktionen:

1. **Datenanbindung:** Die eingehenden Daten können aus verschiedenen Quellen stammen.
2. **Dateneingang:** Es werden der Dateneingang, dafür erforderliche Datenformate sowie die Strukturierung für den Datenausgang beschrieben.
3. **Datenanreicherung (optional):** Es erfolgt eine abstrakte Anreicherung um Meta-Informationen.
4. **Datenstrukturierung:** Die Daten werden zu einer für die Weiterverarbeitung einheitlichen Struktur zusammengeführt (einheitlich innerhalb der SDU, nicht SDU übergreifend).
5. **Datenausgang:** Es erfolgt eine definierte Datenbereitstellung für eine Schnittstelle.

Smart Method Unit (SMU)

Eine Smart Method Unit (SMU) ist eine SDU-Datenstruktur-basierende Methode für eine einheitliche Vorgehensweise zur Datenbereinigung, -modellierung und/oder -evaluation. Jede SMU-Vorgehensweise besteht aus den folgenden Schritten:

1. **SDU-/SMU-Datenanbindung:** Die eingehenden Daten können sich aus verschiedenen SDU und/oder SMU zusammensetzen.
2. **Dateneingang:** Es können unterschiedliche Datenformate verarbeitet werden.
3. **Ausführen einer Methode** zur:
 - a. **Datenverifizierung/-plausibilisierung:** Die Daten können SDU-übergreifend mittels statistischer Verfahren automatisiert auf Plausibilität geprüft werden oder dafür einfache Qualitätsmaße (wie z.B. Vollständigkeit, Dopplungen, Aktualität, Widerspruchsfreiheit) ermittelt und angewandt werden.
 - b. **Datenbereinigung:** Es erfolgt die Korrektur bzw. der angemessene Umgang mit veräuschten, inkonsistenten, fehlenden und falschen Daten (Cleve & Lemmel 2016, S. 207).
 - c. **Datenmodellierung:** Es erfolgt die Anwendung der für den Datensatz geeigneten mathematischen Modelle und parametrisierten Methoden (z.B. Berechnungsvorschriften, Clustering, Klassifikationsverfahren, Assoziations- und Zeitreihenanalysen usw.).
 - d. **Datenevaluation:** Die Ergebnisse werden innerhalb der technischen Möglichkeiten auf Gültigkeit, Neuartigkeit und Nützlichkeit geprüft (Cleve & Lemmel 2016, S. 11).
 - e. **Ergebnisinterpretation:** Optional können Auffälligkeiten aufgezeigt werden. Ebenso lassen sich Ergebnisse anhand von Regelsystemen interpretieren oder Modelle anwenden.
4. **Datenausgang:** Es erfolgt die Datenbereitstellung für eine Schnittstelle.

Smart Service Unit (SSU)

Smart Data Units (SDU) und Smart Method Units (SMU) können in Form von Kombinationsketten zu Smart Service Units zusammengefasst werden. Diese erfüllen eine bestimmte und abgrenzbare Aufgabe und definieren die genaue Vorgehensweise und die benötigten Daten zur Erfüllung jener Aufgabe. SSU selbst können wiederum zu SSU höherer Aggregation zusammengefasst werden.

Die Ergebnisdarstellung ist nicht Bestandteil der Smart Service Unit, sondern wird innerhalb der digitalen Dienstleistung realisiert.

Configuration Unit

Configuration Units sind anwendungsfallspezifische Vorgaben zur Parametrisierung von Smart Method Units, um damit generalisierte Units zu ermöglichen. Die Verwendung verschiedener mathematischer Methoden zur Datenbereinigung etc. erfordern teilweise fallspezifische Konstanten oder es stehen mehrere Algorithmen zur Lösung eines Problems zur Verfügung. Bspw. ließe sich eine Smart Method Unit zur Clusteranalyse implementieren, bei welcher der zu verwendende Cluster-Algorithmus durch eine Configuration Unit festgelegt wird. Die Configuration Units sind grundsätzlich den SMU inhärent. Auf diese Weise ermöglicht das Konzept, identische SMU durch Anpassung dieser Parameter auf ähnliche Problemstellungen anwenden zu können.

Die folgende Abbildung 9 stellt die Begriffe in einen logischen Zusammenhang.

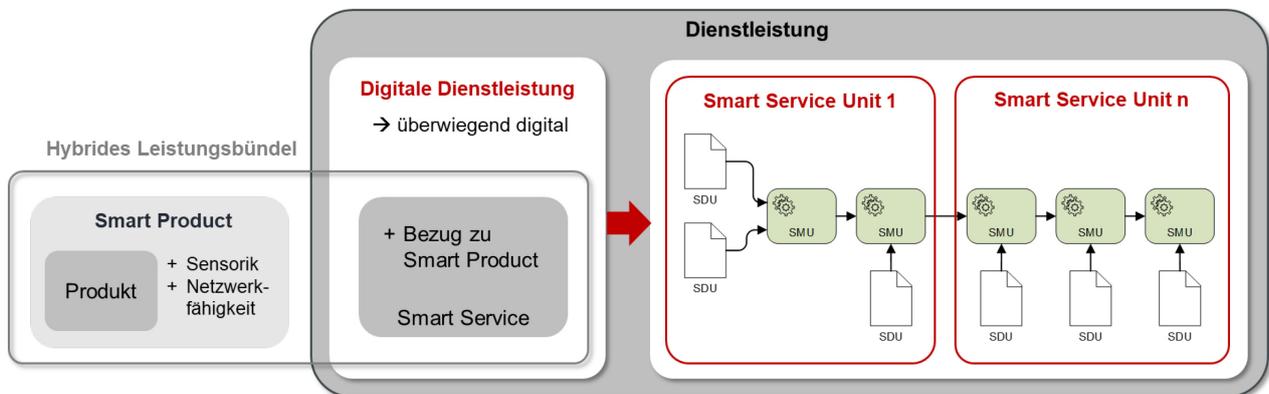


Abbildung 9: Einordnung der Begriffe und Zusammenhänge

4.4 Zusammenhang von Servicekonzept & SDU-SMU-Sammlung

Die Entwicklung digitaler Dienstleistungen beginnend bei der Ideation bis zur Überführung in eine anwendungsspezifische Umsetzung erfordert die Verknüpfung der Dienstleistung aus Prozesssicht mit dem Design aus informationstechnischem Blickwinkel. So zeigt Abbildung 8 ein Beispiel für das Design einer datenbasierten Dienstleistung aus informationstechnischer Sicht mithilfe von SMU und SDU auf. Mit einer zugehörigen Prozesssicht wie in Abbildung 7 wird anschließend transparent, wann die notwendigen Datenpakete im Dienstleistungsprozess vorliegen. Für die anwendungsspezifische Umsetzung ist konkreter und detaillierter zu beschreiben, wann welche Daten in einer bestimmten Qualität vorliegen müssen, um in Abhängigkeit von deren Datenqualität geeignete Berechnungsverfahren anwenden zu können. Damit verbunden sind ebenso erste mögliche Einschätzungen, in welchem Ausmaß die angestrebte digitale Dienstleistung auch tatsächlich mit den geforderten Parametern des erstellten Angebots- und Wertschöpfungsmodells umgesetzt werden kann.

Die in KMU vorliegende Heterogenität hinsichtlich Datenerfassungsinfrastruktur und den tatsächlich (digital) vorliegenden Daten erlauben eine referenzartige Überführung der Prozesssicht einer Dienstleistung in eine anwendungsspezifische Umsetzung, wenn zugleich der Methodiktransfer auf andere KMU mit ganz eigenen neuen Angebots- und Wertschöpfungsmodellen im Fokus ist. Die Lücke zwischen individuellen, flexiblen Anforderungen aus der Produktion und einer, für smarte Prozesse notwendigen Datenstandardisierung, die eben diesen Transfer ermöglichen, wird erst durch die im Projekt Plug_and_Control entwickelte und in Kapitel 4.3 vorgestellte Systembeschreibung ermöglicht. Diese dient als Bindeglied zwischen einer informationstechnischen Modularität der Artefakte SDU, SMU, SSU sowie Configuration Unit mit einer sowohl auch weiterhin notwendigen Detaillierung der Datenebene je nach angestrebter Dienstleistung und Unternehmen. Einen Auszug aus Abbildung 8 wiederaufgreifend, lässt sich dies anhand der nachfolgenden Abbildung 10 detaillierter beschreiben.

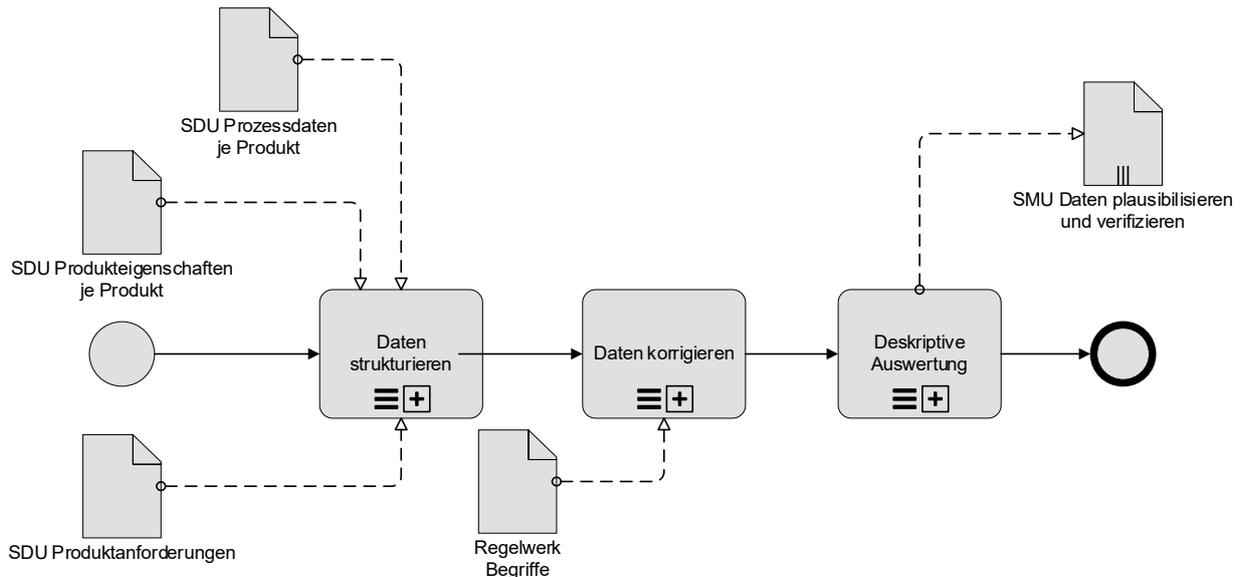


Abbildung 10: SMU Daten plausibilisieren und verifizieren

Zu sehen ist die Smart Method Unit „Daten plausibilisieren und verifizieren“. Ziel dieser SMU ist es, die eingehenden Daten der verschiedenen SDU zusammenzuführen, zu strukturieren sowie für eine Weiterverarbeitung auf Plausibilität zu überprüfen. Wie anhand des Prozessschrittes 1 in Kapitel 4.5 SDU-SMU-Bibliothek ersichtlich, erfolgte bereits eine Vorstrukturierung notwendiger Daten, ergänzt um Angaben aus der deskriptiven Statistik wie Werteverteilungen und Anzahl von Werten. Aufgabe des ersten Teils der SMU besteht nun darin, diese Inputdaten so neu zu strukturieren, dass die verschiedenen Daten nachfolgend eindeutig in Beziehung zueinander gesetzt werden können. Während des Projektverlaufs hat sich gezeigt, dass die dafür notwendige Vorgehensweise aufgrund der schon als SDU eingehenden Datenpakete stets mit einer bestimmten Anzahl an Operanden durchgeführt werden kann.

Der Teilbereich „Daten korrigieren“ innerhalb dieser SMU ist dagegen anwendungsfallsspezifisch. Aufgrund vorliegender Freihandeintragungen als Inputdaten ist eine automatisierte Weiterverarbeitung erst dann möglich, wenn diese Eintragungen einheitlich interpretiert werden können. Im vorliegenden Szenario gilt es in diesem Zusammenhang, zwei Fälle zu unterscheiden: Zum einen sind komplette Datensätze auszuschließen, wenn die Freihandeintragungen bestimmte Signalwörter enthalten. Zum anderen sind Eintragungen aus anderen Freihandfeldern orthografisch zu korrigieren. Um dies zu ermöglichen, ist in dieser SMU das „Regelwerk Begriffe“ als zusätzlicher Input vorgesehen. In diesem sind sowohl die Signalwörter als Ausschlusskriterium enthalten

als auch die korrekten Bezeichnungen für alle anderen Freifelder. Zur Bearbeitung beider Szenarien wurden sogenannte String-Matching-Verfahren³ eingesetzt. Für den ggf. notwendigen Ausschluss von Datensätzen erfolgt die Überprüfung anhand selektiver Wortbestandteile. Der gleiche Algorithmus kommt als Prozessschritt ebenso für die Korrektur bestimmter Begriffe zum Einsatz, wird aber ergänzt um einen Algorithmus, der auf Basis der Bestimmung von Ähnlichkeitsmaßen zwischen Freihandeintragung und zugehörigem Begriff im Regelwerk automatisch Korrekturen vornimmt.

Aufgrund der Anpassungen im vorgenannten Teilbereich der SMU ist es erforderlich, mittels erneuter deskriptiver Statistik Werteverteilungen auszugeben, um Hinweise auf die Verknüpfung mit ggf. weiteren SMU zu veranschaulichen oder als Entscheidungsvorlage zu dienen – zum Bsp. im Fall von zu wenig verbleibenden Datensätzen, um nachfolgend ein Klassifikationsmodell anzulernen.

Die vorstehenden Ausführungen lassen hinsichtlich der Systembeschreibung folgenden Schluss zu: Mit der erstmaligen Erstellung eines jeden Teils der SMU – von der Datenstrukturierung über deren Korrektur und der deskriptiven Auswertung – entsteht das Potenzial, diese Teilprogrammierungen der SMU in anderen SMU wieder aufzugreifen. Im Falle der Datenstrukturierung mit mehreren SDU als Input sowie der deskriptiven Auswertung hat sich innerhalb des Projektes gezeigt, dass die gleichen Vorgehensweisen auf verschiedene Anwendungsfälle anwendbar sind. Doch auch der Teilbereich der Datenkorrektur lässt sich als eine separate Smart Method Unit abspeichern und in ähnlich gelagerten Anwendungsfällen mit unterschiedlicher Parametrisierung wieder aufgreifen. Wie in Kapitel 4.2 Modulares digitales Dienstleistungskonzept bereits beschrieben, lassen sich je nach Bedarf also verschiedene Aggregationsebenen bilden. Dies lässt ebenso die Schlussfolgerung zu, bei breiter Verwendung dieser Vorgehensweise eine potenzielle SDU-SMU-Bibliothek anlegen zu können.

³ Diese Klasse von Algorithmen ermöglicht das Finden von Textsegmenten in einem Text oder einer Zeichenkette anhand vorgegebener Suchterme und/oder -muster.

4.5 SDU-SMU-Bibliothek

Eine entsprechende Bibliothek wurde im Rahmen des Projektes Plug_and_Control ebenfalls erstellt. Diese wird nachfolgend mit beispielhaften Auszügen dargestellt. Zur Erstellung einer solchen informationstechnischen Übersicht der Bausteine hat sich gezeigt, dass aus Gründen der Verständlichkeit und Übersichtlichkeit mehrere Angaben notwendig sind. Das reicht von der konkreten Zielerstellung über die verwendeten und erzeugten Daten bis hin zu Angaben einer möglichen Editierbarkeit und mit Blick auf Smart Method Units eventuell vorhandener alternativer Algorithmen. Letztere sind dabei lediglich exemplarischer Natur und sind nicht als vollständige Auflistung der Alternativen zu verstehen.

Prozessschritt 1: Daten erfassen und strukturieren

Tabelle 1: Beschreibung der SDU „Produkt-/Dienstleistungs- und Prozessanforderungen“

Kriterien	SDU „Produkt-/Dienstleistungs- und Prozessanforderungen“
Ziel	Strukturieren und Erfassen aller notwendigen Daten, die aus unternehmensinternen, gesellschaftlichen, kundenbezogenen aber auch rechtlichen Anforderungen resultieren
Beschreibung	Digital vorliegende Daten aus relevanten Quellen wie zum Bsp. Checklisten, Lastenheften, Anforderungslisten werden unabhängig von ihrem Datenformat eingelesen. Alle Datenquellen werden separat auf eine vorab definierte Struktur transformiert, z.B. durch transponieren und pivotieren. Die Datenstrukturierung umfasst ebenso die Definition eindeutiger Identifikationsnummern sowie zum Bsp. das Editieren von Spaltenbeschriftungen. Mittels deskriptiver Statistik erfolgt die Ausgabe der Werteverteilung inkl. fehlender Daten.
Inputdaten	Je nach Anwendungsfall verschieden, zum Bsp. geforderte: <ul style="list-style-type: none"> • Kenngrößen zur Materialbeschaffenheit und Flüssigkeitskonzentrationen • Mengen und Zielgrößen • Interaktionsanforderungen • Stammdaten zu Kunden, Maschinen etc.
Outputdaten	Relevante Produkthanforderungen, nach Vorgaben strukturiert
Editierfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Festlegung Struktur Identifikationsschlüssel • Bearbeitung von Beschriftungen
Zeitpunkt der Datenerfassung	Kann vor dem Produktions-/Dienstleistungsprozess erfolgen

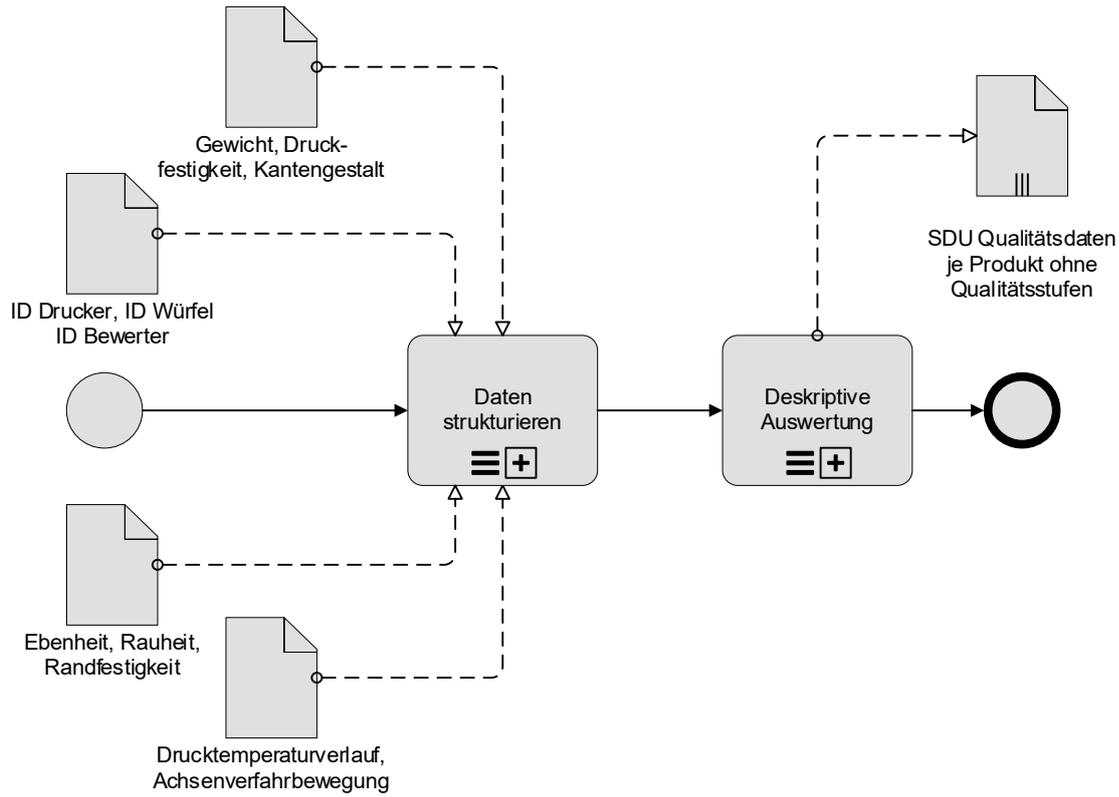


Abbildung 11: interner Prozessaufbau der SDU „Produkt-/Dienstleistungs- und Prozessanforderungen“

Tabelle 2: Beschreibung der SDU „Produkteigenschaften“

Kriterien	SDU „Produkteigenschaften“
Ziel	Strukturieren und Erfassen aller notwendigen Rohdaten bzgl. Produkteigenschaften
Beschreibung	Die Daten werden aus einer Datenbank ausgelesen und entsprechend einer vorab festgelegten Struktur transformiert, zum Bsp. durch Transponieren. Mittels deskriptiver Statistik erfolgt die Ausgabe der Werteverteilung inkl. Hervorhebung fehlender Daten.
Inputdaten	Je nach Anwendungsfall verschieden, zum Bsp. tatsächliche: <ul style="list-style-type: none"> • physikalische Kenngrößen zur Materialbeschaffenheit • Mengen und Größen • Interaktionsmöglichkeiten
Outputdaten	Alle Daten zu Produkteigenschaften, nach Vorgaben strukturiert
Editierfähigkeit	Keine
Zeitpunkt der Datenerfassung	nach dem Produktionsprozess

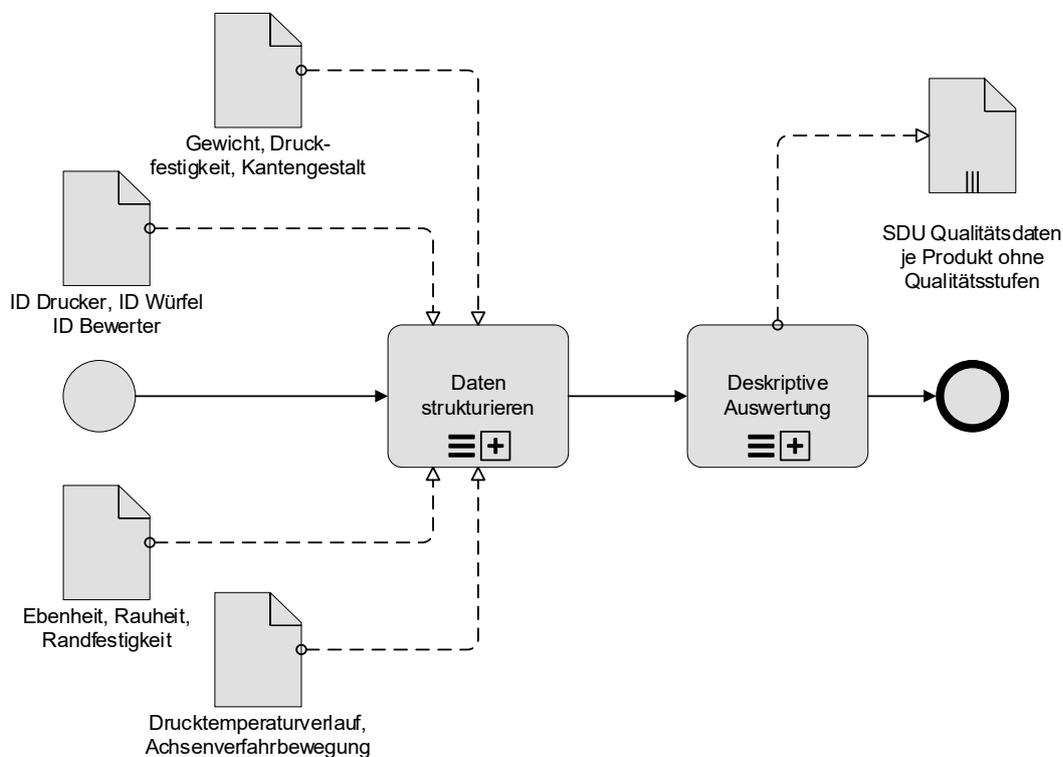


Abbildung 12: interner Prozessaufbau der SDU „Produkteigenschaften“

Prozessschritt 2: Daten plausibilisieren und verifizieren

Tabelle 3: Beschreibung der SMU „Daten plausibilisieren und verifizieren“

Kriterien	SMU „Daten plausibilisieren und verifizieren“
Ziel	die eingehenden Daten zu Produkthanforderungen, Prozessdaten der Maschine und Eigenschaften je Produkt zusammenfügen, für eine Weiterverarbeitung plausibilisieren und verifizieren
Beschreibung	Alle eingehenden Daten zu den verschiedenen SDU werden durch statistische Auswertungen zu Werteverteilungen inkl. fehlender Werte plausibilisiert. Dazu gehört ebenso, die Datensätze in bereits einheitlichen Datenstrukturen zusammenzuführen. Die Datenplausibilisierung ergibt sich über die Zuordnung der Datensätze zueinander über die Identifikationskennzeichnung. Das Vorliegen von Freihandeingaben kann über einen Algorithmus zur Distanzberechnung zwischen Referenzbegriffen und tatsächlich vorliegenden Begriffen automatisch korrigiert werden. Durch das automatisierte Auszählen der verschiedenen Ausprägungen (inkl. fehlenden Werte) wird auf Vollständigkeit aller Werte überprüft. Die Datenverifikation ist damit abgeschlossen.
Inputdaten	<ul style="list-style-type: none"> • SDU „Produkt-/Dienstleistungs- und Prozessanforderungen“, • SDU „Produkteigenschaften“, • Regelwerk „Begriffe für notwendige Änderungen“
Outputdaten	Daten der eingehenden SDU angereichert um Korrekturen von Begrifflichkeiten und der Ausgabe von Werteverteilungen
Editierfähigkeit	Editierung hinsichtlich der zu verwendenden Referenzbegriffe im Regelwerk
Verwendeter Algorithmus am Bsp. additive Fertigung	Es können Rechtschreibfehler vorliegen, die mittels Levenshtein-Distanz berechnet werden. Damit wird die Editierdistanz zwischen zwei Begriffen anhand der Anzahl von notwendigen Einfüge-, Lösch- und Ersetz-Operationen errechnet. Bei geringer Editierdistanz erfolgt die automatische Korrektur der vorhandenen Begriffe.
Alternative Algorithmen	zum Bsp. Smith-Waterman-Algorithmus, Manhattan und Euklidische Distanz (bei numerischen Werten)

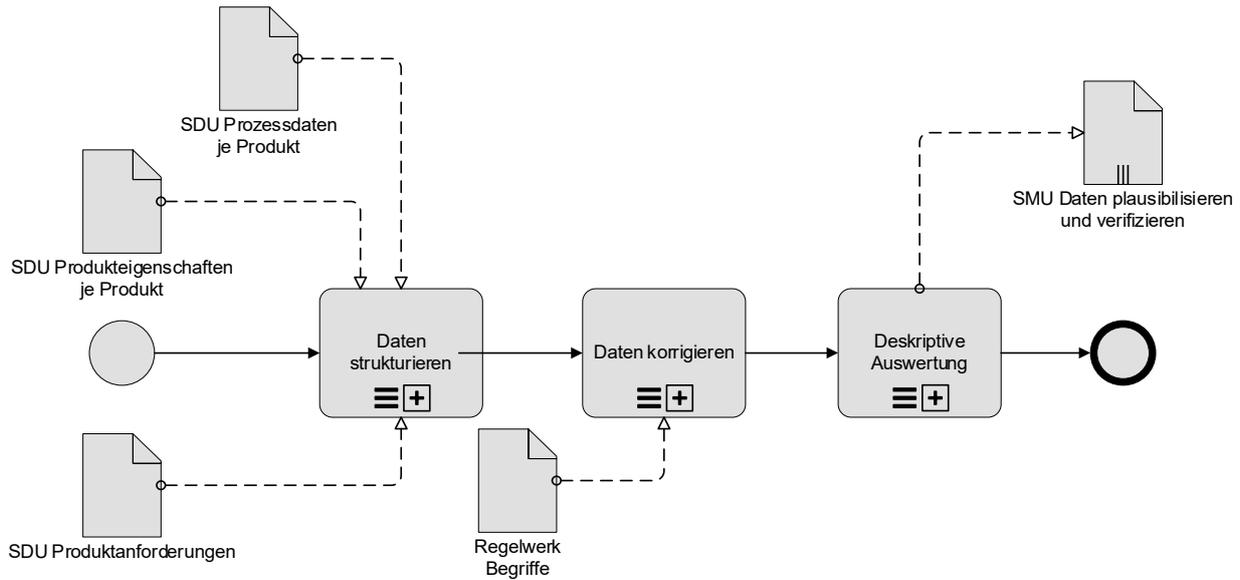


Abbildung 13: interner Prozessaufbau der SMU „Daten plausibilisieren und verifizieren“

Prozessschritt 3: Daten bereinigen

Tabelle 4: Beschreibung der SMU „Daten bereinigen“

Kriterien	SMU „Daten bereinigen“
Ziel	die Freihandeingaben datentechnisch weiterverarbeiten und mit fehlenden Werten angemessen umgehen
Beschreibung	Freihandeingaben können Hinweise darauf geben, ob die vorhandenen Datensätze überhaupt weiterverarbeitet werden sollen. Durch eine automatisierte Texterkennung und den Abgleich mit einer Referenzliste an Signalwörtern erfolgt auf diese Weise der Ausschluss entsprechender Datensätze. Die vorhandene statistische Werteverteilung aus der SMU „Daten plausibilisieren und verifizieren“ geben einen Hinweis darauf, ob weitere Datensätze ausgeschlossen werden müssen. Durch die Hinterlegung entsprechender Grenzwerte geschieht dies automatisch.
Inputdaten	Jeweils vorverarbeitet durch SMU „Daten plausibilisieren und verifizieren“: <ul style="list-style-type: none"> • SDU „Maschineneinstellungen“, SDU „Prozessdaten der Maschine“ • SDU „Qualitätsdaten je Produkt mit Qualitätsstufen“ • Regelwerk „Begriffe für optionale Freihandeintragungen“ (Bemerkungen) • Regelwerk „Grenzwerte für fehlende Daten“

Outputdaten	Output sind die Daten der eingehenden SMU, reduziert um Datensätze, die eine weitere Verarbeitung beeinträchtigen würden
Editierfähigkeit	Editierung hinsichtlich der Referenzliste an Signalwörtern und einzuhaltender Grenzwerte bzgl. fehlender Werte
Verwendeter Algorithmus	Auszuschließende Werte aufgrund entsprechender Freihandeintragungen wurden über ein einfaches Ausschlussverfahren ermittelt, die in solchen Fällen enthalten sein müssen. Überschreiten fehlende Werte vorgegebene Grenzwerte, erfolgt der Ausschluss des zugehörigen Datensatzes durch Abgleich.
Alternative Algorithmen	Im vorliegenden Fall waren keine besonderen Algorithmen anzuwenden. Mögliche Algorithmen, wenn Textverständnis automatisiert erzeugt werden soll: Generative Pretrained Transformer (GPT), Natural Language Generation. Anstatt fehlende Werte zu ersetzen, kann auch versucht werden, diese zu prädiktionieren. Dafür stehen je nach Ansatz unzählige Algorithmen zur Verfügung.

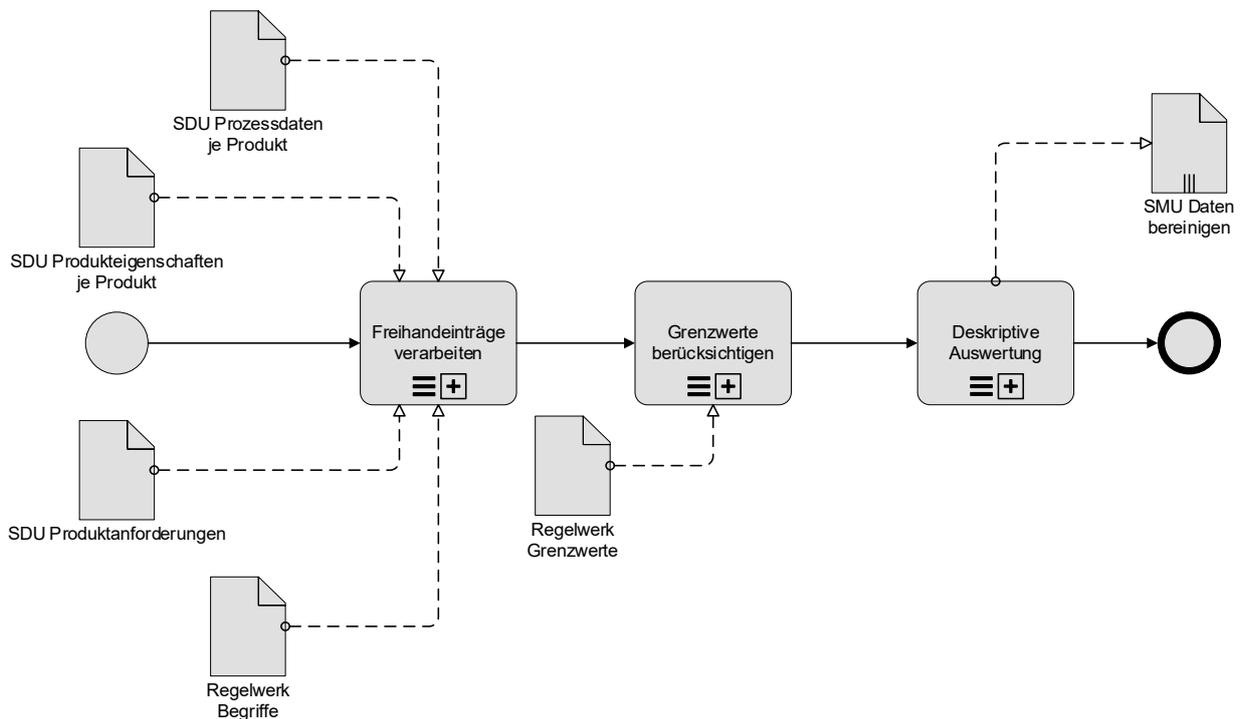


Abbildung 14: interner Prozessaufbau der SMU „Daten bereinigen“

Prozessschritt 4: Datenreduktion und Clustering*Tabelle 5: Beschreibung der SMU „Datenreduktion und Clustering“*

Kriterien	SMU „Datenreduktion und Clustering“
Ziel	Anhand der erhobenen Produkthanforderungen und -eigenschaften Datencluster identifizieren
Beschreibung	Bisher liegen die Produkteigenschaften als viele einzelne Bewertungspunkte je Qualitätskriterium vor. Dazu werden zunächst die Hauptkomponenten identifiziert, die den überwiegenden Informationsgehalt aller Komponenten (Bewertungskriterien) widerspiegeln. Dies ist der Ausgangspunkt, um nachfolgend mit Hilfe eines Clusteralgorithmus die Qualitätsmuster zu definieren. Die Bestimmung der Anzahl der Cluster erfolgt durch Anwendung und Evaluation eines weiteren Algorithmus.
Inputdaten	Jeweils vorverarbeitet durch SMU „Daten bereinigen“: <ul style="list-style-type: none"> • SDU „Maschineneinstellungen“, • SDU „Prozessdaten der Maschine“, • SDU „Qualitätsdaten je Produkt mit Qualitätsstufen“
Outputdaten	Datencluster, die als Qualitätsstufen interpretiert werden
Editierfähigkeit	keine
Verwendeter Algorithmus	Die Bestimmung der Hauptkomponenten erfolgt über die Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis; PCA). Umfangreiche Datensätze können dadurch strukturiert, vereinfacht und veranschaulicht werden. Zum Clustern wurde der k-Means-Algorithmus gewählt. Die Zwischenevaluation der Ergebnisse erfolgt anhand des Silhouetten-Koeffizienten.
Alternative Algorithmen	Zum Beispiel Lineare Diskriminanzanalyse, t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE), Backward Feature Elimination, Forward Feature Selection, Entscheidungsbaum

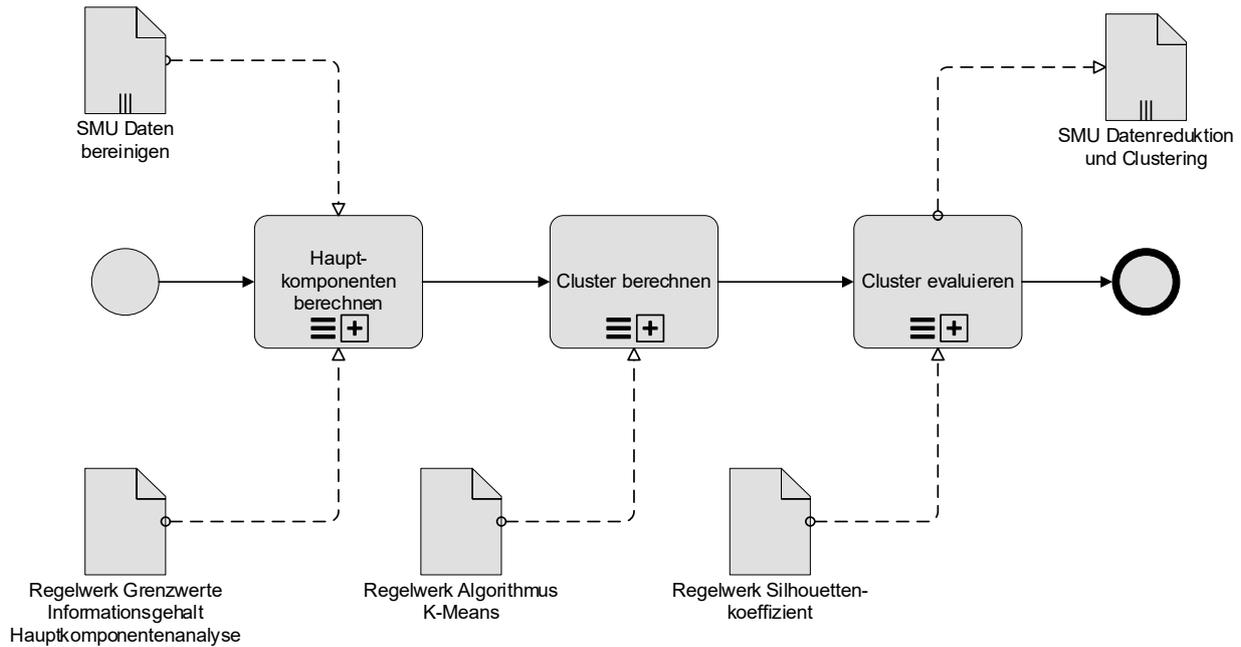


Abbildung 15: interner Prozessaufbau der SMU „Datenreduktion und Clustering“

Prozessschritt 5: Datenklassifikation und Evaluation

Tabelle 6: Beschreibung der SMU „Datenklassifikation und Evaluation“

Kriterien	SMU „Datenklassifikation und Evaluation“
Ziel	Neue Produktdaten werden zu den definierten Clustern zugeordnet (klassifiziert)
Beschreibung	Für eine valide Zuordnung der Daten wird der geeignete Klassifizierungsalgorithmus identifiziert. Dazu berechnen mehrere Algorithmen die Klassifikationen. Deren Ergebnisse werden durch die Anwendung weiterer Algorithmen evaluiert. Die Wahl des besten Klassifizierungsalgorithmus erfolgt automatisch auf Basis der Evaluationsergebnisse.
Inputdaten	Jeweils vorverarbeitet durch SMU „Datenreduktion und Clustering“: <ul style="list-style-type: none"> • SDU „Maschineneinstellungen“ • SDU „Prozessdaten der Maschine“ • SDU „Qualitätsdaten je Produkt mit Qualitätsstufen“
Outputdaten	In Qualitätsstufen klassifizierte produktbezogene Daten
Editierfähigkeit	keine

Verwendeter Algorithmus	Gegeneinander an treten die Klassifizierungsalgorithmen Entscheidungsbaum, Gradient Boosted-Verfahren, Random Forest, Naive Bayes und ein einschichtiges feedforward-Netz. Jeder Algorithmus wird durch gängige Kennzahlen evaluiert. Anwendung finden hier jeweils die K-Fold Cross-Validation in Kombination mit dem sog. F1-Score.
Alternative Algorithmen	In Bezug auf Klassifizierungsalgorithmen je nach Anwendungsfall verschiedene Arten künstlicher neuronaler Netze, Support Vector Machine, Lineare Regression; für die Evaluation zum Bsp. Holdout- oder Leave-one-out-Verfahren und speziell auf künstliche neuronale Netze anwendbare Verfahren

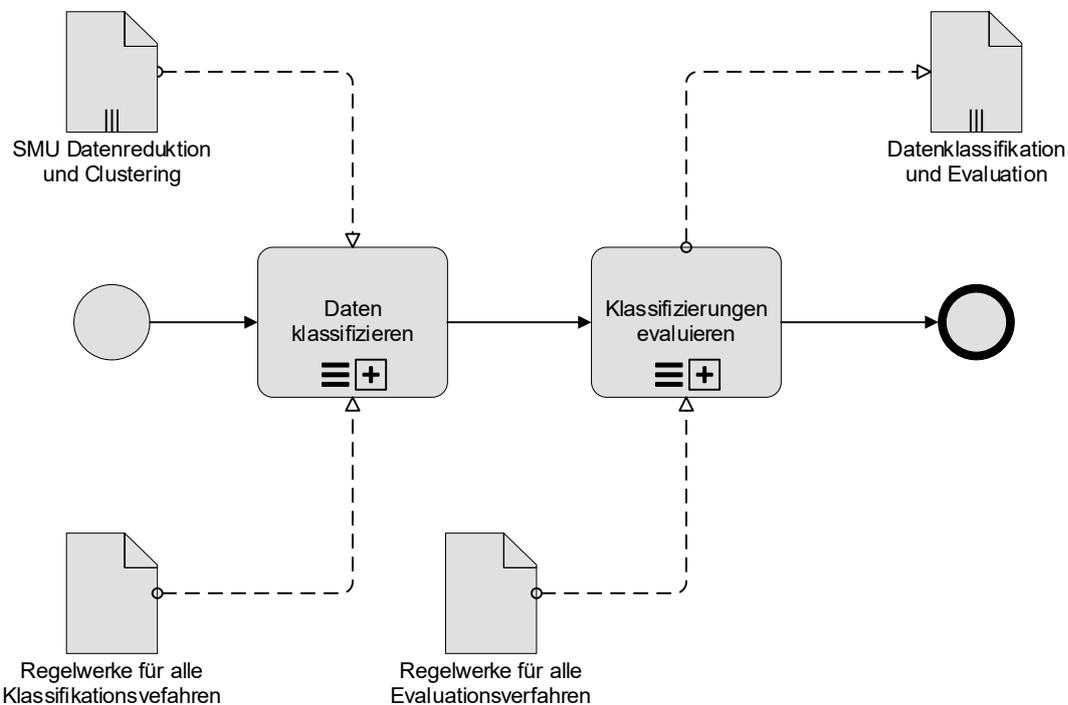


Abbildung 16: interner Prozessaufbau der SMU „Datenklassifikation und Evaluation“

Prozessschritt 6: Risikofaktor berechnen*Tabelle 7: Beschreibung der SMU „Risikofaktor berechnen“*

Kriterien	SMU „Risikofaktor berechnen“
Ziel	Berechnung des Risikos (bzw. der Wahrscheinlichkeit), in welchem Ausmaß ein mit bestimmten Parametern erzeugtes Produkt bei wiederholter Herstellung mit gleichen Produkten derselben Qualitätsstufe zugehörig sein wird
Beschreibung	Der bisherige Herstellungsprozess beruhte auf Erfahrungswerten des Personals. Für den Prototyp wurden teilweise Druckparameter in Bereichen verwendet, die zumindest erfahrungsbasiert als grenzwertig eingestuft wurden. Dadurch sollten zusätzliche Erkenntnisgewinne über neue Parameterkombinationen erarbeitet und verifiziert werden.
Inputdaten	Jeweils vorverarbeitet durch SMU „Datenreduktion und Clustering“: <ul style="list-style-type: none"> • SDU „Maschineneinstellungen“, • SDU „Prozessdaten der Maschine“, • SDU „Qualitätsdaten je Produkt mit Qualitätsstufen“ Zusätzlich: SDU „Gewichtsdaten“
Outputdaten	Risikofaktor je Produkt
Editierfähigkeit	keine
Verwendeter Algorithmus	Die Berechnung erfolgte mittels euklidischer Distanz
Alternative Algorithmen	Manhattan-Abstand, Bravais-Pearson Produkt-Moment Relativer Identitätswert,

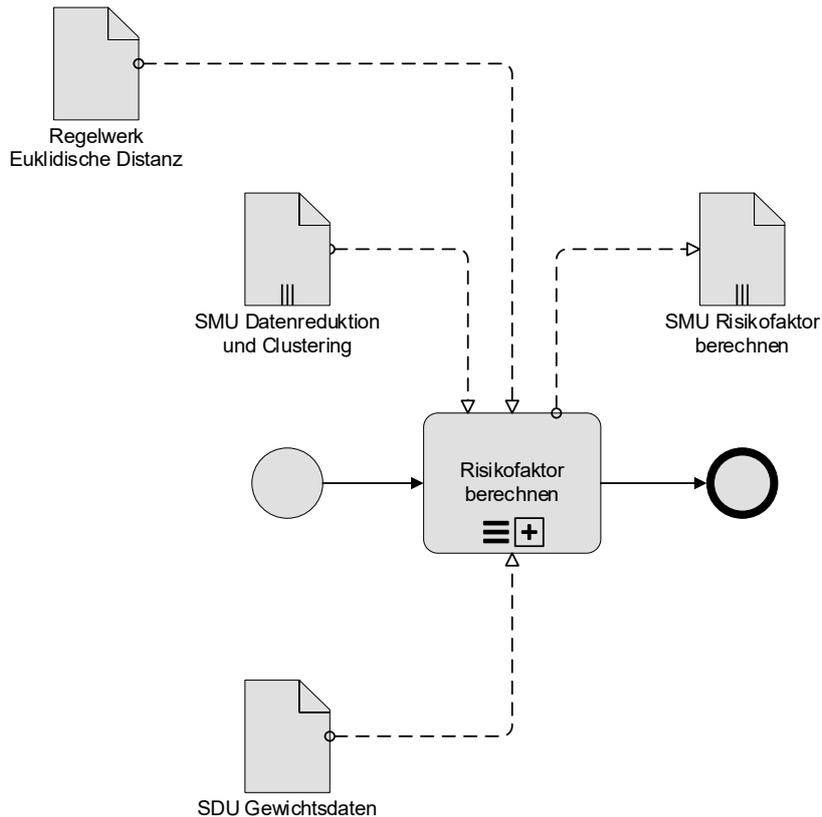


Abbildung 17: interner Prozessaufbau der SMU „Risikofaktor berechnen“

Prozessschritt 7: Kosten berechnen

Tabelle 8: Beschreibung der SMU „Kosten berechnen“

Kriterien	SMU „Kosten berechnen“
Ziel	Material- und Energiekosten berechnen
Beschreibung	Auf Basis von Druckdauer, Stromverbrauch, verbrauchten Druckmaterialien etc. werden die Kosten je Produkt berechnet.
Inputdaten	<ul style="list-style-type: none"> • SDU „Maschineneinstellungen“ • SDU „Gewichtsdaten“ • SDU „Kostensätze“
Outputdaten	Produktbezogene Herstellungskosten
Editierfähigkeit	Kostensätze
Verwendeter Algorithmus	In dieser SMU werden keine besonderen Algorithmen verwendet
Alternative Algorithmen	keine

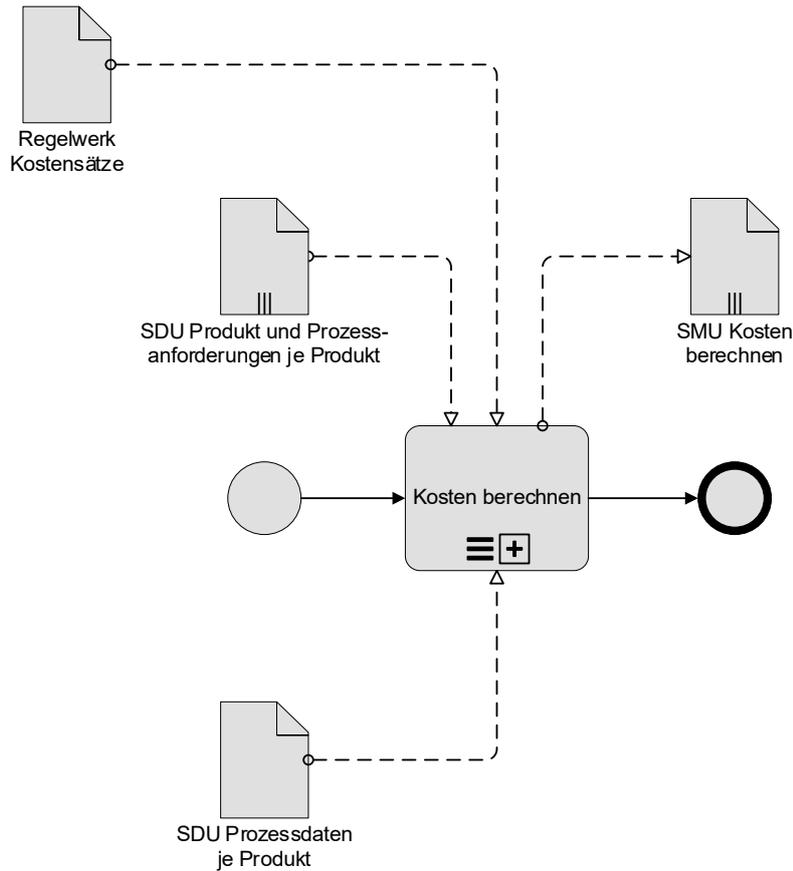


Abbildung 18: interner Prozessaufbau der SMU „Kosten berechnen“

Die aufgezeigten Prozessschritte mit ihren SDU und SMU lassen sich zuvorderst auf den Anwendungsfall zur Bestimmung von Maschineneinstellungen in der additiven Fertigung anwenden. Die prinzipielle Vorgehensweise ist jedoch solch allgemeiner Natur, dass eine Übertragung auf alle in Kapitel 5 vorgestellten Anwendungsfälle möglich ist.

5 Transfer in die Praxis

5.1 Prototypische Umsetzung des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“

5.1.1 Ausgangslage und Zielstellung

Die Technische Universität Chemnitz stellt im Rahmen des Forschungsvorhabens die Laborumgebung der Experimentier- und Digitalfabrik der Professur Fabrikplanung und Intralogistik für die Entwicklung eines Prototyps zur Verfügung. Mit der Prototypenimplementierung ist angestrebt, die Funktionalität und Realisierbarkeit der im Rahmen des Projektes entwickelten Konzepte zu überprüfen, um somit eine Erstevaluation durchzuführen, bevor die Umsetzung bei den Praxispartnern erfolgt.

Angestrebt war daher die Entwicklung eines übergreifenden Prototyps, der:

- die entwickelten Konzepte anschaulich und gut verständlich im industrienahen Kontext darstellt,
- die Use Cases aus dem Projekt darstellen kann,
- die Funktionalität und Flexibilität des SDU/SMU-Konzeptes belegt,
- das zugrundeliegende Datenmanagementkonzept darstellt und
- die Methodenimplementierung innerhalb des Konzeptes darstellt.

Um den Anforderungen gerecht zu werden, wurde auf einen bereits bestehenden Demonstrator zurückgegriffen, welcher innerhalb des Forschungsvorhabens erweitert werden konnte. Bei dem Demonstrator handelt es sich um die „Smart Factory 2 Go“, welcher bestehend aus zwei 3D-Druckern „Ultimaker Go 2“ und einem Set aus mehreren „Raspberry Pi Ver. 3“ Einplatinencomputern, welche unterschiedliche Verantwortlichkeiten übernehmen, in der Lage ist, eine Fertigungsanlage mit dezentralem Auftragsmanagementsystem und Datenübertragungssystem darzustellen.

Der betrachtete Use Case ist dabei die Datenaufnahme aus einem bestehenden Prozess, die Visualisierung und Analyse der erhaltenen Daten, die Akquise von Prozesswissen auf Basis der Datenanalysen und die Bereitstellung von Empfehlungen für die Maschinenparameter, die zu der

gewünschten Produktqualität führen. Somit ist der Prototyp in der Lage, ebenso einige der Use Cases der Praxispartner im Projekt abzubilden. Gleichzeitig handelt es sich bei der Erzeugung von Objekten im Schmelzschichtverfahren mittels FDM-3D-Drucker (Fused Deposition Modeling) um einen gut erklärbaren und verständlichen Prozess, welcher sich für die Evaluation des Konzeptes und die Visualisierung des Projektkonzeptes eignet.

Im Verlauf des Projektes sollte der bestehende Demonstrator um folgendes erweitert werden:

- ein Datenmanagement-System, welches in der Lage ist, die Daten aus dem Prozess und die verarbeiteten Daten zu erfassen und für nachfolgende Prozesse abzulegen,
- ein Datenanalyse-System für die Realisierung der SDU und SMU,
- ein Dashboard für die Visualisierung der Datenanalyseresultate und
- eine Datenbasis für den Prozess.

Kundensegment: <ul style="list-style-type: none"> • Unternehmen die sich mit 3D-Fertigung beschäftigen (Maschineneinsteller, Produktionsplaner, Technologen), Privatperson 	Wertschöpfungsstruktur: <ul style="list-style-type: none"> • Kunden stellen Daten bereit • Anbieter verarbeitet Daten • Anbieter stellt Service bereit 	Schlüsselaktivitäten: <ul style="list-style-type: none"> • Daten digital erheben • Optimierungsmodelle erstellen • Modell korrekt anwenden • Optimale Maschinenparameter automatisch bestimmen 	Kostenstrukturen: <ul style="list-style-type: none"> • Datenanbindung von Kunden • Kosten für IT-Infrastruktur • Personalkosten • Betriebskosten
Nutzenversprechen: <ul style="list-style-type: none"> • Qualitätsverbesserung • Kosteneinsparung • Verringerung von Durchlaufzeiten • Bessere Befriedigung von Kundenbedürfnissen • Steigerung der Nachhaltigkeit durch Material- und Energieeinsparung • Technologiezugang 	Schlüsselpartner: <ul style="list-style-type: none"> • Kunden • Ggf. Automatisierungsdienstleister (Maschinen- und Qualitätsdaten) • Technologie • IT-Dienstleister 	Schlüsselressourcen: <ul style="list-style-type: none"> • Produktqualitätsdaten • Maschinenprozessdaten • Daten der Produktanforderungen • Fertigungsprozessdaten • Optimierungsmodelle 	Erlös-konzept: <ul style="list-style-type: none"> • Abonnement • Pay per Use • Erfolgsabhängige Bezahlung (z.B. Zeitersparnis) • Ergebnisabhängige Bezahlung (z.B. Menge, Qualität)
Risiken: <ul style="list-style-type: none"> • Haftungsrisiko (gewünschte Erwartung wird nicht erreicht) • Verfügbarkeit des Services ist nicht Gewährleistet • Daten werden seitens Kunde nicht bereitgestellt (wegen Zugriff auf Geschäftsgeheimnisse) • Abhängigkeit von Schlüsselpartnern • Übermittlungsfehler • Kritische Datenmenge wird nicht erreicht 			

Abbildung 19: Canvas zur Beschreibung des Anwendungsfalls Bestimmung von Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen

5.1.2 Konzeptionierung des Prototyps

Der Anwendungsfall der TUC ist auf präskriptive Analytik ausgerichtet, da durch den Vergleich von Herstellungsdaten und erreichter Qualität Rückschlüsse auf deren Zusammenhänge gezogen werden sollen. Die Marktleistung besteht darin, die Maschineneinstellungen automatisiert zu bestimmen („Generierung von Maschineneinstellungen“), ausgehend von den gestellten Produktanforderungen und den bisherigen Kenntnissen zur Herstellung, welche in Form eines mathematischen Modells vorliegen. Um die Marktleistung zu realisieren, besteht die gesamte avisierte Dienstleistung aus den drei Smart Service Units:

1. Daten erheben
2. Modell erstellen
3. Maschineneinstellungen bestimmen

Abgeleitet von der Dienstleistung und vom Anwendungsfall lassen sich im nächsten Schritt die benötigten Daten konkretisieren. Für den Anwendungsfall des 3D-Drucks werden folgende SDU benötigt: (Abbildung 20)

- Maschinenspezifische Parameter (Fülldichte, Druckdüsentemperatur, Verfahrensgeschwindigkeit, Sockelart für Druckbetthaftung)
- Menge Ausgangsmaterial
- Zeiten (Verfahrensgeschwindigkeit und Druckdauer)
- Detailablauf der Prozesse
- Produktanforderung
- Produktqualität
- Material- und Energiekosten

Die einzelnen Daten stehen in wechselseitiger Beziehung zueinander und lassen sich wie folgt systematisieren:

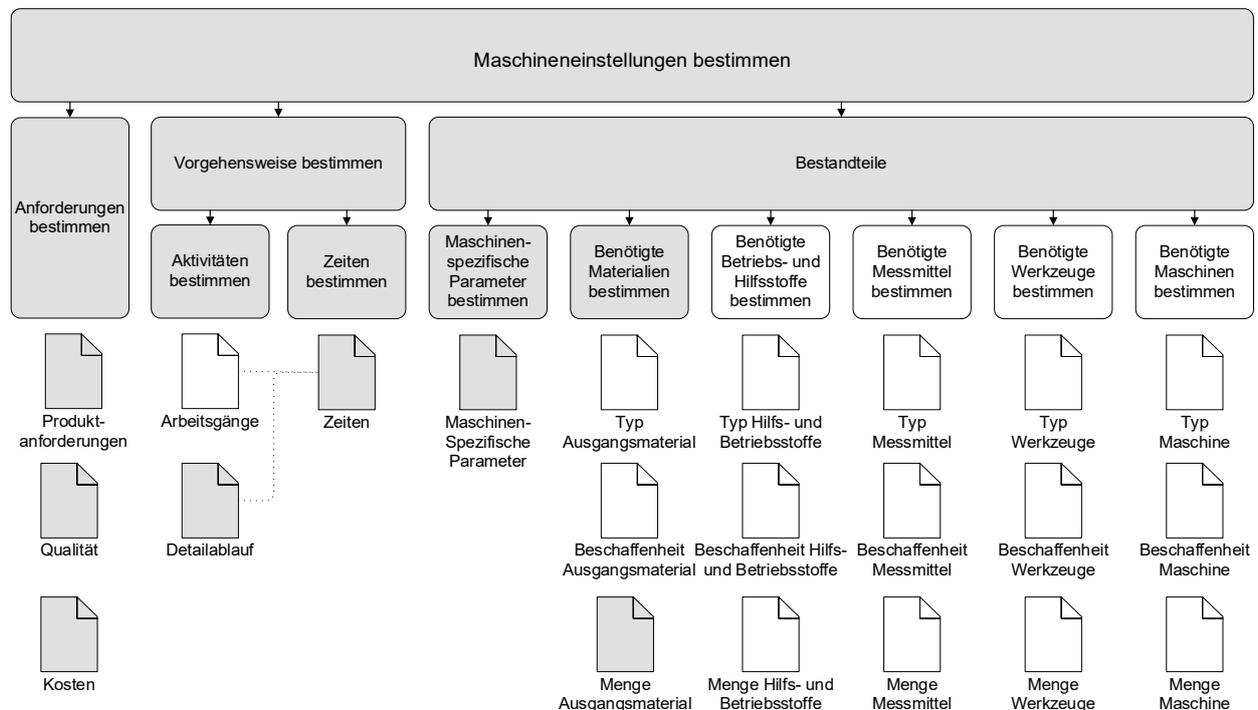


Abbildung 20: Verwendete SDU des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“ in grau

Innerhalb der entstehenden Dienstleistung ist zwischen den Daten bisheriger Aufträge zur Modellerstellung und -anreicherung sowie den Daten für den aktuellen Auftrag zur Nutzung des Modells zu unterscheiden.

Nachdem die einzubeziehenden Daten für die Anwendung definiert wurden, sind die Bezugsquellen für diese zu bestimmen. Im vorliegenden Anwendungsfall sind dies die Folgenden:

Tabelle 9: Bezug SDU zu Akteuren des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“

SDU	Involvierte Akteure (Ort der Datenbereitstellung)
Modell	Innerhalb der Software KNIME
Produktqualitätsdaten	Qualitätssicherung
Kosten	Controlling
Maschinenprozessdaten Maschineneinstellungen (bisheriger Aufträge)	Maschine (3D-Drucker)
Maschineneinstellungen (aktueller Auftrag)	Planungsabteilung
Produktanforderungen	Kunde

Aus den Smart Service Units, den Schlüsselressourcen (Daten) und den involvierten Akteuren lässt sich ein Vorkonzept der Dienstleistung ableiten:

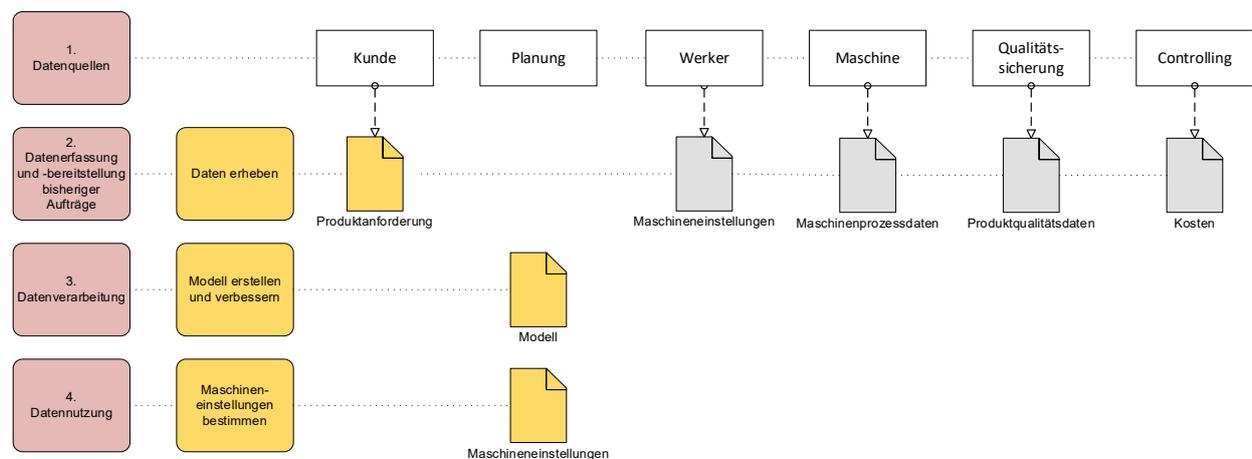


Abbildung 21: Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“ mit den Smart Service Units sowie Input- und Outputdaten in gelb

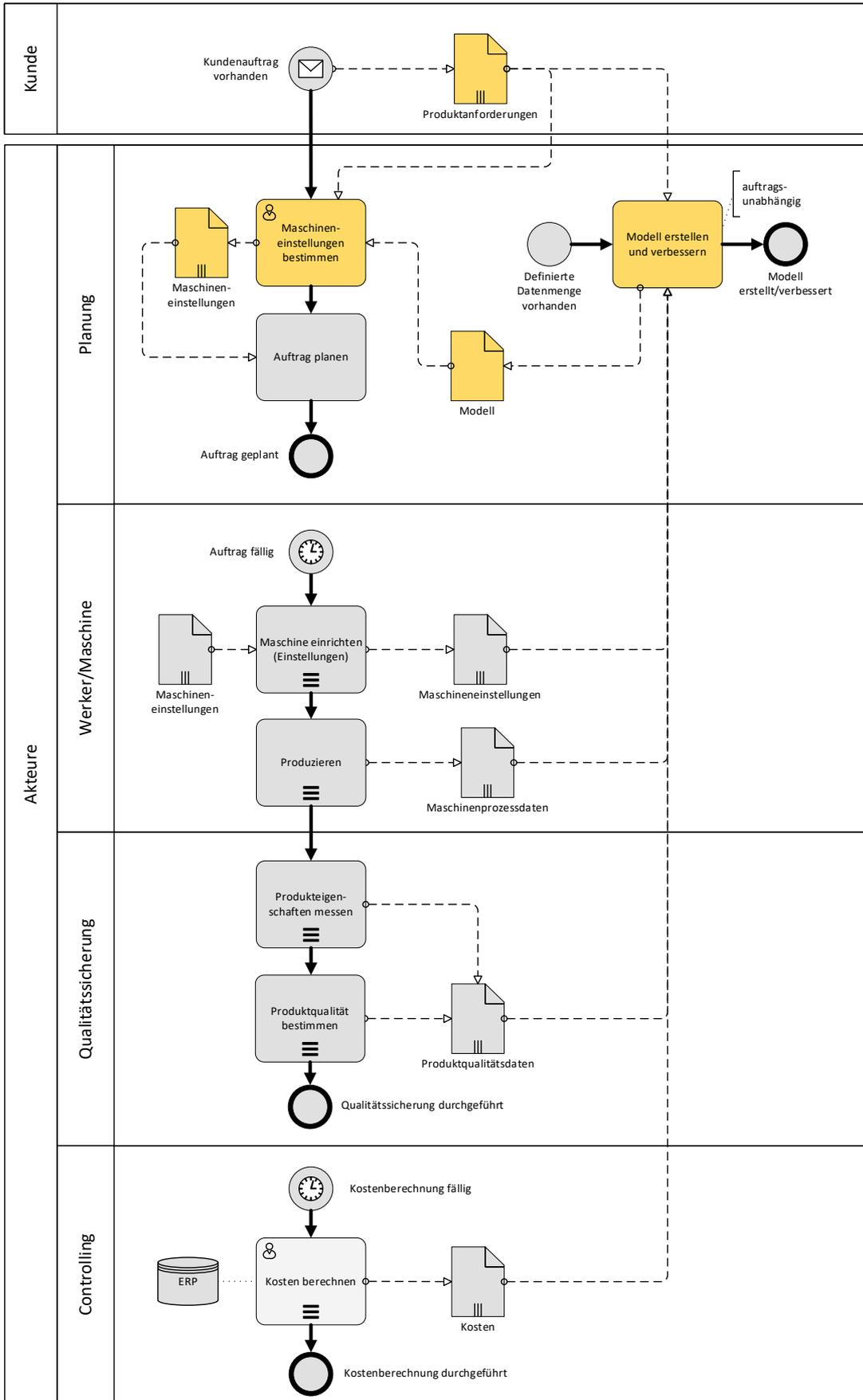


Abbildung 22: Überführungskonzept „Maschineneinstellungen für 3D-Drucker bestimmen“

Das entstandene Vorkonzept der Dienstleistung kann anschließend zu einem vollständigen Konzept der Prozessfolge erweitert werden (Abbildung 22). Hierfür ist die Absprache mit den jeweiligen Fachabteilungen notwendig.

5.1.3 Realisierung des Prototyps

Wie in Kapitel 5.1.1 beschrieben, stand für die Realisierung des Prototyps bereits eine Infrastruktur aus zwei 3D-Druckern zur Verfügung, aus denen über mehrere Raspberry Pi Maschineneinstellungen und -prozessdaten (zum Bsp. erforderliche und tatsächliche Drucktemperatur, Verfahrgeschwindigkeit der z-Achse, Druckfortschritt und aktueller Auftrag) von einem NUC-Rechner (Next Unit of Computing) ausgelesen werden. Der Druckauftrag wird über die kostenlose 3D-Druck-Software „Cura“ eingespeist und liefert ebenso verschiedene Daten zu Maschineneinstellungen. Dazu zählen unter anderem Füllhöhe, Wanddicke, Verfahrgeschwindigkeit der Druckachsen, Sockelart und die notwendige Drucktemperatur. Aus verschiedenen Vorversuchen lagen somit bereits gefertigte Geometrien sowie Datensätze zu Maschineneinstellungen vor, die insbesondere auf jenen Druckvoreinstellungen fußen, die zum einen die Software „Ultimaker Cura“ vorschlug und zum anderen dem Erfahrungswissen der Bediener zuzuordnen sind.

Für die Erweiterung um die avisierte Dienstleistung mit ihren Smart Service Units „1. Daten erheben“, „2. automatisiert ein Optimierungsmodell erstellen“ und ebenso „3. automatisiert Maschineneinstellungen bestimmen“, waren verschiedene infrastrukturelle und insbesondere datenverarbeitende Arbeiten notwendig.

Infrastruktur

Das Institut für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme (IBF) der Technischen Universität Chemnitz befindet sich eine Experimentier- und Digitalfabrik (EDF). Diese stellt eine praxisnahe cyberphysische Modell- und Lernfabrik dar, welche zur Forschung, Entwicklung von und Qualifizierung für innovative Konzepte und Technologien der Digitalisierung, Vernetzung und Industrie 4.0 sowie der Wandlungsfähigkeit und Energie-/Ressourceneffizienz eingesetzt wird. Für datengetriebene Arbeiten ist ein eigenes geschütztes Labornetzwerk vorhanden. In Erweiterung der bereits vorhandenen Infrastruktur wurde ein virtueller Server mit der Datenbanksoftware einer MongoDB installiert, um eine zentrale Datenvorhaltung zu gewährleisten. Die Daten können sowohl innerhalb der Domäne als auch mittels VPN außerhalb des IBF-Labornetzwerks, jedoch zwingend innerhalb der IBF-Domäne abgerufen werden. Entsprechende Hard- und Software wurde dafür bereitgestellt (Abbildung 23). Zusätzlich verfügt der Server über die frei verfügbare Software KNIME zur Datenverarbeitung und Microsoft PowerBI für die Darstellung von Auswertungen auf Dashboards (Emanuel et al. 2019, S. 171 f.). Die Bereitstellung der hard- und softwaretechnischen Infrastruktur ist Voraussetzung für die Bereitstellung der Smart Service Units.

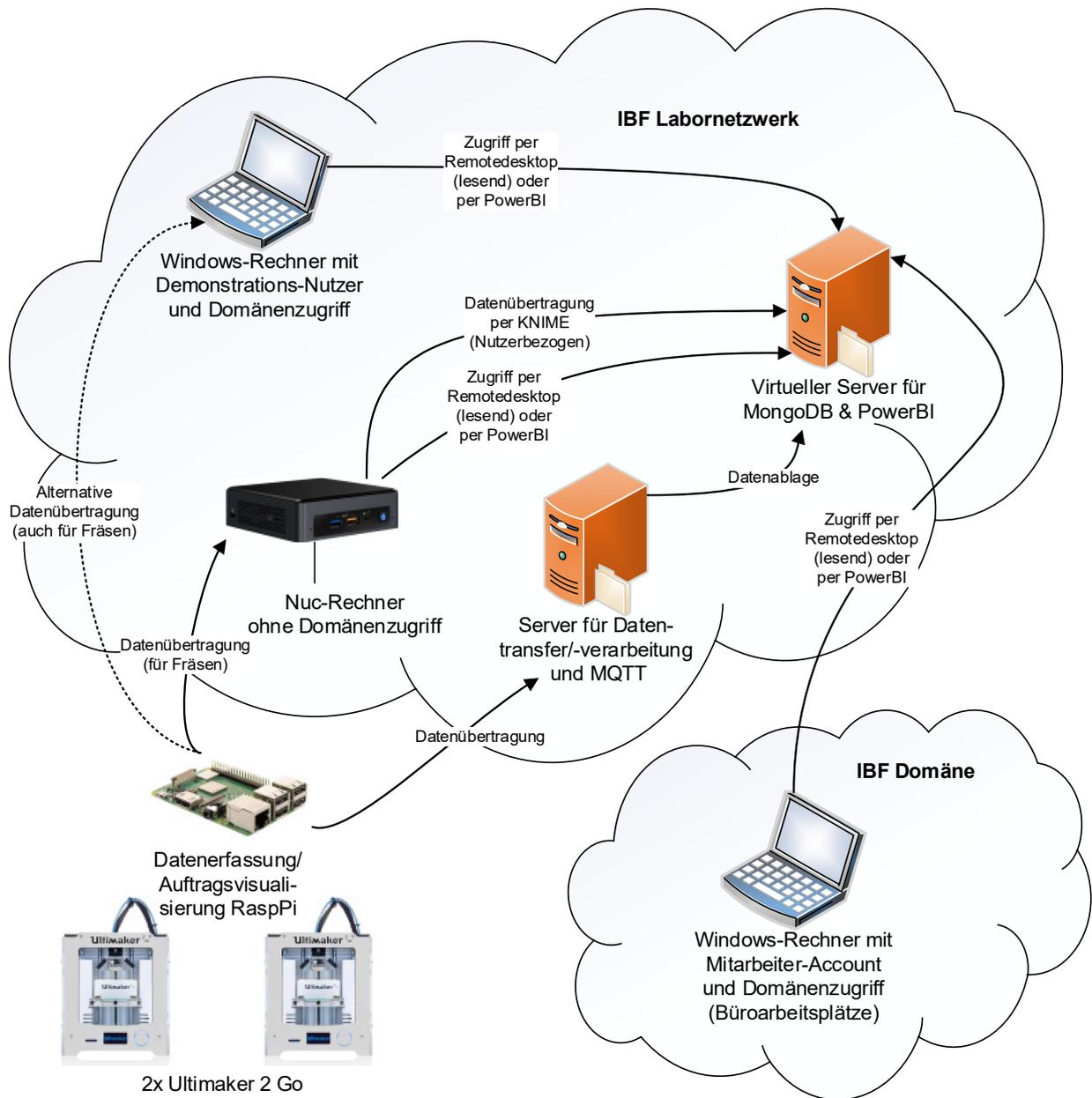


Abbildung 23: Realisierte Informationsflüsse für die additive Fertigung

Smart Service Unit 1: Daten erheben

Die in der MongoDB erfassten Daten liegen als Rohdaten vor. Datenformat und -struktur unterscheiden sich abhängig von der Datenquelle, aus der diese ausgelesen werden. Mithilfe der im Projekt Plug_and_Control entwickelten und im Kapitel 4.3 Systembeschreibung beschriebenen Artefakte werden zunächst die vorliegenden Daten hinsichtlich Datenformat und -struktur vereinheitlicht und vereinfacht. Für die Datenaufbereitung wurde eine Smart Method Unit entwickelt,

die auf unterschiedliche Rohdatensätze anwendbar ist. Die Low-Code Workflow-Programmierung in KNIME ermöglicht die direkte grafische Abbildung der Prozesse. Abbildung 24 zeigt zunächst den schematischen Ablauf, wobei jeder einzelne Strang eine eigene SDU darstellt. Während schwarze Pfeile gerichtete Datenverbindungen zwischen einzelnen Datenbausteinen anzeigen, werden rote Verbindungsstücke zur Bestimmung genutzt, zu welchem Zeitpunkt SDU bzw. SMU ausgeführt werden. An diesen Stellen ist kein sog. Datenstreaming, also keine simultane und fortwährende Datenverarbeitung möglich.

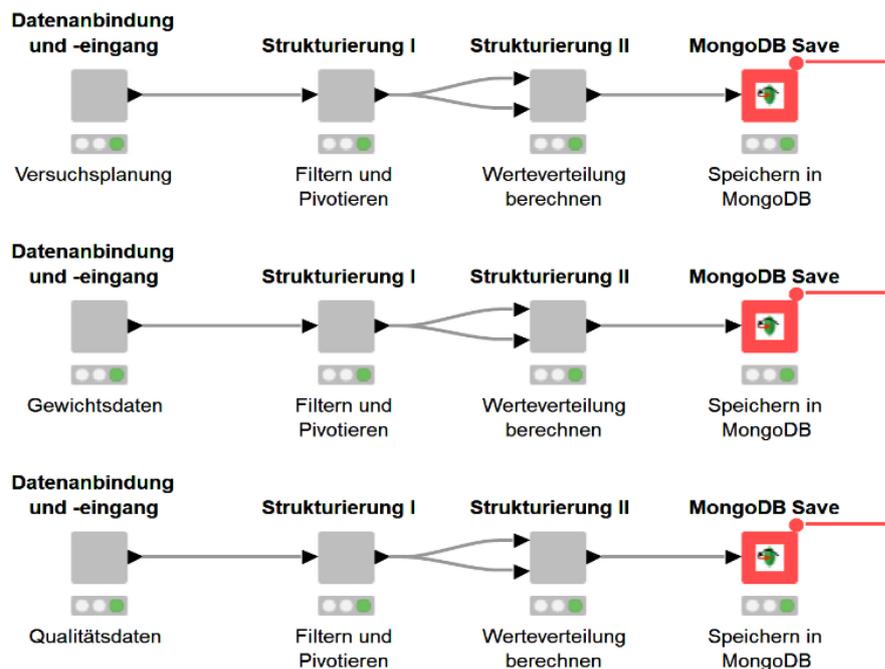


Abbildung 24: Darstellung der SDU-Strukturierungs-Workflows für verschiedene Rohdaten

Die Daten werden aus den jeweiligen Collections (Datenlager/-sammlung) der MongoDB eingelesen (Dateneingang) und für eine adäquate Weiterverarbeitung in der Software aufgelöst (Abbildung 25).

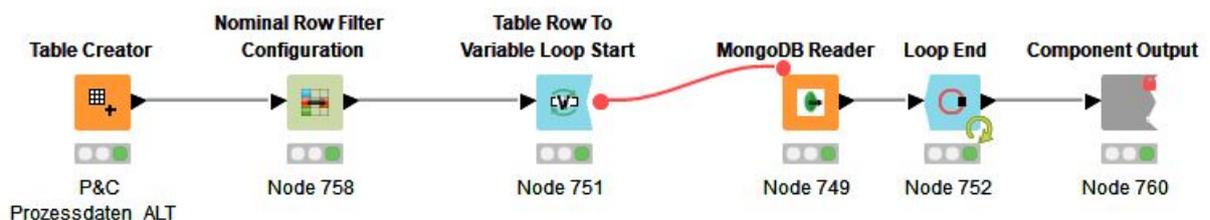
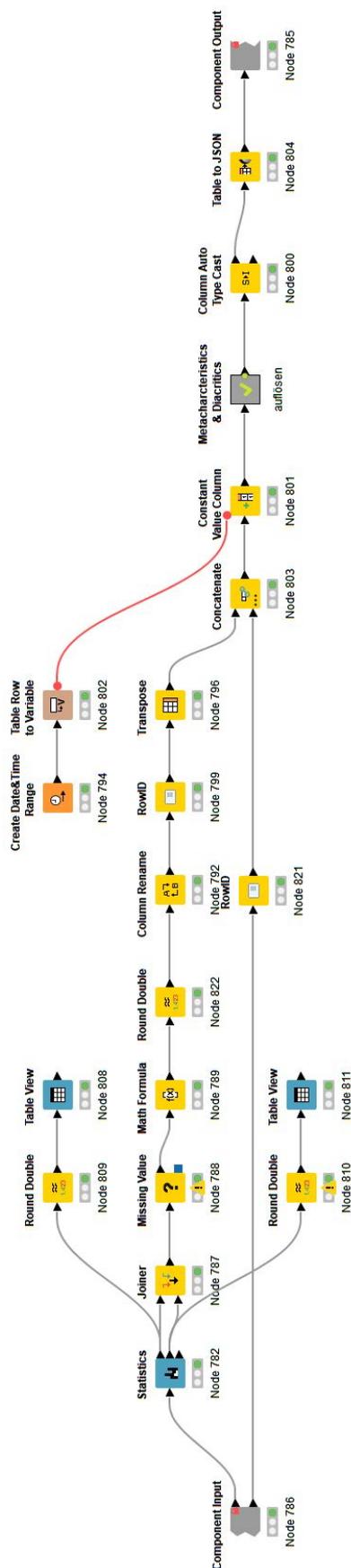


Abbildung 25: Workflow zum Einlesen verschiedener Daten aus der MongoDB (Strukturierung I)



Daran schließt sich die Anpassung gemäß einer in der SDU vordefinierten Datenstruktur an (Abbildung 26). Außerdem erfolgt in diesem Teilschritt die Anreicherung um Metadaten wie zum Bsp. Datum und Zeit der letzten Bearbeitung sowie deskriptive Verteilungen wie Minima, Maxima, Mittel- und fehlende Werte. Eine Besonderheit stellt der Baustein „Metacharacteristics & Diacritics“ dar: Aufgrund der Arbeit in einer englischsprachigen Software wurde die automatische Auflösung von Umlauten und Sonderzeichen implementiert. Abschließend besteht die Möglichkeit, die nun entwickelten SDU zurück in die MongoDB zu schreiben (Datenausgang; wie in Abbildung 24 dargestellt) oder direkt weiterzuverarbeiten. Auf diese Weise konnten alle notwendigen Produkthanforderungen, Maschineneinstellungen und -prozessdaten sowie Produktqualitätsdaten in die entsprechende SDU überführt werden, die sowohl eine gemeinsame als auch eine voneinander getrennte Weiterverarbeitung in einem anderen Kontext ermöglicht. Bis zu diesem Schritt erfolgt die Verarbeitung und Aufbereitung der Daten ohne weitere Datenmanipulation im Sinne eines Entfernens oder Veränderns der bestehenden Datensätze in den SDU.

Zur Erstellung eines automatisierten Optimierungsmodells zur Bestimmung geeigneter Druckparameter erfolgt nun die Anwendung von SMU, die miteinander kombiniert werden. Während in SDU bisher keine Datenmanipulation im Sinne des Entfernens oder der Veränderung bestehender Daten erfolgte, geschieht dies nun mittels SMU. Der komplette Workflow zu dieser SSU ist in Abbildung 27 dargestellt, beginnend bei der Zusammenführung mehrerer SDU, über die Datenbereinigung bis hin zur Modellerstellung und dessen Speicherung in der MongoDB.

Abbildung 26: Generischer Workflow zur Erstellung einer SDU (Strukturierung II)

Wenn mehrere SDU zusammengeführt werden, verfügen diese bereits über eine einheitliche Datenstruktur und ein einheitliches Datenformat. Dennoch ist eine nochmalige Überprüfung auf Vollständigkeit und Korrektheit der Daten notwendig, um zum Beispiel doppelte Datensätze zu filtern und die Zuverlässigkeit der Datengrundlage zu sichern. Bereits die Anreicherung der eingehenden SDU um deskriptive Auswertungen geben einen Hinweis darauf, ob und welche Anpassungen ggf. notwendig sind.



Abbildung 27: Durch Kombination von SDU und SMU entstehende SSU „Daten erheben“

Die nun zu unternehmende Gesamtbetrachtung zusammen mit anderen SDU gibt diesbezüglich Klarheit infolge einer nochmaligen deskriptiven Auswertung. Außerdem erfolgen in dieser SSU erste Korrekturen (SMU Datenplausibilität). Diese Notwendigkeit ergibt sich aus dem Umstand, während der Aufnahme der Produktqualitätsdaten Freihandeintragungen vornehmen zu können. So war es unter anderem notwendig, den sog. Druckplattenhaftungstyp je sowie die Farbe des Produkts manuell einzugeben. Damit gab es eine potenzielle Fehlerquelle, etwa hinsichtlich Rechtschreibung, die zu berücksichtigen war. Wie in Kapitel 4.5 beschrieben, wurde für eine automatisierte Korrektur die Editierdistanz zwischen zwei Begriffen berechnet. Unterschreitet der berechnete Abstand einen bestimmten Wert, erfolgt die Korrektur des Datensatzes. In Bezug auf den Druckplattenhaftungstyp wurde bspw. Aus „skrit“ die „Skirt“ oder aus „birm“ wurde „Brim“. Abbildung 28 zeigt den zugehörigen KNIME-Workflow.

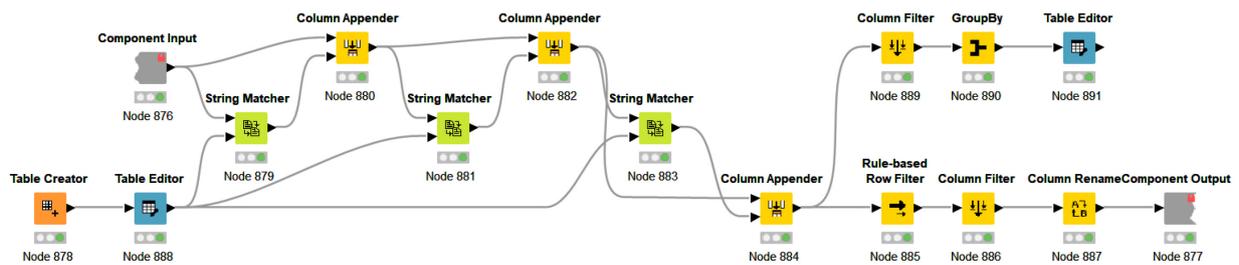


Abbildung 28: SMU Datenbereinigung mit Korrekturen durch Abstandsberechnungen

In dieser beschriebenen SMU wurden noch keine Datensätze gelöscht oder weitergehend editiert. Dafür gibt es eine separate SMU „Datenbereinigung“, welche den Umgang mit fehlenden oder fehlerhaften Werten sowie den im Rahmen der Produktqualitätsbewertung ebenfalls möglichen Freihandeintragungen in Bemerkungsfeldern gestattet. Die Berücksichtigung dieser Eintragungen erfolgte über den Abgleich mit einer Referenzliste an Signalwörtern und einzuhaltender Grenzwerte bzgl. fehlender Werte. Im vorliegenden Prototyp wird das Ergebnis jeder SSU zurück in die MongoDB geschrieben, um auch Weiterarbeiten mit diesem Datensatz in anderen Kontexten zu ermöglichen.

Smart Service Unit 2: Modell erstellen

Mit diesen bereinigten Datensätzen erfolgt die Anwendung der zweiten SSU „Modell erstellen“. Dazu werden die notwendigen Daten mithilfe des in Abbildung 25 beschriebenen generischen Workflows wieder in KNIME eingelesen. Zum Einsatz kommen insgesamt zwei SMU mit jeweils verschiedenen Rechenverfahren.

Zunächst wurde hierbei auf das Hauptkomponentenverfahren (Principal Component Analysis; PCA) zurückgegriffen. Grund dafür ist, dass Innerhalb der ersten SSU (Daten erheben) eine Vielzahl an Daten zusammengeführt, modifiziert als auch bereinigt sind und es sich als herausfordernd gestaltet, wenn für die Modellerstellung jeder einzelne Datenpunkt berücksichtigt werden müssten. Durch die PCA werden auf Basis des vorliegenden Datensatzes neue Variablen berechnet, die einen Großteil des Informationsgehalts der Ausgangsdaten beinhalten (Abbildung 29).

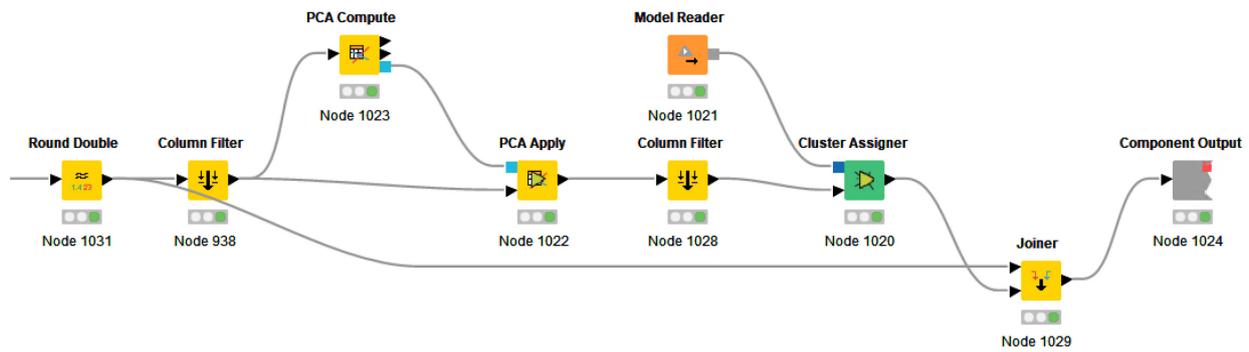


Abbildung 29: Ausschnitt aus der SMU Hauptkomponentenanalyse

Das PCA-Verfahren wurde auf die bereits vorliegenden Datensätze angewendet, um darauf aufbauend die Hauptkomponenten automatisiert in mehrere Cluster (im vorliegenden Prototyp als Qualitätsstufen zu interpretieren) zu unterteilen. Mit Hinzukommen neuer Daten werden sowohl PCA als auch das Cluster-Modell um diese nochmals angereichert und somit weiterentwickelt. Eine Reduktion auf vier Dimensionen spiegelt weiterhin über 99% Informationsgehalt (Varianz der Daten) wider. In Abbildung 29 aus Gründen der Übersichtlichkeit nur als „Model Reader“ dargestellt, ist in Abbildung 30 ein Ausschnitt des Workflows zur Bestimmung dieser Cluster zu sehen.

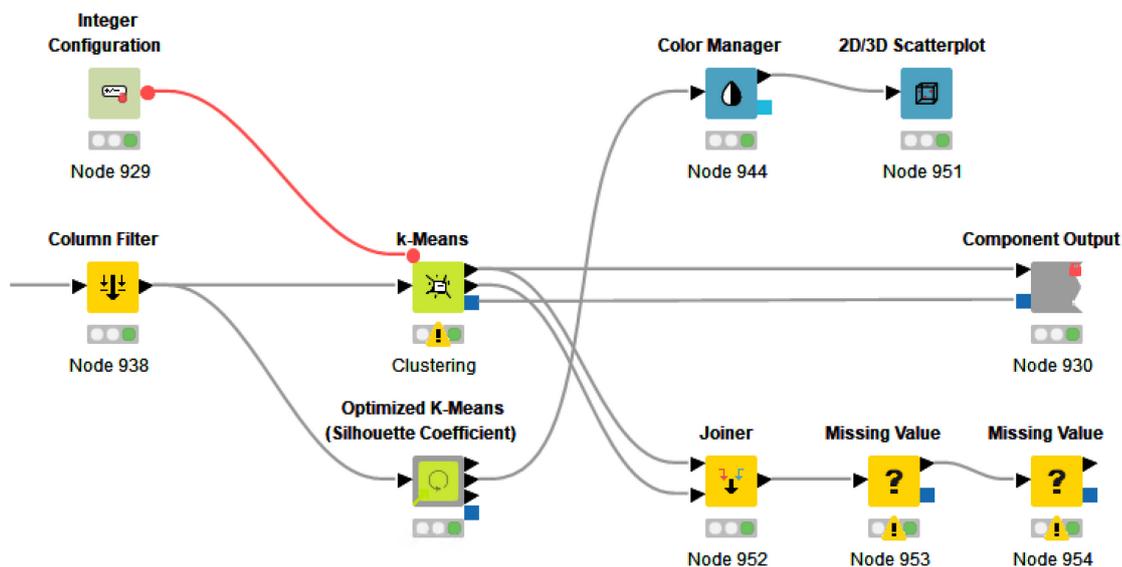


Abbildung 30: SMU zur Definition der Cluster mittels k-Means-Algorithmus und Überprüfung anhand des Silhouettenkoeffizienten

Ersichtlich wird die Clusterentwicklung, wenn der verwendete k-Means-Algorithmus mittels Scatterplots visualisiert wird. Im Verständnis des Prototyps dienen diese Cluster als Qualitätskategorien, in die (künftige) Erzeugnisse eingestuft werden. So waren lediglich ein Minimum und ein Maximum für k sowie wiederum ein Grenzwert für den Silhouettenkoeffizienten anzugeben, der nicht zu unterschreiten ist (siehe Configuration Unit in Kapitel 4.3). Im Ergebnis entstehen drei Qualitätskategorien, wobei der Koeffizient angibt, wie exakt die Zuordnung der Daten zu einem Cluster erfolgt. Der um Clusterergebnisse angereicherte Datensatz sowie das Cluster-Modell wurden in der MongoDB gespeichert.

Das zu erstellende Modell zielt darauf ab, neue Produkte anhand der zur Verfügung stehenden Daten in eine Qualitätskategorie einzuordnen, d.h. zu klassifizieren. Umgesetzt wurde dies mit Hilfe des in Abbildung 31 gezeigten Workflows in KNIME. Kompetitiv traten folgende Verfahren gegeneinander an:

- Gradient Boosted Tree,
- Decision Tree,
- Random Forest,
- Naive Bayes und
- Einfaches neuronales Netz.

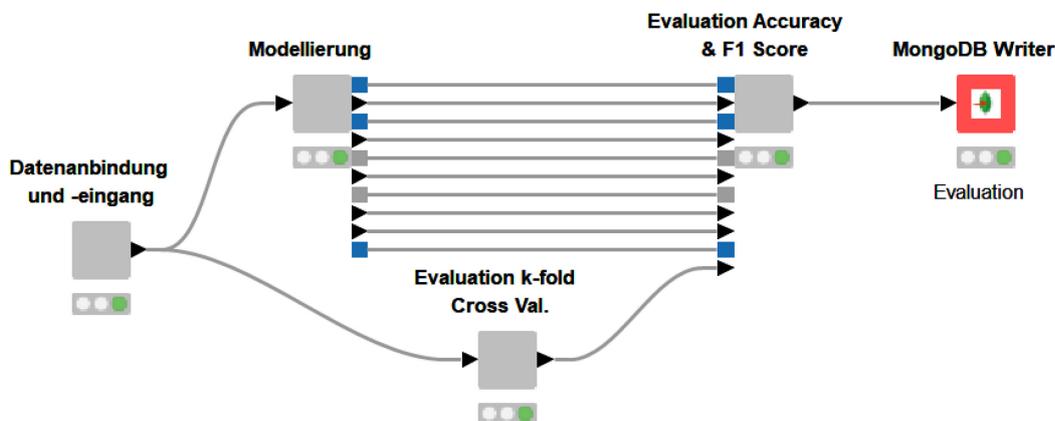


Abbildung 31: Antrainieren eines Modells zum Klassifizieren von Datensätzen

Die Ergebnisse wurden mittels folgender Kenngrößen evaluiert:

- Accuracy: Gegenüberstellung der Anzahl der korrekten Klassifizierungen je Kategorie
- F1 Score: harmonisches Mittel zwischen Recall (Anzahl gefundener relevanter Datensätze im Verhältnis zum Gesamtbestand) und Precision (Anzahl gefundener relevanter Datensätze im Suchergebnis)

- K-fold Cross-Validation: gegeneinander testen der Daten in eine k-Anzahl an Test- und Trainingsdatensätze sowie
- Konfusionsmatrix (Darstellung der Performance eines Algorithmus anhand von Ergebniszugeordnungen zu richtig positiv, falsch negativ, falsch positiv und richtig negativ).

Für den Prototyp hat sich das Verfahren „Random Forest“ als geeignetste Methode herausgestellt mit einer Genauigkeit von 0,985, einem F1 Score von 0,99 und einer Fehlerrate von 0. Wie in Abbildung 32 zu sehen, wird dieses Modell für die Klassifizierung neuer Daten angewendet.

Smart Service Unit 3: Maschineneinstellungen bestimmen

Die in Qualitätscluster klassifizierten Produkte führen über den gesamten Berechnungsprozess die ihnen zugehörigen Maschineneinstellungen in ihren Datensätzen mit. Dies wurde bereits im Rahmen der Zusammenführung der SDU zu Beginn der SSU 2 sichergestellt. Somit ist bereits anhand dieser Daten leicht zu erkennen, mit welchen Parametern geeignete Qualitätsergebnisse erzielt werden können. Allerdings stellen diese Datenblöcke in KNIME zum einen keine geeignete Übersicht dar und zum anderen sind bei Übertragung auf einen Anwendungsfall außerhalb eines Labors weitere Faktoren wie Herstellungszeit und -kosten zu berücksichtigen. Berücksichtigt wurden im Anwendungsfall in der EDF Energieverbrauch, Materialkosten, Druckzeit, das Gewicht des Produkts und der Druckplattenhaftungstyp (Unterbaukonstruktion zur bessern Haftung auf der Druckplattform).

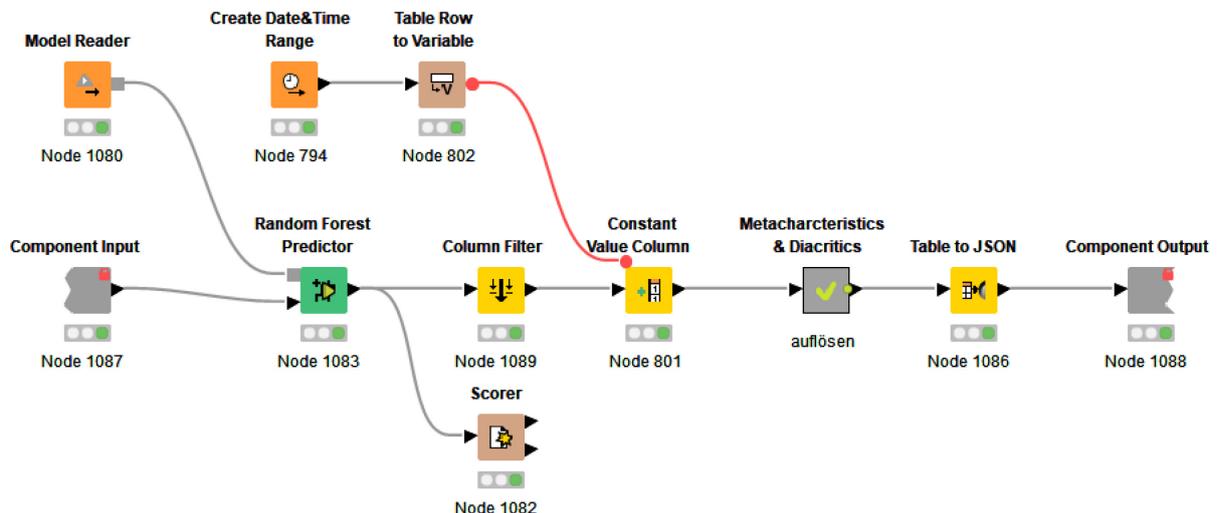


Abbildung 32: Klassifizieren der Daten mittels Random Forest-Algorithmus

Zur Realisierung des Prototyps wurden bewusst mit Maschineneinstellungen gedruckt, welche erfahrungsbasiert Grenzbereiche für das Erreichen einer bestimmten Produktqualität darstellen. Als zusätzliches Merkmal wurde ein Risikofaktor eingeführt. Dieser gibt Auskunft darüber, mit

welcher Wahrscheinlichkeit ein Produkt tatsächlich einem Qualitätscluster zugehörig ist. Niedrige Werte bedeuten in diesem Zusammenhang ein höheres Risiko, bei erneutem Druck mit gleichen Maschineneinstellungen eine andere Qualität zu erzielen. Berechnet wurde der Risikofaktor zunächst durch Kalkulation des Abstands einer Produktbewertung zum Clusterschwerpunkt im gleichen Cluster. Außerdem wurde die Distanz einer Produktbewertung zu allen anderen Clusterschwerpunkten berechnet. Abschließend wurden die Ergebnisse zueinander in Beziehung gesetzt.

Die praktische Bestimmung optimaler Druckparameter je nach Kundenwunsch erfolgt über ein Dashboard, das in Microsoft PowerBI erstellt wurde und über die MongoDB mit den SSU in KNIME verknüpft ist. Abbildung 33 zeigt mittig ein Balkendiagramm, welches Auskunft über die Verteilung der gedruckten Produkte in den jeweiligen Qualitätskategorien gibt. Darüber befinden sich je Zeile ein Parametersatz mit Anzeige der wichtigsten Druckparameter. Für die Auswahl optimaler Einstellungen gibt es seitlich angeordnete Eingrenzungsmöglichkeiten. Linker Hand ist die Eingrenzung auf bestimmte Qualitätscluster, aber auch von Druckzeit, Materialkosten und des Risikofaktors möglich. Rechter Hand gibt es weitere Skalen, mit denen bestimmte Druckeinstellungen noch feingliedriger angepasst werden können. Bei jeder Eingrenzung erfolgt mittig die Reduzierung auf eben jene Maschineneinstellungen, die für das jeweilige Druckvorhaben bereits entsprechende Ergebnisse geliefert haben.

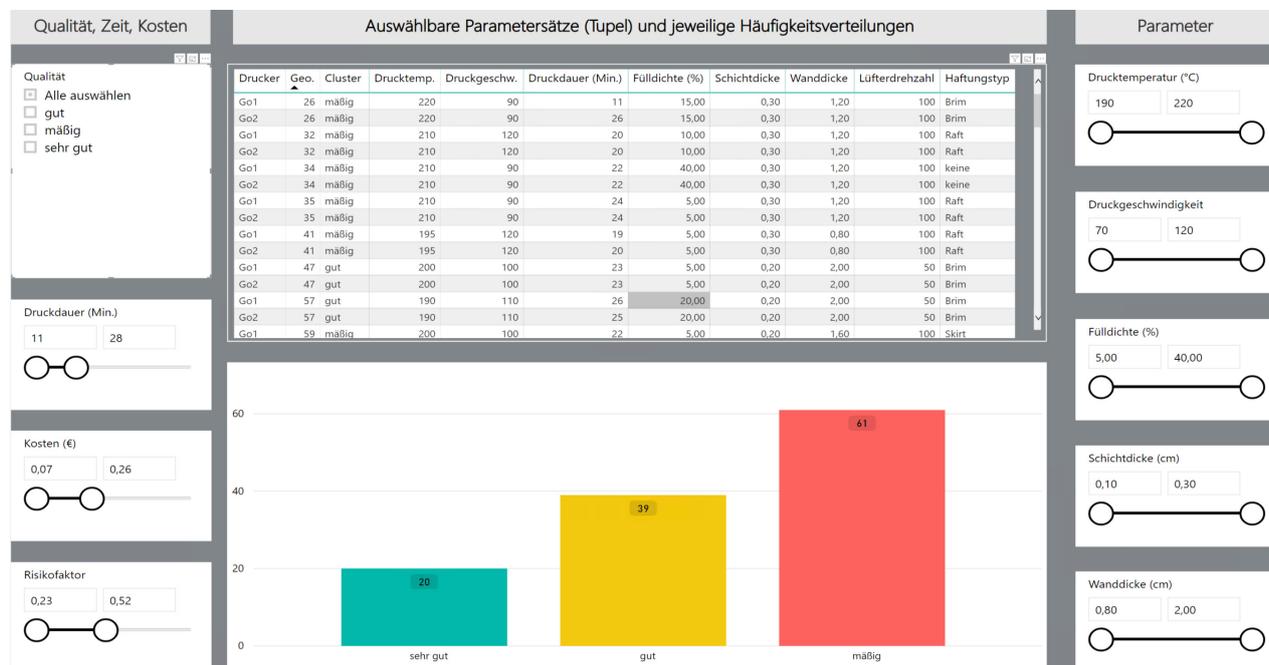


Abbildung 33: Dashboard zur Auswahl optimaler Maschineneinstellungen

Der realisierte Prototyp ermöglicht, Maschinenparameter auf Basis von Modellen bisheriger Produktions- und Qualitätsdaten abzuleiten. Diese Dienstleistung zielt darauf ab, auf Basis von Erfahrungswissen (dokumentierte Produktionsdaten und Qualitätssicherung) Produktionsplanern Parametersätze für bisher nicht verwendete Spezifikationen zu generieren und senkt potentiell die Zugangshürden für Technologien durch KMU.

5.2 Prototypische Umsetzung zum Anwendungsfall „Instandhaltungsmanagement“ bei der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH

5.2.1 Ausgangslage und Zielstellung

Aktuell steht die ERMAFA GmbH vor den Hürden der Industrie 4.0 mit zunehmender Digitalisierung aller Prozesse. Prinzipiell verfügt das Unternehmen über umfangreiches Wissen über seine Maschinen, kann dieses aber nur zum Teil verwenden. Vor allem handschriftlich verfasstes Wissen zu Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten verschwindet oftmals ohne Auswertung in der jeweiligen Maschinenakte. Ein weiteres Problem hinsichtlich der Generierung von Wissen ist, dass dieses meist nur in den Köpfen der Mitarbeiter existiert oder irgendwo auf dem Datei-Server niedergeschrieben ist, ohne eine strukturierte Weitergabe an Mitarbeiter zu gewährleisten. Eine einheitliche Datenbank müsste geschaffen werden, in der Informationen über Kunden und Maschinen samt deren Historie abzulegen sind. Darüber hinaus wird ERMAFA durch Themen wie Mitarbeiterfluktuation und Fachkräftemangel dazu gezwungen, Wissen zentral abzulegen, um Vorgänge auch ohne langjährige Berufserfahrung reproduzieren zu können. Zudem erwarten Kunden vom Unternehmen hochwertige Maschinen ohne bzw. nur mit geplanten Ausfällen.

Der Anwendungsfall zur Erfassung von digitalen Serviceberichten der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH wird in folgendem Canvas dargestellt (Abbildung 34). Als Nutzer und damit Kunden werden die externen Endkunden und intern der Service und die Geschäftsführung adressiert. Durch die digitale Erfassung von Serviceberichten können diese Daten in einem Modell ausgewertet werden. Die Berichte werden durch Servicetechniker direkt beim Kunden ausgefüllt, unterschrieben und anschließend im ERP-System erfasst. Die Visualisierungssoftware „Visual Cockpit“ ermöglicht den zentralen Zugriff und die bessere Nutzbarkeit der Berichte und Auswertungen. Durch Prognosemodelle kann auch ein prädiktiver Service angeboten werden. Die Investitionskosten für das ERP-System, die elektronischen Unterschriftspads, Lizenz- und Schulungskosten stehen dem Nutzen einer verbesserten Wartung gegenüber. Risiken verbergen sich im Hardwareausfall, so dass die Unterschrift nicht vor Ort elektronisch erfasst werden kann, in den Abhängigkeiten von Schlüsselpartnern, welche die Software bereitstellen, aber auch in dem Mitwirken der Servicemonteurs, welche die Berichte vollständig digital erfassen müssen. Zudem kann es zu Unvollständigkeits kommen, wenn nicht alle Aktivitäten erfasst werden können, da Kunden Ersatzteile oder Monteuranforderungen nicht immer direkt über die ERMAFA beziehen.

Kundensegment: <ul style="list-style-type: none"> Endkunden: Produzierende Unternehmen Intern: Service, Geschäftsleitung 	Wertschöpfungsstruktur: <ul style="list-style-type: none"> Generierung eines Berichtes Ausfüllen durch MA beim Kunden Einlesen des Berichtes ins System Datentransfer zur Visualisierungssoftware Datenauswertung 	Schlüsselaktivitäten: <ul style="list-style-type: none"> Servicebericht digital erfassen Datenanbindung Modell erstellen 	Kostenstrukturen: <ul style="list-style-type: none"> Anschaffung und Anpassung ERP System monatliche Wartungskosten und Emailclient Lizenzkosten Visual Cockpit Hardware Unterschriftenpads Schulungen
Nutzenversprechen: <ul style="list-style-type: none"> verbesserte und nutzbare Serviceberichte schnellere Hilfe wird möglich präaktiver Service 	Schlüsselpartner: <ul style="list-style-type: none"> Simba n³ Anbieter ERP-System Service monteur und -leiter 	Schlüsselressourcen: <ul style="list-style-type: none"> ERP-System Servicebericht als PDF Visual Cockpit Modell 	Erlös-konzept: <ul style="list-style-type: none"> verbesserte Wartung
Marktleistung: <ul style="list-style-type: none"> digitaler Servicebericht Prognosemodelle 	Risiken: <ul style="list-style-type: none"> Hardwareausfälle (Unterschrift kann nicht gemacht werden) nicht alle Aktivitäten im Service erfasst (Kunde nimmt eigene Arbeiten vor, Kauf von Ersatzteilen ohne Monteuranforderung) – Fehlen für Prognosen Abhängigkeit von Schlüsselpartnern 		

Abbildung 34: Canvas zur Erfassung von digitalen Serviceberichten bei der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH

5.2.2 Konzeptionierung des Prototyps

Die Dienstleistung besteht aus einer prädiktiven Komponente, d.h. Vorhersagen zu treffen in Form der Bestimmung des wahrscheinlichsten Fehlers aufgrund unterschiedlicher Inputdaten. Dies wird ergänzt um den Aufbau einer Wissensdatenbank, welche es gestattet, auf Basis des bestimmten Fehlers die Handlungsanweisungen abzurufen. Abbildung 35 zeigt die Vorkonzeptionierung der Marktleistung.

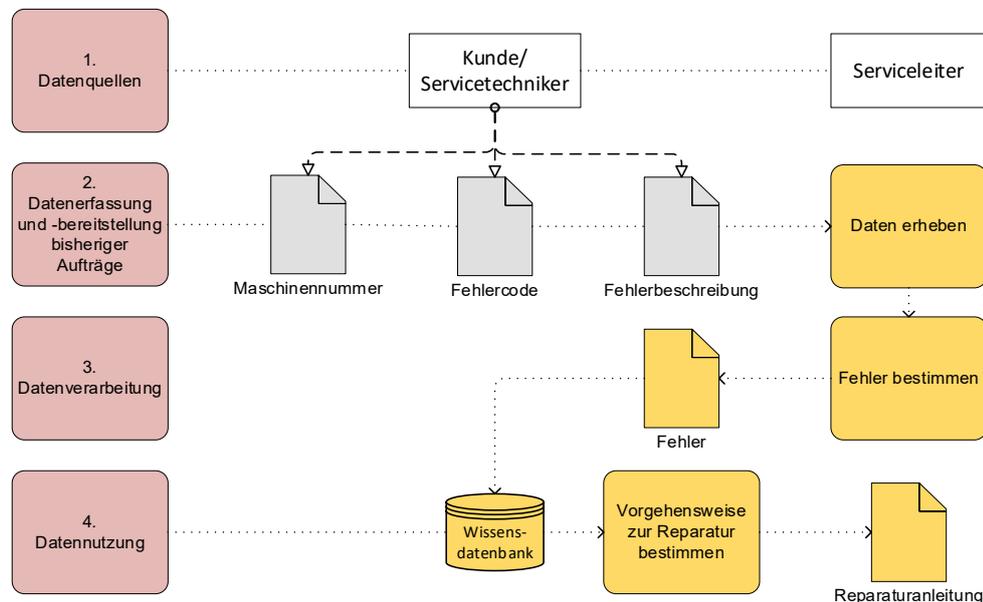


Abbildung 35 Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Vorgehensweise zur Reparatur bestimmen“ mit den Smart Service Units sowie Input- und Outputdaten in gelb

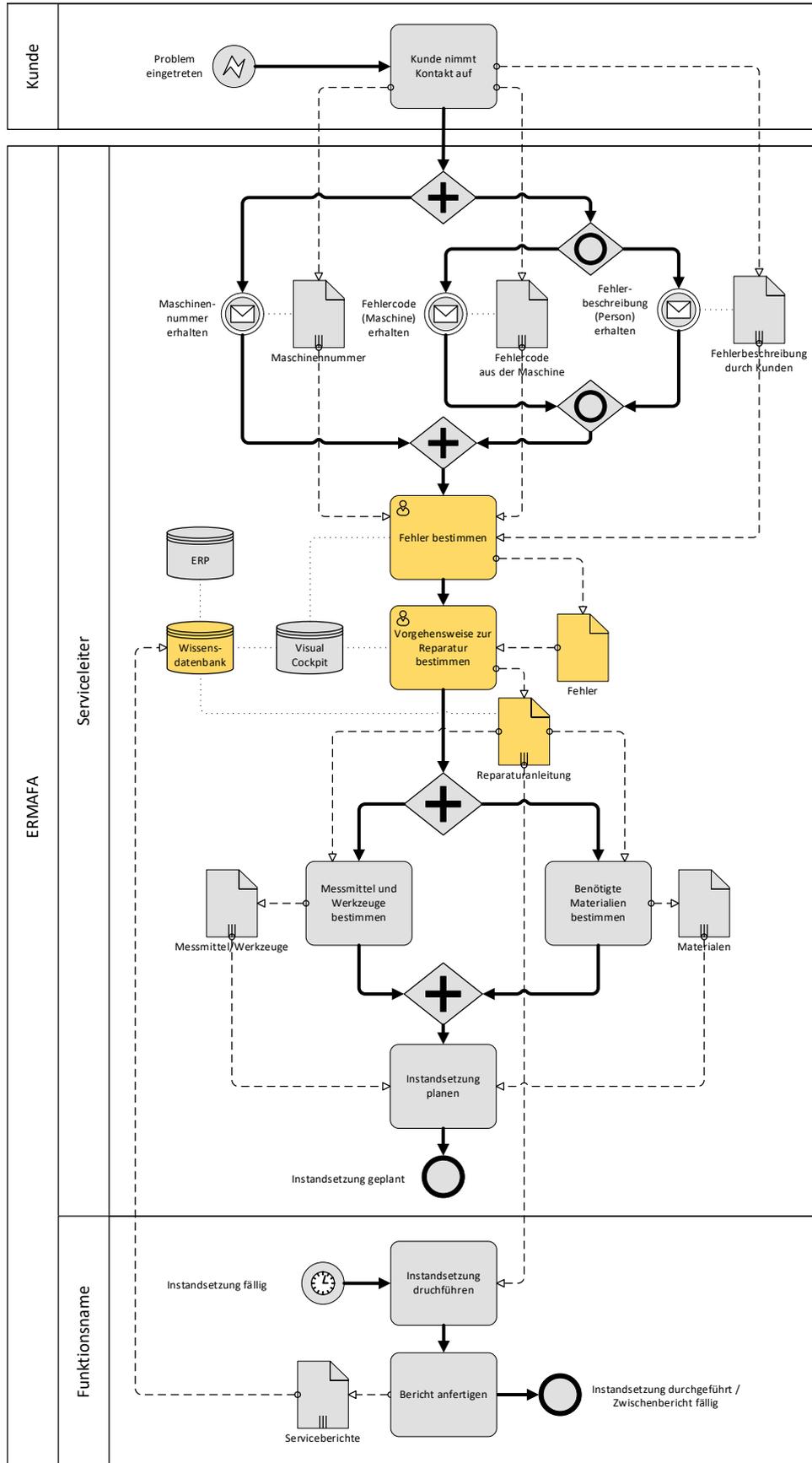


Abbildung 36: Überführungskonzept „Vorgehensweise zur Reparatur bestimmen“

Zu Realisierung der Marktleistung ist es essentiell, die Wissensdatenbank aufzubauen. Dies realisiert die ERMAFA auf Basis der standardisierten Serviceberichte, auf deren Grundlage es einerseits erlaubt wird, Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Fehlern zu berechnen und andererseits die Maßnahmen zur Behebung jener Fehler festzuhalten. **Abbildung 36** veranschaulicht die Konzeptionierung der gesamten Leistung. Langfristig könnten auf Basis großer Datenmengen weitere Teilleistungen erstellt werden, wie bspw. Predictive Maintenance.

5.2.3 Realisierung des Prototyps

Die im Rahmen des Projektes entwickelte Lösung besteht im Kern aus zwei Systemen, welche per Schnittstelle miteinander verbunden wurden. Ein erster wichtiger Schritt war die Erstellung eines digitalen Kundendienstes, welcher eine der Kernkomponenten der entwickelten Lösung darstellt. Bei diesem neuen Kundendienst handelt es sich um eine editierbare PDF-Datei.

Montage / Servicebericht Seite 2 von 2
ERMAFA Sondermaschinen und Anlagenbau GmbH | Wert AUFERBACH Stand 01.01.2020

Kundenadresse: 01010 Mücheln GmbH, Mücheln 1, 01200 Mücheln/POST, DEUTSCHLAND. Kundendienst: K20000001, Mücheln, New Maschinen

Maschentyp: ACS 7.0, Masch.-Nr.: 001-001, Steuerung: Inhaber/THC 500
 Gewährleistung: 123456789, Spindelstunden: 1234, 5 | 1-Feldmäßig-Übersetzung 3-Beschreibung

1. Bericht Medium: 1.3, 1-Mechanik 2-Elektrik 3-Hydraulik 4-Hydraulik 5-Schweißarbeiten
 2. Baugruppe: 1-2-3, 4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20
 3. Teil: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20

Datum	Arbeitszeit		Pausen	Arbeitszeit		Material		Stückzahl		Bemerkung	
	Von	Bis		Stk	Stk	vor	US	von	Stk		km
01.01.2020	7:00	10:00	0,5	7,0	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	2,0	
Arbeitsstunden Summe:		7,0	Pausen Summe:		0,5	Material Summe:		1,00	Stückzahl Summe:		2,0

Auflösdatum: 21.12.2019, Datum: 01.01.2020, Problem: Über der Bedienertafel spritzt Öl aus der Maschine, Ursache: Durchlaufschleife Filterpatrone, Tätigkeit: Filter austauschen, Ergebnis: Öl über der Bedienertafel nicht mehr sichtbar.

Zusätzliches Material: 1.000, 2.000, 3.000, Menge: 1,00

Bemerkungen: Bei Maschentyp ACS 7.0 soll nicht mit der Pumpe repariert werden.

Übergabe erfolgt: 2. Inauguraler Übergabe/Service/Arbeitsbeginn, Datum: 01.01.2020, E. Mustermann, M. Müller, H. Müller

Abbildung 37: Kundendienst-Bericht (Quelle: ERMAFA GmbH)

Die Datei wird nach Bekanntwerden des geplanten Einsatzes in einem ERP-System unter Angabe des Kunden, der Maschinenummer, des benötigten Arbeitsmaterials und dem geplanten Einsatzteam generiert. Der Kundendienst wird dem Monteur vor Arbeitsbeginn per Mail vom Service zugestellt. Nach Beendigung des Kundendienstes wird dieser von ihm ausgefüllt. Dabei hat der Monteur nicht nur seine Arbeits- und Pausenzeiten anzugeben, sondern auch eine kurze Problembeschreibung, die (mögliche) Ursache, die unternommenen Tätigkeiten, das Ergebnis sowie zusätzlich verwendetes Material, welches vor Einsatzbeginn noch nicht bekannt war. Nach dem Ausfüllen des Berichtes wird dieser wieder an den Service zurückgesendet.

Der Servicemitarbeiter liest nach Erhalt des PDF-Dokuments dieses in das ERP-System ein. Aus den gewonnenen Daten wird in der entsprechenden digitalen Servicekartei der Maschine eine Historie generiert. Unter Angabe der Maschinenummer kann man sämtliche erfolgte Kundendienste samt dem verwendeten Material einsehen.

Das ERP-System samt großem Servicemodul stellt eine gute Wissensdatenbank bzw. allgemeine Quelle dar, wenn man Informationen von nur einer einzigen Maschine benötigt. Um allerdings eine Übersicht sämtlicher Kundendienste zu erhalten, musste auf ein weiteres System zurückgegriffen werden.

Bei der zweiten Kernkomponente der entwickelten Lösung handelt es sich um eine Visualisierungssoftware, welche im Rahmen des Projektes vom Anwendungspartner Simba n³ zur Verfügung gestellt wurde.

Mittels der Visualisierungssoftware erfolgt eine Auswertung aller Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten im Rahmen des Kundendienstes. Unter anderem besteht die Möglichkeit, sich die durchgeführten Kundendienste nach Interessen bzw. Notwendigkeiten anzeigen zu lassen. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, sich für einen bestimmten Maschinentyp sämtliche Kundendienstvorgänge anzeigen zu lassen und diese hinsichtlich der aufgetretenen Probleme bis hin zur konkreten Lösung zu betrachten. Dadurch soll nicht nur die Arbeit der Kundendienstmitarbeiter bzw. des Service allgemein vereinfacht werden und schneller funktionieren. In einem weiterführenden Schritt sollen die gewonnenen Kenntnisse auch genutzt werden, um konstruktive Rückschlüsse für künftige Maschinen ziehen zu können. Auch soll es möglich sein, fehlerhafte Chargen gewisser Ersatzteile oder Lieferanten mit schlechter Qualität ausfindig machen zu können.

Neben der Abbildung bereits durchgeführter Kundendienste können mit Hilfe der Visualisierungssoftware auch Ausfallprognosen für Maschinen generiert werden. Mit diesen Prognosen ist es möglich, nicht nur die Ersatzteilbeschaffung effizienter zu gestalten, sondern auch personelle Kapazitäten für einen auftretenden Störfall bereithalten zu können. Zusätzlich bietet man mit Hilfe von Ausfallprognosen auch Kunden einen ganz besonderen After-Sales-Service: Dieser kann vorbeugend seine Maschine für den geplanten Einsatz nicht mit Werkstücken belegen.

In der praktischen Umsetzung des Prototyps läuft der entwickelte Prozess des Instandhaltungsmanagements in nachfolgenden Schritten ab:

Zunächst meldet die Maschine einen Fehler, der durch den Kunden – in der Regel den Maschinenbediener – an die ERMAFA GmbH gemeldet wird. Die Anfrage wird in das ERP-System aufgenommen und eine erste Störungsanalyse wird durchgeführt, um grob die Vorgehensweise zur Reparatur abzuklären, welche die Grundlage für die Angebotslegung darstellt.

Sofern sich der Kunde dazu entscheidet, das gestellte Angebot anzunehmen, wird ein Auftrag im ERP-System generiert und im Zuge dessen die personellen Kapazitäten gebucht, die benötigten Ersatzteile beschafft sowie die zugehörigen Messmittel und Werkzeuge gebucht. Nachdem der Wochenplan erstellt und die Route geplant wurde, wird auch das Fahrzeug für den Einsatz mittels ERP-System gebucht.

Im nächsten Schritt wird ein Kundendienstauftrag erstellt, welcher aus einer Mail mit angehängten Servicebericht im PDF-Dateiformat besteht. Damit ist alles bereit, um die Instandsetzung durchzuführen.

Nachdem der Kundendienst durchgeführt wurde, wird der Servicebericht in Form einer editierbaren PDF-Datei ausgefüllt und an das ERP-System übermittelt. Die Daten des Kundendienstes landen zum einen im Visual Cockpit, wo eine Auswertung sowie Prognose sämtlicher Berichte durchgeführt wird. Zum anderen werden die Daten im ERP-System zur Rechnungslegung genutzt. Diese Rechnung wird dann zusammen mit dem digitalen Servicebericht an den Kunden geschickt, der den Serviceeinsatz beauftragt hat. Damit ist der Instandhaltungsauftrag im ERP-System abgeschlossen.

Die Daten der Kundenberichte werden aber nicht nur in digitalen Systemen genutzt, sondern auch für die Qualitätskontrolle und im Rahmen des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses. Diese Aufgabe erfolgt nach festgelegten Regeln unter Nutzung der Daten des ERP-Systems sowie der Visualisierungssoftware. Das Endereignis stellt das Ende der Qualitätskontrolle dar.

Die aufgezeigten Umsetzungsschritte lassen sich in die, in Kapitel 4.3 Systembeschreibung dargestellten Konzepte übersetzen. Zur Herstellung der Beziehungen zwischen verschiedenen Stammdaten, auftretenden Ereignissen der Verarbeitung des Reparaturberichts oder auch der Berechnung von Wahrscheinlichkeitsmodellen hinsichtlich Ausfallzeiten wurde die Artefaktsystematik von SDU und SMU in der jeweiligen Software umgesetzt.

5.3 Prototypische Umsetzung zum Anwendungsfall „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“ bei der KRS - SEIGERT GmbH

5.3.1 Ausgangslage und Zielstellung

Kugelmaschinen sind Sondermaschinen zur Herstellung von Wälzkörpern und sind nicht anderweitig einsetzbar. Diese arbeiten in allen Arbeitsgängen außer bei der Rohlingsherstellung nach dem Prinzip „Kugelschleifen zwischen konzentrischen Rillen“.

Die Maschinen haben eine stillstehende Führungsscheibe und eine Schleifscheibe. Beide Scheiben haben dabei die gleiche Achse. In der axial verschiebbaren Führungsscheibe sind Rillen eingedreht und in der rotierenden Schleifscheibe bilden sich konzentrische Rillen aus. Die Führungsscheibe hat eine Öffnung, in welche die Kugeln aus einem Speichermagazin der Maschine zugeführt und nach einem Durchlauf wieder mittels eines Abstreifersystems aus der Maschine in das Speichermagazin zurückgeführt werden. Damit ist ein Bearbeitungszyklus abgeschlossen. Bis zur Erreichung des erforderlichen Kugelabtrags und damit der erforderlichen Kugelgeometrie sind zahlreiche Bearbeitungszyklen nötig. Zwischen Ein- und Auslauf ist die Schleifscheibenabziehvorrichtung platziert.

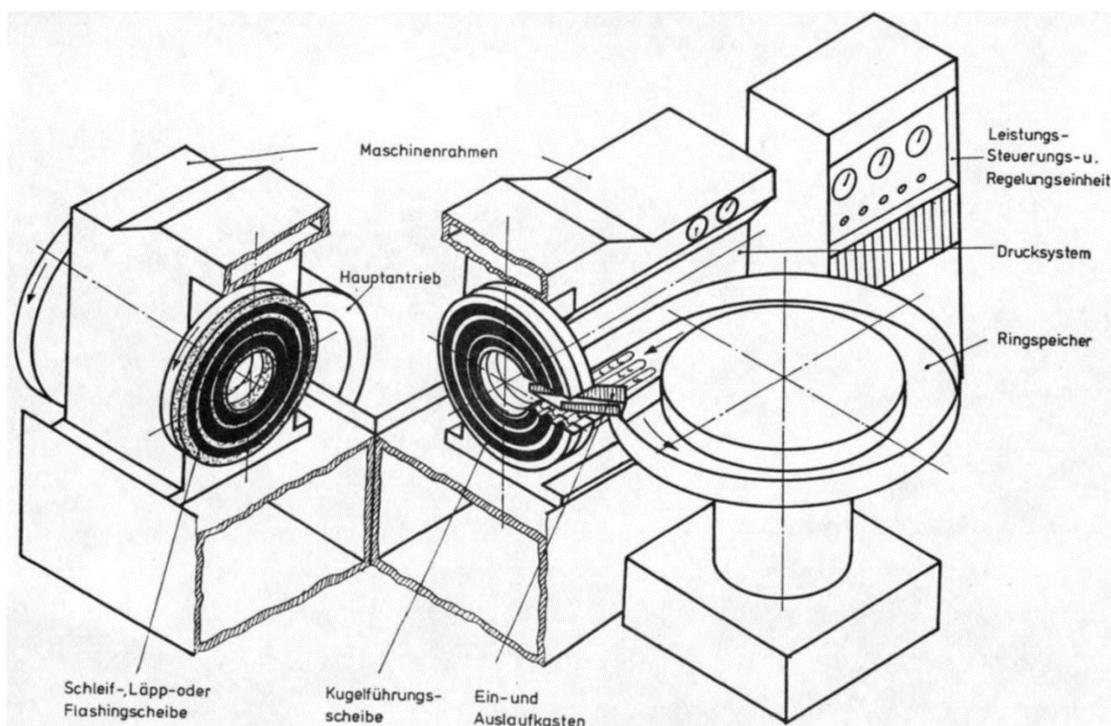


Abbildung 38: Schnittdarstellung einer Kugelschleifmaschine (Grafik: Büchs 1986, S.19)

Diese Maschinen sind nicht computergesteuert. Es sind lediglich der Druck auf den Hauptzylinder, die Schleifscheiben- und die Speichermagazindrehzahl stufenlos einstellbar. Andere Einflüsse wie z. B. vom Kühlschmierstoff werden manuell eingestellt und nicht erfasst. Veränderungen der Einstellparameter wirken sich auf die Qualität, den Stromverbrauch, die Maschinenbelastung, den Kühlschmierstoff, die Abtragsleistung, den Werkzeugverschleiß und vieles mehr aus. Mangels elektronischer Auswertemöglichkeiten sind Arbeitsbegleitkarten, Zeit- und Maßaufschreibungen, Abschlifffdiagramme und -kurven als Hilfsmittel im Einsatz.

Ziel des Projektes war es nun, alle prozessbeeinflussenden Parameter und verschiedenen Einflüsse auf die Maschine sensorisch, sowie Rüstzeiten, Maschinenstillstandzeiten, die Standzeiten der Werkzeuge und Einflüsse auf die Maschine über eine neue Maschinensteuerung zu erfassen. Zusätzlich sollten über ein digitales Messsystem die Qualitätsparameter Losstreueung, Mittelwert der Kleinstmaße und Rundheit sowie die beiden Hauptparameter Druck im Hauptzylinder und Schleifscheibendrehzahl gesteuert werden. Mit dem so gewonnenen Datenmaterial soll dann der Prozess hinsichtlich Qualität, Fehlermeldungen, Loslaufzeit, Werkzeugstandzeiten, Maschinenbelastung, Energieverbrauch und Ausfallzeiten optimiert werden.

Dieser Anwendungsfall ist im untenstehenden Canvas zur „Digitalisierung einer Kugelschleifmaschine“ bei der KRS - SEIGERT GmbH abgebildet (Abbildung 39). Durch den Einsatz von Sensorik wird die Maschine digitalisiert und die Daten über eine Siemens-Steuerung auf einem OPC-Server gespeichert. Die erhobenen Daten fließen über die Datenanbindung in ein erstelltes Modell und können direkt in einem Dashboard eingesehen werden. Der so geschaffene „gläserne Prozess“ bietet den Werkern und der Fertigung weiterführende Informationen, welche zur Ermittlung eines optimalen Prozesses und damit zur Qualitätsverbesserung führen. So lassen sich über den Vergleich von früheren und heutigen eingesetzten Teilen, Verbesserungen von Maschinenteilen, Werkzeugen und Materialien ermitteln. Für den laufenden Prozess können Vorgaben für die Maschineneinstellungen und den Materialeinsatz gemacht werden. Ebenso kann die Kalkulation von der Haltbarkeit des Materials, den Durchlaufzeiten und damit letztendlich auch dem Preis optimiert und überprüft werden.

Der Anwendungsfall wird mit der Unterstützung der Schlüsselpartner umgesetzt. Die dabei entstehenden Kosten für Rüstzeiten, den Maschinenumbau und die Maschinenbetreuung stehen dem Erlös durch die Qualitätsverbesserung, die Fertigungsoptimierung und dem reduzierten Personalaufwand gegenüber. Als Risiko bei der Umsetzung dieses Anwendungsfalls wird der Mehraufwand durch den nötigen Arbeitsschutz, sowie die Übertragbarkeit auf weitere Maschinentypen gesehen.

Kundensegment: <ul style="list-style-type: none"> Fertigungsabteilung Werker 	Wertschöpfungsstruktur: <ul style="list-style-type: none"> Qualitätsverbesserungen durch gläsernen Prozess 	Schlüsselaktivitäten: <ul style="list-style-type: none"> Maschine digitalisieren Daten erheben Datenanbindung Modell erstellen Messdaten auswerten 	Kostenstrukturen: <ul style="list-style-type: none"> Rüstkosten Maschinenumbau Maschinenbetreuung
Nutzenversprechen: <ul style="list-style-type: none"> Vergleiche zwischen früher und heute: Maschinenteile Verbesserungen ermitteln Optimalen Prozess ermitteln Überprüfung von neuen Materialien (Kühlschmierstoff, Schleifkörper) Vorgaben für Prozess machen Kalkulation verbessern/überprüfen (Haltbarkeit Materialien, Durchlaufzeiten -> Preise) 	Schlüsselpartner: <ul style="list-style-type: none"> Plug & Control Partner (Für den Start) Arbeitsschutzbüro (CE Kennzeichnung, Bedienungsanleitung, Maschinenumrüstung) Siemens IT-Dienstleister (Auswertung, Dashboard) Prozessverantwortlicher (Datenauswertung und Tätigkeiten ableiten) 	Schlüsselressourcen: <ul style="list-style-type: none"> Automatisierte Maschine mit Sensorik Siemens Steuerung OPC Server Dashboard Modell 	Erlös-konzept: <ul style="list-style-type: none"> Weniger Leute für mehr Maschinen Qualitätsverbesserungen Fertigungsoptimierungen (Es wird mehr geschafft in der gleichen Zeit, bei gleichem Materialverbrauch)
Marktleistung: <ul style="list-style-type: none"> Dokumentation des Schleifprozess (wichtige Parameter/Auftrag/Los Zugehörigkeit und Darstellung) Prozessdaten erheben Messdaten digital erfassen 			
Risiken: <ul style="list-style-type: none"> Mehraufwand durch Arbeitsschutz Übertragbarkeit auf andere Maschinentypen 			

Abbildung 39: Canvas zur Digitalisierung einer Kugelschleifmaschine bei der KRS - SEIGERT GmbH

5.3.2 Konzeptionierung des Prototyps

Der Anwendungsfall der KRS - SEIGERT GmbH ist auf präskriptive Analytik ausgerichtet. Wie beim Anwendungsfall des 3D-Druckers sollen Maschineneinstellungen bestimmt werden, allerdings mit einer umfassenderen Datenausrichtung. Um die Marktleistung zu realisieren, besteht die avisierte Dienstleistung wieder aus den drei Smart Service Units:

1. Daten erheben
2. Modell erstellen
3. Maschineneinstellungen bestimmen.

Die benötigten SDU des Anwendungsfalls sind in Abbildung 40 ersichtlich. In diesen Paketen sind folgende Daten inkludiert:

- prozessbeeinflussenden Parameter
- Qualitätsparameter (Losstreuung, Mittelwert der Kleinstmaße und Rundheit, Druck im Hauptzylinder, Schleifscheibendrehzahl)
- Materialbezogene Ausgangsdaten

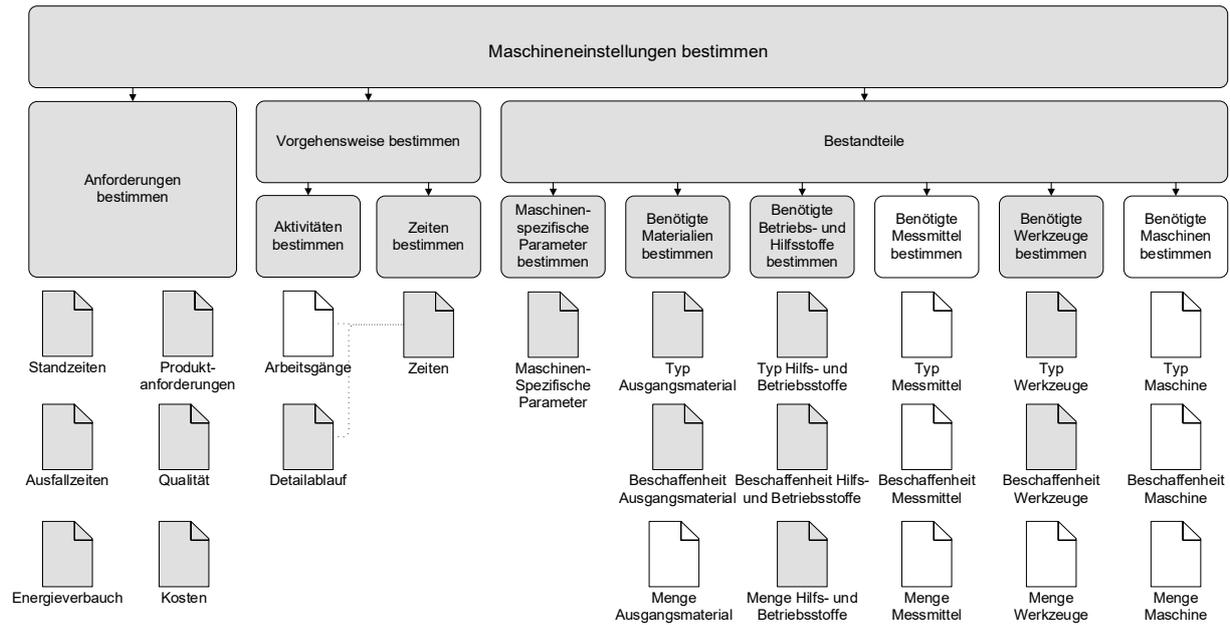


Abbildung 40: Verwendete SDU des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“ der KRS - SEIGERT GmbH in grau

Die Daten lassen sich folgenden Akteuren zuordnen:

Tabelle 10: Bezug SDU zu Akteuren des Anwendungsfalls „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“

SDU	Involvierte Akteure (Ort der Datenbereitstellung)
Modell	InfluxDB
Produktqualitätsdaten	Qualitätssicherung durch Werker
Kosten	Controlling
Maschinenprozessdaten Ausgangsmaterial	Werker
Maschineneinstellungen, Werkzeugdaten Daten zu Hilfs- und Betriebsstoffen	Einrichter
Produktanforderungen (Kosten, Qualität, Energieverbrauch)	Kunde

Mithilfe der beschriebenen Smart Service Units, den Schlüsselressourcen (Daten) und den involvierten Akteuren lässt sich ein Vorkonzept für den Anwendungsfall der KRS - SEIGERT GmbH ableiten:

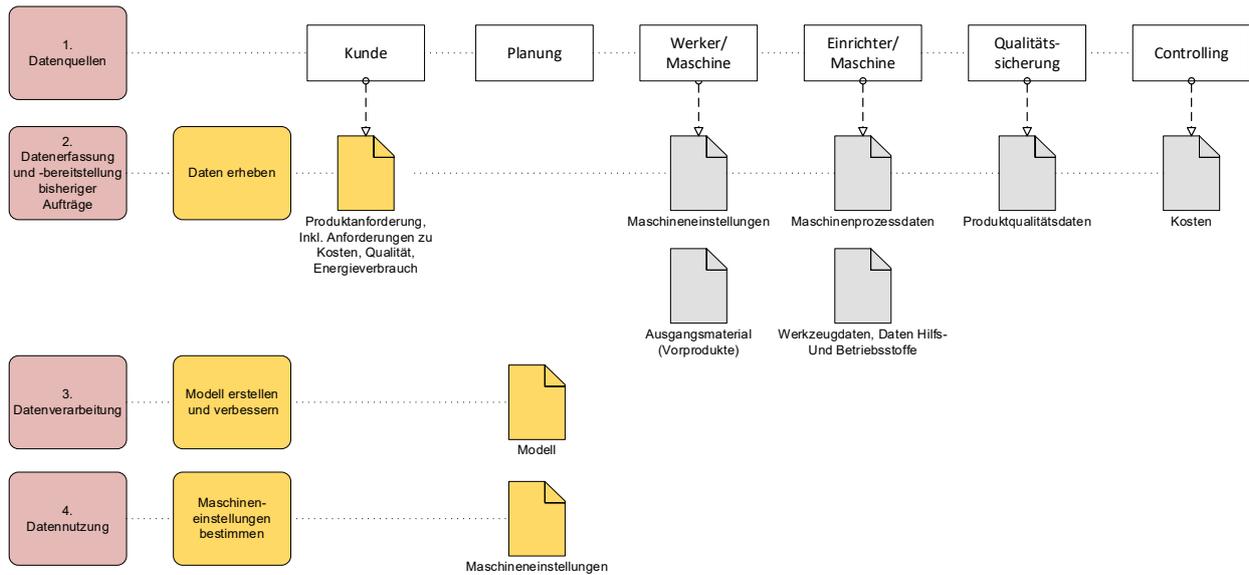


Abbildung 41: Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“ der KRS - SEIGERT GmbH

Das entstandene Vorkonzept der Dienstleistung kann anschließend zu einem vollständigen Konzept der Prozessfolge erweitert werden (Abbildung 42). Hierfür ist die Absprache mit den jeweiligen Fachabteilungen notwendig.

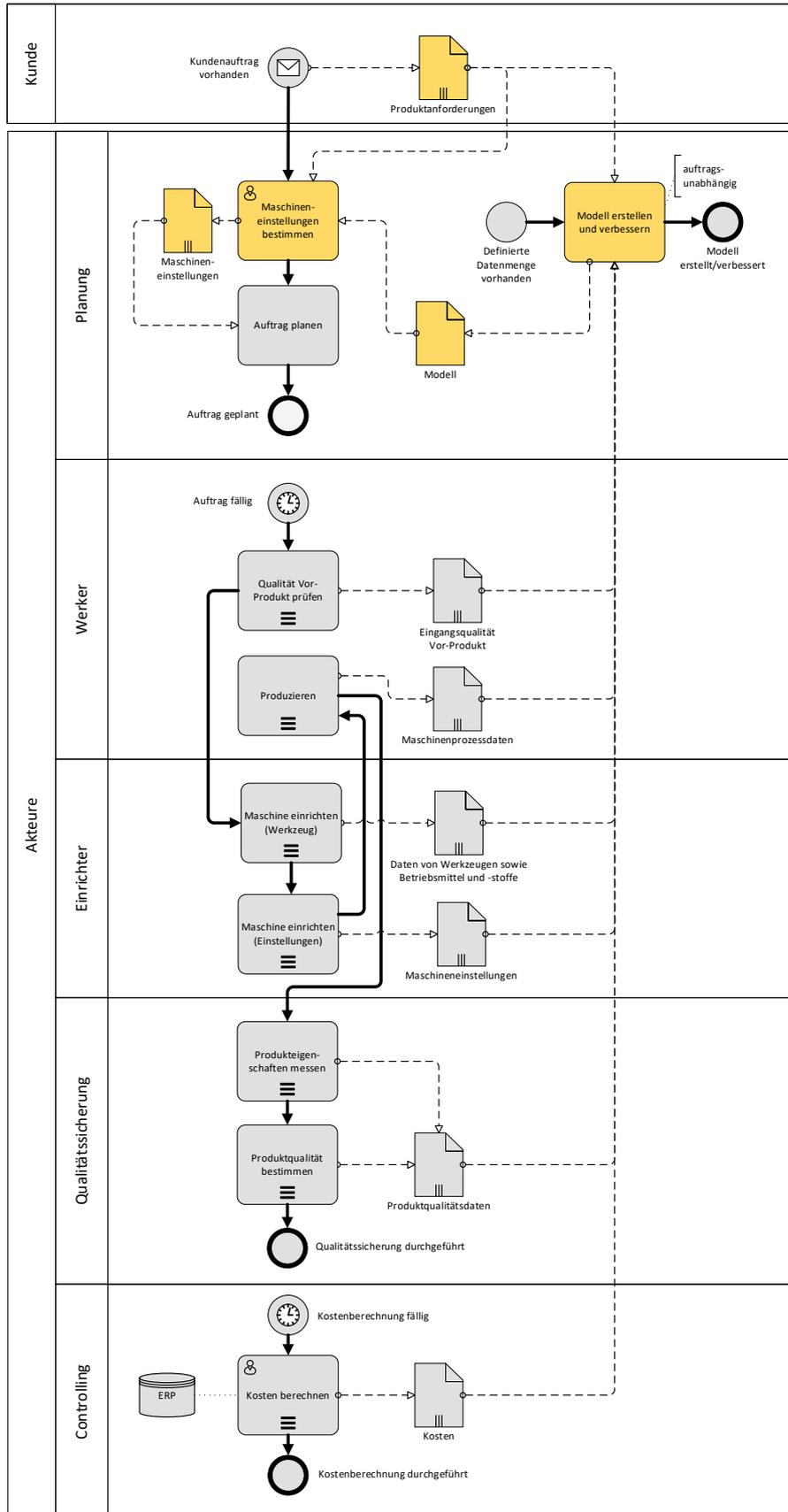


Abbildung 42: Überführungskonzept „Maschineneinstellungen für die Kugelproduktion bestimmen“

5.3.3 Realisierung des Prototyps

Mangels Beschaffungsmöglichkeit in Europa wurde für das Projekt eine neue Kugelschleifmaschine chinesischer Herkunft eingekauft, die jedoch nicht den einschlägigen europäischen Normen entsprach. Ein externes Beratungsunternehmen erstellte aufwändig in Zusammenarbeit mit der KRS - SEIGERT GmbH ein sicherheitstechnisches Gutachten zur Einhaltung der CE-Vorschriften. Dies nahm einige Zeit in Anspruch. Zeitgleich erarbeitete ein Student der TU Chemnitz im Rahmen seiner Abschlussarbeit Vorschläge für einen Teil der erforderlichen Sensorik. Dort, wo unternehmensseitig keine Lösung gefunden werden konnte, wurde die Firma Siemens um Unterstützung gebeten. Im Laufe des Projektfortschritts stellte sich heraus, dass die Elektrotechnik, d.h. die Steuerungs- und Regelungstechnik der Maschine nicht verwendbar war und komplett erneuert werden musste.

Nach der Angebotsvorlage wurde die Firma Siemens mit dem Bau eines neuen Schaltschranks mit Steuerung und Programmierung unter Berücksichtigung des zuvor erstellten Sicherheitskonzepts beauftragt. Zusätzlich beschaffte die KRS - Seigert GmbH eine neue Hydraulikanlage. Dazu wurden Beschreibungen hinsichtlich Bedienung, Funktion, Schnittstellen und gewünschter Auswertungen angefertigt, die die prozessbeeinflussenden und zu überwachenden Maschinenparameter festlegten, die Sensorik dazu auswählten und deren Positionsdaten bestimmten. Die Installation der Sensorik und der dazu erforderlichen mechanischen Konstruktionen wurde durch die KRS - SEIGERT GmbH realisiert.



Abbildung 43: Kugelschleifmaschine vor Umbau (rechts) und nach vollständiger Installation (links) (Fotos: KRS - SEIGERT GmbH)

Um die für die Steuerung und Analyse relevanten Informationen des Kugelschleifprozesses bereitzustellen und auch das Rückschreiben von externen Messungen in die Steuerung der Maschine realisieren zu können, wurde ein OPC-Server benötigt.

Alle Informationen werden nun aufgezeichnet, ausgewertet und visualisiert auf Grundlage moderner Software wie InfluxDB, Grafana und einem System aus Informationsdiensten, die durch den Projektpartner Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH eingerichtet wurden. Die

gewonnenen Informationen sollen dabei helfen, in Zukunft die Prozesskenntnisse zu verbessern und diese entsprechend zu optimieren. Weiterhin können zusätzlich Daten gewonnen werden, die für die Wartung und Instandhaltung der Maschine nutzbringend verwendbar sind.

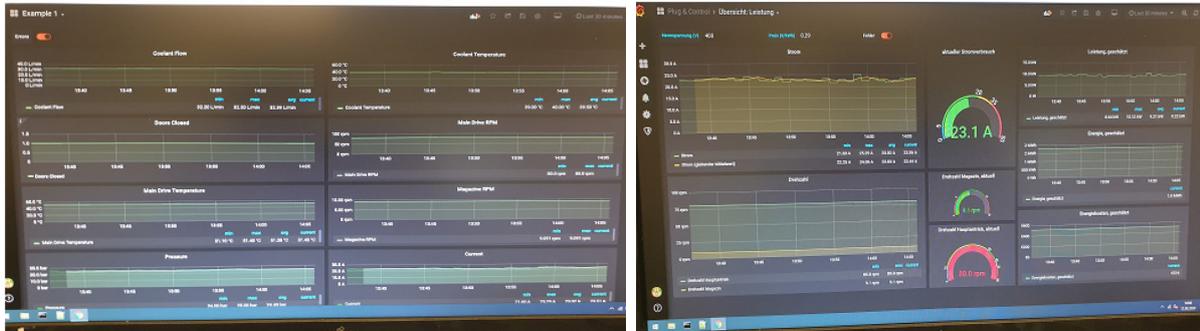


Abbildung 44: Dashboard zur Prototypenmaschine der KRS - SEIGERT GmbH (Fotos: KRS - SEIGERT GmbH)

Nach der Prozessoptimierung, der Konstruktion und dem Bau einer Messstation mit Handling-system für die Zu- und Abfuhr der zu messenden Kugeln, könnte der ganze Produktionsprozess nun nahezu manlos mit dem jetzigen Maschinenaufbau, der digitalen Messelektronik und Software ablaufen.

Da die Kugelfertigung der KRS - SEIGERT GmbH aus mehreren hundert Maschinen besteht, ist der beschriebene Aufbau jedoch nicht für alle Maschinen realisierbar und kostenmäßig amortisierbar. Es würde jedoch reichen, in jedem Arbeitsgang eine Maschine in gleicher Art auszustatten um die Prozesse zu optimieren und in Summe Kosten zu senken.

Des Weiteren lassen sich die aufgezeigten Umsetzungsschritte in der Folge nur insoweit in die in Kapitel 4.3 Systembeschreibung dargestellten Konzepte übersetzen, als dass eine Orientierung an SDU und SMU erfolgt. Im Rahmen der prototypischen Umsetzung hat sich jedoch gezeigt, dass deren Flexibilität bei Anwendung auf verschiedenste Sondermaschinen an ihre Grenzen stößt.

5.4 Prototypische Umsetzung des Anwendungsfalls „Auftragsmonitoring“ bei der Terrot GmbH

5.4.1 Ausgangslage und Zielstellung

Die Kunden der Terrot GmbH schätzen die schnellen Lieferzeiten und die kundenindividuelle Herstellung der Rundstrickmaschinen im Vergleich zu preisgünstigeren Anbietern. Die kontinuierliche Verbesserung der Liefertreue und der Qualität bei gleichzeitiger Reduzierung der Kosten durch beispielsweise Senkung der Lagerbestände und Materialeinsatzquote sind wesentliche Ziele im Unternehmen.

Die beiden Produktionsbereiche mechanische Fertigung und Montage müssen abgestimmt aufeinander agieren. Die Schlüsselteile der Maschine werden im Unternehmen selbst produziert. Gemeinsam mit Zukaufteilen von verschiedenen Lieferanten wird die Maschine montiert. Die einzelnen Produktionsaufträge durchlaufen dabei verschiedene Abteilungen mit unterschiedlichem Ressourcenbedarf und es werden zudem verschiedene Vorrichtungen und Werkzeuge gebraucht.

Die Bedarfe der Kunden werden im Rahmen einer Konfiguration in einen Produktionsauftrag mit Stückliste überführt. Eine fertige Maschine besteht dann aus ca. 2.000 Teilen (ohne Nadeln). Pro Arbeitswoche werden ca. 8-10 Maschinen fertiggestellt. Dies ergibt ein Volumen von ca. 20.000 Teilen, die im Durchschnitt ständig in Fertigung und Montage sind. Die Verfolgung von Materialfluss und Fertigungsstand im Unternehmen ist somit sehr komplex.

Zwar werden die Daten zum Teil im vorhandenen ERP-System erfasst, sind dort jedoch eher belegorientiert abgelegt und können nicht zu einem einheitlichen Gesamtbild aggregiert werden. Grundsätzlich verfügt das ERP-System über ein modernes Produktionsplanungssystem, dass jedoch aus verschiedenen Gründen bei der Terrot GmbH nicht vollständig verwendet wird. Ein wesentlicher Grund war dabei bisher auch, dass sich dieses System eher wie eine Black-Box für den Benutzer verhält. Aufgrund der Komplexität ist es für einen Anwender schwer nachzuvollziehen, warum ein bestimmtes Ergebnis entsteht. Eine Simulation der aktuellen Situation in der Produktion ist ebenfalls nicht vorgesehen. Zudem können weder Lieferanten noch Kunden auf die für sie relevanten Informationen im ERP-System zugreifen. Durch die Abbildung der Produkt-Prozess-Struktur auf Basis der SDU sollen alle relevanten Informationen über die Produktion aller Rundstrickmaschine einheitlich für verschiedene Anwendungsfälle und Nutzer bereitgestellt werden.

Der Anwendungsfall der Terrot GmbH zur Überwachung der Kundenauftragsabwicklung ist im Canvas (Abbildung 45) abgebildet. Es wird das Kundensegment der Endkunden ebenso wie das

Segment der Mitarbeiter im Unternehmen adressiert. Die Nachverfolgung von Kundenaufträgen und ein Selfservice zur Änderungsverwaltung werden angeboten.

Durch die Pflege von Änderungsangeboten (Was kann der Kunde zu welchem Zeitpunkt der Produktion noch gegen Entgelt ändern?) möchte die Terrot GmbH einen Änderungsservice auf Basis des Prototyps entwickeln. Mit Hilfe der kontinuierlichen Modellierung der Produkt-Prozess-Strukturen kann zudem eine Koordinationsplattform zwischen den Kunden, Lieferanten und Terrot aufgebaut werden.

Eine Simulation und Optimierung des Produktionssystems und die Multiressourcenplanung führen zu Verbesserungen, welche sich in erhöhter Qualität und Reduzierung der Fertigungs- und Materialkosten auswirken. Zudem können die Liefertreue erhöht und die Kosten für kurzfristige Änderungen reduziert werden. Diesen Vorteilen stehen Kosten für die technische Infrastruktur sowie Personal-, Wartungs-, und Entwicklungskosten gegenüber. Als Risiken werden Datenlücken durch ungepflegte Daten, Probleme durch technische Störungen, fehlerhafte Kundenbestellungen und eine Planungsunsicherheit angesehen.

Kundensegment: <ul style="list-style-type: none"> Endkunden intern: Nutzer (GF, Vertrieb, Produktionsleitung, Arbeitsvorbereiter, Konstrukteure, Disponenten, Einkäufer) 	Wertschöpfungsstruktur: <ul style="list-style-type: none"> Vermittlung von Nutzergruppen Koordinationsplattform zwischen Kunden, Lieferanten und Terrot 	Schlüsselaktivitäten: <ul style="list-style-type: none"> Pflege der Änderungsangebote (Was kann der Kunde ändern zu welchem Preis zu welchem Termin) Kontinuierliche Modellierung der Produktprozessstruktur Datenanbindung Modell erstellen 	Kostenstrukturen: <ul style="list-style-type: none"> Technische Infrastruktur Personalkosten Entwicklungskosten Wartungskosten
Nutzenversprechen: <ul style="list-style-type: none"> Reduzierung von Fertigungs- und Materialkosten Kosten für kurzfristige Änderungen Erhöhung der Liefertreue Erhöhte Qualität 	Schlüsselpartner: <ul style="list-style-type: none"> Lieferanten ERP-Systemhaus Vertreter 	Schlüsselressourcen: <ul style="list-style-type: none"> ERP-System Technische Stücklisten für die Änderungen Lieferantendaten Kundenplattform Visualisierungsplattform Modell 	Erlös-konzept: <ul style="list-style-type: none"> Expressservice Änderungsservice Kosteneinsparungen
Marktleistung: <ul style="list-style-type: none"> Nachverfolgung von Kundenaufträgen Selfservice: Änderungsverwaltung Simulation und Optimierung des Produktionssystems Multiressourcenplanung 	Risiken: <ul style="list-style-type: none"> Datenlücken (ungepflegte Daten) Technische Störungen Fehlerhafte Kundenbestellungen Planungsunsicherheiten 		

Abbildung 45: Canvas zur Überwachung der Kundenauftragsabwicklung bei der Terrot GmbH

5.4.2 Konzeptionierung des Prototyps

Die angestrebte Dienstleistung der Terrot GmbH besteht aus mehreren Teilschritten: Die Nachverfolgung des Auftragsfortschritts, der Ermittlung zulässiger Änderungen, sowie dem Angebot und der Auswahl jener Änderungen von Kundenseite über eine Plattform. Die Vorkonzeptionierung gestaltet sich, wie in Abbildung 46 dargestellt.

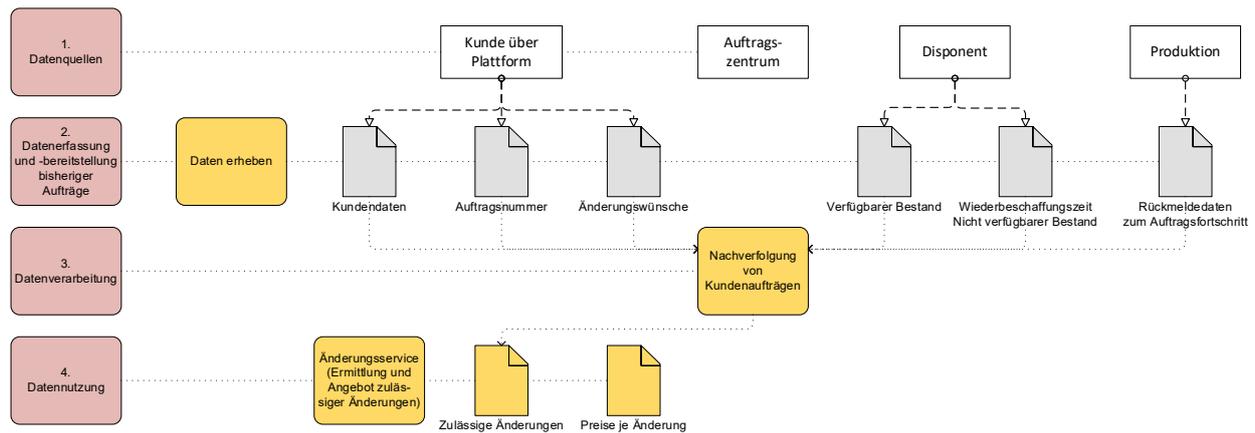


Abbildung 46: Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Änderungsservice“ und „Auftragsnachverfolgung“ mit den Smart Service Units sowie Input- und Outputdaten in gelb

Das aus der Vorkonzeptionierung abgeleitete Überführungskonzept (Abbildung 47) modelliert den gesamten Prozess zur Realisierung der Dienstleistung.

Der Kunde kann sich über einen Zugang mit seinen Kundendaten an der Software-Lösung anmelden. Durch Auswahl eines Auftrags sieht er die aktuelle Konfiguration seiner Maschinen, die dazugehörigen Auftragsdaten und die betreffende Stückliste.

Der Kunde wie auch die Mitarbeiter der Terrot GmbH können mit der Lösung den aktuellen Auftragsfortschritt ermitteln. Dafür werden die Rückmeldedaten aus dem ERP-System benötigt.

Nach Ermittlung des Auftragsfortschritts, können auf Basis der jeweiligen Konfiguration die zulässigen Änderungen zum aktuellen Zeitpunkt ermittelt werden und diese dem Kunden zur Auswahl auf der Plattform als Änderungsservice angeboten werden. Sollte er keine der gewünschten Änderungen wünschen, hat er zudem die Möglichkeit eine individuelle Anfrage zu starten.

Nach Auswahl der gewünschten Änderung wird eine neue Konfiguration gespeichert und die Sollstückliste erzeugt. Diese wird mit der vorhandenen Stückliste abgeglichen, um eine Differenzstückliste zu generieren. Auf Basis dieser kann mit Hilfe der verfügbaren Bestände und Wiederbeschaffungszeiten im ERP-System eine erste Lieferterminermittlung erfolgen. Zudem kann danach die Bepreisung der Änderung durchgeführt werden.

Nach Beauftragung der Änderung können die Mitarbeiter und der Kunde den Fortschritt der Änderung im Auftragsmonitor weiter überwachen. Darauf aufbauend kann zudem auch eine Dienstleistung für die Mitarbeiter bereitgestellt werden, die die Simulation und Optimierung der Kundenaufträge im Unternehmen bereitstellt. Diese ist in der obigen Darstellung erwähnt, wurde jedoch nicht als Prozessablauf modelliert.

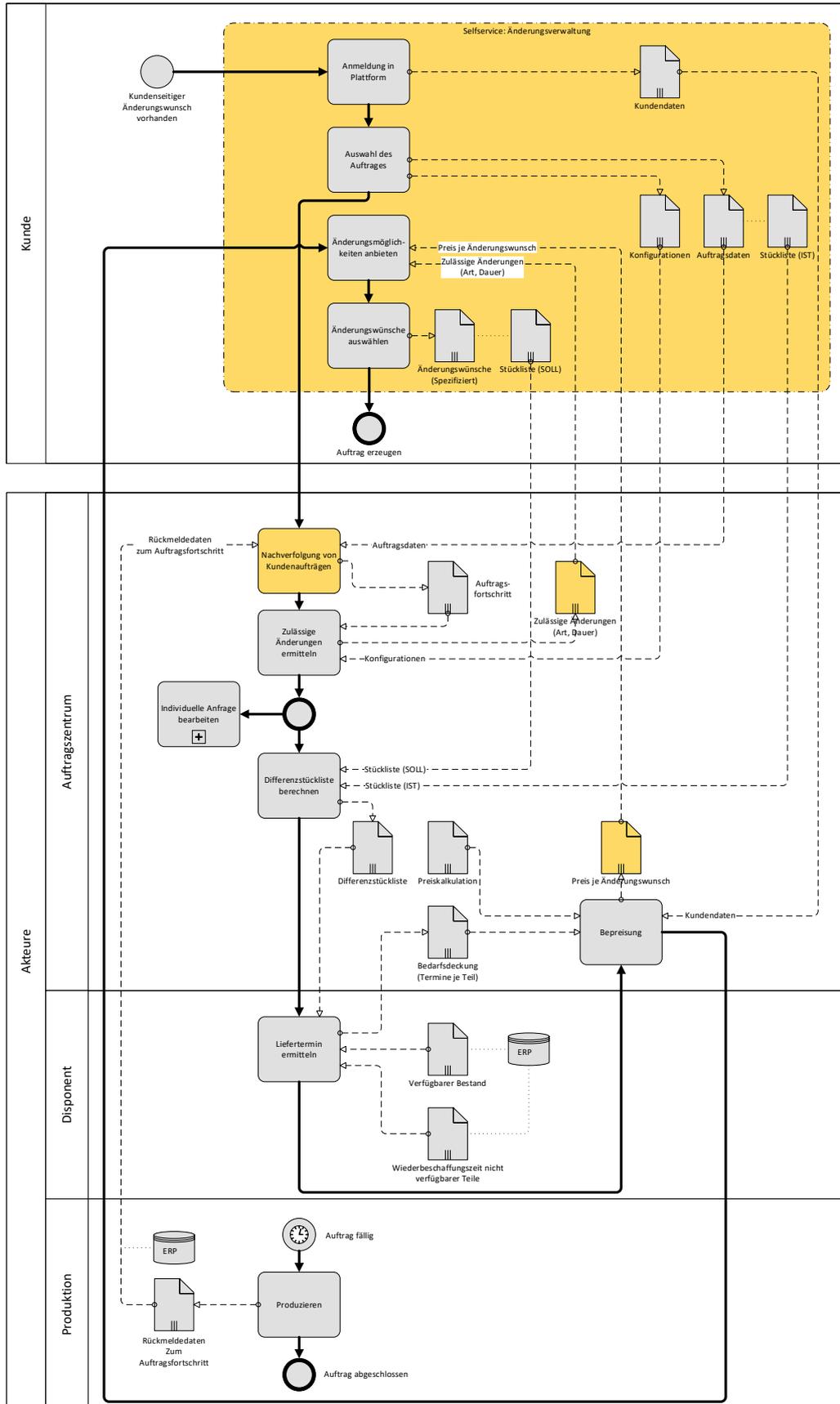


Abbildung 47: Überführungskonzept „Selfservice Änderungsmanagement“

5.4.3 Realisierung des Prototyps

Der Prototyp wurde in mehreren Schritten umgesetzt. Zunächst fand zwischen der Terrot GmbH und dem Technologiepartner Simba n³ GmbH ein Workshop zur Erstellung des Konzeptes statt. Dabei wurde erarbeitet, dass der Auftragsmonitor sowohl einen Überblick als auch einen Detailblick ermöglichen muss.

Die für den Auftragsmonitor benötigten Informationen werden zu einem großen Umfang bereits im vorhandene ERP-System erfasst. In Abstimmung mit dem Technologiepartner wurden die Produktionsaufträge, die Auftragsstücklisten, die Ressourcen (Kapazitäten) und Prozesse (Arbeitspläne) aus dem Vorsystem exportiert. Die Informationen zur Kapazitätsplanung sind bei der Terrot GmbH nicht vollständig im ERP-System integriert, weshalb diese zunächst nicht berücksichtigt wurden. Wie im Nachfolgenden näher erläutert, wurde im Auftragsmonitor eine vereinfachte Annahme zu den Kapazitäten getroffen.

Gemeinsam mit dem Technologiepartner sind auf Basis dieser Daten die SDU für den Anwendungsfall aufbereitet worden. Der Prototyp wurde auf Basis der Softwarelösung Visual Cockpit vom Technologiepartner umgesetzt.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einen Ausschnitt aus diesem Prototyp. Beim Start der Lösung kann der Benutzer zunächst den Betrachtungszeitraum einschränken (nach Kalenderwoche und/oder Datum gefiltert). Die Informationen werden dann in zwei Cockpits zur Anzeige gebracht: „Aufträge je Kalenderwoche nach Arbeitsschritten“ und „Aufträge nach Datum und Arbeitsschritten“.

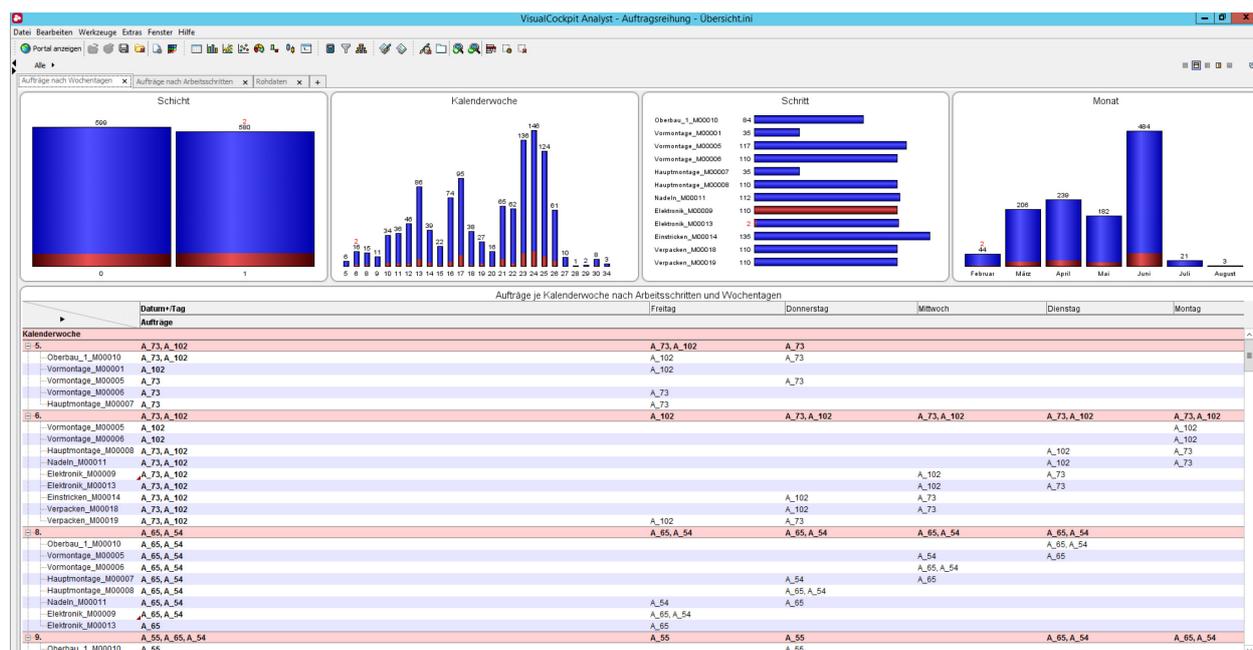


Abbildung 48: Aufträge je Kalenderwoche nach Arbeitsschritten (Abb.: Terrot GmbH)

Beide Cockpits besitzen im obigen Bereich vier Diagramme, welche die Gesamtanzahl der Aufträge pro Kalenderwoche, Schicht, Schritt und Monat zusammenfassen. Jede Ressource aus dem ERP-System wurde einem Schritt (Phase) der Montage zugeordnet. Jede Ressource besitzt eine Intensität, die beschreibt, wie viele Aufträge zur gleichen Zeit an dieser Ressource durchgeführt werden können. Dabei wurde angenommen, dass alle Ressourcen nur in zwei Schichten zur Verfügung stehen. In jeder Schicht wurde die gleiche Intensität angenommen. Der Auftragsmonitor ermittelt auf Basis dieser Einschränkung die geplanten Wochentage für die einzelnen Bearbeitungsschritte.

In der oberen Abbildung sieht der Benutzer dann im Detailbereich, welche Schritte pro Kalenderwoche je Auftrag noch offen sind und auf welche Wochentage sich diese verteilen. Im unteren Cockpit sieht er die Verteilung der einzelnen Aufträge nach Arbeitsschritten. Werden diese Daten regelmäßig aktualisiert, können so einfach die jeweiligen Aufträge verfolgt werden.

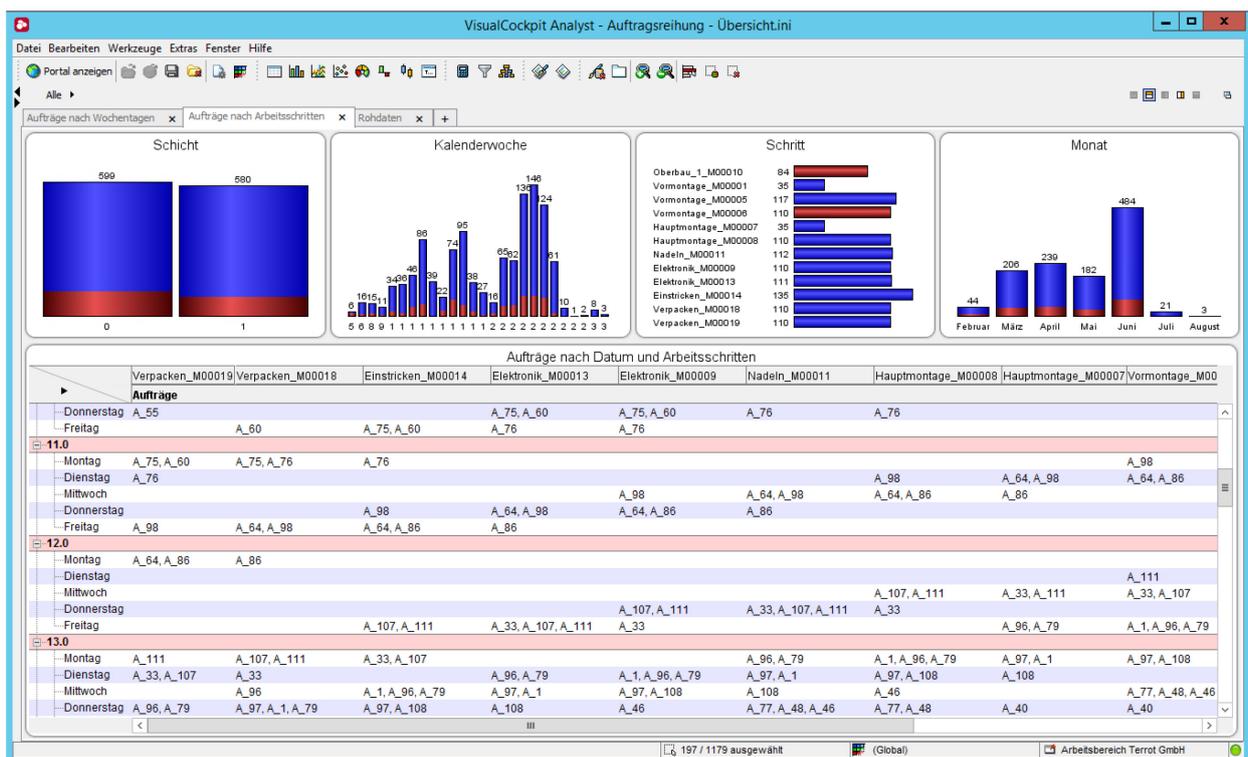


Abbildung 49: Aufträge nach Datum und Arbeitsschritten (Abb.: Terrot GmbH)

Je Schritt im Auftragsmonitor werden dann verschiedenen Materialien benötigt, deren Verfügbarkeitsdaten aktuell im Prototyp nicht angezeigt werden. Weiterhin können pro Schritt noch verschiedene Änderungen an der Konfiguration durch die Kunden erlaubt sein. Diese Information wird aktuell ebenfalls nicht abgebildet, wurde jedoch bereits im Rahmen des Projekts erarbeitet. Für eine genaue Aussage zur Kapazitätsauslastung müssen diese Daten ebenfalls ins ERP-System gebracht werden.

Die einzelnen Zwischenprodukte (Baugruppen) in der Montage sind aufgrund fehlender Abbildung im ERP-System ebenfalls nicht erkennbar. Es wurde frühzeitig deutlich, dass für die Umsetzung der oben beschriebenen Dienstleistungen eine Überarbeitung der Produkt-Prozess-Struktur im Unternehmen erforderlich ist. Insbesondere eine Konfiguration der Rundstrickmaschine mit Hilfe von standardisierten Baugruppen, Stücklisten und Prozesse ermöglicht eine vollständige Abbildung des Auftragsprozess im Monitor in Verbindung mit der gewünschten Variante, die durch den Kunden spezifiziert wird. Von dieser Variante abhängig ergeben sich dann je nach Fortschritt verschiedene Änderungsmöglichkeiten. Eine solche neue Produkt-Prozess-Struktur wurde für einen Maschinentyp im Rahmen des Projektes umgesetzt.

Die aufgezeigten Umsetzungsschritte lassen sich in die, in Kapitel 4.3 Systembeschreibung dargestellten Konzepte überführen. Zur Herstellung der Beziehungen zwischen verschiedenen Stammdaten, verfügbaren Ressourcen sowie Berechnungsmodellen für Auftragsreihung und -optimierung wurde die Artefaktsystematik von SDU und SMU in der verwendeten Software angewendet. Ursprünglich sollte noch eine erneute Datenbereitstellung mit dieser neuen Produkt-Prozess-Struktur erfolgen. Aufgrund von Kurzarbeit im Unternehmen, Engpässen bei anderen Projektpartnern und der „Corona-Pandemie“ konnte dies nicht mehr erfolgen.

Die Terrot GmbH möchte nach dem Projekt die offenen Punkte weiter umsetzen und den Auftragsmonitor weiterentwickeln. Als Bestandteil eines Kundenportal soll der Auftragsmonitor für die Erweiterung des Maschinenverkaufs um digitale Dienstleistungen qualifiziert werden.

5.5 Prototypische Umsetzung des Anwendungsfalls „Parameterbestimmung für den IHU-Prozess“

5.5.1 Ausgangslage und Zielstellung

Das innovative Fertigungsverfahren „Innenhochdruckumformung“ (IHU) ist für kleine und mittlere Unternehmen bisher nur wenig erschlossen. Wesentliches Hemmnis für den genannten Nutzerkreis besteht dabei in dem unzureichend vorhandenen Know-how, die erforderlichen Prozess- und Werkzeugparameter sicher, effizient und schnell für ihre Applikationen bestimmen zu können. Die aktuelle Praxis ist vielmehr dadurch gekennzeichnet, dass aufwendige numerische Simulationen und langjähriges Erfahrungswissen der alleinige Schlüssel zu den gesuchten Parametern sind, wodurch die Technologie noch immer großen und potenten Fertigungsdienstleistern vorbehalten ist.

Gegenstand aktueller Entwicklungsarbeiten ist die systematisierte technologische Beschreibung der Applikationen mittels dimensionsloser Kennzahlen, die an einen, von mehreren vernetzten Anwendern gemeinsam genutzten, Technologiegenerator gesendet werden. Letzterer ist mit den notwendigen Algorithmen versehen und mit einer Expertenwissensdatenbank gekoppelt, sodass eine automatisierte Ermittlung der applikationsspezifisch benötigten Prozess- und Werkzeugparameter möglich wird. Diese werden wiederum dem Anwender zur Verfügung gestellt und die Voraussetzung für die Nutzung des Fertigungsverfahrens IHU geschaffen. Die Anwender senden ihrerseits die im laufenden Fertigungsbetrieb erhobenen Prozessdaten an die Expertendatenbank. Mit ihrer Hilfe erfolgt die weitere Qualifikation und Präzisierung der Algorithmen im Technologiegenerator. Parallel dazu wird dieser Qualifikationsprozess durch mechanismenorientierte technologische Forschungsarbeiten begleitet. Auf diese Weise wird nicht nur eine zunehmend sichere und effizientere Bestimmung der geforderten Parameter erreicht, sondern auch eine nachhaltig fortschreitende Erweiterung der Verfahrensgrenzen sowohl in Richtung technologisch anspruchsvollerer Applikationen als auch hin zu kleineren Losgrößen.

Einen Überblick über das Geschäftsmodell „Technologiegenerator zur Anwendung des Fertigungsverfahrens IHU“ mit Kundensegment, Risiken, Schlüsselpartner, -aktivitäten und -ressourcen sowie Erlös- und Kostenkonzepten kann aus [Abbildung 50](#) entnommen werden.

Kundensegment: <ul style="list-style-type: none"> KMU, die Technologie (IHU) noch nicht verwenden 	Wertschöpfungsstruktur: <ul style="list-style-type: none"> Technologiegenerator wird angewendet 	Schlüsselaktivitäten: <ul style="list-style-type: none"> Aufbereitung der Eingangsdaten Simulation des IHU-Prozesses Machbarkeitsanalyse IHU-Modell (KI-basierend) <ul style="list-style-type: none"> Datenvorverarbeitung Kennzahlenextraktion Parameterermittlung für IHU-Technologie 	Kostenstrukturen: <ul style="list-style-type: none"> Entwicklungskosten Infrastruktur Betriebskosten Personalkosten zum Anlernen der KI (Data Science) 	
Nutzenversprechen: <ul style="list-style-type: none"> Technologiedaten werden bereitgestellt IHU-Technologie kann verwendet werden Wissenslücke wird geschlossen 	Schlüsselpartner: <ul style="list-style-type: none"> Groß-UN, die IHU-Technologie bereits nutzen (Bereitstellung von Seriadaten und Know-how) KMU, die IHU-Technologie zukünftig einsetzen wollen, bisher aber keine Ressourcen vorhalten (kein Wissen, keine Anlagen etc.) IHU-Experten IT-Dienstleister (Data Science) Datenschutzexperten 	Schlüsselressourcen: <ul style="list-style-type: none"> Expertenwissen <ul style="list-style-type: none"> IHU-Prozess Data Science KI und Algorithmen (Software) KI-Modul (Hardware zur Aufnahme und Vorverarbeitung von Prozessdaten) Cloud-Infrastruktur (Soft- und Hardware) Daten 	Erlös-konzept: <ul style="list-style-type: none"> Abo-Modell Buchung von Servicepaketen <i>Weitere Geschäftsmodellvarianten:</i> <ul style="list-style-type: none"> Add-on (separate Verrechnung von Extras) Freemium (freie Basis- und kostenpflichtige Premiumversion) Pay per Use (nutzungsabhängige Vergütung) Performance-Based Contracting (ergebnisabhängige Vergütung) 	
Risiken: <ul style="list-style-type: none"> Unternehmen stellen keine Daten bereit Prozess ist zu komplex 				<ul style="list-style-type: none"> Eingangswerte werden nicht vollständig bereitgestellt Qualität ist nicht wie erwartet

Abbildung 50: Canvas zum Technologiegenerator für IHU-Parameter des ICM e. V.

Das Hauptkundensegment sind jene KMU, welche die Technologie IHU noch nicht verwenden, durch den Technologiegenerator jedoch einfachen Zugang zu Werkzeug-, Prozess- und Anlagendaten erhalten können. Für den Aufbau des Technologiegenerators ist die Zusammenarbeit mit Großunternehmen essentiell, die die IHU-Technologie bereits anwenden und Seriadaten für den Aufbau einer Wissensdatenbank bereitstellen. IHU-Experten, IT-Dienstleister und Datenschutzexperten werden benötigt, um die bereitgestellten IHU-Daten mittels Algorithmen und FEM-Simulationen (Finite-Elemente-Methode) aufzubereiten bzw. charakterisieren zu können. Innerhalb des Projektes beschränkt sich die prototypische Realisierung zunächst auf die Prozesskurvenbestimmung, um die grundlegende Funktionsweise nachzuweisen.

Eine große Herausforderung liegt in der Ermittlung von geeigneten Kennzahlen für die IHU-Technologie, welche auch für das Anlernen von KI-Strukturen Anwendung finden können. Die Umsetzung kann nur mittels bestimmter Ressourcen wie z.B. geeignetem Expertenwissen, KI-Algorithmen sowie Soft- und Hardware zum Aufbau einer übergeordneten Infrastruktur erfolgen. Die Risiken sind dabei insbesondere im Bereich der Datenakquise angesiedelt, da entweder keine oder nur unvollständige Daten zur Verfügung stehen. Auch die Komplexität des IHU-Prozesses kann die Genauigkeit des Technologiegenerators negativ beeinflussen.

Als Erlös-konzept sind sowohl ein Abo-Modell mit der Option zur Buchung von Servicepaketen als auch verschiedene Add-on-Varianten, freie Basis- und kostenpflichtige Premiumversionen sowie nutzungsabhängige oder ergebnisabhängige Vergütungen denkbar.

5.5.2 Konzeptionierung des Prototyps

Die Dienstleistung besteht aus einer prädiktiven Komponente und dem Aufbau einer Wissensdatenbank, welche es gestattet, auf Basis Prozesskurven neue abzuleiten. Abbildung 521 zeigt die Vorkonzeptionierung der Marktleistung.

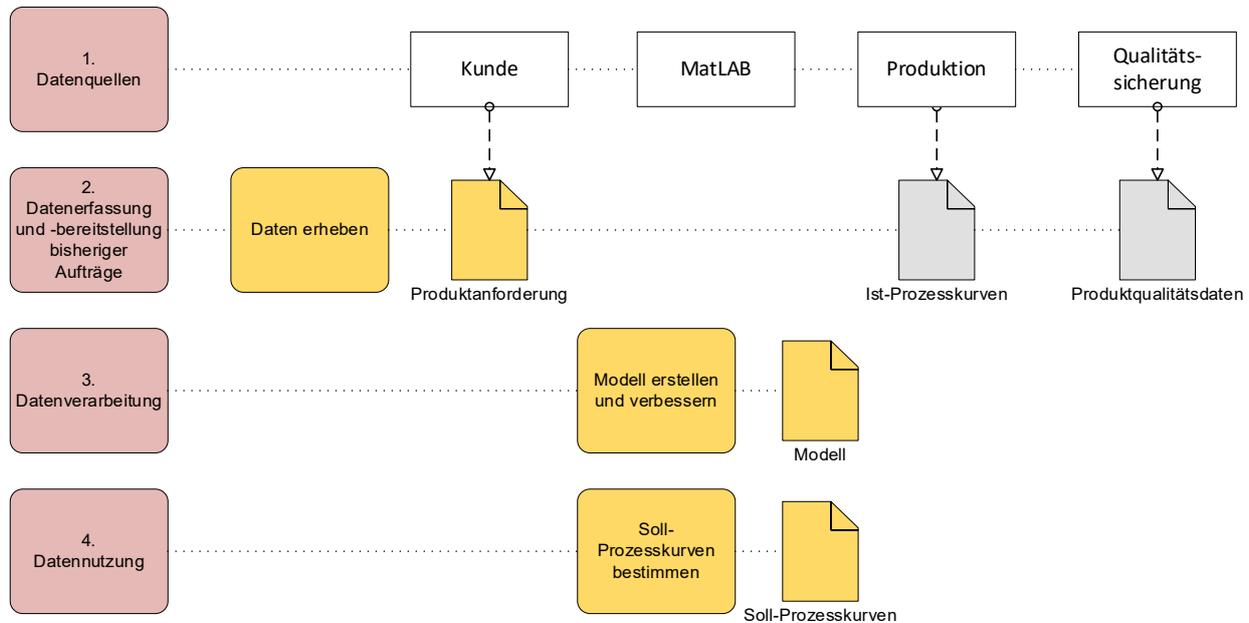


Abbildung 51: Vorkonzeptionierung der Dienstleistung „Parameterbestimmung für den IHU-Prozess“ mit den Smart Service Units sowie Input- und Outputdaten in gelb

In dem davon abgeleiteten Überführungskonzept (Abbildung 52) ist das Arbeitsschema des Technologiegenerators dargestellt. Für die Bearbeitung eines Kundenauftrags müssen im ersten Schritt die Kundendaten aufgenommen und anonymisiert werden. Dabei werden folgende SDU benötigt: Zeichnungsdaten, Werkstoffkennwerte, Qualitätsansprüche, Wirtschaftlichkeit. Die sich hieraus ergebenden Produkthanforderungen werden im nächsten Schritt auf ihre Machbarkeit durch FEM-Simulationen und Expertenwissen untersucht. Dabei stützen sich die Simulationen auf das Erfahrungswissen der Technologieexperten. Bei einer positiven Bewertung der Machbarkeit werden im nächsten Schritt die Soll-Prozesskurven automatisch mit Hilfe des IHU-Modells (Wissensdatenbank aus Prozessdaten) und der Produkthanforderungen des Kunden bestimmt. Die ermittelten Soll-Prozesskurven werden anschließend an die Produktion (IHU-Anlage) weitergeleitet. Während der Fertigung des IHU-Bauteils werden die Ist-Prozesskurven digital aufgezeichnet und zur Verbesserung des IHU-Modells bereitgestellt. Anschließend wird eine Qualitätssicherung durchgeführt, bei der die Maßhaltigkeit des IHU-Bauteils und der Vergleich zwischen den Ist- und Soll-Prozesskurven überprüft und digital aufgezeichnet werden. Diese Daten gehen ebenfalls in das IHU-Modell ein und müssen mit Hilfe von Signalverarbeitungsalgorithmen

im Zeit- und Frequenzbereich (SMU) bearbeitet werden. Die sich daraus ergebende iterative Verbesserung des IHU-Modells erfolgt mit Hilfe von statistischen Analyseverfahren (SMU) und erhöht die Qualität der Vorhersage.

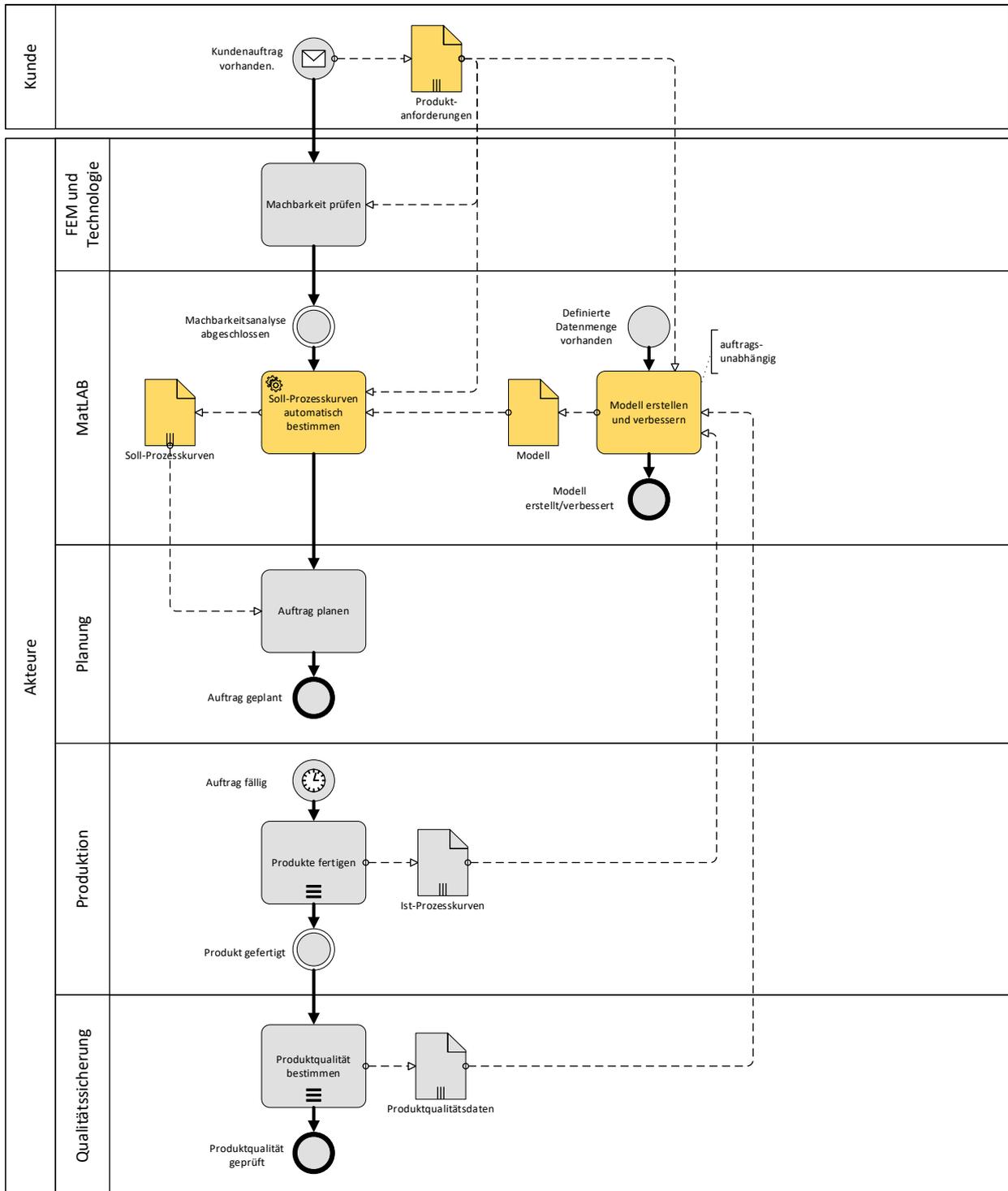


Abbildung 52: Überführungskonzept „Parameterbestimmung für den IHU-Prozess“

5.5.3 Realisierung des Prototyps

Die Entwicklung des Technologiegenerators, insbesondere die dafür notwendigen Berechnungsalgorithmen, erfolgt in mehreren Schritten. Als erstes wird der IHU-Prozess in Teilprozesse zerlegt und anhand der Kennzahlen aus den erhaltenen Prozesskurven charakterisiert. Dabei werden die Prozesskurven vorverarbeitet, mittels Signalverarbeitungsmethoden ausgewertet und die aussagekräftigsten Kennzahlen aus den Prozesskurven ermittelt (z.B. Maximalkraft, Kraftgradienten). Die anschließende Clusteranalyse ergibt eine eindeutige Segmentierung der einzelnen Prozessschritte. In Abbildung 53 ist die Clusterung des IHU-Prozesses beispielhaft dargestellt.

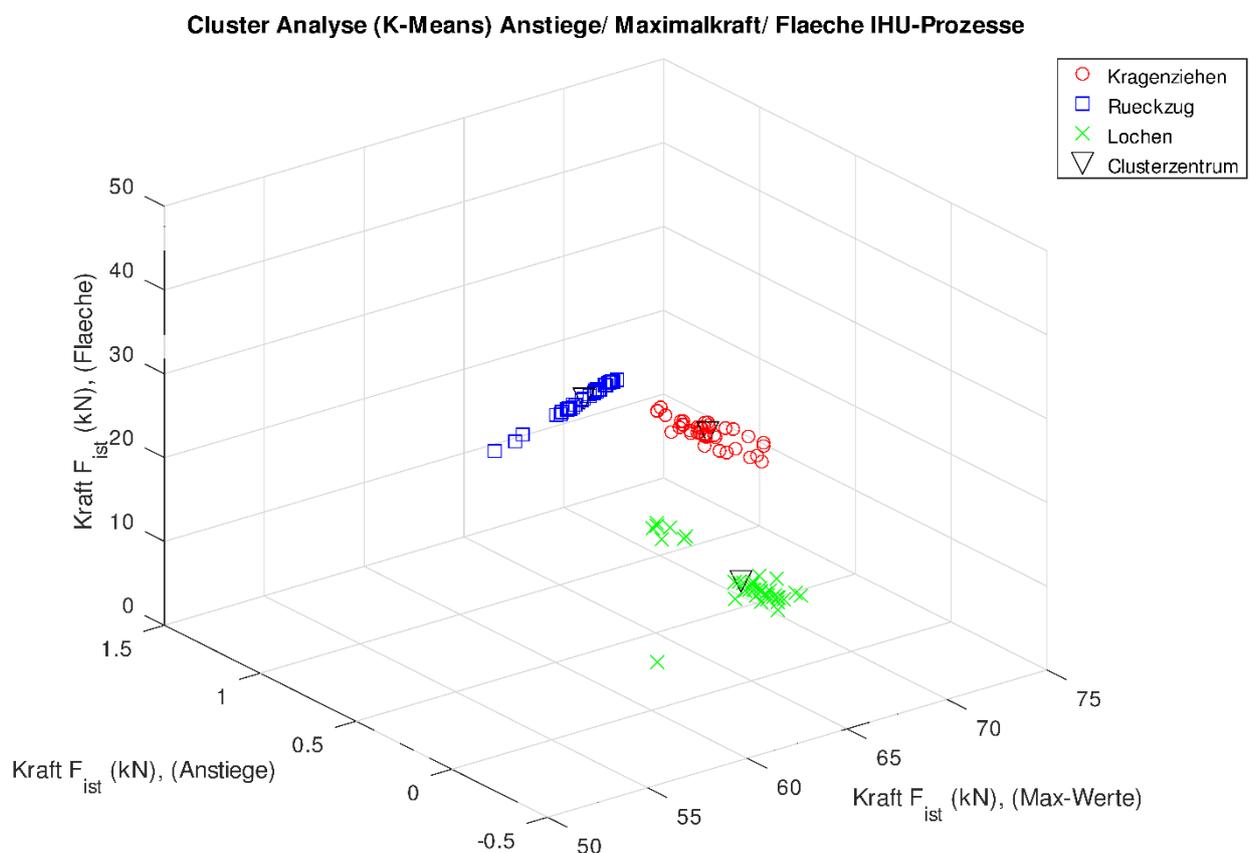


Abbildung 53: Clusteranalyse IHU-Prozess (Abb.: ICM e.V.)

Im zweiten Schritt wird mit Hilfe von FEM- und Prozesssimulationen ein erweiterter Datensatz aus IHU-Prozesskurven für die Datenklassifizierung und die Erarbeitung von Vorhersagemodellen erstellt. Hierbei werden aus der FEM-Simulation die IHU-Prozesskurven (z.B. Stempelkraft, Nachschiebeweg, Innendruck) bei Variation der Eingangsparameter (z.B. Geometriedaten, Materialkennwerte) abgeleitet. Aus den Prozesssimulationen werden zwei Fehlerzustände modelliert, der "harte" Bauteilplatzer (Fehler 1) und der zunehmende Verschleiß des Druckübersetzers

(Fehler 2). Die aus den Simulationen ausgeleiteten Daten werden mit Hilfe von MATLAB zu einem synthetischen Datensatz zusammengefügt und durch Expertenwissen verifiziert. Im nächsten Schritt erfolgt die Untersuchung und Auswertung des synthetischen Datensatzes mit Signalverarbeitungsmethoden. Die anschließende Clusteranalyse ergibt eine eindeutige Segmentierung zwischen Normal- und Fehlerzuständen sowie zwischen den variierenden Eingangsparemtern (Abbildung 54).

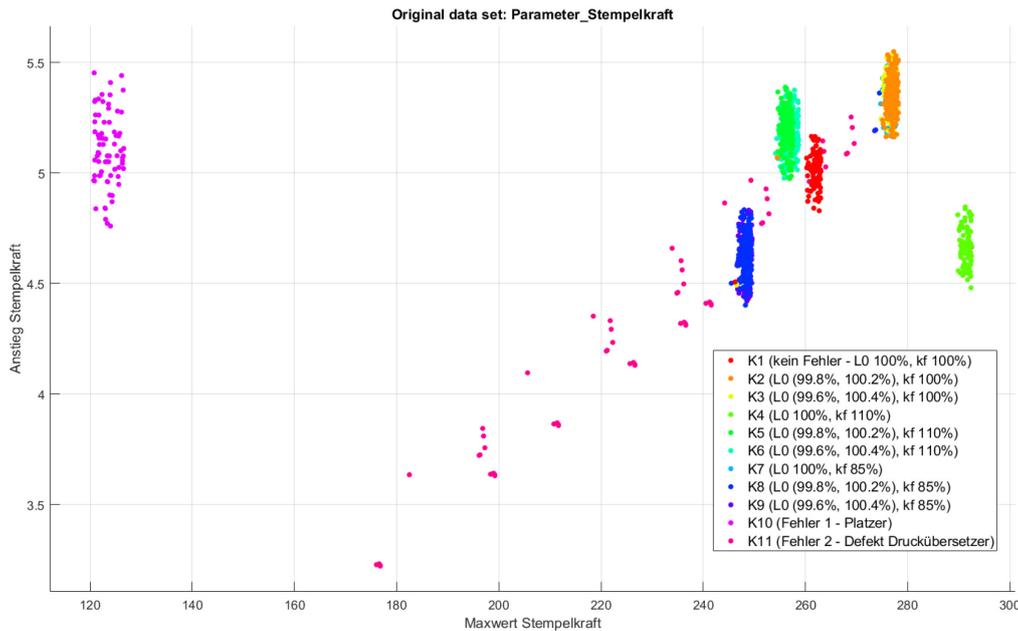


Abbildung 54: Clusteranalyse synthetischer Datensatz mit Zustandszuordnung (Abb.: ICM e.V.)

Abschließend wird ein Vorhersagemodell aus dem synthetischen Datensatz erstellt. Dabei werden verschiedene Machine Learning-Algorithmen getestet, wobei der Naive Bayes-Algorithmus im angegebenen Beispiel die höchste Genauigkeit mit 81,7 % aufweist. Abbildung 55 zeigt die Konfusionsmatrix des beschriebenen Vorhersagemodells.



Abbildung 55: Konfusionsmatrix – Vorhersage mit Naive Bayes-Algorithmus (Grafik: ICM e.V.)

Der hier entstandene Algorithmus zur Charakterisierung von IHU-Prozessdaten dient als Grundlage für die Bildung von technologischen Kennzahlen. Zur Erarbeitung des Technologiegenerators werden die Simulationsumgebungen MSC Marc Mentat und SimulationX sowie für die Datenauswertung MATLAB verwendet.

5.5.4 Ausblick

Weiterführende Arbeiten werden sich mit der IHU-Prozesssimulation und FEM-Simulation zur Berechnung von dimensionslosen Kennzahlen beschäftigen. Hierfür wird eine ausführliche Kennzahlenermittlung aus den IHU-Prozesskurven notwendig (Signalverarbeitung). Des Weiteren sollen im IHU-Modell ebenfalls die Werkzeuganforderungen (z.B. Geometrie, Material) eingepflegt werden, was in einer zunehmenden Komplexität des IHU-Modells resultiert.

5.6 Validierung und Verifikation

5.6.1 Validierung der prototypischen Lösungen

Um die Tauglichkeit der verfolgten Ansätze in der Praxis einschätzen zu können, muss diese messbar gemacht und auf Grundlage der in der Praxis wichtigen Kriterien analysiert werden. Hierfür gibt es eine Reihe an Gestaltungsmöglichkeiten, die je nach Validierungsgegenstand besser oder schlechter geeignet sein können. Nach einiger Abwägung wurde sich im Konsortium dazu entschieden, das Ergebnis bei den jeweiligen Projektpartnern als Gesamtsystem in seiner Anwendung zu validieren anstatt dies jeweils für das Vorgehen oder die Umsetzung durchzuführen. Hauptgrund waren dabei die Unterschiede in den Anwendungsfällen, die eine Validierung des Vorgehens oder der Umsetzung nur schwer vergleichbar machten. Eine Abstraktion auf die Anwendung war deutlich besser vergleichbar.

Nachdem der Validierungsgegenstand feststand, wurden Fragebögen zusammengestellt, die mehrere Aussagen zu insgesamt 7 Kriterien enthielten wie Nützlichkeit, Benutzerfreundlichkeit etc. und ließen diese von den jeweiligen Projektpartnern aus der Perspektive mehrerer Rollen im Unternehmen beantworten. Eine Analyse der Fragebögen in der Vorvalidierung ergab dann jeweils eine quantifizierbare Aussage über den Stand der jeweiligen Prototypen.

Diese Vorvalidierung gab den jeweiligen Projektpartnern Aufschluss über Defizite, die bis zur Hauptvalidierung zu beheben waren und die Hauptvalidierung erfolgte auf Grundlage der gleichen Fragebögen mit einigen zusätzlichen Aussagen zur Hauptvalidierung. Zur Vor- und Hauptvalidierung wurde jeweils ein Bericht erstellt, der das Ergebnis der Befragung analysiert und zusammenfasst. Folgende Abbildung veranschaulicht den zeitlichen Verlauf (nicht maßstabsgetreu) und die Beziehungen im Validierungsprozess:

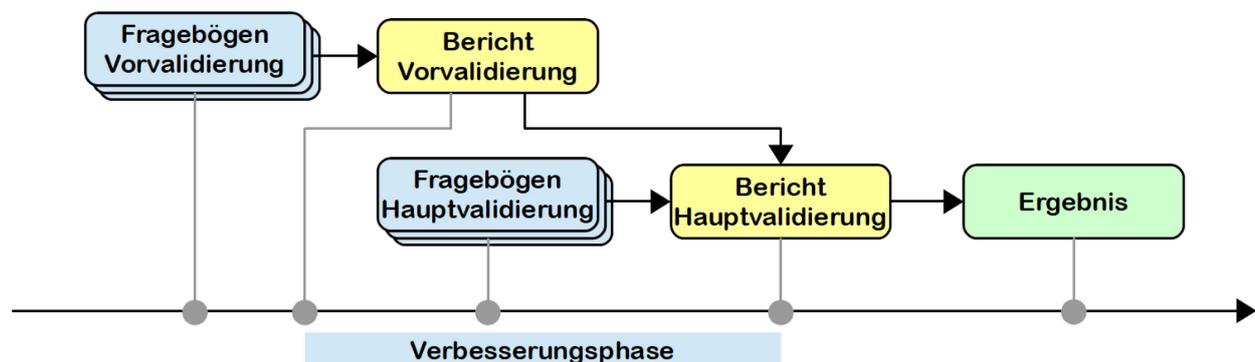


Abbildung 56: Beziehungen und zeitlicher Verlauf des Validierungsprozesses (Abb.: Hörmann RAWEMA GmbH)

Im Zuge des Validierungsprozesses gilt ein Prototyp als validiert, wenn der überwiegende Teil der geplanten Funktionen anwendungsbereit vor liegt und die dafür, zu Beginn des Projektes definierten, notwendigen Anforderungen erfüllt sind. In diesem Zusammenhang wurde vom Projektkonsortium ein Erfüllungsgrad von 60 % der erreichbaren Punkte als Schwellenwert für das Bestehen der Validierung festgelegt, der sich aus der Summe der neutral und positiv beantworteten Fragen zur Bewertung des jeweiligen Prototyps ergeben muss. Alle Prototypen haben diesen Schwellenwert insgesamt erreicht, auch wenn bis zur Perfektion noch jeweils einige Verbesserungen vorzunehmen sind, bevor die Prototypen in eine produktive Verwendung übergehen. Dies deckt sich auch mit den Erwartungen, die sich im Laufe des Projektes herauskristallisiert haben. Nachfolgendes Diagramm zeigt die Verteilung der positiv, neutral oder negativ beantworteten Fragen der jeweiligen Partner in der Hauptvalidierung zur Einschätzung ihres Prototyps, ob dieser die definierten Validierungskriterien erfüllt (Abbildung 57).

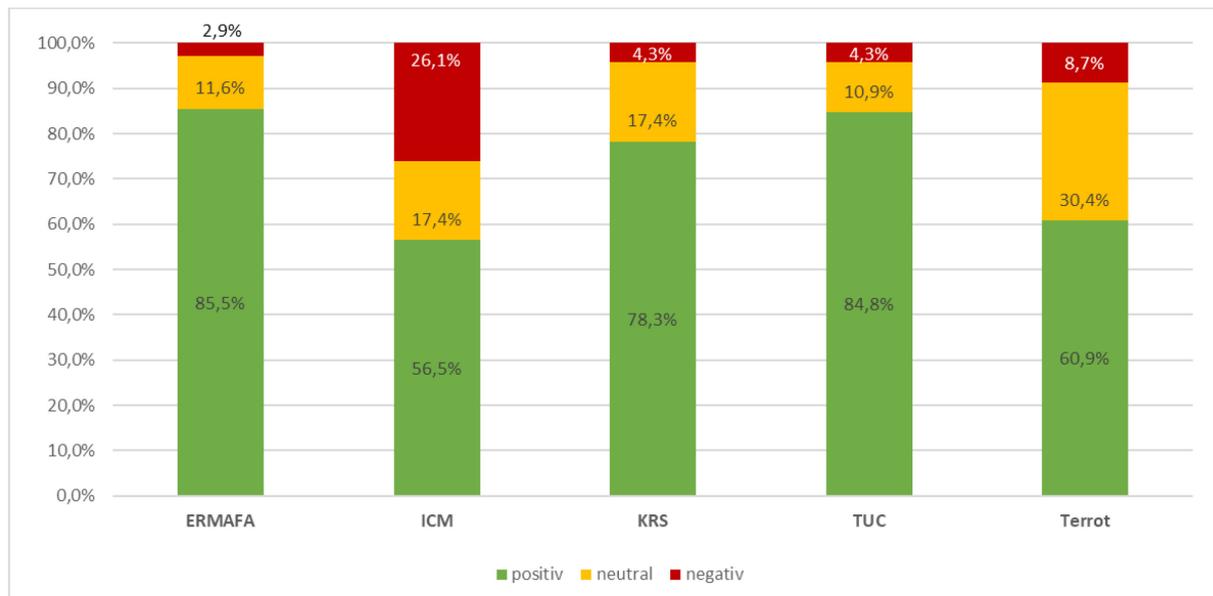


Abbildung 57: Ergebnisse der Hauptvalidierung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass alle Prototypen die Validierung insgesamt bestanden haben und sich die Verbesserungsphase bei den Projektpartnern jeweils unterschiedlich auf das Ergebnis ausgewirkt hat, dabei ist jedoch keiner der Prototypen unter den Schwellenwert geraten. Damit haben sich alle Prototypen prinzipiell als tauglich im jeweiligen Anwendungsfall erwiesen. Das ist auch ein indirektes Indiz dafür, dass die Methodik dahinter prinzipiell gut genug ist, um einen hohen Anteil tauglicher Prototypen hervorzubringen, sofern sie korrekt angewendet wird.

5.6.2 Validierung des modularen Servicekonzepts

Mithilfe der prototypischen Umsetzung und dem Testbetrieb innerhalb der Anwendungspartner konnten die gestellten Anforderungen an die Methode evaluiert werden. Nachfolgende Tabelle fasst die Bewertung der einzelnen Anforderungen zusammen.

Tabelle 11: Bewertung des Erfüllungsgrad der Anforderungen an die Methode

Anforderung	Erfüllungsgrad mit Begründung
1. Gute Einsetzbarkeit innerhalb KMU	Erfüllt , da alle Teilanforderungen erfüllt wurden.
a) Benutzerfreundlichkeit: Mitarbeiter können sich auf bereits bestehende und etablierte Methoden beziehen.	Erfüllt. Die Methode baut auf das GEMINI 4.0 BMC auf, welches hohe Ähnlichkeit zum weit verbreiteten BMC nach Osterwalder besitzt und zum international anerkannten Standard zur Prozessbeschreibung BPMN 2.0
b) Leichte Handhabung mit verhältnismäßig geringem Aufwand: Die Konzeptionierung einer digitalen Dienstleistung nimmt weniger als 8h in Anspruch.	Erfüllt. Die Erarbeitung der Ergebnisse in Phase 1 nahm bei den Anwendungspartnern durchschnittlich 1 Stunde und die Konzeptionierung (Phase 2) 2 Stunden in Anspruch. Mit Iterationsschritten innerhalb der Anwendungspartner dauerte die Konzeptionierung zwischen 4 und 6 Stunden.
c) Unabhängigkeit: Die Gestaltung und Umsetzung aus informationstechnischer Sicht lässt sich mithilfe der im Unternehmen vorherrschenden Softwarelandschaft realisieren.	Erfüllt. Das entwickelte Konzept stellt ein Metamodell dar und wurde bewusst nicht softwarebezogen entwickelt. Im Projekt wurden die einzelnen Lösungen mit unterschiedlicher Software realisiert: KNIME, GRAFANA, Eigenprogrammierung (Vgl. Kap. 5)
2. Anpassungsfähigkeit und Erweiterbarkeit der Methode	Erfüllt , da alle Teilanforderungen erfüllt wurden.
a) Modularer Aufbau , welcher durch weitere Module ergänzt und die Module selbst in verschiedenen Betrachtungsebenen (Detaillierbarkeit) beschrieben	Erfüllt. Die Module sind beliebig erweiterbar, das zeigte die Übertragbarkeit in Anwendungsfälle außerhalb des Projektkonsortiums.

werden können, um die Übertragbarkeit auf andere Anwender zu erhöhen.	Mithilfe der Smart Service Units und der Vorgehensweise der Methode, welche in den Phasen den Detaillierungsgrad stetig erhöht Module können auf verschiedenen Betrachtungsebenen betrachtet werden (SSU)
b) Individualisierbarkeit , um den spezifischen Anforderungen der KMU Rechnung zu tragen.	Erfüllt. Die einzelnen Module sind mittels Configuration Unit auf die spezifischen Anforderungen adaptierbar.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle gestellten Anforderungen an die Methode erfüllt wurden. Dies zeigte auch die Übertragung jener auf Anwendungsfälle außerhalb des Projektes.

5.6.3 Verifikation

Neben der praxistauglichen Erprobung der Methode an den, im Projekt Plug_and_Control beteiligten Anwendungspartnern wurde diese auch außerhalb des Projektes angewandt und verifiziert. Dies betrifft für die Konzeptionierung aus unternehmerischer Sicht (Phasen 1 und 2 des digitalen Dienstleistungskonzepts) einen Maschinenbauer aus der Textilindustrie und für die Konzeptionierung und Gestaltung aus informationstechnischer Sicht (Phasen 3 und 4 des digitalen Dienstleistungskonzepts) einen Automobilhersteller.

Bei dem Maschinenbauer aus der Textilindustrie wurde, im Gegensatz zum im Projekt involvierten Maschinenbauer, für die Textilindustrie eine Rezepturgenerierung konzeptioniert. Neu entstehende Module für die Rezepturgenerierung konnten in die Methode integriert werden und bestätigten die flexible Erweiterung des Gesamtkonzeptes. Für die Konzeptionierung aus unternehmerischer Sicht zeigte sich zusammenfassend eine gute Übertragbarkeit. Zudem wurde offensichtlich, dass sich komplexere dienstleistungsbasierte Geschäftsmodelle mit der Methode gestalten und operationalisieren lassen.

Simba n³ erprobte die SDU-SMU-Sammlung „Proaktive Wartung“ außerhalb des Projektes bei einem Großkonzern. Die Anwendung überzeugte den Kunden durch die Innovationen und Mehrwerte der angedachten Modelle und die Zusage einer schnellstmöglichen Umsetzung durch die Kombination von SDUs zur angebotenen Lösung. Für die Umsetzung des Anwendungsfall au-

ßerhalb der Projektstruktur von Plug_and_Control wurden lediglich 6 Wochen benötigt – inklusive intensiver Abstimmung und mehreren Workshops. Nach dieser Zeit stand die Predictive Maintenance-Lösung dem Großkonzern für den operativen Einsatz zur Verfügung. Im Projekt war es dabei von Vorteil, dass alle relevanten Daten der Maschinen im Shopfloor bereits digital zur Verfügung standen, so dass damit die für die Lösung erforderlichen SDU dynamisch befüllt werden können. Mehrere solcher SDU wurden anschließend so miteinander kombiniert, dass eine automatische Datenaufbereitung und Datenprüfung erfolgen kann, um auf validen Daten geeignete Risiko- und Ereigniszeitmodelle auf Wahrscheinlichkeitsbasis anwenden zu können. Für jede Maschine im Shopfloor stehen damit zusätzlich zu den bisher dynamisch erfassten Maschinenparametern die Ausfallwahrscheinlichkeiten und die zu erwartende Restlebensdauer zur Verfügung, die vom konkreten Verbrauch der Maschine durch die Produktion bestimmt werden. Diese Daten werden ebenfalls automatisiert und dynamisch ermittelt. Die neuen Kenngrößen zu den Maschinen (Ausfallwahrscheinlichkeit und Restlebensdauer) werden vom Wartungsteam des Konzerns zusammen mit anderen produktionsrelevanten Auftragsdaten als operative Entscheidungshilfen genutzt, um so ökonomisch über den Zeitpunkt der Wartung zu entscheiden. Das System ist selbstlernend: Neue Störungsdaten führen zur Aktualisierung der Wahrscheinlichkeitsmodelle, wodurch sich die Modellgüte stetig verbessert.

6 Methode zur Implementierung von Geschäftsmodellen

„Statt unablässig den Verlust der alten Industrien zu bejammern, müssen wir uns einfach dem Abenteuer stellen, neue Industrien zu entwickeln.“

John Naisbitt, US-amerikanischer Trend- und Zukunftsforscher

Das Zitat zeigt, dass auch führende Akteure in Wirtschaft und Forschung zu oft an alten Technologien oder Produkten festhalten und dass sie sich auf diese Art und Weise schnell in Bedrängnis bringen. In Europa gibt es viele erfolgreiche Unternehmen, die Spezialisten auf dem Gebiet der Produkt- und Prozessinnovation sind. Doch warum verschwinden selbst führende Akteure der Wirtschaft wie Nokia, Quelle oder Schlecker plötzlich von der Bildfläche? Dies hat vielfältige Gründe, aber es gibt einen entscheidenden Faktor: Sie haben es verpasst ihr Geschäftsmodell im richtigen Moment anzupassen (Gassmann et al. 2017: 3). Gerade bei kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU), die in Deutschland ca. 99 % aller Unternehmen ausmachen, werden gut umgesetzte Geschäftsmodellinnovationen mittel- bis langfristig von existenzieller Bedeutung sein (BMWi o.D.).

Der Status Quo zeigt, dass auf dem Gebiet der Geschäftsmodellentwicklung bereits ein breites Spektrum an Fragen bearbeitet wurde und die Ergebnisse bereits in Methoden und Leitfäden überführt worden sind. Jedoch fehlt in der Unternehmenspraxis bisher eine konsistente Betrachtung der Geschäftsmodellimplementierung als Teil der Geschäftsmodellentwicklung (Hummel 2018: 85 f.). Folglich war ein Ziel des Projektes Plug and Control, den Mittelstand bei seinen Bestrebungen im Bereich der Geschäftsmodellimplementierung mit Hilfe einer eigens entwickelten Methode zu unterstützen.

Entstanden ist eine Methode, die aus drei Stufen besteht, Derive (Prototyp ableiten), Implement (Prototyp implementieren) und Test (Prototyp testen). Grundsätzlich besteht der Ansatz der Geschäftsmodellentwicklung aus unterschiedlichen Stufen, bei Gassmann zum Beispiel aus der Initiierung, der Ideenfindung und der Integration (Gassmann et al. 2017: 65). Die entwickelte Methode betrachtet dabei nur die letzte der drei genannten Stufen, die Integration/Implementierung.

Die Entwicklung eines neuen Geschäftsmodells (GM) gelingt beispielsweise mithilfe der bekanntesten Methoden zur Geschäftsmodellentwicklung, dem Business Model Navigator von Gassmann oder dem Business Model Canvas von Osterwalder und Pigneur (Ematinger 2018: 21).

6.1 Prototyp ableiten

Im ersten Schritt der neu entwickelten Methode geht es nun darum, aus dem bereits entwickelten GM einen Prototyp abzuleiten, also eine vereinfachte Version des entwickelten Geschäftsmodells, und diesen Schritt für Schritt in das Unternehmen einzuführen. Zur Umsetzung empfiehlt sich dabei das Projektmanagement (Osterwalder et al. 2010: 256). Dieses kann in Form des klassischen oder des agilen Projektmanagements eingesetzt werden, je nachdem welche Methode besser zu der Unternehmenskultur passt. Für kleine und mittelständige Unternehmen empfiehlt sich aufgrund der größeren Flexibilität in der Regel das agile. Bekannte agile Methoden sind beispielweise die Business Model Innovation, das Design Thinking, Kanban, Lean Startup oder Scrum (Adam 2020: 11 f.).

6.2 Prototyp implementieren

Im zweiten Schritt geht es darum, den im ersten Schritt abgeleiteten Prototyp zu implementieren. Dabei müssen verschiedene Faktoren betrachtet werden, wie zum Beispiel die rechtlichen Rahmenbedingungen (DIN SPEC 33453 2019: 15). Des Weiteren muss auch die Organisationsstruktur festgelegt werden (Osterwalder et al. 2010: 257). Dabei kann zwischen drei Varianten unterschieden werden: Der funktionalen Struktur, die nach den verschiedenen Abteilungen wie dem Einkauf, der Produktion, dem Vertrieb oder dem Controlling unterscheidet. Der divisionalen Struktur, die nach Objekten wie Produktgruppen, Kunden oder Regionen unterscheidet oder nach der Matrix-Struktur, die eine Mischung aus den beiden zuletzt genannten Varianten darstellt. Als nächstes müssen die Wettbewerbsstrategien festgelegt werden. Diese werden nach der Kostenführerschaft, der Differenzierung oder der Adressierung einer Nische unterschieden (Kaschny et al. 2015: 135 f.). Anschließend wird die Marktsegmentierung festgelegt. Diese grenzt den Markt entweder geographisch, nach Zielgruppen oder nach Produkten ab (Talke 2005: 85 f.). Daraufhin werden die 9P's der Kommunikationskampagne erarbeitet (Osterwalder et al. 2010: 257). Diese bestehen aus dem Preis (Price), der Produktpositionierung (Product), den Vertriebskanälen (Place), der Kommunikation (Promotion) (Aumayr 2016: 240-246), dem Erscheinungsbild des Unternehmens nach außen (Physical Evidence), der Leistungserbringung (Process), dem Personal (People), den Zahlungsmethoden (Payment), sowie der Verpackung (Packaging)

(DIN SPEC 33453 2019: 38). Des Weiteren muss die Skalierungsstrategie festgelegt werden. Diese dient dazu, das Geschäftsmodell vom „Kleinen“ ins „Große“ übertragen zu können, beispielsweise um bei einem wachsenden Geschäft die zunehmenden Kundenanfragen händeln zu können (DIN SPEC 33453 2019: 15). Im Nachgang folgt die Festlegung der Markteintrittsstrategien (Deutsches Institut für Normung e. V. 2019: 15). Dabei gibt es unterschiedliche Ansätze, zum Beispiel den fokussierten Eintritt. In diesem Fall definiert der Anbieter ein konkretes Produkt, welches auf einem abgegrenzten Markt angeboten wird. Die Strategie schließt neben den Eigenschaften und Funktionen des Produktes auch das konkrete Marktsegment und die Zielgruppe ein. Ein Beispiel wäre eine Werkzeugmaschine, die ganz spezielle Bauteile fertigen kann und somit nur für bestimmte Kunden relevant ist. Des Weiteren gibt es den Ansatz der breiten Produktpalette. Mit dieser Strategie zielt der Anbieter auf einen definierten Markt, in dem er unterschiedliche Produkte anbietet. Ein prominentes Beispiel ist die Firma Kärcher, die sich auf den Markt der Reinigungsgeräte konzentriert hat. Die Strategie der breiten Kundenbasis bietet nur eines oder wenige Produkte an, diese aber für eine breite Zielgruppe. Beispiel wäre an dieser Stelle Apple, das Unternehmen bietet zwar nur wenige Produkte an, diese werden aber an alle Bevölkerungsgruppen adressiert. Bei der Angrenzungsstrategie wird eine Vielzahl an Produkten auf den verschiedensten Märkten angeboten. Der Fokus liegt dabei auf den Eigenschaften und Funktionen der unterschiedlichen Produkte und Märkte, die ein optimales Zusammenspiel erzeugen sollen. Dadurch soll ein hohes Cross-Selling Potential gewährleistet werden (Kaschny et al. 2015: 131-134). Klassisches Beispiel für diese Strategie ist Siemens, das Unternehmen bietet vom Schaltschrank über die Steuerung bis hin zum fertigen Werkzeug eine breite Produktpalette an und kann somit als Komplettanbieter viele Kunden an sich binden. Vorteil ist, dass man nicht für jedes Produkt einen anderen Anbieter aufsuchen muss. Zu guter Letzt gibt es die Streuungsstrategie. Dabei werden unterschiedliche Produkte in diversen Märkten angeboten. Die Erzeugnisse stehen dabei nicht in einer wechselseitigen Beziehung. Ein Beispiel hierfür ist Shimano, denn das Unternehmen bietet von der Fahrradschaltung über Hydrauliksysteme bis hin zu Schmiedeteilen eine sehr große und breite Produktpalette an.

Einen weiteren sehr entscheidenden Faktor in der Implementierungsphase stellt der richtige Einführungszeitpunkt dar. Dieser entscheidet darüber ob das Innovationsprojekt zu einem Erfolg wird oder nicht (Schuh 2012: 20). Als letzten Punkt in diesem Feld sollte auch eine etwaige Internationalisierung betrachtet werden. (Kaschny et al. 2015: 138) Diese erlangt aufgrund der voranschreitenden Globalisierung eine immer größere Bedeutung.

6.3 Prototyp testen

In der dritten und letzten Phase geht es darum den Prototyp zu testen und dabei zu erkennen welche Dimensionen des neuen Geschäftsmodells bereits funktionieren und bei welchen noch Verbesserungspotential besteht. Dabei sollten die folgenden acht Erfolgsfaktoren beachtet werden. Zunächst ist die Kundenorientierung fundamental wichtig. In diesem Zusammenhang sollte Feedback vom Markt eingeholt werden. Denn je besser die Kundenbedürfnisse befriedigt werden können, umso besser funktioniert auch das Geschäftsmodell (DIN SPEC 33453 2019: 15; Thom et al. 2006: 254). Das Einholen von Feedback kann beispielsweise über Umfragen oder Interviews erfolgen. Als nächstes sollten so viele Fragen wie möglich gestellt werden, denn je ausgeklügelter, intuitiver und innovativer das Geschäftsmodell ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Erfolg wird (Maurer et al. 2011: 331 f.). Ein weiterer entscheidender Punkt ist die frühestmögliche Einbeziehung aller beteiligter Mitarbeiter in wichtige Entscheidungen (Osterwalder et al. 2010: 256 f.). Dadurch können Bedenken angesprochen und ausgeräumt werden. Auf diese Art und Weise kann der größtmögliche Konsens erzielt und Befürworter gewonnen werden. Nur wenn es gelingt so viele Mitarbeiter wie möglich zu involvieren und abzuholen, kann das Innovationsprojekt zum Erfolg führen. Des Weiteren ist es sinnvoll ein multidisziplinäres Team aufzustellen. Denn wenn aus allen notwendigen Bereichen ein Teammitglied vertreten ist, wird dies den Innovationsprozess aufgrund der vielen unterschiedlichen Ideen und Betrachtungsweisen beschleunigen.

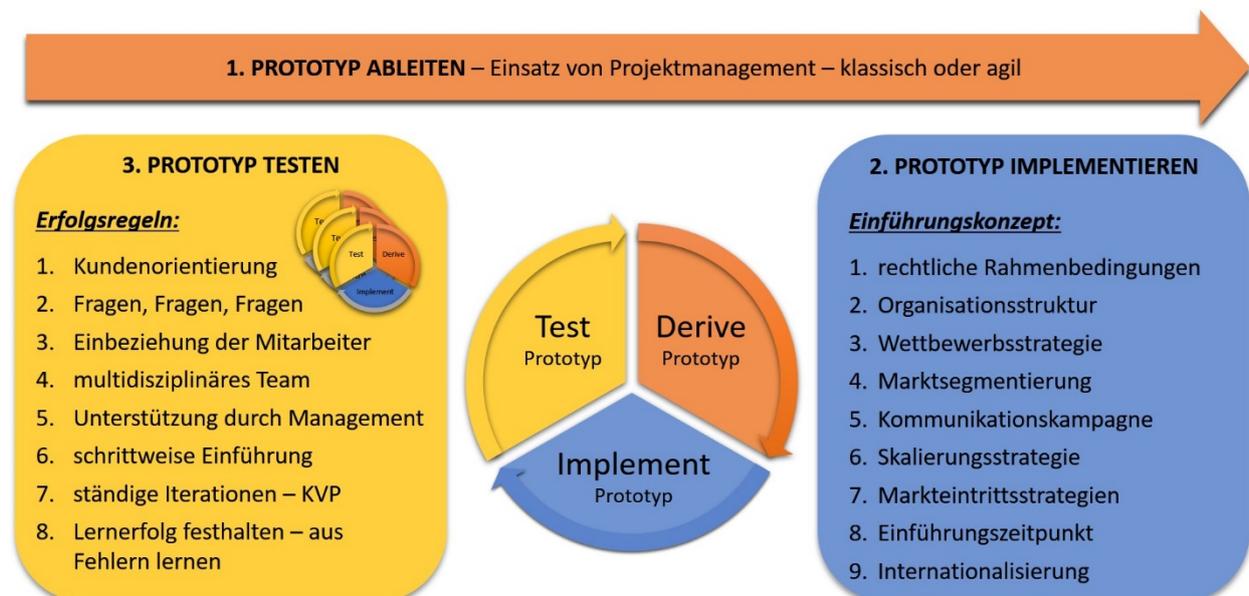


Abbildung 58: Vorgehensmodell zur Implementierung von Geschäftsmodellen (Abb.: ICM e.V.)

Der nächste wichtige Punkt, den es zu beachten gilt, ist die Einbeziehung des Managements. Nur wenn die uneingeschränkte Unterstützung des Managements gewährleistet ist, wird dies

zum Erfolg führen. Außerdem sorgt das Management dafür, dass die notwendigen Ressourcen und monetären Mittel zur Verfügung gestellt werden. Des Weiteren hebt die Unterstützung des Managements die Bedeutung des Innovationsprojektes hervor und bringt dem Team Wertschätzung entgegen, dies wirkt sich positiv auf die Gestaltung und die Umsetzung aus und beschleunigt letztendlich das Vorhaben (Gassmann et al. 2017: 73). Nicht zuletzt ist auf eine schrittweise Einführung zu achten. Auf diese Weise kann das Risiko minimiert und die Möglichkeit für weitere Verbesserungen geschaffen werden. Der nächste Schritt sind ständige Iterationen. Denn nur durch einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess kann das Gute vom Besseren verdrängt werden. Im achten und letzten Schritt gilt es den Lernerfolg festzuhalten (Gassmann et al. 2017: 68). Dazu sollten nach jedem Zyklus die Fehler festgehalten und die Verbesserungspotentiale erarbeitet werden. Mit diesem Vorgehen kann das Geschäftsmodell kontinuierlich verbessert und anschließend erfolgreich eingeführt werden. Die Abbildung 58 visualisiert den beschriebenen Sachverhalt.

7 Zusammenfassung & Ausblick

Im Forschungsprojekt Plug_and_Control konnten ein modulares Dienstleistungsangebot für produzierende Unternehmen auf Basis standardisierter und flexibler Daten- und Methodenbausteine – sogenannter Smart Data Units (SDU) und Smart Method Units (SMU) – entwickelt werden. Durch die flexible Vernetzung mehrerer Datenbausteine mit den Methodenbausteinen und die jeweilig anwendungsspezifische Konfiguration ist es möglich, unternehmensspezifische digitale Dienstleistungen und deren einzelnen Bestandteile – projektseitig sogenannte Smart Service Units (SSU) – als Umsetzungsempfehlung zu beschreiben. Für die Anwendung des Konzeptes zur Implementierung modularer Dienstleistungen im Unternehmen wurde neben dem Baustein-Konzept ein entsprechendes Dienstleistungsentwicklungs-, Implementierungs- und Konfigurationskonzept erarbeitet, welches die Vernetzung und Konfiguration der SDU und SMU zu digitalen Dienstleistungen (SSU) in Unternehmen unterstützt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens Plug_and_Control konnten anhand vier industrieller Anwendungsfälle und einem im Labor verschiedene industrielle Dienstleistungen konzeptioniert, geplant und realisiert werden. Die erzeugten SDU und SMU lassen sich aufgrund ihrer einheitlich definierten und bewusst einfach gehaltenen Struktur generisch in KMU nutzen, regelmäßig aktualisieren sowie hinsichtlich der vorhandenen Datenqualität prüfen, sowie bei Bedarf in Echtzeit auswerten und untereinander zu einfachen aber auch komplexen digitalen Dienstleistungen (SSU) kombinieren. Im Projekt wurde hierzu eine Sammlung an SDU und SMU erzeugt.

Durch das Konzept zur Entwicklung modularer Dienstleistungen und dessen modularen Bausteinansatz wurde die notwendige Flexibilität für eine Anwendung bei industriellen Unternehmen für deren individuell zu realisierenden digitalen Dienstleistungen geschaffen. Für den konkreten unternehmensspezifischen Einsatz müssen lediglich die Daten spezifiziert und für die generischen SDU bereitgestellt werden, nachdem die Bausteine eingangs entsprechend der im Unternehmen eingesetzten Technologien und Infrastruktur implementiert wurden. Dieser innovative technologische Ansatz ermöglicht es das Problem zu beheben, dass für eine smarte Produktion oder eine smarte Instandhaltung i.d.R. immer erst einheitliche Daten- und Schnittstellenstan-

dards eingeführt werden müssen. Die Offenheit der Lösung stellt ein wesentliches Erfolgskriterium des Projektes dar und wurde bei der Definition der Anforderungen, bei der Konzeption und Bewertung von Lösungen berücksichtigt.

Für die Entwicklung von digitalen Dienstleistungen wurde ein entsprechend flexibles Engineering-Konzept erarbeitet, welches es ermöglicht, die Dienstleistung auf Basis der modularen Bausteine zu konzeptionieren und zu realisieren, wobei das Konzept Aussagen zu den zu betrachtenden Perspektiven auf die Dienstleistung und Rahmenbedingungen sowie zu den involvierten Prozessen und notwendigen Ressourcen liefert. Auf technischer Seite eignet sich das Konzept zur Implementierung modularer Dienstleistungen für die Integration von Methoden der Informationserfassung, -bereitstellung und -verarbeitung, wie z.B. der flexiblen Nutzung und Einbindung von Daten aus Sensorsystemen und Identifikationstechnologien. Die flexible und unternehmensspezifische Vernetzung von Daten, deren Speicherung und Bereitstellung sowie die bedarfsorientierte und nutzergerechte Datenanalyse- und -aufbereitung, heben das Konzept von bloßen Datenbereitstellungslösungen (z.B. Datenbanken, Data Warehouse, Data Lake) ab. Für die Vernetzung der Bausteine untereinander sowie mit der bestehenden Unternehmensinfrastruktur und den Unternehmensprozessen wurde die SDU-Beschreibung um eine Integrations- und Konfigurationslogik erweitert. Die Umsetzung der beschriebenen Bausteine und deren Vernetzung erfolgt individuell, um vorhandene Systeme und Prozesse bestmöglich nutzen zu können.

Die Konzepte zur Beschreibung, Entwicklung, Implementierung und Konfigurierung von modularen Dienstleistungen wurden anhand prototypischer Umsetzungen in konkreten und breit angelegten Anwendungsfällen aus den Bereichen der Produktionsplanung, Instandhaltung sowie Prozess- und Wissensoptimierung im Mittelstand validiert. Aus den hierbei gewonnenen Erkenntnissen lässt sich weiterer Forschungsbedarf ableiten: Zum einen ist die Einsatzfähigkeit des Verfahrens auch für weitere Anwendungsfälle und Branchen sowie die notwendige Erweiterungsfähigkeit zu prüfen. So könnten die bestehenden Smart Service Units, SDU und SMU stetig erweitert werden und das Konzept auch für bisher nicht realisierte Dienstleistungen validiert werden. Unter der Annahme, dass die Nutzer ihr Wissen in der Anwendung des Konzeptes weiterhin teilen, hat das entwickelte Konzept die Möglichkeit, eine etablierte Lösung für die Konzeption und Implementierung von digitalen Dienstleistungen im produzierenden Gewerbe zu werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht ferner darin, das Konzept zur Standardisierung von Angebots- und Wertschöpfungsmodell eines Geschäftsmodells auch auf das Kunden-, Finanz-, Anreiz- und Risikomodell zu erweitern. So sind bspw. Verallgemeinerungen des Erlösmodells mithilfe standardisierter Bausteine zur Umsetzgenerierung (pay-per-use, pay-per-hour, pay-per-performance, etc.) denkbar. Dies würde im Service Engineering eine ganzheitliche Methode zur

Beschreibung und Konzeptionierung dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle gestatten. Zudem wäre es untersuchenswert, inwieweit die Operationalisierung von Geschäftsmodellen auf Basis des beschriebenen Ansatzes vereinfacht oder generalisiert werden könnte. Dies stellt KMU weiterhin vor große Herausforderungen.

Letztlich gilt es, das entstandene Konzept mit einer geeigneten Methode zur Datenerhebung in KMU zu ergänzen. Das Forschungsprojekt zeigte, dass dies nach wie vor eine große Hürde zur Umsetzung von Industrie 4.0 in KMU darstellt.

Das im Projekt Plug_and_Control entwickelte Konzept zeigt eine anwendbare Methodik zur formellen Beschreibung digitaler Dienstleistungen, welches das Verständnis für solche bei den umsetzenden KMU erhöht und die Entwicklung und Realisierung erleichtert. Die standardisierten aber bisher rein formellen Beschreibungen von SDU, SMU und Smart Service Unit könnten in beliebiger Open-Source Software realisiert oder in bestehende Bibliotheken mittels des generisch anwendbaren Ansatzes integriert werden, um so die Übertragungsfähigkeit und Anwendbarkeit in KMU zu erhöhen.

Im Projektverlauf des Verbundvorhabens Plug_and_Control hat sich gezeigt, dass die Bedeutung der digitalen Dienstleistungen gerade im KMU-Sektor massiv wächst, was im deutlichen Gegensatz zum technischen Stand mancher KMU steht. Hierfür sollte zukünftig an der Idee von flexiblen, modularen und offenen Systeme zur Konzeptionierung, Planung und Implementierung solcher digitaler Dienstleistungen festgehalten werden.

8 Danksagung

Unser Dank gilt allen beteiligten Personen der acht Verbundpartner des Vorhabens, welche durch ihre Mitwirkung sowie ihrem Wissen und ihrer Erfahrung das Projekt gestaltet und die erzielten Ergebnisse ermöglicht haben.

In 42 Monaten intensiver Zusammenarbeit konnten so der vorliegende Abschlussbericht und alle Inhalte, auf die dieser aufbaut, erzielt werden, welche eine hohe Praxistauglichkeit und Anpassungsfähigkeit gerade für KMU aufweisen.

Des Weiteren gilt auch dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) in Person von Herrn Alexander Mager, der speziell das Vorhaben sachlich und konstruktiv begleitet hat, ein besonderer Dank.

Außerordentlicher Dank gilt des Weiteren dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Förderung des Verbundvorhabens mit den Förderkennzeichen 02K16C130 bis 02K16C137 im Rahmen des Förderrahmenkonzepts „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ im Themenfeld „Technikbasierte Dienstleistungssysteme“.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

9 Autorenverzeichnis

Technische Universität Chemnitz

Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Riedel ist außerplanmäßiger Professor an der Technischen Universität Chemnitz und leitet derzeit kommissarisch die Professur Fabrikplanung und Intralogistik sowie an dieser Professur das Kompetenzfeld Fabrikbetrieb.

M.Sc. Riccardo Prielipp ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Chemnitz, Kompetenzfeld Fabrikplanung. Seine Arbeitsschwerpunkte sind datenbasierte Geschäftsmodelle und Dienstleistungen, Service Engineering sowie Prozessgestaltung und -optimierung.

M.A. Carlo Emanuel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Chemnitz, Kompetenzfeld Fabrikbetrieb. Seine Arbeitsschwerpunkte sind HR Analytics im Kontext von Smart Factories, Kompetenz- und Wissensmanagement sowie Self-Service Business Intelligence.

Dipl.-Wirt.-Ing. Nadine Göhlert ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Technischen Universität Chemnitz, Kompetenzfeld Fabrikplanung. Ihre Arbeitsschwerpunkte liegen in der Organisations- und Prozessgestaltung sowie im Projektmanagement.

Dipl.-Inf. Daniel Fischer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Chemnitz, Kompetenzfeld Fabrikplanung. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Produktionsdatenerfassung & -analyse, Softwareentwicklung sowie IoT & Digitalisierung.

M.Sc. Philipp Wilsky ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Chemnitz, Kompetenzfeld Fabrikplanung. Er ist verantwortlich für das Arbeitsfeld Qualitätsmanagement und ist zusätzlich in den Arbeitsschwerpunkten Datenanalyse in der Produktion sowie Auto-ID tätig.

ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH

Ing.-Oec. (FH) Thomas Gemeinhardt ist Geschäftsbereichsleiter bei der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Personal- und Kapazitätenplanung, der Vertrieb, der Einkauf sowie sämtliche anfallenden Aufgaben und Tätigkeiten rund um den Standort Ellefeld.

Dipl.-Ing. Andreas Kaczmarek ist Leiter der Anwendungstechnik bei der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung und Weiterentwicklung von Maschinensoftware und Anwenderzyklen, Kundenschulungen und -vorführungen sowie die Durchführung, Dokumentation und Auswertung von Testreihen.

René Wolfrum ist Serviceleiter bei der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Planung und Organisation von Serviceeinsätzen samt Material und Personal, der telefonische After-Sales-Service sowie das IT-Infrastruktur-Management am Standort Ellefeld.

Sascha Wohlgemuth ist Mitarbeiter im Vertrieb bei der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Akquisition sowie die Projekt-/Auftragsabwicklung des Neumaschinengeschäftes von der Angebotslegung bis hin zur Maschinenübergabe.

M.Sc. Vivien Böhm ist Mitarbeiter im Marketing und Vertrieb bei der ERMAFA Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind die Vorbereitung von und Teilnahme an Messen, Angebotserstellung, Export- und Zollabwicklung, Erstellung von Printmedien, Betreuung sowie Gestaltung der Webseiten und sonstiger Webauftritte.

KRS - SEIGERT GmbH

Jörg Ruffert ist Geschäftsführer der KRS - Seigert GmbH.

Bernd Salomon war Leiter des Kompetenzzentrums der KRS - Seigert GmbH bis zum Ruhestand (30.06.2020) und unterstützt den Projektleiter ab 12.02.2019 als techn. Berater.

Christian Jerusel war Mitarbeiter der Stabsstelle Strategische Projekte der KRS - Seigert GmbH und Projektleiter P & C vom 01.09.2017 bis 30.09.2018.

Martin Löbelt war Student im Abschlussemester der TU Chemnitz und unterstützte den Projektleiter der KRS - Seigert GmbH bei der Sensorauswahl (19.03.-31.08.2018).

Christoph Hauptmann ist Leiter der Werkzeugdreherei der KRS - Seigert GmbH und war Projektleiter P & C im Zeitraum vom 01.10.2018 – 12.02.2019.

Christian Schädel ist stellvertretender Leiter Instandhaltung der KRS - Seigert GmbH und Projektleiter P & C seit 12.02.2019.

Terrot GmbH

Dipl.-Wirt.-Inf., Dipl.-Kfm. Tom Pillgrimm ist IT-Leiter der Terrot GmbH und war zunächst Projektmitarbeiter und zum Schluss Projektleiter für Plug & Control im Unternehmen. Er war für die fachliche Konzeption der Lösung verantwortlich und unterstützte die Realisierung durch den Technologiepartner.

B. Sc. Steve Hönig ist Leiter der Materialwirtschaft bei der Terrot GmbH. Er war als Projektmitarbeiter tätig. Er begleitete das Projekt aus Perspektive des Fachbereichs und formulierte die Problemstellung und Anforderungen an die Lösung.

ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V.

M. Sc. Kristin Massalsky ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e. V. und leitet das Team Projekt- und Netzwerkmanagement. Neben der Projektentwicklung arbeitet sie an zahlreichen Forschungs- und Transferprojekten.

M. Sc. Jonas Hummel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e. V., Kompetenzfeld Projekt- und Netzwerkmanagement. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Geschäftsmodellentwicklung sowie die Bereiche Robotik und Automation.

Dipl. Ing. (FH) Thomas Reuter, M. Eng. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e. V., Kompetenzfeld Maschinen- und Anlagenentwicklung. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen Simulation und Berechnung sowie Data Science.

Dipl.-Phys.-Ing. (FH) Ing. Thomas Burkhardt ist Oberingenieur am ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e. V., Kompetenzfeld Maschinen- und Anlagenentwicklung. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in der Konzeptentwicklung, Modellbildung und Berechnungsalgorithmen.

Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH

B. Sc. Christoph Konnerth ist Projektleiter im Bereich Forschung und Entwicklung bei der Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Softwareentwicklung sowie Datenmodellierung, -erfassung, -transformation, -analyse und -visualisierung für die Produktion und die Instandhaltung.

Simba n³ GmbH

Dr. Matthias Nagel ist Managing Director der Simba n³ GmbH. Als Data Scientist verfügt er über jahrzehntelange Erfahrung in der Analyse von Massendaten.

com2m GmbH

M. Sc. David van Balen ist Softwareentwickler bei der com2m GmbH und beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung der com2m eigenen IoT-Plattform. Im Projekt Plug_and_Control war er als Mitarbeiter für das Unternehmen tätig.

10 Veröffentlichungen & Vorträge

Veröffentlichungen

- Nagel, M.; Riedel, R. (2017): *Steuerung von Produktionssystemen auf Basis bedarfsorientiert konfigurierbarer Datenbausteine*. In: Müller, Egon (Hrsg.): *Arbeitswelten 4.0 – Chancen, Herausforderungen, Lösungen*. 16. Tage des Betriebs- und Systemingenieurs – TBI2017. Chemnitz: TU Chemnitz, Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, Sonderheft 23, S. 195-204, 2017, ISSN 0947-2495.
- Prielipp, R.; Riedel, R.; Göhlert, N.; Wilsky, P. (2018): *Realisierung digitaler Lösungen in produzierenden KMU - Identifikation und Auswahl benötigter Technologien*. In: productivity - GITO-Verlag, Berlin, 1/2018, S. 19 - 22, ISSN 2364-737X.
- Liebl, S.; Massalsky, K.; Wilsky, P.; Prielipp, R.; Göhlert, N.; Riedel R., Müller, E. (2018): *Smart Maintenance für KMUs auf Basis von bedarfsorientiert konfigurierbaren Datenbausteinen*. In: Biedermann, H. (Hrsg.): *Predictive Maintenance - Realität und Vision*. 32. Internationales Forum für industrielle Instandhaltung, Leoben, 10.-11.10.2018. TÜV-Verlag, Köln; ISBN 978-3-7406-0359-5 (print), ISBN 978-3-7406-0366-3 (E-Book).
- Burkhardt, T.; Liebl, S.; Massalsky, K.; Riedel, R.; Wilsky, P.; Göhlert, N.; Prielipp, R. (2018): *Neue Anwendungen für das Innenhochdruckumformen*. In: wt Werkstatttechnik online, Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf, 108 (2018) H. 10, S. 698-702, ISSN: 1436-4980.
- Burkhardt, T.; Liebl, S.; Massalsky, K.; Riedel, R.; Wilsky, P.; Göhlert, N.; Prielipp, R. (2018): *Technologieerschließung des Innenhochdruckumformens für KMU*. In: Hilmer, L.; Mahn, U. (Hrsg.): *Arbeiten und Leben im Umfeld der 4. Industriellen Revolution*. 25. Internationale Wissenschaftliche Konferenz Mittweida, 24.-25. Oktober 2018. Mittweida: Hochschule Mittweida, Wissenschaftliche Berichte, Nr. 3, 2018, S. 259-262, ISSN: 1437-7624.
- Wilsky, P.; Göhlert, N.; Prielipp, R.; Bojko, M.; Riedel, R. (2018): *Datengetriebene Qualitätsoptimierung eines Produktionsprozesses mittels Smart Data Units am Beispiel einer additiven*

Fertigungstechnologie. In: Riedel, R. (Hrsg.): Smarte Produktion und digitale Vernetzung - Vernetzt planen und produzieren - VPP 2018. Chemnitz: TU Chemnitz, Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, Sonderheft 24, S. 27-34, 2018, ISSN 0947-2495.

Löpelt, M.; Wilsky, P.; Ruffert, J.; Göhlert, N.; Prielipp, R.; Riedel, R. (2019): *Sensorauswahl für Bestandsanlagen*. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb: 2019 Vol. 114, No. 5, pp. 273-276. ISSN 0032 – 678X.

Emanuel, C.; Wilsky, P.; Göhlert, N.; Prielipp, R.; Bojko, M.; Riedel, R. (2019): *Formalisierung von Prozesswissen auf Basis einfach zu erfassender Produktions- und Produktdaten mit dem Open Source-Tool KNIME am Beispiel einer additiven Fertigungstechnologie*. In: Riedel, Ralph (Hrsg.): Die hybride Fabrik – menschliche und künstliche Intelligenz im Einklang. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF. - Chemnitz: Eigenverlag, 2019, S. 167 -176, Sonderheft 25, ISSN: 0947-2495.

Weitere Veröffentlichungen aus den Erkenntnissen des Projektes werden vorbereitet.

Vorträge

Nagel, M.; Riedel, R. (2018): *Wahrscheinlichkeitsmodelle für die proaktive Wartung auf Basis flexibel konfigurierbarer Datenbausteine*. 3. Anwenderkonferenz Smart Maintenance für Smart Factories, Dortmund, 22.02.2018.

Emanuel, C. (2020): *Projekt Plug_and_Control*. Vorstellung der Projektergebnisse auf der Virtuellen Abschlussveranstaltung des Projektträgers Karlsruhe (PTKA) im Themenfeld „Technikbasierte Dienstleistungssysteme für den Maschinen- und Anlagenbau“ am 09.07.2020.

Riedel, R. (2020): *KMU-taugliche Lösungsansätze für digitale Dienstleistungen*. Keynote zur Virtuellen Abschlussveranstaltung des Projektträgers Karlsruhe (PTKA) im Themenfeld „Technikbasierte Dienstleistungssysteme für den Maschinen- und Anlagenbau“ am 09.07.2020.

11 Quellenverzeichnis

-
- Adam, P. (2020). Agil in der ISO 9001. Wie Sie Agile Prozesse in Ihr Qualitätsmanagement Integrieren. Wiesbaden.
- Amann, K.; Petzold, J.; Westerkamp, M. (2020). Management und Controlling. Instrumente – Organisation – Digitalisierung – Ziele. Springer: Wiesbaden.
- Aumayr, K. (2016). Erfolgreiches Produktmanagement. Tool-Box für das professionelle Produktmanagement und Produktmarketing. Wiesbaden.
- Bienzeisler, B. (2013). *Hersteller-Services 2022*. Stuttgart
- Blameuser, R.; Galonske, M.; Gehmann, S. (2015). *Gegenwart und Zukunft der technischen Instandhaltung - Die technische Instandhaltung im Zeitalter von Industrie 4.0*.
- Büchs, H. (1986). Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung. Berlin, Heidelberg. S. 19.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Referat Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Industrie 4.0 (2020). *Industrie 4.0 – Innovationen im Zeitalter der Digitalisierung*, Bonn, https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Industrie_4.0.pdf. Letzter Zugriff: 10.08.2020.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). *Erfolgsmodell Mittelstand*. BMWi. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/politik-fuer-den-mittelstand.html>, zuletzt geprüft am 16.09.2020.
- Deutsche Industrie- und Handelskammer (2016). *Wirtschaft digital: Perspektiven erkannt, erste Schritte getan. Das IHK-Unternehmensbarometer zur Digitalisierung*, <https://www.dihk.de/resource/blob/4382/ec1ad2449a3efdbda89e9c3b051c77d0/wirtschaft-digital-perspektiven-erkannt-erste-schritte-getan-data.pdf>. Letzter Zugriff: 08.09.2020.

- Deutsches Institut für Normung e. V. (2019). DIN SPEC 33453. Entwicklung digitaler Dienstleistungssysteme. Berlin
- Ematinger, Reinhard (2018): Von der Industrie 4.0 zum Geschäftsmodell 4.0. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Gassmann, O.; Frankenberger, K. et al. (2017). *Geschäftsmodelle entwickeln*. 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator.
- Gausemeier, J.; Wieseke, J., Echterhoff, B.; Isenberg, L.; Koldewey, C.; Mittag, T.; Schneider, M. (2017). Mit Industrie 4.0 zum Unternehmenserfolg. Integrative Planung von Geschäftsmodellen und Wertschöpfungssystemen. Heinz-Nixdorf-Institut, Universität Paderborn.
- Geisberger, E.; Broy, M. (Eds.). (2015). *Living in a networked world (agendaCPS)*. Berlin.
- Hummel, J. (2018). Erhebung des Status Quo der Geschäftsmodellentwicklung im Zuge der Digitalisierung im mittelständischen Maschinen- und Anlagenbau.
- Icks, A.; Schröder, C.; Brink, S.; Dienes, C. & Schneck, S. (2017). *Digitalisierungsprozesse von KMU im Produzierenden Gewerbe*. In: IfM-Materialien, Institut für Mittelstandsforschung, S. 255.
- Kagermann, H., Riemensperger, F., Hoke, D., u.a. (2014). *Smart Service Welt: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internet-basierte Dienste für die Wirtschaft*. Berlin
- Kaschny, M.; Nolden, M.; Schreuder, S. (2015). Innovationsmanagement im Mittelstand. Strategien, Implementierung, Praxisbeispiele. Wiesbaden.
- Klöber-Koch, J.; Schreiber, M.; Linder, C.; Bömelburg-Zacharias, J.; Reinhart, G. (2019). *Offene, intelligente Services für die Produktion. OpenServ4P am Beispiel der automatisierten, integrierten Qualitätssicherung*. In: wt Werkstattstechnik online, 109(3), S. 116–121.
- KPMG (2020). *Cloud-Monitor 2020 – Die Integrationsfähigkeit und Interoperabilität der Cloud stärken*. Köln. URL: <https://home.kpmg/de/de/home/themen/2020/06/cloud-monitor-2020.html>
- HHL Leipzig Graduate School of Management (2019). *Digitalisierung im sächsischen Mittelstand – Status Quo, Bedarfe und Ableitungen*. Leipzig. URL: <https://www.hhl.de/app/uploads/2019/09/Studie-Digitalisierung-im-s%C3%A4chsischen-Mittelstand.pdf>.

- Lindner, D. (2019). *KMU im digitalen Wandel: Ergebnisse empirischer Studien zu Arbeit, Führung und Organisation*. Wiesbaden. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-24399-9>.
- Maurer, B.; Fiedler, S. (2011). *Innovationsweltmeister*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Osterwalder, Alexander; Pigneur, Yves (2010): *Business model generation*. Ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer. Unter Mitarbeit von J. T. A. Wegberg. 1. Auflage. Frankfurt, New York: Campus Verlag. Online verfügbar unter URL: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=832895>.
- Prielipp, R.; Riedel, R.; Göhlert, N.; Wilsky, P. Philipp Wilsky: Realisierung digitaler Lösungen in produzierenden KMU in *productivity* 23, 2018, S. 21.
- Schuh, G.; Bender, D. (2012). *Strategisches Innovationsmanagement*. Berlin: Springer.
- Talke, K. (2005). *Einführung von Innovationen*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Tao, F.; Qi, Q.; Liu, A.; Kusiak, A. (2018). *Data-driven smart manufacturing*. In: *Journal of Manufacturing Systems*, 48(7), S. 157–169.
- Thom, N.; Müller, R. (2006). *Innovationsförderliche Ausrichtung genereller Führungsinstrumente*. In *Leadership Best Practices und Trends*, Hrsg. Heike Bruch, Stefan Krummaker, Bernd Vogel Wiesbaden: Gabler.
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI): *Statusreport Industrie 4.0 – Technical Assets, Grundlegende Begriffe, Konzepte, Lebenszyklen und Verwaltung*; VDI Verlag; Düsseldorf; November 2015, ISBN 978-3-931384-83-8.
- Wilsky, P.; Göhlert, N.; Prielipp, R.; Bojko, M.; Riedel, R. (2018). *Datengetriebene Qualitätsoptimierung eines Produktionsprozesses mittels Smart Data Units am Beispiel einer additiven Fertigungstechnologie*. In: Riedel, R. (Hrsg.), *Smarte Produktion und digitale Vernetzung*. Fachtagung Vernetzt planen und produzieren – VPP2018 (S. 27-34). TU Chemnitz: Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 24.
- Saam, M.; Viète, S.; Schiel, S. (2016). *Digitalisierung im Mittelstand: Status Quo, aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen*, ZEW, Mannheim