

Methodik eines echtzeitfähigen Feedbackraums für produzierende Unternehmen unter Einbeziehung des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

von der KIT-Fakultät für Maschinenbau
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von

M. Sc. Jana Nadin Deckers (geb. Dücker)

aus Aachen

Tag der mündlichen Prüfung:

09.10.2024

Hauptreferent:
Korreferent:

Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova
Prof. Dr.-Ing. Florian Schupp



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Kurzfassung

Der technologische Wandel stellt produzierende Unternehmen vor eine Reihe von Herausforderungen, wie zum Beispiel Schwierigkeiten bei der Interaktion mit Wertschöpfungspartnern aufgrund von unterschiedlichen Digitalisierungsständen sowie die unzureichende und wenig zielgerichtete, interne Datenerfassung. Bei der Methodik zur Erstellung eines Feedbackraums wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, um die Chancen einer wertschöpfungsübergreifenden, datengetriebenen Vernetzung optimal zu nutzen. Unternehmen erhalten mithilfe dieser Methodik Werkzeuge und Schablonen, die unabhängig von der Branche die einfache Planung, strukturierte Einführung und langfristige Integration von neuen Technologien ermöglichen. Aus diesem Grund ist es nicht ausreichend, dass die Wertschöpfung in Form einer sequenziell angeordneten Kette beleuchtet wird, um die Verankerung von Feedbackmechanismen zu prüfen. Durch die digitale Transformation ist von einem Ökosystem im Sinne eines komplexen Netzwerks auszugehen, bei dem jeder Knoten für einen Wertschöpfungszyklus steht. Die Methodik startet mit der Untersuchung des IST-Zustands von dem jeweiligen Unternehmen und dem entsprechenden Umfeld. Auf dieser Basis werden technologische Potentiale mehrdimensional gegeneinander abgewogen. Es folgt die Konzeption und Umsetzung des Feedbackraums mithilfe von neuen Technologien. Anschließend sind die Integration, Funktionalität und Leistungsfähigkeit ständig zu überwachen. Somit handelt es sich um drei abstrahierte Prozessschritte in einem Zyklus, die langfristig in die Unternehmensprozesse etabliert werden sollen. Die prototypischen Implementierungen in verschiedenen Anwendungsfällen und Expertenbefragungen validieren die verschiedenen Methodenmodule. Durch den zukünftigen Einsatz in weiteren Branchen kann die vorgestellte Methode des Feedbackraums kontinuierlich weiterentwickelt werden, um zukünftig übergreifende Feedbackökosysteme abzubilden.

Abstract

Technological change challenges manufacturing companies. Due to different levels of digitalization and insufficient and poorly pursued internal data collection companies face difficulties in interacting with partners in the value chain. In this thesis, a methodology for creating a feedback space was developed. It uses a holistic approach making the most out of the opportunities offered by cross-value-added, data-driven networking. This methodology provides companies with tools and templates that enable the simple planning, structured introduction, and long-term integration of new technologies. It is not enough to consider value creation as a sequential chain to verify the presence of feedback mechanisms. Due to the digital transformation an ecosystem in the sense of a complex network must be considered. Each node within the network represents a value creation cycle. The methodology starts with an evaluation of the current state of the respective company and the corresponding environment. On this basis, technological potentials are considered in a multidimensional way. This is followed by the design and implementation of the feedback space using new technologies. Integration, functionality and performance must then be constantly monitored. This involves three abstracted process steps in one cycle, which are to be established in the company processes in the long term. The prototype implementations in various use cases and expert surveys validate the various method modules. Through future use in other sectors, the presented feedback space method can be continuously developed further to map comprehensive feedback ecosystems in the future.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	iii
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xiii
Abkürzungsverzeichnis	xv
Vorwort der Verfasserin	xix
1 Einleitung	21
1.1 Motivation und Ausgangslage.....	21
1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage.....	22
1.3 Aufbau der Arbeit	23
2 Theoretische Grundlagen	25
2.1 Begrifflichkeiten	25
2.1.1 Product Lifecycle Management	25
2.1.2 Digitale Fabrik und digitaler Zwilling	29
2.1.3 Key Performance Indicator	30
2.2 Grundlegende Ansätze und Methodiken in der produzierenden Industrie	30
2.2.1 Produkt-Prozess-Ressourcen-Perspektiven.....	30
2.2.2 Mensch-Technik-Organisations-Ansatz.....	31
2.2.3 Automatisierungspyramide	32
2.3 Etablierte Methoden der Wirtschaftlichkeit und der Nutzenermittlung	33
2.3.1 Qualitative Ansätze.....	35
2.3.2 Quantitative Messung	35
2.3.3 Klassifizierung und Standards von KPIs für das Controlling im industriellen Kontext ..	40
2.4 Subjektorientierte Prozessmodellierung mit PASS	40
2.4.1 Subjekt-Interaktions-Diagramm.....	41
2.4.2 Subjekt-Verhaltens-Diagramm	42
2.5 Zusammenfassung.....	43
3 Stand der Technik in der Wissenschaft und Wirtschaft	44
3.1 Dimensionen des Feedbackmanagements	44
3.1.1 Interaktionen mit Kunden	44
3.1.2 Interaktionen mit Wertschöpfungspartnern.....	45
3.1.3 Interaktionen im Unternehmen zwischen Mensch, Maschine und System	46
3.2 Entwicklung von Mensch und Technologie in der digitalen Fabrik.....	48
3.2.1 Technologiefelder der digitalen Fabrik in der Industrie 4.0.....	48
3.2.2 Mensch im Wandel der Produktion.....	50
3.3 Wertschöpfungsübergreifende Netzwerke, Plattformen und Forschungen	51
3.3.1 Standardisierte Datenformate und -austausch im industriellen Kontext	52
3.3.2 Politische Bestrebungen zur Verbesserung der datenbasierten Zusammenarbeit	55
3.3.3 Internationale Forschung zum Austausch von Informationen in der Industrie	61

3.4	Technologie- und Digitalisierungsanalysen für produzierende Unternehmen.....	68
3.5	Herleitung der Forschungsfragen	71
3.6	Zusammenfassung	72
4	Kontextanalyse der Möbelbranche für Anforderungen an Feedbacksysteme	74
4.1	Herausforderungen in der Möbelbranche	74
4.1.1	Qualitative Erfassung	75
4.1.2	Quantitative Erfassung	77
4.2	Anforderungen an eine neue Methodik	81
4.3	Zusammenfassung	82
5	Vorstellung der Methodik des Feedbackraums	83
5.1	Übergeordneter Lösungsansatz und Zusammenhang der Methodenbestandteile	83
5.1.1	Einordnung in den Produktlebenszyklus	85
5.1.2	Rollen und Akteure der Methodik.....	86
5.2	Detaillierte Erläuterung der Methodik.....	87
5.2.1	Potentialanalyse relevanter Feedbackmechanismen.....	87
5.2.2	Beschreibung und Aufbau des Feedbackraums.....	116
5.2.3	Umsetzung und KPI-basiertes Monitoring.....	129
5.3	Zusammenfassung	149
5.3.1	Wissenschaftlicher Beitrag der Methodik	149
5.3.2	Nutzen für die Industrie.....	150
6	Validierung der Methodik	151
6.1	Validierungsdesign und -historie.....	151
6.2	Anwendung des Feedbackraums für die Möbelbranche.....	153
6.2.1	Motivation des Möbelbranchen-Anwendungsfalls.....	153
6.2.2	Umsetzung der Anwendungsfälle aus der Möbelbranche	154
6.2.3	Bewertungen der Anforderungen für die Anwendungsfälle aus der Möbelbranche	163
6.3	Anwendung des Feedbackraums für Closed Loop Engineering in der Produktionsplanung.....	166
6.3.1	Motivation und Ausgangslage des Anwendungsfalls.....	166
6.3.2	Umsetzung des Anwendungsfalls aus dem Maschinenbau	167
6.3.3	Bewertung des Closed-Loop-Engineering-Anwendungsfalls	173
6.4	Teilvalidierung der Potentialanalyse mit Expertenbefragung.....	177
6.4.1	Anforderungen an die Potentialanalyse abgeleitet aus vorheriger Validierung.....	177
6.4.2	Expertenbefragung und Auswertung.....	178
6.4.3	Bewertung der Potentialanalyse und Verbesserungen.....	180
6.5	Zusammenfassung und Fazit	181
7	Zusammenfassung und Ausblick	182
7.1	Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit	182
7.2	Ausblick und Möglichkeiten zur Weiterentwicklung	183
8	Literaturverzeichnis	185
9	Anhang	200
9.1	Fragen und Ergebnisse der Online-Befragung zur Digitalisierung in der Möbelbranche.....	200
9.1.1	Eingruppierung und Einstiegsfragen	200
9.1.2	Händler.....	204
9.1.3	Hersteller.....	207
9.1.4	Endkunden	209
9.2	Fragen und Auswertungstabellen zu der Potentialanalyse.....	215

9.2.1 Fragebogen zur Potentialanalyse.....	215
9.2.2 Zuordnung und Gewichtung von Fragen zu Determinanten	223
9.2.3 Abhängigkeitsmatrix von Determinanten zu Technologie- sowie Potentialfeldern.....	226
9.3 Glossar für den Feedbackraum.....	228
9.4 Framework aus FURNeCorp-Projekt.....	230

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Übersicht über die Rahmenbedingungen, Forschungsfragen und Ziele der Arbeit	22
Abbildung 1-2: Aufbau und Kapitelstrukturierung der Arbeit.....	24
Abbildung 2-1: Zuordnung von IT-System-Typen zu den Phasen des Produktlebenszyklus (in Anlehnung an (Gottmann, 2019, S. 79)).....	26
Abbildung 2-2: Strategieplanung nach Pawellek (in Anlehnung an (Pawellek, 2014)).....	28
Abbildung 2-3: Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation unter Beachtung von Rahmenvorgaben (in Anlehnung an (Hirsch-Kreinsen & Hompel, 2020, S. 363))	32
Abbildung 2-4: Automatisierungspyramide der industriellen Fertigung (in Anlehnung an (Roth, 2016, S. 49))	33
Abbildung 3-1: Technologiefelder und Beispieltechnologien im Kontext an Industrie 4.0 (angelehnt an (Bischoff et al., 2015, S. 18)).....	49
Abbildung 3-2: Vier Dimensionen im Wandel der Arbeitswelt.....	50
Abbildung 3-3: Nach dem MTO-Ansatz klassifizierte Kriterien zur Veränderung der Arbeitswelt.....	51
Abbildung 3-4: Rollenbasierte Hierarchie bezogen auf die MOM-Level basierend auf dem IEC 62264 (frei übersetzt in Anlehnung an (IEC 62264, 2003, S. 25; ISO 22400-1, 2014))	55
Abbildung 3-5: Veranschaulichung des Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (Dietel et al., 2017)	57
Abbildung 3-6: Visualisierung des Gaia-X Ökosystem (Gaia-X, 2022, S. 7)	59
Abbildung 3-7: Hierarchische Struktur von der Fabrik, dem Prozess und den Objekten im Zusammenhang mit Industrie 4.0 (in Anlehnung an (Shafiq et al., 2016, S. 37)).....	63
Abbildung 4-1: Nennungen der Vorteile von der Digitalisierung der sechs Teilnehmer.....	76
Abbildung 4-2: Struktur der Online-Befragung abhängig von der Zielgruppe in der Möbelbranche	78
Abbildung 4-3: Gruppierung der Befragungsteilnehmer in der Möbelbranche [n=54]	78
Abbildung 4-4: Auswertung zur Nennung der größten Hindernisse bei der Digitalisierung innerhalb und zwischen Unternehmen für Hersteller und Händler aus der Möbelbranche [n=27].....	79
Abbildung 4-5: Auswertung zur Nutzung von Technologien für den Dokumentenaustausch beim Wareneingang [n=27]	80
Abbildung 5-1: Visualisierung eines digitalen Ökosystems (grünes Netz) bestehend aus spezifischen Wertschöpfungsketten (oranger Zyklus).....	84
Abbildung 5-2: Vorgehen zur unternehmensspezifischen Implementation und Nutzung eines Feedbackraums	84
Abbildung 5-3: Einordnung von Feedback-Akteuren.....	86
Abbildung 5-4: Übersicht der Elemente der Potentialanalyse	88
Abbildung 5-5: Vergleich der Vorgehensweisen dieser und bestehender Potentialmodelle.....	92
Abbildung 5-6: KPI-Kategorien und Cluster für die Bestimmung der Wirkungsebene	93
Abbildung 5-7: Vorlage zur groben Ziel- und Messdefinition für die Wirkungsbereiche unter Beachtung der Wirkungszeit.....	94
Abbildung 5-8: Ergebnisse der Analyse-Bausteine basierend auf den drei Analyse-Ebenen	94
Abbildung 5-9: Überblick über die Positionsbestimmung im Rahmen der Potentialanalyse	95

Abbildung 5-10: Vorgehen bei der Auswertung der Potentialanalyse-Antworten mit Betrachtung der Auswirkung auf die Methodik	96
Abbildung 5-11: Überblick über die Determinantenanalyse im Rahmen der Potentialanalyse	108
Abbildung 5-12: Überblick über die Wirkungsebenenfestlegung im Rahmen der Potentialanalyse	109
Abbildung 5-13: Einordnung der Ableitung von möglichen Feedback-Komponenten basierend auf den Analyse-Ergebnissen in die Methodik	110
Abbildung 5-14: Visualisierungsmöglichkeiten des einfachen Kostenverlaufs	113
Abbildung 5-15: Visualisierungsmöglichkeit der besonders relevanten Nutzwerte für drei konstruierte Alternativen	114
Abbildung 5-16: Gegenüberstellung von Kapital- und Nutzwert (KaNu-Wert) von drei konstruierten Alternativen	114
Abbildung 5-17: Beispielhafte Visualisierung des WARS-Modells für Alternative A und C	115
Abbildung 5-18: Überblick über die Wirtschaftlichkeitsanalyse der möglichen Feedback-Komponenten	116
Abbildung 5-19: S-BPM-Interaktionsdiagramm zur Darstellung der Nachrichtenflüsse in einem Feedbackraum	117
Abbildung 5-20: Beziehungen von Feedback-Akteuren und –Komponenten im Feedbackraum	119
Abbildung 5-21: Subject Behaviour Diagram des Feedback-Initiators.....	120
Abbildung 5-22: Subject Behaviour Diagram des Feedback-Eigentümers.....	122
Abbildung 5-23: Subject Behaviour Diagram des Feedback-Gebers.....	123
Abbildung 5-24: Subject Behaviour Diagram des Feedback-Erfassers	124
Abbildung 5-25: Technischer Aufbau des Feedbacksystems.....	125
Abbildung 5-26: Abbildung des Feedback-Datenmodells	126
Abbildung 5-27: Clustering der KPI-Kategorien Mensch, Technik und Organisation	130
Abbildung 5-28: Retail Experience und Customer Journey Management (in Anlehnung an (Grewal & Roggeveen, 2020, S. 6)).....	136
Abbildung 5-29 Vergleich der Methodik zum Aufbau eines Feedbackraums und dem klassischem Vorgehen im Projektmanagement (Heigl, 2014, S. 173 ff).....	150
Abbildung 6-1: Verordnung der Anwendungsfälle für die Validierung in der Methodik	151
Abbildung 6-2: Funktionsmodule des Feedback-Frameworks im Rahmen des Projektes FURNeCorp (01MS14003A).....	154
Abbildung 6-3: Adaptierte Systemarchitektur für den Anwendungsfall der Möbelbranche	155
Abbildung 6-4: Übersicht über webbasierte Oberfläche des Feedback-Managers und Workflow-Managers im Forschungsprojekt FURNeCorp (01MS14003A)	156
Abbildung 6-5: Formulierung einer Feedback-Definition im FURNeCorp-Framework (01MS14003A)	156
Abbildung 6-6: Darstellung von beispielhaften Feedback-Kampagnen im Rahmen des FURNeCorp- Projektes	157
Abbildung 6-7: Beispielhafte Auswertungsmöglichkeiten des Feedback-Managers im Rahmen des FURNeCorp-Projektes (01MS14003A).....	158
Abbildung 6-8: Shop-in-Shop-Fläche im Verkaufsraum konzipiert durch das BMWi-geförderte FURNeCorp-Projekt (01MS14003A).....	158
Abbildung 6-9: Dashboard aus dem Projekt FURNeCorp über Produktkonfiguratoren (01MS14003A)	159

Abbildung 6-10: Ablauf einer Anlageumplanung mittels digitalen Zwillings nach dem Closed-Loop-Ansatz	167
Abbildung 6-11: VR-gestützte Simulation des Closed-Loop-Engineerings in der Engine Unity	168
Abbildung 6-12: Ablaufdarstellung des Anwendungsfalls des Closed-Loop-Engineering	168
Abbildung 6-13: Aufbau der virtuellen Fabrik für den Anwendungsfall des Closed-Loop-Engineering ..	169
Abbildung 6-14: Anlegen der Fabrik im Feedback-Manager bestehend aus Ressourcen, Skills und der Schnittstellen	170
Abbildung 6-15: Technische Infrastruktur und Datenflüsse des Anwendungsfalls Closed-Loop-Engineering	171
Abbildung 6-16: Darstellung des Dashboards zur laufenden Produktion	172
Abbildung 9-1: Importfunktion von Katalogdaten der Möbelprodukte	230
Abbildung 9-2: Importfunktion von bestehender Feedback-Definitionen und -Kampagnen.....	230
Abbildung 9-3: Erstellen einer Hierarchie zur Strukturierung von Feedback-Definitionen	231
Abbildung 9-4: Festlegung von allgemeinen Informationen innerhalb einer Feedback-Definition.....	231
Abbildung 9-5: Festlegung von allgemeinen Informationen innerhalb einer Feedback-Definition mit Fokus auf Trigger-Typen.....	232
Abbildung 9-6: Festlegung von Antworten innerhalb einer Feedback-Definition.....	232
Abbildung 9-7: Festlegung von Produktabhängigkeit innerhalb einer Feedback-Definition.....	233
Abbildung 9-8: Festlegung des Kundenprofils innerhalb einer Feedback-Definition	233
Abbildung 9-9: Auswahl von Prozessschritte innerhalb einer Feedback-Definition	234
Abbildung 9-10: Auswahl von Ressourcen innerhalb einer Feedback-Definition.....	234
Abbildung 9-11: Bearbeitung von bereits erstellten Feedback-Definitionen.....	235
Abbildung 9-12: Anlegen von Feedback-Kampagnen.....	235
Abbildung 9-13: Zuordnung von Feedback-Definitionen zu einer Feedback-Kampagne	236
Abbildung 9-14: Hochladen der Feedback-Definitionen und -Kampagnen zur Weiterverarbeitung.....	236

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Schritte der Projektplanung mit möglichen Methodenwerkzeugen (Heigl, 2014, S. 173 ff) ..	29
Tabelle 2-2: Unterteilung von Nutzenkategorien bei Investitionen (Nagel, 1990)	34
Tabelle 2-3: Übersicht über Kostenkategorien bei einmaligen Kosten (Dücker, 2015)	34
Tabelle 2-4: Übersicht über Kostenkategorien bei laufenden Kosten (Dücker, 2015)	34
Tabelle 2-5: Dimensionen der Qualität nach Garvin (1984)	36
Tabelle 2-6: Beispiel für die Bewertungen in Realisierungskategorien	37
Tabelle 2-7: Mögliche Aufteilung der Nutzenmatrix (Nagel, 1990)	37
Tabelle 2-8: Elemente eines Subjekt-Interaktions-Diagramms (Elstermann, 2019, S. 85)	42
Tabelle 2-9: Elemente eines Subjekt-Verhaltens-Diagramms (Elstermann, 2019, S. 88)	43
Tabelle 3-1: Auszug von Standards und Normen für Geschäftsprozesse, Produktion und Gebäudeautomation	54
Tabelle 3-2: Vergleich von Projekten und Richtlinien zum Austausch von Produktdaten zwecks Steigerung der Nachhaltigkeit	67
Tabelle 3-3: Gegenüberstellung der Kernaspekte von verschiedenen Potentialanalysen für produzierende Unternehmen	71
Tabelle 4-1: Inlands- und Auslandsumsatz der Möbelindustrie für Betriebe mit 50 und mehr Beschäftigten (¹ Anteil des Auslandsumsatz am Gesamtumsatz in %) (Vincentz Network, 2024)	74
Tabelle 4-2: Unternehmens- und Teilnehmenden-Beschreibung der Telefonbefragung zum Potential der Digitalisierung in der Möbelbranche	75
Tabelle 4-3: Zusammenfassung der Anforderungen an eine Methodik mit der Einstufung der Relevanz (Kann, Soll, Muss)	82
Tabelle 5-1: Determinantenbeschreibung mit Beispielen und Umfang der Messung aus der Kategorie der Produkte	90
Tabelle 5-2: Determinantenbeschreibung mit Beispielen und Umfang der Messung aus der Kategorie der internen Ressourcen	91
Tabelle 5-3: Determinantenbeschreibung mit Beispielen und Umfang der Messung aus der Kategorie der Prozesse der Wertschöpfungskette	92
Tabelle 5-4: Determinanten-Werte des Technologiefelds Kommunikation mit Ausprägungen zwischen [- 1,1]	99
Tabelle 5-5: Determinanten-Werte des Technologiefelds Mensch-Maschinen-Schnittstellen mit Ausprägungen zwischen [-1,1]	102
Tabelle 5-6: Determinanten-Werte des Technologiefelds Software/System-Technik mit Ausprägungen zwischen [-1,1]	104
Tabelle 5-7: Determinanten-Werte des Technologiefelds Sensorik, Aktorik und Eingebettete Systeme mit Ausprägungen zwischen [-1,1]	105
Tabelle 5-8: Kostenkategorien und -faktoren von einmaligen Kosten	112
Tabelle 5-9: Kostenkategorien und -faktoren von laufenden Kosten	112
Tabelle 5-10: Arten der Feedback-Erfassung je nach Perspektive	118
Tabelle 5-11: Technische Beschreibung der Feedback-Kampagne	127

Tabelle 5-12: Technische Beschreibung der Feedback-Definition	127
Tabelle 5-13: Technische Beschreibung der Feedbacktypen „indirekt“ und „direkt“.....	128
Tabelle 5-14: Technische Beschreibung der verschiedenen Antworttypen bei einem direktem Feedback	128
Tabelle 5-15: Beispiele möglicher Trigger in dem Fall einer Nutzeroberfläche als Feedback-Erfasser..	129
Tabelle 5-16: Beispiele möglicher Indikatoren in dem Fall einer Nutzeroberfläche als Feedback-Erfasser	129
Tabelle 5-17: KPI-Cluster Mitarbeiter aus der KPI-Kategorie Mensch.....	133
Tabelle 5-18: KPI-Cluster Partner aus der KPI-Kategorie Mensch	135
Tabelle 5-19: KPI-Cluster Kunden aus der KPI-Kategorie Mensch	138
Tabelle 5-20: KPI-Cluster Kommunikation aus der KPI-Kategorie Technik	141
Tabelle 5-21: KPI-Cluster Mensch-Maschinen-Schnittstellen aus der KPI-Kategorie Technik	143
Tabelle 5-22: KPI-Cluster Software & Systemtechnik aus der KPI-Kategorie Technik	146
Tabelle 5-23: KPI-Cluster Sensorik, Aktorik & Eingebettete Systeme aus der KPI-Kategorie Technik.	148
Tabelle 6-1: Schwerpunkt der Validierung je Anwendungsfall in Bezug auf die Methodenbausteine	152
Tabelle 6-2: Zuweisung der Rollen in einem Feedbackraum für den Anwendungsfall der Produktkonfigurationsoptimierung	159
Tabelle 6-3: Relevante Zielgrößen der KPI-Kategorien für den Produktkonfigurations-Anwendungsfall	160
Tabelle 6-4: Zuweisung der Rollen in einem Feedbackraum für den Anwendungsfall der Reklamation in der Möbelbranche	162
Tabelle 6-5: Relevante Zielgrößen der KPI-Kategorien für den Reklamations-Anwendungsfall.....	163
Tabelle 6-6: Bewertung der Anforderungen mit anwendungsspezifischer Gewichtung und entsprechend gewichtetem Validierungsergebnis für die Möbelbranchen-Anwendungsfälle	165
Tabelle 6-7: Zuweisung der Rollen in einem Feedbackraum für den Anwendungsfall des Closed-Loop-Engineering.....	171
Tabelle 6-8: Relevante Zielgrößen der KPI-Kategorien für den Closed-Loop-Engineering-Anwendungsfall	173
Tabelle 6-9: Auswertung der KPIs nach der Umsetzung des Closed-Loop-Engineering-Anwendungsfalls mit der Einordnung des Ausmaßes nach einem Ampelsystem (rot – schlecht, orange – mittel, grün – gut)	175
Tabelle 6-10: Bewertung der Anforderungen mit anwendungsspezifischer Gewichtung und entsprechend gewichtetem Validierungsergebnis für den Closed-Loop-Anwendungsfall	177
Tabelle 6-11: Charakterisierung der Teilnehmenden und deren Unternehmen im Rahmen der Expertenbefragung.....	178
Tabelle 6-12: Zusammenfassung der Teilvalidierung durch Expertenbefragung für die Potentialanalyse	181
Tabelle 9-1: Übersicht über die Zuordnung der Frage zu Determinanten-Kategorien.....	223
Tabelle 9-2: Überblick über die Umrechnungsfunktionen (Fragebogenwert → Item für Determinantenkategorie) der Antwortmöglichkeiten aus der Potentialanalyse für die Determinantenbestimmung	223
Tabelle 9-3: Begriffe im Feedbackraum	229

Abkürzungsverzeichnis

B

B2B	Buisness-to-Buisness
BfQ	Bündnis für Qualität
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BSC	Balanced Scorecard

C

CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CAPP	Computer-Aided Process Planning
CNC-Programmierung	Computer Numerical Control Programmierung
CPPS	Cyber Physical Production Systems
CPS	Cyber Physical System
CRM	Customer Relationship Management

D

DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
DPP	digitaler Produktpass

E

EK	Europäische Kommission
ERP	Enterprise Resource Planning
ESPR	Ecodesign for Sustainable Product Regulation

F

FBO	Feedback-Bezugsobjekt
-----	-----------------------

H

HMI	Human-Machine Interface
-----	-------------------------

I

IEC	International Electronical Commission
-----	---------------------------------------

K

KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KPI	Key Performance Indicator

M

M2M	Machine-to-Machine
MES	Manufacturing Execution System
MOM	Manufacturing Operations Management
MTO-Ansatz	Mensch-Technik-Organisations-Ansatz

O

OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
--------	---

P

PASS	Parallel Activity Specification Scheme
PCDS	Product Circularity Data Sheet
PDM	Product Data Management
PI Performance Indicator	
PLM	Product Lifecycle Management
PPR	Produkten, Prozessen und Ressourcen
PPR-Modell	Produkt-Prozess-Ressourcen-Modell
PPS-System	Produktionsplanungs- und Steuerungssystem

R

RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
RFID	Radio-Frequency Identification
RL-Kennzahlensystem	Rentabilitäts-Liquiditäts-Kennzahlensystem
ROI	Return of Investment
RTMIIS	Real-time Manufacturing Information Integration Service

S

SBD	Subjekt-Verhaltens-Diagramm (englisch: Subject-Behaviour-Diagram)
S-BPM	Subject-oriented Business Process Management
SCM	Supply Chain Management
SID	Subjekt-Interaktions-Diagramm (englisch: Subject-Interaction-Diagram)
SOA	Service-Oriented-Architecture
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung

V

VEO	Virtual Engineering Object
VEP	Virtual Engineering Process

VFDM
VFF

Virtual Factory Data Model
Virtual Factory Framework

X

XML

Extensible Markup Language

Vorwort der Verfasserin

Viele Jahre lang hatte ich die Abgabe meiner Dissertation als Ziel vor Augen. Es hat mich zeitweise angetrieben, motiviert, aber auch zweifeln lassen. Doch Aufgeben war zu keiner Zeit eine wirkliche Option. Das liegt auch an der großartigen Unterstützung von meiner Familie, Freunden, Kollegen und Vorbildern. In diesem Rahmen möchte ich mich aus tiefsten Herzen bedanken.

Bereits in meiner Studentzeit war Frau Prof. Ovtcharova ein inspirierendes Vorbild für mich. Durch ihre Arbeit vermittelt sie nicht nur Inhalte, sondern zeichnet Visionen, die sie mit ihrem Engagement und ihre Begeisterung in die Welt trägt. Im Laufe der Jahre ist sie für mich eine wichtige Wegbegleiterin geworden, die mich zur jeder Zeit unterstützt und gestärkt hat. Ein herzliches Dankeschön gilt auch Herrn Prof. Schupp für die wissenschaftliche Betreuung. Er gab mir durch tiefgehende Fragen und konstruktive Kritik eine neue Perspektive auf meine bisherige Arbeit.

Meine ehemalige Betreuerin, Kollegin und Freundin Polina Häfner hat mir einen großen Anstoß ganz zu Beginn meiner wissenschaftlichen Laufbahn gegeben. Sie vermittelte mir wichtige Grundlagen, schrieb mit mir die ersten Veröffentlichungen und unterstützt mich bis heute. Ein besonderer Dank geht auch an meine Kolleginnen und Kollegen am FZI Forschungszentrum Informatik, die mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben. Die großartige Zusammenarbeit gab mir sowohl fachliche als auch persönliche Unterstützung.

Ich habe Glück, dass meine wundervolle, gesamte Familie in den vielen Jahren meinen Rücken gestärkt hat. Insbesondere meine Mutter Anke ist und war meine Krisenmanagerin und hat mich in so vielen Hinsichten gestärkt, dass ich kaum die richtigen Worte finden kann! Ich möchte mich für die Aufmunterungen, bedingungslose Liebe und die viele Zeit für das Korrekturlesen bedanken. Zudem haben mein Ehemann Danny und mein Schwiegervater Willi mit viel Hingabe das Lektorat übernommen. Zuletzt möchte ich noch meinen großartigen Kindern danken. Durch sie habe ich gelernt, dass es einen großen Unterschied zwischen *wichtig* und *dringend* gibt. Damit wurde meine Beurteilung von Prioritäten völlig auf den Kopf gestellt. Sie haben mir die Augen für eine neue Perspektive von Kreativität, Denkweisen und Unbeschwertheit geöffnet.

Abschließend möchte ich allen danken, die auf irgendeine Weise zu dieser Arbeit beigetragen haben und deren Namen ich hier nicht genannt habe. Jeder von euch hat auf seine Weise dazu beigetragen, dass diese Dissertation verwirklicht werden konnte.

Eschweiler, im Juli 2024

Jana Nadin Deckers

1 Einleitung

Diese Dissertation widmet sich der Entwicklung einer Methodik für ein branchenunabhängiges Feedbacksystem, welches unter Einbeziehung des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks neue Perspektiven für effiziente und datenbasierte Zusammenarbeit eröffnet. Im Folgenden wird die Ausgangslage sowie Motivation näher erläutert. Darauf baut die Zielsetzung und Vorstellung der Forschungsfragen auf. Das Kapitel endet mit der Beschreibung und Visualisierung des Aufbaus dieser Arbeit.

1.1 Motivation und Ausgangslage

Digitalisierung, Vernetzung, Plattformen, Datenräume und Ökosysteme sind die Schlagworte der letzten Jahrzehnte in der produzierenden Industrie. Die globale Entwicklung des Wettbewerbs setzt damit insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die oftmals kundenindividuelle Produkte anbieten, vor technische, organisatorische und prozessbedingte Herausforderungen. Durch die Digitalisierung entstehen neue Dynamiken innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerks, welche die Einbindung von unterschiedlichen Stakeholdern notwendig macht. Die daraus resultierenden divergenten Interessen erschweren die Harmonisierung von Geschäftsprozessen und gemeinsamer Zielerreichung. Dabei weisen die Unternehmen unterschiedliche Digitalisierungszustände auf. Zwischen dem vernetzten Einsatz von digitalen Systemen bis hin zur Nutzung von veralteten, analogen Methoden findet man die unterschiedlichsten Ausprägungen in einem Netzwerk. Diese Medienbrüche reduzieren die Transparenz und Effizienz von Prozessen und führen oft zu Fehlern, weiteren Interaktionszyklen zur manuellen Informationseinholung und damit zu Verzögerungen bis hin zum Endkunden.

Auch intern stehen Unternehmen vor der Herausforderung durch den technologischen Fortschritt komplexe Systeme zu entwickeln und in ihre bestehende Infrastruktur zu integrieren. Durch den daraus resultierenden stetig wachsenden Automatisierungsgrad in der Fertigung und der damit einhergehenden Notwendigkeit von Datenverarbeitung steigen insbesondere die Anforderungen an das gesamte technische Umfeld der produzierenden Unternehmen. Im Kontrast zur Serienfertigung ist der Informationsfluss zwischen den beteiligten KMU durch die Individualität jeder einzelnen Entwicklung von kundenspezifischen Lösungen mit geringen Losgrößen bis hin zur Losgröße 1 überwiegend manuell geprägt. Ebenso wie die oftmals manuelle oder individuelle Fertigung werden die strategischen Entscheidungsprozesse in diesen Unternehmen wenig strukturiert durchgeführt. Die Unternehmensleitung entscheidet oftmals aufgrund von Erfahrungen und nicht durch die systematische Erfassung und Analyse von Daten, die eine vorab erfolgte Zieldefinition voraussetzt. Ohne eindeutige Definition einer Datenerfassung und -analyse kann das Potential von datenbasierten Entscheidungen nicht vollkommen ausgenutzt werden.

Demnach benötigen Unternehmen Methodiken sowie die Fähigkeit aus den Daten der einzelnen Prozessschritte des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks einen zusätzlichen Wert bezüglich der Bestell-, Entwicklungs-, Produktions- und Logistikprozesse zu generieren. Damit sollen die Produkte, Prozesse und Ressourcen optimiert und ihr Einsatz bzw. Durchführung flexibilisiert werden, um letztlich den Kundennutzen zu maximieren. Insbesondere für die Entwicklung und Fertigung kundenindividueller Produkte, bei denen die Anzahl der Varianten im Verhältnis zu den produzierten Stückzahlen sehr hoch ist, ist eine hohe Flexibilisierung der Entwicklung und der mit der Produktion sowie dem Vertrieb verbundenen, bislang stark manuell geprägten Prozesse essenziell. Hierzu muss sowohl eine inner- als auch außerbetriebliche Vernetzung innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerks erreicht werden.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Für produzierende Unternehmen mit kundenindividuellen Produkten wurden vier Herausforderungen benannt, die in Abbildung 1-1 visualisiert sind. Durch die Weiterentwicklung von Feedbackmanagement soll diesen Herausforderungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit begegnet werden. Dabei stellt Feedbackmanagement eine wesentliche Grundlage für Management-Entscheidungen über industrielle Produkt-Service-Systeme dar:

1. Definition: Feedbackmanagement

Es umfasst die Sammlung und Auswertung von kontextbezogenen Informationen, die objektiv aus Datenbeständen oder subjektiv aus direkten Kundenbefragungen gewonnen werden (Aidi et al., 2017, S. 35).

In der vorliegenden Arbeit soll ein lebenszyklus-orientiertes Feedback-Management-Ökosystem entwickelt werden, welches in der Lage ist, wertschöpfungsübergreifende Aspekte zu berücksichtigen und eine Optimierung kundenbezogener Geschäftsprozesse zu ermöglichen. Neben der Möglichkeit verbesserte, kundenindividuelle Produkte für den Endkunden durch eine aussagekräftige Datengrundlage anzubieten, bringt die durchgängige Vernetzung im B2B-Bereich einen großen Mehrwert. Die Art der Abwicklung von Aufträgen und die Möglichkeit relevante Informationen in Echtzeit bereitzustellen, vereinfacht den Ausbau von neuen Geschäftsmodellen zwischen Herstellern, Händlern, Zulieferern und weiteren Geschäftspartnern, von denen der Endkunde profitiert. Damit werden sowohl Produkte, Prozesse und Ressourcen optimiert.

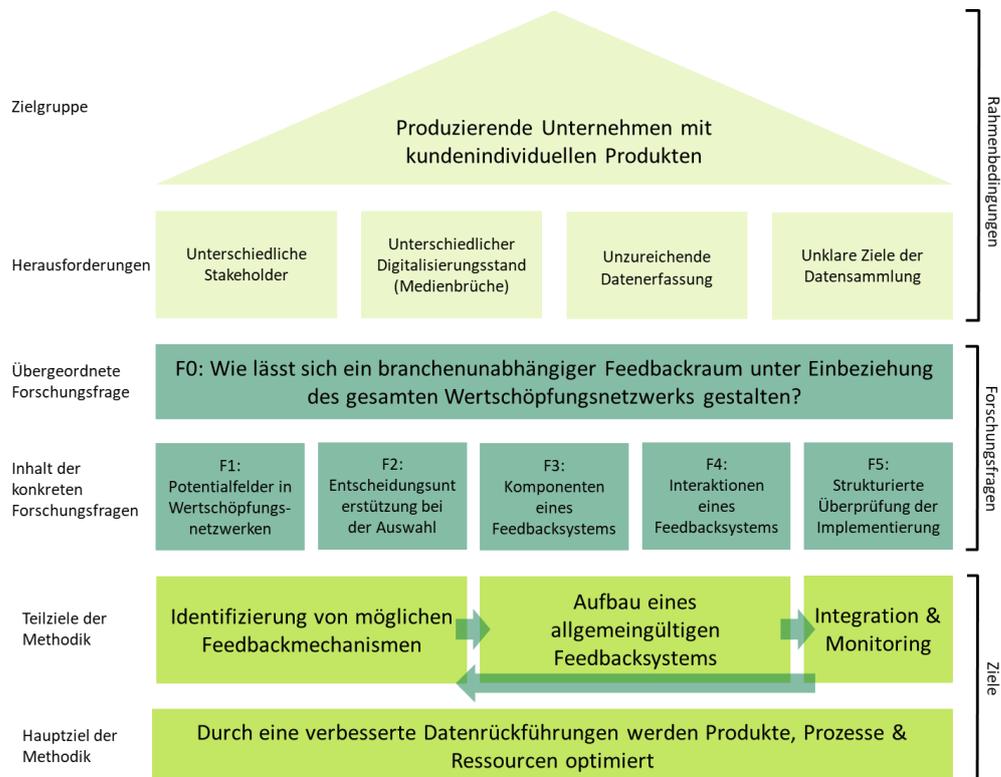


Abbildung 1-1: Übersicht über die Rahmenbedingungen, Forschungsfragen und Ziele der Arbeit

Aus dieser Überlegung und Zieldefinition ergibt sich folgende zentrale Forschungsfrage:

F0: Wie lässt sich ein branchenunabhängiger Feedbackraum gestalten, der für produzierende Unternehmen unter Einbeziehung des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks eine nachhaltige Optimierung von Produkt, Prozess und Ressourcen ermöglicht?

Dazu ist im ersten Schritt die Entwicklung von Methoden zur Identifizierung von unternehmensbezogenen Potentialfeldern für das Feedbackmanagement notwendig. Dabei sind neben technischen und wirtschaftlichen Perspektiven auch die Veränderung des Arbeitsumfelds zu beachten. Somit kann die zentrale Forschungsfrage durch eine spezifische konkretisiert werden:

F1: Wie kann ein Unternehmen anhand seiner spezifischen Eigenschaften technische Potentialfelder für Feedback-Mechanismen identifizieren?

Gelingt es verschiedene Potentialfelder und unterschiedliche Feedback-Mechanismen zu identifizieren, müssen diese weiter spezifiziert werden, um einen systematischen und tiefgehenden Vergleich sowie eine Priorisierung zu gewährleisten. Daher ergibt sich folgende Frage:

F2: Wie können unterschiedliche Feedback-Mechanismen durch verschiedene Perspektiven verglichen werden?

Basierend auf diesen Ergebnissen soll mithilfe einer Methodik die Rückführung von Informationen aus unterschiedlichen Prozessschritten erleichtert und eine Verbesserung nach dem Produkt-Prozess-Ressourcen-Ansatz ermöglicht werden. In diesem Datenraum sind die verschiedenen Akteure als auch deren Interaktionen entscheidend. Dies führt zu zwei weiteren Forschungsfragen:

F3: Welche Komponenten und zugehörigen Beziehungen existieren in einem allgemeingültigen Feedbacksystem?

F4: Welche Kommunikation und Interaktion finden in einem Feedbacksystem statt?

Die erfolgreiche Umsetzung eines Datenraums zum Zweck des Feedbackaustausches sollte kontinuierlich überwacht werden. Dafür bedarf es Methoden und ein anwendungsunabhängiges Vorgehen zur strukturierten Überwachung des Aufbaus und Betriebs von Feedbacksystemen, wodurch sich die letzte Forschungsfrage ergibt:

F5: Kann die Überwachung eines Feedbacksystems anwendungsunabhängig strukturiert werden?

1.3 Aufbau der Arbeit

Grundlegende Begrifflichkeiten und Modelle für produzierende Unternehmen in einem Wertschöpfungsnetzwerk, etablierte Methoden der Wirtschaftlichkeitsmessung sowie subjektorientierte Prozessmodellierung werden in *Kapitel 2 Theoretische Grundlagen* definiert. Die in dieser Arbeit entwickelte Methodik des echtzeitfähigen Feedbackraums baut auf aktuellen Forschungsergebnissen aus dem Feedbackmanagement (*Kapitel 3.1*) und der digitalen Fabrik (*Kapitel 3.2*) auf. Darüber hinaus sind wertschöpfungsübergreifenden Plattformen (*Kapitel 3.3*) und existierende Potentialanalysen (*Kapitel 3.4*) für das Verständnis der angestrebten Methodik relevant.

Um die Anforderungen an die Methodik (*Kapitel 4.2*) abzuleiten, wurde eine Kontextanalyse in der Möbelbranche in *Kapitel 4.1* durchgeführt. Diese vorangestellte Analyse ermöglichte die Konzeptionierung

der Methodik des Feedbackraums, welcher in *Kapitel 5* ausführlich beschrieben wird. Die Methodik besteht aus drei ineinandergreifenden, modularen Bausteinen: einer Potentialanalyse relevanter Feedbackmechanismen (*Kapitel 5.2.1*), der Referenzarchitektur eines Feedbackraums (*Kapitel 5.2.2*) sowie der Begleitung durch ein KPI-basiertes Monitoring (*Kapitel 5.2.3*). Es folgt die Validierung der Methodik in *Kapitel 6*. Abschließend wird die Arbeit in *Kapitel 7* zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche Anwendungsgebiete und Weiterentwicklungsmöglichkeiten gegeben. Der Aufbau der Arbeit sowie die relevanten Themen sind in *Abbildung 1-2* dargestellt.

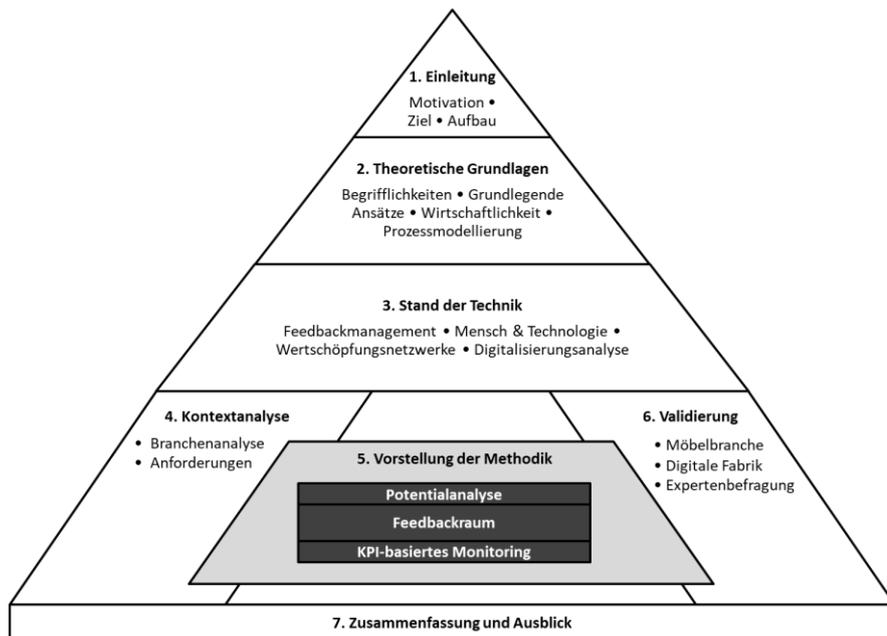


Abbildung 1-2: Aufbau und Kapitelstrukturierung der Arbeit

2 Theoretische Grundlagen

Die produzierende Industrie fußt auf vielen spezifischen Begrifflichkeiten und grundlegenden Methoden aus unterschiedlichsten Bereichen. In diesem Kapitel werden zum Verständnis der vorliegenden Arbeit relevante grundlegende Begriffe (2.1) aus dem Bereich des Produktlebenszyklus (2.1.1), der digitalen Fabrik (2.1.2) und zu Key Performance Indikatoren (2.1.3) definiert und der Betrachtungsrahmen der Arbeit eingegrenzt. Dazu erfolgt in Kapitel 2.2 eine Vorstellung von grundlegenden Ansätzen für die produzierende Industrie. Eine weitere wichtige theoretische Grundlage umfasst etablierte Methoden der Wirtschaftlichkeitsprüfung sowie Nutzenermittlung (2.3) aufgeteilt auf qualitatives und quantitatives Vorgehen. Neben Methoden für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wird ebenfalls die Modellierungssprache *Parallel Activity Specification Scheme* (PASS) für subjektorientierte Prozessbeschreibungen (2.4) eingeführt.

2.1 Begrifflichkeiten

Es folgt eine Einführung von Begriffen mit dem Fokus auf IT-basiertem Grundwissen aus dem produzierenden Kontext. Hierzu werden die relevanten Typen von IT-Systemen im Produktlebenszyklus vorgestellt und auf die Grundlagen von Strategieplanung sowie Projektmanagement eingegangen. Zudem erfolgt eine Einordnung von digitalen Fabriken und digitalen Zwillingen. Zum anderen ist eine kurze Begriffsdefinition von Key Performance Indikatoren am Ende des Kapitels zu finden.

2.1.1 Product Lifecycle Management

Das Product Lifecycle Management (PLM) umfasst die Strukturierung, Verwaltung und Vernetzung von Informationen eines Produktes über alle Lebensphasen von der ersten Idee bis zur Entsorgung (Gottmann, 2019, S. 79). Von zentraler Bedeutung sind dabei IT-Systeme entlang des Produktlebenszyklus, die die genannten Funktionen und Prozesse unterstützen (siehe Abbildung 2-1). Es folgt eine Beschreibung von Arten der IT-Systeme mit einem Fokus auf die Funktionsweise und die relevanten Daten.

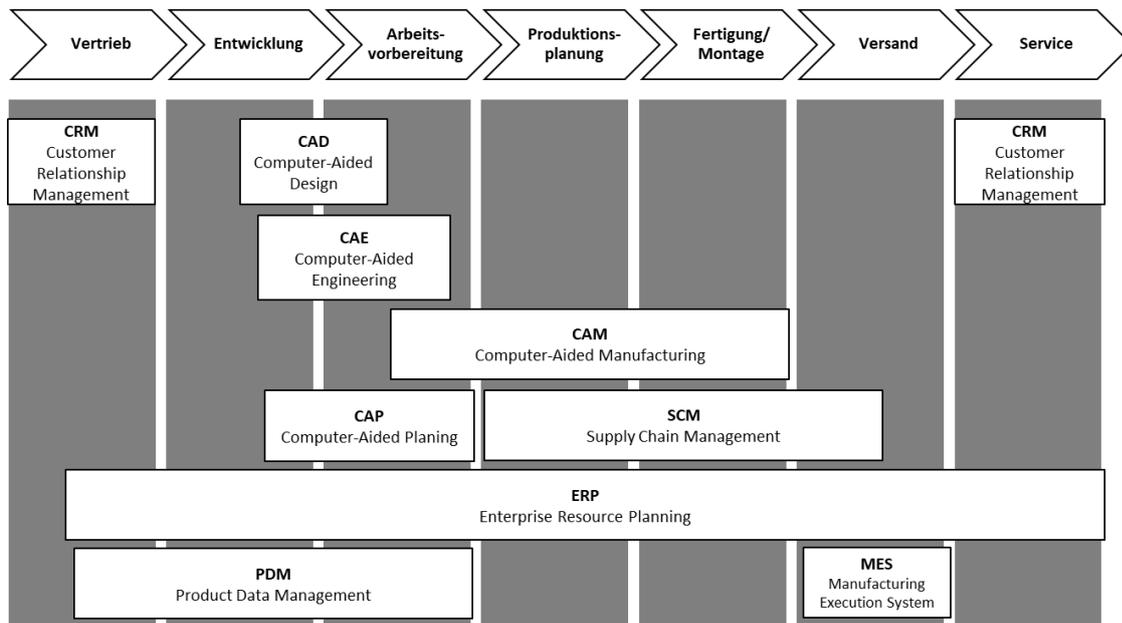


Abbildung 2-1: Zuordnung von IT-System-Typen zu den Phasen des Produktlebenszyklus (in Anlehnung an (Gottmann, 2019, S. 79))

IT-Systeme im Produktlebenszyklus

Die Fokussierung auf den Kunden und seine Bedürfnisse wurde durch die IT-Systeme *Customer Relationship Management* (CRM) in den Mittelpunkt der Unternehmensstrategie gerückt (Eigner, 2014). Somit umfasst es Funktionen von Marketingkampagnen, Verkauf und Kundenservices. Insbesondere Kundendaten, wie z. B. Kundenwünsche, Marktstudien oder Feedback, fallen in diese Kategorie (Bischoff et al., 2015).

Das *Enterprise Resource Planning* (ERP) stellt integrative Funktionen für den gesamten Produktlebenszyklus zur Verfügung. Es bietet Prozessunterstützung und Methoden für eine Planung und Steuerung aller Ressourcen, die zur Abwicklung von Kundenaufträgen notwendig sind (Schönsleben, 2011). Da diese Systeme stark in verschiedene Phasen integriert sind, werden unterschiedliche Daten erzeugt. Diese erstrecken sich von Finanzdaten, über Beschaffung und Fertigung bis hin zu Logistik und Services. Im Mittelpunkt steht dabei der Kundenauftrag. Hierzu werden beispielhaft folgende Informationen zur Verfügung gestellt: Auftragsdaten, Spezifikationen, Stückzahlen, Lieferzahlen, Produktidentifikation, Produkthistorie, Preise und Liefertermin (Bischoff et al., 2015).

Das *Product Data Management* (PDM) ist eine Kernkomponente des PLM mit Fokus auf Produkte. Demnach ist es als unternehmensweite Integration aller Abläufe im Engineeringprozess zu verstehen (Schönsleben, 2011) und bietet Funktionen zur Versionierung, Konfigurationskontrolle oder Dokumentenverwaltung.

Unter dem Oberbegriff CAx versteht man eine Gruppe von IT-Systemen für spezifische Entwicklungs- und Simulationsumgebungen im Ingenieurwesen (Eigner, 2014). Das Produktdesign wird im *Computer-Aided Design* (CAD) modelliert und strukturiert. Verschiedene Simulationen, wie Mehrkörpersimulation oder Finite Elemente Methode, in virtuellen Umgebungen erfolgen in *Computer-Aided Engineering* (CAE) (Eigner, 2014). Beispiele für Daten sind CAD-Modelle, technische Zeichnungen, Stücklisten, Spezifikationen, Testergebnisse oder technische Dokumentationen (Bischoff et al., 2015).

Die Wechselwirkung und Beziehung zwischen Produktionsprozessen und den Produktionsmitteln wird durch das *Computer-Aided Process Planning* (CAPP) festgelegt (Eigner, 2014). Als Input dienen Produktmodelle, Stücklisten und deren Leistungsgrößen. Es resultieren Produktionsprozesse, Ressourcenstrukturen mit Parametern (z. B. Vorschubgeschwindigkeiten) und Prozessparameter (z. B. Kosten- und Zeitkalkulationen) (Eigner, 2014).

Mit dem *Computer-Aided Manufacturing* (CAM) werden basierend auf den erstellten Produktmodellen Arbeitspläne bzw. Fertigungsabläufe für konkrete Fertigungsressourcen (z. B. Maschinen, Anlagen oder Roboter) übersetzt bzw. programmiert (Schönsleben, 2011). Ein Beispiel ist die Computer Numerical Control Programmierung (CNC-Programmierung).

Das *Manufacturing Execution System* (MES) umfasst ein Fertigungsmanagementsystem, welches die Feinplanung und -steuerung übernimmt und Ressourcen (Betriebsmittel, Material, Informationen und Personal) plant sowie steuert (Eigner, 2014). Ebenso unterstützt es Funktionen zur Datenerfassung, Leistungsanalyse und Qualitätsmanagement (Eigner, 2014). Demnach kann das MES eine Vielzahl an Informationen zur Produktion, aktuellen Kapazitäten und Umgebungs- sowie Sensordaten zur Verfügung stellen (Bischoff et al., 2015). Produktionsdaten sind beispielsweise folgende: Fertigmeldungen, Prozessquittierung, Störungen und zurückgemeldete, produzierte Stückzahlen (Bischoff et al., 2015). Sensordaten in der Produktion erfassen zum Beispiel Positionen, Feuchtigkeit oder Temperaturen. Zudem werden in Echtzeit Kapazitäten, wie Maschinenauslastung, Mitarbeiterinsatz oder Stillstandzeiten, zurückgemeldet (Bischoff et al., 2015).

Durch die Weiterentwicklung in der Wirtschaft von Wertschöpfungsketten zu Wertschöpfungsnetzwerken erhält die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit eine immer größer werdende Bedeutung. Mit *Supply Chain Management* (SCM) kann die übergreifende Planung und Steuerung von Stamm- und Auftragsdaten unterstützt werden und es wird damit als Erweiterung von ERP gesehen (Eigner, 2014). Die Koordination von Lieferketten, Lagerbeständen und Optimierung von Lieferzeiten steht im Vordergrund. Daher sind Daten zum Lager, zum Bestand und zur Supply Chain, wie z. B. Terminplanungen, Verzögerungen oder Auslastungen, in dieser Kategorie relevant (Bischoff et al., 2015).

Strategieplanung für PLM

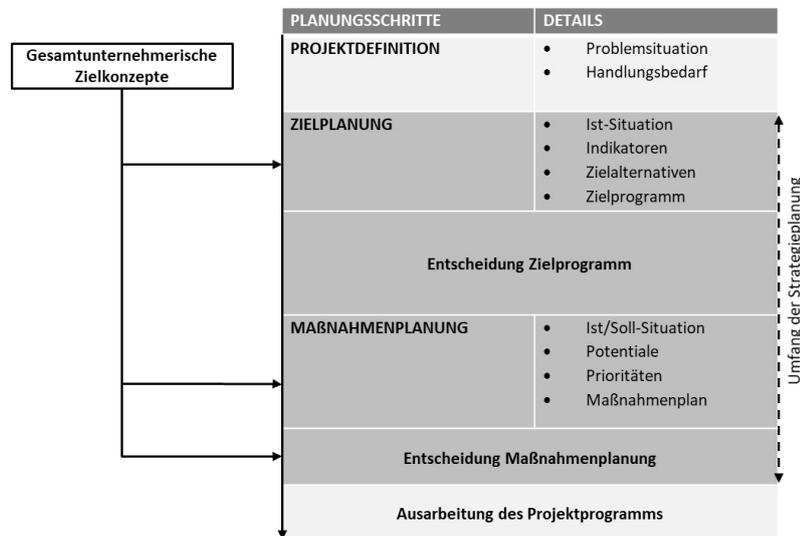


Abbildung 2-2: Strategieplanung nach Pawellek (in Anlehnung an (Pawellek, 2014))

Die Strategieplanung in einem lebenszyklusorientierten Unternehmen erfolgt in mehreren Schritten und beginnt je nach Autor mit einer Erfassung der aktuellen Situation (Kettner et al., 1984; Pawellek, 2014). Dies kann in Form von der Festlegung der Unternehmensstrategie bis hin zur Definition des Projektes erfolgen. Zumeist wird nach der Zielplanung mit einer Maßnahmenplanung gestartet, die basierend auf verschiedenen Alternativen durch die Anwendung geeigneter Kriterien die Lösungsmöglichkeiten einschränken. Die Elemente der Strategieplanung ähneln sich bei allen Autoren, lediglich ist der Umfang und die Reihenfolge der Analysen unterschiedlich. Der Autor Pawellek unterscheidet die Strategieplanung in gegenwartsorientierte und visionäre Strategieplanung. Dabei werden entweder basierend auf der IST-Situation ein Zukunftsszenario oder ausgehend von einer Version rückblickend Schritte abgeleitet (Pawellek, 2014, S. 83). Pawelleks Vorgehen ist sehr umfassend. So fordert er früh eine Innovations- und Nachhaltigkeitsstrategie. Frühzeitig betrachtet er die Rentabilität, um die Lösungsrichtung abzusichern. Andere Autoren führen erst nach der Strategieplanung umfassende Analysen durch (Grundig, 2014; Wiendahl, 2005).

Projektmanagement

Die allgemeinen Prozesse und Werkzeuge vom Projektmanagement werden eingeführt, um die in dieser Arbeit verwendeten Methoden besser einzuordnen. Der Begriff des Projektes wird hierzu formal definiert:

2. Definition: Projekt

Unter einem Projekt versteht man ein zielorientiertes Vorhaben mit definiertem Beginn und Ende, festgelegte Rahmenbedingungen und einer projektspezifischen Organisation (Burghardt, 2013, S. 19 f.).

Darüber hinaus kann man Projektmanagement als die Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und -mittel für die Abwicklung eines ebensolchen Projektes beschreiben (Möller & Dörrenberg, 2003, S. 4).

Damit ist die Projektplanung eine Kernaufgabe, die in acht Schritte strukturiert werden kann. In Tabelle 2-1 sind die Projektplanungsschritte mit möglichen Methodenwerkzeugen nach Heigl aufgeführt (Heigl, 2014).

PROJEKTPLANUNGSSCHRITTE	BEISPIELHAFTE METHODEN
PROJEKTSTRUKTURIERUNG	<ul style="list-style-type: none"> • Mindmap • Strukturplan • Arbeitspakete
MEILENSTEINPLANUNG	<ul style="list-style-type: none"> • Meilensteinplan
AUFWANDSSCHÄTZUNG	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleichs- und Parametermethoden • Kennzahlenmethoden • Nutzwertanalysen
ABLAUFPLANUNG	<ul style="list-style-type: none"> • Balkenplan • Vorgangsknoten-Netzplan • Prozessketten
RESSOURCENPLANUNG	<ul style="list-style-type: none"> • Bedarfsplanung anhand eines Strukturplans
KOSTENPLANUNG	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenschätzverfahren, Kostenermittlungsverfahren
PLANOPTIMIERUNG	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcenoptimierung
RISIKOANALYSE	<ul style="list-style-type: none"> • SWOT-Analyse

Tabelle 2-1: Schritte der Projektplanung mit möglichen Methodenwerkzeugen (Heigl, 2014, S. 173 ff)

2.1.2 Digitale Fabrik und digitaler Zwilling

Die digitale Fabrik umfasst die digitale Optimierung der Produktions-, Fabrik- und Prozessplanung. Sie soll die Produktionsplanung beschleunigen und verbessern und eine enge Zusammenarbeit mit der Produktentwicklung ermöglichen (VDI_4499, 2008, S. 4). Hierzu werden verschiedene Werkzeuge bereitgestellt, die nach Westkämper et al. (2013) der Modellierung, Simulation, Optimierung, Visualisierung, Dokumentation und Kommunikation zuzuordnen sind.

In diesem Kontext wird auch der Begriff des digitalen Zwillings eingeführt. Der digitale Zwilling hat drei Hauptfunktionen (Bönsch et al., 2022). Zum einen ermöglicht er die Kommunikation zwischen der realen und virtuellen Welt bestmöglich in Echtzeit. Zudem kann durch ihn die Komplexität durch geeignete Perspektiven reduziert werden. Die dritte Funktion geht auf die Umgebung ein, die durch relevante Kontextdaten im digitalen Zwilling abgebildet wird. Die konkrete Definition des Ziels und der Funktionen unterscheiden sich in der Literatur. In dieser Arbeit wird auf Kategorisierungsergebnissen von Kritzinger et al. aufgebaut (2018), welche ebenfalls eine Abgrenzung zum digitalen Modell und digitalem Schatten bezogen auf das Integrationslevel vornehmen.

3. Definition: digitales Modell

Ein digitales Modell repräsentiert ein geplantes oder reales physisches Objekt digital ohne irgendeine Form von Datenaustausch. (Kritzinger et al., 2018)

4. Definition: digitaler Schatten

Der digitale Schatten erweitert das Digitale Modell um einen einseitigen Datenfluss vom physischen zum digitalen Objekt. (Kritzinger et al., 2018)

5. Definition: digitaler Zwilling

Ein digitaler Zwilling liegt vor, wenn ein bidirektionaler und automatisierter Datenaustausch zwischen dem physischen und digitalen Objekt vorliegt. (Kritzinger et al., 2018)

2.1.3 Key Performance Indicator

Die Erfolgsmessung von vorab definierten Leistungszielen hat einen großen Stellenwert in der Unternehmensstrategie. Mit ihr wird ein Sachverhalt durch quantitative Messungen abgebildet (Zehnter et al., 2012). Methodisch wird es über Kennzahlen – Performance Indicators und Key Performance Indicators – kontinuierlich überprüft. Es folgen die Definitionen der beiden Begriffe:

6. Definition: Performance Indicator

Ein Performance Indicator (PI) ist eine Kennzahl, die im Hinblick auf eine Normung die Effektivität oder die Effizienz eines Systems oder Prozesses bewertet. Dies kann für Gesamtprozesse oder -systeme sowie für Teilaspekte gelten (Fortuin, 1988).

7. Definition: Key Performance Indicator

Ein Key Performance Indicator (KPI) repräsentiert eine messbare Hauptkennzahl, die verschiedene relevante Aktivitäten oder Prozesse in einem Unternehmen misst (VDMA_66412-1, 2009) (Zehnter et al., 2012). KPIs bilden eine Teilmenge der Performance Indicators.

KPIs bilden die Grundlage für weiterführende Analysen, Problemidentifizierungen, Dokumentationsmechanismen und Entscheidungen (VDMA_66412-1, 2009). Der Tätigkeitsbereich bzw. das Einsatzgebiet der KPIs liefern die entscheidenden Faktoren für die Gestaltung und Auswahl der Kennzahlen (Gottmann, 2019).

2.2 Grundlegende Ansätze und Methodiken in der produzierenden Industrie

Es existiert eine breite Anzahl von Modellen, Ansätzen und Methodiken die weit verbreitet und etabliert sind. In dieser Arbeit bilden insbesondere drei eine wesentliche Grundlage. Die Betrachtung von Produkt, Prozess und Ressource wird in Abschnitt 2.2.1 vorgestellt. Ebenso wird in Abschnitt 2.2.2 die Wechselwirkung zwischen Mensch, Technik und Organisation analysiert. Grundlegend zum Verständnis der Datenerfassung ist außerdem die Automatisierungspyramide. Demnach erfolgt die Beschreibung der unterschiedlichen Automatisierungs-Level in Abschnitt 2.2.3.

2.2.1 Produkt-Prozess-Ressourcen-Perspektiven

In der Industrie werden häufig drei Perspektiven dargestellt, die dennoch starke Beziehungen untereinander aufweisen (Schleipen & Drath, 2009). Das Produkt-Prozess-Ressourcen-Modell (PPR-Modell) lässt sich beispielsweise für die Anlagenplanung mittels digitaler Fabrik nutzen, um die Planungsdaten in Kategorien zu unterteilen (Drath & Schleipen, 2010). Hierzu werden im Folgenden die drei Begriffe definiert:

8. Definition: Produkt

Ein Produkt ist ein hergestelltes Gut, welches von den (Produktions-)Ressourcen bearbeitet wird. Es kann sich auch um Teil- bzw. Zwischenprodukte handeln. Produkte sind demnach hierarchisch durch eine Struktur aufgebaut und beinhalten ebenfalls die Informationen über das Produkt (Schleipen & Drath, 2009).

9. Definition: Prozess

Ein Prozess erstellt bzw. modifiziert ein Produkt. Nach diesem Modell wird ein Produktionsprozess beschrieben mit all seinen Unterprozessen, Prozessparamater und der Prozesskette (Schleipen & Drath, 2009).

10. Definition: Ressource

Unter Ressource sind Produktionsressourcen zu verstehen und somit Komponenten einer Fabrik. In anderer Literatur werden diese auch als Fabrikelemente und im Zusammenschluss Fabrikmodule genannt (Wiendahl, 2005).

Daraus lassen sich die relevanten Perspektiven, die jeweils den Prozess, die Ressource oder das Produkt in den Mittelpunkt stellen, ableiten. Je nach Perspektive werden die beiden anderen Sichten mit der gewählten Perspektive verbunden (Drath & Schleipen, 2010). Zusätzlich lassen sich nach Haasis et al auch Hierarchieebenen je Perspektive definieren (Haasis et al., 1999). Die Perspektive des Prozesses ist aufgegliedert in Produktionsprozesse, Produktionsschritte bzw. Operationen. Eine Ressourcen-Hierarchie ergibt sich aus der Fabrik, Linie, Station, Maschine und Werkzeug. Module und Baugruppen werden bei Produkten unterschieden.

2.2.2 Mensch-Technik-Organisations-Ansatz

Als Ausgangslage des Mensch-Technik-Organisations-Ansatzes (MTO-Ansatz) wird ein soziotechnisches System betrachtet, welches aus einem Arbeitssystem mit sowohl sozialen als auch technischen Teilsystemen besteht (Ulich, 2013). Dabei spiegeln die sozialen Systeme die Mitarbeiter und die technischen Betriebsmittel sowie Arbeitsbedingungen wider.

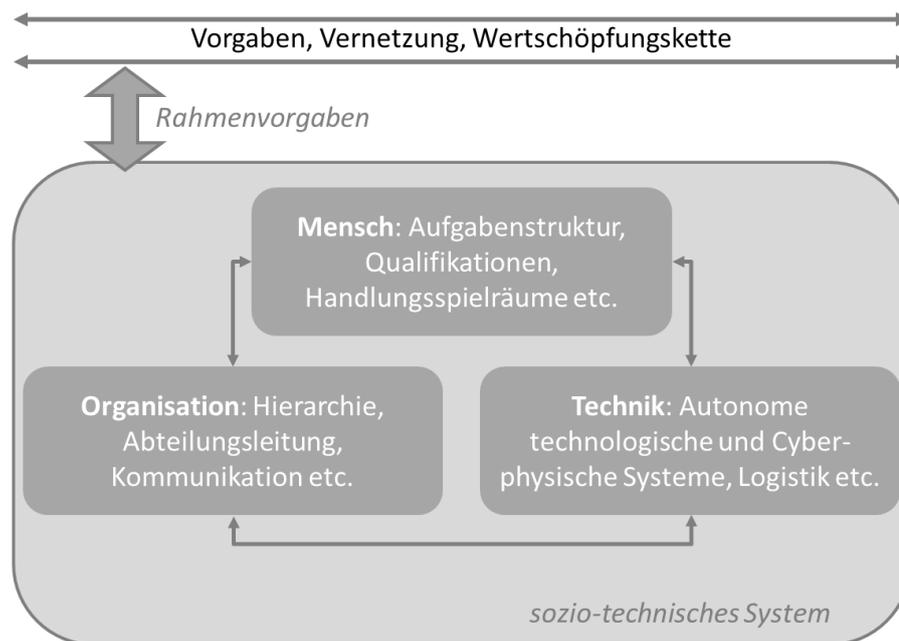


Abbildung 2-3: Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation unter Beachtung von Rahmenvorgaben (in Anlehnung an (Hirsch-Kreinsen & Hompel, 2020, S. 363))

Die wechselseitige Beziehung von Mensch, Technik und Organisation grenzt jeweils die Gestaltungsmöglichkeit eines Elements durch die beiden andere ein. Dies impliziert auch, dass eine Änderung in einem Teilsystem eine Auswirkung auf die anderen Teilsysteme verursacht (Hirsch-Kreinsen, 2014).

2.2.3 Automatisierungspyramide

Die Automatisierungspyramide bildet eine sehr wichtige Grundlage für die Klassifizierung von IT-Systemen in der Fertigung. Es existieren verschiedene Modelle mit drei bis sieben Ebenen. Weit verbreitet ist die Definition der Normenreihe International Electrotechnical Commission (IEC) 62264, welche fünf Ebenen beinhaltet (IEC 62264, 2003). Der Autor Siepmann ergänzt dieses Modell um die Prozessebene in der Produktion (Siepmann, 2016). Dieses Modell wird im Folgenden vorgestellt und in dieser Arbeit verwendet.

Level 0: Prozessebene: Ergänzend zu der Norm IEC 62264 wird dem eigentlichen Produktionsprozess in der Fertigung ein eigenes Level zugeordnet (Siepmann, 2016). Durch die Bestrebungen der Industrie 4.0 erhalten Produkte und Ressourcen Informationen zu Produkteigenschaften und den Produktionsschritten. Technisch kann dies beispielsweise durch RFID, Barcode oder eine Datenmatrix umgesetzt werden.

Level 1: Feldebene (Shopfloor): Die Feldebene bzw. Shopfloor umfasst den Produktionsbereich, in der die Wertschöpfung stattfindet. Die Sensoren und Aktoren einer Anlage liefern alle produktionsrelevanten Informationen in Form von Ein- und Ausgabesignalen der Feldebene.

Level 2: Steuerungsebene: In der Steuerungsebene erfolgt die Verarbeitung der Eingangssignale aller Sensoren. Durch eine Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) werden die Ausgangssignale für die Aktoren berechnet und an die Feldebene übermittelt.

Level 3: (Prozess-)Leitebene: Die Überwachung und Steuerung der Produktionsprozesse erfolgt in der Leitebene. Die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine spielt an dieser Stelle eine große Rolle. Systemtechnisch kommen Prozessleit-, HMI- und SCADA-Systemen zum Einsatz.

Level 4: Betriebsebene: In diesem Level kommt ein Produktionsleitsystem zum Einsatz. Das sogenannte Manufacturing Execution System MES koordiniert auf Basis von Betriebs-, Maschinen- und Personalinformationen die Produktion. Es nimmt die Vermittlerposition zu den Systemen der Unternehmensebene (ERP-System) ein.

Level 5: Unternehmensebene (Topfloor): ERP-Systeme dienen dem Management für die Planung der strategischen und taktischen Unternehmensführung z. B. in den Bereichen Einkauf, Verkauf und Logistik. Zudem werden kurzfristig Unternehmenskennzahlen ermittelt.

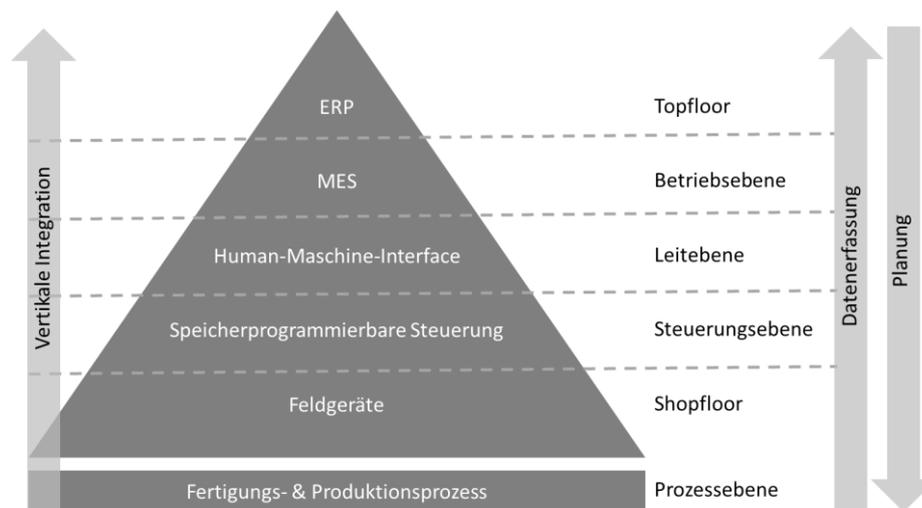


Abbildung 2-4: Automatisierungspyramide der industriellen Fertigung (in Anlehnung an (Roth, 2016, S. 49))

2.3 Etablierte Methoden der Wirtschaftlichkeit und der Nutzenermittlung

Der Begriff der Wirtschaftlichkeit wird nach der Prüfordnung des Bundesrechnungshofes nach § 4 Abs. 3 wie folgt definiert:

11. Definition: Wirtschaftlichkeit

„Bei der Prüfung der Wirtschaftlichkeit wird untersucht, ob das günstige Verhältnis zwischen dem verfolgten Zweck und den eingesetzten Mitteln angestrebt und erreicht wurde.“
(Bundesrechnungshof, 2023, §4 Abs. 3)

Synonym zu dem Wort Zweck wird der Begriff Nutzen verwendet. Da ein Nutzen einer Investition auch langfristige Auswirkungen hat, ist die exakte Abschätzung in Form einer monetären Angabe mit Risiko verbunden. Daher unterteilt *K. Nagel* unterschiedliche Nutzenkategorien abhängig von dem Zeithorizont der Auswirkung (siehe Tabelle 2-2, (Nagel, 1990)): direkter, indirekter und strategischer Nutzen. Sie sind sowohl einer unterschiedlichen Unternehmensebene zugeordnet als auf verschiedene Weise erfassbar. Der direkte Nutzen ist einer Gewinn- und Verlustrechnung direkt entnehmbar. Auf Basis von Schätzungen kann der indirekte Nutzen zwar nicht monetär bewertet werden, ist jedoch quantifizierbar. Ganz im Gegensatz

zum strategischen Nutzen, der aufgrund seiner langfristigen Wirkung nur in qualitativen Aussagen festgehalten werden kann.

NUTZENKATEGORIEN			
	DIREKTER NUTZEN	INDIREKTER NUTZEN	STRATEGISCHER NUTZEN
UNTERNEHMENS-EBENE QUANTIFIZIERBARKEIT	Operative Monetär bewertbar	Taktische Quantifizierbar, nicht-monetär bewertbar	Strategische Nicht quantifizierbar
BEWERTBARKEIT ZEITHORIZONT	Berechenbar Kurzfristig	Kalkulierbar Mittelfristig	Entscheidbar Langfristig
EINSPARUNGSPOTENTIAL	Gegenwärtige Kosten	Zukünftige Kosten	Nutzen aus Sekundärwirkungen
DATENGRUNDLAGE	Gewinn- und Verlustrechnung	Schätzungen	Qualitative Aussagen

Tabelle 2-2: Unterteilung von Nutzenkategorien bei Investitionen (Nagel, 1990)

Der Gegenspieler des Nutzens sind die Kosten. Auch in diesem Fall erfolgt eine Unterteilung abhängig vom Zeithorizont in einmalige (siehe Tabelle 2-3) und laufende Kosten (siehe Tabelle 2-4).

EINMALIGE KOSTEN		
PROJEKTKOSTEN	SYSTEMKOSTEN	SYSTEMEINFÜHRUNGSKOSTEN
Beratung	Hardware	Schulung
Analysen	Software	Support
Machbarkeit		Beratung
Entscheidungsfindung		Mitarbeitereinsatz
Reorganisationsmaßnahmen		

Tabelle 2-3: Übersicht über Kostenkategorien bei einmaligen Kosten (Dücker, 2015)

LAUFENDE KOSTEN		
DIREKTE BETRIEBSKOSTEN	INDIREKTE BETRIEBSKOSTEN	GEMEINKOSTEN
Personal	Wartung	Abschreibungen
Material	Laufende Anpassungen von Geschäftsprozessen	Zinsen
	Weiterbildung/Schulungen	Miete
	Konferenzen/Messen	Versicherung
		Energiekosten

Tabelle 2-4: Übersicht über Kostenkategorien bei laufenden Kosten (Dücker, 2015)

Ganzheitliche Methoden für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung folgen in der Regel einem formalen Vorgehen. Das Bundesministerium für Finanzen unterteilt die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung in Teile Planung und Erfolgskontrolle (Bundesfinanzministerium, 2011). Die Planung umfasst dabei die folgenden linear-ablaufenden Schritte:

1. Analyse der Ausgangslage
2. Definition der Ziele
3. Ableitung und Untersuchung der Handlungsalternativen
4. Nutzung von mathematischen Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsrechnung
5. Analyse der Risikoverteilung
6. Untersuchung der Sensitivität

7. Ableitung eines Entscheidungsvorschlags
8. Festlegung der Kriterien für die Ergebniskontrolle

Die Erfolgskontrolle basiert auf der Überprüfung folgender Bereiche (Bundesfinanzministerium, 2011):

1. Zielerreichung
2. Wirkung
3. Wirtschaftlichkeit

Die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Methoden adressieren einzelne Schritte der Planung. Die Ausgangslage sowie die Definition von Zielen wird in der Regel durch qualitative Ansätze erfasst. Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung, Risikoverteilung und Sensitivitätsverteilung werden quantitative Messungen benötigt. Zudem erfolgt in Kapitel 2.3.3 eine Vorstellung ausgewählter Kennzahlensysteme und Normen, um die Effizienz eines Unternehmens zu messen.

2.3.1 Qualitative Ansätze

Im Gegensatz zu quantitativen Methoden befassen sich qualitative Methoden mit subjektiven Faktoren einer strategischen Ausrichtung. Relevant sind dabei die nicht oder nur schwer quantifizierbaren Aspekte eines Unternehmens und deren Einfluss auf die langfristige Wettbewerbsfähigkeit. Im Folgenden werden drei beispielhafte Methoden bzw. Modelle vorgestellt, die dazu dienen die Gesamtsituation zu erfassen.

Eine verbreitete Methode, um die internen Stärken und Schwächen gegenüber den externen Chancen und Gefahren gegeneinander abzuwiegen, bietet die SWOT-Analyse. Die Abkürzung SWOT steht dabei für Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen), Threats (Gefahren). Die Trennung nach internen und externen Faktoren schafft eine Transparenz und ermöglicht einen Ansatzpunkt, welche Stärken genutzt werden, um die Chancen zu ergreifen und die Gefahren abzuwenden. Hingegen erfordern die Schwächen eine Formulierung von Maßnahmen, um die externe Sicht nicht negativ zu beeinflussen (Piller et al., 2013).

Im Bereich der strategischen Planung und im Controlling wird die allgemeine Unternehmensumwelt mit der STEP-Analyse untersucht. Es werden die Blickwinkel der Gesellschaft (Socio-Cultural), Technologie (Technological), Volkswirtschaft (Economical) und Politik (Political-Legal) eingenommen und Einflussfaktoren herausgestellt (Ragge, 2000).

Mit einem Business Model Canvas lassen sich die wesentlichen Bestandteile eines Geschäftsmodells festlegen und das Wertversprechen qualitativ erfassen. Neben dem Wertversprechen (Value Proposition) gibt es acht weitere relevante Felder: Kundensegment, Kundenbeziehung, Verkaufskanäle, Einnahmequellen, Schlüsselfaktoren (physische, immaterielle, personelle oder finanzielle Ressourcen), Schlüsselaktivitäten, Schlüsselpartner, Kostenstruktur (Lukas, 2018).

2.3.2 Quantitative Messung

Unter der quantitativen Messung werden in diesem Zusammenhang Bewertungen über erfassbare Zahl, Daten und Fakten verstanden. Als Grundlage dienen beispielsweise große Datenmengen von Produktionssensoren oder intervallskalierte Expertenbewertungen. Diese Werte werden in der Regel zu einer Kennzahl zusammengefasst.

Kennzahlen dienen zur Erfassung der Qualität eines Ergebnisses. Daher folgen eine grundlegende Definitionen zur Qualität, deren Dimensionen und Kennzahlen:

12. Definition: Qualität
Die DIN EN ISO 9000 definiert Qualität als „Grad, an dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt“. (2015)

Garvin (1984) definierte hierzu acht Dimensionen von Qualität, wie in Tabelle 2-5 aufgeführt.

DIMENSION	BESCHREIBUNG
PERFORMANCE	Zentrale Leistungsmerkmale werden festgelegt
FEATURES	Untergeordnet zu den Leistungsmerkmalen werden besondere Merkmale des Produktes/Dienstleistung definiert
ZUVERLÄSSIGKEIT	Bestimmt die Wahrscheinlichkeit des Produktversagens
KONFORMITÄT	Prüft die Erfüllung der festgelegten Standards und Spezifikationen
LEBENSDAUER	Beleuchtet sowohl die technische als auch ökonomische Komponente
GEBRAUCHSFÄHIGKEIT	Leistungs- und Serviceaspekte werden einbezogen
ÄSTHETIK	Wird rein subjektiv bewertet
WAHRGENOMMENE QUALITÄT	Beinhaltet den Erfüllungsgrad der Kundenerwartung

Tabelle 2-5: Dimensionen der Qualität nach Garvin (1984)

Eine Kennzahl erfüllt zudem immer eine Funktion. Grundsätzlich lassen sich vier Kategorien unterscheiden: Vergleichs-, Ziel-, Steuerungs- und Kontrollfunktion (Becker, 2008, S. 181).

Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse dient zur Abwägung von indirekten, nicht-monetären Aspekten verschiedener Alternativen. Anhand von vorab definierten Kriterien erfolgt eine Bewertung, die als Ergebnis eine Rangfolge von Nutzwerten der verschiedenen Alternativen hervorbringt. Folgende Schritte werden im Rahmen einer Nutzwertanalyse durchgeführt (Nagel, 1990):

1. Das Ziel der Analyse wird definiert.
2. Die Pflicht-Anforderungen an das Investitionsobjekt werden festgelegt.
3. Die Bewertungskriterien werden abgeleitet und prozentual gewichtet.
4. Jede Investitionsalternative wird durch alle Bewertungskriterien mehreren unabhängigen Personen bewertet.
5. Die Teilnutzen ergeben sich durch die entsprechenden gewichteten Bewertungen. Durch das Aufsummieren der Teilnutzen über alle Bewertungskriterien ergibt sich dann der Nutzwert einer Alternative.
6. Es wird eine Rangfolge der Nutzwerte bestimmt und die beste Alternative ausgewählt.
7. Durch die Variation der Gewichtungen wird die Stabilität des Ergebnisses geprüft (Schlink, 2014).

Nutzenanalyse

Die Nutzenanalyse schafft eine Vergleichbarkeit von Investitionsalternativen durch eine Aufspaltung des Nutzen in verschiedenen Kategorien. Die Einordnung erfolgt in die Nutzen-Kategorien direkt, indirekt oder strategisch. Zusätzlich erfolgt eine Einschätzung der Realisierungswahrscheinlichkeit in drei Stufen. Abhängig von dem Nutzen und der Risikoaffinität kann damit eine Entscheidung getroffen werden (Nagel, 1990).

Nach Nagel (Nagel, 1990) erfolgt die Nutzenanalyse in neun Schritten. Für jede Investitionsalternative werden im ersten Schritt Vorteile gesammelt, die sich in die drei Nutzenkategorien einordnen lassen. Im dritten Schritt wird jeder Nutzenaspekt nach der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet. Der Nutzen verteilt auf die Realisierungskategorien (hoch, wahrscheinlich, gering) kann zusätzlich abhängig von Jahren weiter aufgesplittet werden (Nagel, 1990). Die Tabelle 2-6 zeigt ein Beispiel.

KATEGORIE	HOCH					WAHRSCHEINLICH					GERING				
JAHR	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
NUTZEN [TSD. EUR]	-	10	12	15	15	-	-	-	-	-	25	25	25	-	-

Tabelle 2-6: Beispiel für die Bewertungen in Realisierungskategorien

Die Werte aus Tabelle 2-6 werden als Gesamtwert in eine Nutzenmatrix, siehe Tabelle 2-7, zusammengetragen, die neun Felder, sogenannte Realisierungschancen, beinhaltet. Dementsprechend sind die Nutzenwerte aus Feld 1 am besten quantifizierbar und treten mit der höchsten Wahrscheinlichkeit ein (Nagel, 1990). In aufbauender Literatur findet man ebenfalls die Bezeichnung von Risikostufen für die neun Realisierungschancen (Westkämper et al., 2013).

NUTZEN-ÜBERSICHT		ANWENDUNG: ...		
REALISIERUNGSKATEGORIE		hoch	wahrscheinlich	gering
NUTZENKATEGORIE	Direkter Nutzen	1	3	6
	Indirekter Nutzen	2	5	8
	Strateg. Nutzen	4	7	9

Tabelle 2-7: Mögliche Aufteilung der Nutzenmatrix (Nagel, 1990)

In Schritt 5 wird das Nutzen-Sammelblatt erstellt, welches den Nutzen je Jahr jeder Realisierungschance (nicht Realisierungskategorie) aufzeigt. Die Werte ergeben sich durch die Summierung der Nutzwerte in jeder Risikostufe in dem entsprechenden Jahr über alle Vorteile in dieser Nutzenkategorie. Damit kann der Verlauf in Form von neun Nutzen-Kurven jeder Realisierungsstufen über die Jahre hinweg veranschaulicht werden. Die Kurven der höhere Realisierungsstufen beinhalten dabei die darunterliegenden Stufen und bilden entsprechend kumuliert Werte ab.

Der siebte Schritt umfasst die Erfassung der Kosten und deren Übertragung in die Abbildung. Insbesondere die Schnittpunkte zwischen Kosten- und Nutzenkurven dienen zur Interpretation. Jeder Schnittpunkt gibt an, nach wie vielen Jahren abhängig von der Risikostufe die Investition amortisiert ist. Falls eine Nutzenkurve immer unter der Kostenfunktion liegt, rentiert sich bei Annahme dieser Realisierungsstufe die Investition nicht. Im gegenteiligen Fall ist die Investition bereits zu Beginn rentabel. Bevor im neunten Schritt eine Entscheidung herbeigeführt wird, sollte vorab der Einfluss der Finanzierung und der Steuern überprüft werden (Nagel, 1990).

Kapitalwertmethode

Im Sinne einer Investitionsrechnung wird mit der Kapitalwertmethode mithilfe eines gegebenen Zinssatzes überprüft, ob in einem vorab definierten oder unbeschränkten Zeitraum mehr Einzahlungen als Auszahlungen im Rahmen einer Investition erfolgen. Die Basis bildet die Berechnung des Kapitalwerts, der nicht negativ sein sollte, um als vorteilhafte Investition gewertet werden zu können (Nagel, 1990). Dieser ergibt sich aus:

$$\text{barwertige Einzahlung} - \text{barwertige Auszahlung} \geq 0$$

Dabei wird die barwertige Einzahlung E_0 durch alle zukünftigen bestimmt (Poggensee, 2011):

$$E_0 = \sum_{n=1}^N E_n (1+i)^{-n} \quad (2.1)$$

E_0 - barwertige Einzahlung, E_n - Einzahlung im Jahr n , N - Anzahl der betrachteten Jahre, i - Zinssatz

Die gleiche Formel lässt sich auch für die Auszahlungen aufstellen. Zudem werden noch die abgezinsten Restwerte R und die Anschaffungskosten A einbezogen. Damit erhält man folgende Formel (Poggensee, 2011):

$$C_0 = \sum_{k=1}^N (e_n - a_n)(1+i)^{-n} + R * (1+i)^{-N} - A \quad (2.2)$$

C_0 - Kapitalwert, e_n - jährliche Einzahlung, a_n - jährliche Auszahlung, i - Zinssatz, R - Restwert, A - Anschaffungskosten

Der Kapitalwert für unbegrenzte Nutzungsdauer wird häufig verwendet. Dieser basiert auf der Annahme einer konstanten Nettoeinzahlung über die Jahre. Daraus ergibt sich für den Kapitalwert bei unbegrenzter Nutzungsdauer folgende Formel (Poggensee, 2011):

$$C_0 = g * \frac{1}{i} - A \quad (2.3)$$

C_0 - Kapitalwert bei unbegrenzter Nutzungsdauer, g - jährliche Nettoeinzahlung, i - Zinssatz, A - Anschaffungskosten

Amortisationsrechnung

Die Amortisationsrechnung, auch Rückzahlungs- oder Pay-Back-Methode, bestimmt den Zeitpunkt, an dem die Kosten für die Investitionen durch die neuen Erträge wieder ausgeglichen sind (Nagel, 1990). Die Berechnung kann auf einem statischen oder dynamischen Ansatz basieren. Der statische Ansatz vernachlässigt die Zinsen und ergibt sich aus der Division vom eingesetzten Kapital durch den durchschnittlichen Rückfluss pro Jahr (Götze & Bloech, 2002).

Die Kapitalwertmethode kommt bei der dynamischen Amortisationsrechnung zum Einsatz. Hierzu werden die Barwerte der Nettozahlung addiert bis dieser nicht mehr negativ ist. Mit der folgenden Formel kann man den entsprechenden Zeitpunkt berechnen, der dann die sogenannte Amortisationsdauer ergibt (Götze & Bloech, 2002):

$$A_0 = \sum_{t=1}^w Z_t * (1 + i)^{-t} \quad (2.4)$$

A₀ – Anschaffungskosten, w – Amortisationsdauer, Z_t – Einzahlungsüberschüsse (= Einzahlung – Auszahlung), i – Zinssatz

Die Interpretation des Wertes liegt bei dem Anwender. Eine vorab definierte maximale Amortisationsdauer kann als Orientierung dienen.

WARS-Modell – Wirtschaftlichkeitsanalyse mit Risikostufen

Für EDV-Investitionen wurde eine Wirtschaftlichkeitsanalyse mit Risikostufen (kurz WARS) entwickelt. Es erfolgt eine Abschätzung von Kosten und Nutzen mit einer anschließenden Stabilitätskontrolle. Die Nutzenanalyse von IBM und die Berechnung des Barwerts wird als Basis verwendet (Ott, 1993).

Die Differenz zwischen Kosten und Nutzen wird in Form eines Barwerts angegeben. Es ermöglicht einen Vergleich von verschiedenen Alternativen. Je höher der Barwert, desto rentabler ist die Investition. Entscheidend ist, dass sowohl direkter, indirekter als auch strategischer Nutzen monetär geschätzt wird (Ott, 1993; Ott et al., 1992).

Die Abschätzung der Kosten und Nutzen erfolgt zum einen über den Zeithorizont (direkter, indirekter oder strategischer Nutzen bzw. bekannte, schätzbare oder schwer bewertbare Kosten) und der Realisierungschance (niedrig, mittel, hoch). Die Felder aus den zwei realisierten Matrizen ergeben 9 Risikostufen. Risikostufe eins entspricht dem Feld aus direkten Nutzen bzw. bekannte Kosten mit einer hohen Realisierungschance, Stufe zwei dem direkten Nutzen bzw. bekannte Kosten und mittlerer Realisierungschance und Stufe 9 dem strategischen Nutzen bzw. schwer bewertbare Kosten mit niedriger Realisierungschance. Die Risikostufen beinhalten jedoch aufaddierte Werte. Bei den Nutzen-Risikostufen wird mit der Risikostufe aufsteigend addiert. So repräsentiert Risikostufe eins den kleinstmöglichen Nutzen und Risikostufe neun den höchsten. Bei den Kosten erfolgt die Aggregation von der höchsten Stufe absteigend. In diesem Fall repräsentiert Stufe neun die kleinste Kostensumme und Stufe eins dementsprechend die höchste. Für die Interpretation ist der Schnittpunkt der beiden Funktionen über die Risikostufen relevant (Ott, 1993; Ott et al., 1992).

Zur Interpretation muss nun die Lage der Kurven analysiert werden. Falls kein Schnittpunkt der Kosten- und Nutzenkurve vorliegt, kann eine eindeutige Aussage getroffen werden. Falls die Kostenkurve in allen Risikostufen unter der Nutzenkurve liegt, ist die Investition als wirtschaftlich zu bewerten. Liegt ein gespiegelter Sachverhalt vor, ist die Investition als nicht wirtschaftlich einzuschätzen. Existiert ein Schnittpunkt, müssen die Risikostufen interpretiert werden. Je höher die Risikostufe bei dem Schnittpunkt ist, umso besser ist die Alternative zu bewerten. Schneiden sich die Kurven zu Beginn, ist die Investition nur unter optimistischen Erwartungen als wirtschaftlich einzuschätzen (Ott, 1993; Ott et al., 1992).

Die monetäre Abschätzung des Nutzens wird auch von H.-J. Ott als kritisch eingestuft. Er empfiehlt das Auslassen der entsprechenden Felder und das Einbeziehen von Experten nach der Delphi-Methode. In einem ersten Schritt wird die individuelle Einschätzung von mehreren Experten eingeholt. Im zweiten Schritt werden die Bewertungen der anderen Experten offengelegt und um Überprüfung und Korrektur der eigenen Einschätzung gebeten (Ott, 1993).

2.3.3 Klassifizierung und Standards von KPIs für das Controlling im industriellen Kontext

Speziell für die Produktion existieren verschiedene KPI-Systeme und Strukturierungsmöglichkeiten (Joppen et al., 2019). Durch die Kombination und Zusammenfassung von verschiedenen KPIs entsteht ein Kennzahlensystem (Kühnapfel, 2021). Dabei unterscheidet man einen Kennzahlenkatalog, der einer einfachen Sammlung an KPIs entspricht, und einem Kennzahlenschema, welches Kennzahlen als Inputgrößen zu einem übergeordneten Gesamtsystem kombiniert (Kühnapfel, 2021). Die Beziehungen in einem Kennzahlensystem werden auch unterteilt in logisch, empirisch oder hierarchisch (Schuh et al., 2011). Im Folgenden werden vier etablierte Kennzahlensysteme vorgestellt sowie die ISO-Norm 224400 beschrieben, die maßgeblich auf der Automatisierungspyramide aufbaut.

Etablierte Kennzahlensysteme

Bekannte Kennzahlensysteme sind beispielsweise die Balanced Scorecard (BSC), das DuPont-Schema, das Rentabilitäts-Liquiditäts-Kennzahlensystem (RL-Kennzahlensystem) oder auch das ZVEI-Kennzahlensystem (Gottmann, 2019; Schuh et al., 2011). Diese eignen sich für ein umfassendes, zahlenbasiertes Controlling. Die Balance Scorecard ist ein für das Management zur Strukturierung der Unternehmensstrategie entwickeltes Kennzahlensystem (Schuh et al., 2011). Es bietet die Möglichkeit langfristige strategische Ziele in operative Zielgrößen zu übersetzen. Dabei werden die folgenden Perspektiven eingenommen und unter den Aspekten Ziele, Kennzahlen, Vorgaben und Maßnahmen beleuchtet: Finanzen, interne Geschäftsprozesse, Kunden und Lernen & Entwickeln. Das Besondere an der Methode ist das Ursachen-Wirkungs-Diagramm (Norton & Kaplan, 1997).

Das DuPont-Schema basiert auf der Gesamtkapitalrendite, auch Return of Investment (ROI) genannt. Aus der internen Unternehmensanalyse hat es sich zu einer umfassenden Betrachtung des Jahresabschlusses entwickelt. Die Aufspaltung der Kennzahl ROI in eine weitreichende Baumstruktur ermöglicht eine detaillierte Analyse von Umsatz, Gewinn, Kostenfaktoren und Investitionen (Schuh et al., 2011). Das ZVEI-Kennzahlensystem baut auf dem DuPont-Schema auf und umfasst etwa 200 Kennzahlen (Gladen, 2014). Auf Basis einer Wachstumsanalyse gefolgt von einer Strukturanalyse wird die Effizienz des Unternehmens bewertet (Schuh et al., 2011).

Das Rentabilitäts-Liquiditäts-Kennzahlensystem unterscheidet in einen *Allgemeinen Teil* und in einen *Besonderen Teil*. Ersterer enthält Kennzahlen, die von generischer Natur sind. Im *Besonderen Teil* werden unternehmensspezifische Kennzahlen eingeordnet (Gladen, 2014).

2.4 Subjektorientierte Prozessmodellierung mit PASS

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen für die Modellierungssprache *Parallel Activity Specification Schema* (PASS) dargelegt. Zunächst wird auf den Grundsatz der Subjektorientierung eingegangen, gefolgt von der detaillierten Beschreibung der Funktionsweise und der Elemente von PASS.

Das Paradigma der subjektorientierten Prozessmodellierung basiert auf den Funktionsprinzipien unserer Sprache. Eine Beschreibung eines beliebigen Sachverhalts setzt sich aus Sätzen mit Subjekten, Prädikaten und ggf. Objekten zusammen (Schmidt et al., 2009). Unter Subjekten werden dabei die aktiven Entitäten beziehungsweise Handelnden verstanden, die in Form von Personen oder Systemen repräsentiert werden. Prädikate stellen die Handlungen und Aktivitäten dar, die von den Subjekten durchgeführt werden. Die optionalen Objekte bezeichnen Ziele oder Gegenstände der Handlungen. In der klassischen

Prozessbetrachtung werden die Aktivitäten in den Vordergrund gestellt. Bei der subjektorientierten Modellierung hingegen wird der Fokus auf die Akteure gelegt (Schmidt et al., 2009).

Eine mögliche Modellierungssprache der subjektorientierten Prozessbeschreibung ist das von Albert Fleischmann (2011) entwickelte Schema PASS. Die Modellierungssprache PASS ist aufgeteilt in zwei Diagrammtypen: dem Subjekt-Interaktions-Diagramm (SID, engl.: Subject-Interaction-Diagram) und dem Subjekt-Verhaltens-Diagramm (SBD, engl.: Subject-Behaviour-Diagram). Das SID bildet die Beziehung zwischen den Subjekten ab, während im SBD die Aktivitäten der jeweiligen Subjekte veranschaulicht werden. Das gesamte Modell teilt sich demnach in das Hauptmodell SID und mehrere zugehörige SBDs auf (A. Fleischmann et al., 2011).

2.4.1 Subjekt-Interaktions-Diagramm

Das SID beschreibt laut Fleischmann et al. (2011) die Subjekte und ihre wesentliche Kommunikation untereinander. Laut Fleischmann et al. sind dafür zwei Elemente notwendig: Subjekte und Nachrichten, die zwischen jeweils zwei Subjekten ausgetauscht werden. Durch Subjektgruppen können unnötige Komplexitäten im Prozess vermieden werden, da beispielsweise bei einer zu detaillierten Darstellung eines Sachverhaltes mit einer hohen Anzahl von Subjekten keine Übersichtlichkeit mehr gewährleistet wird. Zu wenige Subjekte hingegen können bewirken, dass ein einzelnes Subjekt für zu viele Aufgaben zuständig ist (A. Fleischmann et al., 2011). Weitere Details zum SID und den entsprechenden graphischen Elementen sind in Tabelle 2-8 abgebildet.

GRAFISCHE ELEMENTE	BESCHREIBUNG
	Standard-Subjekte stellen Subjekte dar, die vollständig beschrieben werden und ein individuelles SBD besitzen.
	Interface-Subjekte sind Subjekte ohne ein spezifiziertes Verhalten und dementsprechend ohne SBD. Das Verhalten kann nicht bekannt oder nicht relevant sein. Ebenso kann es ein Platzhalter darstellen, der in einem separaten Modell beschrieben wird.
 	Multi-Subjekte stellen Subjekte dar, die wiederholt während eines Prozesses instanziiert werden können. Demnach kann es in einem Prozess mehrere Akteure geben, die das gleiche Verhalten aufweisen.
	Subjektgruppen stellen einen Zusammenhang zwischen mehreren Subjekten dar. Neben der logischen Verbindung können von jedem Subjekt innerhalb der Gruppe übergeordnete Nachrichten empfangen werden. Es muss hierbei nicht spezifiziert werden, an welches Subjekt sich die Nachricht genau richtet.

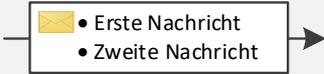
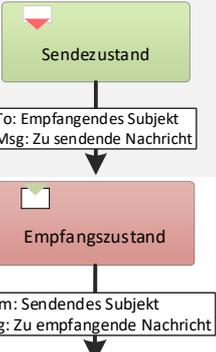
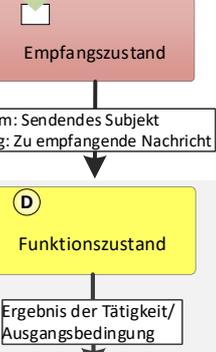
GRAFISCHE ELEMENTE	BESCHREIBUNG
	<p>Nachrichten, die Informationen oder Informationsobjekte darstellen, werden zwischen zwei Subjekten mit einer spezifischen Richtung (vom Sender zum Empfänger) ausgetauscht.</p>
	<p>Abstrakte Kommunikationskanäle verdeutlichen die mögliche Kommunikation, die jedoch nicht weiter spezifiziert werden muss.</p>

Tabelle 2-8: Elemente eines Subjekt-Interaktions-Diagramms (Elstermann, 2019, S. 85)

2.4.2 Subjekt-Verhaltens-Diagramm

Es folgt eine Beschreibung der SBD nach Elstermann (2019). Zu jedem SID können mit einem zweiten Diagrammtyp mehrere SBDs erstellt werden (Elstermann, 2019). Im Regelfall erhält jedes Standard-Subjekt aus dem SID ein SBD, welches dessen spezifisches Verhalten beschreibt. Jedes SBD hat einen initiiierenden Startzustand. Danach wird das Verhalten durch verschiedene Handlungen bzw. Zustände dargestellt. Hierzu wird im SBD der mögliche Ablauf der Handlungen, die das Subjekt ausführt, abgebildet. Das Subjekt befindet sich demnach zu jedem Zeitpunkt in einem bestimmten Zustand und führt die mit diesem Zustand zusammenhängenden Aufgaben aus. Es führt als Abfolge aus der aktiven Abarbeitung einer Aufgabe zu einem Übergang in einen passiven Zustand. Dabei wird zwischen dem Aktionsverhalten und dem Kommunikationsverhalten unterschieden. Das Aktionsverhalten beschreibt die Zustände, die das Subjekt selbstständig durchläuft ohne Interaktion mit weiteren Subjekten. Diese werden in Form von Funktionszuständen und Funktionstransitionen in PASS dargestellt. Unter dem Kommunikationsverhalten ist eine Interaktion mit einem weiteren Subjekt erforderlich. Entsprechende Elemente von PASS sind: Sendezustände, Sendetransitionen, Empfangszustände und Empfangstransitionen. Empfangs- und Funktionszustände können mehr als eine Ausgangstransition haben, sodass es in einem SBD verschiedene Endzustände geben kann (Elstermann, 2019). Eine Zusammenfassung der Elemente eines SBDs sind Tabelle 2-9 aufgeführt.

GRAPHISCHES ELEMENT	BESCHREIBUNG
	<p>Ein Sendezustand beschreibt das Verschicken von Informationen oder Informationsobjekte an ein anderes Subjekt. Dabei ist für die Sendetransition der Empfänger und die Nachricht selbst relevant. Der Zustand hat immer nur eine mögliche Transition.</p>
	<p>Ein Empfangszustand bildet einen Wartezustand ab, der durch das Empfangen einer Nachricht verlassen werden kann. Die Empfangstransition enthält wie die Sendetransition das Sender-Subjekt und Nachricht. Empfangszustände können mehrere alternative Transitionen besitzen.</p>
	<p>In einem Funktionszustand führt das Subjekt unabhängig von anderen Subjekten eine Aufgabe durch. Das Ergebnis wird in der Funktionstransition festgehalten und beendet den Zustand. Funktionszustände können mehrere alternative Transitionen besitzen.</p>

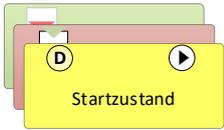
GRAPHISCHES ELEMENT	BESCHREIBUNG
	<p>Es existiert immer ein Startzustand und ggf. mehrere Endzustände. Dabei kann jede Art von Zustand den Startzustand abbilden. Nur Empfangs- oder Funktionszustände können einer von gegebenenfalls mehreren Endzuständen sein.</p>
	

Tabelle 2-9: Elemente eines Subjekt-Verhaltens-Diagramms (Elstermann, 2019, S. 88)

2.5 Zusammenfassung

Das Kapitel der theoretischen Grundlagen gibt einen umfassenden Überblick über wesentliche Begriffe, Konzepte und Modelle mit dem Fokus auf Informationstechnologiesysteme. Beginnend mit der Einführung von relevanten Begriffen aus dem produzierenden Kontext, wie PLM, PDM, CAD oder MES, wurden die Phasen im Produktlebenszyklus vorgestellt. Entscheidend ist ebenfalls das Verständnis zu einer digitalen Fabrik in Abgrenzung zu einem digitalen Zwilling. Dies ist für die folgende Recherche und Methodikvorstellung entscheidend. Ebenso wurden Ansätze und Methoden vorgestellt, auf die die Methodik des Feedbackraums aufbaut. Aus der produzierenden Perspektive sind die Konzepte Produkt-Prozess-Ressource, Mensch-Technik-Organisation und die Automatisierungspyramide grundlegend. Zudem stellen drei qualitative Methoden zur Messung von Nutzen und fünf quantitativen Methoden zur Nutzen- und Wirtschaftlichkeitsanalyse einen wesentlichen Rahmen für die in Kapitel 5.2 vorgestellte Methode. Ebenso dient die subjektorientierte Modellierungssprache PASS zur Darstellung der Akteure und Interaktionen eines Feedbackraum. Daher erfolgte ebenfalls die Vorstellung dieses Werkzeuges.

Insgesamt bietet dieser Grundlagenteil einen umfassenden Einblick in die Konzepte, Systeme und Daten, die im Rahmen des Produktlebenszyklusmanagements von Bedeutung sind. Er bildet eine solide Basis für die weiterführende Analyse und Forschung in diesem Bereich.

3 Stand der Technik in der Wissenschaft und Wirtschaft

Die in dieser Arbeit entwickelten Methodik des echtzeitfähigen Feedbackraums baut auf aktuellen Forschungsergebnissen aus dem Feedbackmanagement (*Kapitel 3.1*) und der Relevanz von Technologien sowie Individuen in der digitalen Fabrik (*Kapitel 3.2*) auf. Darüber hinaus sind wertschöpfungsübergreifende Plattformen (*Kapitel 3.3*) und existierende Potentialanalysen (*Kapitel 3.4*) eine Ausgangsbasis der Methodik und für das Verständnis relevant. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung und einer Identifizierung von Forschungslücken.

3.1 Dimensionen des Feedbackmanagements

Nach Aidi et al. (2017) umfasst Feedbackmanagement die Sammlung und Auswertung von kontextbezogenen Informationen, die objektiv aus Datenbeständen oder subjektiv aus direkten Kundenbefragungen gewonnen werden. Es handelt sich also um Bewertungen, Rückmeldungen, Meinungen, aber auch exakten Messungen zu einem bestimmten Produkt, Prozess oder Dienstleistung, der immer einer Interaktion zu Grunde liegt. Das Feedback wird im Unternehmen im Allgemeinen dazu genutzt, Probleme transparent zu machen sowie Prozesse und die Kommunikation zwischen Menschen, Maschinen und Systemen kontinuierlich zu verbessern. Es werden fünf Dimensionen des Feedbackmanagements bezogen auf unternehmensinternen und -externen Interaktionen vorgestellt und in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben. Unter Feedback wird in vielen Fällen die Bewertung von Kunden verstanden. Insbesondere der Umgang und die Integration dieser unternehmensexternen Rückmeldungen ist sehr entscheidend. Zudem gibt es einen Austausch mit Geschäftspartnern und branchenrelevanten Organisationen, die ebenfalls unter der Dimension des Feedbackmanagement betrachtet werden können. Neben den unternehmensexternen Beziehungen wird im Folgenden auch die interne Kommunikation betrachtet. Auch ein Mitarbeitergespräch wird mit Feedback assoziiert. Neben dieser naheliegenden Perspektive sind aber auch weitere Aspekte in der Kommunikation zwischen mehreren Akteuren relevant. Diese betreffen die Dimensionen Mensch-zu-Maschine bzw. IT-System sowie die Maschinenkommunikation.

3.1.1 Interaktionen mit Kunden

Der Autor Bungard (2018) beschreibt die Einbeziehung des Kundenfeedbacks in das Unternehmen als „Kunden-Thermostat“. Er stellt heraus, dass es eine vollständige Feedbackschleife geben muss, die wesentlicher Bestandteil der Organisationskultur ist. Diese Feedbackschleife kann in Teil-Feedbackschleifen aufgeteilt werden, welche wiederum Einfluss auf die Endqualität beim Kunden und somit maßgeblichen Einfluss auf den Wettbewerbsvorteil eines Unternehmens hat. Beispielsweise muss das Subsystem zwischen Kunden und Lieferanten durch Kunden-Feedback optimiert werden (Bungard, 2018). Dies führt unweigerlich zu dem Grundkonzept der Einbeziehung weiterer Wertschöpfungspartner zur Verbesserung der Kundenbeziehung. Es ist bekannt, dass die Zusammenarbeit in Wertschöpfungsketten wichtig ist, um die Kundenbedürfnisse vollumfänglich abzudecken und somit den Wettbewerbsvorteil auszubauen (Lammers, 2012). Unter dem Efficient Consumer Response (ECR) Konzept wird die Stärkung der Händler-Hersteller-Beziehung verstanden, die effiziente Reaktionen in der gesamten Wertschöpfungskette und die Fokussierung auf Verbraucherbedürfnisse beinhaltet (Lammers, 2012). Die

wechselseitige Beziehung zwischen dem Kunden, dem Hersteller und dem Händler unter Betrachtung eines durchgängigen Informationsfluss ist demnach entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg.

Daher hat auch CRM einen wichtigen Stellenwert für Unternehmen. Der Autor Stauss (2011) überträgt das Konzept von Feedbackmanagement auf das Anwendungsfeld CRM. In diesem Zuge stellt er vier Modifikationen fest (Aufzählung nach (Stauss, 2011)):

1. Der Kunde rückt in die Rolle des Feedbackgebers.
2. Der Kunde verfolgt eine spezifische Intention, die eine Veränderung bezogen auf Produkte, Dienstleistungen oder unternehmerische Verhaltensweisen hervorrufen soll.
3. Der Kunde kann verschiedene Kommunikationswege wählen (mündlich, telefonisch, schriftlich).
4. Der Kunde gibt eine subjektive Wertung ab, die positiv oder negativ sein kann.

Der digitale Wandel hebt das Konstrukt Feedbackmanagement in Bezug auf Kunden auf eine neue Ebene. Durch die Integration von Feedback-Prozessen in die neuen Geschäftsmodelle wachsen die Möglichkeiten, den Kunden stärker in die frühen Phasen der Produktentwicklung einzubeziehen. Speziell im Online-Handel hängt der Erfolg von der bedingungslosen Ausrichtung der Strategie nach Kundenwünschen ab (Heinemann, 2017). Um die individuellen Erlebniswelten von Kunden über eine digitale Feedback-Kommunikation zu erfassen, entwickelte Krickel (2022) ein Referenzmodell für Experience Management. Dieses beinhaltet neben einem IT-Architekturmodell ebenfalls ein Ordnungsrahmen zur Organisationgestaltung als auch relevante Datenmodelle, um die Unternehmensstrategie auf den Kunden auszurichten (Krickel, 2022).

Nicht nur IT-Systeme wie Webanwendungen können die Feedbackfassung unterstützen, auch innovative Technologien sind für tiefgehende Datenaufnahmen geeignet. Für variantenreiche und investitionsstarke Güter ist der Einsatz von immersiven Virtual Reality Technologien sinnvoll, um das Feedback um die Messung von emotionalen, körperlichen Reaktionen zu ergänzen (Katicic, 2014).

3.1.2 Interaktionen mit Wertschöpfungspartnern

Ein standardisierter Austausch von Daten beziehungsweise Feedback zwischen Unternehmen erfolgt meistens in bidirektionalen Beziehungen über Schnittstellen von IT-Systemen und bei gesamten Wertschöpfungsnetzwerken über Plattformen. Auf die technischen Details von Plattformen und wertschöpfungsübergreifenden Netzwerken wird in Kapitel 3.3 eingegangen. Dieser Abschnitt soll die Dimension von Datenökosystemen zum Datenaustausch beleuchten.

Unter dem Begriff *Business Ecosystems* definierte Moore (1993) bereits in den neunziger Jahren ein an die Biologie angelehntes Ökosystem, in dem eine Abhängigkeit zwischen allen Unternehmen existiert, die auf die Zusammenführung ihrer Fähigkeiten zum Zweck der Innovationsgenerierung basiert. Der Autor Petrik (2022) sieht ein Ökosystem als nächsten Entwicklungsschritt eines Wertschöpfungsnetzwerk. Durch höhere Standardisierung (auch im wirtschaftlichen Sinne) besitzt ein Ökosystem eine höhere Skalierbarkeit. Zudem sind Wertschöpfungsnetzwerke bezogen auf die Teilnehmenden sehr starr und nur schwer erweiterbar. Hingegen beziehen Ökosysteme ebenfalls den Endkunden mit ein. Durch die einfach Erweiterung des Ökosystems durch Kunden und Unternehmen können ebenfalls mehrere Wertschöpfungsnetzwerke in einem Plattformökosystem vereint werden (Petrik, 2022).

Daher sind digitale Ökosysteme ein wesentliches Medium, um Interaktionen und Feedback wertschöpfungsübergreifend auszutauschen. In diesem Zusammenhang stellten Ovtcharova et al. (2017) sieben Thesen zu Plattformmärkten in einer Studie für die Wohnungswirtschaft auf. Die ersten vier sind

allgemeingültig und lassen sich auf beliebige Branchen übertragen. Es folgt eine Aufzählung in Anlehnung an Ovtcharova et al. (2017, S. 5):

1. Die Digitalisierung ist eine Notwendigkeit für eine flächendeckende Vernetzung und Kommunikation.
2. Die Grundlage für flächendeckende Digitalisierung baut auf einer Plattform auf, die ein digitales Geschäftsmodell beinhaltet.
3. Daten werden primäres Handelsgut und der Kunde tritt damit nicht nur als Konsument auf, sondern ebenfalls als Datenproduzent.
4. Die Interaktionen laufen über einen Marktplatz und sind mittel- und langfristig unverzichtbar für Unternehmen.

Die technischen Bestandteile sowie relevanten Perspektiven eines digitalen Ökosystems sind zu unterscheiden. Nach der Initiative Gaia-X sind die Begriffe Datenraum und Datenökosystem voneinander abzugrenzen, obwohl sie in der Literatur oftmals synonym verwendet werden. Nach Reiberg et al. (2022) ist ein Datenökosystem die übergeordnete Einheit. Der Datenaustauschprozess wird dem Datenraum zugeschrieben. Weitere Einheiten eines Datenökosystems sind vor- und nachgelagerte Prozesse zur Datengewinnung sowie -verarbeitung (Reiberg et al., 2022). Für den Aufbau eines Datenraums müssen laut Reiberg et al. neben den technischen, auch ökonomische und rechtliche Perspektiven eingenommen werden. Zudem muss zu den spezifischen Erkenntnissen basierend auf den genannten Perspektiven auch ein gemeinsames Grundverständnis von den Datenräume existieren, damit einzelne Ziele in der Gemeinschaft möglichst erreicht werden können (Reiberg et al., 2022).

3.1.3 Interaktionen im Unternehmen zwischen Mensch, Maschine und System

Die datenbasierte Optimierung von Prozessen führt zwangsläufig zu einer Anpassung der Interaktion zwischen Mensch, Maschine und System. Zum einen sind dafür objektive Daten notwendig, die beispielsweise von Sensoren aus der Produktion aufgenommen werden. Zum anderen haben auch subjektive Wahrnehmungen von Individuen wie Mitarbeiterfeedback eine zentrale Bedeutung. Die Einbeziehung dieser Daten unterstützt den Prozess hin zu einer optimalen Zusammenarbeit zwischen menschlichen Akteuren sowie technologischen Systemen.

Mensch zu Mensch

Klassisch wird Feedback als eine Rückmeldung über ein wahrgenommenes Verhalten an eine Person definiert, wie zum Beispiel bei einem Mitarbeitergespräch im Unternehmen (Mentzel et al., 2008). In dem Buch *Feedbackinstrumente im Unternehmen* (Jöns & Bungard, 2018) werden unterschiedliche Perspektiven beleuchtet. Es kann nach der hierarchischen Struktur, wie z. B. Leistungsbeurteilungen von Vorgesetzten zu Mitarbeitenden oder Mitarbeiterbefragungen, aber auch von Bottom-up im Sinne einer Vorgesetztenbeurteilung unterschieden werden. Ebenso wird auf Teamfeedback und Feedback zwischen Gruppen eingegangen (Jöns & Bungard, 2018).

In allen Fällen wird Feedback als ein Werkzeug verstanden, welches ein wesentlicher Teil eines Verbesserungsprozesses darstellt. Durch die von Bungard (2018) bezeichneten Rückkopplungsdaten wird die Steuerung eines Gesamtsystems ermöglicht. Diese Verbesserung lässt sich ebenfalls durch Effizienzkriterien messen. Dazu zählt Bungard sechs Feedbackinstrumente auf (Aufzählung nach (Bungard, 2018, S. 22)):

- Diagnose-,
- Kommunikations-,
- Evaluations-,
- Aktivierungs- und Motivations-,
- Steuerungs- und
- Sozialisationsfunktion.

Relevante Kriterien für ein erfolgreiches Feedback liegen in der Akzeptanz des Feedbackempfängers und der damit wahrgenommenen Fairness (Levy & Steelman, 1997). Ebenso hat die Valenz von Feedback eine Auswirkung auf die Akzeptanz. Positives Feedback erhöht das Vertrauen sowie die Leistung (London, 1995). Bei dem Inhalt unterscheidet Bungard (2018) zwischen Ergebnis- und Prozessfeedback, welcher sich zum einen auf die Leistungsergebnisse und zum anderen auf eine deskriptive Aussage über die Aufgabenausführung bezieht. Die Konkretisierung bzw. Spezifizierung in Form von Fakten und konkreten Beispielen ist ebenfalls relevant (Bungard, 2018). Zudem existieren laut Bungard Kriterien bezogen auf die Art und Weise des Austausches. In diesem Fall spielt die Häufigkeit und der Abstand zu relevanten Ergebnissen eine wesentliche Rolle. Ebenso sollte Feedback nicht über Dritte, sondern direkt erfolgen (Bungard, 2018).

Mensch und Maschine

Ein wesentlicher Aspekt bei der Kollaboration von Mensch und Maschine ist das Vertrauen gegenüber der Automatisierung (Akash et al., 2020; Kaplan et al., 2020). Akash et al. (2020) entwickelte ein Framework, um das menschliche Vertrauen abzubilden und zu kalibrieren, indem die Transparenz bei Automatisierung und die Menge sowie der Nutzen von Informationen für den Nutzer variiert wurde. Damit wurde die Art und Qualität des Feedbacks variiert.

Die Art und Weise wie ein Feedback ausgelöst wird, kann unterschiedlich realisiert werden. Einerseits kann es durch einen Nutzer aktiv angefordert und andererseits durch das System automatisiert ausgelöst werden (Schudnagis & Womser-Hacker, 2003). Als Feedback wird nicht nur der Austausch von Daten verstanden. Ebenso kann es haptisches, visuelles oder akustisches Feedback geben, um eine Interaktion zwischen Mensch und System zu verbessern (Granström et al., 2002; Zhu et al., 2020).

Ein Spezialfall bildet die kollaborative Arbeit in immersiven Umgebungen. Dabei wird die Technologie als Kommunikationsmedium betrachtet. In dem Fall Mensch zu Maschine wird auf die asynchrone Remote-Kollaboration verwiesen. Häufig kommt dieser für Lernzwecke oder zur Dokumentation zum Einsatz (Mayer et al., 2022). Dabei nimmt eine Person seine Interaktion mit Objekten in der virtuellen Welt auf und erschafft damit ein Avatar in der immersiven Welt. Dieser dient dann als virtueller Trainer für einen Nutzer, der wiederum nur mit der virtuellen Welt interagiert (Mayer et al., 2022). Die Nutzerakzeptanz ist bei diesem Anwendungsfall entscheidend. Dabei ist die Wahrnehmung bezogen auf Größen und Distanzen, das Wohlbefinden bei Nutzung der Technologie (Cybersickness) und die Usability im Sinne der Interaktionsmöglichkeiten entscheidend (Mayer et al., 2023). Diese Art von Kollaboration vereint wirtschaftliche, ökologische und soziale Vorteile (Krodel et al., 2024). Die Autoren Krodel et al. (2024) heben bei der sozialen Perspektive die Faktoren im Bereich Gesundheit, Sicherheit, Gleichberechtigung, Vielfalt, Lebensqualität und Selbstbestimmung hervor.

Maschine und Maschine

Es wurde in diesem Kapitel oftmals darauf verwiesen, dass es sich bei Feedback nicht nur um eine subjektive Reaktion eines Individuum handeln muss. Neben dem Austausch zwischen Menschen und Maschinen ist auch ein Feedback zwischen zwei oder mehreren Maschinen bzw. IT-Systemen eine Dimension des Feedbackmanagements. Relevant dabei ist, dass die Feedbacksammlung immer von einem

Menschen, z. B. Maschinenbediener, initiiert wird. Die Kommunikation zwischen den Maschinen basiert dann auf Kommunikationsprotokollen und bestenfalls herstellerunabhängig mit etablierten Standards.

Konkrete Standards für Datenformate und -austausch sind in Kapitel 3.3.1 aufgeführt. Diese betreffen die Produktion, aber auch den Zusammenhang mit Gebäudeautomation sowie IT-System aus höheren Ebenen der Automatisierungspyramide.

3.2 Entwicklung von Mensch und Technologie in der digitalen Fabrik

Es ergeben sich vermehrt technische Möglichkeiten zur Produktionsoptimierung durch die Digitalisierung. Insbesondere die Technologiefelder der digitalen Fabrik nach (Dorst et al., 2015) bieten einen strukturierten Ansatz für die Erfassung von Potentialen in der moderne Produktion und werden in Kapitel 3.2.1 detailliert vorgestellt. Diese Technologiefelder bilden zudem eine Basis für die Potentialanalyse im Rahmen dieser Methodik (siehe Kapitel 5.2.1). Mit einer technischen Veränderung geht immer auch ein Wandel der Arbeitswelt sowohl für die Mitarbeitenden also auch für die Organisation einher. Diese Wechselbeziehung wird in Kapitel 3.2.2 erläutert.

3.2.1 Technologiefelder der digitalen Fabrik in der Industrie 4.0

Unter Industrie 4.0 wird die lebenszyklusorientierte Planung und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette von Produkten verstanden, die in Echtzeit alle relevanten Informationen den Akteuren und Systemen für einen optimalen Wertschöpfungsfluss bereitstellen (Dorst et al., 2015). Aktuelle technische Entwicklungen und Forschungsprojekte werden in Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 vorgestellt. Dieses Kapitel widmet sich der Klassifizierung von Technologien innerhalb der digitalen Fabrik. In der Studie „*Erschließung der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand*“ wurden sieben Technologiefelder basierend auf einer nationalen Studie identifiziert und entsprechende Technologien zugeordnet (Bischoff et al., 2015). Diese sind in Abbildung 3-1 dargestellt und im Folgenden kurz erläutert.

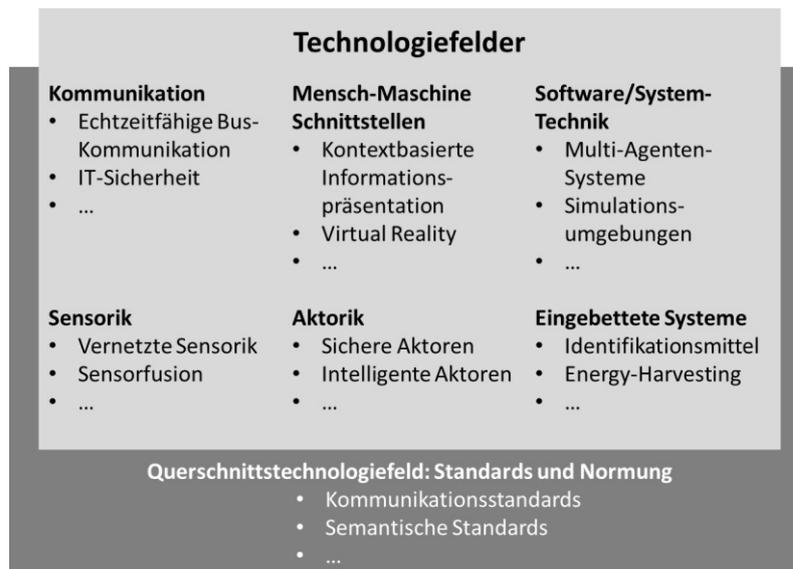


Abbildung 3-1: Technologiefelder und Beispieltechnologien im Kontext an Industrie 4.0 (angelehnt an (Bischoff et al., 2015, S. 18))

- **Technologiefeld Kommunikation:** dieses Feld umfasst den drahtgebundenen und drahtlosen Datenaustausch. Insbesondere hohe Verfügbarkeiten, Datentransferleistungen, Sicherheitsthemen und intelligente Kommunikationsprotokolle sind relevante Aspekte.
- **Technologiefeld Sensorik:** Die Sensorik dient zur Daten- bzw. Informationsgewinnung von Maschinen, Umgebungskontext und Prozessen. Diese bilden ein Teil der Datenbasis für Analyse und Steuerung.
- **Technologiefeld Eingebettete Systeme:** Die Kombination von Hardware mit integrierter Sensorik sowie intelligenter lokaler Datenverarbeitungs- und Steuerungslogik wird als eigenständiges Technologiefeld gewertet.
- **Technologiefeld Aktorik:** Durch Aktorik kann auf die reale Umwelt automatisiert eingewirkt werden. Ein elektronisches Signal löst eine mechanische Bewegung oder ähnliches (z. B. eine Veränderung von Temperatur oder Druck) aus. Diese werden zunehmend intelligenter gestaltet und haben starke Wechselwirkungen mit anderen Technologiefeldern.
- **Technologiefeld Mensch-Maschinen-Schnittstellen:** Damit der Mensch weiterhin Überwachung, Steuerung und Störbehebungen ausführen kann, benötigt es Schnittstellen bzw. geeignete Assistenzsysteme. Die Technologiefelder Sensorik, Kommunikation und Eingebettete Systeme dienen hierzu häufig als Basistechnologie.
- **Technologiefeld Softwaresystemtechnik:** Mit dem Ziel der Automatisierung und Autonomie sowie dezentraler Steuerung sind Technologien zur Datenauswertung in diesem Feld versammelt. Es umfasst Systemlösungen, Geschäftsmodelle und Architekturen, die auch cloudbasiert sein können.
- **Querschnittstechnologiefeld Standards & Normung:** Damit eine durchgängige Datenerfassung in der gesamten Wertschöpfungskette ermöglicht werden kann, wird der Einsatz von Standards und Normung verfolgt. Diese betreffen Kommunikation von Maschinen, Systemen und Menschen auf allen Ebenen.

Diese sieben Felder bilden Klassifikationskategorien für Basistechnologie in der digitalen Fabrik. Für die Automatisierung der Produktion ist die wechselseitige Beziehung zwischen den Kategorien maßgeblich.

3.2.2 Mensch im Wandel der Produktion

Es existieren verschiedene Konzepte wie innovationsbedingte Änderungen in der Produktion einen Einfluss auf den Menschen haben. Der Mensch-Technik-Organisations-Ansatz (siehe Kapitel 2.2.2) nach Ulich (2013) zeigt die Auswirkung auf die Arbeitswelt. Die Synergien und Wechselwirkungen zwischen sozialen Aspekten, den Technologien in der Produktion sowie dessen Organisationsstruktur können als ein soziotechnisches Arbeitssystem aufgefasst werden. Aus der wechselseitigen Beziehung der drei Perzeptiven folgt, dass die Gestaltungsmöglichkeiten von einem Teilsystem einer Perspektive durch die anderen beiden Teilsysteme begrenzt wird (Hirsch-Kreinsen, 2014). Somit hat nach Hirsch-Kreinsen der durch den technologiebedingten Wandel eines Teilsystems immer eine Auswirkung auf die anderen Teilsysteme. Die Auswirkungen des Wandels der gesamten Arbeitswelt sind in Abbildung 3-2 aufgeführt und werden im Folgenden erläutert.

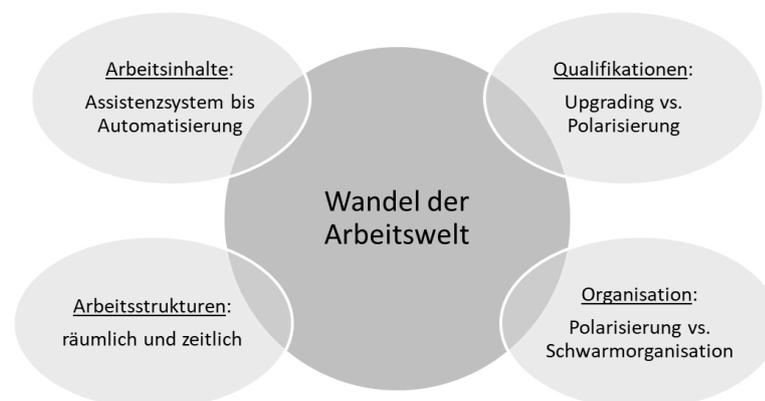


Abbildung 3-2: Vier Dimensionen im Wandel der Arbeitswelt

Die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine verändert die Arbeit in der Produktion. Die Maschinen können in diesem Zusammenhang ein Assistenzsystem sein, welches den Arbeitenden zwecks Entlastung, Qualitäts- oder Effizienzsteigerung unterstützt (Windelband, 2014). Im Gegensatz dazu kann der Wandel zu einem hochautomatisierten CPPS gehen, welches von qualifizierten Experten überwacht werden muss (Schlund & Gerlach, 2013). Nach Schlund und Gerlach sind ebenfalls hybride Szenarien denkbar.

Durch die Unterstützung und (Teil-)Automatisierung steigt die Notwendigkeit von höherqualifiziertem Personal. Diese Qualifikation kann nach dem Soziologen Hirsch-Kreinsen (2015) in zwei unterschiedlichen Richtungen erfolgen. Bei dem Upgrading werden die Qualifikationen von einem Einzelnen oder aller Mitarbeitenden aufgewertet. Während die humanzentrierte These des Upgrading von Qualifikation von einem Lernfortschritt aller Mitarbeitenden ausgeht und dabei die Möglichkeit zur Aufwertung nahezu aller Tätigkeiten und Qualifikationsniveaus bietet, beschreibt die Polarisierung von Qualifikation einen gegenläufigen Prozess, der sich stärker an der Technik als an den Menschen orientiert (Huchler, 2015). Die Grundannahme der These ist, dass zum einen gut bezahlte, hochqualifizierte Mitarbeiter, sowie zum anderen Tätigkeiten mit geringen Anforderungen an die Mitarbeiterqualifikation und schlechterer Bezahlung nachgefragt werden. Mitarbeiter der mittleren Qualifikationsstufe werden jedoch durch Algorithmen und Automatisierungstechniken langfristig substituiert und verlieren an Bedeutung (Hirsch-Kreinsen & Hompel, 2020). Diese Tendenz zur Polarisierung haben Goos und Manning (2007) in einer empirischen Studie über den Arbeitsmarkt in Großbritannien belegt.

Neben den Qualifikationsanforderungen ergeben sich auch neue Organisationsstrukturen. Unter einer Organisationsstruktur wird die „arbeitsteilige Strukturierung von Aufgaben und Tätigkeiten in horizontaler und hierarchischer Hinsicht und damit verbundene Gestaltung von Kooperation und Kommunikation zwischen dem im und am System Beschäftigten verstanden“ (Hirsch-Kreinsen, 2014, S. 23). Hirsch-Kreinsen (2014) unterscheidet eine polarisierende Organisationsstruktur und eine Schwarmorganisation. Die Idee der polarisierten Organisationsstruktur geht auf eine starke Arbeitsteilung zurück, bei der gering qualifizierte Arbeiter einfache Tätigkeiten ausführen, die nicht wirtschaftlich automatisiert werden können und gut ausgebildete Mitarbeiter verstärkt Kompetenzen aufbauen, sodass sich deren Entscheidungs- und Handlungsspielräume erweitern. Die Schwarmorganisation verfolgt das Konzept des Upgradings von Qualifikation. Das Muster wird dadurch gekennzeichnet, dass einfache Tätigkeiten, wie sie in der polarisierten Organisation noch vielfach aufzufinden sind, in der Schwarmorganisation durch Cyberphysische Systeme (CPS) substituiert werden. Es existiert keine vordefinierte Aufgabenverteilung, sondern Mitarbeitende können selbstbestimmt und flexible den Arbeitstag gestalten.

Ebenfalls spielt die Flexibilisierung in der Arbeitsstruktur in Bezug auf Raum und Zeit eine wichtige Rolle. Durch die Digitalisierung ist eine räumlich und zeitliche Entkopplung auch von Produktionsarbeit möglich (Ittermann et al., 2015). Insbesondere durch den gesellschaftlichen Wandel führt die Kombination von neuen Arbeitsmodellen, innovativen Arbeitsplatzkonzepten und neuen Führungspraktiken zu einem Wandel in der Arbeitswelt (Werkmann-Karcher et al., 2023).

Die vier Dimensionen werden von dem MTO-Ansatz abgeleitet. Führt man diese wieder zurück in die unterschiedlichen Perspektiven, lassen sich Kriterien zusammenfassen, die die Veränderung der Arbeitswelt widerspiegeln. In Abbildung 3-3 sind für die Perspektiven Mensch, Technologie und Organisation die entsprechenden Kriterien zusammengefasst. Diese sind optisch konkreten Perspektiven zugeordnet. Jedoch wird darauf hingewiesen, dass die Wechselwirkung zwischen den Teilsystemen immer beachtet werden muss.

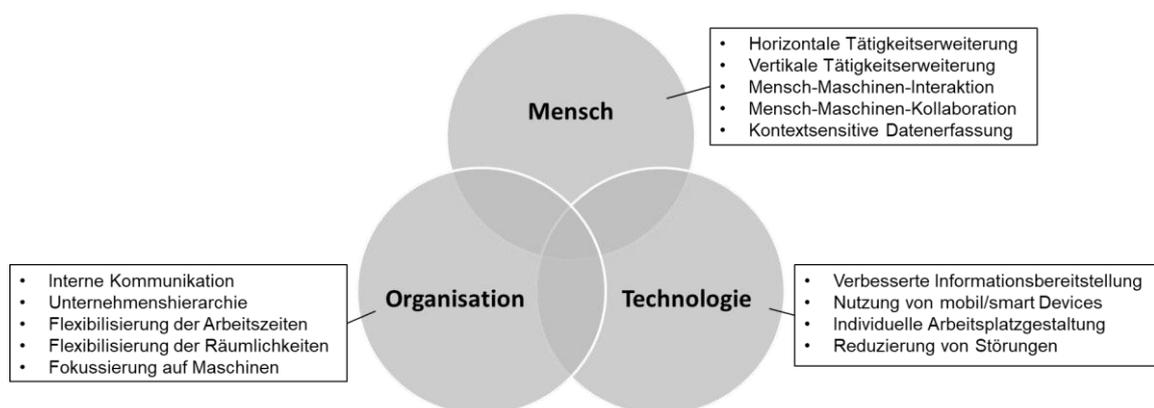


Abbildung 3-3: Nach dem MTO-Ansatz klassifizierte Kriterien zur Veränderung der Arbeitswelt

3.3 Wertschöpfungsübergreifende Netzwerke, Plattformen und Forschungen

Um Wertschöpfungsnetzwerke oder Plattformökonomien zu realisieren und ihre Effizienz zu steigern, ist es maßgeblich die Interoperabilität zwischen Systemen und den Austausch über Unternehmensgrenzen hinweg zu stärken. Normen, standardisierte Datenformate und Schnittstellen gewährleisten eine reibungslose und effiziente Kommunikation. Ebenso ist die Kommunikation zwischen Mensch und

Maschine bzw. Systemen sowie die Vernetzung von Technologien entscheidend für die Produktivität und Zuverlässigkeit im industriellen Kontext. Insbesondere um in einem überregionalen Kontext die Zukunftsfähigkeit sowie Nachhaltigkeit von industriellen Anwendungen zu gewährleisten, ist die Einbeziehung der Gebäudeinfrastruktur sowie des Stromnetzes relevant. Die Relevanz der drei genannten Bereiche – Geschäftsprozesse, Produktion und Gebäude - wird in Kapitel 3.3.1 beschrieben.

Neben Normen und Standards gibt es europäisch politische Bestrebungen, um ganzheitliche Ansätze länderübergreifend einzuführen. Vor einem Jahrzehnt wurde durch Industrie 4.0 die vierte industrielle Revolution ausgerufen. Das grundlegende Konzept und der Umsetzungsstand zu der Referenzarchitektur ist im ersten Abschnitt von Kapitel 3.3.2 beschrieben. Zudem werden die Aktivitäten zu Gaia-X und dem digitalen Produktpass beleuchtet. Abschließend ist in Kapitel 3.3.3 eine Übersicht zu internationalen Forschungsaktivitäten zu finden. In diesem Rahmen werden ebenfalls spezielle Aktivitäten mit dem Ziel der Nachhaltigkeit vorgestellt und verglichen.

3.3.1 Standardisierte Datenformate und -austausch im industriellen Kontext

Zur digitalen Verwaltung eines produzierenden Unternehmen existieren Standards für den Austausch von Daten, die sicherstellen, dass in jeder Phase des Produktlebenszyklus ein digitales Abbild der realen Anlage/Produkt dargestellt wird. Hierfür kommen M2M bzw. System-Kommunikationsmechanismen zum Einsatz, die das Konzept der Dienstorientierung (Service-Oriented-Architecture, SOA) verfolgen. Hierdurch wird es möglich, dass Dienste Nachrichten über Systemgrenzen hinweg in standardisierten Formaten (insbesondere XML-basiert) austauschen und semantik-erhaltend verarbeiten können. Diesem Ansatz folgt etwa das OPC UA Framework mit seinem zunehmend integrierten XML-basierten Companion Standards. Es existieren auch weitere etablierte Kommunikationsprotokolle in der Fertigungsindustrie, die eine wesentlich einfachere Informationsmodellierung ermöglichen. Ihre Anwendungsgebiete sind ähnlich, jedoch unterscheiden sie sich im Aufbau und in der Architektur. Im Kontext der Kommunikation zwischen den CPPS können diese Protokolle genutzt werden, um System-Meldungen zu aggregieren und dann standardisiert bereitzustellen. Das Produktionsgebäude selbst, Umweltdaten sowie die Integration in ein (intelligentes) Stromnetz erhält zunehmend mehr Bedeutung, sodass ebenfalls in diesem Bereich auf Standards verwiesen wird.

Ein Standard übernimmt verschiedene Funktionen: von der reinen Identifikation über Klassifikation, Datenaustausch, Transaktion bis hin zur Abbildung von Geschäftsprozessen (Abdelkafi & Radic, 2018). Trotz unterschiedlicher Komplexität unterstützen alle eine digitale Durchgängigkeit. Am Beispiel der Maschinenkommunikation, die eine Grundvoraussetzung für eine datengetriebene Optimierung der Produktion und des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks ist, wird der Funktionstyp erläutert. Es existieren eine Reihe von Kommunikationsprotokollen, die im Rahmen der industriellen Automatisierung den Datenaustausch zwischen Anlagen, Maschinen und IT-Systemen ermöglichen. Drei in der Fertigungsindustrie weit verbreitete Standards sind OPC UA, MTConnect und DDS, die alle die Interoperabilität zwischen Systemen unterschiedlicher Hersteller ermöglichen. Sie bewegen sich im Funktionsbereich des Datenaustausch und der Transaktion.

In Tabelle 3-1 ist ein Auszug von relevanten Standards und Normen abgebildet, der in die Kategorie Geschäftsmodelle, Produktion und Energiemanagement unterteilt ist.

KATEGORIE	STANDARD	BEZEICHNUNG	BESCHREIBUNG
Geschäftsprozesse und unternehmensübergreifender Austausch	EDI	Electronic Data Interchange	Standard für den Austausch von Geschäftsdokumenten (Emmelhainz, 1992).
	ECLASS	-	XML-basierte Standardisierung für Stammdaten aus unterschiedlichen Domänen (ECLASS e.V., 2024).
	IDM	Integriertes Datenmodell für Planungsintensive Möbel	Möbelbranchen-spezifischer Standard zum Austausch bzw. Verwaltung von hoch-konfigurierbaren Produkten (DCC, 2024).
Produktion und IoT	PPR- Modell	Produkt-Prozess-Ressourcen-Modell	Kategorisierung von Planungsdaten einer digitalen Fabrik (Schleipen & Drath, 2009).
	AutomationML	Automation Markup Language	Offenes, neutrales Datenformat basierend auf dem XML-Schema zum Austausch von CAD-, Layoutplanungs-, Elektronik-Planungs-, Softwareentwicklungs- und Prozessdaten, erweiterbar durch z. B. die Formate COLLADA, PLCOpen, CAEX und MathML (Drath & Schleipen, 2010).
	OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture	Spezifikationen für den plattformunabhängigen, echtzeitfähigen und zuverlässigen Datenaustausch zwischen Geräten verschiedener Hersteller (OPC Foundation, 2024).
	MTConnect	-	Domänenspezifischer Standard für die Kommunikation zwischen Werkzeugmaschinen und Applikationen höherer Unternehmensebenen (MTConnect Institute, 2024).
	DDS	Data Distribution Services	Ein programmiersprachen-, betriebssystem- und hardware-unabhängiges Middleware-Protokoll und Programmierschnittstelle mit der Fokussierung auf Daten (Object Management Group, 2024).
	OneM2M	-	Bietet Architekturen, API-Spezifikationen, Sicherheitslösungen und Interoperabilität für Machine-to-Machine- sowie IoT-Technologien (oneM2M Partners, 2022).

KATEGORIE	STANDARD	BEZEICHNUNG	BESCHREIBUNG
	MQTT	-	Das weitest verbreitete Push-Protokoll für IoT-Technologie, welches sich durch seine Leichtgewichtigkeit und Bandbreiteneffizienz auszeichnet (Soni & Makwana, 2017).
Smart Grid, Energiemanagement in und zwischen Gebäuden	EEBus	-	Eine standardisierte Kommunikationsschnittstelle, die das interagieren von Geräten untereinander und mit Netz- sowie Marktbetreiber ermöglicht (Böhm & Prümm, 2022).
	IFC	Industry Foundation Classes	Ein offenes und standardisiertes Datenmodell für Interoperabilität zwischen Softwareanwendungen zur Gebäudedatenmodellierung für Architektur, Engineering, Konstruktion und Facility Management (Laakso & Kiviniemi, 2012).
	OpenADR	Open Automated Demand Response	Definiert die Interaktion zwischen einem ADR-Server und -Client (generelle Architektur) für einen vollen Funktionsumfang einer Energiemanagementlösung (Herberg et al., 2014).
	IEC 61850	-	Internationale Norm für die herstellerunabhängige Automatisierung für Schaltanlagen (allgemeines Übertragungsprotokoll) (Mackiewicz, 2006).

Tabelle 3-1: Auszug von Standards und Normen für Geschäftsprozesse, Produktion und Gebäudeautomation

Zur Realisierung der Dienste, die diese standardisierte Informationen weiterverarbeiten und aggregieren, kann ebenfalls auf bestehenden Ansätzen wie den Software-Produktlinien (Biskup, 2009) und der modellgetriebenen Softwareentwicklung (Model-Driven Software Development, MDSD (Atkinson & Kuhne, 2003; Stahl et al., 2007)) aufgesetzt werden, sodass die Dienst-Infrastruktur automatisiert aus den erweiterten Standards gewonnen werden kann.

Standardisiertes Kennzahlensystem für die Produktion

Neben den vorgestellten Datenstandards existieren etablierte Normen für Kennzahlensysteme in der Produktion. Die ISO-Norm 22400 liefert einen eindeutigen Strukturierungsrahmen für KPIs für Manufacturing Operations Management (MOM). Die internationale Norm gibt einen Überblick zu relevanten KPIs und die Klassifizierung orientiert sich an der Automatisierungspyramide (Joppen et al., 2019). Die ISO-Norm 22400 baut maßgeblich auf der Normreihe IEC 62264 für die Integration von EDV und Leitsystemen auf. Diese definiert die Automatisierungspyramide (siehe Abschnitt 2.2.3 Automatisierungspyramide).

Zwei der vier Teile sind aktuell veröffentlicht. Die ISO 22400-1 liefert die Grundlagen über das Konzept sowie die verwendete Terminologie von KPIs für MOM (ISO_22400-1, 2014). Dabei ist anzumerken, dass MOM und MES synonym verwendet wird. Teil 2 umfasst die Definitionen und Beschreibungen für das Management von Produktionsabläufen (ISO_22400-2, 2014). Es werden 38 branchenunabhängige KPIs vorgestellt (Varisco et al., 2018). Der dritte Part soll den Austausch und Anwendungen thematisieren. Im letzten Teil wird auf die Zusammenhänge und Abhängigkeiten für die Betriebsführung in der Fertigung eingegangen (ISO_22400-1, 2014, ISO_22400-2, 2014).

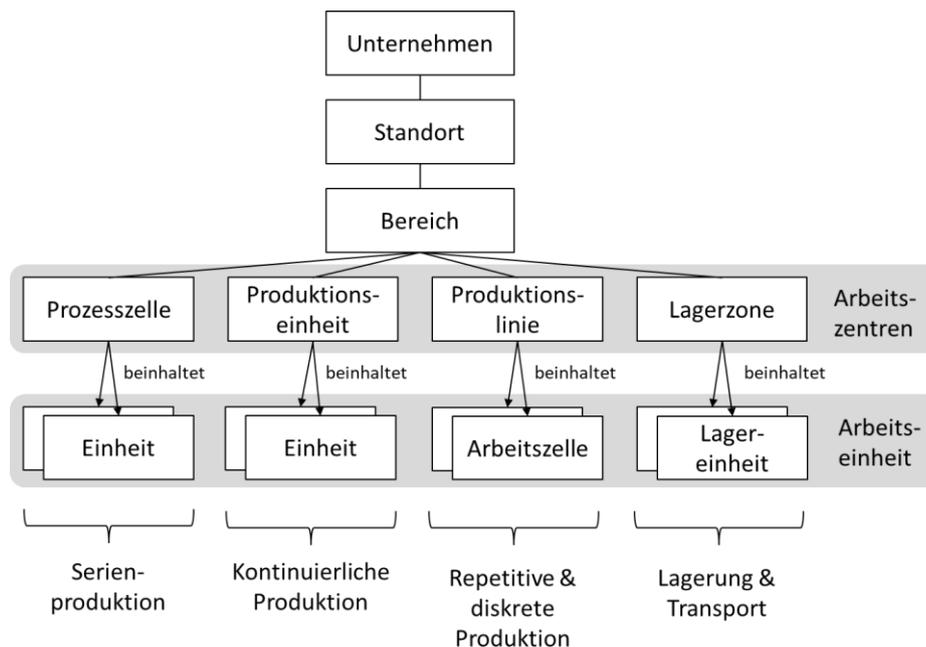


Abbildung 3-4: Rollenbasierte Hierarchie bezogen auf die MOM-Level basierend auf dem IEC 62264 (frei übersetzt in Anlehnung an (IEC 62264, 2003, S. 25; ISO 22400-1, 2014))

Die aktuellen Veränderungen durch Industrie 4.0 und der durchdringenden Digitalisierung kann nur schwer durch diese Norm abgebildet werden (Bischoff et al., 2015). Es fehlt an geeigneten KPIs zur Erfassung des Wandels, insbesondere der Beachtung der steigenden Flexibilität und Individualisierung sowie neuartigen Assistenzsystemen (Varisco et al., 2018).

3.3.2 Politische Bestrebungen zur Verbesserung der datenbasierten Zusammenarbeit

In dem folgenden Kapitel wird auf drei relevante Aktivitäten der letzten Jahre eingegangen, die durch die deutsche und europäische Politik initiiert wurden. Alle verfolgen das Ziel, die datenbasierte Zusammenarbeit in Wertschöpfungsnetzwerken zu verbessern. Bereits im Jahr 2011 wurde in Deutschland der Begriff Industrie 4.0 geprägt. Die tiefgreifende Vernetzung zwischen verschiedenen Ebenen von Menschen, Ressourcen und Informationen steht dabei im Vordergrund. Die europäische Initiative im Rahmen von Gaia-X fokussiert sich auf ein sicheres Plattformökosystem. Mit der ebenfalls europäischen

Richtlinie zu einem digitalen Produktpass soll das Konzept der Kreislaufwirtschaft unterstützt und die Transparenz gegenüber allen Marktteilnehmern sowie den Endkunden erhört werden.

Digitalisierungswandel durch Industrie 4.0 und das Rahmenwerk RAMI 4.0

Industrie 4.0 steht für die digitale Vernetzung der Produktion und deren systemtechnischen Einbindung in das Unternehmen. In den letzten Jahren wurde der Fokus von der Produktion auf das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk verschoben. Jedoch liegt die tragende Innovation in der tiefgreifenden Vernetzung von Objekten, Menschen, Ressourcen und Informationen. Damit verschmelzen reale und virtuelle Welten in Echtzeit. Laut Ovtcharova (2015) ist ein weiteres Merkmal die „starke Individualisierung (bis zur Losgröße 1) der Produkte unter den Bedingungen einer hoch flexibilisierten (Großserien-)Produktion (Mass Customization)“ (Ovtcharova, 2015, S. 41). Insbesondere der Mensch steht im Mittelpunkt dieser Veränderungen in der Produktion. „Menschen mit der Fähigkeit des vernetzten Denkens und Handelns und mit dem Blick für das große Ganze [...] [seien] gefragt“ (Ovtcharova et al., 2015, S. 111). Die Automatisierungstechnologie unterstützt dabei den Menschen bei zunehmend anspruchsvolleren Aufgaben (Ovtcharova, 2015).

Durch den Zusammenschluss von mehreren Branchenorganisationen wurde die Plattform Industrie 4.0 gegründet. Der Begriff Industrie 4.0 kann wie folgt definiert werden:

„Der Begriff Industrie 4.0 steht für [...] eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. [...] Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke.“ (Dorst et al., 2015, S. 8)

Diese Initiative brachte viele Innovationen in Forschung und Praxis im gesamten Produktlebenszyklus hervor. Laut dem *Leitbild 2023 für Industrie 4.0* (Plattform Industrie 4.0, 2019) werden mit dem globalen, digitalen Ökosystem Industrie 4.0 drei Ziele verfolgt: Souveränität, Interoperabilität und Nachhaltigkeit. Durch die Souveränität, die die Freiheit aller Akteure im Sinne von dem gesamten Unternehmen, dem Personal, der Wissenschaft oder der Einzelperson am Markt einschließt, wird ein Fortschritt der digitalen Infrastruktur, Sicherheit und Technologieentwicklung gefordert. In agilen Wertschöpfungsnetzen muss eine flexible Vernetzung durch die Interoperabilität aller Akteure möglich sein. Nur so können Unternehmens- und Branchengrenzen überwunden werden. Daher wird im Leitbild auf Standards, Systemintegration, regulatorischen Rahmen, dezentralen Systemen sowie Künstliche Intelligenz gesetzt. Das letzte Ziel der Nachhaltigkeit wird in ökonomischen, ökologischen und sozialen Perspektiven beleuchtet. Darunter fallen die Themenfelder Arbeit sowie Bildung, gesellschaftliche Teilhabe und Klimaschutz (Plattform Industrie 4.0, 2019).

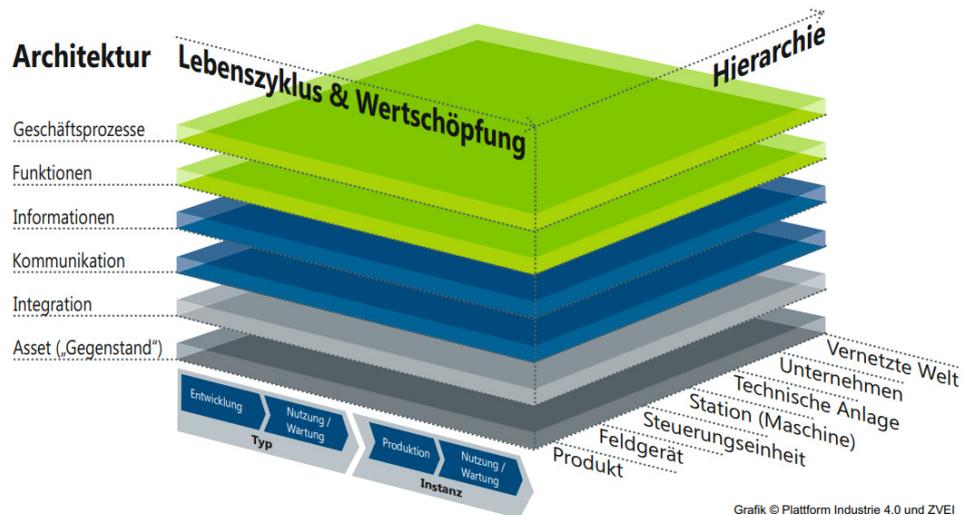


Abbildung 3-5: Veranschaulichung des Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (Dietel et al., 2017)

Mit einem Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (kurz RAMI 4.0) wurde frühzeitig eine zentrale Orientierungshilfe für technologische Implementierungen geschaffen (Dietel et al., 2017). In Abbildung 3-5 ist das Architekturmodell mit seinen verschiedenen Schichten abgebildet. Bereits 2017 war die Perspektive auf einen umfassenden Industrie-4.0-Standard illusorisch und es wurde mit RAMI 4.0 nicht die Entwicklung einer Plug-and-Play-Lösung verfolgt (Dietel et al., 2017). Zum jetzigen Zeitpunkt existieren einige Umsetzungen, die sich an RAMI 4.0 orientieren. Zum Beispiel entwickelte Baptista und Barata (2021) eine App für die Rückverfolgbarkeit von Produkten in der Produktion mittels QR-Code, die die Akzeptanz von KMU gegenüber der High-Level-Beschreibung RAMI 4.0 steigern soll. Auch Melo et al. (2021) setzte eine konkrete Implementierung um. Es wurde ein open-source-basiertes Steuerungsgerät für einen Teil von RAMI 4.0 entwickelt, welches den Austausch und Vernetzung entlang der unteren drei Ebenen (Assets, Integration und Kommunikation) abdeckt (Melo et al., 2021). Auch außereuropäische Forschungseinrichtungen haben Anwendungsfälle mithilfe von RAMI 4.0 umgesetzt. Die Autoren Tariq et al. (2023) beschreiben die Umsetzung in der marokkanischen Chemieindustrie und betonen insbesondere das Potential dieser Architektur strategische Unternehmensziele zu erreichen.

Zusammengefasst wird in der Literatur RAMI 4.0 oftmals als praktische Richtlinie für die Entwicklung industrieller Systemarchitekturen beschrieben, dessen Etablierung in der Praxis wegen fehlender Formalisierung schwierig ist (Binder et al., 2023). Daher verfeinerten Binder et al. (2023) die Architektur unter der Verwendung von ISO 42010, damit der zukünftige Einsatz von RAMI 4.0 vereinfacht wird. Auch die zahlreichen weiteren Anwendungsfälle bestätigen die Relevanz von diesem Referenzarchitekturmodell.

Vernetzte und offene Dateninfrastruktur mit Gaia-X

Digitale Souveränität ist durch den Technologiewandel ein wesentlicher Bestandteil von industriespezifischen Entscheidungen, der politische Agenden und der Cybersicherheitsstrategien. Die Begriffsdefinition von digitaler Souveränität ist von der EU noch nicht abgeschlossen (Autolitano & Pawlowska, 2021). Mit Gaia-X wird jedoch eine Grundlage für den Aufbau einer offenen und vernetzten Dateninfrastruktur auf Basis europäischer Werte geschaffen. Die daraus entstehende Infrastruktur soll die digitale Souveränität der Nachfrager stärken und auch Möglichkeiten für die Verbesserung europäischer Cloud-Dienstleister fördern (BMW, 2019). Dabei werden sieben Leitprinzipien zur Zielerreichung beitragen (Aufzählung nach (Gaia-X, 2021)):

1. Europäischer Datenschutz
2. Offenheit und Transparenz
3. Authentizität und Vertrauen
4. Souveränität und Selbstbestimmtheit
5. Freier Marktzugang und europäische Wertschöpfung
6. Modularität und Interoperabilität
7. Nutzerfreundlichkeit

Daraus ergeben sich vier Hauptziele von Gaia-X (Gaia-X, 2021). Das erste Ziel ist die Entwicklung eines einheitlichen Ökosystems für europäische Innovationen. Zudem soll ein digitales Umfeld für die Entwicklung neuer europäischer Dienste geschaffen werden. Dies setzt mit dem dritten Ziel die Schaffung gemeinsamer europäischer Datenräume in einer vertrauenswürdigen Umgebung voraus. Schlussendlich sollen mit Gaia-X die Abhängigkeiten reduziert werden (Gaia-X, 2021).

In dem Ökosystem agieren unabhängige Akteure, die vernetzt sind und wirtschaftliche Vorteile aus der Gemeinschaft ziehen können (Gaia-X, 2022). Unterteilt wird dieses Ökosystem in ein Daten- und Infrastrukturökosystem, welches stark durch die gegenseitige Wechselwirkung beeinflusst wird (Gaia-X, 2022). Die Akteure können in folgende Kategorien klassifiziert werden (Gaia-X, 2021): Consumer, Provider und Federators. Die Consumer nehmen Services-Instanzen in Anspruch. Ressourcen und Servicedienstleistungen werden von dem Provider angeboten. Zwischen den beiden Akteursgruppen werden Cloud- und Edge-Dienste in Anspruch genommen. Der Federator stellt die verbindende Komponente dar und bietet die dazugehörigen Federation Services an. Diese Services ermöglichen die Aufrechterhaltung der Verbindungen zwischen verschiedenen Teilnehmern eines Ökosystems sowie den Austausch zwischen verschiedenen Ökosystemen. Sie verfolgen damit das Ziel die Interoperabilität unterschiedlicher Dienste und Portabilität zu anderen Dienstleistern innerhalb des Ökosystems zu ermöglichen. Sie bieten zudem sichere Marktplatzfunktionen, die das Vertrauen zwischen Ökosystemteilnehmern erhöhen. Jedoch haben sie keinen inhaltlichen Einfluss auf die Transaktionen zwischen den Teilnehmern (Gaia-X, 2021). In Abbildung 3-6 wird das Ökosystem graphisch dargestellt.

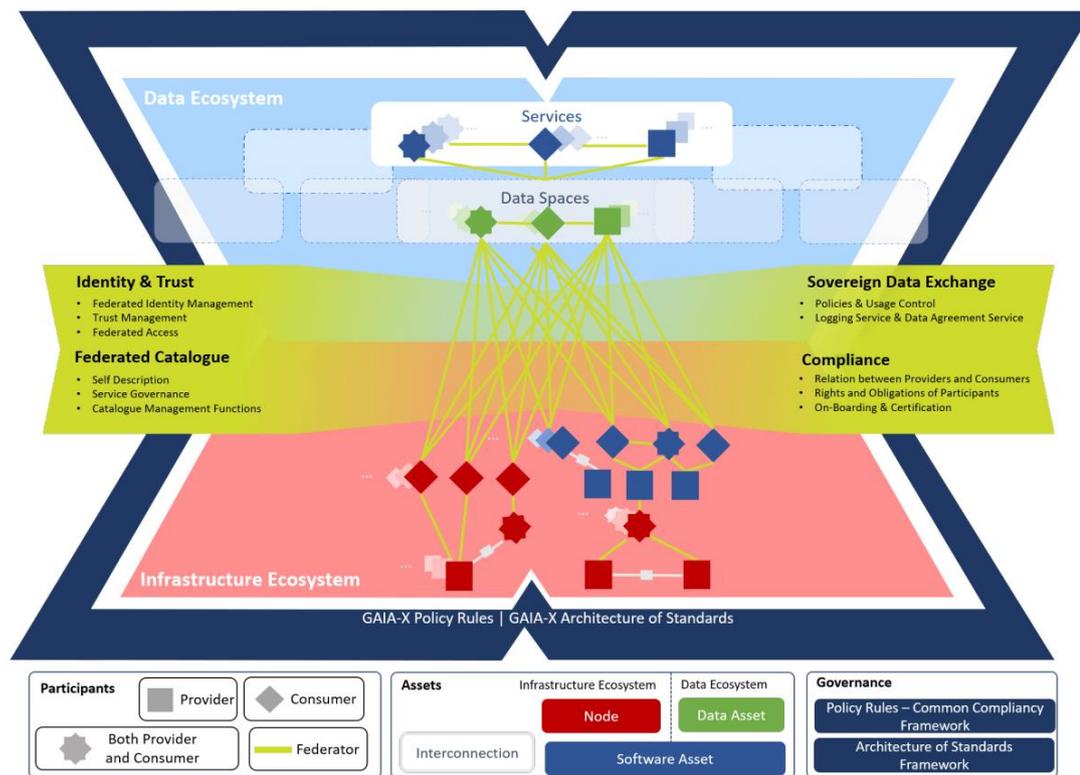


Abbildung 3-6: Visualisierung des Gaia-X Ökosystem (Gaia-X, 2022, S. 7)

Insgesamt soll durch die Dateninfrastruktur Gaia-X die Skalierungsfähigkeit und die Wettbewerbsposition der europäischen Cloud Service Provider unterstützt werden. Durch diese Art von föderierten Ökosystemen können zukünftig Cloud-Dienste sicherer und somit breiter genutzt werden. Insbesondere für kleine und mittelständige Unternehmen (KMU) steigt die Einsetzbarkeit. Das aktuell mangelnde Vertrauen von KMU können u. a. durch Kollaborationen von Cloud und Edge-Instanzen und der Wiedererlangung der Datensouveränität für den Kunden aufgehoben werden (Bernhardt & Steininger, 2021; BMWi, 2019). Eine Vertrauenssteigerung wird auch durch das Labeling Framework erreicht (Bonfiglio, 2021). Ebenso steigert die Nutzung von Open-Source die Möglichkeit für kleine Anbieter durch Transparenz und Flexibilität am Ökosystem teilzunehmen. Es unterstützt die Entwicklung, dass marktbeherrschende Akteure sich stärker öffnen und transparente sowie flexible Angebote am Markt platzieren müssen. Damit wird die Etablierung von Nischenprodukten und -dienstleistungen durch spezialisierte Unternehmen gefördert (BMWi, 2019; Bonfiglio, 2021).

Diese Chancen ergeben sich durch eine konsequente Umsetzung der Visionen und Ziele. Aktuell werden branchenspezifische Implementierungen in Forschungsprojekten entwickelt. Die Entwicklung an Gaia-X ist demnach noch nicht abgeschlossen. Entscheidend ist zukünftig, dass es sich in genügend Wirtschaftssektoren etabliert, damit nach Projektabschluss genügend Mehrwert für eine Weiterführung besteht (Rusche, 2022). Ebenso muss das Risiko minimiert werden, in das marktbeherrschende Akteure zu viel Einfluss haben und damit ein Großteil der Wertschöpfung dauerhaft aus Europa abwandert (Autolitano & Pawlowska, 2021).

Transparenz für Nachhaltigkeit durch den digitalen Produktpass

Im Rahmen des EU-Aktionsplans der Europäischen Kommission (EK) (2020) soll u. a. durch Digitalisierung eine Kreislaufwirtschaft gefördert werden. Ein zentrales Element stellt die Richtlinie

digitaler Produktpass (DPP) dar, welche die Rückverfolgbarkeit von Produkten und ihren Materialien verbessern soll. Aufbauend auf der von der EU verfassten Ecodesign for Sustainable Product Regulation (ESPR) formuliert das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) folgende Definition für den digitalen Produktpass:

„Der digitale Produktpass ist ein Datensatz, der die Komponenten, Materialien und chemischen Substanzen oder auch Informationen zu Reparierbarkeit, Ersatzteilen oder fachgerechter Entsorgung für ein Produkt zusammenfasst. Die Daten stammen aus allen Phasen des Produktlebenszyklus und können in all diesen Phasen für verschiedene Zwecke genutzt werden (Design, Herstellung, Nutzung, Entsorgung). Die Strukturierung umweltrelevanter Daten in einem standardisierten, vergleichbaren Format ermöglicht allen Akteuren in der Wertschöpfungs- und Lieferkette, gemeinsam auf eine Kreislaufwirtschaft hinzuarbeiten. Der digitale Produktpass ist zugleich eine wichtige Grundlage für verlässliche Konsumenteninformation und nachhaltige Konsumententscheidungen im stationären wie auch im Online-Handel“ (BMUV, 2023 o.S.).

Laut dem BMUV (2023) liefert der DPP ein Standardisierungswerkzeug für eine verbesserte Zusammenarbeit der involvierten Akteure und Nutzer entlang der Wertschöpfungs- und Lieferkette von Produkten. Somit wird der Austausch und die Bereitstellung von Produktdaten standardisiert geregelt. Eine Besonderheit ist, dass es nicht nur für den wirtschaftlichen Sektor eine Rolle spielen soll, sondern ebenfalls für den Endkonsumenten zur Unterstützung von Kaufentscheidungen (BMUV, 2023). Die Handhabung soll laut der EK (2022) einfach über einen maschinell einlesbaren Code gewährleistet werden.

Mithilfe des Circular Economy Action Plans hat die EU Produktkategorien gewählt, in denen mit einer Umsetzung begonnen werden soll (Halmschlager, 2023). Insbesondere wurde die CIRPASS-Initiative (2023) gegründet, die hierzu Grundlagen und eine Referenzimplementierung liefern soll. Laut den Projektmitgliedern Wagner et al. (2023) dienen die Sektoren Elektronik, Batterien und Textilien als Einstieg. Es wurden Konzepte zu den Datenattributen für sektorspezifische Produktpass und Umsetzungsleitlinien für ein DPP-System vorgestellt (Wagner et al., 2023). Der Bericht von den CIRPASS-Mitgliedern Colledani und Abdalla (2023) umfasst vier technische Grundlagen für ein Datenökosystem: eindeutige Produktkennung, persistenter Datenträger, digitaler Konnektor und IT-Architektur für ein standardisierten Datenaustausch. Die Produktkennung ist nach der Norm ISO/ICE 15459 geregelt. Durch einen eindeutigen Identifikator am Produkt, der Verpackung oder der beiliegenden Unterlagen sollen DPP-Daten abgerufen werden (Colledani & Abdalla, 2023) und durch gängige Lesegeräte einscannbar sein (ZVEI, 2020). Der Konnektor verknüpft die Produkterkennung durch den Datenträger mit den digitalen Produktinformationen (Colledani & Abdalla, 2023). Die IT-Infrastruktur muss dazu fünf Aufgaben erfüllen (Colledani & Abdalla, 2023). Sie stellt ein standardisiertes Vokabular für den Hersteller bereit. Es werden außerdem standardisierte Datenaustauschprotokolle und -formate definiert. Drittens muss die Anpassung von Zugriffsrechten für verschiedene Akteure möglich sein. Darüber hinaus steht eine dezentrale Verwaltung und Speicherung der Herstellerdaten im Vordergrund. Zuletzt müssen ebenfalls die dezentralen Speichersysteme Zugriffsebenen aufweisen können (Colledani & Abdalla, 2023).

Der erste Referenzfall ist der Batteriepass als Teil der EU-Vorordnung aus dem Jahre 2023 (Europäische Union, 2023). Ab dem Jahr 2027 soll dieser verpflichtend für alle Traktionsbatterien, Batterien von Zweirädern und Industriebatterien gelten. Entwickelt wurde der Batteriepass und ein Software-Prototyp laut der Deutschen Akademie der Technikwissenschaft (acatech, 2022) von elf Mitgliedsorganisationen der Initiative Battery Pass. In Bezug auf den Inhalt enthält der Pass Angaben zur Nachhaltigkeit sowie zum gesamten Lebenszyklus wie den *„CO₂-Fußabdruck, Arbeitsbedingungen in der Rohstoffextraktion, Batterie-Materialien und -komponenten, enthaltene Gefahrenstoffe, Ressourceneffizienz, Leistung und Haltbarkeit, Bestimmung des Batteriezustands und weitere Informationen, u. a. zu Recycelbarkeit und Reparatur sowie zur Umsetzung dieser Schritte“* (Fraunhofer-Gesellschaft, 2024, S. 2). Die Sicherstellung

der Langlebigkeit von Informationen wird laut der EU (2023) durch die Nennung von Drittanbietern von den Herstellern gewährleistet, die im Insolvenzfall ebenfalls die Daten bereitstellen können. Die rollenbasierten Zugriffsrechte sind in diesem Referenzfall ebenfalls umgesetzt, sodass nicht jeder Akteur der Wertschöpfungskette Zugriff auf alle Daten hat. Dabei haben sich vier Interessensgruppen ergeben: Allgemeine Öffentlichkeit, notifizierte Stellen der EU, Marktüberwachung und EK sowie Interessensgruppen mit berechtigtem Interesse (Rat der Europäischen Union, 2023). Die Gruppen gilt es in der Zukunft weiter zu spezifizieren.

Aktuell gibt es viele Initiativen, die Konzepte zur technischen Umsetzung vorstellen. Ein wegweisender Lösungsansatz wurde von den Mitgliedern Garrels et al. (2023) des Zentralverbands ZVEI aufbauend auf dem Digitalen Typenschild gemäß IEC 61406 und der Verwaltungsschale nach IEC 63278 vorgestellt. Das Digitale Typenschild liefert laut ZVEI (2020) den digitalen Identifikator. Allerdings enthält das Typenschild lediglich eine Dokumentation zum Produkt sowie dessen Funktionsweise und keine umfassenden Informationen zum Lebenszyklus des Produkts wie der DPP (ZVEI, 2020). Ergänzend dazu ist die Verwaltungsschale nach Bader et al. (2022) ein branchenneutraler Standard zur Angabe von umfassenden Informationen von physischen Objekten. Sie stellt standardisierte Datenmodelle, Metadaten und Datenaustauschformate bereit. Zur Strukturierung der Daten werden in der Verwaltungsschale Teilmodelle definiert, die Metadaten sowie Datenattribute zu bestimmten Domänen, wie beispielsweise Nachhaltigkeitsdaten, zusammenführen. In der Umsetzung wurde ein Teilmodell in der Verwaltungsschale für das Digitale Typenschild entwickelt (Bader et al., 2022).

Das Battery Pass Konsortium veröffentlichte 14 wesentliche Bestandteile eines DPP-Systems zur Erreichung der Interoperabilität (D'Agostino et al., 2023). Beispiele für die genannten Bestandteile des DPP-Systems sind Datenformate, IT-Governance und Datenmanagement-Technologien. Der Standard-Stack ist in erster Linie an Standardisierungsorganisationen und die EU gerichtet, um auf Aspekte hinzuweisen, die bei der Ausarbeitung ihrer Richtlinien zu berücksichtigen sind (D'Agostino et al., 2023).

Den Fokus auf den Endkonsumenten bei der Gestaltung eines DPP-Systems wurde von Frade und Panizo (2023) gelegt. Angelehnt an die User Journey des Endkonsumenten wird aufgezeigt, wie Technologien für die Implementierung von Datenträgern, Identifikatoren für Produkte und Datenverwaltungssysteme erfolgen kann. Die Erkenntnisse aus diesem Dokument unterstützen Hersteller, ein Verständnis zu entwickeln, wie potentielle Kunden zukünftig mit dem von ihnen bereitgestellten DPP-System interagieren werden. Das Dokument zeigt jedoch keinen Prozess aus der Sicht der Hersteller auf, wie sie die dargestellte User Journey für einen Kunden realisieren können (Frade & Panizo, 2023).

3.3.3 Internationale Forschung zum Austausch von Informationen in der Industrie

In Anlehnung an das vorherige Kapitel werden nach einer Einleitung zu allgemeinen Forschungsansätzen themenspezifische Aktivitäten vorgestellt. Diese können den Initiativen Industrie 4.0, Gaia-X und dem digitalen Produktpass zugeordnet werden.

Allgemeine Forschungsansätze zum Informationsaustausch

Es existieren unterschiedliche Klassifikationsansätze von Arten des Informationsaustausches zwischen Organisationen sowie zur Modellierung damit verbundener Prozesse (Lehner, 2003).

Braziotis und Tannock (2011) haben als mögliche Kollaborationsform innerhalb einer Wertschöpfungskette das Prinzip Extended Enterprise herangezogen und sich mit dessen Erfolgskriterien

beschäftigt. Dabei wurde keine Branche fokussiert. Vielmehr galt es einen Konzepttransfer der Taxonomie in unterschiedliche Branchen durch konkrete Fallstudien zu schaffen. Weitere wissenschaftliche Arbeiten stellten den Zusammenhang zwischen der Ausgestaltung von Kollaborationen entlang einer Wertschöpfungskette und dem entsprechenden Unternehmenserfolg her (Ramanathan & Gunasekaran, 2014). Um langfristige Kollaborationen zu führen, muss ein Fokus auf die Umsetzung von gemeinsam geplanten Aktivitäten gelegt werden. Zudem fanden sie heraus, dass ein breites Verständnis über die Situation am Markt zu einer besseren Investitionskoordination führen kann.

Todeva und Knoke (2005) veröffentlichten, dass durch eine strategische Allianz individuelle wirtschaftliche Ziele effizienter erreichbar sind. Ein Teil der Untersuchung fokussierte sich auf die Partnerwahl und der Entwicklung hin zu einem Zusammenschluss (Todeva & Knoke, 2005). Der Abgleich zwischen zwei Modellen, die *Forecasted Demand Distributing Method* (FDDM) und die *Planned Demand Transferring Method* (PDTM), zum Informationsaustausch und der Auswirkungen auf die Leistung sowie die Entwicklung einer Wertschöpfungskette wurde durch Ryu et al. (2009) untersucht. Dabei lag ein Fokus auf dem Durchsatz in der Lieferkette, dem Lagerbestand und Servicegrad.

Es existieren auch weitere bewährte Vorgehensweisen für einen erfolgreichen Informationsaustausch in bestimmten Branchen. Ein Beispiel ist die Arzneimittelherstellung (Ménard et al., 2021), bei der in der Branche ein Modell entwickelt wurde, um eine gute klinische Praxis zu analysieren. Der Erfolg des Modells basiert auf der übergreifenden Zusammenarbeit. Daher kann der Open Innovation Ansatz für eine branchenweite Kollaboration sehr zielführend sein. Insbesondere die Bündelung der Innovationskraft von KMU hebt Wettbewerbsvorteile, wie eine Studie aus dem koreanischen Markt zeigt (Lee et al., 2010). Die Marktposition gegenüber größeren Unternehmen konnte deutlich gesteigert werden. Auch die Open Innovation basierte Kooperation in asymmetrischen Kollaborationen, wie diese bspw. zwischen Start-Ups und größeren Unternehmen bestehen kann, wurde im Hinblick auf nötige Anpassungen von internen Prozessen und strategischer Unternehmensausrichtung analysiert (De Groote & Backmann, 2020).

Forschungsansätze in Bezug auf Industrie 4.0

Insbesondere die digitale Fabrik ist ein häufiger Bestandteil von Forschungsansätze in Bezug auf Industrie 4.0. Dabei steht die Wechselwirkung zwischen Fertigungsressourcen, Prozessen und der gesamten Fabrik im Vordergrund. Shafiq et al. (2016) modellierten ein Konzept zur Verbindung von *Virtual Engineering Object* (VEO), *Virtual Engineering Process* (VEP) und *Virtual Engineering Factory* (VEF) in ein cyber-physisches System basierend auf Industrie 4.0. Die in Abbildung 3-7 dargestellte Wissensstruktur ermöglicht die Einbeziehung von echtzeit-kritischen Daten zur effektiveren Entscheidungsfindung innerhalb eines Unternehmens (Shafiq et al., 2016).

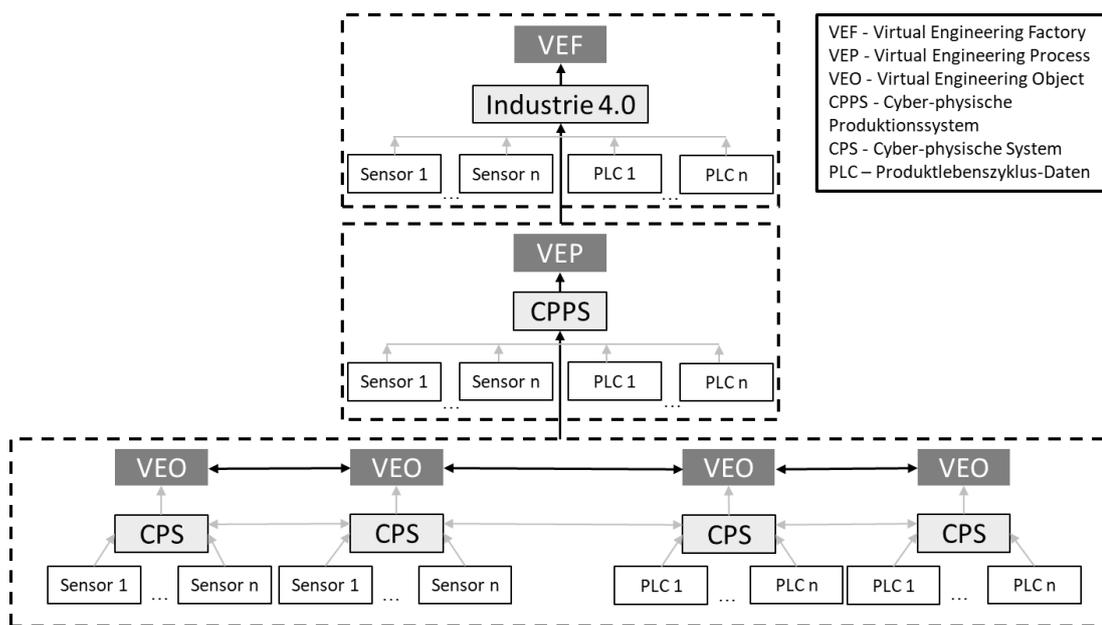


Abbildung 3-7: Hierarchische Struktur von der Fabrik, dem Prozess und den Objekten im Zusammenhang mit Industrie 4.0 (in Anlehnung an (Shafiq et al., 2016, S. 37))

Das Rahmenkonzept *Virtual Factory Framework* (VFF) unterstützt die Umsetzung von virtuellen Fabriken und hat seinen Ursprung vor dem Ausruf der Industrie 4.0 (Sacco et al., 2010). Mit dem VFF wurde eine integrierte virtuelle Umgebung geschaffen, die die Interoperabilität zwischen IT-Systemen für den Fertigungsprozess gewährleistet (Terkaj et al., 2012). Angelehnt an dem Produktlebenszyklus vernetzt es die Layoutplanung, CAD, Simulationen und Performance Evaluation (Tolio et al., 2013). Eines der Grundsäulen ist das *Virtual Factory Data Model* (VFDM), das eine auf semantischer Web-Technologie-basierende Metasprache zwischen den IT-Systemen darstellt (Terkaj et al., 2012). Es dient der Repräsentation von Produktionsobjekten in Verbindung mit dem Produktionssystem, den Prozessen, den Ressourcen und Produkten. Es existieren weitere Frameworks, die die Produktionsprozesse optimieren. Ein Beispiel ist das Real-time Information Capturing and Integration Framework mit den entsprechenden *Real-time Manufacturing Information Integration Service* (RTMIIS), welches die heterogenen und auf echtzeit-basierenden Informationen der Produktionsressourcen über IoT zusammenführt (Zhang et al., 2015).

Saucedo-Martínez et al. (2018) identifizierte neun Basis-Technologiegruppen für Industrie 4.0, die zu einem Paradigmenwechsel in der Fertigung führen (Aufzählung nach (Saucedo-Martínez et al., 2018, S. 4)):

- Cyber Security
- Augmented Reality
- Big Data und Analytics
- Autonome Robotik
- Additive Fertigung
- Simulationen
- Horizontale und vertikale Systemintegration
- Cloud-Computing
- Industrial Internet of Things (IIoT)

Basierend auf einer Literaturrecherche von 110 Veröffentlichungen zwischen 2012 und 2017 wurden Arbeiten im Bereich Systemintegration, IIoT und Big Data durchgeführt. Dabei verweisen die Autoren insbesondere auf die Notwendigkeit von verbesserter Maschinen-Mensch-Kommunikation und Interaktion, um das Potential von automatisierten und intelligenten Fabriken für die gesamte Wertschöpfungskette zu heben (Saucedo-Martínez et al., 2018). Ein Großteil dieser Technologien wurde ebenfalls von Dos Santos et al. (2021) als relevant für kollaborative Industrie 4.0 Netzwerke klassifiziert, wobei der Fokus auf IoT, Big Data, Cloud-Computing und CPS lag. Es wurden darauf aufbauend mögliche Wege für kollaborative Industrie 4.0 Netzwerke aufgezeigt, die eine Zukunft von technologischen Plattformen, intelligenten Fabriken und Produkten beinhalten (Dos Santos et al., 2021).

Zusammengefasst entwickeln sich digitale Produktionsplattformen, die die Fertigungsprozesse in Bezug auf Qualität, Effektivität, Wettbewerbsvorteile, Sicherheit und Anpassungsfähigkeit verbessern (Soori et al., 2023). Nach Soori et al. (2023) stößt das Virtual Manufacturing im Kontext von Industrie 4.0 auch auf Grenzen z. B. in Bezug auf die Genauigkeit der Simulationen, die Vollständigkeit der Simulation ganzer Fertigungsprozesse oder auch die Limitierung in Bezug auf komplexen, kundenspezifischen Produkten mit aufwändigen Geometrien, Materialien oder Funktionalitäten. Ebenso fehlt es an menschlicher Qualifikation und Fachkräften, um entsprechende IT-Systeme bedienen zu können.

Forschungsaktivitäten zum Datenraum Gaia-X

Gaia-X soll es ermöglichen standardisierte und sichere Datenräume aufzubauen. Wie bereits beschrieben wird durch Gaia-X ein Open Source Projekt entwickelt, welches die Architektur, die Funktionen und Akteure beschreibt.

Das bekannteste Umsetzungsprojekt ist Catena-X, welches ein Datenraum für die Automobilbranche aufbaut. Auf der Grundsäule der Datensouveränität sollen ganzheitlich Geschäftsprozesse durch datengesteuerte Wertschöpfungsketten optimiert werden (Catena-X, 2024). Ein Umsetzungsziel ist die Verknüpfung von Simulationsergebnissen aller Partner einer Wertschöpfungskette, um mehr Flexibilität in der Produktion und für die Logistik zu erhalten (Falkenau et al., 2023). Bei diesem Teilprojekt von Catena-X werden auch Unternehmen mit einem geringeren Digitalisierungsgrad einbezogen. Somit können auch diese Unternehmen neue Potenziale nutzen. Das Teilprojekt wird *Online Steuerung und Simulation* (OSim) genannt und kann Simulationslösungen unter Beachtung der Datensouveränität dezentral und selbstorganisiert vernetzen. Dabei wird unternehmensspezifisches Knowhow, wie Maschinenkapazität oder der Betriebsablauf, für andere Unternehmen nicht zugänglich gemacht. Die Funktionsmodule umfassen ein Partner-Daten-Management, eine Supply-Chain-Visualisierung, ein Szenario-Manager und ein Monitoring sowie Interpretation von Störeinflüssen. Der Datenaustausch erfolgt über das Catena-X-Netzwerk und den standardisierten Schnittstellen (Falkenau et al., 2023).

Aktuell befinden sich viele weitere Forschungsprojekte mit anderen Themenschwerpunkten in der Entwicklungsphase. Im Rahmen von dem Projekt *Omega-X* wird ein Datenraum für den Energiesektor aufgebaut, um die Datenverfügbarkeit in der Branche zu verbessern (Omega-X, 2022). Das Projekt *NaLamKI* baut ein Umsetzungsprojekt für die nachhaltige Landwirtschaft mit Künstlicher Intelligenz auf (NalamKI, 2024). Auch der Finanzsektor ist mit dem Projekt *safe Financial Big Data Cluster* vertreten und soll einen vereinfachten Zugang zu relevanten Finanzmarktdaten geben (safeFBDC, 2024). Im Projekt *SmartLivingNext* werden für Bestands- und Neubauten im Wohn- und Lebensbereich digitale Services entwickelt, die auf Basis einer sicheren Gaia-X Lösung einen besonderen Fokus auf Datensicherheit und Speicherorte legen (SmartLivingNEXT, 2024). Diese Projekte sind nur einige Beispiele zu aktuellen Forschungsaktivitäten, die in den nächsten Jahren noch weiter ausgebaut werden.

Hefft und Große (2023) führten eine umfangreiche Literaturrecherche durch, die insbesondere 37 Forschungsarbeiten zu Gaia-X Aktivitäten bezüglich ihres Forschungsschwerpunkts (Architektur,

Souveränität, Use-Case und Unternehmenswerts), der Ergebnisse im Form von Artefakten (z. B. Algorithmus, Framework oder Modell) und der Evaluierungsmethode (z. B. Expertenevaluation, technisches Experiment, Prototyp) verglichen. Die Studie stellt heraus, dass eine Vielzahl an relevanten Anwendungsfällen existiert, aus denen sich funktionale und nicht-funktionale Anforderungen für weitere Entwicklungen ergeben. Die Notwendigkeit von weiterführenden Ex-Post-Validierungen bestehender Umsetzung wird gefordert, damit robustes Designanforderungen abgeleitet werden können.

Neben den weiteren branchenspezifischen Umsetzungsprojekten ist auch eine gesamtheitliche Konzept-Weiterentwicklung zu erwarten. Geilenberg et al. (2024) analysiert das Konzept Gaia-X auf die europäische Wirtschaftsentwicklung unter den Gesichtspunkten von Industrie 4.0 und der Charakteristik von Ökosystemen. Es wird insbesondere auf die Innovationen aus der Big Data Ära eingegangen und die Empfehlung abgeleitet, die in Gaia-X verankerte Selbstbeschreibung um eine sogenannte Selbstempfehlung zu erweitern. Mit dem erweiterten Einblick auf die Ergebnisse des Datenangebots können Datenkonsumenten fundierte Entscheidungen treffen (Geilenberg et al., 2024).

Zusammengefasst soll mit der Initiative Gaia-X Europa gestärkt und die Unabhängigkeit gegenüber dem internationalen Markt, insbesondere Amerika und China, gesichert werden. Dies führt aktuell zu vielen Innovationen und wertschöpfungsübergreifenden Projekten. Jedoch geben Autolitano und Pawlowska (2021) zu bedenken, dass die Gefahr eines *trojanischen Pferdes* besteht und sich die Datenräume nicht durchsetzen könnten. Mit dem ersten Dilemma ist gemeint, dass durch die Teilnahme von Nicht-EU-Firmen weiterhin die Datenwirtschaft zu großen Teilen außerhalb Europas umgesetzt wird. Das zweite Dilemma adressiert von der Politik initiierte Projekte, die sich aufgrund der wenigen Berücksichtigung der Anforderung des Marktes nicht etablieren. Zwar sind Autolitano und Pawlowska (2021) dem gegenüber sehr optimistisch eingestellt, aber sie verweisen auf die Konkurrenzfähigkeit eines transparenten Cloud-Ökosystems gegenüber monolithischen und proprietären Plattformen mit hoher technologischer Innovationskraft durch finanzielle Mittel und der bestehenden Vorreiterposition (Autolitano & Pawlowska, 2021).

Forschungsaktivitäten zu Datenökosystemen für die Nachhaltigkeit

Die Autoren Götz et al. (2021) zeigen die politische Evolution hin zum digitalen Produktpass auf und verdeutlichen, dass in verschiedenen Branchen bereits eine Vielzahl von Projekten oder Richtlinien bestehen, die zum Datenaustausch innerhalb einer Wertschöpfungskette mit dem Ziel der Nachhaltigkeit dienen. Im Folgenden werden sechs sehr relevante Projekte und Richtlinien vorgestellt. Die unterschiedlichen Projekte werden in Tabelle 3-2 anhand ihrer Einsatzregion, der Produktkategorie beziehungsweise Branche, dem zugrundeliegendem Konzepte zum Datenaustausch, den betreffenden Teil des Produktlebenszyklus, die enthaltenen Informationskategorien und der Zielgruppe gegenübergestellt.

Der digitale Produktpass zählt zu den relevanten Richtlinien für ein Datenökosystem, welches die Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft unterstützen soll. Detaillierte Ausführungen sind im vorangegangenen Kapitel 3.3.2 zu finden.

Im von der EU geförderten dreijährigen Projekt „myEcoCost“ aus 2013 wurde ein Werkzeug zur Berechnung des Ressourcenverbrauchs von Produkten, Dienstleistungen und Technologien entwickelt (von Geibler et al., 2014). Die Rechnungen basierten vor dem Projekt oftmals nur auf den Daten einzelner Unternehmen, Prozesse oder Produkten. Im Projekt wurde eine sogenannte myEcoCost-Datenbank aufgebaut, die durch ein globales kollaboratives Netzwerk unterschiedliche Rohstoffbewertungsknoten miteinander verbindet. Konkret können ein Endkunde durch einen Barcode auf dem Produkt die spezifischen Ökokosten abrufen (Von Geibler et al., 2015).

Im Projekt „AskREACH“, das im Zusammenhang des EU LIFE Programms gefördert wurde, entwickelten 20 Partnerorganisationen aus Industrie, Forschung und Politik im Zeitraum von 2017 bis 2023 eine Datenbank mit Informationen zu den eingesetzten Chemikalien in Erzeugnissen (Schenten et al., 2023). Das Projekt basiert auf der europäischen Chemikalienverordnung REACH, welche die Angabe von eingesetzten Chemikalien zur Zulassung von Produkten verpflichtet. Ein IT-System, bestehend aus App „Scan4Chem“ und zugehöriger Datenbank, ermöglicht eine Kommunikation zwischen Hersteller und Konsumenten. Nach Projektende war die App in 13 europäischen Ländern verfügbar (Schenten et al., 2023).

Das luxemburgische Ministerium für Wirtschaft veröffentlichte eine „Circularity Dataset Standardization“, welches einen Open-Source Industriestandard für kreislaufwirtschaftsbezogene Produktinformationen beinhaltet (Mulhall et al., 2022). Darüber hinaus bietet es einen effizienten Datenaustausch und verbessert damit die Performance der gesamten Kreislaufwirtschaft. Die unternehmensspezifischen Angaben werden unter dem „Product Circularity Data Sheet“ (PCDS) zusammengefasst und mit einer ID gekennzeichnet. Die Relevanz des PCDS zeigt sich ebenfalls durch die Initiierung der internationalen Norm ISO/DIS 59040 „Circular economy — Product circularity data sheet“, die aktuell ausgearbeitet wird (ISO/DIS 59040, 2024).

Das von der EU im Rahmen von Horizon 2020 geförderte Projekt „E2COMATION“ (McGibney et al., 2023) mit einer Laufzeit von 2020 bis 2024 verfolgt das Ziel den Energieverbrauch in der Produktion von Industrieunternehmen über den gesamten Lebenszyklus zu optimieren. Den Kern bildet eine modulare Automatisierungsplattform für die Überwachung, Vorhersage und Bewertung in einer Fabrik in Bezug auf Energie und die Ökobilanz. Mit einer dynamischen Optimierung wird die nachhaltige und strategische Ausrichtung in der gesamten Wertschöpfungskette optimiert (McGibney et al., 2023). Ein konkreter Anwendungsfall war die intelligente Steuerung eines Druckluftnetzes mittels eines Model Predictive Control. Der Energieverbrauch wurde durch eine Luftbedarfsvorhersage und einer unterschiedlichen Ansteuerung der Kompressoren erreicht (Ravasio et al., 2023). Außerdem wurde mit einem neuronalen Netz die Energieverbrauchprognose einer thermomechanischen Zellstoffherstellung für Holzfaserplatten verbessert und eine modellbasierte Steuerung integriert (Tuissi et al., 2023).

Von der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) wurde ein Entwurf für einen „Gebäuderessourcenpass“ in Anlehnung an den bereits etablierten Energieausweis für die Baubranche veröffentlicht. Der Pass soll Daten über die genutzten Ressourcen zum Bau eines Gebäudes, den verbauten Baumaterialmassen, deren Klimawirkung und deren Kreislauffähigkeit beinhalten. Die technische Realisierung erfolgt über am Markt etablierte IT-Systeme, die sich bereits in der Umsetzungsphase für die technischen Funktionalitäten eines Gebäuderessourcenpasses befinden (DGNB, 2023). Laut Götz et al. (2021) wird der Gebäuderessourcenpass vereinfacht als Materialpass bezeichnet, um langfristig die Übertragung des Konzepts auf weitere Branchen zu unterstützen und das Potential zur Wiederverwendung oder des Recyclings von Materialien aufzuzeigen (Götz et al., 2021).

Die Ergebnisse aus Tabelle 3-2 verdeutlichen, dass keines der betrachteten Projekte und Richtlinien ein branchenübergreifendes Konzept vorweist, das den gesamten Produktlebenszyklus umfasst und eine vergleichbare Vielfalt an Informationskategorien sowie beteiligten Interessengruppen involviert. Eine Ausnahme bildet der DPP, der jedoch nicht technisch umgesetzt wurde.

	Region	Branche	Technische Umsetzung	PL-Phase	Informationen	Zielgruppe
DPP (BMUV, 2023)	EU	Alle	Web-Portal, EU DPP Central Registry, weitere Details unklar	Gesamter Produktlebenszyklus	Herkunft der Materialien, Materialzusammensetzung, Nutzungsdaten, Wartung, Reparatur, Demontage, Recyclingprozess, Entsorgung	Marktüberwachung, Konsumenten, Kreislaufwirtschaft bezogene Unternehmen
myEcoCost (Von Geibler et al., 2015)	DE, UK, SE, BE	Alle	Barcodes auf Produkten, myEcoCost- Datenbank	Entwicklung und Produktion	CO2-Emissionen	Konsumenten
AskREACH (Schenen et al., 2023)	EU	Konsumgüter	Barcodes auf Produkten, App mit angebundener Datenbank	Entwicklung und Produktion	Eingesetzte Chemikalien in Erzeugnissen	Konsumenten
PSCD (Mulhall et al., 2022)	LU	Industrielle Produktion	Dezentrale IT-Systeme der Hersteller	Gesamter Produktlebenszyklus	Recyclingfähige Umfänge, eingesetzte Chemikalien in Erzeugnissen, Wartung, Demontage, Entsorgung	Kreislaufwirtschaft bezogene Unternehmen der Branche
E2COMATION (McGibney et al., 2023)	EU	Industrielle Produktion	Plattform für Hersteller	Gesamter Produktlebenszyklus	Energieverbrauch, Life Cycle Assessment-Daten	Industrieunternehmen
Gebäude-ressourcenpass (DGfNB, 2023)	DE	Bausektor	Materials Passport Plattform	Demontage und Recycling	Informationen zur Wiederverwendung von Materialien, Querverweis auf Produktdatenblätter	Architekten, Bauherren, Rückbauunternehmen

Tabelle 3-2: Vergleich von Projekten und Richtlinien zum Austausch von Produktdaten zwecks Steigerung der Nachhaltigkeit

3.4 Technologie- und Digitalisierungsanalysen für produzierende Unternehmen

Der Fragestellung, welche Potentiale im Bereich Digitalisierung für mittelständische Unternehmen liegen, nähern sich Experten aus Forschung und Wirtschaft aus verschiedenen Richtungen. Im Folgenden werden drei etablierte Vorgehensmodelle, Online-Befragungen und Beratungsangebote für eine Potentialanalyse im Sinne der Industrie 4.0 vorgestellt und miteinander verglichen.

Industrie 4.0-Readiness-Modell

Im Oktober 2015 wurde im Auftrag der IMPULS-Stiftung des VDMA, von dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH und dem Forschungsinstitut für Rationalisierung der RWTH Aachen die Industrie 4.0-Readiness-Studie veröffentlicht. Der Begriff Industrie 4.0-Readiness wird darin als das „Wollen“ und „Können“ der Umsetzung von Industrie-4.0-Bestrebungen von Unternehmen definiert (Lichtblau et al., 2015, S. 8). Im Rahmen der Studie wurde mithilfe von Literaturrecherchen, Expertenbefragungen, Workshops und einer umfangreichen Unternehmensbefragung das sogenannte Readiness-Modell entwickelt, mit dessen Hilfe sich Unternehmen hinsichtlich ihres Industrie 4.0 Reifegrads klassifizieren lassen. Das entstandene Readiness-Modell gründet auf der Definition von sechs Dimensionen von Industrie 4.0:

- Strategie und Organisation
- Smart Factory
- Smart Operations
- Smart Products
- Data-driven Services
- Mitarbeitende

Diesen Dimensionen sind insgesamt 18 Themenfelder zugeordnet, die für die Klassifizierung jeweils durch Indikatoren gemessen und gewichtet werden. Pro Dimension gibt es je sechs Reifegrad-Stufen, denen das zu klassifizierende Unternehmen auf Basis der Unternehmensangaben zugeordnet wird. Für jede Stufe wurden innerhalb von Experten-Workshops bestimmte Mindestanforderungs-Kriterien definiert, ohne die eine Stufe als *nicht erreicht* gewertet wird. Aus dem gewichteten Mittelwert der einzelnen Readiness-Werte wird für das Unternehmen eine Gesamtreadiness berechnet (Lichtblau et al., 2015).

Das Modell steht als Online-Werkzeug zur Selbstanwendung für Unternehmen zur Verfügung und funktioniert analog wie bei der durchgeführten Studie. Es vergleicht bei der Auswertung das Ist-Profil des Unternehmens mit dem Benchmark-Profil führender Industrie 4.0 Unternehmen und dem Soll-Profil als Zielbild (Lichtblau et al., 2015). Als Resultat erfährt das Unternehmen nach der Bearbeitung seinen aktuellen Reifegrad und erhält allgemein formulierte, technologieorientierte Handlungsempfehlungen zu denjenigen Themenfeldern, in denen es vergleichsweise weniger fortgeschritten ist.

Leitfaden Industrie 4.0 - Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand

Ebenfalls im Jahr 2015 ist der vom VDMA, dem wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie und der TU Darmstadt erarbeitete Leitfaden Industrie 4.0 als workshopbasiertes Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0 in den Mittelstand erschienen. Die Zielsetzung des Leitfadens wird wie folgt beschrieben:

„Der vorliegende Leitfaden unterstützt den Mittelstand des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus, um in einem systematischen Prozess Potentiale für Produkte und die eigene Produktion in Bezug auf Industrie 4.0 zu identifizieren und dazu gezielt eigene Ideen zu entwickeln. Hierzu beschreibt der Leitfaden eine geeignete Vorgehensweise für die Anwendung im Unternehmen.“ (Anderl et al., 2015, S. 8).

Der Leitfaden definiert ein fünfstufiges Vorgehen. Auf eine Vorbereitungsphase zum Zusammenstellen eines Projektteams und zur Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses von Industrie 4.0 folgt eine Kompetenzanalyse des Unternehmens aus interner und aus externer Sicht. Sie soll erarbeiten, welche Industrie 4.0 Kompetenzen im Unternehmen bestehen und wie deren Darstellung nach außen gestaltet ist. Zur Durchführung der externen und internen Kompetenzanalyse wird der speziell für mittelständische Unternehmen entwickelte Industrie 4.0 Werkzeugkasten verwendet, der sich in die Kategorien Produkte und Produktion unterteilt. Beide Kategorien enthalten sechs verschiedene Anwendungsebenen und je fünf zugehörige Entwicklungsstufen von Industrie 4.0 (Anderl et al., 2015).

Dabei werden die einzelnen Anwendungsebenen betrachtet und evaluiert, auf welcher Entwicklungsstufe sie sich aktuell im Unternehmen befinden. Die höchsten Ausprägungen der Anwendungsebenen ergeben das jeweilige externe und interne Kompetenzprofil des Unternehmens. Als Basis für die externe Analyse wird dabei die Kategorie Produkte, bei der internen Analyse werden beide Kategorien, Produkte und Produktion, verwendet. Aufbauend auf den Kompetenzprofilen findet eine Gruppendiskussion statt, in der insbesondere für Anwendungsebenen mit geringerer Ausprägung, Potentiale für die Einführung neuer Geschäftsmodelle identifiziert werden sollen. Anschließend werden diesbezüglich im Zuge der Kreativitätsphase in Einzel- und Gruppenarbeit Ideen zu neuen Produkten und Produktionsverbesserungen generiert und in Form von Konzepten für neue Geschäftsmodelle konkretisiert. In der folgenden Bewertungsphase werden die verschiedenen Konzepte den anderen Workshop-Teilnehmern vorgestellt und gemeinsam bewertet. Im letzten Schritt, der Einführungsphase, werden die ausgearbeiteten Geschäftsmodell-Konzepte durch konkrete Projekte implementiert (Anderl et al., 2015).

Dieses Modell beschreibt also ein in interdisziplinären Teams innerhalb des Unternehmens durchzuführendes Vorgehen, dessen Resultat die Umsetzung neuer Konzepte zu Industrie 4.0 Geschäftsmodellen ist. Eine Implementierung des Konzeptes steht ebenfalls als Online-Werkzeug zur Selbstanwendung auf der Homepage der IHK München und Oberbayern zur Verfügung. Es stellt bei der Auswertung je Anwendungsebene des Werkzeugkastens den digitalen Reifegrad der Produkte bzw. der Produktion dar. Es folgen einige zusätzliche Fragen zur Bestimmung des digitalen Reifegrads der Unternehmenskultur und -organisation sowie des Reifegrads der technologisch realisierten Industrie 4.0 Lösungen. Handlungsempfehlungen werden durch das Online-Tool nicht gegeben. Die beiden vorgestellten Modelle verfolgen demnach unterschiedliche Ansätze. Das Readiness-Modell als Online-Tool wird von mindestens einem Unternehmensvertreter durchgeführt, ermittelt den Status quo des Unternehmens in den definierten Dimensionen und zeigt, standardisiert gemessen an Benchmark-Unternehmen, einige Handlungsempfehlungen auf. Der Leitfaden Industrie 4.0 als Vorgehensmodell wird in Form eines innerbetrieblichen, interdisziplinären Workshops mit mehreren Teilnehmern durchgeführt, ermittelt im Rahmen der Kompetenzanalyse auch einen Status quo in den definierten Anwendungsebenen und erarbeitet konkrete, individuelle Umsetzungskonzepte in denjenigen Bereichen, die für das spezielle Unternehmen als ausbaufähig angesehen werden. Als alternative, vereinfachte Variante kann es auch als Online-Anwendung durchgeführt werden.

Industrie 4.0 CheckUp

Neben den vorgestellten Modellen zur Selbstdurchführung existiert auch ein Markt für externe Beratungsleistungen zur Ermittlung des aktuellen Umsetzungsstandes und zu Einführungsansätzen von Industrie 4.0 in Unternehmen. So bietet beispielsweise das Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb

und -automatisierung (IFF) ein Industrie 4.0 CheckUp mit einer unternehmensbezogenen Potentialanalyse an:

„Das Fraunhofer IFF Magdeburg bietet mit dem ebenenübergreifenden CheckUp ein gesamtheitliches Werkzeug- und Methodenset, das eine schrittweise Integration zur Umsetzung von Industrie 4.0 ableitet.“ (Seidel, 2014, S. 17)

Ein Team, bestehend aus Technologie- und Prozessberatern sowie Mitarbeitern des Unternehmens, führt dabei in einem ca. ein- bis dreimonatigen Prozess verschiedene, auf Industrie 4.0 angepasste Analysen durch, um das Unternehmen hinsichtlich seiner spezifischen Anforderungen und Voraussetzungen für Industrie 4.0 zu untersuchen und darauf aufbauend relevante Maßnahmen für eine vernetzte Produktion abzuleiten. Diesem Prozess liegt das sogenannte Integrationsstufen-Modell des Fraunhofer IFF zugrunde, in das die betreffenden Unternehmensbereiche nach der Durchführung von Analysen und Interviews vor Ort eingeordnet werden. Anschließend werden darauf basierend verschiedene etablierte Tools, wie beispielsweise eine SWOT-Analyse, Technologie-Scouting und Aufwand/Nutzen-Rechnungen angewendet, um, angepasst auf die Unternehmensspezifika, konkrete Schritte zum Erreichen der nächsten Integrationsstufen zu identifizieren. Während des Analyseprozesses fokussieren sich die Experten auf zwei Kernthemen: zum einen auf technologische und organisatorische Aspekte und zum anderen auf die ergonomischen Bedingungen der Arbeitsumgebung (Seidel, 2014).

Dieses Vorgehen wird also primär von externer Seite gesteuert und ermittelt, ebenso wie die beiden vorgestellten Selbstanwendungs-Modelle, durch die Verwendung eines definierten Frameworks einen Status quo in Bezug auf die aktuelle Umsetzung von Industrie 4.0. Weiterhin erarbeitet es, ähnlich wie der Leitfaden Industrie 4.0, gemeinsam mit Experten aus dem Unternehmen Ziele und konkrete, individuell zugeschnittene Maßnahmen für die Zukunft.

Gegenüberstellung der Ansätze

Eine Gegenüberstellung der Kernaspekte der drei Ansätze findet sich in Tabelle 3-3. Auf der einen Seite gibt es also umfangreiche externe Beratungsangebote, die eine detaillierte, langfristige Analyse aller relevanter Prozesse eines Unternehmens durch Experten beinhalten und individuelle Handlungsempfehlungen zur Einführung von Industrie 4.0 für ein Unternehmen herausarbeiten. Auf der anderen Seite existieren die vorgestellten Modelle zur internen Anwendung, die sich auf verschiedene definierte Technologie-Dimensionen und eine darauf basierende, im Fall des Readiness-Modells oder der IHK-Online-Version des Leitfadens Industrie 4.0, wenig individuell zugeschnittene Potentialbetrachtung konzentrieren. Sie stellen folglich bei einem Unternehmen für jede in ihrem Framework vordefinierte Anwendungsebene einen Industrie 4.0 Umsetzungsstand für das Unternehmen fest und führen davon ausgehend eine Potentialanalyse durch. Zwar werden bei dem workshopbasierten Leitfaden Industrie 4.0, wie auch bei dem externen Fraunhofer CheckUp, die individuellen Gegebenheiten des entsprechenden Unternehmens bei der Potentialanalyse berücksichtigt, allerdings wird zuvor der Umsetzungsstand mittels vordefinierter allgemeiner Dimensionen bzw. Technologieebenen der jeweiligen Frameworks gemessen. Es gibt dementsprechend kein Instrument, das sich von einem festgelegten Portfolio an Technologien und Konzepten loslöst und im ersten Schritt die Unternehmensspezifika analysiert, um darauf aufbauend passende Potentialfelder zu selektieren.

Leitfaden Industrie 4.0				
	Readiness-Modell	Vorgehensmodell	Online-Tool	Industrie 4.0 CheckUp
Zielgruppe	Maschinen- und Anlagebau (mit mehr als 20 Mitarbeitenden)	Maschinen- und Anlagebau (Mittelstand)		Produzierende Unternehmen
Modelltyp	Selbst-Check	Vorgehensleitfaden	Selbst-Check	Externe Beratungsleistung
Durchführungs-art	Online	Workshopbasiert	Online	Expertenanalyse
Zeitraum	ca.15 Minuten	Unternehmensabhängig	ca. 15 Minuten	1-3 Monate
Teilnehmer	mind. 1 Person	Unternehmensteam	mind. 1 Person	Externe Berater und Mitarbeitende
Betrachtete Unternehmensbereiche	Vollständig	Produkte und Produktion		Mehrere Perspektiven, Fokus auf vernetzte Produktion
Spezifizierung auf das Unternehmen	Nein	Ja	Nein	Ja
Benchmark	Andere Unternehmen aus Vorstudie	Zielbild ausbaufähiger Technologien und Maßnahmen		Zielbild ausbaufähiger Technologien und Maßnahmen
Ergebnis	Status quo und kurze Handlungsempfehlungen	Status quo, Festlegung und Implementierung neuer Konzepte	Status quo	Status quo, Festlegung neuer Konzepte
Quelle	(Lichtblau et al., 2015)	(Anderl et al., 2015)		(Seidel, 2014)

Tabelle 3-3: Gegenüberstellung der Kernaspekte von verschiedenen Potentialanalysen für produzierende Unternehmen

3.5 Herleitung der Forschungsfragen

Die in der Einleitung adressierten Forschungsfragen lassen sich durch die Analyse des Stands der Technik ableiten. Vor der Einführung einer Technologiestrategie müssen mögliche Optionen betrachtet und auf Basis der unternehmensspezifischen Eigenschaften bewertet werden. Etablierte Potentialanalysen verfolgen einen SOLL-IST-Abgleich. Es fehlt an Methoden, die nicht mit einem festgelegten Portfolio an möglichen Technologien und Innovationskonzepten startet, sondern auf Grundlage der Unternehmensspezifikationen Handlungsempfehlungen ableitet. Daher wird die erste Forschungsfrage wie folgt formuliert:

F1: Wie kann ein Unternehmen anhand seiner spezifischen Eigenschaften technische Potentialfelder für Feedback-Mechanismen identifizieren?

Des Weiteren sind keine Methoden bekannt, die einen weiterführenden, systematischen und unternehmensspezifischen Abgleich unterschiedlicher Technologieempfehlung verfolgen. Zwar existieren grundlegende Methoden zur Wirtschaftlichkeitsanalyse sowie Nutzenermittlung und ein standardisiertes Vorgehen zur Planung von IT-Systemen (siehe Kapitel 2.3), jedoch sind diese nicht auf die Anforderungen von datenbasierten Feedback-Mechanismen ausgelegt. Somit folgt die zweite Forschungsfrage dieser Arbeit:

F2: Wie können unterschiedliche Feedback-Mechanismen durch verschiedene Perspektiven verglichen werden?

Ein Feedbacksystem soll datenbasiertes Zusammenarbeiten in Wertschöpfungsketten ermöglichen. Umsetzungen und Forschungen im Bereich Industrie 4.0 fokussieren die internen Ressourcen, insbesondere zur Digitalisierung und Vernetzung der Produktion. Ein wertschöpfungsübergreifender Austausch steht nur selten im Vordergrund und ist in Ausnahmefällen sehr spezifisch. Die Datenräume aus Gaia-X ermöglichen aus technologischer Sicht den Aufbau eines Feedbacksystems. Jedoch ist Gaia-X ein serviceorientierter Ansatz, dessen Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist. Mit den Spezifikationen wird die Perspektive der Wertschöpfungskette eingenommen. Jedoch fehlt es an Methoden und Modellen, um aus Sicht eines Unternehmens zu agieren. Der digitale Produktpass und weitere Nachhaltigkeitsinitiativen adressieren ebenfalls die gesamte Wertschöpfungskette. Dabei wird die Rolle der EU als übergeordnetes Kontrollorgan hinzugeführt. Die geplanten Inhalte beziehen sich auf Produktdaten und deren Nachhaltigkeit. Aufgrund der Regulation durch die Politik sind keine Feedback-Mechanismen denkbar, die keinen direkten Nachhaltigkeitsbezug vorweisen und sehr unternehmensspezifisch geprägt sind.

Komponenten und Akteure für Feedbacksysteme lassen sich aus der Kombination des Stands der Technik ableiten. Jedoch müssen insbesondere die Beziehungen neu definiert werden, weshalb sich die dritte Forschungsfrage ergibt:

F3: Welche Komponenten und zugehörigen Beziehungen existieren in einem allgemeingültigen Feedbacksystem?

Ein Feedbacksystem kann branchenspezifische Ausprägungen haben, aber es verfolgt immer das Ziel eines datenbasierten Zusammenarbeitens. Daher ist die Kommunikation und Interaktion innerhalb eines Feedbacksystems entscheidend. Die vierte Forschungsfrage leitet sich daher wie folgt ab:

F4: Welche Kommunikation und Interaktion finden in einem Feedbacksystem statt?

Unternehmen prüfen in der Regel die Rentabilität und Qualität von Änderungen im Unternehmen, um zielführend zu arbeiten. Dies sollte jedoch nicht nur zum Ende eines Projektes durchgeführt werden, sondern von Beginn an überprüft werden. Insbesondere die Dimensionen des Wandels der Arbeitswelt sind für technologische Veränderungen entscheidend. Diese haben nicht nur Einfluss auf den Menschen, sondern ebenfalls auf die gesamte Organisation. Ebenso bieten standardisierte Kennzahlensysteme für die Produktion eine prozessbedingte Sicht. Einen anwendungsunabhängigen, aber technologiefokussierten Begleitung solch eines Prozesses ist jedoch nicht bekannt, weshalb die letzte Forschungsfrage lautet:

F5: Kann die Überwachung eines Feedbacksystems anwendungsunabhängig strukturiert werden?

Auf Basis der fünf Forschungsfragen werden in dem nächsten Kapitel konkrete Anforderungen abgeleitet und eine vollumfängliche Methodik für ein echtzeitfähigen Feedbackraum unter Einbeziehung des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks vorgestellt.

3.6 Zusammenfassung

Feedbackmanagement beschreibt die Sammlung und Auswertung von kontextbezogenen Informationen aus objektiven oder subjektiven Datenbeständen (Aidi et al., 2017). Im Rahmen der Analyse des Stands der Technik wurde auf die fünf Dimensionen des Feedbackmanagements eingegangen, die durch den Kunden, die Wertschöpfungspartner, die interne Kommunikation zwischen Menschen, Menschen und Maschinen sowie nur zwischen Maschinen beschrieben werden kann. Es wurde damit aufgezeigt, dass Feedback nicht

nur die Einbeziehung von Kunden beinhaltet, sondern den gesamten Produktlebenszyklus sowie das vollständige Wertschöpfungsnetzwerk. Dabei wird der reine Datenaustauschprozess als Datenraum bezeichnet (Reiberg et al., 2022).

Neben dem Prozess des Feedbackmanagements sind ebenfalls die eingesetzten Technologien sowie der Wandel der Arbeitswelt relevant. Um das technologische Potential von digitalen Fabriken einzuschätzen, wurden sieben Technologiefelder vorgestellt (Bischoff et al., 2015). Der Wandel der Arbeitswelt in den Dimensionen Qualifikation, Organisation, Arbeitsstruktur und Arbeitsinhalte ist insbesondere zur Bewertung von Veränderungen für aufbauende Arbeiten grundlegend.

Um unternehmensübergreifend Datenaustausch effizient betreiben zu können, ist die Einbeziehung von Standards notwendig. Nach einer Einordnung relevanter Standards und Normen standen drei tragende politische Bestrebungen im Fokus. Der Digitalisierungswandel wurde stark durch die Initiative Industrie 4.0 geprägt. Darauf aufbauend stehen nun vernetzte und offene Dateninfrastrukturen nach dem Konzept Gaia-X im Vordergrund. Neben der stark auf Souveränität ausgerichteten technischen Entwicklung soll zur Schaffung von Kreislaufwirtschaften in allen europäischen Branchen, der digitaler Produktpass eingeführt werden, der ebenfalls eine wertschöpfungsübergreifende und datenbasierte Zusammenarbeiten fokussiert. Im Kontext von internationalen Forschungsaktivitäten wurden die Bestrebungen beleuchtet und aktuelle Entwicklungstrends aufgezeigt und gegeneinander abgegrenzt.

Abschließend wurden unterschiedliche Digitalisierungs- und Technologieanalysen für produzierende Unternehmen aus Deutschland vorgestellt, die eine Notwendigkeit eines neuen Ansatzes für technologieorientierte Potentialanalysen herausstellte. Dieses Kapitel endet mit der Herleitung der Forschungsfragen auf Grundlage der identifizierten Forschungslücken.

4 Kontextanalyse der Möbelbranche für Anforderungen an Feedbacksysteme

Zur Ableitung von Anforderungen an ein Feedbacksystem wurde die Möbelbranche detailliert analysiert. Diese zeichnet sich durch ein breites Wertschöpfungsnetzwerk und durch sowohl internationale als auch regionale Produktionen aus. Sie liefert über die Jahre eine solide Umsatzentwicklung und ist stark mittelständisch geprägt. Die entsprechende Entwicklung der letzten Jahre in der Möbelbranche ist in Tabelle 4-1 bezogen auf das Inland- und Exportgeschäft zu entnehmen.

Jahr	Inland (Mio. Euro)	Wachstum vgl. Vorjahr	Ausland (Mio. Euro)	Exportquote (in%) ¹⁾
2015	11.870,7	4,4 %	5.530,6	31,8
2016	12.197,2	2,8 %	5.769,5	32,1
2017	12.065,0	-1,1 %	5.768,2	32,3
2018	12.131,5	0,6 %	5.816,6	32,1
2019	12.049,0	-0,7 %	5.852,5	32,7
2020	11.846,5	-1,7 %	5.381,5	31,2
2021	11.882,4	0,3 %	5.679,0	32,3

Tabelle 4-1: Inlands- und Auslandsumsatz der Möbelindustrie für Betriebe mit 50 und mehr Beschäftigten (¹⁾ Anteil des Auslandsumsatz am Gesamtumsatz in %) (Vincentz Network, 2024)

Die spezifischen Herausforderungen der Möbelbranche werden in Kapitel 4.1 erörtert. Hierzu wurde eine qualitative Erfassung mittels Experteninterviews (siehe Abschnitt 4.1.1) und eine quantitative Erfassung mittels einer Online-Umfrage (siehe Abschnitt 4.1.2) durchgeführt. Auf diesen aufeinander aufbauenden Erhebungen werden spezifische und allgemeine Anforderungen abgeleitet (siehe Kapitel 4.2). Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung.

4.1 Herausforderungen in der Möbelbranche

Der Wandel in der Möbelbranche hin zu einer engeren Zusammenarbeit zwischen Möbelhändler, Hersteller und weiteren Wertschöpfungspartnern ist auf diverse Herausforderungen zurückzuführen. Hierzu zählen beispielsweise der ansteigende Fachkräftemangel, ein steigendes Arbeitsaufkommen und hohe Kundenanforderungen. Eine wesentliche Voraussetzung, um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, ist eine branchenweite Digitalisierung hin zu einer schnellen und transparenten Prozessabwicklung. Jedoch werden existierende Technologien und Modelle, welche die Kommunikation bzw. den Datenaustausch innerhalb des gesamten Ökosystem erleichtern, unzureichend genutzt.

Zur Konkretisierung der Anforderungen eines einheitlichen Feedbacksystems wurden aus diesem Grund zwei aufeinander aufbauende Kontextanalysen durchgeführt. Im ersten Schritt gaben Telefoninterviews mit verschiedenen Branchenteilnehmer konkrete Einblicke in die Notwendigkeit von Digitalisierungsbestrebungen. Mit diesen Eindrücken wurde eine Online-Befragung gestaltet und durchgeführt.

4.1.1 Qualitative Erfassung

Sechs Telefon-Interviews mit Teilnehmern aus unterschiedlichen Unternehmen und Positionen aus der Möbelbranche gaben im Jahr 2019 Aufschluss über die Anforderungen an digitale Prozesse. Eine Beschreibung der Teilnehmenden ist Tabelle 4-2 zu entnehmen.

NR	ABTEILUNG DER BEFRAGTEN	UNTER-NEHMEN	ECKDATEN DES UNTERNEHMENS	SONSTIGES
1	Produktionsplanung und Organisation	Hersteller	Auslieferung europaweit, 653 Mitarbeiter	Kastenmöbel
2	Administration IT und Logistik	Hersteller	Auslieferung weltweit, 1350 Mitarbeiter	B2B, primär Verkauf im Ausland
3	IT-Verantwortung	Hersteller	Auslieferung weltweit, 1300 Mitarbeiter	B2B, Küchen
4	IT-Verantwortung	Handel	Standorte europaweit, 1000 Mitarbeiter	Vertrieb online & stationär
5	Strategische Entwicklung	Warenwirtschafts-system	Standorte weltweit, 220 Mitarbeiter	Software für Möbelhandel
6	Marketing und Strategie	Logistik	Auslieferung europaweit, 4000 Mitarbeiter	5 Mio. Auslieferungen/Jahr, 50% davon Möbel, 65% Marktanteil

Tabelle 4-2: Unternehmens- und Teilnehmenden-Beschreibung der Telefonbefragung zum Potential der Digitalisierung in der Möbelbranche

Alle Teilnehmer sprachen dem standardisierten Vorgehen und der Nutzung von entsprechenden Formaten sowie Technologien eine hohe Bedeutung zu. Aktuell werden diverse Kommunikationskanäle für alle Lebenszyklusschritte genutzt – vom klassischen Brief, über das Fax bis hin zu elektronischem Austausch mittels den Datenformaten XML und EDI. Dabei ist die Wahl des Kanals individuell abgestimmt auf den entsprechenden Partner. Das Fehlen von Standardlösungen erzeugt einen hohen Arbeitsaufwand und begünstigt langwierige Prozesse.

Die größten Potentiale zur Digitalisierung sind laut der Interviewpartner im Bereich der Avisierung bzw. der Anlieferung und der Reklamation bzw. dem Rückfragemanagement zu finden. Bei diesen Prozessen wird noch sehr viel manueller Aufwand betrieben und selten auf Standards des elektronischen Datenaustauschs gesetzt. Besonders problematisch ist der Austausch von Produktdaten. Oft fehlen Informationen und es muss telefonische Rücksprache gehalten werden.

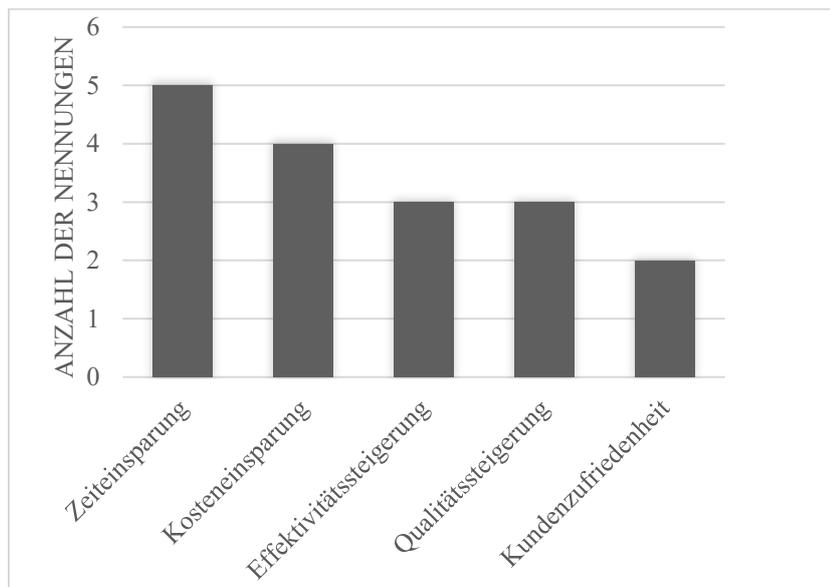


Abbildung 4-1: Nennungen der Vorteile von der Digitalisierung der sechs Teilnehmer

Die Einschätzung zu den Vorteilen und den Nutzen der Digitalisierung, wie in Abbildung 4-1 dargestellt, erfolgte von den Teilnehmern sehr ähnlich. Zeit-, Kosten-, und Personaleinsparungen stehen dabei im Fokus. Die Möglichkeiten zur Qualitätssteigerung und einer sinnvolleren Auslastung von Ressourcen wurden häufig genannt. Es kann jedoch keine einheitliche Aussage bei der Frage, ob eine vollständige Digitalisierung möglich, nützlich oder hinderlich sein kann, abgeleitet werden.

In der Branche gibt es nur verhaltene Aktivitäten für eine nachhaltige Digitalisierung, da aus verschiedenen Gründen die Vorreiterstelle nicht attraktiv wirkt. Es wurde Handlungsbedarf von Verbänden zur Aufklärung und Kooperationsförderung angesprochen. Der Nutzen für die Branchenteilnehmer müsse erkannt und herausgearbeitet werden, damit die Bereitschaft zur Digitalisierung entsteht. Auch die finanzielle Belastung und Investitionsbereitschaft aller Wertschöpfungspartner gilt es zu klären und zu koordinieren. Trotz der beschriebenen Herausforderungen befinden sich einige Unternehmen bereits in der Umstellung. Eine fehlende Priorisierung und der Fachkräftemangel lassen die Digitalisierung jedoch nur langsam voranschreiten.

Zusammengefasst empfanden die Interviewpartner die Einführung von Produkt- und Kommunikationsstandards als einen wichtigen Schritt in Richtung Digitalisierung. Die Produktkomplexität und die Variantenvielfalt zeichnen die Branche aus und stellen dabei ebenso eine große Herausforderung dar. Die Bereitschaft die Standards für die interne Automatisierung der Prozesse einzusetzen, ist vorhanden. Die Beteiligung an der globalen Entwicklung muss jedoch extern koordiniert werden. Ebenso würden allgemeine Kosten-Nutzen-Analysen den vorherrschenden Hemmungen in der Branche entgegenwirken.

Anders als erwartet beurteilen die Teilnehmer den Druck von dem Endkunden die Digitalisierung zu fördern als schwach. Durch die Stärkung des Onlinehandels und die fortlaufende Digitalisierung in anderen Branchen in Bezug auf Transparenz zu Lieferungszeiten und Reklamation wird sich dieser Druck zukünftig erhöhen.

Die Kernaussagen der qualitativen Befragung und geforderten Maßnahmen zu Digitalisierung der Möbelbranche können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Bedarf an Standardisierung in der Möbelbranche für folgende Bereiche:
 - Produktstammdaten
 - Kommunikationsstandards
 - Einheitliche Schnittstellen für Serviceplattformen
2. Erhöhung der Bereitschaft von Wertschöpfungspartnern durch folgende Maßnahmen:
 - Wunsch nach übergreifenden Veranstaltungen
 - Veröffentlichungen von Kosten-Nutzen-Abgleich
 - Einbeziehung von Vertragspartnern
 - Einheitliche Priorisierung der relevanten Themen in der Branche
3. Stärkung der Kollaboration im Rahmen der Digitalisierung:
 - Gemeinsame Umstellung anstreben
 - Unterstützung durch „Major Players“, Fördergelder und Verbänden
 - Entwicklung von Strategie zur Reaktion auf Fachkräftemangel
4. Vorausschauende Entkräftigung des Kundendrucks:
 - Notwendigkeit der Transparenz gegenüber den Wertschöpfungspartnern und insbesondere auch dem Kunden frühzeitig erkennen
 - Steigende Reklamationsraten einbeziehen
 - In die strategische Ausrichtung das Wachstum im Online-Markt einbeziehen
 - Zunehmende Bedeutung der Lieferzeit frühzeitig erkennen

4.1.2 Quantitative Erfassung

Zur quantitativen Einschätzung der aktuellen Situation in der Möbelbranche wurde eine Online-Umfrage vom 14. Januar bis 23. April 2019 durchgeführt. Die Teilnehmer wurden unter anderem durch die Kanäle des Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrums Stuttgart als auch auf der Messe imm cologne zur Teilnahme aufgefordert. Insgesamt nahmen 54 Personen an der Umfrage teil.

Aufbau der Befragung

Es wurden allgemeine Fragen und zielgruppen-spezifische Fragekategorien entworfen. Die Struktur je Gruppe ist Abbildung 4-2 zu entnehmen. Insgesamt entstanden 38 Fragen mit unterschiedlichem Detailgrad. Je nach Zielgruppe wurden 14 bis 18 Fragen abgefragt. Der Fragekatalog mit den jeweiligen Ergebnissen ist im Anhang 9.1 hinterlegt.

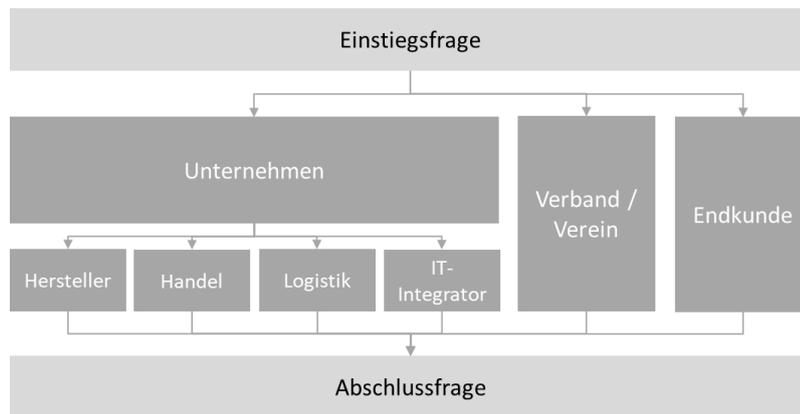


Abbildung 4-2: Struktur der Online-Befragung abhängig von der Zielgruppe in der Möbelbranche

Ergebnisse der Befragung

Insgesamt lief die Befragung 14 Wochen (14.01.19 bis 20.04.19) und wurde zu Beginn zusätzlich auf der internationalen Möbelmesse (imm cologne) in Köln beworben. Befragt wurden 54 Teilnehmer, die sich in die folgenden Zielgruppen aufteilen lassen: 20 Möbelhersteller, 8 Möbelhändler, 19 Möbelendkunden, 1 IT-Dienstleister und 6 ohne Gruppenzuordnung. Abbildung 4-3 zeigt die prozentuale Verteilung auf die entsprechenden Gruppen der Branche. Es folgt eine Analyse der Befragungsergebnisse der Unternehmen und dann der Endkunden.

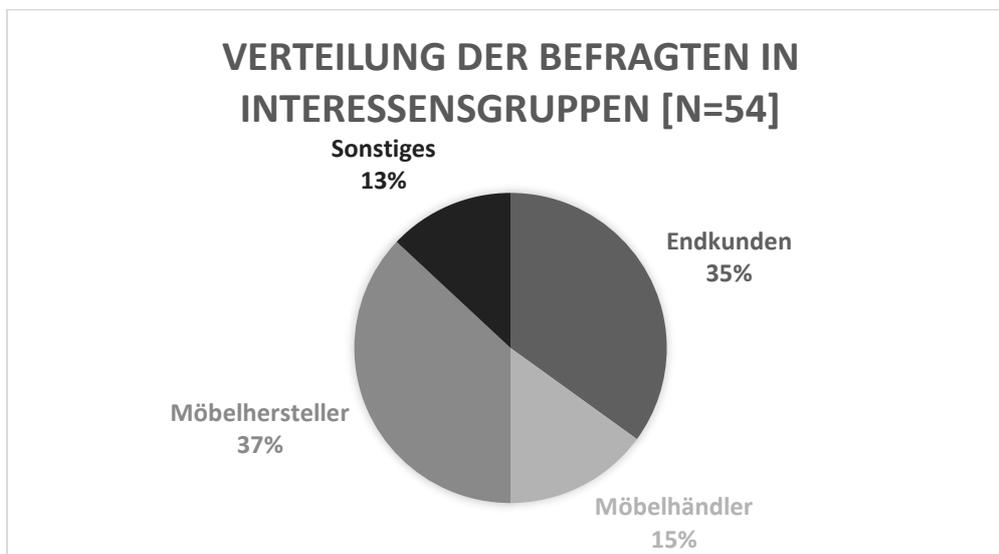


Abbildung 4-3: Gruppierung der Befragungsteilnehmer in der Möbelbranche [n=54]

Die Zielgruppe der Unternehmen

Von den Unternehmensvertretern der Möbelhersteller und -händler wurde der Datenaustausch innerhalb des Unternehmens und mit externen Geschäftspartnern als gut beurteilt, allerdings mit Verbesserungspotential. 59% der Befragten sehen sich innerhalb ihres Unternehmens mitten im Digitalisierungsprozess, 22% schätzen ihn als sehr weit fortgeschritten ein und 19% erkennen nur erste Schritte hin zur Digitalisierung. Als Hindernisse bei der Digitalisierung werden vor allem die hohen

Investitionskosten und inkompatible, parallel existierende Systeme angesehen, aber auch bürokratische Hürden (siehe Abbildung 4-4).



Abbildung 4-4: Auswertung zur Nennung der größten Hindernisse bei der Digitalisierung innerhalb und zwischen Unternehmen für Hersteller und Händler aus der Möbelbranche [n=27]

Bei der Auftragsbearbeitung der Unternehmen gibt es große Unterschiede. 22% verwenden standardisierte Verfahren, 48% haben zusätzlich zum Standardverfahren noch eine Sonderbehandlung für manche Kundenaufträge und 30% verwenden verschiedene Verfahren je nach Kunde. Sowohl beim Wareneingang als auch beim Wareneingang werden die meisten Dokumente (Lieferschein, Rechnung, Auftragsbestätigung, etc.) per E-Mail ausgetauscht, gefolgt von EDI (elektronischer Datenaustausch) und Onlineportalen. Vor allem Lieferscheine werden noch oft in Papierform beigelegt. Bei Reklamationen wird nach Kommunikationsmedium E-Mail am zweithäufigsten das Telefon und am dritthäufigsten das Fax verwendet. Eine gesamte Übersicht ist Abbildung 4-5 zu entnehmen.

WARENEINGANG: In welcher Form gehen folgende Dokumente in Ihr Unternehmen ein? (Mehrfachnennung möglich, n=27)

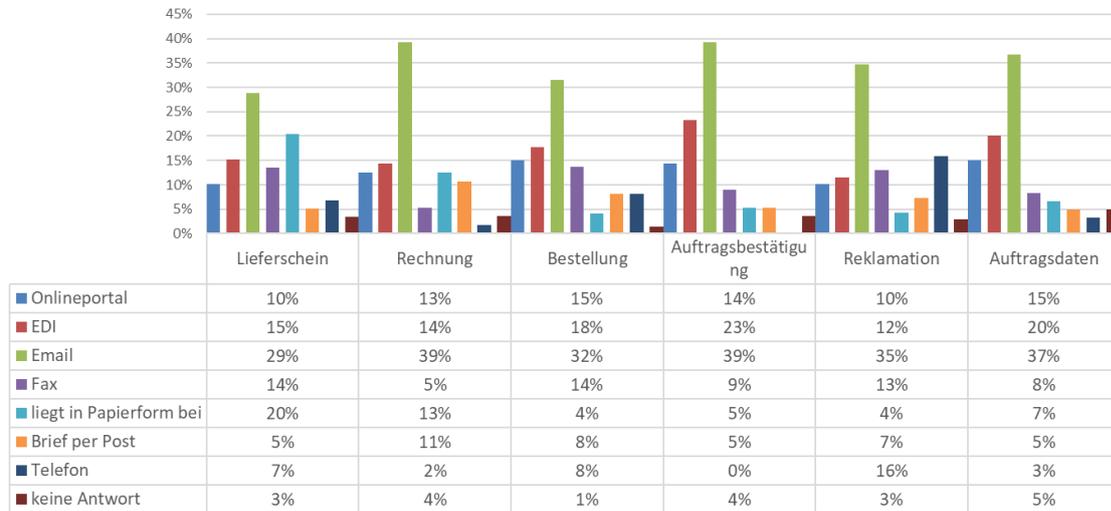


Abbildung 4-5: Auswertung zur Nutzung von Technologien für den Dokumentenaustausch beim Wareneingang [n=27]

Die Priorität der Digitalisierung innerhalb des Unternehmens wird bei mehr als 40% der Möbelhändler als sehr hoch eingeschätzt. Dabei unterscheidet sich die Warenannahme und Wareneingangskontrolle. Eine digitalisierte Methode zur Warenannahme nutzen 33% der Befragten, indem Ware direkt über zuvor vom Zulieferer erhaltene Stammdaten (Barcode oder RFID) eingebucht wird. Im Gegensatz dazu verfolgen 33% der Befragten eine manuelle Methode. In diesem Fall wird die Ware händisch gezählt und später in ein System eingebucht. Weitere 17% der Möbelhändler setzen auf eine aufwendige manuelle Qualitätsprüfung und packen die angelieferte Ware aus, prüfen sie und buchen sie anschließend einzeln ein.

Der Anlieferzeitpunkt spielt außerdem eine wichtige Rolle im Logistikprozess. Bei der Befragung der Händler gaben 17% an, dass sie feste Anlieferzeitpunkte und Rampenstandzeiten zuweisen. Die übrigen Befragten vergeben keine festen Anlieferzeitpunkte, da entweder keine räumlichen Einschränkungen (17%) beim Ausladen existieren, der Logistiker die Zeiten festlegt (33%), die Planung der Anlieferung zu komplex sei (17%) oder ein System für diese Planung erst aktuell eingerichtet wird (17%). Auf der Seite der Hersteller wurde von 65% angegeben, dass sie feste Anliefer- und Rampenstandzeiten zugeteilt bekommen und einhalten. Dabei ist zu beachten, dass die Mehrheit der befragten Hersteller ihre Möbel hauptsächlich nur an Möbelhändler veräußern (10% auch direkt an Endkunden). Die Kommunikation bezüglich der Produkte kann als positiv bewertet werden, da alle befragten Hersteller Rückmeldungen zu ihren Produkten von den Händlern erhalten und 70% ebenfalls von den Endkunden. Dabei liegt ein großes Potential in der Verkürzung der Lieferzeit für Endkunden (80%). Für die Optimierung des Prozesses ist bei über der Hälfte der Befragten eine gute Ausgangslage vorhanden (55%), da diese ihre Produkte bereits mithilfe von Datenstandards (bspw. ECLASS) intern systematisch klassifizieren und beschreiben.

Die Zielgruppe der Möbelendkunden

Nur zwei der 19 Befragten kaufen Ihre Möbel nur über eine Online-Plattform, ohne ein Geschäft vorab zu betreten. Die Mehrheit orientiert sich vorab in einem Möbelgeschäft (68%) oder informiert sich allgemein im Internet (63%). Im Internet beeinflussen insbesondere die Bewertungen von anderen Käufern (67%) und die Webseite des Anbieters (50%) die Kaufentscheidung. Jedoch fand der letzte Kauf eines Möbelstücks

bei knapp 80% der Befragten in einem Geschäft statt. Zwar sind Endkunden mit der Anlieferung nicht zufrieden, aber es ist nur eine Minderheit (26%) bereit für eine feste Lieferzeit und einen festen Liefertermin einen Aufpreis zu zahlen. Die Bereitschaft mehr zu bezahlen, existiert bei allen Befragten im Fall der Möglichkeit von individuellen Konfiguration der Produktmaße. Ebenfalls für eine besondere Farbe (68%) oder besonderes Material (74%) wird ein höherer Preis akzeptiert. Am wichtigsten bei dem Möbelkauf ist den Befragten eine ausführliche Produktbeschreibung. Der Preis liegt auf Platz zwei bei über der Hälfte der Befragten.

4.2 Anforderungen an eine neue Methodik

Auf Basis der identifizierten Forschungslücken aus Kapitel 3.5 soll eine Methodik entwickelt werden, die auf die Unternehmensbedürfnisse abgestimmt ist und in die Prozesse integriert werden kann. Dabei wird die Anwendbarkeit nur auf das Wertschöpfungsnetzwerk der produzierenden Unternehmen eingeschränkt. Somit müssen verschiedene Akteure und deren Systeme einbezogen werden. Die möglichen Anwendungsfälle sind somit nicht beschränkt. Damit ergeben sich folgende Anforderungen an die Methodik.

- I. **Allgemeingültigkeit:** die Methodik ist anwendbar unabhängig von der Branche.
- II. **Holistische Betrachtung:** die Methodik soll alle Phasen des Produktlebenszyklus unter Berücksichtigung relevanter Aspekte beleuchten. Diese sind: technische Komplexität und ihre Kosten, organisatorische Elemente sowie Auswirkungen auf das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk.
- III. **Interoperabilität:** die Methodik kann die Überwindung von Systemgrenzen unterstützen.
- IV. **Skalierbarkeit:** die Methodik muss einsetzbar für lokale Feedbackmechanismen bis hin zu komplexen Gesamtsystemen sein.
- V. **Erweiterbarkeit:** die Methodik lässt einfache und schnelle funktionale Erweiterungen zur Integration neuer Technologiefelder zu.
- VI. **Nachhaltigkeit:** die Methodik muss in die bestehende Infrastruktur und unternehmensspezifische Prozesse langfristig eingebaut werden.
- VII. **Anwendbarkeit:** die Methodik soll in unterschiedlichen Anwendungsfällen eingesetzt werden.

Auf Basis der Untersuchung der Möbelbranche aus Kapitel 4.1 wurden weiterführende aber dennoch allgemeingültigen Anforderungen an ein Feedbacksystem ergänzt:

- VIII. **Digitale Kommunikation:** ein Feedbacksystem muss die Kommunikation zwischen Wertschöpfungspartnern digital unterstützen.
- IX. **Branchenstandards:** ein Feedbacksystem sollte die Einführung und Nutzung von Branchenstandards fördern.
- X. **Rückspracheschleifen:** ein Feedbacksystem kann manuelle Iterationen in der Kommunikation bei Rückfragen vermeiden.
- XI. **Kompatibilität:** ein Feedbacksystem sollte kompatibel für unterschiedliche Wertschöpfungspartner sein (keine Insel- bzw. Einzellösungen).
- XII. **Optimierung:** ein Feedbacksystem muss positive Auswirkungen auf das Tagesgeschäft haben (Zeit, Kosten, Qualität).
- XIII. **Produktbezug:** ein Feedbacksystem soll Produkte und deren Varianten abbilden und behandeln können.

Die Anforderungen werden für die Validierung in Tabelle 4-3 zusammengefasst. Hierbei ist zudem eine Einordnung der Art der Anforderung aufgeführt. Klassifiziert werden Kann-, Soll- und Muss-Anforderungen. Diese sind für die jeweilige Gewichtung je Validierungsszenario ausschlaggebend. Einem

Muss-Kriterium wird eine Gewichtung zwischen 8-15%, ein Soll-Kriterium zwischen 5-7% und ein Kann-Kriterium zwischen 2-4% zugewiesen.

ID	Titel	Beschreibung	Relevanz
I	Allgemeingültigkeit	Die Methodik muss unabhängig von der Branche anwendbar sein.	Muss
II	Holistische Betrachtung	Die Methodik soll alle Phasen des Produktlebenszyklus unter Berücksichtigung relevanter Aspekte beleuchten.	Soll
III	Interoperabilität	Die Methodik kann die Überwindung von Systemgrenzen unterstützen.	Kann
IV	Skalierbarkeit	Die Methodik muss einsetzbar für lokale Feedbackmechanismen bis hin zu komplexen Gesamtsystemen sein.	Muss
V	Erweiterbarkeit	Die Methodik kann einfache und schnelle funktionale Erweiterungen zur Integration neuer Technologiefelder zu lassen.	Kann
VII	Nachhaltigkeit	Die Methodik muss in die bestehende Infrastruktur und unternehmensspezifische Prozesse langfristig eingebaut werden.	Muss
VI	Anwendbarkeit	Die Methodik soll in unterschiedlichen Anwendungsfällen eingesetzt werden.	Soll
VIII	Digitale Kommunikation	Ein Feedbacksystem muss die Kommunikation zwischen Wertschöpfungspartnern digital unterstützen.	Muss
IX	Branchen-Standards	Ein Feedbacksystem soll die Einführung und Nutzung von Branchen-Standards fördern.	Soll
X	Rückspracheschleifen	Ein Feedbacksystem kann manuelle Iterationen in der Kommunikation bei Rückfragen vermeiden.	Kann
XI	Kompatibilität	Ein Feedbacksystem soll kompatibel für unterschiedliche Wertschöpfungspartner sein.	Soll
XII	Optimierung	Ein Feedbacksystem muss positive Auswirkungen auf das Tagesgeschäft haben (Zeit, Kosten, Qualität).	Muss
XIII	Produktbezug	Ein Feedbacksystem soll Produkte und deren Varianten abbilden und behandeln können.	Soll

Tabelle 4-3: Zusammenfassung der Anforderungen an eine Methodik mit der Einstufung der Relevanz (Kann, Soll, Muss)

4.3 Zusammenfassung

Das datengetriebene Zusammenarbeiten in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken bietet große Potentiale, aber ebenso Herausforderungen. Insbesondere die Möbelbranche zeichnet sich durch eine hohe Variantenvielfalt und starke Verflechtung der Partner aus. Das Spektrum an Digitalisierungsstände ist breit und führt in vielen Fällen zu Interoperabilitätsproblemen. Die Bereitschaft der Wertschöpfungspartner zur Stärkung der digitalen Kollaboration ist gegeben. Jedoch fehlt eine übergeordnete Koordinierung und Befähigung der Akteure. Viele Optimierungsmöglichkeiten ergeben sich in der Logistik, z. B. bei dem Prozess der Anlieferung. Eine Voraussetzung, die aktuell kaum erfüllt wird, ist ein standardisierter und durchgängiger Datenfluss. Diese Handlungspunkte ergab die Kontextanalyse der Möbelbranche, die durch Telefoninterviews und Online-Befragungen durchgeführt wurde.

Darauf aufbauend wurden fünf Muss-, fünf Soll- sowie drei Kann-Anforderungen an ein notwendiges Feedbacksystem formuliert. Diese fließen in die Validierung der Methodik ein.

5 Vorstellung der Methodik des Feedbackraums

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Methodik hat zum Ziel Feedbackmechanismen mithilfe von neuen Technologien ganzheitlich in den Produktlebenszyklus zu integrieren. Hierzu ist auf die Definition von Feedback (siehe *14. Definition: Feedback*, S. 87) zu verweisen. Darauf aufbauend wird der Begriff Feedbackraum (siehe unten *13. Definition: Feedbackraum*) eingeführt.

13. Definition: Feedbackraum

Im Rahmen dieser Arbeit beschreibt der Feedbackraum die Vernetzung und die Interaktionen von allen Personen, Organisationen und IT-Systemen, die organisatorisch und technisch an der Feedbacksammlung beteiligt sind.

Der Feedbackraum bildet die Hauptkomponente dieser Methodik und alle Methodenelemente beziehen sich auf diese Definition. Dabei sind diese eigenständig einsetzbar. Eine Übersicht und Erläuterung aller wesentlichen Begriffe des Feedbackraums ist im Anhang 9.3 zu finden. Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Elemente der Methodik detailliert erläutert.

Die Vorstellung der Methodik beginnt mit einer Beschreibung des übergeordneten Lösungsansatzes in Abschnitt 5.1. Dies beinhaltet die Einordnung in den Produktlebenszyklus (5.1.1) sowie der Definition von Rollen und Akteuren (5.1.2). Im Detail wird das Vorgehen und die entsprechenden Elemente der einzelnen Methodenbestandteile für die Potentialanalyse (5.2.1), den Aufbau des Feedbackraums (5.2.2) und der anschließenden KPI-basierten Überwachung (5.2.3) erläutert. Die Zusammenfassung (5.3) eruiert die Bedeutung der Methodik im wissenschaftlichen und industriellen Sinne.

5.1 Übergeordneter Lösungsansatz und Zusammenhang der Methodenbestandteile

Bei der Methodik zur Erstellung eines Feedbackraums wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, um die Chancen einer wertschöpfungsübergreifenden, datengetriebenen Vernetzung optimal zu nutzen. Unternehmen sollen mithilfe dieser Methodik Werkzeuge und Schablonen erhalten, die unabhängig von der Branche die einfache Planung, strukturierte Einführung und langfristige Integration von neuen Technologien ermöglichen. Aus diesem Grund ist es nicht ausreichend, dass die Wertschöpfung in Form einer sequenziell angeordneten Kette beleuchtet wird, um die Verankerung von Feedbackmechanismen zu prüfen. Durch die digitale Transformation ist von einem Ökosystem im Sinne eines komplexen Netzwerks auszugehen, bei dem jeder Knoten für einen Wertschöpfungszyklus steht. Der Feedbackraum kann sich daher nicht nur über eine spezifische Wertschöpfungskette erstrecken, sondern muss ein holistisches, digitales Wertschöpfungsökosystem abbilden, welches in Abbildung 5-1 beispielhaft dargestellt ist. Es ist relevant, dass nicht nur die direkte bidirektionale Interaktion beleuchtet wird, sondern der gesamte Kontext von allen relevanten Akteuren. Auf diese Weise können auch Kontextdaten aus unterschiedlichen Wertschöpfungsketten, die sich durch eine Interaktion überschneiden, in den Feedbackraum miteinbezogen werden.

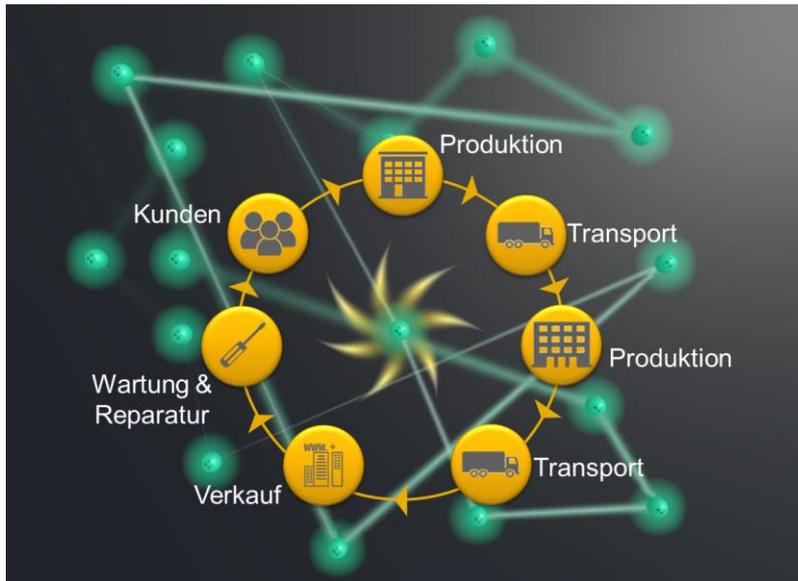


Abbildung 5-1: Visualisierung eines digitalen Ökosystems (grünes Netz) bestehend aus spezifischen Wertschöpfungsketten (oranger Zyklus)

Die Methodik startet mit der Untersuchung des IST-Zustands von dem jeweiligen Unternehmen und dem entsprechenden Umfeld. Auf dieser Basis werden technologische Potentiale mehrdimensional gegeneinander abgewogen. Es folgt die Konzeption und Umsetzung des Feedbackraums mithilfe von neuen Technologien. Anschließend sind die Integration, Funktionalität und Leistungsfähigkeit ständig zu überwachen. Somit handelt es sich hierbei um drei abstrahierte Prozessschritte in einem Zyklus, der langfristig in die Unternehmensprozesse etabliert werden soll. Das grobe Vorgehen ist in Abbildung 5-2 dargestellt.

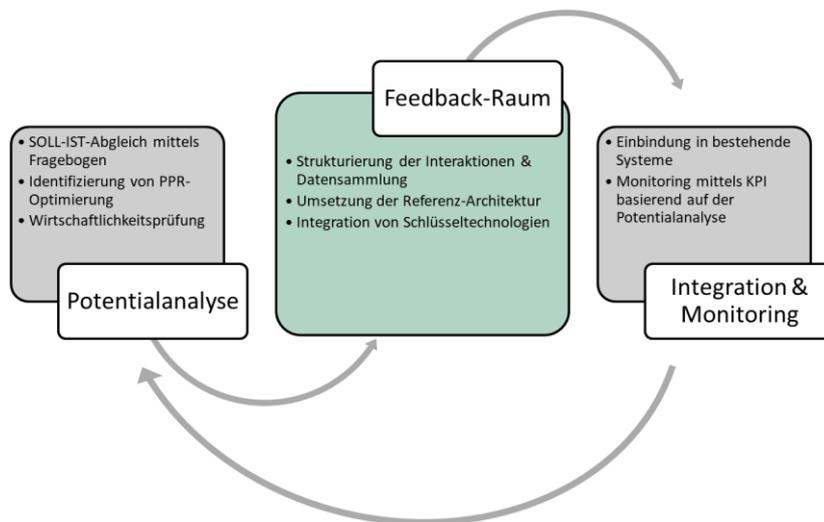


Abbildung 5-2: Vorgehen zur unternehmensspezifischen Implementation und Nutzung eines Feedbackraums

Durch die im ersten Schritt stattfindende Analyse der Unternehmenscharakteristika sowie der extern zu verortenden Chancen und Risiken in Bezug auf die Faktoren Mensch, Technik und Organisation (MTO-

Ansatz) werden die SOLL-Anforderungen spezifiziert. Diese liegen dann in Form von technischen Potentialfeldern, identifizierten Teilprozessen und Optimierungskennzahlen vor. Die Optimierungskennzahlen beziehen sich auf den Prozess, die Produkte und die Ressourcen.

Auf dieser Basis werden mögliche Feedbackraum-Komponenten ausgewählt. Eine Untersuchung der Wirtschaftlichkeit bezogen auf die Umsetzung wird zu diesem Zeitpunkt empfohlen und ist in Kapitel 5.2.1.4 detailliert erläutert. Anschließend können die SOLL-Anforderungen spezifiziert und die Entscheidung über die umzusetzenden Feedbackraum-Komponenten getroffen werden.

Im nächsten Schritt wird ein Feedbackraum, der ebenfalls auch wertschöpfungsketten-übergreifend vorliegen kann, anhand der Feedback-Referenzarchitektur konzipiert und umgesetzt. Hierzu werden Akteure im Feedbackraum bestimmt, Feedback-System-Komponenten umgesetzt und das Feedback-Datenmodell angepasst.

Die Schlüsseltechnologien – im Speziellen die Feedback-Erfasser – sind zu diesem Zeitpunkt bestimmt und technologisch umgesetzt. Abschließend wird das System in den Produktlebenszyklus vollständig integriert. Anhand der vorab definierten Optimierungskennzahlen ist eine Überwachung des Feedback-Prozesses möglich. Dieser Methodenbaustein wird in Kapitel 5.2.3 in den Kategorien Mensch (Kapitel 5.2.3.1), Technik (Kapitel 5.2.3.2) und Organisation (Kapitel 5.2.3.3) vorgestellt.

Durch ständige Veränderungen im Unternehmen und Umfeld sind weitere (Teil-)Iterationen notwendig. Die Überprüfung der Eignung des Feedbackraums durch erneute Potentialanalysen sowie der Erweiterung der Optimierungskennzahlen und daraus resultierende Erweiterungen bzw. Änderungen sollte kontinuierlich durchgeführt werden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Methodenbausteine ebenfalls eigenständig und unabhängig voneinander eingesetzt werden können. Die Kategorisierung der KPI-Cluster ist somit auch einsetzbar, wenn ein Unternehmen ohne Feedbackraum einen bestimmten Sachverhalt untersuchen möchte.

5.1.1 Einordnung in den Produktlebenszyklus

Im Mittelpunkt der Methodik steht die Optimierung von Produkten, Prozessen und Ressourcen. Damit folgt sie dem Produktlebenszyklus in all seinen Schritten und Iterationen.

Die einzelnen Methodenbausteine haben unterschiedliche Perspektiven auf den Produktlebenszyklus. Bei der Potentialanalyse wird dieser makroskopisch betrachtet. Es wird jede Zyklusphase beleuchtet, aber auf einem hohen Abstraktionsniveau. Am Ende der Potentialanalyse werden relevante Feedbackmechanismen identifiziert. Diese sind eindeutig in einer Produktlebenszyklus-Phase verortet. Ziel ist es die Informationen, die aus einer Phase gewonnen wurden, in eine andere Phase zu übertragen und nachhaltig zu nutzen. Das Monitoring der Feedbackmechanismen im Betrieb erfolgt über KPIs. Diese können sowohl eine globale als auch eine lokale Perspektive auf dem Produktlebenszyklus einnehmen.

Verortet wird diese Methodik in der Strategieplanung. Die relevanten Grundsätze sind in Kapitel 2.1.1 erläutert. Die klassische Strategieplanung umfasst demnach die Projektdefinition, Zielplanung und Maßnahmenplanung unter der Berücksichtigung des unternehmerischen Zielkonzepts. Insgesamt kann die hier vorgestellte Methodik als Detailierung der Zielplanung mit der Erfassung der IST-Situation, Entscheidung über relevante Indikatoren und Ableiten von verschiedenen Zielalternativen eingeordnet werden. In der Maßnahmenplanung, wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, finden sich die Potentialdefinition und der Maßnahmenplan wieder, wobei die Beschäftigung mit den Potentialen der Feedbackmechanismen

im Feedbackraum in dieser Methodik deutlich früher beleuchtet werden. Zudem übersteigt diese Methodik den Rahmen einer Strategieplanung, da es ebenfalls die Umsetzung und kontinuierlichen Validierung beinhaltet.

5.1.2 Rollen und Akteure der Methodik

Unter Feedback wird in diesem Rahmen nicht nur die Bewertung von Kunden verstanden. Vielmehr handelt es sich um alle Reaktionen auf eine vorab definierte Situation. Diese können neben Bewertungen von Kunden auch Sensordaten von Maschinen, Bilder von Produktschäden oder Klickraten auf Webseiten sein. Diese Definitionserweiterung führt zu einem weitgefassten Verständnis von Rollen und Akteuren. Bei Akteuren und Rollen handelt es sich nicht nur um Organisationen, Abteilungen oder Personen, sondern diese können auch von Maschinen und IT-Systemen eingenommen werden. Eine Übersicht ist in Abbildung 5-3 zu finden, deren einzelne Akteure im Folgenden erläutert werden.

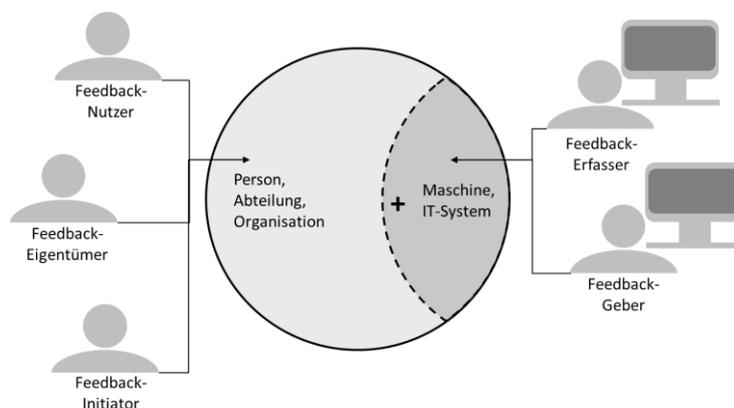


Abbildung 5-3: Einordnung von Feedback-Akteuren

Unter einem **Feedback-Geber** wird ein System oder eine Person verstanden, die auf eine Feedback-Anfrage direkt oder indirekt reagiert. Einige Beispiele für Feedback-Geber sind:

- Kunden, die einen Fragebogen bei einem Kundenberatungsservice ausfüllen
- Kundenberater, die nach einem Beratungsgespräch die Meinung des Kunden abschätzen und in das Feedback-System eingeben oder
- Produktionsmaschinen, die regelmäßig ihren Produktionsstatus melden.

Der **Feedback-Erfasser** dokumentiert das Vorgehen bzw. die Reaktionen des Feedback-Gebers. Zum Beispiel kann ein Mitarbeitender nach einem Verkaufsgespräch die Zufriedenheit eines Kunden rückmelden. In diesem Fall ist der Mitarbeitende der Feedback-Erfasser und der Kunde der Feedback-Geber. Ein Feedback-Erfasser kann auch ein System bzw. eine Webanwendung sein, die die Klicks eines Nutzers aufnimmt. Außerdem kann es auch eine Kette von Feedback-Erfassern geben. Zum Beispiel kann bei einem Verkaufsgespräch zusätzlich ein Webservice eingesetzt werden, in dem der Mitarbeitende die Kundenzufriedenheit einträgt. In diesem Fall sind sowohl der Mitarbeitende als auch der Webservice ein Feedback-Erfasser.

Damit die Feedback-Sammlung angestoßen und später verwendet wird, sind noch drei weitere Rollen beteiligt. Der **Feedback-Initiator** ist eine Organisation, Abteilung oder Person, die eine Feedback-

Sammlung in Auftrag gibt. Es muss eine Absprache mit dem **Feedback-Eigentümer** über die Datenverwendung geben. Diese Organisation, Abteilung oder Person ist aus Datenschutzgesichtspunkten rechtmäßiger Besitzer des Feedbacks. Durch rechtliche Vereinbarungen können auch mehrere Personen/Organisationen Eigentümer des Feedbacks sein. Unter dem **Feedback-Nutzer** wird eine oder mehrere Organisationen/Abteilungen/Rollen verstanden, die das Feedback anschließend verwerten.

Durch Beschreibung der Rollen und Akteure wird die Definition eines Feedbacks wie folgt verwendet:

14. Definition: Feedback
Als Feedback wird die direkte oder indirekte Reaktion eines Feedback-Gebers auf eine vom Feedback-Initiator vorab definierte Situation bzw. Fragestellung bezeichnet, die von einem oder mehreren Feedback-Erfassern dokumentiert wird.

5.2 Detaillierte Erläuterung der Methodik

Bei der Beschreibung der Methodik wird davon ausgegangen, dass zu Beginn ein Feedback-Projektmanager bestimmt wird. Dieser ist für die Durchführung aller Schritte – sowohl für die Analyse als auch für die Implementierung – zuständig. Der Feedback-Projektmanager steht repräsentativ für das gesamte Team, welches die notwendige Expertise und das unternehmensspezifische Wissen vereint.

Im Folgenden werden die drei wesentlichen Bestandteile der Methodik detailliert vorgestellt. Durch die Potentialanalyse (5.2.1) werden relevante Feedbackmechanismen ermittelt und deren Eignung für das Unternehmen in Bezug auf Entwicklungen im Bereich Mensch, Technik und Organisation bewertet. Diese Feedbackmechanismen können mithilfe der Referenzarchitektur des Feedbackraums (5.2.2) implementiert und anschließend kontinuierlich überprüft werden. Hierzu liefert die Methodik eine Vorgehensempfehlung zur Gestaltung von unternehmens- und feedbackraum-spezifischen KPIs anhand von definierten Kategorien (5.2.3).

5.2.1 Potentialanalyse relevanter Feedbackmechanismen

Um die Einsatzgebiete und Prozesse für Feedbackmechanismen zu identifizieren, wird vorab eine mehr-elementige Potentialanalyse durchgeführt. Diese soll produzierende Unternehmen einen Impuls geben, einen spezifischen Feedbackraum nach eigenen Anforderungen aufzubauen. Die Abbildung 5-4 veranschaulicht den Aufbau und das Vorgehen der Potentialanalyse.

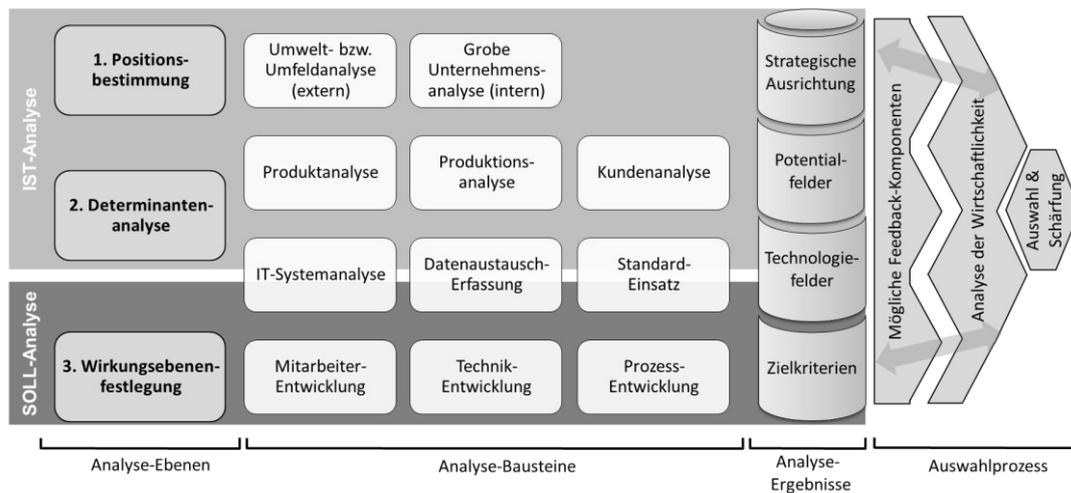


Abbildung 5-4: Übersicht der Elemente der Potentialanalyse

Ziel ist es, zum einen spezifische Unternehmenscharakteristiken standardisiert zu dokumentieren und zu interpretieren. Hier wird der MTO-Ansatz verfolgt. Damit liegt der Fokus auf der Arbeitsplatzveränderung für den Menschen, der Technik in Form von Hardware, Software sowie Systemen und der Organisation mit seinen Stärken und Schwächen. Zum anderen wird das Wertschöpfungsnetzwerk analysiert. Hierbei spielen insbesondere die Chancen sowie Risiken im Wettbewerb als auch die Prozesse und Datenstrukturen eine wichtige Rolle.

Diese Schwerpunkte werden in der oben aufgeführten Abbildung 5-4 durch die drei Analyse-Ebenen (1. Positionsbestimmung, 2. Determinantenanalyse und 3. Wirkungsebenenfestlegung) abgebildet. Eine Kategorisierung erfolgt in SOLL- und IST-Analysen. Aus jeder Ebene lässt sich ein Ergebnis-Baustein ableiten. Diese umfassen die strategische Ausrichtung, die Potentialfelder, die Technologiefelder und die Zielkriterien.

Auf dieser Basis können mögliche Feedback-Komponenten eines Feedbackraums bestimmt werden, die eine Optimierung bezogen auf Produkt, Prozess und Ressourcen (PPR) ermöglichen. Zum Abwägen der alternativen Möglichkeiten wird eine Wirtschaftlichkeitsanalyse empfohlen. Dies unterstützt den Auswahlprozess. Nach der Festlegung auf eine oder mehrere Feedback-Komponenten sollten die Zielkriterien erneut überprüft und geschärft werden, um eine nachhaltige Integration in bestehende Unternehmensprozesse zu ermöglichen.

In den folgenden Kapiteln wird die Potentialanalyse anhand der Abbildung 5-4 und die damit verbundene systematische Analyse schrittweise erläutert.

5.2.1.1 Vorstellung der Analyse-Ebenen und -Bausteine

Die Potentialanalyse verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz. Aus diesem Grund wird im ersten Schritt das gesamte Unternehmen und dessen Umfeld beleuchtet, anstelle sich bereits zu Beginn auf Teilbereiche zu fokussieren. Nach der sogenannten Positionsbestimmung werden mittels Unternehmenscharakteristika in den Kategorien *Produkte*, *Interne Ressourcen* und *Prozess der Wertschöpfungskette* die Ausprägungen der sogenannten Determinanten abgeleitet.

15. Definition: Determinante

Die Determinanten eines Unternehmens strukturieren die unternehmensspezifischen Faktoren in den Bereichen *Produkt, Produktion, Kunde, Systeme* sowie *Datenaustausch*, die für die Bestimmung von Feedbackmechanismen und zur Ableitung von relevanten Technologiefeldern genutzt werden.

Im letzten Schritt wird die gewünschte Entwicklung in den Wirkungsebenen *Mitarbeiter, Technik* und *Prozess* diskutiert. Diese Wirkungsebenenfestlegung liefert wichtige Grundsteine für die Erfolgsüberwachung im Anschluss an den Aufbau des Feedback-Systems.

Die konkreten Methoden und Anwendungsmöglichkeiten der in Abbildung 5-4 visualisierten drei Analyse-Ebenen werden im Folgenden schrittweise erläutert. Angelehnt an die Struktur eines Canvas Business Models (Erläuterung in Kapitel 2.3.1) endet die Beschreibung mit einer Übersicht über die entsprechende Analyse-Ebene.

1. Positionsbestimmung fixiert die strategische Ausrichtung

Für ein Unternehmen ist das Wissen über die aktuelle Situation, insbesondere im Vergleich zu den Wettbewerbern, sehr entscheidend und wird bei Entscheidungen miteinbezogen. Jedoch sollte zu Beginn jeder weitreichenden Änderung im Unternehmen die Ausgangslage erneut systematisch erfasst werden. Hierbei wird nicht nur die interne Perspektive beleuchtet, sondern ebenso das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk und alle relevanten Wettbewerber. Zudem wird eine formelle Prüfung der Randbedingungen, wie Gesetzesänderungen, empfohlen. Ergeben sich hieraus neue Anforderungen, können diese in den Änderungsprozess übernommen werden.

Es gibt eine Reihe von möglichen Methoden, die sich in der Industrie etabliert haben. Eine der bekanntesten Methoden ist die SWOT-Analyse. Eine Vorstellung ist in im Kapitel 2.3.3 zu finden. Die Methode basiert auf der Erfassung von den unternehmensinternen Stärken und Schwächen sowie den durch externe Einflüsse geprägten Chancen und Risiken. Der Einsatz einer vergleichbaren Methode ist ebenfalls möglich. Falls eine Balanced Scorecard im Unternehmen gepflegt wird, kann diese z. B. als eine Grundlage dienen. Die Auswahl ist demnach abhängig von der bisherigen Prüfung der Unternehmenserfolge.

Neben dem Feedback-Projektmanager sollte die Leitungsebene an der Analyse beteiligt sein. Dies umfasst in der Regel die Unternehmensleitung und alle relevanten Leitungspositionen im operativen Tagesgeschäft. Eine Herausforderung bei einem aus diesen Personen zusammengesetzten Team ist, dass eine kritische Begutachtung jedes Geschäftsbereich offen kommuniziert werden sollte. Ebenso ist die Vorbereitung, z. B. in Form von Recherchen über Gesetzesänderungen und Vorschriften, für aussagekräftige Resultate entscheidend. Da keine zusätzlichen Ressourcen, wie die Beauftragung von Dienstleistern, notwendig sind, fallen keine hohen Kosten an und der Gesamtaufwand ist demnach moderat.

2. Bewertung der unternehmensspezifischen Determinanten

Die Determinantenanalyse basiert auf einem für produzierende Unternehmen standardisierten Fragebogen mit insgesamt 31 Fragen, von denen fünf Matrixfragen mit sechs bis acht Dimensionen sind. Außerdem wird bei sechs Fragen eine Einschätzung des SOLL- und IST-Zustands gefordert, welche jeweils nur als ein zusammengeführter Wert in die Auswertung eingeht. Insgesamt werden somit 60 Antworten erfasst. Der gesamte Fragebogen ist im Anhang 9.2.1 *Fragebogen zur Potentialanalyse* vollständig aufgeführt und wird im Folgenden auszugsweise beleuchtet. Aufgrund der unternehmensspezifischen Anforderungen wurden 13 Determinanten konkretisiert, die je nach Determinanten-Kategorie – *Produkte, interne Ressourcen* und *Prozesse der Wertschöpfungskette* – in den Tabelle 5-1 bis Tabelle 5-3 beschrieben sind. Zudem wurden je nach Determinanten eine unterschiedliche Anzahl und Art an Fragen konzipiert.

Die Determinanten-Kategorie der Produkte (siehe Tabelle 5-1) umfasst den Individualisierungsgrad, die Produktkomplexität und Variantenvielfalt. Durch insgesamt sieben jeweils fünf-elementige Fragen werden die Ausprägungen der Determinanten erfasst. Der Individualisierungsgrad wird exemplarisch mit der Frage „*Wie stark sind Ihre Produkte im Sinne einer Auftragsproduktion individualisierbar?*“ gemessen. Auf einer entsprechenden Skala ordnen sich die Teilnehmer zwischen der Minimalausprägung *nicht* (1) und der Maximalausprägung *sehr stark* (5) ein.

PRODUKT-DETERMINANTEN	BESCHREIBUNG	BEISPIELE	MESSUNG
Individualisierungsgrad	Grad der Gestaltungsmöglichkeit eines Auftrags vom Kunden und dem damit verbundenen Produktionsaufwand (Dücker, Gödel, et al., 2016)	Individualisierter Auftrag oder Standardprodukt	1 Frage (5-elementige Skala)
Produktkomplexität	Aufwand für die Verwaltung und Herstellung des Produktes bezogen auf den gesamten Fertigungs- und Montageprozess: <ul style="list-style-type: none"> • Funktionen und Tiefe der Produktkomplexität (Bashir & Thomson, 1999) • eingebettete Software & Elektroanteil (Eigner, 2013) 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionen: Fenster vs. PKW • Produktstruktur: Schraube vs. Verpackungsanlage 	4 Fragen (5-elementige Skala)
Variantenvielfalt	Varianz in Bezug auf die betrachtete Produktkategorie (Dücker, Gödel, et al., 2016)	Konfigurierung bei PKWs	2 Fragen (5-elementige Skala)

Tabelle 5-1: Determinantenbeschreibung mit Beispielen und Umfang der Messung aus der Kategorie der Produkte

Der Determinanten-Kategorie interne Ressourcen (siehe Tabelle 5-2) sind fünf Determinanten mit insgesamt 30 Fragen zugeordnet: Fremdfertigungsanteil, Automatisierungsgrad, Systemvernetzung, interne Datennutzung sowie Arbeitsplatz. Je nach Ausrichtung der Frage wurde eine entsprechende Skala ausgewählt. Für diese Kategorie sind folgende Fragen exemplarisch zu nennen:

- *Wie hoch ist ca. Ihr Anteil an externer Fremdfertigung?*
- *Wie stufen Sie den Automatisierungsgrad in Ihrer Fertigung ein?*
- *Existieren ausreichend branchenspezifische Standards zur Datenerfassung und zum -austausch?*
- *Wie schätzen Sie den SOLL- und IST-Zustand der Datenverfügbarkeit bezogen auf die interne Kommunikation in Ihrem Unternehmen ein?*
- *Wie stark soll die direkte Änderung am Arbeitsplatz bezogen auf die horizontale Tätigkeitserweiterung der Mitarbeitenden sein?*

RESSOURCEN-DETERMINANTEN	BESCHREIBUNG	BEISPIELE	MESSUNG
Fremdfertigungsanteil	Horizontale Integration von Wertschöpfungspartnern (Dücker, Gödel, et al., 2016)	Eigenfertigung oder reine Montage	1 Frage (5-elementige Skala)
Automatisierungsanteil	Automatisierungs- und Mechanisierungsgrad in Fertigung und Montage	Manuelle Vorgänge oder Vollautomatisierung	2 Fragen (5-elementige Skala)
Systemvernetzung	Stand der Nutzung von IT-Systemen und die darin genutzten bzw. etablierten Standards	Nutzungsarten: Einsatz, Umsetzung, Planung, keine Nutzung, nicht bekannt	4 Fragen (4- und 6-elementige Skala)
Interne Datennutzung	Vergleich des SOLL- und IST-Zustands der Datenverfügbarkeit, -austausch und -verarbeitung in internen Prozessen	Datentransfer zw. Entwicklung und Montage	3 Fragen (6-elementige Skala)
Arbeitsplatz	Änderung des Arbeitsplatzes bezogen auf unterschiedliche Dimensionen	Verbesserte Informationsbereitstellung, individuelle Arbeitsplatzgestaltung	8 Fragen (6-elementige Skala)

Tabelle 5-2: Determinantenbeschreibung mit Beispielen und Umfang der Messung aus der Kategorie der internen Ressourcen

Die Prozesse der Wertschöpfungskette (siehe Tabelle 5-3) werden ebenfalls durch fünf Determinanten erfasst. Diese sind die digitale Kundenintegration, die Nachfragevolatilität, das Ersatzteilgeschäft, die produktbezogenen Services sowie die externe Datennutzung. Insbesondere in diesem Frageblock treten nominalskalierte Fragen (Antwortmöglichkeiten: ja, nein) auf. Insgesamt werden diesen Determinanten 27 Antwortwerte zugeordnet. Exemplarisch sind folgende Fragen zu nennen:

- *Wie relevant ist es für Ihr Unternehmen den Kunden die Möglichkeit zu geben selbst Ihre Produkte nach vorgegebenen Varianten zu konfigurieren?*
- *Wie volatil ist Ihre Auftragslage?*
- *Vertreiben Sie Ersatzteile für Ihre Produkte?*
- *Bieten Sie Ihren Kunden zusätzliche produktbezogene Dienstleistungen entlang der Wertschöpfungskette an? (z. B. Produktkonfigurationen, Auftragsverfolgung, Wartungsservice)*
- *Wie schätzen Sie den SOLL- und IST-Zustand des Datenaustausches bezogen auf die externe Kommunikation ein?*

WERTSCHÖPFUNGS-KETTE-DETERMINANTEN	BESCHREIBUNG	BEISPIELE	MESSUNG
Digitale Kundenintegration	Grad der Einbeziehung von Kunden in unterschiedliche Wertschöpfungsphasen	Nutzung von VR für gemeinsame Produktentwicklung; Variantenkonfigurator im B2C	2 Fragen (5-elementige Skala)
Nachfragevolatilität	Extern gegebener Einflussfaktor zu der Schwankung der Nachfrage (Dücker, Gödel, et al., 2016)	Im Frühling und Herbst liegt gesteigerte Nachfrage nach Trauringen vor	2 Fragen (nominal, 5-elementige Skala)

WERTSCHÖPFUNGS- KETTE- DETERMINANTEN	BESCHREIBUNG	BEISPIELE	MESSUNG
Ersatzteilgeschäft	Relevanz des Verkaufs von Ersatzteilen in der Unternehmensstrategie (Dücker, Gödel, et al., 2016)	Druckerpatronen als Ersatzteil zum Drucker	4 Fragen (nominal, 5-elementige Skala)
Produktbezogene Services	Umfang und Relevanz von produktbezogenen Services im gesamten Produktlebenszyklus	Geschäftsfelderweiterung (Berghaus and Back, 2016), Produktkonfiguratoren, Entsorgungsleistungen	2 Fragen (4-elementige Skala)
Externe Datennutzung	Vergleich des SOLL- und IST-Zustands der Datenverfügbarkeit, -austausch und -verarbeitung in unternehmensübergreifenden Prozessen	Datentransfer zw. Hersteller und Logistiker	3 Fragen (6-elementige Skala)

Tabelle 5-3: Determinantenbeschreibung mit Beispielen und Umfang der Messung aus der Kategorie der Prozesse der Wertschöpfungskette

Die Beantwortung des Fragebogens kann von einem Unternehmen selbst durchführen werden. Die Ergebnisse sind aussagekräftiger, falls neben dem Feedback-Projektmanager auch die Leitungsebenen der IT, für interne Prozesse, der Produktion sowie für die Kundenverantwortung miteinbezogen und somit unterschiedliche Perspektiven abgebildet werden. Für die Auswertung verwendet man in diesem Fall repräsentative Mittelwerte oder Expertenschwerpunkte. Zu den vorgestellten Determinanten eines Unternehmens wurde ein Zusammenhang zu den Technologiefeldern der Digitalisierung in Form einer Abhängigkeitsmatrix hergestellt. Diese Ableitung sowie die Zuordnung von Potentialfeldern ist in Kapitel 5.2.1.2 *Technologie- und Potentialfelder* beschrieben.

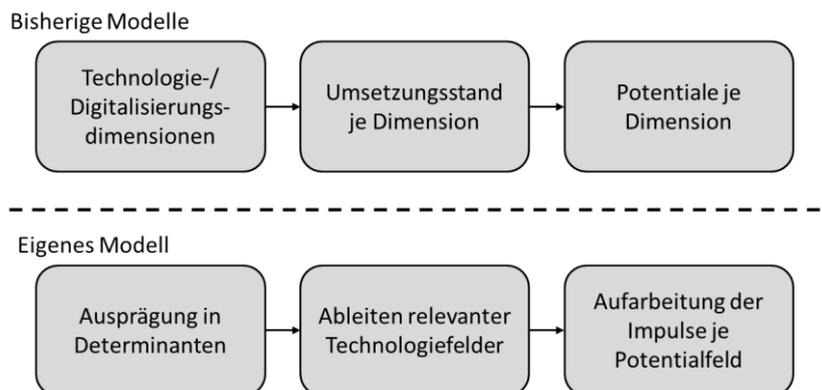


Abbildung 5-5: Vergleich der Vorgehensweisen dieser und bestehender Potentialmodelle

Hervorzuheben ist die im Vergleich zu bisherigen Modellen unterschiedliche Vorgehensweise, wie in Abbildung 5-5 dargestellt. Bisherige Modelle verfolgen das Ziel, dass Unternehmen sich direkt in Bezug auf definierte Technologie-Dimensionen bewerten. Dies beinhaltet ein SOLL-IST-Abgleich zu einem vollständig digitalisierten Unternehmen und die damit einhergehende Zuordnung zu einer konkreten Anwendungsebene bzw. einem Realisierungsstand. Zu den entsprechenden Realisierungsständen sind allgemeine Empfehlungen oder Potentiale zugeordnet. Bei dieser Methodik hingegen werden individuelle interne und externe Unternehmensspezifika beleuchtet, die nicht an ein festgelegtes Portfolio von

Technologien angeknüpft sind. Anhand dieser Selbsteinschätzung werden spezifische Technologien und Umsetzungsbeispiele vorgeschlagen. In diesem Schritt kann sich das Unternehmen dann mit den eigenen Potentialen für die Umsetzung von Feedbackmechanismen für z. B. eine digitale Fabrik auseinander setzen.

3. Festlegung der Relevanz verschiedener Wirkungsebenen

Die Festlegung der Wirkungsebenen ist in einer frühen Phase der Methodik verordnet, da durch die Definition der Ziele eine Fehlentwicklung abgewandt werden kann. Um die Zieldefinition zu unterstützen, wurde in dieser Arbeit ein KPI-Cluster, wie in Abbildung 5-6 dargestellt, in den Kategorien Mensch, Technik und Organisation entwickelt. Diese Cluster beinhalten weitere Subcluster, Zielgrößen und beispielhafte KPIs. Eine ausführliche Beschreibung ist in *Kapitel 5.2.3 Umsetzung und KPI-basiertes Monitoring* zu finden. Die für das Unternehmen relevanten KPIs werden frühzeitig festgelegt und während des gesamten Prozesses stets überprüft und erweitert.



Abbildung 5-6: KPI-Kategorien und Cluster für die Bestimmung der Wirkungsebene

In diesem Schritt werden zunächst Ziele für die Wirkungsbereiche (Mensch, Technik, Organisation) auf Basis der Positionsbestimmung und Potentialanalyse erfasst. Der Zeithorizont sollte dabei beachtet werden. Die für das Unternehmen relevante Cluster werden im Hinblick auf ihr Ziel und der möglichen Messbarkeit definiert. Eine übersichtliche Darstellung, wie Abbildung 5-7 veranschaulicht, ist für die Dokumentation zu empfehlen.

		Wirkungszeit		
		Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
Wirkungsbereiche	Mensch			
	Technik			
	Organisation			

Zielwirkung & Messbarkeit

Abbildung 5-7: Vorlage zur groben Ziel- und Messdefinition für die Wirkungsbereiche unter Beachtung der Wirkungszeit

5.2.1.2 Ableitung der Analyse-Ergebnisse

In diesem Kapitel wird auf die Ergebnisse der Analyse-Bausteine eingegangen. Insbesondere die Ableitung der Technologie- und Potentialfelder mit der Vorstellung der Praxisbeispiele steht im Vordergrund. Aus Abbildung 5-8 kann die Zuordnung von den Analyse-Ebenen mit den entsprechenden Bausteinen zu den Analyse-Ergebnissen entnommen werden.

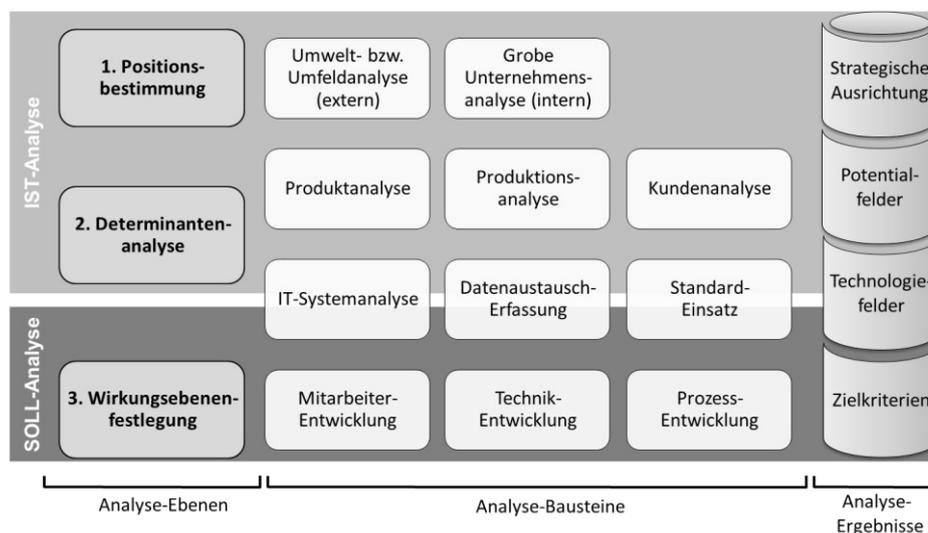


Abbildung 5-8: Ergebnisse der Analyse-Bausteine basierend auf den drei Analyse-Ebenen

Strategische Ausrichtung

Das Ergebnis der strategischen Ausrichtung beinhaltet den strukturiert erfassten IST-Zustand im Kontext des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks. Insbesondere die internen und externen Randbedingungen sind für die Zusammenführung der Analyse-Ergebnisse relevant. Diese Analyse-Ergebnisse sollten allgemeingültig sein und nicht nur auf die zu planenden Maßnahmen abzielen, weshalb möglichst viele Mitarbeitende aus leitenden Ebenen mit einbezogen werden. Unabhängig von der Methode sind die benötigten Ressourcen gering und mit wenig Aufwand intern durchführbar. Dabei sind eine kritische Selbstreflexion und Einschätzung der Recherche-Qualität notwendig. Die Abbildung 5-9 fasst die wesentlichen Merkmale zusammen. Aufgrund der nicht auf einen technologischen Aspekt fokussierten Analyse sind die Ergebnisse generell verwertbar.

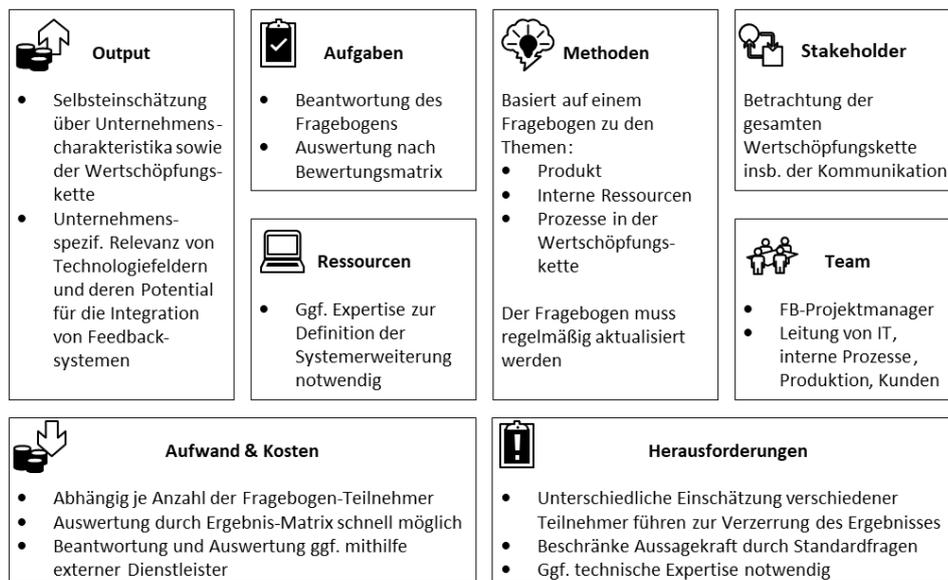


Abbildung 5-9: Überblick über die Positionsbestimmung im Rahmen der Potentialanalyse

Technologie- und Potentialfelder

Ausgangsbasis für die Ableitung der Technologie- und Potentialfelder sind die durchgeführten Befragungen der Determinantenanalyse. Demnach wird basierend auf den Angaben des Unternehmens ein Profil abgeleitet, welches mit den Profilen der Technologie- bzw. Potentialfeldern abgeglichen wird. Als Ergebnis erhält man ein Ranking der Technologiefelder mit einer Auswahl von Potentialfeldern als konkrete Handlungsbeispiele. Begleitend zu der Auswertung durch die Unternehmen soll die Methodik der Potentialfelder kontinuierlich optimiert werden. Der Ablauf der Auswertung ist in Abbildung 5-10 dargestellt und wird im Folgenden detailliert beschrieben.

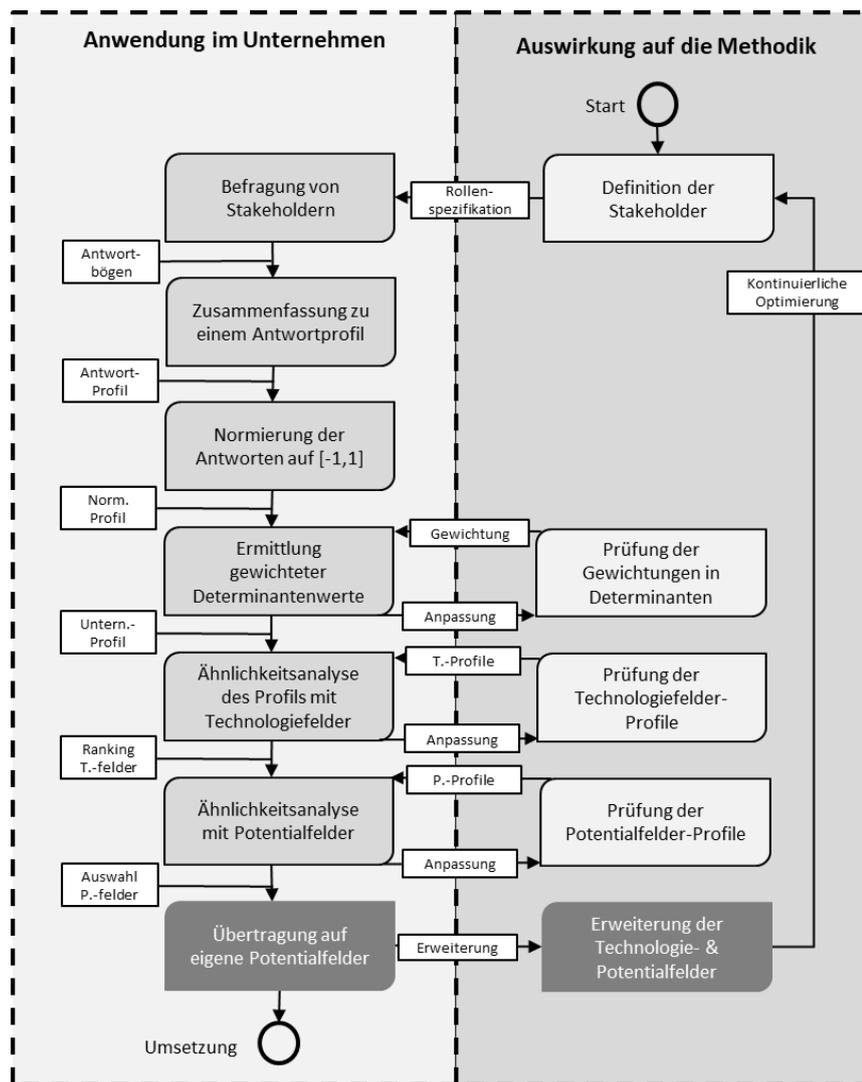


Abbildung 5-10: Vorgehen bei der Auswertung der Potentialanalyse-Antworten mit Betrachtung der Auswirkung auf die Methodik

Die Befragungen werden von mehreren Stakeholdern durchgeführt. Die Zusammenführung der Ergebnisse ist abhängig von der Anzahl der Teilnehmenden. Es bietet sich an Mittelwerte zu bilden oder je nach Zuständigkeit bzw. Expertise von Teilnehmenden den Fragebogen in einzelne Segmente zu unterteilen. Dann können die Antworten der jeweiligen Experten höher gewichtet werden. Das Ergebnis der Befragung ist ein zusammengeführter Antwortbogen. Im nächsten Schritt werden die Antworten normiert. Da bei der Befragung unterschiedliche Skalentypen (nominal, ordinal) und Skalendimensionen (vier- bis sechselementige) verwendet wurden, wird jede Antwort auf einen Wert zwischen $[-1,1]$ normiert. Folgende Umrechnungen sind dafür vorgesehen:

- **Entscheidungsfragen (ja/nein):** Bei einer Frage mit den Antwortmöglichkeiten *ja* und *nein* ergibt sich ein normierter Wert von 1 für *ja* und -1 für *nein*.
- **5-elementige Skala [1,5]:** der niedrigste Wert 1 der Antwortmöglichkeiten entspricht einem normierten Wert von -1, die höchste Antwortmöglichkeit mit dem Wert 5 entspricht einem normierten Wert von 1. Die Antwortmöglichkeiten dazwischen werden linear verteilt.
- **Weiterführende Entscheidungsfrage:** Beginnt die Frage mit dem Bezug auf eine vorherige Beantwortung, dann wird bei Irrelevanz der Frage ein Wert von -1 angenommen. Da alle

weiterführenden Fragen auf einer zustimmenden Beantwortung der vorherigen Frage basieren, wird damit der negative Effekt für die gesamte Determinante festgehalten. Die übrigen Übertragungen folgen der Beschreibung aus der 5-elementigen Skala.

- **6-elementige Skala [0,5]:** bei dieser Art von Fragen entspricht der Wert 0 der Beantwortung durch *keine Aussage*. Die restlichen Umrechnungen folgen der Beschreibung aus der 5-elementigen Skala.
- **4-elementige Skala [0,3]:** bei dieser Art von Fragen entspricht der Wert 0 der Beantwortung durch *keine Aussage*. Es werden auch die Extremwerte (Minimum und Maximum) auf -1 bzw. 1 normiert. Die Beantwortung mit *In Planung* wird auf einen Wert von 0 festgelegt.
- **SOLL-/IST-Vergleich:** die Frage wird sowohl aus der Perspektive des IST- als auch des Soll-Zustands bewertet. So erhält man zwei Werte zu dieser Frage. In diesem Fall ist die Differenz von dem Soll- zu dem IST-Wert entscheidend. Falls diese kleiner Null ist, wird die Frage als neutral bewertet, da dies keiner sinnvoller Aussage entspricht. Falls der Wert größer oder gleich Null ist, erfolgt folgende Normierung:
 - Differenz von 0 entspricht dem Wert von 1: gewünschter Zustand bereits erreicht
 - Differenz von 1 entspricht dem Wert von 0,75: leichte Abweichung zum gewünschten Zustand
 - Differenz von 2 entspricht dem Wert von 0,5: gewünschter Zustand ist aktuell nicht gegeben, aber realistisch erreichbar
 - Differenz von 3 entspricht dem Wert von -0,25: Entwicklungsstand und gewünschter Zustand weichen deutlich ab
 - Differenz von 4 entspricht dem Wert von -0,5: hohe Defizite im Entwicklungsstand
 - Differenz von 5 entspricht dem Wert von -1: sehr hohe Defizite im Entwicklungsstand

Neben der Normierung der Antworten wird noch eine auf die Frageinhalte abgestimmte Gewichtung für jede Determinante vorgenommen. Diese sollte regelmäßig überprüft und für Sonderfälle angepasst werden. Die vorgegebenen Gewichtungen sind im Anhang 9.2.2 *Zuordnung und Gewichtung von Fragen zu Determinanten* zu finden.

Die Werte der Determinanten, die aus der Normierung und Gewichtung entstehen, dienen zur Bestimmung der Potentiale je Technologiefeld. Diese wurden auf Basis von Bischoff et al. (Bischoff et al., 2015) auf fünf für Feedbacksysteme relevante Technologiefelder verdichtet. Diese sind: *Kommunikation, Mensch-Maschinen-Schnittstellen, Standards & Normungen, Software-/System-Technik* sowie *Sensorik, Aktorik & Eingebettete Systeme*. Eine Beschreibung der ursprünglichen Felder ist in Kapitel 3.2.1 zu finden. Das Technologiefeld *Standard & Normungen* zeichnet sich als Querschnittsfeld aus. Unabhängig von den Determinanten-Ausprägungen liegen hier Potentiale für Unternehmen, weshalb in jedem Fall eine intensive Beleuchtung möglicher Feedbackmechanismen basierend auf *Standards & Normungen* durchgeführt werden sollte. Die restlichen vier Technologiefelder basieren auf einem bestimmten Profil von Determinanten-Ausprägungen. In einer Abhängigkeitsmatrix sind die Zusammenhänge zwischen den Determinanten und Technologiefeldern abgebildet. Diese ist in *Anhang 9.2.3 Abhängigkeitsmatrix von Determinanten zu Technologie- sowie Potentialfeldern* zu finden. Jede Zelle der Abhängigkeitsmatrix beinhaltet den jeweiligen Einfluss der Determinante auf das Technologiefeld. Die Ausprägung dieses Zusammenhangs reicht von einem eindeutig positiven (= 1) über einem neutralem (= 0) bis hin zu einem eindeutig negativen (= -1). Es sind ebenfalls auch Zwischenzustände, wie z. B. 0,75 oder -0,25, abbildbar. Die Profile der Technologiefelder sollen ebenfalls nach der Auswertung durch das Unternehmen überprüft und ggf. angepasst werden.

Jedem Technologiefeld sind zudem Potentialfelder zugeordnet, die ebenfalls eigene Profile von Determinanten-Ausprägungen besitzen und leicht von den übergeordneten Technologiefeldern abweichen. Die Potentialfelder dienen der Orientierung in Form von konkreten Anwendungsbeispielen. Um ihre

Bedeutung zu unterstreichen, wurden zusätzlich Erfolgsbeispiele aus der Industrie durch Experteninterviews erfasst. Somit erhält der Feedback-Projektmanager einen konkreten Einblick und erhält eine Leitlinie zur Erarbeitung von eigenen Potentialfeldern. Eine kontinuierliche Überprüfung der Potentialfelder-Profile ist ebenfalls vorgesehen. Ebenso sollen weitere Potentialfelder durch vermehrte Anwendung in der Industrie zu der Methodik hinzugefügt werden.

Es ergeben sich aus der Befragung 13 Determinanten in den drei Determinanten-Kategorien, die zeilenweise mit der Abhängigkeitsmatrix verglichen werden. Einträge in der Abhängigkeitsmatrix mit einem Wert von 0 werden nicht beachtet. In der Ergebnismatrix E_p werden die absoluten Beträge der Abweichungen zwischen der Determinantenausprägungen des Unternehmens und den nichtnull Einträgen der Abhängigkeitsmatrix je Technologie- bzw. Potentialfeld festgehalten (siehe Formel 5.1). Für jedes Technologie- und Potentialfeld werden anschließend zwei Indikatoren abgeleitet. Das Abweichungsmaß $abw(p)$ setzt die Summe der Abweichungen ins Verhältnis zu der in dieser Zeile maximal möglichen Abweichung (siehe Formel 5.2). Wenn zum Beispiel ein Potentialfeld in der Abhängigkeitsmatrix acht Determinanten als nicht relevant ausweist, dann haben dementsprechend fünf Determinantenausprägungen einen Wert ungleich 0. Die maximale Abweichung einer Determinantenausprägung kann den Wert 2 annehmen, da der Minimalwert bei -1 und der Maximalwert bei 1 liegt. Für dieses Potentialfeld würde sich eine maximal mögliche Abweichung von 10 ergeben. Somit gibt das Abweichungsmaß die prozentuale Abweichung der Ausprägung an. Um ein stabiles Ergebnisse zu erhalten, wird zusätzlich der Ähnlichkeitswert $ähn(p)$ berechnet (siehe Formel 5.4). Je Technologie- bzw. Potentialfeld werden die Einträge gezählt, die eine Abweichung unter 0,25 aufweisen (siehe Formel 5.3). Diese Anzahl wird ins Verhältnis zu der Anzahl der relevanten Determinanten (Determinantenausprägung ungleich null) aus dem entsprechenden Potential- bzw. Technologiefeld gesetzt. Das Ähnlichkeitsmaß gibt demnach den prozentualen Anteil an relevanten Determinanten an, die nur eine sehr geringe Abweichung aufweisen.

$$E_p = \{ |a_{pi} - u_i| \mid a_{pi} \neq 0 \wedge 1 \leq i \leq n \} \quad (5.1)$$

$$abw(p) = \frac{\sum_{e_p \in E_p} e_p}{\#E_p * 2}, abw \in [0,1] \quad (5.2)$$

E_p – Ergebnismenge der Abstandswerte eines Technologie- oder Potentialfelds p ,
 a_{pi} – Abhängigkeitswert der Determinante i aus einem Technologie- oder Potentialfeld p , $a_{pi} \in [-1,1]$,
 u_i – Auswertungsergebnis der Determinante i aus der Unternehmensbefragung, $u_i \in [-1,1]$,
 $abw(p)$ – Abweichungsberechnungsfunktion eines Technologie- oder Potentialfelds p
 n – Anzahl der Determinanten, # - Kardinalität, $|x|$ - Betrag von Wert x

$$R_p = \{ e_p \mid e_p \in E_p \wedge e_p \leq 0,25 \} \quad (5.3)$$

$$ähn(p) = \frac{\#R_p}{\#E_p}, ähn \in [0,1] \quad (5.4)$$

R_p – Ergebnismenge mit kleinen Abstandswerten, $ähn(p)$ – Ähnlichkeitssberechnungsfunktion eines Technologie- oder Potentialfelds p

Um einen Rang der Potentialfelder zu erhalten, wird nun eine Gewichtung der beiden Indikatoren durchgeführt. In diesem Fall fungiert das Ähnlichkeitsmaß als eine Art Absicherung, dass die Beantwortung plausibel ist. Eine Determinantenausprägung kann falsch bestimmt worden sein, z. B. durch Missverständnis des Befragten oder durch eine nicht abbildbare Unternehmenseigenschaft durch den

Fragebogen. Durch eine hohe Abweichung kann der Indikator des Abweichungsmaß stark negativ beeinflusst werden. Durch das Ähnlichkeitsmaß kann dies wieder korrigiert werden. Aus diesem Grund fließen 70% der Wertung aus dem Abweichungsmaß und 30% aus dem Ähnlichkeitsmaß in das Ranking ein. Um die Berechnung durchzuführen, muss die Aussagekraft der beiden Indikatoren die gleiche Perspektive einnehmen. Je höher das Abweichungsmaß, desto geringer das Ähnlichkeitsmaß. Der Zusammenhang funktioniert ebenfalls in die andere Richtung. Daher wird bei dem Abweichungsmaß die Gegenteilprozentage jeder Ausgangsgröße herangezogen (d.h. $1 - abw(p)$). Bei dem Ranking werden die Technologiefelder außen vor gelassen.

Es folgt eine detaillierte Beschreibung der fünf Potentialfelder in Bezug auf die Determinanten- ausprägungen sowie die Zuordnung der Potentialfelder. Zudem werden exemplarische Erfolgsbeispiele zu bestimmten Potentialfeldern vorgestellt.

Potentialfelder im Technologiefeld: Kommunikation

Das Potentialfeld Kommunikation beschreibt sowohl den drahtgebundenen als auch drahtlosen Datenaustausch (Bischoff et al., 2015). Dabei werden nicht nur die Datenflüsse zwischen Systemen, sondern ebenfalls zwischen Menschen und Maschinen im Sinne der vertikalen und horizontalen Vernetzung beleuchtet. Daher sind insbesondere Determinanten aus dem Bereich *Produkt* und *Prozesse der Wertschöpfungskette* ein Treiber dieses Potentialfelds. In der Determinanten-Kategorie *Interne Ressourcen* finden sich nur wenige Einflussfaktoren. Die Determinante *Fremdfertigungsanteil* hat beispielsweise einen direkten Einfluss auf die Prozesse der Wertschöpfungskette und erhöht damit die Notwendigkeit von Datenaustausch mit Wertschöpfungspartnern. Ebenso ist die Determinante *Mitarbeiter* eine treibende Kraft im Unternehmen im Bereich Kommunikation, da die Verbesserung vom Datenaustausch immer den Zweck verfolgt das Arbeitsumfeld und -tätigkeit von Mitarbeitenden zu verbessern.

In Tabelle 5-4 sind alle Ausprägungen der Determinanten dargestellt, die somit das Profil des Technologiefelds Kommunikation ergeben. Dabei steht der Wert -1 für einen negativen Zusammenhang zwischen der jeweiligen Determinante und der Eignung dieses Potentialfelds, 1 für einen stark positiven Zusammenhang und 0 für eine neutrale Beziehung.

PRODUKT		INTERNE RESSOURCEN		PROZESSE DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE	
Individualisierungsgrad	0,25	Fremdfertigungsanteil	0,5	Digitale Kundenintegration	0,5
Produktkomplexität	0,5	Automatisierungsanteil	0	Nachfragevolatilität	0,5
Variantenvielfalt	0,5	Systemvernetzung	0	Ersatzteilgeschäft	0,5
		Interne Datennutzung	0	Produktbezogene Services	0,5
		Arbeitsplatz	1	Externe Datennutzung	0,5

Tabelle 5-4: Determinanten-Werte des Technologiefelds Kommunikation mit Ausprägungen zwischen [-1,1]

Unabhängig von der Art der zu produzierenden Güter ist die Kommunikation entscheidend in der Digitalisierungsstrategie jedes Unternehmens. Daher sind diesem Potentialfeld eine Reihe unterschiedlicher Potentialfelder zugeordnet, die im Folgenden vorgestellt werden.

Schnittstelle für Ersatzteilbestellungen: dieses Potentialfeld ist insbesondere relevant für Unternehmen, die dem Ersatzteilgeschäft eine hohe Bedeutung beimessen und hierzu auch Dienstleistungen anbieten. Die anderen Determinanten-Kategorien haben nur wenig Einfluss auf das Potentialfeld. Durch den Aufbau einer Schnittstelle für diese Art von Bestellungen erhöht sich die Planbarkeit im Unternehmen bezogen auf Produktion und Lieferung. Durch eine durchgehende Vernetzung können Verfügbarkeiten gegenüber dem

Kunden transparent dargestellt und eine unkomplizierte Abwicklung einer Nachbestellung ermöglicht werden. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Automatische Meldung von niedrigen Lagerbeständen an den Einkauf
- Statusmeldungen an den Kunden über getätigte Ersatzteilbestellungen
- Zufriedenheitsbefragungen beim Endkunden nach Ersatzteillieferung

Vernetzung über eine digitale Lieferantenplattform: bei einem hohen Fremdfertigungsanteil ist eine digitale Lieferantenplattform als Kommunikationsmedium zu empfehlen, da die Lieferantenvernetzung auf diese Weise verstärkt wird. Von Experten wurde insbesondere die verbesserte und unmittelbare Materialdisposition hervorgehoben (Dücker, Gödel, et al., 2016). Alle relevanten Informationen zu dem Beschaffungsprozess (Preise, Lieferzeiten etc.) können auf einer solchen Plattform in Echtzeit abgebildet werden. Insbesondere Unternehmen mit einer hohen Produktkomplexität und großer Variantenvielfalt werden stark durch die Zuverlässigkeit von Zulieferern beeinflusst. Mit einer echtzeitbasierten Materialdisposition können eigene Lagerkosten reduziert werden. Ebenso die Bestellung von Zulieferteilen für individuelle Produkte, die ggf. einer schwankenden Nachfrage unterliegen, profitieren von einer verbesserten Lieferantenvernetzung, da die bedarfsgerechte Bestellung vereinfacht wird. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Automatisierte Erfassung der Reaktionszeit von Lieferanten
- Statusmeldungen von Lieferanten über getätigte Bestellungen
- Automatische Meldung von niedrigen Lagerbeständen an den Einkauf

Horizontale Vernetzung im Shopfloor (intern): hierbei handelt es sich um die Vernetzung aller relevanten Akteure auf dem Shopfloor. Diese sind neben dem Mitarbeitenden auch Maschinen und IT-Systeme. Die Art der Produktion hängt dabei stark von den zu produzierenden Gütern ab, weswegen die Determinanten aus dieser Kategorie einen hohen Einfluss auf das Potentialfeld haben. Abweichend vom Profil der Kommunikation finden sich auch vermehrt Zusammenhänge im Bereich der internen Ressourcen. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Kontinuierliche Erfassung von Maschinenverfügbarkeitsdaten
- Erfassung der Produktionsqualität nach Einschätzung des Produktionsmitarbeitenden
- Änderung der Trackingdaten von Ressourcen und Produkt(-teilen) an einer Arbeitsstation

Horizontale Vernetzung vom Shopfloor (extern): dieses Potentialfeld beschreibt die Kommunikation von Informationen aus dem Shopfloor zu Wertschöpfungspartnern. Es orientiert sich an dem Verständnis der horizontalen Integration aus der Wettbewerbstheorie, die einen Zusammenschluss von Unternehmen derselben Produktionsstufe beschreibt (Weerth et al., 2018). Ebenso fallen hierunter Wertschöpfungsnetzwerke, die gemeinsam hybride Leistungsbündel produzieren und kollaborative Geschäftsmodelle verfolgen (Mazak et al., 2016). Diese Art der Kommunikation richtet sich vor allem an B2B-Beziehungen, weshalb Determinanten, die sich insbesondere auf B2C beziehen, keinen großen Einfluss auf das Potentialfeld haben. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Automatisches Senden von Instandhaltungsdaten an Maschinenhersteller
- Auslösen von Ersatzteilbestellungen basierend auf Sensordaten, die den Verschleiß von Maschinenkomponenten erfassen
- Meldung von Produktionsstatusänderungen in einem Wertschöpfungsnetzwerk

Vertikale Vernetzung über mehrere Ebenen (intern): hierbei handelt es sich um die Vernetzung von Akteuren über verschiedene Hierarchieebenen eines Unternehmens. Die Ebenen der Automatisierungspyramide (Fertigungs-, Betriebsleit- und Unternehmensebene) verschwimmen durch die

Stärkung der Kommunikation zwischen den Ebenen (Mazak et al., 2016). Das Profil des zugehörigen Technologiefelds weist kaum Abweichungen zu dem Profil dieses Potentialfelds auf, bis auf die weniger stark ausgeprägte Beziehung in der Determinanten-Kategorie *Prozesse der Wertschöpfungskette*. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Kontinuierliche Übertragung von MES-Daten an ERP-Systeme
- Elektronische Erfassung der Qualität am Prüfstand für das ERP-System (siehe 1. Erfolgsbeispiel)
- Qualitätsabfrage zu Produktmodellen von der Montage- an die Konstruktionsabteilung

1. Erfolgsbeispiel: Vernetztes Qualitätsmanagement

Ein Unternehmen stellt eine Schnittstelle zwischen dem ERP-System und dem Prüfstand bereit, welches beide Systeme verbindet. Nach der Montage werden die technischen Daten nun automatisch übergeben. Bei der zuvor händischen Eintragung der Daten in den Prüfstand kam es zu Fehlern. Aus diesem Grund wurde das Fehlerrisiko deutlich reduziert. Darauf aufbauend können Feedbacks in Form von Tickets erstellt werden, um eine bidirektionale Verbindung vom Prüfstand zu schaffen.

Vertikale Integration über mehrere Ebenen (extern): dieses Potentialfeld beschreibt die Kommunikation von Informationen aus allen Unternehmensebenen zu Wertschöpfungspartnern. Es orientiert sich an dem Verständnis der vertikalen Integration aus der Wettbewerbstheorie, die einen Zusammenschluss von Unternehmen unterschiedlicher Produktionsstufen beschreibt (Weerth et al., 2018). Im Wertschöpfungsnetzwerk werden vor allem Ressourcen über unterschiedliche Wertschöpfungsstufen gebündelt (Mazak et al., 2016). Im Vergleich zu dem Profil des zugehörigen Technologiefelds gibt es Abweichungen in der Determinanten-Kategorie *Prozesse der Wertschöpfungskette*. Das Potentialfeld fokussiert die Zusammenarbeit mit Wertschöpfungspartnern, weswegen Unternehmen mit hoher Relevanz der zugehörigen Determinanten große Potentiale aufweisen, Feedbackmechanismen in diesem Bereich zu etablieren. Beispiele für ebendiese Feedbackmechanismen sind:

- Lieferantenbefragung beim Auftreten von Kundenreklamationen
- Absatzabfragen zu vorabdefinierten Produktkonfigurationen
- Übermittlung von Produktabmessungen an Logistiker

Potentialfelder im Technologiefeld: Mensch-Maschinen-Schnittstellen

Unter Mensch-Maschinen-Schnittstellen werden benutzerfreundliche Assistenzsysteme verstanden, die zur Steuerung, Überwachung und Störbehebung genutzt werden (Bischoff et al., 2015). Treiber für dieses Technologiefeld sind die *Internen Ressourcen* und *Prozesse der Wertschöpfungskette*, wie an den Determinanten-Werten des Technologiefeld-Profiles in Tabelle 5-5 zu erkennen ist. Determinanten, wie der *Fremdfertigungsanteil*, weisen einen negativen Einfluss auf, da insbesondere die direkte Arbeit an Maschinen bzw. mit IT-Systemen im Fokus steht und daher die Arbeitsauslagerung nicht beleuchtet werden. Im Gegensatz dazu haben Determinanten, die den Menschen in den Mittelpunkt rücken (*Mitarbeiter, Digitale Kundenintegration, Produktbezogene Services*) eine hohe Bedeutung für dieses Potentialfeld.

PRODUKT		INTERNE RESSOURCEN		PROZESSE DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE	
Individualisierungsgrad	0,5	Fremdfertigungsanteil	-0,5	Digitale Kundenintegration	1
Produktkomplexität	0,25	Automatisierungsanteil	0	Nachfragevolatilität	0,5
Variantenvielfalt	0,5	Systemvernetzung	0,5	Ersatzteilgeschäft	0
		Interne Datennutzung	0,75	Produktbezogene Services	1
		Arbeitsplatz	1	Externe Datennutzung	0,5

Tabelle 5-5: Determinanten-Werte des Technologiefelds Mensch-Maschinen-Schnittstellen mit Ausprägungen zwischen [-1,1]

Im Folgenden sind zu dem Technologiefeld Mensch-Maschinen-Schnittstellen zugehörige Potentialfelder beispielhaft aufgeführt und werden mithilfe von konkreten Feedbackmechanismen und Erfolgsbeispielen aus der Industrie beschrieben.

Schnittstelle für Produktbestellungen: bei stark standardisierten Produkten (geringer *Individualisierungsgrad*) besteht ein hohes Potential für digital-gestützte Produktbestellungen. In der globalen Konkurrenzsituation werden vom Markt – sowohl B2C als auch B2B – hohe Anforderungen an Verfügbarkeit von Produkten und Transparenz bei der Abwicklung von Kaufprozessen gestellt. Dieses Potentialfeld eignet sich insbesondere für standardisierte Produkte, die in Serie oder auch als Einzelprodukt gefertigt werden können. So ergibt sich eine gute Datengrundlage, um bei starker *Nachfragevolatilität* präzise Vorhersagen für die Produktionskapazitätsplanung abzuleiten. Da das Technologiefeld *Kommunikation* Basistechnologien für diese Anwendungsfälle bereitstellt, besteht zwischen diesem Potentialfeld und dem Technologieprofil Kommunikation ebenfalls eine starke Ähnlichkeit. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Klickverhalten im Kundenportal
- Verweildauer im Kundenportal
- Abbruchrate eines Bestellprozesses im Kundenportal

Customer Experience Management im Sales: über die Schnittstelle für Produktbestellungen geht das Customer Experience Management hinaus. Damit wird die gesamte Erlebniswelt des Kunden vor, während und nach dem Kauf beschrieben. In diesem Potentialfeld finden sich Assistenzsysteme für Kunden wieder, die z. B. die Kaufentscheidung durch ein Produkt-Konfigurationstool unterstützen. Im Unterschied zum Technologieprofil gibt es einige Determinanten, insbesondere im Bereich *Interne Ressourcen*, die keinen Einfluss auf dieses Potentialfeld haben. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Farbauswahl im Online-Konfigurationstool (siehe 2. Erfolgsbeispiel)
- Angabe einer Reklamationskategorie bei Produktrückgabe
- Kundenumfrage im Online-Verkaufshop

2. Erfolgsbeispiel: Konfigurationstool im Onlineshop

Ein Möbelverkäufer hat einen Konfigurator in seinem Web-Shop eingebaut (Dücker & Siebel, 2018). Dies ermöglicht direkte Kundenbefragungen, aber auch die Beobachtung von dem Klickverhalten über alle Nutzer hinweg. Die dazu verfügbaren Feedbackdaten verdeutlichen, dass bei bestimmten Produktkategorien andere Farbauswahlen bevorzugt wurden. Der Verkäufer änderte daraufhin die Standard-Anzeigebilder der Produkte im Web-Shop und konnten so seine Absatzzahlen erhöhen (Dücker & Siebel, 2018).

Assistenzsysteme im Shopfloor: in der Produktion entstehen kontinuierlich Daten von Maschinen, Menschen und Systemen. Durch die Automatisierung und erhöhte Vernetzung übernimmt der

Mitarbeitende eine übergeordnete Überwachungs- und Steuerungsfunktion. Diese Aufgaben können gut durch Assistenzsysteme unterstützt werden. Für dieses Potentialfeld haben die Determinanten aus dem Bereich *Prozesse der Wertschöpfungskette*, aufgrund des starken Bezugs auf die Fertigung, kaum eine Auswirkung. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Meldung von Maschinendaten bei Temperaturüberschreitung an den Werker
- Erfassung von Kontext- und Umgebungsdaten bei Ausschussteilen
- Beurteilung von Maschinenzustand durch die Werker bei Produktionsstillstand

Kundeneinbeziehung in die Produktentwicklung: dieses Potentialfeld bezieht sich auf die kollaborative Planung und Konstruktion mit starker Einziehung des Kunden. Insbesondere bei komplexen und stark individualisierbaren Produkten ergeben sich viele Potentiale, damit spezifische Marktbedürfnisse besser aufgegriffen werden können. Der Einsatz von Systemen mit ausgereiften Mensch-Technik-Schnittstellen ist hierbei entscheidend, da Kunden und Hersteller mit einem unterschiedlichen Verständnis und Expertise kollaborieren. Insbesondere qualitatives Feedback kann in diesem Potentialfeld gesammelt werden. Beispiele für Feedbackmechanismen sind:

- Messung der Reaktion des Auftraggebers beim Einsatz von Virtual Reality in der Produktentwicklung (siehe 3. Erfolgsbeispiel)
- Erfassung der Bauteile oder -komponenten, die in einem vorab definierten Zeitraum in Detailansicht diskutiert werden
- Zufriedenheitsbefragung des Kunden nach abgeschlossener Produktentwicklung

3. Erfolgsbeispiel: Virtual Reality zur verbesserten Kundeneinbeziehung

Für Produktvorstellungen und das verstärkte Einbeziehen von Kunden wird von vielen Unternehmen Virtual Reality eingesetzt. Insbesondere liefert es eine bessere Diskussionsgrundlage, schafft eine Imageverbesserung und erhöht die Transparenz. Nach einer Angabe von Experten bei einer Befragung zum Einsatz und zur Wirtschaftlichkeit von VR-Technologien wird die Qualität verbessert und die Fehler werden reduziert (Dücker, Häfner, et al., 2016b).

Potentialfelder im Technologiefeld: Software/System-Technik

In dieses Technologiefeld fallen alle Software-Systeme zur Datenauswertung mit dem Ziel der Automatisierung und Autonomie sowie dezentraler Steuerung (Bischoff et al., 2015). In Tabelle 5-6 ist das entsprechende Profil aufgeführt. Dabei hat die Determinanten-Kategorie *Interne Ressourcen* einen großen Einfluss auf das Technologiefeld. Die beiden anderen Kategorien weisen nur vereinzelt einen Zusammenhang auf und sind als neutral zu bewerten.

PRODUKT		INTERNE RESSOURCEN		PROZESSE DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE	
Individualisierungsgrad	-0,5	Fremdfertigungsanteil	0	Digitale Kundenintegration	0
Produktkomplexität	0	Automatisierungsanteil	1	Nachfragevolatilität	0,5
Variantenvielfalt	0	Systemvernetzung	1	Ersatzteilgeschäft	0
		Interne Datennutzung	1	Produktbezogene Services	0
		Arbeitsplatz	0,5	Externe Datennutzung	0

Tabelle 5-6: Determinanten-Werte des Technologiefelds Software/System-Technik mit Ausprägungen zwischen [-1,1]

Die folgenden Potentialfelder beziehen sich auf die Produktionsplanung und beschreiben Feedbackmechanismen von unterschiedlichen externen aber auch internen Akteuren.

Digital gesteuerte Rekonfigurationsprozesse: Unternehmen, die eine hohe Anzahl an Produktvarianten anbieten, müssen eine entsprechende Flexibilisierung in der Fertigung und Montage aufweisen. Entscheidend ist die Anzahl und Dauer der Umrüstvorgänge, die einen hohen Kostentreiber darstellen. Durch eine entsprechende Digitalisierung können Produktionsressourcen basierend auf der aktuellen Auftragslage und abhängig von dem Individualisierungs- und Mechanisierungsgrad geplant werden. Die intelligente und automatisierte Bündelung zu Kleinserien birgt ein hohes Potential. Ebenso können durch geeignete Softwaresysteme, denen die aktuellen Produkt- und Maschinenkonfigurationen zu Grunde liegen, die Rüst- und Fertigungsprozesse automatisiert angestoßen werden. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Übermittlung der Auslastung von Maschinen an die Rüst- und Fertigungsplanung
- Erfassung der notwendigen Rüstzeiten pro Tag
- Unterstützte Rüstprozesse durch die Verknüpfung von dem ERP- und von dem Produktionsplanungs- und Steuerungssystem (PPS-System) (siehe 4. Erfolgsbeispiel)

4. Erfolgsbeispiel: Reduzierung der Rüstvorgänge durch Bündelung der Aufträge

Ein Pumpenhersteller verwendet 54 verschiedene Konfigurationen von Spannwickeln. Vor der Umsetzung eines Feedbackmechanismus wurden die für gleichartige Pumpen benötigte Spannwinkel händisch und papierbasiert vermerkt und anschließend manuell auf- und wieder umgerüstet. Aufgrund der steigenden Variantenvielfalt entschied man sich für eine Verknüpfung von dem ERP-System und dem PPS-System. Die Auftragsdaten werden vom ERP-System an das PPS-System geschickt. Es wird automatisch der entsprechende Spannwinkel aus einem Hochregallager geholt und dieser vom Bediener eingebaut. Es erfolgt eine Priorisierung und Bündelung der Aufträge, sodass die Anzahl der notwendigen Rüstvorgänge reduziert werden konnte. Der Bediener kann durch einen Feedbackmechanismus dem System eine Umpriorisierung weitergeben, falls es zu Verzögerungen kommt. Diese Information wird vom PPS-System an das ERP-System zurückgespielt. Diese Änderung führte zu einer Reduzierung der durchschnittlichen Rüstzeit von ein bis zwei Stunden auf fünf bis zehn Minuten. Die Auswirkungen auf die Lieferzeiten waren ebenso stark. Anstelle von acht bisher veranschlagten konnten nun drei Wochen Lieferzeit realisiert werden.

Volumenflexibilität durch systemgestützte Kapazitätsplanung: insbesondere stark schwankende Nachfragen erfordern eine hohe Flexibilität von Unternehmen in Bezug auf die Kapazitätsplanung. Handelt es sich bei dem Unternehmen um eine standardisierte Auftrags- oder Serienfertigung, die stark mechanisierte Produktionsprozesse aufweisen, kann ein PPS-System eingesetzt werden. Dieses steuert die Produktion, indem Aufträge zusammengefasst und priorisiert werden. Dahingegen weisen Einzelfertiger

häufig kaum Volumenflexibilität auf, da klare Restriktionen durch die Produktionsressourcen und Werker gegeben sind. Durch die Analysen der Auslastungen können Vorhersagen zur Nachfragevolatilität der Branche getroffen und strategische Maßnahmen abgeleitet werden. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Meldung von Lagerbestandsänderungen an die Kapazitätsplanung
- Übermittlung von Statusänderung von Aufträgen an die Kundenplattform zur Kapazitätsplanung
- Meldung von der aktuellen Maschinenauslastung an die Kapazitätsplanung

Volumenflexibilität durch systemgestützte flexible Arbeitszeitmodelle: die Flexibilität von Unternehmen mit einem geringen Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrad ist stark mit der Flexibilität der Mitarbeitenden verbunden, da diese in der Regel die mangelnden Produktionsressourcen darstellen. Durch ein systemgestütztes flexibles Arbeitszeitenbuchungssystem können Schichtplanungen schneller auf schwankende Nachfragen reagieren. Daher weicht das Profil dieses Potentialfelds im Vergleich zum übergeordneten Technologiefeld am stärksten in der Determinante des Automatisierungsgrads ab. Dieses Potentialfeld beschreibt eine sehr konkrete Maßnahme, dessen Umsetzung sich technologisch unterscheiden kann (App-, Web-Anwendung etc.), aber dessen Funktionsprinzip identisch ist. Daher wird nur ein Feedbackmechanismus anhand des 5. Erfolgsbeispiels beschrieben.

5. Erfolgsbeispiel: App-basiertes flexibles Arbeitszeitmodell

Aufgrund von saisonal stark schwankender Nachfrage stellt ein Unternehmen eine App für ein flexibles Arbeitszeitmodell ein. Kurzfristig kann der Produktionsleiter Mitarbeitende anfordern. Basierend auf deren Feedback, wird der Schichtplan angepasst. Dies führte zu einer deutlich gestiegenen Liefertreue.

Potentialfelder im Technologiefeld: Sensorik, Aktorik und Eingebettete Systeme

Dieses Technologiefeld umfasst Hardware in Form von Sensorik, Aktorik sowie Eingebettete Systeme, die sowohl die intelligente lokale Datenverarbeitung und direkte Steuerung ermöglicht als auch die Informationsaufnahme für übergeordnete Systeme realisiert. Das Profil dieses Technologiefelds (siehe Tabelle 5-7) wird stark von der Fertigung beeinflusst, weshalb die Determinanten-Kategorien *Produkt* und besonders *Interne Ressourcen* als Treiber fungieren. Die Unternehmenseigenschaften im Bereich *Prozesse der Wertschöpfungskette* haben kaum Einfluss. Jedoch gibt es auch hier Ausnahmen, wie das 6. Erfolgsbeispiel durch die Verwendung von Sensorik auf der Verkaufsfläche zeigt.

PRODUKT		INTERNE RESSOURCEN		PROZESSE DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE	
Individualisierungsgrad	-0,25	Fremdfertigungsanteil	0	Digitale Kundenintegration	0
Produktkomplexität	0,5	Automatisierungsanteil	0,5	Nachfragevolatilität	0
Variantenvielfalt	0	Systemvernetzung	0,5	Ersatzteilgeschäft	0
		Interne Datennutzung	0,5	Produktbezogene Services	0
		Arbeitsplatz	1	Externe Datennutzung	0

Tabelle 5-7: Determinanten-Werte des Technologiefelds Sensorik, Aktorik und Eingebettete Systeme mit Ausprägungen zwischen [-1,1]

Dem Technologiefeld *Sensorik, Aktorik und Eingebettete Systeme* wurden ebenfalls Potentialfelder zugeordnet und diese sind im Folgenden beschrieben.

Sensorik zur Überwachung und Qualitätssicherung: Sensorik wird insbesondere für die Qualitätssicherung in der Produktion eingesetzt. Dabei variiert die notwendige Messgenauigkeit je nach Kunden und Auftrag. Bei standardisierten Prozessen, wie z. B. in der Serienfertigung, bietet sich der Einsatz von Sensorik sehr an, um sowohl die Produktion als auch die Produkte kontinuierlich zu überprüfen. Die Einsatzbereiche von Sensorik sind jedoch weitreichender. Ebenso sind Potentialfelder im Verkauf zu finden. Durch die App-Nutzung von Kunden können beispielsweise Bewegungsdaten auf der Verkaufsfläche durch einen Feedbackmechanismus gesammelt werden, wie das 6. Erfolgsbeispiel verdeutlicht. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Einsatz von Sensorik auf der Verkaufsfläche (siehe 6. Erfolgsbeispiel)
- Erfassung von Umgebungsdaten in der Produktion (z. B. Temperatur-, Schwingungsdaten)
- Erfassung von Scandaten eines Werkstückes an einer Prüfstelle zum SOLL-IST-Abgleich mit den Auftrags- bzw. Produkt-Daten

6. Erfolgsbeispiel: Sensorik auf der Verkaufsfläche

Eine interaktive Verkaufsfläche wurde im stationären Handel aufgebaut (Dücker & Siebel, 2018). Durch eine Konfigurations-App und einer Bluetooth-Beacons-Technologie ist es möglich indirektes Feedback von potentiellen Kunden zur Bewegung am Point-of-Sale zu erhalten. Auf Basis dieser Informationen kann die Fläche umgestaltet werden (Dücker & Siebel, 2018).

Identifikationsmittel: um ein Produkt bzw. eine Bauteilkomponente oder auch eine Produktionsressource eindeutig zu identifizieren, gibt es verschiedene technische Möglichkeiten. Diese reichen von numerischen Identifikationssummern über 2D-Barcodes, wie Data Matrix Code oder QR-Code, bis hin zur RFID-Technologien. Sowohl für individuelle mit vielen manuellen Arbeitsschritten verbundene als auch für Produkte aus Serienfertigungen ergeben sich Anwendungsgebiete. Die eindeutige Identifikation ermöglicht die Optimierung der Produktionsabläufe durch z. B. die Reduzierung der Liegezeiten. Im Gegensatz zu dem Technologiefeld-Profil liegen auch Potentiale in der Zusammenarbeit mit Wertschöpfungspartnern und damit positive Zusammenhänge in den entsprechenden Kategorien vor. Durch die eindeutige Identifizierung von Produkten und Komponenten entstehen transparente, unternehmensübergreifende Prozesse im Produkt-Lebenszyklus, die die Abwicklung vereinfachen und demnach optimieren. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Statusmeldung bei Wechsel der Arbeitsstation von einem Produkt bzw. einer Bauteilkomponente
- Produktspezifische Qualitätskontrolle nach vorabdefinierten Fertigungsschritten in einer automatisierten Fertigungslinie
- Eingangsbestätigung im Lager von einem Produkt bzw. einer Bauteilkomponente, dessen Bearbeitung von einem Dienstleister notwendig war (z. B. Beschichtung)

Sensorik und Aktorik für echtzeitfähige Produktionssteuerung: in der Produktion kann es zu kurzfristigen Ausfällen kommen, auf die in Echtzeit reagiert werden muss. Durch Sensorik werden solche Engpässe identifiziert. Es löst eine manuelle oder automatisierte Umplanung der Produktionssteuerung aus. Bei einem hohen Automatisierungsgrad der Produktion kann durch Aktorik die Änderung des Produktionsprozesses direkt umgesetzt werden. Einen positiven Einfluss auf dieses Potentialfeld hat ebenfalls eine ausgereifte Systemvernetzung. Beispiele für Feedbackmechanismen sind:

- Anzahl der Abweichungen von dem Produktionsplan
- Meldung von Anomalien im Maschinenverhalten an den Produktionsleiter bzw. das PPS-System
- Erfassung der Taktzeit abhängig von dem aktuellen Produktionsplan

Potentialfelder im allgemeingültigen Technologiefeld: Standards und Normungen

Als allgemeingültiges Querschnitts-Technologiefeld wird der Bereich *Standards & Normungen* definiert. Dies betrifft die Kommunikation von Maschinen, Systemen und Menschen auf allen Unternehmensebenen. Unabhängig von dem aktuellen Reifegrad des Unternehmens in diesem Bereich ist eine erneute Auseinandersetzung in jedem Fall sinnvoll. Daher wird im Rahmen der Potentialanalyse immer die Einführung bzw. Erweiterung von Standards und Normungen empfohlen. Hierzu zählen nicht nur international anerkannte und etablierte, sondern ebenfalls unternehmensspezifische Standardisierungsbestrebungen.

Aufgrund der Allgemeingültigkeit dieses Technologiefelds existiert kein explizites Profil an Determinanten-Ausprägungen. Auf die Potentialfelder dieses Technologiefelds lässt sich das Prinzip der Herleitung von Relevanz basierend auf Unternehmenseigenschaften anwenden, weshalb die Ähnlichkeitsanalyse auch diese Potentialfeld-Profile mit dem Unternehmensprofil abgleicht.

Kommunikationsprotokolle in der Produktion (OPC UA, MQTT, etc.): der standardisierte Datenaustausch zwischen Maschine und Menschen bzw. Systemen ist ein wesentlicher Bestandteil der Digitalisierungsbestrebungen. Die entsprechenden Formate und Protokolle werden aktiv von der Industrie eingesetzt (siehe Kapitel 3.3.1). Eine gute Systemvernetzung ist langfristig nur über den Einsatz von standardisierten Kommunikationsprotokollen möglich, weshalb der entsprechenden Determinante große Bedeutung zugewiesen wird. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Rückmeldung der Winkelstellung eines Roboters bei vorab definierten Fehlerzuständen
- Übermittlung von Temperaturabfällen an den Produktionsleiter
- Übermittlung von Maschinendaten bei einem manuellem Systemstopp an das PPS-System

Standards für Produktkataloge: für die Zusammenarbeit mit Wertschöpfungspartnern ist ein standardisierter Produktkatalog von Vorteil. In der Möbelbranche wird dieser beispielsweise durch das *Integriertes Datenmodell für planungsintensive Möbel (IDM)* verfolgt. Der Produkthersteller stellt den Produktkatalog zur Verfügung, mit dem Händler sowohl im stationären als auch Online-Verkauf arbeiten können. Insbesondere der Verkauf als auch der After-Sale (z. B. Reklamation) profitieren von dem definierten Namensraum. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Erfassung von Reklamationsgründen zu bestimmten Komponenten eines Produktkatalogs
- Ermittlung von Trends über einen B2C-Online-Konfigurator abhängig von konkreten Produktausprägungen
- Erfassung von Absatzzahlen über konkrete Produktausprägungen

Digitale Produktdokumentation und Standardisierung von Baugruppen: der Trend geht weiterhin zu einer flexibleren Produktion, um kleinere Margen mit unterschiedlichen Varianten zu fertigen. Dies stellt Unternehmen im technologischen als auch informationstechnischen Sinne vor große Herausforderungen, da PDM- bzw. PLM-Systeme mit korrespondierenden Systemen, z. B. für Einkauf, Produktion oder Service, stark verknüpft werden müssen. Dies betrifft insbesondere das Verwalten von Stücklisten, Qualitäts- und Prozessdaten in allen Versionen und über alle Ebenen der Wertschöpfungskette hinweg. Die Zusammenfassung und Reduzierung der Bauteilkomponenten und Produktionsressourcen sowie die Einführung von Standardbauteilen führt zu großen Einsparungsmöglichkeiten, da auf diese Weise Teile des Produktionsprozesses bei unterschiedlichen Varianten vereinheitlicht werden können. Durch eine transparente Produktdokumentation können somit Bestands-, Beschaffungs-, Fehlmengen- und Logistikkosten reduziert werden. Beispiele für Feedbackmechanismen in diesem Potentialfeld sind:

- Absatzzahl abhängig von verbauten Standardbauteilen
- Verschleißdaten zu standardisierten Produktionsressourcen
- Einschätzung von der Montage-Abteilung zu standardisierten Bauzeichnungen der Konstruktions-Abteilung (siehe 7. Erfolgsbeispiel)

7. Erfolgsbeispiel: Standardisierung von Baugruppen

Ein Sondermaschinenbauer entschied sich aufgrund von sinkenden Losgrößen die Produktstruktur seiner Maschinen zu digitalisieren. Dies führte dazu, dass Baugruppen-Zeichnungen nicht mehr ausgedruckt in der Montage benutzt, sondern stattdessen alle Baugruppen in einer digitalen Teile-Bibliothek verwaltet werden. Aufgrund von manuellen Feedbackmechanismen zwischen Montage und Konstruktion konnten so die Teilevielfalt reduziert werden. Am Beispiel einer Schneidwalze, die vor der Digitalisierung in 120 Varianten verbaut wurde, konnte eine Reduzierung auf fünf Schneidwalzen erreicht werden.

Zusammengefasst dient Unternehmen die Determinantenanalyse als Baustein der Potentialanalyse der Selbsteinschätzung bezogen auf ihre spezifischen Prozesse und der Zusammenarbeit mit Wertschöpfungspartnern. Nach dem Analysebaustein erhält das Unternehmen einen Überblick über die Technologiefelder mit einem unternehmensspezifischen Ranking. Zudem wird auf explizite Potentialfelder hingewiesen. Eine Zusammenfassung der Determinantenanalyse ist in Abbildung 5-11 zu finden.

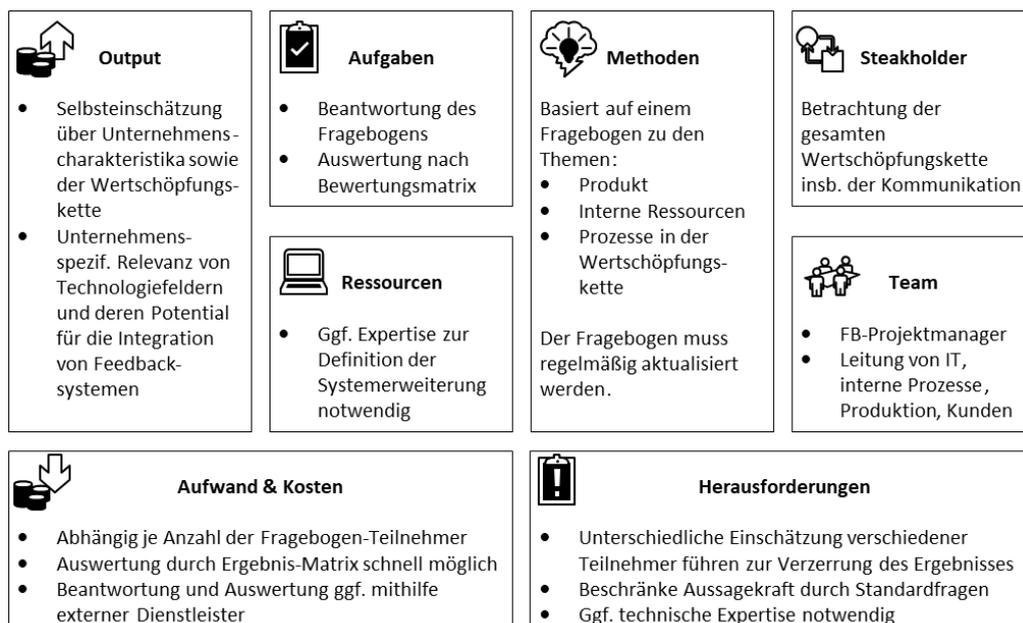


Abbildung 5-11: Überblick über die Determinantenanalyse im Rahmen der Potentialanalyse

Kategorien für Zielkriterien

Die ersten Zielkriterien in den Kategorien Mensch, Technik und Organisation wurden in Abhängigkeit des Zeithorizonts definiert. Dabei wurden aus insgesamt 13 Clustern mögliche Messansätze formuliert. Dies dient als Grundlage für die spätere Überprüfung der Umsetzung in verschiedenen Wirkungsebenen. Es handelt sich hierbei nicht um eine statische Aufzählung, sondern eine wachsende mehrdimensionale und agile Methode zur kontinuierlichen Analyse der unternehmensspezifischen Ziele. Die Eckdaten sind in Abbildung 5-12 zusammengefasst.

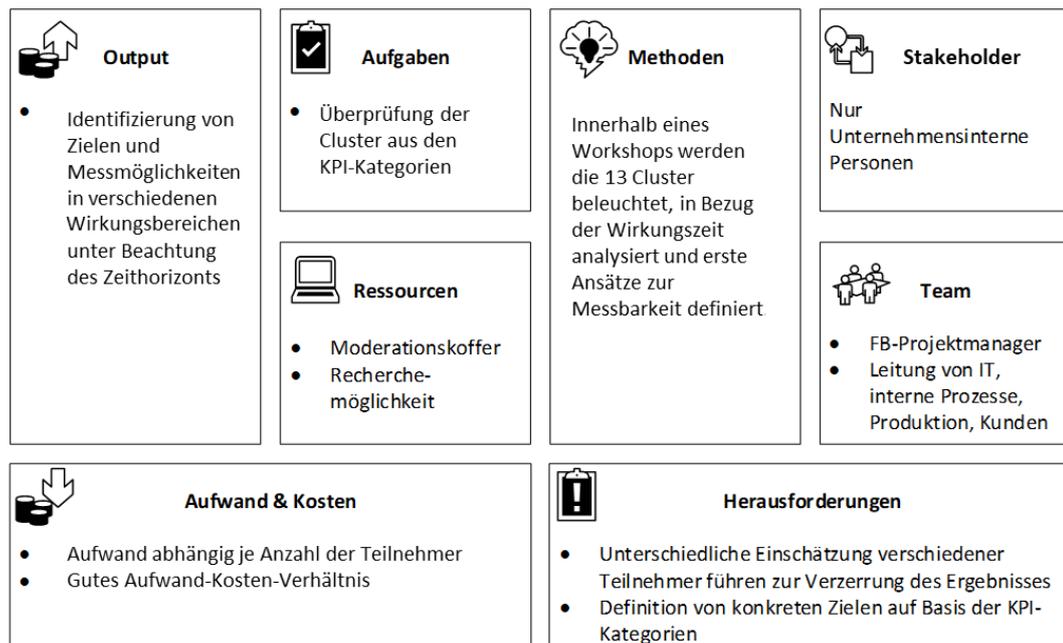


Abbildung 5-12: Überblick über die Wirkungsebenenfestlegung im Rahmen der Potentialanalyse

5.2.1.3 Ableitung von möglichen Feedback-Komponenten

Auf Basis der in Abbildung 5-13 dargestellten vorangegangenen Analysen und der daraus resultierenden vier Ergebnis-Kategorien – der strategischen Ausrichtung, der Potentialfelder, der Technologiefelder und der Zielkriterien – sollen mögliche Feedback-Komponenten bestimmt werden. Insbesondere die den Technologiefeldern zugeordneten Potentialfelder mit entsprechenden Erfolgsbeispielen geben eine Richtung für die Ableitung von effizienten Feedback-Mechanismen.

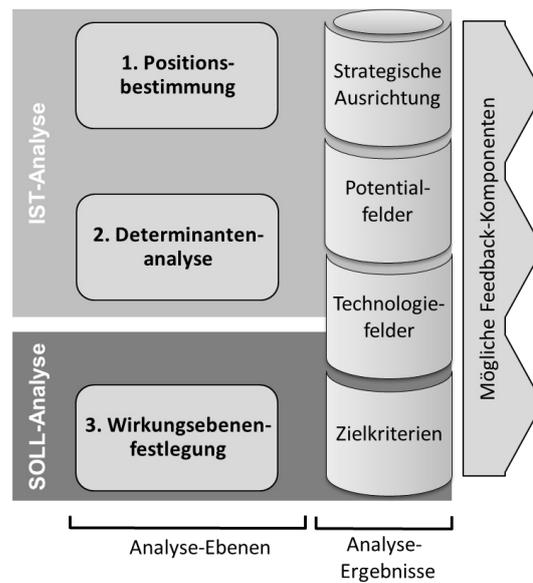


Abbildung 5-13: Einordnung der Ableitung von möglichen Feedback-Komponenten basierend auf den Analyse-Ergebnissen in die Methodik

Die tatsächliche Ausgestaltung und Beschreibung der Feedback-Komponenten ist anwendungs- und unternehmensspezifisch. Dennoch soll das Ergebnis dieses Schrittes eine formale Beschreibung der möglichen Feedbackmechanismen und deren Umsetzungen sein, damit ein Vergleich und die Bewertungen der Möglichkeiten für die folgenden Schritte durchführbar sind. Hierzu werden folgende Kategorien vorgegeben:

1. **Ziel des Feedbackmechanismus:** Eine eindeutige und prägnante Beschreibung, aus welchem Grund das Feedback gesammelt werden muss, ist die wichtigste Information für eine aussagekräftige Entscheidungsgrundlage. Die Zieldefinitionen umfassen dabei vier Dimensionen:
 - a. *Konkretes Ziel:* Was soll mit der Feedback-Sammlung erreicht werden?
 - b. *Zielgruppe:* Wer profitiert von dem Feedback? Wer muss mit einbezogen werden?
 - c. *Zeithorizont:* Gibt es zeitliche Beschränkungen für die Umsetzung und Nutzung?
 - d. *Prüfkriterien:* Wie kann man eine erfolgreiche Feedback-Sammlung messen? Welche Änderungen sollen durch die Optimierungsschleifen erreicht werden?
2. **Funktionsbeschreibung:** Bei der Beschreibung der Funktion wird die technische Sicht beleuchtet. Es sollen die notwendigen Feedback-Daten grundlegend beschrieben werden.
3. **Art des Feedbacks:** Die Unterscheidung liegt zwischen direktem und indirektem Feedback sowie dem manuellen oder automatisierten Erfassen. Eine detaillierte Erläuterung der Begriffe ist in Kapitel 5.2.2.1 (*Definition des Feedbackraums*) und in Tabelle 5-10 (*Arten der Feedback-Erfassung je nach Perspektive*) zu finden.
4. **Häufigkeit des Feedbacks:** Eine Abschätzung der Häufigkeit des Auftretens von dem Feedbackevent und der erzeugten Datenmenge wird grob abgeschätzt.
5. **Notwendige Beschaffungen:** In dieser Kategorie erfolgt eine Aufstellung der notwendigen Hardware und der betroffenen IT-Systeme.
6. **Direkte Integration in Prozesse:** Die betroffenen Abteilungen und relevanten Prozessschritte, in die der Feedbackmechanismus direkt integriert wird, werden benannt.
7. **Definition der Feedback-Akteure:** Aufbauend auf dem vorherigen Punkt werden die beteiligten Rollen, die IT-Systeme und die Maschinen, die das Feedback geben oder erfassen, aufgelistet.

Eine Beschreibung der Akteure ist in Kapitel 5.1.2 (Rollen und Akteure der Methodik) beziehungsweise im Anhang 9.3 (*Glossar für den Feedbackraum*) zu finden.

8. **Auswirkung auf Prozesse:** Die Feedbackmechanismen haben Auswirkungen auf den gesamten Produktlebenszyklus. Die entscheidendsten sollten benannt und die Art der Auswirkung kurz beschrieben werden. Diese können zum Beispiel in Form von Verbesserungen der Kundenbeziehungen durch erhöhte Termintreue vorliegen.
9. **Geschätzter Aufwand:** Abschließend erfolgt eine oberflächliche Bewertung des Feedbackmechanismus. Es ist ausreichend die Alternativen bezüglich ihres Aufwandes auf einer fünf-elementigen Skala (sehr gering, gering, mittel, umfangreich, sehr umfangreich) einzuordnen.
10. **Realisierter Nutzen:** Ebenso wie bei dem geschätzten Nutzen erfolgt eine oberflächliche Bewertung des zu realisierenden Nutzens. Es sollte dieselbe Skala wie von Punkt 9 verwendet werden (z. B. sehr gering, gering, mittel, hoch, sehr hoch), um eine Vergleichbarkeit zu schaffen.

Die Anzahl der möglichen Feedbackmechanismen ist nicht begrenzt. Es können ebenso verschiedene Alternativen zu einer Problematik und grundsätzlich unterschiedliche Ansätze zu verschiedenen Problematiken entworfen werden. Insbesondere die Alternativen werden im nächsten Schritt bzw. nächsten Kapitel gegeneinander abgewogen.

5.2.1.4 Analyse der Wirtschaftlichkeit und des Nutzens

Basierend auf den vorab definierten Feedback-Komponenten wird eine anschließende Analyse der Wirtschaftlichkeit empfohlen, insbesondere falls die möglichen Feedback-Komponenten mit hohen Investitionen verbunden sind. Diese Betrachtung ist ebenfalls sinnvoll, falls zwischen mehreren Alternativen abgewogen werden muss. Die Detailtiefe der Analyse sollte je nach Ausgangslage bestimmt werden. In diesem Kapitel wird eine vollumfängliche Wirtschaftlichkeitsanalyse vorgestellt. In der Praxis ist es ebenfalls möglich nur ausgewählte Komponenten der hier vorgestellten Analyse anzuwenden. Das Vorgehen basierend auf dem für VR-Technologien entwickelten WAVE-Modell (Dücker, Häfner, et al., 2016a). Die Ermittlung der Technologien und entsprechenden Nutzenfaktoren weichen von dem Vorgehen ab, jedoch basieren beide Ansätze auf der Verwendung eines Fragebogens zur Bestimmung der Anforderungen. Die Analysebausteine lassen sich aus diesem Grund unabhängig des Kontextes verwenden.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse beleuchtet neben dem monetär messbaren Nutzen auch strategische Nutzenaspekte. Daher werden unterschiedliche Analyse-Methoden in drei Kategorien durchgeführt. Zuerst werden die reinen Kosten betrachtet. Eine weitere Kategorie untersucht den reinen, nicht-monetären Nutzen. Abschließend werden gemischte Analyse-Methoden vorgestellt. Um die Gültigkeit der Ergebnisse zu prüfen, werden relevante Analyse-Methoden mittels einer Sensitivitätsanalyse auf ihre Stabilität untersucht. Zudem ergeben sich konkrete Zielkriterien für die Erfolgsmessung der Feedback-Komponenten in und nach der Integrationsphase. Zusammengefasst ergibt sich folgender Ablauf:

- I. Kosten-Perspektive
 - a. Einmalige Kosten aufstellen
 - b. Laufende Kosten aufstellen
 - c. Reine Kostenbetrachtung (z. B. Kapitalwert)
 - d. Bewertung von direkten, indirekten und strategischen Auswirkungen
- II. Nutzen-Perspektive
 - a. Nicht-monetär bis monetär-messbare Nutzen
 - b. Einteilung in direkte, indirekte und strategische Realisierung
 - c. Reine Nutzen-Betrachtung (z. B. Nutzenwert)
- III. Gemischte Betrachtung
 - a. Kosten-Nutzen-Abwägung mittels des WARS-Modells
 - b. Amortisation mit Risikostufen
- IV. Stabilitätsuntersuchung

V. Festlegung der organisatorischen KPIs

Kosten-Perspektive

Die reine Kostenbetrachtung untersucht die anfallenden Kosten und die Kosteneinsparungen, die durch die Integration der Feedback-Komponenten verursacht werden. Die anfallenden Kosten der Feedback-Komponenten können in die Kategorien *einmalige* und *laufende Kosten* unterteilt werden. Eine Aufschlüsselung dieser Kostenkategorien mit den entsprechenden Faktoren ist in Tabelle 5-8 und Tabelle 5-9 zu finden.

KOSTENKATEGORIE	KOSTENFAKTOREN
SYSTEMKOSTEN	Hardware Software
SYSTEMEINFÜHRUNGSKOSTEN	Systemintegration und Schnittstellen Anpassung aktueller Systeme Mitarbeitereinsatz Beratungsdienstleistungen Schulungen & Weiterbildung

Tabelle 5-8: Kostenkategorien und -faktoren von einmaligen Kosten

KOSTENKATEGORIE	KOSTENFAKTOREN
DIREKTE BETRIEBSKOSTEN	Personalkosten Lizenzen & Service Technologiemiete Materialkosten
INDIREKTE BETRIEBSKOSTEN	Wartung Schulung & Weiterbildung Anpassung der Geschäftsprozesse
GEMEINKOSTEN	Energiekosten Versicherung Miete

Tabelle 5-9: Kostenkategorien und -faktoren von laufenden Kosten

Um verschiedene Feedbackkomponenten zu vergleichen, bieten sich klassische Diagrammtypen, wie das Säulen- oder Liniendiagramm (siehe Abbildung 5-14), an. Der reine **Kostenverlauf** wird dabei betrachtet ohne die Einbeziehung der Einsparungsmöglichkeiten. Die Berechnung des **Barwerts**, die dem **Kapitalwert** ohne die Beachtung der Einzahlungen entspricht, liefert ebenfalls eine Vergleichsbasis.

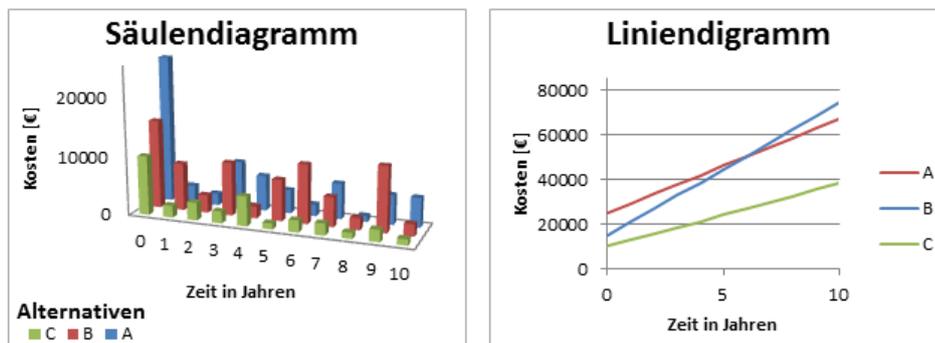


Abbildung 5-14: Visualisierungsmöglichkeiten des einfachen Kostenverlaufs

Zudem erfolgt eine Einschätzung der möglichen Kosteneinsparungen. Dabei ist zu beachten, dass jedes Szenario einer Kosteneinsparung in den Dimensionen *direkte*, *indirekte* und *strategische Auswirkung* beurteilt wird. Die Gegenüberstellung der Kosten und Einsparungsmöglichkeiten erfolgt ebenfalls durch die Visualisierung der Zeitverläufe und Berechnung der Barwerte. Hierbei sollten jedoch nur die direkten und indirekten Auswirkungen einbezogen werden.

Nutzen-Perspektive

Die Nutzenaspekte können zum einen rein qualitativ durch entsprechende Akteure mittels einer Nutzwertanalyse bewertet werden. Zum anderen sind monetär bewertbare Nutzenaspekte heranziehbar. Hierzu werden drei Zeithorizonte angenommen: direkter, indirekter und strategischer Nutzen. Um den Aufwand zu reduzieren, sollte eine Fokussierung auf einige wenige Anwendungsfälle erfolgen. Es ist auf die bereits bestimmten Potentialfelder hinzuweisen. Für diese sollen relevante Auswirkungen, wie Kostenreduktion (z. B. Transport, Personal), Imageverbesserung und Prozessverkürzung, erfasst und monetär bewertet werden. Die Detailtiefe dieser Auflistung wird nicht über alle Branchen und Unternehmen hinweg vorgeschrieben. Je nach Ausgangslage, insbesondere nach Verfügbarkeit der dafür notwendigen Daten, sollte ein Unternehmen den Umfang dieser Analyse selbst bestimmen.

Die qualitative Bewertung ist mit weniger Aufwand verbunden. Das detaillierte Vorgehen ist dem Kapitel 2.3.2 *Nutzwertanalyse* zu entnehmen. Als Nutzenkategorien werden die Potentialfelder aus den Bereichen Produkt, Prozess und der Wertschöpfungskette verwendet. Die relevanten Bewertungskriterien können aus den KPI-Kategorien – vorgestellt in Kapitel 5.2.3 – entnommen werden. Eine entsprechende Gewichtung der Bewertungskriterien ist abhängig von der jeweiligen Unternehmensphilosophie. Bei der Durchführung der Nutzwertanalyse ist es wichtig die entsprechenden Akteure miteinzubeziehen, um repräsentative Nutzwerte zu erhalten. Wie in Abbildung 5-15 dargestellt, können die Teil-Nutzwerte einzelner Potentialfelder in einem Netzdiagramm graphisch gegeneinander abgewogen werden.

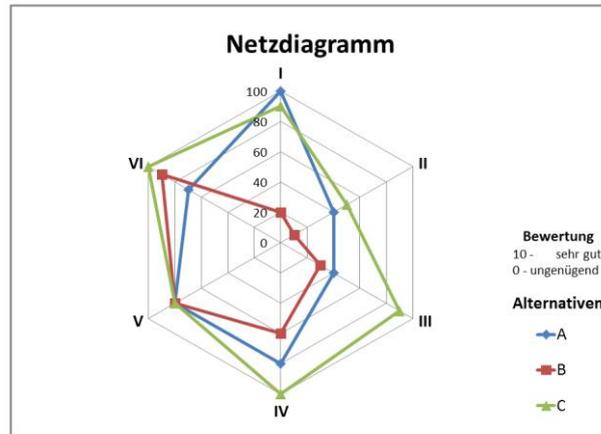


Abbildung 5-15: Visualisierungsmöglichkeit der besonders relevanten Nutzwerte für drei konstruierte Alternativen

Gemischte Betrachtung

Die kombinierte Betrachtung von Nutzen und Kosten empfiehlt die Analyse der Verhältnisse zwischen dem Kapitalwert und dem gesamten Nutzwert. Das Verhältnis von Kapital- zu Nutzenwert, der hier benannte KaNu-Wert, ist für konstruierte Beispiele in Abbildung 5-16 visualisiert. Auf den bisher gewonnenen Erkenntnissen wird entschieden, ob alle Alternativen für das aufwendige WARS-Modell in Frage kommen oder ob bereits jetzt eine Alternative ausgeschlossen werden kann.

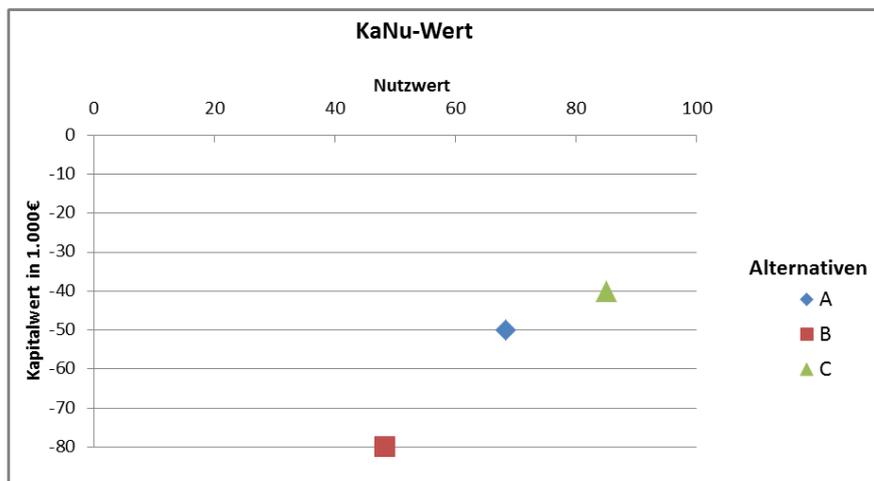


Abbildung 5-16: Gegenüberstellung von Kapital- und Nutzwert (KaNu-Wert) von drei konstruierten Alternativen

Das WARS-Modell basiert auf der Nutzenanalyse (siehe Kapitel 2.3.2 Nutzenanalyse). Basierend auf den vorab aufgestellten Nutzen- und Kostenkategorien erfolgt nun eine Verfeinerung in Form der Bewertung von Realisierungschancen (hoch, wahrscheinlich, gering). Es ergibt sich eine Tabelle (siehe Tabelle 2-2: Unterteilung von Nutzenkategorien bei Investitionen, S. 34) mit neun Risikostufen für Nutzen und Kosten. In den höheren Risikostufen sind die darunterliegenden Stufen aufsummiert. Die beiden Tabellen können in einem Graph visualisiert und der entsprechende Schnittpunkt analysiert werden. Liegt der Schnittpunkt unter einer Risikostufe von 4,5 ist ein positiver Trend erkennbar. Eine eindeutige Investitionsempfehlung wird bei einem Schnittpunkt unter 2,5 gegeben. Diese Aussagen können für den negativen Trend bei einem Schnittpunkt über 5,5 sowie einer direkten Investitionsablehnung bei einem Schnittpunkt über 7,5

gespiegelt werden. Bei Schnittpunkten zwischen 4,5-5,5 sollte eine erneute Überprüfung stattfinden. Bei mehreren Alternativen können die unterschiedlichen Schnittpunkte in einem Graph verglichen werden. Zudem empfiehlt sich die Betrachtung der Amortisationsdauern je Risikostufe. Anhand eines Beispiels ist die gemischte Betrachtung in Abbildung 5-17 dargestellt. Sowohl der Schnittpunkt als auch die Amortisationsdauer ist in diesem Beispiel bei Alternative C deutlich besser.

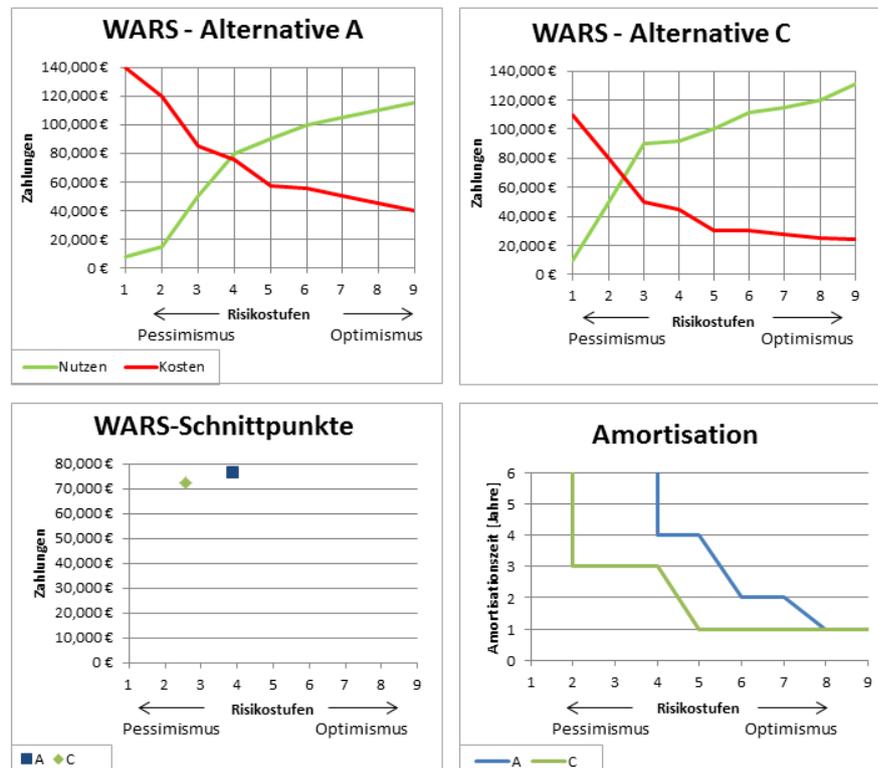


Abbildung 5-17: Beispielhafte Visualisierung des WARS-Modells für Alternative A und C

Sensitivitätsanalyse

Jede ausführliche Wirtschaftlichkeitsanalyse sollte abschließend auf Robustheit geprüft werden, insbesondere bei schwer monetär abschätzbaren Nutzenaspekten und nicht eindeutigen Analyseergebnissen. Die Variierung von Bewertungselementen, die mit einer höheren Unsicherheit oder Subjektivität der Begutachtenden verbunden sind, prüft die Stabilität der Ergebnisse. Im Folgenden werden je Analysebaustein Variationen vorgeschlagen:

- Stabilität der Kapitalwerte:
 - Variation des Zinssatzes
 - Variation der Dauer der Nutzung
- Stabilität der Nutzwertanalyse:
 - Variation der Gewichtung der Nutzwertanalyse
 - Streichung von Extremwerten der Expertenbewertungen bei genügend großer Datengrundlage
- Stabilität des WARS-Modells: Variation der Risikobewertung
 - Pessimistisch: Kosten werden wahrscheinlicher & Nutzen unwahrscheinlicher
 - Optimistisch: Kosten werden unwahrscheinlicher & Nutzen wahrscheinlicher

- Stabilität der Amortisationsdauer:
 - Pessimistisch: früher anfallende Kosten & später erzeugter Nutzen
 - Optimistisch: später anfallende Kosten & früher erzeugter Nutzen

Ein wichtiger Schritt ist anschließend die Interpretation der Analyse und die Identifizierung von Ursachen. Eine Verzerrung kann durch die Methodeneignung, die Anwender oder die Auswahl der zu vergleichenden Alternativen entstehen.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse ist in Abbildung 5-18 zusammengefasst dargestellt. Es wird erneut darauf hingewiesen, dass der Umfang und die Notwendigkeit bei dem Auswahlprozess je Anwendungsfall abgewogen werden sollte. Es handelt sich um eine optionale Komponente.

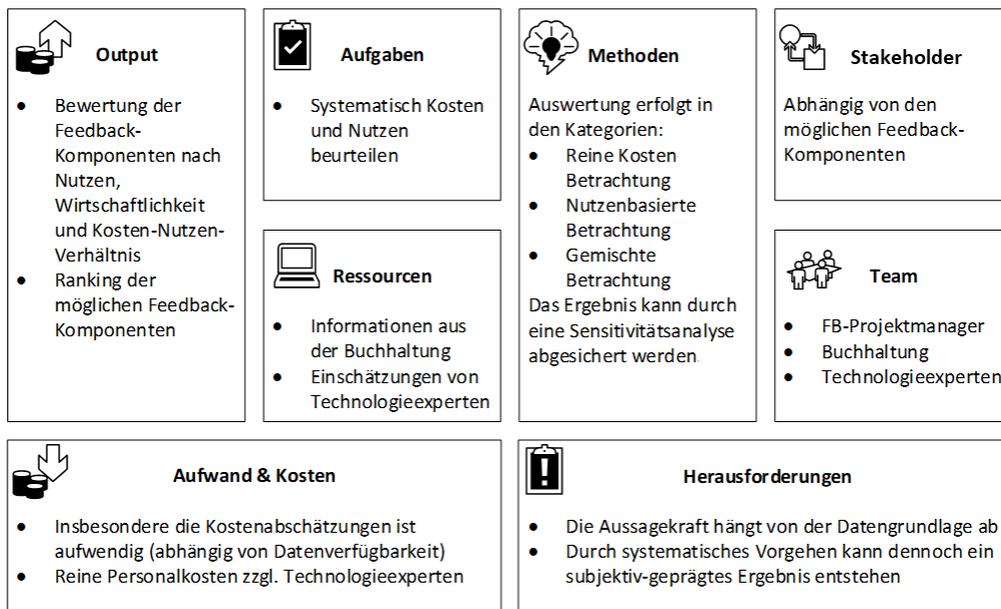


Abbildung 5-18: Überblick über die Wirtschaftlichkeitsanalyse der möglichen Feedback-Komponenten

5.2.1.5 Schärfung der Anforderungen und Entscheidung über Feedbackraum-Komponenten

Abschließend werden die Analyseergebnisse zu den unterschiedlichen Alternativen gegeneinander abgewogen. Eine Prüfung der Aktualität der vorab definierten Anforderungen und Ziele ist vorzunehmen. Abhängig von der Eindeutigkeit der Ergebnisse oder der Änderung der Zielkriterien sind weitere Iterationen innerhalb der Methodik notwendig.

Nach erfolgreichem Abschluss der Methodenbausteine aus der Potentialanalyse werden eine oder mehrere Feedback-Komponenten innerhalb eines Feedbackraums umgesetzt. Das weitere Vorgehen ist im folgenden Kapitel beschrieben.

5.2.2 Beschreibung und Aufbau des Feedbackraums

Im Folgenden werden die Bestandteile des Feedbackraums (5.2.2.1) erläutert. Darauf aufbauend wird die Beziehung sowie Interaktionen im Feedbackraum (5.2.2.2), eine allgemeingültige Systemarchitektur (5.2.2.3) und ein Datenmodell (5.2.2.4) vorgestellt.

5.2.2.1 Definition des Feedbackraums

Die Definition des Feedbackraums (vgl. Definition S. 83) umfasst alle Personen, Organisationen und IT-Systeme, die miteinander organisatorisch und technisch zum Zweck der Feedbacksammlung vernetzt sind und miteinander interagieren. Hierzu wird die Struktur eines Feedbacks (vgl. Definition S. 87) festgelegt, die Art der Erfassung definiert und diese an die relevanten Systeme bzw. Personen weitergeleitet. Das tatsächliche Feedback, im Folgenden **Feedback-Event** genannt, wird dann von den relevanten Systemen erfasst, ergänzt und in aufbereiteter Form weitergeleitet.

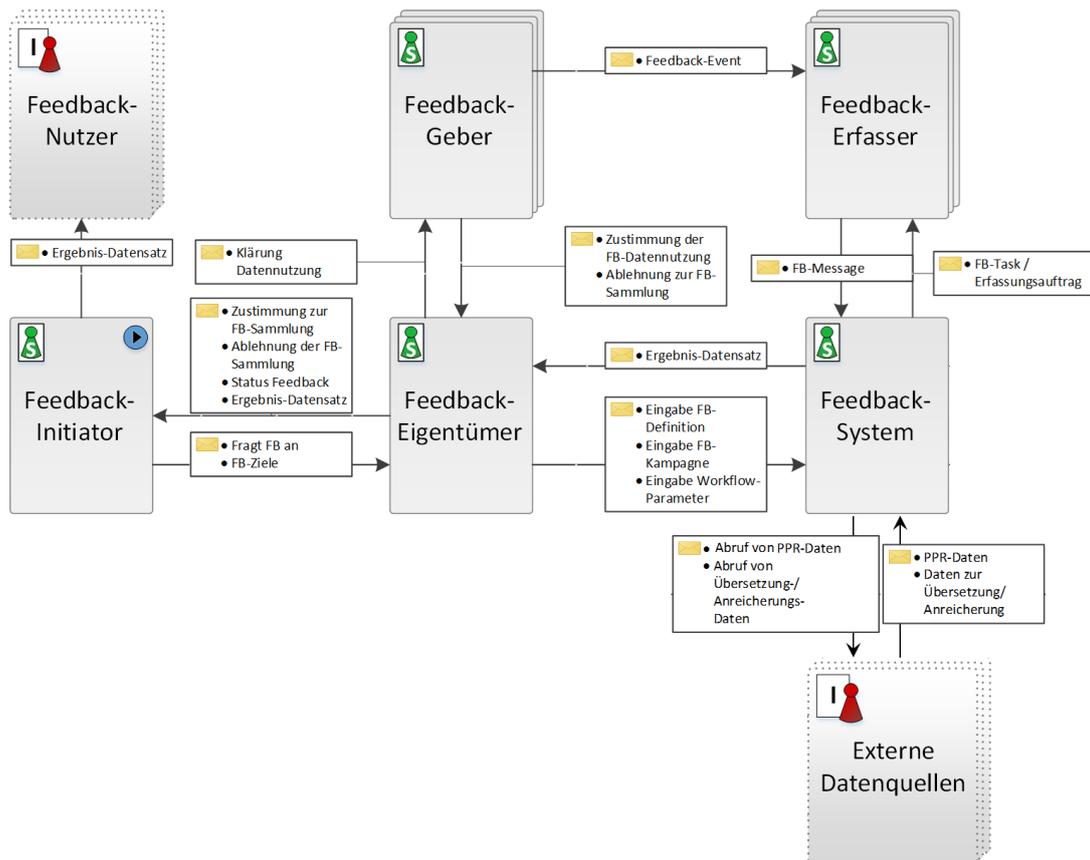


Abbildung 5-19: S-BPM-Interaktionsdiagramm zur Darstellung der Nachrichtenflüsse in einem Feedbackraum

In Abbildung 5-19 ist das Interaktionsdiagramm nach dem Ansatz Subject-oriented Business Process Management (S-BPM) für ein Feedbackraum dargestellt. Der Prozess beginnt bei dem Feedback-Initiator. Er liefert die Fragstellung für die Feedback-Sammlung. Damit wendet er sich an den Feedback-Eigentümer, der auf die Anfrage mit Zustimmung oder Ablehnung reagiert. Falls es zu einer Zusammenarbeit kommt, werden nun iterativ die konkreten Ziele der Feedbacksammlung definiert. Diese werden in Form einer **Feedback-Definition** festgehalten. In diesem Zuge wird auch die Art des Feedbacks erfasst. Es kann sich um direktes oder indirektes Feedback handeln. Beim direkten Feedback ist der Feedback-Geber sich über seine Handlung bewusst und tätigt diese aktiv, z. B. durch Abgeben einer Sternbewertung für ein Produkt. Bei indirektem Feedback handelt es sich um die Beobachtung des Verhaltens. Hierunter fallen z. B. Verweildauern auf Webseiten oder auch Temperaturmessungen in der Produktion. Diese Beispiele zeigen eine weitere Ebene des Feedbacks: die Perspektive des Feedback-Erfassers. In Tabelle 5-10 werden die verschiedenen Sichtweisen benannt und Beispiele zu den vier Ausprägungen gegeben. Neben der Unterscheidung aus Sicht des Feedback-Gebers (direkt, indirekt), unterscheidet der Feedback-Erfasser, ob es automatisiert oder manuell durch eine Person erfasst wird.

PERSPEKTIVE DES FB-ERFASSERS	PERSPEKTIVE DES FB-GEBERS		
		DIREKT	INDIREKT
	AUTOMATISIERT	Regelbasierte Erfassung, z. B. bei 45°C wird die Last auf dem Fließband erfasst	Kontinuierliche Erfassung, z. B. Temperatur
MANUELL	Bewusste Erfassung, z. B. ein Kunde füllt einen Fragebogen aus	Unbewusste Erfassung, z. B. ein Kunde klickt ein Objekt auf einer Webseite an	

Tabelle 5-10: Arten der Feedback-Erfassung je nach Perspektive

Im Zuge der Feedback-Definition wird vom Feedback-Eigentümer in Zusammenarbeit mit dem Feedback-Initiator festgelegt, in welcher Form das Feedback-Event erfasst wird. Die Antworttypen können nominal, ordinal oder metrisch skaliert sowie als Freitext vorliegen. Die Feedback-Definition bezieht sich außerdem immer auf ein **Feedback-Bezugsobjekt** (FBO). Es bündelt die Informationen zu dem Objekt, zu welchem Feedback gegeben wird. Bei einem Produkt können es z. B. Informationen zum Kauf oder zu dem aktuellen Prozessschritt (Kauf, Reklamation etc.) sein. Wichtig ist, dass bei der Feedback-Definition keine Informationen zu der tatsächlich gegebenen Antwort enthalten sind. Die Definition bietet die Möglichkeit auf einem hohen Abstraktionsniveau eine Fragestellung für einen bestimmten Kontext zu definieren. Diese kann sich auf eine bestimmte Anzahl an Produkten, Prozessschritten, Ressourcen oder Zielgruppen beziehen.

Die konkrete Anwendung einer Feedback-Definition findet im Rahmen einer **Feedback-Kampagne** statt. Dort werden Informationen zum Feedbackraum definiert, um das Sammeln von Feedback-Events anzustoßen. Einer Feedback-Kampagne muss mindestens eine Feedback-Definition zugeordnet sein. Es können jedoch auch mehrere Feedback-Definitionen in einer Feedback-Kampagne enthalten sein.

Um das Konzept zu verdeutlichen, wird im Folgenden ein Szenario beschrieben. Ein Hersteller ist interessiert an den aktuellen Farbtrends, um seine Produktentwicklung zu optimieren. Somit vertritt er sowohl den Initiator als auch Nutzer. In Bezug auf Farbtrends interessieren ihn folgende Fragen:

- Welche Farbtöne empfinden (potentielle) Kunden als wohnlich?
- Wie zufrieden war der Käufer mit der Farbauswahl auf der Ausstellungsfläche?
- Wie häufig werden Rot-Töne bei Konfigurationen angeklickt?

Jeder dieser Fragen ist eine Feedback-Definition. Die ersten beiden Fragen können als direktes Feedback im Entscheidungs- bzw. Kaufprozess formuliert werden. Dort wird ebenfalls die konkrete Frage mit der entsprechenden Skala angelegt (z. B. Ordinal, Nominal). Die Frage zu den Rot-Tönen ist ein indirektes Feedback, wobei die Feedbackbezugsobjekte auf Produkte mit einer roten Farbauswahl eingeschränkt werden. Die drei Feedback-Definitionen werden nun in einer Kampagne mit einem Zeitintervall und einem Feedback-Erfasser gebündelt. Falls ein Freigabeprozess erfolgt, werden die Feedback-Events gesammelt und aufbereitet an den Auftraggeber gesendet, der die Ergebnisse wiederum in die Produktentwicklung einfließen lassen kann.

Dieses Szenario ist nur möglich, falls sich Feedback-Eigentümer und Feedback-Initiator über eine Kooperation geeinigt haben. Der Feedback-Eigentümer ist in diesem Fall der Händler, da er aus Datenschutzgesichtspunkten rechtmäßiger Besitzer des Feedback-Events ist und das feedbackgenerierende System bereitstellt. Daraufhin legt der Feedback-Eigentümer die entsprechenden Feedback-Definitionen

und Feedback-Kampagnen an. Es fällt in seine Zuständigkeit, da er über das Detailwissen zum Feedback-Raum verfügt. Mit der konkreten Ausgestaltung der Feedback-Sammlung erfolgt nun ein Austausch mit dem Feedback-Geber über die Verwendung der Daten. Damit wird bestimmt, in welcher Form der Feedback-Eigentümer die Daten weitergeben darf. Sobald die Voraussetzungen für die Durchführung einer Feedback-Kampagne erfüllt sind, wird der Feedback-Initiator über den Status informiert. Es folgt nun die Steuerung des Feedbackprozesses über konkrete Workflowparameter. Damit werden entsprechende Systeme und Schnittstellen im Feedbacksystem festgelegt. Durch unterschiedliche Namensräume der Systeme kann eine Anreicherung bzw. Übersetzung notwendig werden. Dazu liegen entsprechende Datenquellen (sogenannte Register) für eine entsprechende Anfrage vor. Ein Beispiel ist eine Standardisierung von Reklamationsgründen. Liegt ein unternehmensübergreifender Prozess vor, kann dieser von den unterschiedlichen Firmen auf verschiedene Weise ausgelegt oder von einer Firma nicht verwendet werden.

Zu der Steuerung des Prozesses gehört auch die Aufteilung der Feedback-Kampagne in unterschiedliche **Feedback-Tasks**. Im Rahmen einer Feedback-Kampagne kann das Sammeln in unterschiedlichen Systemen notwendig werden. Die Feedback-Tasks werden einem System oder einer konkreten Person – dem Feedback-Erfasser – übermittelt, um festzulegen, welche Daten zu welchem Zeitpunkt und in welcher Form zu sammeln sind. Der Feedback-Erfasser dokumentiert damit die Feedback-Events eines oder mehrerer Feedback-Gebers. Ein konkretes Feedback-Event ist Bestandteil einer **Feedback-Message**. Diese ist zum einen angereichert um ein oder mehrere Feedback-Bezugsobjekte sowie weitere Kontextinformationen. Diese Feedback-Message wird an das Feedbacksystem gesendet. Zwecks Anreicherung bzw. Übersetzung werden erneut externe Datenquellen angefragt. Der gesammelte Datensatz wird anschließend dem Feedback-Eigentümer zur Verfügung gestellt. Zum Schluss werden die Daten an den Feedback-Initiator übermittelt, der sie wiederum dem Feedback-Nutzer zugänglich macht.

5.2.2.2 Beziehungen und Interaktionen im Feedbackraum

Auf Basis der Definitionen sollen im Folgenden die Beziehungen und Kardinalität der Feedback-Akteure und –Komponenten im Feedbackraum erläutert werden. Das vereinfachte Klassendiagramm in Abbildung 5-20 dient als Grundlage der Erklärung. Es werden nur nicht-triviale Beziehungen erläutert.

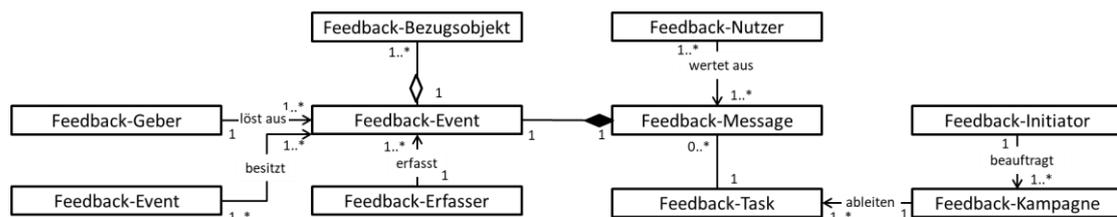


Abbildung 5-20: Beziehungen von Feedback-Akteuren und –Komponenten im Feedbackraum

Ein Feedback-Event gehört eindeutig zu einem Feedback-Geber. Der Feedback-Geber kann jedoch mehrere Feedback-Events auslösen. Ein FBO ist Teil eines Feedback-Events. Es können jedoch mehrere FBO zu einem Feedback-Event zugeordnet werden. Durch die Anreicherung mindestens eines FBO zu einem Feedback-Event erhält man eine Feedback-Message.

Ein Feedback-Initiator beauftragt mindestens eine Feedback-Kampagne, aus der wiederum mindestens ein Feedback-Task abgeleitet wird. Zu jedem Feedback-Task kann es keine oder auch beliebig viele Feedback-Messages geben.

Ergänzend zu dem bereits vorgestellten S-BPM-Interaktionsdiagramm (siehe Abbildung 5-19) folgt die Erläuterung von dem spezifischen Verhalten der vier Hauptakteure (Feedback-Initiator, -Eigentümer, -Geber und-Erfassers) durch ein S-BPM-Verhaltensdiagramm.

Verhalten des Feedback-Initiators

Der Feedback-Initiator stellt die Rolle bzw. Gruppe von Akteuren dar, die an der Feedback-Sammlung partizipieren wollen. Der Impuls für den gesamten Feedbackprozess geht von diesen Akteuren aus. Die Abbildung 5-21 veranschaulicht die Interaktionen mit dem Feedback-Eigentümer und Feedback-Nutzer.

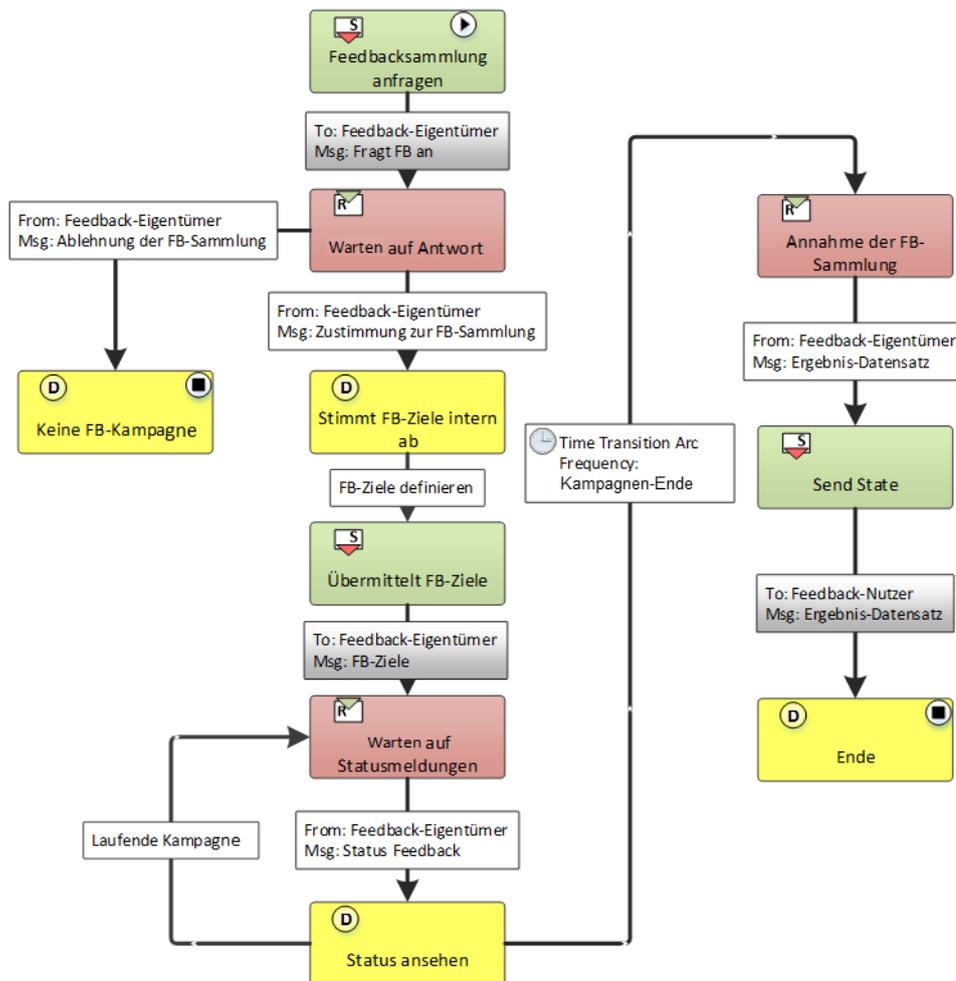


Abbildung 5-21: Subject Behaviour Diagram des Feedback-Initiators

Zusammengefasst beschränken sich die Hauptaktivitäten des Feedback-Initiators auf folgende drei Aspekte:

- Anstoßen des Feedbackprozesses
- Abstimmung der Feedback-Ziele mit dem Feedback-Eigentümer
- Einleitung bzw. Weiterleitung der Feedback-Sammlung zwecks Auswertung nach Beendigung der Feedback-Kampagne

Durch entsprechende Status-Meldungen des Feedback-Eigentümers ist der Feedback-Initiator in den gesamten Prozess involviert. Die Transparenz ermöglicht, dass die Fortschritte zu wesentlichen Zeitpunkten beobachtet werden können.

Verhalten des Feedback-Eigentümers

Das Verhaltensdiagramm des Feedback-Eigentümers ist komplex. Die Rolle interagiert mit dem Feedback-Initiator, dem Feedback-System und dem Feedback-Geber. Der Feedback-Eigentümer wird, wie in Abbildung 5-22 ersichtlich, durch eine Anfrage des Feedback-Initiator aktiv. Eine wesentliche Funktionalität bzw. Möglichkeit ist der Abbruch des Feedback-Prozesses. Dies kann zu Beginn direkt vom Feedback-Eigentümer initiiert werden oder durch eine abgelehnte Anfrage von dem Feedback-Eigentümer.

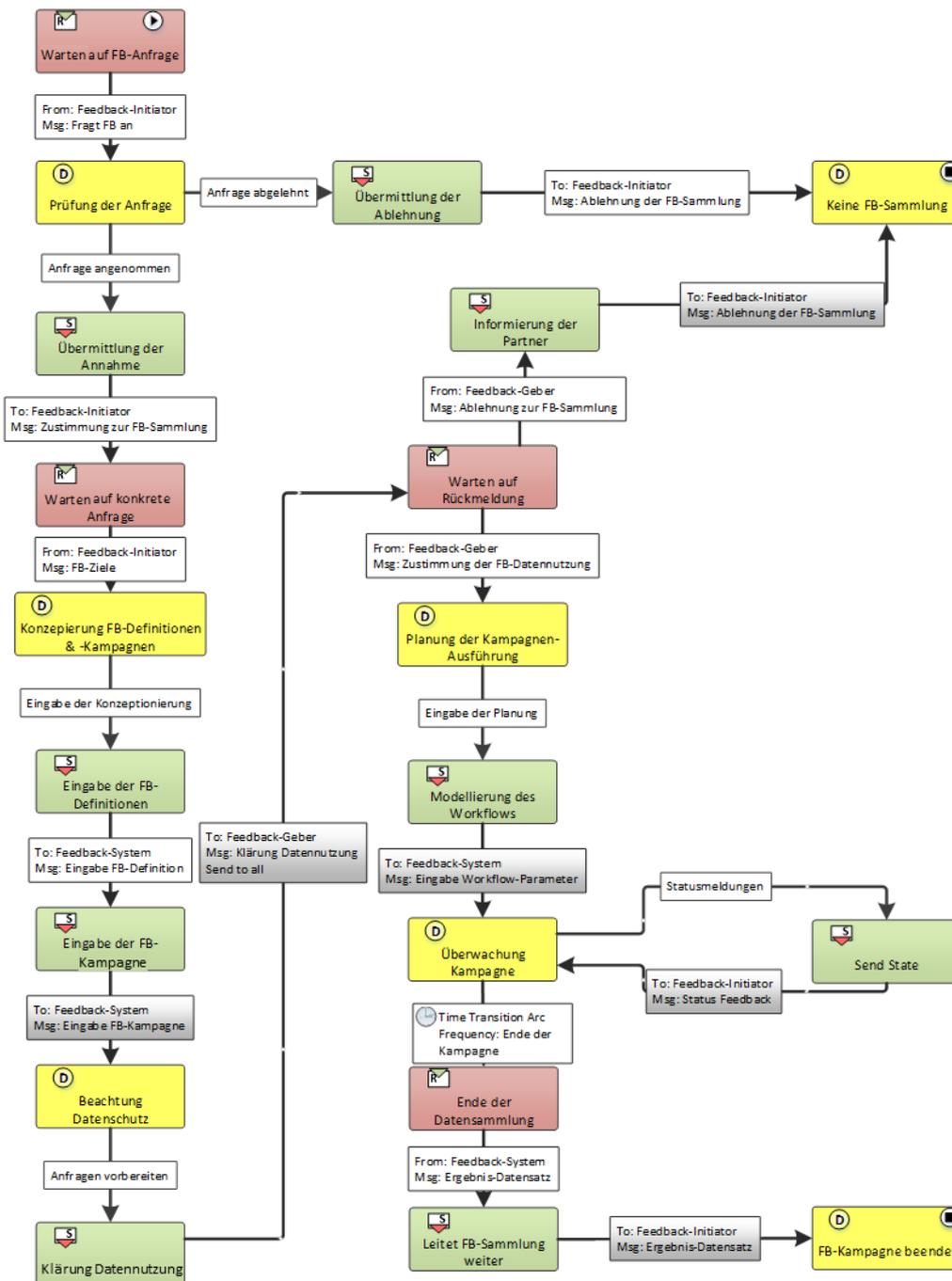


Abbildung 5-22: Subject Behaviour Diagram des Feedback-Eigentümers

Die Hauptaktivitäten des Feedback-Eigentümers umfassen folgenden sieben Hauptaspekte:

- Ablehnung bzw. Abbruch des Feedbackprozesses
- Abstimmung der Feedback-Ziele mit dem Feedback-Initiator
- Klärung der Gültigkeit zur Verwendung der Feedback-Daten mit dem Feedback-Geber
- Strukturierung der Feedback-Sammlung (Feedback-Definitionen, Feedback-Kampagnen)
- Übermittlung an das Feedback-System
- Überwachung der Feedback-Kampagnen

- Übermittlung der Ergebnisse an den Feedback-Initiator

Demnach hat der Feedback-Eigentümer die Hoheit über den gesamten Feedbackprozess, da er die Feedback-Sammlung strukturiert und kontinuierlich überwacht.

Verhalten des Feedback-Gebers

Der Ursprung des Feedbacks liegt beim Feedback-Geber. Der zu beschreibende Prozess gestaltet sich trivial. In irgendeiner Form muss vor Beginn der Datensammlung eine Einverständniserklärung vorliegen. Dies kann auch durch Randbedingungen der vom Feedback-Geber genutzten Systeme standardmäßig gegeben sein. Ist diese Voraussetzung erfüllt, erfolgt wie in Abbildung 5-23 ersichtlich das normaltypische Verhalten. Dieses löst Feedback-Events aus, welche von den Systemen aufgenommen werden.

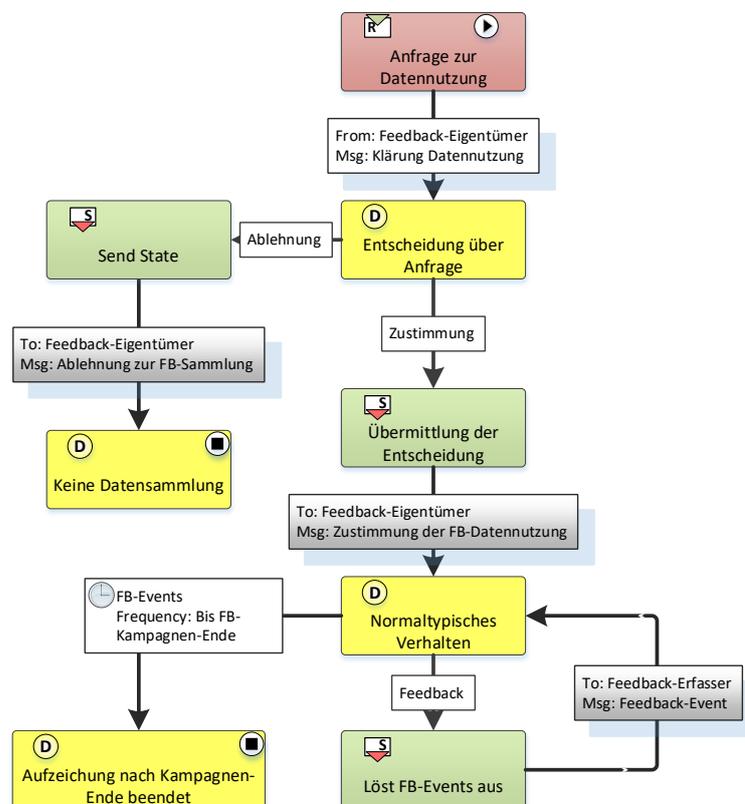


Abbildung 5-23: Subject Behaviour Diagram des Feedback-Gebers

Die Hauptaktivitäten des Feedback-Gebers lassen sich in zwei Aspekte zusammenfassen:

- Entscheidung über Verwendung der eigenen Daten
- Feedback geben

Demnach bildet der Feedback-Geber den Mittelpunkt des Feedback-Raums. Er liefert die Inhalte, weshalb der gesamte Prozess initiiert wird.

Verhalten des Feedback-Erfassers

Die Dokumentation der Feedback-Events liegt beim Feedback-Erfasser. Die Rolle interagiert mit zwei anderen Akteuren. Zum einen erhält der Feedback-Erfasser die Beschreibung der Datenerfassung vom

Feedback-Eigentümer und zum anderen wartet er auf Reaktionen des Feedback-Gebers. Der einfache Prozess ist in Abbildung 5-24 formalisiert.

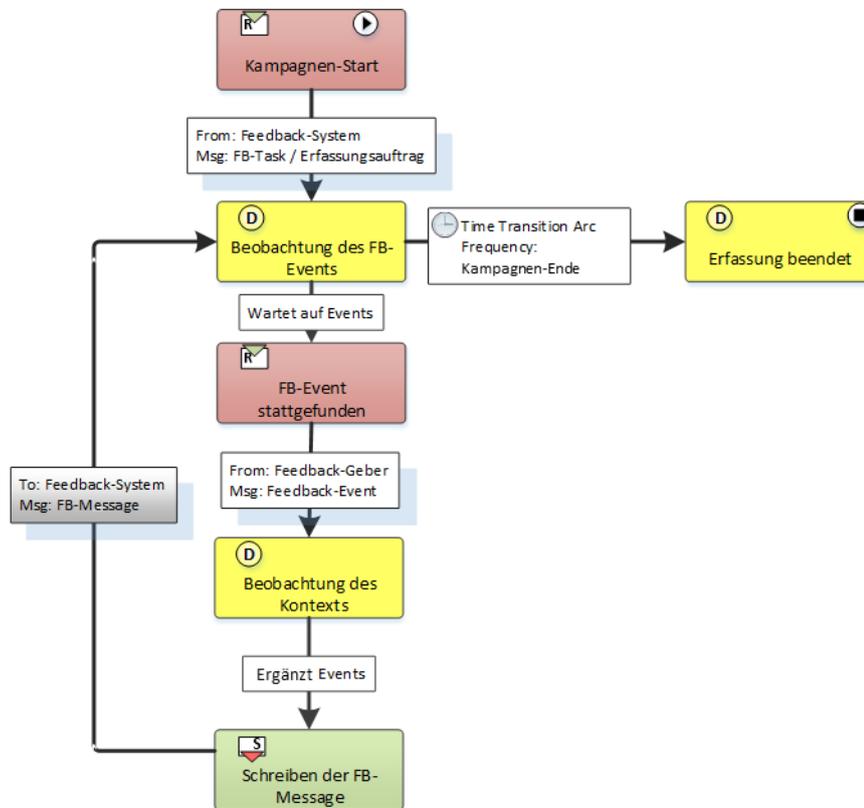


Abbildung 5-24: Subject Behaviour Diagram des Feedback-Erfassers

Zusammengefasst beschränken sich die Hauptaktivitäten des Feedback-Gebers auf folgende drei Aspekte:

- Beobachten des Feedback-Events vom Feedback-Geber und dem entsprechenden Kontext
- Zusammenfassung des Feedback-Events mit dem Kontext in einer Feedback-Message
- Übermittlung der Feedback-Messages an das Feedback-System

Der Feedback-Erfasser agiert nur nach einem Trigger des Feedback-Systems. Daher kann seine Rolle im Feedback-Raum als passiv beschrieben werden.

5.2.2.3 Allgemeingültige Systemarchitektur

Die Aufgaben des Feedback-Systems und des Feedback-Erfassers werden in der Regel von einem System ausgeführt. Das Feedback-System lässt sich wie in Abbildung 5-25 ersichtlich in fünf Bestandteile unterteilen:

- **Feedback-Engine:** Ermöglicht für einen Nutzer die Strukturierung der Feedback-Definitionen und -Kampagnen
- **Feedback-Server:** Einheit zur Speicherung und Verwaltung der Feedback-Definitionen und -Kampagnen
- **Workflow-Manager:** Ermöglicht für einen Nutzer die Planung bzw. Steuerung des Prozesses inkl. Übersetzungsfunktion zwischen verschiedenen Namensräumen

- **Kollektor-Server:** Einheit zur Speicherung der Feedback-Tasks und -Messages
- **Kollektoren:** Modul zur Einbindung in Endanwendungen, um die Datensammlung zu ermöglichen

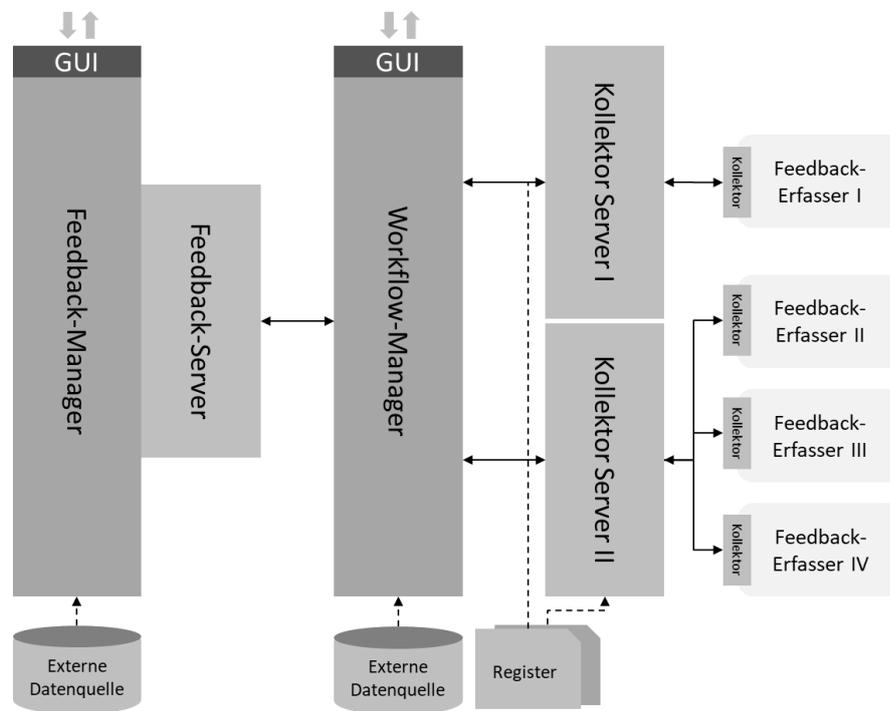


Abbildung 5-25: Technischer Aufbau des Feedbacksystems

Der Workflow-Manager und der Feedback-Manager sind über eine GUI von Nutzer bedienbar. Diese Komponenten greifen auch auf externe Datenquellen zu. Die Erfassung der Feedback-Events wird durch technische Kollektoren realisiert. Die drei Unterteilungen benötigen klar definierte Schnittstellen.

Der **Feedback-Manager** besitzt die Komponenten Feedback-Konfigurator und Feedback-Server. Es gibt eine Benutzerschnittstelle zur Konfiguration der Feedback-Definitionen und Feedback-Kampagnen. Zudem weist der Feedback-Manager eine Schnittstelle zu einer beliebigen Anzahl von Datenbanken auf, die Informationen zu Produkten, Prozessen und Ressourcen (PPR) beinhalten. Die Kommunikation von Feedback-Kampagnen und das Erhalten der gesammelten Datensätze läuft über den Workflow-Manager.

Der **Workflow-Manager** wiederum besteht aus den Komponenten Prozess-Modellierung, Prozess-Ausführung und Register-Manager. Letzteres ermöglicht die Anreicherung bzw. Übersetzung zwischen unterschiedlichen Namensräumen durch eine Schnittstelle zu beliebig vielen Register-Datenbanken, die wiederum die relevanten Informationen beinhalten. Auch hier ist eine Benutzerschnittstelle zur Ausgestaltung der Workflows vorgesehen. Der Austausch der Feedback-Tasks und der aggregierten Feedback-Messages funktionieren durch eine Schnittstelle zu dem Kollektor-Server, an den wiederum die Feedback-Erfasser gekoppelt sind.

Eine beliebige Anzahl von Kollektoren erhält die Feedback-Tasks und meldet die entsprechenden Feedback-Messages an den **Kollektor-Server** zurück. Den Kollektoren können jeweils Artefakte zugeordnet werden. Die Verbindung zum Menschen ist durch Mensch-Maschinen-Schnittstellen (Human-Machine Interface) abgebildet. Die Kopplung an eine Maschine ist durch Sensoren oder Aktoren möglich. Zudem können Systeme bzw. deren Datenbanken als Artefakte genutzt werden.

5.2.2.4 Datenmodell für Feedback-Definitionen und -Kampagnen

Als allgemeingültige Kommunikationsgrundlage wurde ein Feedback-Datenmodell konzipiert, welches unabhängig von dem Stand des Produktlebenszyklus und der Branche eingesetzt werden kann. Im Folgenden ist ein UML-Diagramm (Abbildung 5-26) des Datenmodells für Feedback-Definitionen und Feedback-Kampagnen aufgeführt. Die Beschreibung der einzelnen Objekte sowie deren Parameter in dem Datenmodell aus Abbildung 5-26 erfolgt jeweils in einer separaten Tabelle (Tabelle 5-11 – Tabelle 5-14). Nicht-standardisierte Parameter-Typen – die Trigger und Indikatoren – werden anschließend detailliert erläutert.

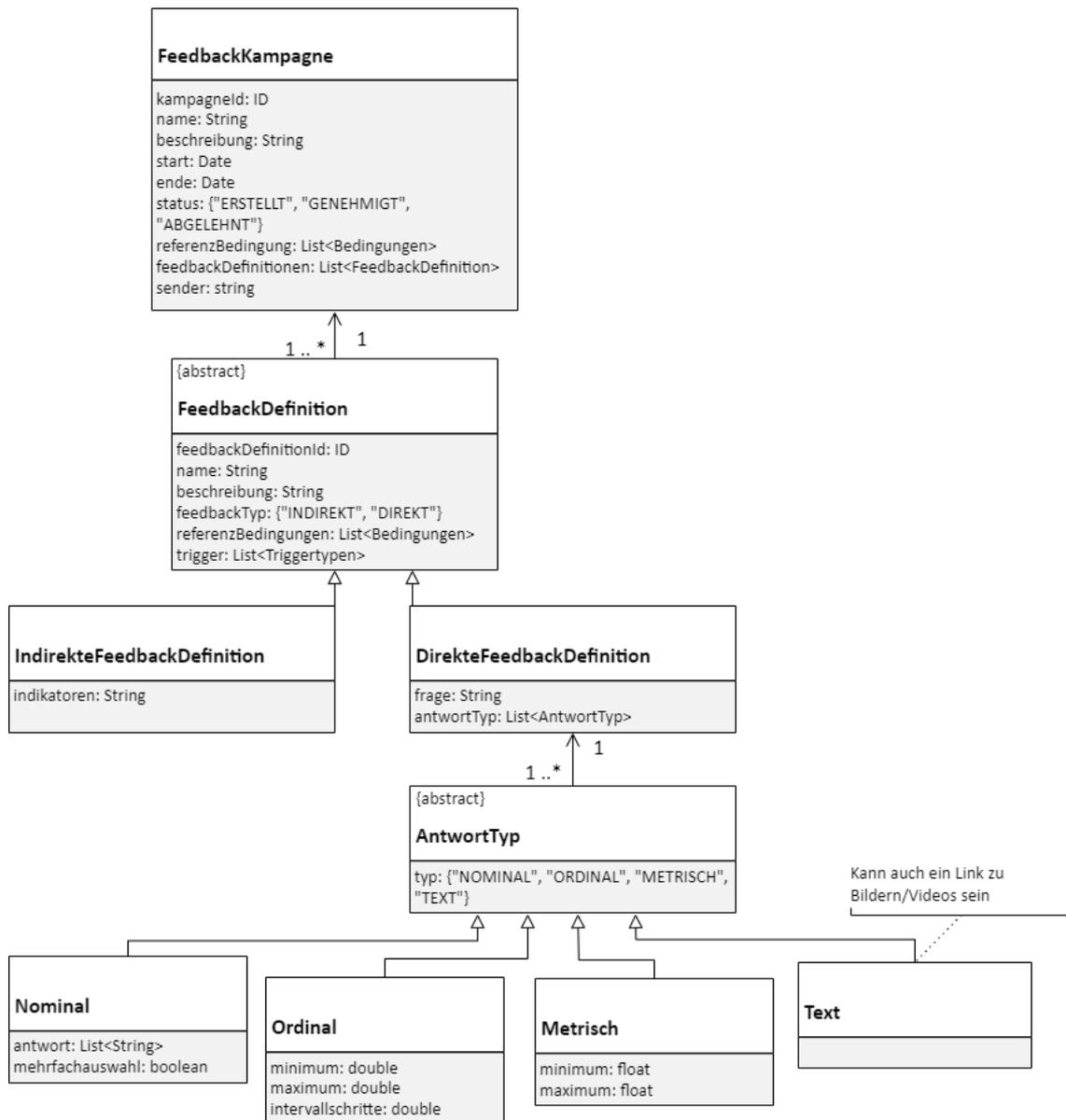


Abbildung 5-26: Abbildung des Feedback-Datenmodells

Das Wurzelement bildet die **Feedback-Kampagne**, deren Parameter Tabelle 5-11 zu entnehmen sind. Dieser muss immer mindestens eine Feedback-Definition zugewiesen werden.

Beschreibung	Parameter	Typen	Beispiel
Festlegung der zeitlichen und systemrelevanten Rahmenbedingungen	kampagnenID	ID	cid348502980
	name	string	kampagne1234
	beschreibung	string	Kampagne zur Ermittlung von Farbtrends
	start	datum	21.02.2022
	ende	datum	01.01.2026
	status	„ERSTELLT“, „ABGELEHNT“, „ANGENOMMEN“	„ERSTELLT“
	referenzBedingung	Liste von Bedingungen	Beschränkung auf Kundenprofile oder Produkte
	feedbackDefinitionen	Liste von Feedbackdefinitionen	siehe Tabelle 5-12
sender	string	Firma Musterfrau	

Tabelle 5-11: Technische Beschreibung der Feedback-Kampagne

Die **Feedback-Definition** wiederum beinhaltet neben vielen Parametern zur Identifizierung sowie Konkretisierung unter anderem den Fragentyp. Eine Übersicht ist Tabelle 5-12 zu entnehmen.

Beschreibung	Parameter	Typen	Beispiel
Beschreibt eine Art von Feedback	feedbackDefinitionId	ID	fdid738502008
	name	string	definition1234
	beschreibung	string	Definition zur Ermittlung von Farbtrends
	feedbackTyp	„INDIREKT“, „DIREKT“	„DIREKT“
	referenzBedingung	Liste von Bedingungen	Beschränkung auf Kundenprofile oder Produkte
	trigger	Liste von Triggern	siehe Tabelle 5-15

Tabelle 5-12: Technische Beschreibung der Feedback-Definition

Eine grundlegende Unterscheidung liefert die Entscheidung, ob es sich um ein **direktes oder indirektes Feedback** handelt. Die Parameter unterscheiden sich deutlich (siehe Tabelle 5-13).

Beschreibung	Parameter	Typen	Beispiel
Indirekt			
Für den Feedbackgeber nicht offensichtliches Feedback	indikator	Liste von Indikatoren	siehe Tabelle 5-16
	parameter	Liste von Parametern	abhängig vom Anwendungsfall zu definieren

Direkt			
Für den Feedbackgeber offensichtliches Feedback	frage	string	Wie hat Ihnen die Farbauswahl gefallen?
	antwortTyp	Liste von Antwort-Typen	siehe Tabelle 5-14

Tabelle 5-13: Technische Beschreibung der Feedbacktypen „indirekt“ und „direkt“

Für direkte Feedback-Definitionen können wiederum die **Antwort-Typen** festgelegt werden. Die unterschiedlichen Möglichkeiten für die Art der Antworten ist Tabelle 5-14 zu entnehmen. Die Art hat starken Einfluss auf die Möglichkeiten der Analyseverfahren, die auf den Ergebnis-Datensatz angewendet werden sollen. Die geplanten Auswertungen legen demnach die Art der Antworttypen fest.

Beschreibung	Parameter	Typen	Beispiel
Nominal			
Definiert eine Liste von qualitativen Antwortmöglichkeiten ohne Ordnung	antwort	Liste aus strings	[“negativ”, “neutral”, “positiv”]
	mehrfachauswahl	boolean	True
Ordinal			
Definiert qualitative Merkmalsausprägungen mit natürlicher Ordnung	minimum	double	1
	maximum	double	10
	intervallschritte	double	0,5
Metrisch			
Definiert ein Intervallbereich mit Differenzgleichheit	minimum	float	0
	maximum	float	10,654
Text			
Ermöglicht eine Freitext-Antwort	string	string	Das Produkt wurde fristgerecht geliefert

Tabelle 5-14: Technische Beschreibung der verschiedenen Antworttypen bei einem direktem Feedback

Es folgt nun eine Beschreibung von anwendungsfallabhängigen Parametern. Diese müssen für jeden Feedbackraum individuell definiert werden.

Trigger-Typen

Ein Trigger gibt dem Feedback-Sammler an, welche Aktion der Auslöser eines Feedbacks ist. In Tabelle 5-15 sind Beispiele aufgeführt, die verwendet werden können, falls es sich bei dem Feedback-Erfasser um eine Nutzeroberfläche handelt. Für die Implementierung ist es entscheidend, dass die entsprechenden Kollektoren die Trigger interpretieren können.

Schlüsselwort	Beschreibung
PROACTIVE	Vom Nutzer wird ein Feedback ausgelöst.
ELEMENT_SELECTED	Der Nutzer wählt ein Objekt in einer Web-Oberfläche aus.
PROCESS_CANCELLED	Ein Nutzer bricht einen Prozess ab.
OBJECT_SELECTED	Ein Nutzer selektiert ein Objekt.
OBJECT_DESELECT	Ein Nutzer wählt ein Objekt ab.
APPLICATION_STARTED	Die Applikation wird von einem Nutzer gestartet.
APPLICATION_QUIT	Die Applikation wird von einem Nutzer beendet.
REGION_ENTRY	Ein Kunde betritt eine definierte Region/Fläche (im Geschäft).
REGION_EXIT	Ein Kunde verlässt eine definierte Region/Fläche (im Geschäft).
UPDATE	Ein Datensatz wurde aktualisiert.

Tabelle 5-15: Beispiele möglicher Trigger in dem Fall einer Nutzeroberfläche als Feedback-Erfasser

Indikatoren

Indikatoren geben die Möglichkeit komplexere Daten zu erfassen, die ebenso durch eine Kombination unterschiedlicher Feedback-Definitionen realisierbar sind. Im Fall der Indikatoren sind mathematische Operationen, wie Aggregation oder Intervallrechnung, notwendig. Mit dem Indikator Verweildauer werden zum Beispiel zwei unterschiedliche Feedback-Events kombiniert. Ein Feedback-Geber navigiert zu einem bestimmten Teil einer Nutzeroberfläche. Nach einer gewissen Zeit verlässt dieser den Bereich wieder. Diese unterschiedlichen Events werden zusammengefasst und die unterschiedlichen Zeitstempel zu einer Verweildauer verrechnet. Die Definition von Indikatoren eignet sich insbesondere, wenn diese Art der Vorverarbeitung häufig für die Auswertung relevant ist. Zudem kann es zur Anonymisierung der Daten beitragen. Die Tabelle 5-16 führt Beispiele für Indikatoren im Fall von indirektem Feedback auf.

Schlüsselwort	Beschreibung
CANCELLATION_RATE	Abbruchrate
CLICK_COUNT	Klick-Anzahl
RETENTION_TIME	Verweildauer
VARIANTS_SEEN	Anzahl der betrachteten Varianten

Tabelle 5-16: Beispiele möglicher Indikatoren in dem Fall einer Nutzeroberfläche als Feedback-Erfasser

5.2.3 Umsetzung und KPI-basiertes Monitoring

Ein KPI-basiertes Monitoring ist abhängig von der strategischen Ausrichtung eines Unternehmens und der Art der Technologieeinführung. Daher werden im folgenden Kapitel drei Kategorien mit KPI-Clustern vorgestellt, die wiederum Subcluster mit Zielgrößen und konkreten KPI-Beispielen enthalten. Bei der Anwendung dieses Methodenbausteins werden aufbauend auf der Wirkungsebenenfestlegung der

Potentialanalyse die Kategorien systematisch betrachtet, relevante Zielgrößen identifiziert und anschließend konkrete unternehmensspezifische KPIs definiert.

Zusätzlich sollte jede Kategorie der Erfolgsmessung in unterschiedlichen Dimensionen beleuchtet werden. Durch das Konzept des „magischen Dreiecks“ werden die Dimensionen **Zeit**, **Kosten** und **Qualität** beleuchtet. Eine Erfolgsmessung sollte nur eine Dimension im Fokus haben, da die Eindeutigkeit der Kennzahl sehr entscheidend ist. Außerdem werden die Dimensionen des Zeithorizonts herangezogen. Eine Auswirkung kann eine **kurz-**, **mittel-** oder **langfristige** Veränderung bewirken. Dies hilft insbesondere bei der Bewertung des KPI. Wird durch die Etablierung eines Feedbackmechanismus eine langfristige Verbesserung erwartet, so wird die KPI sich ebenso erst langfristig ändern. Zudem gibt es die Dimensionen der Hierarchieebene. Je nach Betrachtung wird die **Gesamtheit**, ein **Detailblick** oder eine **Zwischenstufe** analysiert.

Die Dimensionen der Optimierungsart, des Zeithorizonts und der Hierarchieebene sind für alle KPI-Kategorien anwendbar. Angelehnt an die Struktur der Potentialanalyse lassen sich diese in die Bereiche Mensch, Technik und Organisation unterteilen. Diese sind jedoch nicht immer trennscharf, sodass in den Clustern gleiche oder ähnliche KPIs aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet werden. Im Folgenden werden die jeweiligen Unterkategorien, wie in Abbildung 5-27 abgebildet, vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf den Bereichen Mensch und Technik. Das KPI-basierte Monitoring erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Ganz im Gegensatz wird hiermit die Philosophie der dynamischen Anpassung fokussiert, die dazu führt, dass sowohl unternehmensindividuelle als auch allgemeine KPI-Cluster mit neuen Anwendungsfällen, Technologien und Unternehmensperspektiven mit der Zeit hinzugefügt werden.

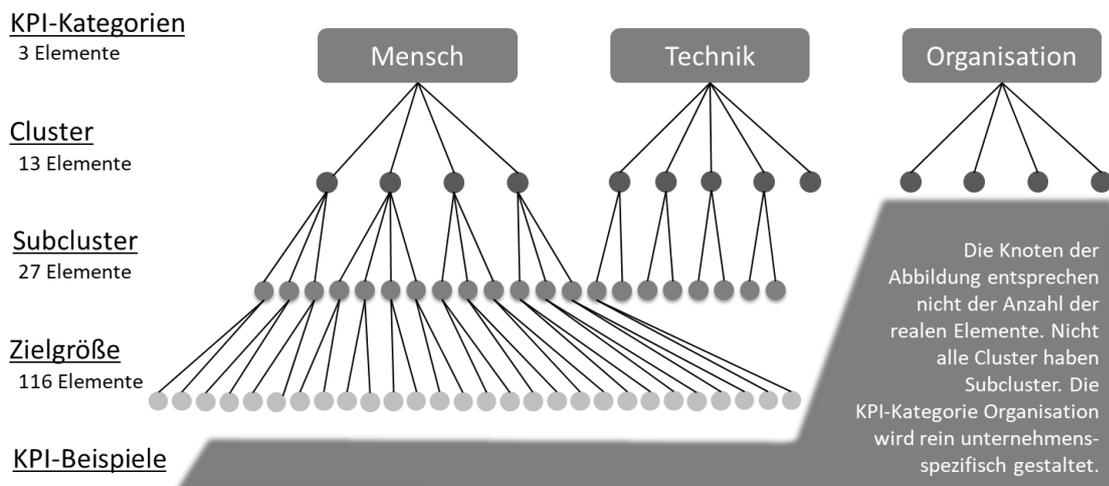


Abbildung 5-27: Clustering der KPI-Kategorien Mensch, Technik und Organisation

5.2.3.1 KPI-Kategorie Mensch

Im Changemanagement sollten für jedes Unternehmen die Menschen bzw. Stakeholder im Vordergrund stehen. Der Mensch kann hierbei als Individuum, Gruppe, Abteilung oder Organisation betrachtet werden. Insbesondere fallen in diesen Bereich Verbesserungen mit einem kurz- bzw. mittelfristigen Zeithorizont.

Die KPI-Kategorie beinhaltet vier KPI-Cluster. Die externe Sicht unterscheidet in Partner und Kunden. Die interne Sicht wird unterteilt in die Mitarbeiter im direkten Zusammenhang mit dem Shopfloor und der Organisationsebene Management. Da das Management ebenfalls in der KPI-Kategorie Organisation zum Tragen kommt, wird es im Folgenden nicht näher beleuchtet.

Cluster Mitarbeiter

Das Cluster Mitarbeiter unterteilt sich in drei Subcluster: *Arbeitsorganisation*, *Arbeitsbedingung* und *Mitarbeiterentwicklung*. Für diese existieren verschiedene Zielgrößen und entsprechende Beispiele für KPIs. Die Erläuterungen sind Tabelle 5-17 zu entnehmen.

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
ARBEITSORGANISATION SHOPFLOOR		
Arbeitsteilung	Trennung von Aufgaben für bestimmte Einheiten (Abteilungen, Personen, Arbeitsgemeinschaften) (Schlick et al., 2018, S. 536)	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungsdauer pro Aufgabe [min/Stk.] • Anzahl Aufgaben je Arbeitseinheit
Räumliche Flexibilität	Dezentralisierung und Entzerrung des Arbeitsraums durch neue Technologien (Ittermann et al., 2015, S. 57; Thiemann & Kozica, 2019, S. 727 f.)	<ul style="list-style-type: none"> • Anteil der Reisezeit [%]
Zeitliche Flexibilität	Ausweitung und Entzerrung der Projektarbeit durch neue Arbeitsmodelle (Havighorst, 2006, S. 35; Ittermann et al., 2015, S. 57; Thiemann & Kozica, 2019, S. 727 f.)	<ul style="list-style-type: none"> • Teamerreichbarkeit [%]
Arbeitssicherheit	Betriebliche Sicherheit, insbesondere für Mitarbeiter im Shopfloor (Havighorst, 2006, S. 35)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl von Unfällen [Stk./Jahr]
Hierarchie	Ausrichtung der Arbeitsorganisation im Sinne einer Schwarm-Organisation (nicht-hierarchisch, kollektive Intelligenz) oder Polarisierung (Trennung in hochqualifizierte, dispositive und niedrigqualifizierte, ausführende Ebene) (Hirsch-Kreinsen, 2014, S. 23–27)	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgeführte Mitarbeiterschulungen [%] (Gottmann, 2019, S. 108)
ARBEITSBEDINGUNG		
Mitarbeiterzufriedenheit	Die Mitarbeiterzufriedenheit wird durch äußere und innere Bedingungen sowie feste Rahmenbedingungen beeinflusst. Faktoren wie der Standort sind nicht direkt beeinflussbar, jedoch Maßnahmen wie Kinderbetreuung oder Freizeitgestaltung fördern die Zufriedenheit (Gottmann, 2019, S. 57)	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeiterzufriedenheitsindex [-100;+100] (Havighorst, 2006, S. 35)
Akzeptanzbereitschaft	Akzeptanzprobleme treten häufig bei Modernisierungsmaßnahmen auf. Dies kann sowohl auf technische als auch organisatorische Veränderungen zurück zu führen sein (Ortmann & Guhlke, 2014, S. 20)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Nützlichkeit einer System-/Technologieeinführung [0;100] (Schmaltz, 2009, S. 70) • Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit [0;100] (Schmaltz, 2009, S. 70) • Social well-being: wahrgenommene Auswirkung der Technologie auf soziales Wohlbefinden [0;100] (Vuorikari et al., 2016, S. 9)

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
Motivation	Die Motivation umfasst die Leistungsbereitschaft und indirekte Antriebskräfte (Sariguel, 2021; Schütze, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Motivation [0;10]
Selbstständigkeit	Die Selbstständigkeit meint das autonome Handeln der Mitarbeiter in ihrem Arbeitstag (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 80)	<ul style="list-style-type: none"> • Selbstständigkeitsquote: Verhältnis der Aufgaben mit autonomen Handlungsspielräumen zu allen Aufgaben [%]
Beteiligung	Durch das Ermöglichen von eigenem Entscheidungsspielraum kann ein Mitarbeiter sich in einen Entwicklungsprozess einbringen (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 67–69)	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserungsvorschläge je Mitarbeiter [Stk./Mitarbeiter] (Gottmann, 2019, S. 112; Havighorst, 2006, S. 38)
Verantwortlichkeit	Die Verantwortlichkeit setzt die Rahmenbedingungen, um Selbstständigkeit und Beteiligung der Mitarbeiter zu ermöglichen (Ortmann & Guhlke, 2014, S. 7)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Verantwortung bei Mitarbeitern [0;10]
Ergonomie	Der Fokus liegt auf dem Problem des Bewegungsmangels, der Sitzposition und körperlichen Belastungen, die durch die Gestaltung des Arbeitsplatzes und der Arbeitsbedingungen optimiert werden sollen (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 80; Thiemann & Kozica, 2019, S. 726)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl medizinischer Vorfälle je Monat [Stk. /Monat] • Auslastung von höhenverstellbaren Arbeitstischen [%]
Komplexität der Aufgaben	Komplexität der Aufgaben bezieht sich auf die Art der Aufgaben. Nicht-monotone und anspruchsvolle Aufgaben können die Motivation steigern (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 80)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Aufgabenkomplexität [0;10]
Variabilität der Aufgaben	Variabilität der Aufgaben bezieht sich auf die Häufigkeit von (wiederkehrenden) Aufgaben. Sie kann die Motivation steigern (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 80), aber auch eine höhere Belastung erzeugen	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenvariabilität: Quote von wiederkehrenden Aufgaben [%]
Arbeitsklima	Spiegelt die individuell und subjektiv-wahrgenommene Zusammenarbeit im Unternehmen bzw. der Abteilung wider	<ul style="list-style-type: none"> • Fluktuationsquote von Mitarbeitern [%] (Havighorst, 2006, S. 37)
Physische Beanspruchung	Bildet die starke körperliche Belastung im Arbeitsalltag ab (Havighorst, 2006, S. 35; Schütze, 2016, S. 39)	<ul style="list-style-type: none"> • Ausfälle durch physische Überbelastung [Stk. /Monat]
Psychische Beanspruchung, Leistungsabforderung und Stress	Individuelle Empfindung bei der Bearbeitung von Aufgaben abhängig von der Art (z. B. monotone Aufgaben) und dem Leistungsdruck/Stress (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 38; Havighorst, 2006, S. 35; Schütze, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommener Leistungsdruck [0;10] • Wahrgenommene Eintönigkeit der Aufgaben [%]

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
MITARBEITERENTWICKLUNG		
Qualifikationsentwicklung	<p>Qualifikationen sind prüfbare Kenntnisse und Fähigkeiten aus einem bestimmten Tätigkeitsbereich (Hausegger et al., 2016). Hierbei sind grundsätzlich zwei Strategien möglich (Hirsch-Kreinsen & Hompel, 2020):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Upgrading von Qualifikationen: Lernfortschritt aller Mitarbeiter in Form von einer Aufwertung aller Tätigkeiten und Qualifikationsniveaus • Polarisierung von Qualifikationen: mittlere Qualifikationsebene wird substituiert <p>Die Art der Qualifizierung lässt sich wie folgt unterteilen (Wenking et al., 2016, S. 848):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technikorientiertes Verständnis • Prozessorientiertes Verständnis • Anpassungsfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgeführte Mitarbeiter Qualifikationen [%] • Qualifikationsbedarf von Mitarbeitern [%] • Jährliche Schulungen zur Steigerung der Digitalisierungskompetenzen der Mitarbeiter in Verwaltungsbereichen [%] (Schumacher & Sihm, 2020, S. 1313)
Kompetenzentwicklung	<p>Auch als überfachliche Qualifikationen bezeichnet, die selbstgesteuertes Handeln befähigen (Hausegger et al., 2016, S. 45). Nach Weiland (Weiland, 2013, S. 72) existieren folgende Kategorien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fachlich-methodische Kompetenzen • Sozial-kommunikative Kompetenzen • Personale Kompetenzen • Aktivitäts- und umsetzungsorientierte Kompetenzen • Kognitive Kompetenzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Informationstechnisches Wissen [0;10] (Weiland, 2013, S. 72) • Durchgeführte Mitarbeiterschulungen [%] (Gottmann, 2019, S. 108) • Mitarbeiterproduktivität [%](Gottmann, 2019, S. 107) • Auslastungsgrad [%] (Gottmann, 2019, S. 156) • Assoziationsfähigkeit [0;10] (Weiland, 2013, S. 72) • Reaktionsfähigkeit [0;10] (Weiland, 2013, S. 72) • Digitalisierungskompetenzen der Mitarbeiter in der Produktion [%] (Schumacher & Sihm, 2020, S. 1313)

Tabelle 5-17: KPI-Cluster Mitarbeiter aus der KPI-Kategorie Mensch

Cluster Partner

Das Wertschöpfungsnetzwerk wird im Bereich KPI-Cluster Partner abgebildet. Um die Komplexität zu reduzieren, wurden vier Subcluster fokussiert (siehe Tabelle 5-18). Alle Partner für die Produktion und Produktionsentwicklung werden im Subcluster *Partner für die Produktion* beleuchtet. Aufgrund der Heterogenität aller Branchen wird nicht unterschieden, ob es Partner für Materialbeschaffung, Werkzeuge, Verpackung oder Ähnliches sind. Eine konkrete Ausgestaltung der Zielgrößen mit entsprechenden KPIs ist vom jeweiligen Unternehmen zwingend erforderlich. Das zweite Subcluster betrachtet die Beziehung zu den Wertschöpfungspartnern im Bereich *Transport und Logistik*. Ein weiteres Subcluster schließt alle *Interaktionen mit dem Endkunden* von Wertschöpfungspartner zum Zweck der Beratung, Verkauf oder ergänzende Dienstleistungen ein. Übergeordnet wird abschließend die Effizienz der *Kommunikation* in den

Fokus gestellt. Die technische Seite der Kommunikation wird in dem entsprechenden Technologiefeld der KPI-Kategorie Technik beleuchtet.

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
PARTNER FÜR DIE PRODUKTION		
Materialbeschaffung	Beziehung zu Produktionspartnern für Einzelteile, Baugruppen, Halbprodukte, Fertigprodukte (Gottmann, 2019, S. 64)	<ul style="list-style-type: none"> • Fremdfertigungsanteil [%]
Werkzeug- & Maschinenbeschaffung	Beziehung zu Partnern für Maschinen, Werkzeuge und Verschleißteile	<ul style="list-style-type: none"> • Verschleißrate [Stk. /Monat] • Bestelldauer [Tag]
Personalressourcen	Beziehung zu Dienstleistungspartnern für alle die Produktion betreffenden Themen wie Wartung, Instandhaltung, aber auch unterstützende Produktion	<ul style="list-style-type: none"> • Wartungsintervall [Tage] • Durchschnittliche Reparatur-Zeiten [Std.] (Gáspár et al., 2022, S. 197) • Quote von festangestellten Mitarbeitern zu externen Dienstleistern in der Produktion [Stk./Stk.]
Energiressourcen	Beziehung zu Energieanbietern oder Partnern für eigene erneuerbare Energien	<ul style="list-style-type: none"> • Energiekosten für Produktionsprozess [€/ Stk.] • Verhältnis von externer Energie zu eigen erzeugter Energie [kWh/kWh]
Versorgungssicherheit	Ressourcen jeglicher Art (Material, Werkzeug, Energie etc.) muss in der gebenden Menge und in einem definierten Zeithorizont verfügbar sein (Gottmann, 2019, S. 68)	<ul style="list-style-type: none"> • Materialverfügbarkeit [%] (Gottmann, 2019, S. 114) • Handling-Fehlerquote: Anteil fehlerhafter Lieferungen [%] (Gottmann, 2019, S. 116) • Engpässe [%] (Gottmann, 2019, S. 64)
Produktperspektive	Auf Basis des Individualisierungsgrads, der Produktkomplexität und der Variantenvielfalt von den Produkten sind unterschiedliche Aspekte bei Produktionspartnern relevant	<ul style="list-style-type: none"> • Nachfragevolatilität [1;10] • Flexibilität der Produktionspartner [1;10]
PARTNER FÜR TRANSPORT UND LOGISTIK		
Wareneingang	Beginnt bei der Bestellung auf Basis der Mengen an eigenen, eingelagerten Ressourcen (auch Teilprodukte) für die Produktion, Warenannahme, Qualitätskontrolle und endet bei der Einlagerung nach Freigabe	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederbeschaffungszeit (Gottmann, 2019, S. 92) • Bestellmengen • Fehleranteil Wareneingang [%] (Gottmann, 2019, S. 94)
Warenausgang	Alle Interaktionen, die durch eine Bestandsminderung ausgelöst werden	<ul style="list-style-type: none"> • Liegezeit [Tag] • Kapitalbindung [€]
Transport	Der tatsächliche Versand der Produkte durch einen Wertschöpfungspartner auf unterschiedlichen Wegen wird beleuchtet	<ul style="list-style-type: none"> • Transportkostenanteil [%] (Gottmann, 2019, S. 119) • Transportschäden [%] • Verfügbarkeit von Echtzeitinformationen über die

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
		Materiallieferung, Standort und Ankunftszeit [%] (Schumacher & Sihm, 2020, S. 1313)
PARTNER FÜR INTERAKTIONEN MIT DEM ENDKUNDEN		
Typ der Kundenintegration	Endkunden treten durch digitale Services sowie physischen Austausch mit Partnern in Kontakt (Schumacher & Sihm, 2020, S. 1313)	<ul style="list-style-type: none"> • Verhältnis von online zu stationären Verkäufen [Stk. /Stk.] • Vollständigkeit der Datensätze bei datengetriebenen Services [%]
Technische Kompetenz	Die technische Kompetenz von den Verkäufern in verschiedenen Vertriebskanälen (stationär/online) ist in einigen Branchen entscheidend (Bailey & Pearson, 1983, S. 532)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Kompetenz/Image des Fachhandels [1;10] • Kundenzufriedenheit [1;10]
Verhalten gegenüber Kunden	Primär im stationären Handel wird das Verhalten gegenüber von Kunden bewertet, ggf. auch bei Online-Kommunikation relevant (Bailey & Pearson, 1983, S. 532)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Freundlichkeit des Verkäufers [1;10] • Wahrgenommenes Stresslevel des Verkäufers [1;10]
Reaktionszeit	Dauer bis Aktivität (Bailey & Pearson, 1983, S. 532)	<ul style="list-style-type: none"> • Antwortzeit [h] (Will & Köppen, 2012, S. 761)
Transparenz	Maß wie offen und nachvollziehbar die Kundeninteraktion aus Sicht des Kunden gestaltet wurde	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Transparenz bei Kaufprozess [0;10]
KOMMUNIKATION		
Kommunikations-effektivität	Das Ziel der Kommunikation wird erreicht (resultatorientiert)	<ul style="list-style-type: none"> • Zufriedenheit: Kommunikation eines Partners [0;10]
Kommunikations-effizienz	Die Ressourcen werden richtig eingesetzt und der Prozess der Kommunikation ist entscheidend (prozessorientiert)	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer einer Kommunikation [h] • Eingesetzte technische Ressourcen je Auftrag/Aufgabe • Eingesparte Zeit je Auftrag [%]
Informationsqualität	Die Inhalte der Kommunikation lassen sich nach folgenden Faktoren bewerten: Vollständigkeit, Genauigkeit, Format, Aktualität (Wixom & Todd, 2005, S. 90)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl von Formaten je Kunde [Stk.] • Vollständigkeitsquote [%]
Systemqualität	Umfasst alle Faktoren, die für die Nutzung von technischen Kommunikationsmitteln relevant sind: Verlässlichkeit, Flexibilität, Integration, Zugänglichkeit, Rechtzeitigkeit (Wixom & Todd, 2005, S. 90)	<ul style="list-style-type: none"> • Systemausfallquote [%] • Usability [0;10]

Tabelle 5-18: KPI-Cluster Partner aus der KPI-Kategorie Mensch

Cluster Kunde

Der KPI-Katalog im Bereich Kunden orientiert sich an der Theorie *Customer Journey*. Diese beschäftigt sich mit der Kundenerfahrung entlang des Produktlebenszyklus aus verschiedenen Perspektiven: kognitiv,

affektiv, emotional und physisch (Verhoef et al., 2009). Die wiederholte Interaktion zwischen einem Anbieter und Kunden wird vor allem im Bereich des Service Management untersucht (Meroni et al., 2011), ist jedoch auf jegliche Interaktion wie beispielsweise einen Schuhkauf anzuwenden (Følstad & Kvale, 2018). Hervorzuheben ist, dass es sich hierbei um ein nichtlineares Muster in Form von sich ständig wiederholenden Zyklen handelt, wie in Abbildung 5-28 dargestellt (Grewal & Roggeveen, 2020). Somit erfolgt die Aufteilung der Subcluster in *Pre-Sales/Expectation*, *Sales/Experience* und *After-Sales/Overall Satisfaction* (siehe Tabelle 5-19).

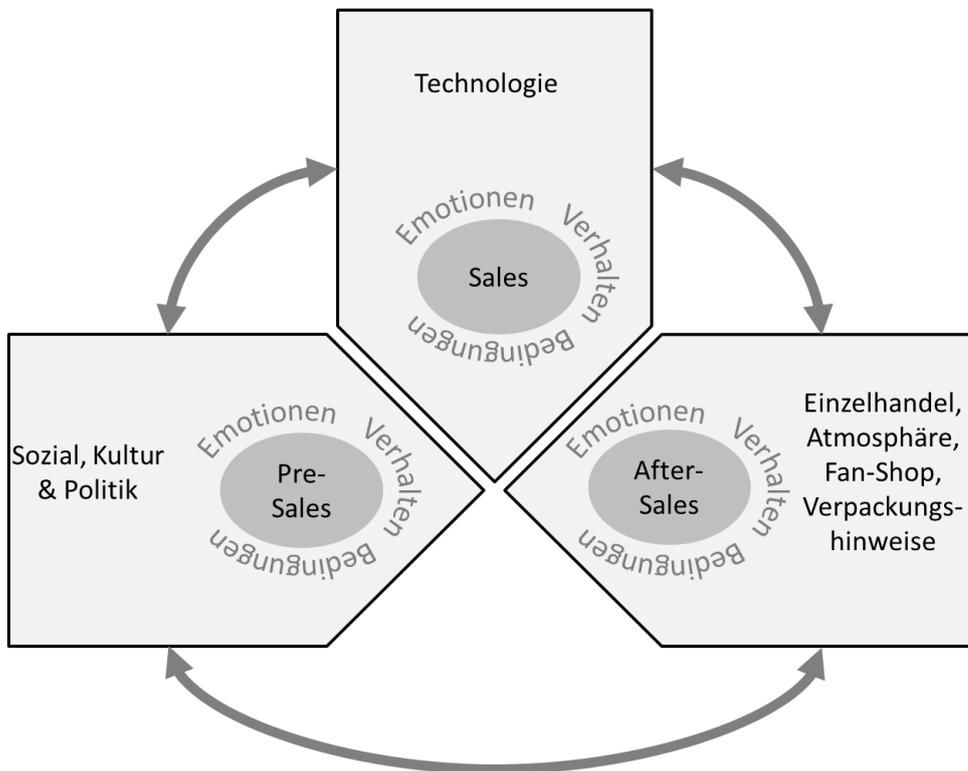


Abbildung 5-28: Retail Experience und Customer Journey Management (in Anlehnung an (Grewal & Roggeveen, 2020, S. 6))

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
PRE-SALES / EXPECTATION		
Kundeneinbindung	Anpassen von Produkten, Dienstleistungen und des Transaktionsumfelds aufgrund von Kundenvorlieben bzw. -wünschen (Gottmann, 2019, S. 64; Rahman et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Änderungsquote je Kunden [%] (Gottmann, 2019, S. 131)
Kundenbindung	Kanalübergreifende Aktivitäten des Unternehmens mit der Intention Kundenloyalität zu erzeugen (Rahman et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Antwortzeit [h] (Will & Köppen, 2012, S. 761)
Kaufvertrauen	Wahrnehmung des Kunden im Bereich Sicherheit und Privatsphäre im Sinne der Vermeidung von	<ul style="list-style-type: none"> • Abbruchrate bei Eingabe von personenbezogenen Daten [%] • Existenz von Ersatzsoftwarediensten im

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
	Informationsmissbrauch (Rahman et al., 2022, S. 9)	Falle eines Ausfall von Softwaresystemen [%] (Schumacher & Sihm, 2020, S. 1313)
Passive soziale Kommunikation	Aktivitäten in sozialen Medien von Influencern getriggert durch das Unternehmen (Rahman et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Reichweite der Influencer durch Anzahl der Follower [Stk.] • Anzahl der Reaktionen auf einen Beitrag mit Produktbezug [Stk. /Beitrag]
Aktive soziale Präsenz	Eine Person – Verkäufer oder auch ein anderer Kunde – tritt in eine verbale oder physische Interaktion mit dem Kunden (Grewal & Roggeveen, 2020).	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl von Verkaufsevents [Stk. /Monat] • Kundeninteraktion je Verkäufer [Stk. /Tag]
SALES / EXPERIENCE		
Kundeninteraktion	Transaktionsorientierte Kennzahlen bezogen auf alle Kundeninteraktionen im Kaufprozess (Bruhn, 2020, S. 79)	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungszeit pro Anfrage [h/Auftrag] (Gottmann, 2019, S. 128)
Technologiepräsenz	Einsatz verschiedener Technologien für den Verkauf: In-Store Technologien, Mobile Technologien, Social Media, KI, IoT etc. (Grewal & Roggeveen, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Social Media: Anzahl der Kommunikationskanäle [Stk.] • In-Store-Technologien: Aufenthaltszeit von Kunden auf der Verkaufsfläche [min] • Nutzungsrate KI-basierter Empfehlungen von Kunden [%]
Produktqualität	Vom Kunden subjektiv wahrgenommene Qualität des Produktes bzw. Grad der Erfüllung von Anforderungen an das Produkt	<ul style="list-style-type: none"> • Kundenbewertungen auf Kaufplattformen [0;5] • Qualitätssupport-Anfragen: Anfragen an einen Qualitätsmanager zu Anzahl beschädigter Produkte je Fabrik (Gáspár et al., 2022, S. 197)
Servicequalität	Vom Kunden subjektiv wahrgenommene Qualität der Dienstleistung bzw. Grad der Erfüllung von Anforderungen an die Dienstleistung	<ul style="list-style-type: none"> • Kundenbewertungen auf Kaufplattformen [0;5] • Beschwerdequote bezogen auf Service über Kontaktformulare [%] • Verkaufseffizienz: Verhältnis von aktuellem Verkaufsintervall zu durchschnittlichen Abständen von Verkäufen [Stk. /min²] (Gáspár et al., 2022, S. 197)
Angebotskonsistenz	Betrifft die Produktverfügbarkeit und Preisgestaltung stationär und im Onlinehandel (Rahman et al., 2022, S. 9)	<ul style="list-style-type: none"> • Produktverfügbarkeit [%]

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
Kaufabbruch	Aktive oder passive Beendigung des Kaufs aufgrund von emotionalen Erfahrungen, technischen Problemen oder äußeren Einflüssen	<ul style="list-style-type: none"> • Kaufabbruch im Online-Shop [%] • Kaufrate: Käufe pro Tag im Verhältnis zu Besuchern im Geschäft [%]
AFTER-SALES - OVERALL SATISFACTION		
Lieferung	Umfasst alle Aspekte der Auslieferung von z. B. Termintreue, Verpackung, Zustellservice (Grewal & Roggeveen, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Termintreue prozentual [%] (Gottmann, 2019, S. 128) • Auslieferung nach bestätigter Frist: rechtzeitig fertiggestellte Kanban-Aufträge im Verhältnis zu der Summe aller Kanban-Aufträge [Stk. /Stk.] (Gáspár et al., 2022, S. 197) • Reklamation aufgrund Verpackungsbeschädigung [Stk. /Produkt]
Reklamation	Umfassen Handlungen eines Kunden hinsichtlich der Abwicklung der Produktrückgabe oder Umtausch (Rahman et al., 2022, S. 9)	<ul style="list-style-type: none"> • Reklamationsquote [%] (Gottmann, 2019, S. 130) • Rücksendungsquote [%] (Gottmann, 2019, S. 130)
Entsorgung	Alle Handlungen des Kunden und Angebote des Anbieters am Ende eine Produktlebenszyklus	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentuale Nutzung des Recycling-Services [%]
Kundenzufriedenheit	Ist auf eine bestimmte Transaktion bezogen und erfasst die Erfüllung der Bedürfnisse/Erwartungen eines Kunden (Bentes et al., 2012, S. 1794; Schäfer, 1999, S. 147)	<ul style="list-style-type: none"> • Unzufriedenheitsquote [%] (Gottmann, 2019, S. 131)
Kundenloyalität	Beziehungsorientiertes Konstrukt, welches die Bereitschaft eines Kunden zu einer dauerhaften Kaufbeziehung umfasst (Schäfer, 1999, S. 147)	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederkauftrate [%]
Vertrauen	Gilt als Mediator zwischen Zufriedenheit und Loyalität und umfasst die Dimensionen Glaubwürdigkeit, Wohlwollen und Problemlösungsbereitschaft (Schäfer, 1999, S. 153)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommenes Unternehmensimage [0;5]
Kundenfeedback	Rückmeldungen des Kunden zum Kauf in Form von Bewertungen, Rezensionen und direkte Rückmeldungen	<ul style="list-style-type: none"> • Sternebewertung auf Verkaufsplattform [0;5] (Grewal & Roggeveen, 2020)

Tabelle 5-19: KPI-Cluster Kunden aus der KPI-Kategorie Mensch

5.2.3.2 KPI-Kategorien im Bereich Technik

Die KPI-Kategorien im Bereich Technik orientieren sich an den Technologiefeldern von Bischoff et al. (2015), die bereits verdichtet in dieser Methode verwendet wurden (siehe *Technologie- und Potentialfelder*, S. 95 ff). Im Folgenden werden die KPI-Cluster *Kommunikation*, *Mensch-Maschinen-Schnittstellen*, *Software & Systemtechnik*, *Sensorik*, *Aktorik & Eingebettete Systeme* sowie *Standards & Normungen* nacheinander beleuchtet.

Cluster Kommunikation

Häufig erfolgt eine einzelne Kommunikation bidirektional. Sie ist jedoch einem Kommunikationsnetz zugeordnet. Dementsprechend werden in diesem Subcluster die Akteure (*Knoten des Netzes*), die einzelnen Kommunikationen (*Kanten*), die Art und Weise (*Kanäle*) der Kommunikation sowie die *Sicherheit* beleuchtet. Dies wird in Tabelle 5-20 vertieft.

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
KOMMUNIKATIONSKNOTEN		
Mensch	Das Individuum kommuniziert entweder auf verschiedene Weise mit anderen Menschen oder durch eine entsprechende Benutzeroberfläche mit Maschinen und Systemen	<ul style="list-style-type: none"> • Verhältnis der Kommunikation mit Menschen und Maschinen je Mitarbeiter [%; %] • Zufriedenheit über Kommunikationsaufteilung (Mensch, Maschine, System) von Mitarbeitern [0;10]
Maschine	Technisches System, welche die Fähigkeit besitzt mit anderen Maschinen oder Menschen zu kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentualer Anteil an kommunikationsfähigen Maschinen in der Produktion [%] • Prozentualer Anteil von kommunikationsfähigen Maschinen in die automatisierte Kommunikation [%]
System	Ein Softwaresystem wird häufig zur Vereinfachung auch als Maschine gelabelt, kann aber auch separat betrachtet werden	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentuale Ausfalldauer des Systems mit eingeschränkter Erreichbarkeit [%]
Intern	Einordnung der Akteure/Knoten zu dem eigenen Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> • Gemittelte Verteilung der internen im Vergleich zur externen Kommunikation in einer Abteilung [%] • Zufriedenheit der Mitarbeiter mit interner Kommunikation [0;10]
Extern	Einordnung der Akteure/Knoten zu anderen Organisationen, Unternehmen oder Einrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Gemittelte Verteilung der externen im Vergleich zur internen Kommunikation in einer Abteilung [%] • Zufriedenheit der Mitarbeiter mit externer Kommunikation [0;10]
Verbindung	Unterschiedliche technische Realisierungen wie Bus-Technologie, drahtlose	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentuale Auslastung der Datenverbindung [%]

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
	Kommunikation oder drahtgebundene Hochleistungskommunikation bedingen verschiedene KPIs (Schumacher et al., 2016, S. 14)	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer der Ausfälle der Verbindung im Betrieb [%]
KOMMUNIKATIONSKANTEN		
Mensch-zu-Mensch	Der Fokus liegt auf dem Transport von Nachrichten bei der selten eine elektronische Datenverarbeitung zustande kommt (Feger et al., 2016, S. 9)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Zufriedenheit mit der Mensch-zu-Mensch-Kommunikation von Mitarbeitern [0;10] • Effizienz der Mensch-zu-Mensch-Kommunikation: erfolgreich gelabelte Treffen im Verhältnis zu allen Treffen einer Abteilung [%]
Mensch-zu-Maschine	Ein Mensch bedient eine Maschine bzw. System und seine Funktionen über eine entsprechende Schnittstelle (Feger et al., 2016, S. 9)	<ul style="list-style-type: none"> • Usability der Benutzeroberfläche [0;10]
Maschine-zu-Maschine	Eine Maschine hat Einfluss auf die Funktionsweise einer anderen Maschine. Die autonome Kommunikation legt eine elektronische Datenverarbeitung auf beiden Seiten zu Grunde, die maximal von einem Menschen überwacht wird (Feger et al., 2016, S. 9)	<ul style="list-style-type: none"> • Effektivität der Kommunikation: Ausfälle, Produktionsfehler, Störungen im Produktionsprozess je Arbeitsschritt [%]
KOMMUNIKATIONSKANÄLE		
Face-to-Face	Persönliche Treffen von zwei oder mehreren Personen, die einem oder verschiedenen Unternehmen angehören können	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl Face-to-Face-Treffen je Projekt im Monat [Stk./Monat] • Wahrgenommen Zufriedenheit von Face-to-Face-Treffen [0;10]
Telefonie/Fax	Klassischer und etablierter Kommunikationskanal durch die Nutzung von Telefon und Fax (Gronau, 2021, S. 119)	<ul style="list-style-type: none"> • Telefon-Quote: gemittelte Stunden pro Mitarbeiter in einer Abteilung je Arbeitswoche [%] • Fax-Bestell-Quote: Verhältnis von Bestellungen über Fax zu E-Mail [%]
Post	Postalisch verschickter Schriftverkehr wird vor allem für rechtsverbindliche Kommunikation in Form von Verträgen genutzt (Gronau, 2021, S. 119)	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer eines Unterschriftsprozesses über Unternehmensgrenzen hinweg per Post [Tage]
E-Mail	Elektronische Mitteilungen bilden eine wichtige Basis der Kommunikation im Berufsalltag (Gronau, 2021, S. 119)	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenz von E-Mails über Verteiler [Stk./Woche] • E-Mail-Auslastung: gemittelte Anzahl der E-Mails

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
Internet	Umfassen Webseiten/Portale, Webformulare, Chats, Voice-over-IP sowie mobile Endgeräte (Gronau, 2021, S. 119)	<p>pro Person je Abteilung [Stk. /Woche]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abbruchrate eines Webformulars [%] • Nutzung von internen Chats: gemittelte Stunden pro Mitarbeiter in einer Abteilung je Arbeitswoche [%]
SICHERHEIT		
Verfügbarkeit	Anwendungs- und prozessgerechtes (synchron, asynchron/“on Demand“) Einhalten eines vorgegebenen Zeitraumes, d. h. Zurverfügungstellung von Informationen oder deren Transport mit vorab definierten Zeitverhalten, z. B. „Just-in-Time“, „Just-in-Sequence“ (Feger et al., 2016, S. 9, 11)	<ul style="list-style-type: none"> • Quality of Service: technische Dienstgüte [1;10] (Feger et al., 2016, S. 11) • Häufigkeit von Störungen, Manipulationen oder Ausfällen [Stk. /Monat] (Feger et al., 2016, S. 12)
Integrität	Benutzer- und Identitätsmanagement, Datenverschlüsselung und Signaturen (Feger et al., 2016, S. 9 f.) sind wichtige Maßnahmen gegen das Eindringen von Außenstehenden oder die Manipulation, Störung sowie unbefugter Abruf von Daten oder Software (Hoffmann-Riem, 2010, S. 169)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Integrität der Onlineportale durch den Kunden [0;10]
Vertraulichkeit	Schutz der Daten und Informationen gegenüber unberechtigter Dritter, auch gegenüber des Staates (Hoffmann-Riem, 2010, S. 169). Betrifft vor allem die Herausforderungen beim Transport von Daten über mehrere Kommunikationspartner hinweg (sog. Man-In-The-Middle-Szenarien) (Feger et al., 2016, S. 9, 15)	<ul style="list-style-type: none"> • Verteilung der Kommunikation in „Vertraulich Intern“, „Vertraulich Geschäftspartner“ oder „Öffentlich“ [%, %, %] (Feger et al., 2016, S. 15) • Wahrgenommene Vertraulichkeit der Dateneingaben im Onlineshop durch den Kunden [0;10]

Tabelle 5-20: KPI-Cluster Kommunikation aus der KPI-Kategorie Technik

Cluster Mensch-Maschinen-Schnittstellen

Die Bedienung der Technologie über eine geeignete Mensch-Maschinen-Schnittstelle ist entscheidend. Geclustert wird diese KPI-Kategorie in *Funktionsteilung*, *Arbeitsleistung* und *Gebrauchstauglichkeit* (siehe Tabelle 5-21). Die Subcluster sind durch folgende Leitfragen voneinander abzugrenzen und werden anschließend in Tabellenform detailliert beschrieben:

- *Funktionsteilung*: Welche Aufgabe wird mit der Mensch-Maschinen-Schnittstelle abgebildet?
- *Arbeitsleistung*: Welche Auswirkung hat die Mensch-Maschinen-Schnittstelle?
- *Gebrauchstauglichkeit*: In welcher Art und Weise agiert die Mensch-Maschinen-Schnittstelle?

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
FUNKTIONSTEILUNG		
Kontrolle/Überwachung	Betrifft die Leistungs- und Verhaltenskontrolle sowie die Zustandsüberwachung der Maschinen und Komponenten im Produktionsprozess (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 31, 57)	<ul style="list-style-type: none"> • Störungen von Maschinen [Stk. /Monat] • Materialverbrauch [kg]
Steuerung	Vereinfachung und Automatisierung von der Steuerung von Maschinen und Fabrikanlagen (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 56)	<ul style="list-style-type: none"> • Quote von (an-)steuerbaren Maschinen [%] • Automatisierungseffektivität: Ergebnis im Vergleich zum Ziel [%] • Automatisierungseffizienz: Ergebnis im Vergleich zum Aufwand [%]
Diagnose	Nutzung der Maschinendaten, um einen Fehlerursprung zu identifizieren und Lösungsmöglichkeiten auf verschiedene Weise zu kommunizieren via Ferndiagnose, Teleservice oder Remote Support (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 56 f.)	<ul style="list-style-type: none"> • Fälle von Ferndiagnosen [Stk. /Monat] • Einsparung durch Remote Support (Arbeitszeit, Reisekosten) [€/Monat]
Eingreifen	Der Mensch trägt die Verantwortung für das Eingreifen in den Prozess (VDI_3699, 2015), kann aber durch eine Mensch-Maschinen-Schnittstelle unterstützt werden	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung von MM-Schnittstellen beim Prozesseingriff [Stk. /Monat]
ARBEITSLEISTUNG		
Entlastung	Reduzierung der physischen und physischen Belastungen (Lay, 2000, S. 39)	<ul style="list-style-type: none"> • Ausfälle durch physische Überbelastung: Dauer der Ausfälle zur gesamten Arbeitszeit [%] • Wahrgenommene Reduzierung der physischen Belastung [0;10]
Arbeitsbedingung	Verbesserung der Arbeitsbedingung durch Assistenzsysteme und einer aktiven Unterstützung bzw. Befähigung von Mitarbeitenden (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 56 f.)	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenbereich: Quote der Mitarbeiter, die eine gesamte Montagelinie bedienen können [%] (Dispan & Schwarz-Kocher, 2018, S. 57)
Produktivität	Erhöhung der Arbeitsleistung durch Nutzung von Mensch-Maschinen-Schnittstellen (Lay, 2000, S. 39)	<ul style="list-style-type: none"> • Produkt-Output [Stk. /Monat] • Prozessverkürzung [min]

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
Fehlerreduzierung	Verringerung von Fehlern im Prozess oder am Produkt durch Funktionsteilung	<ul style="list-style-type: none"> • Produkt-Fehlerquote [%] oder [Stk. /Monat]
GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT		
Transparenz	Die Systeme sollen für den Bediener nachvollziehbar sein (Ortmann & Guhlke, 2014, S. 12 f.)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Systemtransparenz [0;10] • Zuordenbarkeit von Handlungsakteuren je Bearbeitungsprozess
Flexibilität	Befähigt Bediener Maschinen im Produktionsprozess flexibler einzusetzen (Lay, 2000, S. 39)	<ul style="list-style-type: none"> • Auslastung der Maschinen [%] • Prozentualer Anteil von Produktionsprozessen mit kurzfristiger Umplanung mittels MM-Schnittstelle [%]
Bedienbarkeit	Art und Weise der Kommunikation durch visuelle, gestische oder sprachliche Elemente (Lay, 2000, S. 39)	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentuale Verteilung der Nutzung parallel-existierender Bedienungselemente [%; %; %] • Wahrgenommene Bedienbarkeit [0;10]
Systemvertrauen	Die automatisierten Handlungen eines Systems werden von den Bedienern akzeptiert (Ortmann & Guhlke, 2014, S. 12)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommenes Systemvertrauen [0;10]
Darstellung	Bereitstellung der relevanten Informationen (Sariguel, 2021) zur schnellen Erfassung	<ul style="list-style-type: none"> • Informationsdichte je Ansicht [Stk. /Ansicht] • Gemittelte Dauer zur Erfassung aller relevanten Informationen je Ansicht [Sek. /Ansicht]

Tabelle 5-21: KPI-Cluster Mensch-Maschinen-Schnittstellen aus der KPI-Kategorie Technik

Cluster Software- & Systemtechnik

Insbesondere die *Qualität* und *Sicherheit* der Software oder deren Komponenten können durch die Standardisierung ISO 25010 (2011) überprüft werden. Ein weiteres relevantes Subcluster bildet die *Integration* in die bestehende Landschaft. Die entsprechende Beschreibung erfolgt in Tabelle 5-22.

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
INTEGRATION		
Gegenstand	Beschreibt die Elemente, die integriert werden sollen: Daten, Funktionen, Vorgänge, Methoden und Systeme (Gronau, 2021, S. 6)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der integrierten Funktionen in ein neues System [Stk.]
Reichweite	Tiefe der Vernetzung auch über Unternehmensgrenzen hinweg, die funktions- und prozessübergreifend ausgerichtet sein kann (Gronau, 2021, S. 5)	<ul style="list-style-type: none"> • Digitaler Reifegrad [%] (Krol et al., 2021, S. 32) • Reichweite: prozentuale Anzahl von Kunden, die integrierte Funktionen nutzen [%]

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
Richtung	Unterschieden wird in horizontale (entlang der Wertschöpfung) oder vertikale Integration (durch Planung & Steuerung und Administration & Disposition hindurch) (Gronau, 2021, S. 6)	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeiteranteil, der digitale Technologie am Arbeitsplatz nutzt [%] (Krol et al., 2021, S. 33) • Interne Kollaboration: Mitarbeiteranteil, der mittels Technologie zusammenarbeitet [%] (Krol et al., 2021, S. 33) • Prozentualer Anteil der Nutzung von Stammdaten in anderen Abteilungen [%] (Krol et al., 2021, S. 34)
Beziehung	Unterscheidet eine geplante lose oder enge Kopplung von Softwaresystemen (Hahn, 1997, S. 7)	<ul style="list-style-type: none"> • Lose Kopplung: Anzahl neuer Schnittstellen [Stk.]
Umfang	Grad der Integration von Gegenständen in ein entsprechendes System, ggf. sind Integrationsinseln/partielle Integration sinnvoll (Gronau, 2021, S. 6)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl von Integrationsinseln [Stk.] (Gronau, 2021, S. 6) • Status der partiellen Integration [%]
Ebene	Beleuchtet die Integration in den Bereichen Prozesse, Modelle und Daten (Hahn, 1997, S. 7)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl neu integrierter Prozesse im Monat [Stk./Monat]
QUALITÄT		
Funktion als Eignung	Grad der Eignung einer Funktion ein Bedürfnis unter bestimmten Bedingungen zu erfüllen (ISO 25010, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionale Vollständigkeit: Erfüllungsgrad der Benutzerziele [%] (ISO 25010, 2011) • Funktionale Korrektheit: Richtigkeit der Ergebnisse des Systems [%] (ISO 25010, 2011) • Funktionale Angemessenheit: Grad der Erleichterung von Aufgabenabarbeitung durch das System [%] (ISO 25010, 2011)
Leistungseffizienz	Betrachtet die Leistung des Systems im Verhältnis zu den eingesetzten Ressourcen unter Beachtung des Zeitverhaltens, des Ressourceneinsatzes und der Kapazität (ISO 25010, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitverhalten: Reaktions- und Verarbeitungszeiten [min / Stk.] (ISO 25010, 2011) • Ressourcennutzung: tatsächlich eingesetzte Ressourcen im Verhältnis zu vorab definierten [%] (ISO 25010, 2011) • Kapazität: maximaler Ausschlag von Parametern im Verhältnis zu vorab definierten Grenzen (ISO 25010, 2011)

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
Kompatibilität	Wie gut kann ein System Informationen austauschen, Funktionen ausführen oder mit anderen Systemen kommunizieren, während es dieselbe Hardware- oder Softwareumgebung nutzt (ISO 25010, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Koexistenz: Grad der Ausführung von Funktionen in einer gemeinsamen Umgebung ohne nachteilige Auswirkungen auf ein anderes Produkt [%] (ISO 25010, 2011) • Interoperabilität: Grad in dem mehrere Systeme Informationen nutzen und austauschen können [%] (ISO 25010, 2011)
Benutzerfreundlichkeit	Die Art und Weise der Gestaltung eines Systems, um von Nutzern effektiv, effizient, risikofrei und zufriedenstellend verwendet zu werden (ISO 25010, 2011). Insbesondere spielt die Visualisierbarkeit von Daten- und Informationen eine entscheidende Rolle	<ul style="list-style-type: none"> • Erkennbare Angemessenheit: wahrgenommene Zufriedenheit mit dem System [0;10] (ISO 25010, 2011) • Erlernbarkeit der Systemfunktionen [0;10] (ISO 25010, 2011) • Bedienbarkeit: wahrgenommene Beherrschbarkeit des Systems [0;10] (ISO 25010, 2011) • Verständlichkeit: Grad der intuitiven Verständlichkeit der Visualisierungen [0;10]
Verlässlichkeit	Ein System bietet konkrete Funktionen unter definierten Bedingungen über einen bestimmten Zeitraum an (ISO 25010, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Reifegrad: aktuelle Erfüllung der Anforderungen [%] (ISO 25010, 2011) • Verfügbarkeit: Zugänglichkeit bei Bedarf [%] (ISO 25010, 2011) • Wiederherstellbarkeit: Grad, zu dem ein System nach einer Störung oder eines Ausfalls in einen gewünschten Zustand gesetzt werden kann [%] (ISO 25010, 2011)
Wartbarkeit	Beleuchtet, wie effizient und effektiv ein System verbessert oder geändert werden kann (ISO 25010, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Modularität: Grad, wie modular die Software aufgebaut ist [%] (ISO 25010, 2011) • Wiederverwendbarkeit: Grad, inwieweit Assets wiederverwendet werden können [%] (ISO 25010, 2011)
Übertragbarkeit	Effektivität und Effizienz mit dem ein System oder eine Komponente auf eine andere Betriebs- oder Nutzungsumgebung übertragen werden kann (ISO 25010, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassungsfähigkeit: Grad der Möglichkeit ein System an eine andere Umgebung anzupassen [%] (ISO 25010, 2011)

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
SICHERHEIT		
IT-Sicherheit	Schutz von IKT-Systemen (Schumacher et al., 2016, S. 15)	<ul style="list-style-type: none"> • Ersetzbarkeit: Grad der Austauschbarkeit eines Systems für denselben Zweck [%] (ISO 25010, 2011)
Datensicherheit	Maßnahmen zur Datensicherheit, um Daten vor Verlust, Manipulation und Ähnlichem zu schützen (Ortmann & Guhlke, 2014, S. 6)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl registrierter Angriffe von außen [Stk. /Jahr] • Wahrgenommene Vertraulichkeit [0;10] (ISO 25010, 2011; Ortmann & Guhlke, 2014, S. 6) • Datenintegrität: Quote der Verhinderung von unbefugten Zugriffen [%] (ISO 25010, 2011; Ortmann & Guhlke, 2014, S. 6) • Authentizität: Grad, in dem die Identität eines Objekts verifiziert werden kann (ISO 25010, 2011) • Nachvollziehbarkeit: Quote der Rückführbarkeit einer Handlung auf eine Einheit [%] (ISO 25010, 2011) • Umgang: Verständnis von IT-Sicherheitsvorschriften der Mitarbeiter [ja/nein] (Krol et al., 2021, S. 33)
Datenschutz	Fokussierung der Datensicherheit auf personenbezogene Daten (Künzel & Meier zu Köcker, 2015, S. 4)	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommener Datenschutz von Kunden [0;10] • Wahrgenommener Datenschutz von Mitarbeitern [0;10]

Tabelle 5-22: KPI-Cluster Software & Systemtechnik aus der KPI-Kategorie Technik

Cluster Sensorik, Aktorik & Eingebettete Systeme

In dem Cluster *Sensorik, Aktorik und Eingebettete Systeme* werden übergeordnete Zielgrößen der *Vernetzung, Funktionalität* und *Leistungsfähigkeit* beleuchtet. In Abhängigkeit der konkret eingesetzten Technologie sind weitere Parameter relevant, die sich auf die Zusammensetzung und Aufbau des entsprechenden Sensors, Aktors oder Eingebetteten Systems beziehen. Eine verallgemeinerte Zusammenstellung ist an diesem Punkt nicht sinnvoll und sollte individuell zu dem KPI-System aus Tabelle 5-23 erstellt werden.

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
VERNETZUNG		
Selbständigkeit	Insbesondere bei Aktorik ist relevant, ob diese maschinenunabhängig oder in die Maschine integriert	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der unterschiedlichen Einsatzorte von Sensoren/Aktoren [Stk.]

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
Simulation	eingebaut wird (Drossel et al., 2016, S. 462) Die Nutzung von Simulationen u. a. zur Funktionsabsicherung, Inbetriebnahme, Fehlerrekonstruktion und -behebung	<ul style="list-style-type: none"> • Worst-case Execution Time (WCET) [min] (Cassisi et al., 2021, S. 41)
Traceability	Bezieht sich auf die Nachvollziehbarkeit der Funktionalität und die Rückverfolgbarkeit der erbrachten Leistung	<ul style="list-style-type: none"> • Durchschnittliche Dauer der Verortung eines Fehlers [min] • Wahrgenommene Nachvollziehbarkeit der Sensordaten [0;10]
FUNKTIONALITÄT		
Datengewinnung	Aufnahme von Daten für die manuelle oder (semi-)automatische Weiterverarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Umfang der Datenaufnahme pro Produktionsschritt [Bytes]
Überwachung	Einsatz von Technik in Kombination mit Regeln, Schema, Logik oder KI, um Prozesse (semi-)automatisiert zu beobachten und zu überprüfen	<ul style="list-style-type: none"> • Überwachungsquote: Daten je Maschinenkomponente [%]
Steuerung	Einsatz von Technik in Kombination mit Regeln, Schema, Logik oder KI, um punktuell die Prozesse zu steuern bzw. im Fehlerfall einzugreifen	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der Eingriffe in die Produktion durch Aktorik/Eingebettete Systeme im Fehlerfall [Stk.]
Automatisierung	Einsatz von Technik in Kombination mit Regeln, Schema, Logik oder KI, um (Teil-)Prozesse automatisiert ausführen zu lassen	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisierungsquote der Produktion [%] • Automatischer Transfer von Kundenbestellungen in die Produktionsplanung [%] (Schumacher & Sihn, 2020, S. 1313)
Digitaler Zwilling	Bidirektionale Echtzeit-Kopplung der realen und virtuellen Welt, die eine Prozessautomation ermöglicht	<ul style="list-style-type: none"> • Existenz eines digitalen Zwillings [ja/nein] • Maß des Einsatzes vom digitalen Zwilling in der Produktion [%]
LEISTUNGSFÄHIGKEIT		
Effektivität	Maß der Zielerreichung eines Systems (Sariguel, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Effektivitätsgrad: tatsächliche im Verhältnis zur definierten Datensammlung [%]
Auslastung	Maß des Einsatzes von verfügbaren Ressourcen in einem definierten Zeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Auslastung von Teilkomponenten [%]

ZIELGRÖßEN	BESCHREIBUNG	KPI-BEISPIEL
Komplexitätsgrad	Bezieht sich auf die Anzahl, die Art und das Zusammenspiel der Komponenten in einem System (Sariguel, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl verschiedener Sensoren/Aktoren je Maschine [Stk.] • Umfang der Nutzung von Sensoren zu Auswertungszwecken [%] • Komplexität des eingebetteten Systems [0;10]
Flexibilitätsgrad	Grad der Anpassungsfähigkeit an neue Rahmenbedingungen eines Systems (Sariguel, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung von Rahmenbedingungen in einer Produktion [Stk. /Zeit] oder [Stk. /Produktion] • Flexibilität: tatsächliche Flexibilität zu benötigter Flexibilität [%]
Performance	Bezieht sich auf die Datenverarbeitungsleistung bzw. -geschwindigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Performance: Berechnungen je Zeiteinheit [Stk. /Min] oder Datenaufnahme je Zeiteinheit [Bytes /Min]

Tabelle 5-23: KPI-Cluster Sensorik, Aktorik & Eingebettete Systeme aus der KPI-Kategorie Technik

Cluster Standards & Normungen

Wie in der gesamten Arbeit wird der Bereich *Standards und Normungen* als Querschnittsthema verstanden. Die relevanten KPI-Kategorien und entsprechende KPIs können aus den bisher vorgestellten Bereichen individuell abgeleitet werden. Hierbei kann folgende Unterteilung nach Bischoff verwendet werden (Bischoff et al., 2015).

- Kommunikationsstandards
- Semantische Standards
- Standardisierung von Systemelementen/Interoperabilität
- Identifikationsstandards

Voranschreitend ist die Überprüfung, ob etablierte Standards eingesetzt werden, vorzunehmen. Des Weiteren kann die Art des Einsatzes beleuchtet werden. Dabei sind auf den Umfang der Implementierung und Nutzung zu achten. Die Auswirkung auf die Prozesse, Produkte und Ressourcen kann dann den Technologiefeldern wie Kommunikation zugeordnet werden.

5.2.3.3 KPI-Kategorien im Bereich Organisation

Der Bereich der Organisation lässt sich ebenfalls in vier Gebiete unterteilen. Eine Betrachtung der übergeordneten *Prozesse*, der *Wirtschaftlichkeit* auch im Sinne der Unternehmensentwicklung, des *Produktes und dessen Qualität* sowie des *Nutzens* sollte ebenfalls in ein holistisches KPI-System einfließen. Dabei können Organisationseinheiten, die Gesamtorganisation oder der Wettbewerb beleuchtet werden.

Zusätzlich zu gängigen Finanz- und Unternehmenskennzahlen bietet es sich an Kennzahlen aus der Potentialanalyse zu adaptieren. Aus der Potentialanalyse ergeben sich die KPI-Kategorien für die *Wirtschaftlichkeit* und den *Nutzen* (siehe 5.2.1.4 Analyse der Wirtschaftlichkeit und des Nutzens). Die Einbeziehung von externen Faktoren wie der Marktanteil oder Position sollte ebenfalls betrachtet werden.

Die *Prozesse* wurden in den vorherigen Kategorien ebenfalls aufgegriffen. Allgemein können interne, externe oder hybride Prozesse unterschieden werden. Im Bereich Prozesse können KPIs zur Ermittlung des

Grades der Vernetzung, des Maßes an Flexibilität oder die jeweiligen Spitzen des Magischen Dreiecks der Optimierung (Zeit, Kosten, Qualität) betrachtet werden.

Die KPI-Kategorie *Produkt* lässt sich kaum standardisieren und sollte für jedes Unternehmen individuell beleuchtet werden. Allgemeingültige Teile wurden in der KPI-Kategorie *Mensch* in dem Cluster *Kunden* diskutiert (siehe 5.2.3.1 KPI-Kategorie Mensch). Für den Bereich Qualität kann neben der Produktqualität auch die Material-, Prozess-, Logistik sowie Service- und Dienstleistungsqualität betrachtet werden (Gottmann, 2019, S. 8).

Der Bereich Organisation ist eine der drei relevanten Perspektiven eines KPI-basierten Monitorings. Aufgrund der individuellen Unternehmensstrategie und -philosophie sowie der anderweitigen Fokussierung dieser Arbeit erfolgt an dieser Stelle keine detailtiefe Erörterung.

5.3 Zusammenfassung

Bei der Zusammenfassung der vorgestellten Methode des Feedbackraums wird die wissenschaftliche und industrielle Perspektive separat beschrieben. Erstere gibt die wesentliche Module des Feedbackraums, die Systematik, den Umfang sowie den Erkenntnisgewinn wieder. Der zweite Blickwinkel fokussiert den Nutzen und Anwendbarkeit für die Industrie.

5.3.1 Wissenschaftlicher Beitrag der Methodik

Systematisch betrachtet beinhaltet die Methode das Vorgehen einen umfassenden Feedbackraum zu etablieren, der Unternehmen dabei unterstützt, ihre Wertschöpfung unternehmensübergreifend auf ganzheitliche Weise zu optimieren. Es werden drei Methodenmodule unterschieden: Potentialanalyse, Feedbackraumaufbau und KPI-basiertes Monitoring.

Innerhalb der Potentialanalyse erfolgt eine systematische Analyse des IST-Zustands des Unternehmens und seines Umfelds, wobei relevante Faktoren wie Mensch, Technik und Organisation berücksichtigt werden. Mithilfe eines standardisiertem Vorgehen werden unternehmensspezifische Potential- und Technologiefelder identifiziert, die die gewünschten Verbesserungen und Ziele des Unternehmens widerspiegeln. Die Auswahl und Umsetzung von Komponenten eines Feedbackraums erfolgt unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und der Anpassungsfähigkeit an die Unternehmensbedürfnisse durch eine frühzeitige KPI-basierte Zieldefinition. Der Feedbackraum beinhaltet die relevanten Akteure und Interaktionen für die Feedbackerkennung und Weiterverarbeitung. Dieser wird in den gesamten Produktlebenszyklus eingebunden und unterstützt demnach eine kontinuierliche Überwachung und Optimierung. Hierzu wurden Cluster in KPI-Kategorien entwickelt, die es ermöglichen, den Feedbackraum unter den Gesichtspunkten von Mensch und Technik zu betreiben. Durch regelmäßige Kontrolle und systematische Anpassung an externe und interne Veränderungen sichert die Methodik eine langfristige Relevanz und Effektivität. Sie zeichnet sich durch Flexibilität aus, da einzelne Methodenbausteine unabhängig voneinander verwendbar sind. Insgesamt trägt die Methodik dazu bei, eine individuelle Standortbestimmung vorzunehmen, tieferes Verständnis von Technologieanwendungen zu erlangen und kontinuierliche Verbesserungen zur Erhöhung der Unternehmensleistung zu ermöglichen.

5.3.2 Nutzen für die Industrie

Die Methodik kann modular angewandt werden und eignet sich für viele strategische Entwicklungsprojekte im Bereich der Digitalisierung innerhalb und über die Unternehmensgrenzen hinweg. Die Modularität erlaubt die Anwendung der einzelnen Methodenelemente in verschiedenen Anwendungsbereichen und erhöht so die Einsetzbarkeit einzelner Module.

In Organisationen mit klassischem Projektmanagement ist die Anwendbarkeit der Methoden-Module mit wenig Aufwand umsetzbar. In den Grundlagen (siehe Kapitel 2.1.1) wurden die klassischen Schritte des Projektmanagements vorgestellt. Diese Methodik unterscheidet sich in einigen Dimensionen, da sie entscheidungsrelevante Bausteine in die frühe Projektphase verschiebt, um zum einen eine bessere Entscheidungsgrundlage zu erhalten und zum anderen frühzeitig bewertbare Ziele festzulegen.

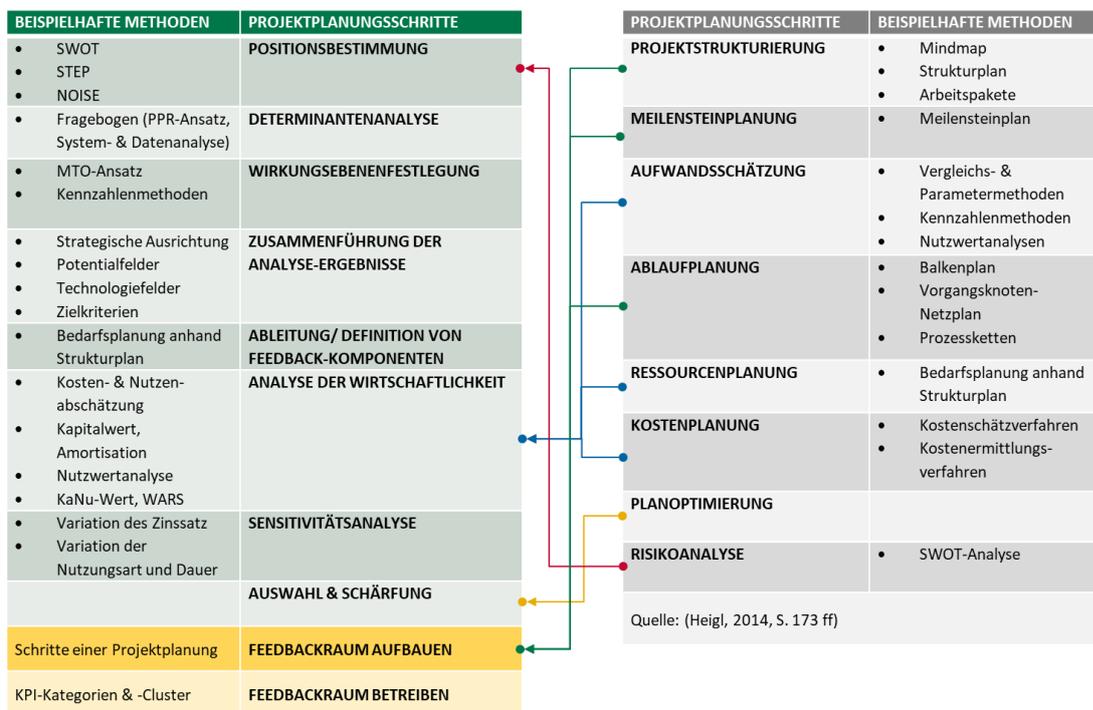


Abbildung 5-29 Vergleich der Methodik zum Aufbau eines Feedbackraums und dem klassischen Vorgehen im Projektmanagement (Heigl, 2014, S. 173 ff)

In Abbildung 5-29 wurde das Vorgehen im klassischen Projektmanagement mit der hier vorgestellten Methodik eines Feedbackraums verglichen. Aspekte wie die Risikobewertung als auch die Ressourcen-, Aufwands- und Kostenplanung werden vorgezogen. Die Methodik des Feedbackraums erweitert damit das Projektmanagement um eine frühzeitige Potentialanalyse und Wirkungsebenenfestlegung, die die Grundsteine für das zielgerichtete Betreiben eines Feedbackraums ermöglicht.

6 Validierung der Methodik

Die drei Module der Methodik des Feedbackraums sind durch drei Validierungsszenarien überprüft worden. Das Validierungsdesign und das konkrete Vorgehen sind in Kapitel 6.1 beschrieben. In den darauffolgenden Kapiteln (6.2 bis 6.4) werden die jeweiligen Validierungsszenarien vorgestellt sowie analysiert. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung (6.5), die somit eine übergeordnete Bewertung der Methodik widerspiegelt.

6.1 Validierungsdesign und -historie

Die Methodik zur Definition, Implementierung und Nutzung eines Feedbackraums wird in drei Modulen beschrieben: Potentialanalyse, Feedbackraum und KPI-Monitoring. Die einzelnen Module greifen ineinander und bilden so einen vollständigen Zyklus von der Ideenfindung bis hin zur in die Prozesse integrierten Nutzung ab. Grundsätzlich sind die einzelnen Module eigenständig und können unabhängig voneinander ausgeführt werden. Es ist nicht zwingend notwendig eine ausführliche Potentialanalyse durchzuführen, wenn der Zweck und die Art der Technologien bereits bekannt sind. Ebenso kann die Kategorisierung der KPIs auch ohne einen implementierten Feedbackraum herangezogen werden. Daher erfolgt die Validierung sowohl in Einzelbetrachtungen der Module als auch durch übergreifende Anwendungsfälle.

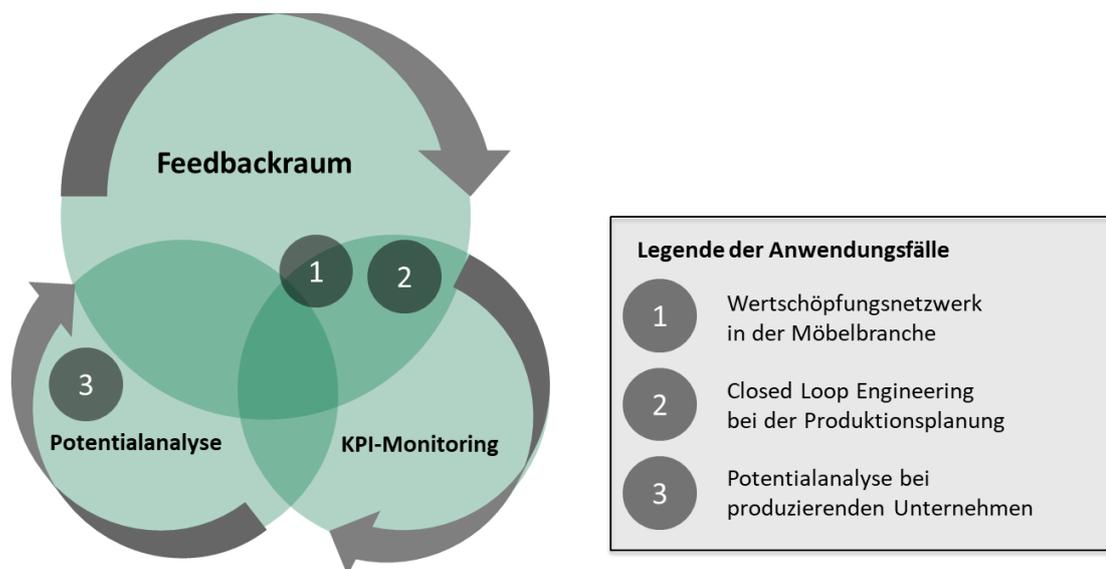


Abbildung 6-1: Verordnung der Anwendungsfälle für die Validierung in der Methodik

Im Rahmen dieser Arbeit wurden erst die Module des Feedbackraums und des KPI-Monitorings entwickelt. Es folgte die Validierung mithilfe von zwei Anwendungsfällen. Ein Resultat war die Notwendigkeit einer Potentialanalyse, die bei den beiden Anwendungsfällen die Initiierungsphase unterstützt hätten. Die in Abbildung 6-1 dargestellten Anwendungsfälle 1 und 2 wurden demnach zuerst validiert und daraus ergaben sich Anforderungen für eine Potentialanalyse, die dann in einem dritten Methodenmodul umgesetzt wurden. Dieses Modul der Potentialanalyse wurde mithilfe neuer Anwendungsfälle validiert. Die zugehörigen Projekte sind noch nicht abgeschlossen, wodurch sich die in Tabelle 6-1 aufgeführte Symbolik „im Prozess“ erklären lässt.

Anwendungsfälle	Potentialanalyse	Feedbackraum		KPI-Monitoring
		Intern	Netzwerk	
Möbelbranche				
Closed Loop Engineering				
Potentialanalyse				
Vollständig validiert Teilvalidiert In Grundzügen validiert Im Prozess				

Tabelle 6-1: Schwerpunkt der Validierung je Anwendungsfall in Bezug auf die Methodenbausteine

Die ersten Validierungen wurden auf Basis von umfangreichen Anwendungsfällen realisiert. Hierzu wurden vor der Methodenentwicklung eine Analyse und Ableitung von Anforderungen angefertigt. Im ersten Anwendungsfall wird das Wertschöpfungsnetzwerk in der Möbelbranche abgebildet, welches in dem Kapitel 4.1 *Herausforderungen in der Möbelbranche* detailliert erläutert wurde. Beim zweiten Anwendungsfall zum Closed Loop Engineering im Maschinenbau wurden die allgemeinen Anforderungen überprüft. In dem folgenden Kapiteln wird die Umsetzung der Methodik-Module wie in Tabelle 6-1 beschrieben und durch einen Abgleich der vorab erstellten Anforderungen zusammengefasst.

Die aus den ersten beiden Anwendungsfällen resultierenden Anforderungen an die Potentialanalyse sind im Kapitel 6.4 aufgeführt. Anschließend wurde die Potentialanalyse mit unterschiedlichen Unternehmen durchgeführt und eine Einschätzung der Unternehmen zur Methodik eingeholt. Das Kapitel endet mit einer Bewertung der vorab erstellten Anforderungen.

Um die Methodik holistisch zu beurteilen, folgt noch eine abschließende Bewertung von den gestellten Zielen der Methodik mit den entsprechenden Eigenschaften. Diese sind:

Ziel der Methodik

Die Methodik eines flexiblen Feedbackraums für kundenindividuelle Produkte soll die Identifizierung und Entscheidungsfindung von geeigneten Feedback-Mechanismen sowie die entsprechende Implementierungsphase unterstützen. Ziel ist die nachhaltige Optimierung von Produkten, Prozessen und Ressourcen bezogen auf die ganze Wertschöpfungskette.

Grundlegende Eigenschaften der Methodik:

1. Die Methodik kann in jeder Phase des Produktlebenszyklus angewandt werden – unabhängig ob Fabrikneuplanung oder bestehender Betrieb.
2. Die Vorgehensweise und Bewertungsverfahren der Potentialanalyse sind leicht nachvollziehbar und können weitestgehend ohne externe Beratung durchgeführt werden.
3. Die Methodik bietet den Vergleich und gleichzeitige Bewertung verschiedener Szenarien unter technischen, humanen und wirtschaftlichen Aspekten.
4. Die Methodik liefert eine Referenzarchitektur zur strukturierten und standardisierten Umsetzung flexibler Feedbackräume.

6.2 Anwendung des Feedbackraums für die Möbelbranche

In diesem Kapitel wird der Anwendungsfall in der Möbelbranche zur Validierung der Methodik vorgestellt und bewertet. Das Kapitel 6.2.1 erläutert die Rahmenbedingungen und die Motivation des Szenarios. Die technische Implementierung wird in Kapitel 6.2.2 beschrieben. Dieses Validierungsszenario schließt mit einer Einordnung der vorab definierten und branchen-spezifischen Anforderungen in Kapitel 6.2.3.

6.2.1 Motivation des Möbelbranchen-Anwendungsfalls

Die Möbelbranche bildet ein komplexes Wertschöpfungsnetzwerk mit einer Verflechtung von Rohstoff-, Produkteillieferanten, Produzenten, Einzelhändler und Großhändlern ab. Die individuelle Gestaltung und Vielfältigkeit der Produkte verdeutlichen die Komplexität und die Produktionsflexibilität der Branche. Die deutsche Möbelindustrie steht nicht nur dem immer stärker werdenden Wettbewerbsdruck aus dem Ausland gegenüber, ebenso den aktuellen Herausforderungen der drastisch steigenden Material- und Energiekosten (Möbelmarkt.de, 2022). Die in 2022 erzielten Umsatzzuwächse sind ebendieser Tatsache geschuldet.

Durch die ständige Vergleichbarkeit von Produkten steigen die Anforderungen an das Preis-Leistungs-Verhältnis. Die Bedeutung von Service steigt und wird zum wichtigen Verkaufsargument – sowohl im stationären als auch Online-Handel. Zudem wächst die Komplexität des Wertschöpfungsnetzwerks, da durch den Preisdruck weltweit alle Märkte interessant werden.

Insbesondere die digitale Marktransparenz verlangt, dass die Wertschöpfungspartner verstärkt zusammenarbeiten und relevante Informationen über das gesamte Netzwerk zur Verfügung stellen. Die fortschreitende Digitalisierung mit der Bestrebung standardisierte Schnittstellen und Datenformate in der gesamten Branche zu etablieren, bildet eine gute Ausgangslage, um die Potentiale eines Feedbackraumes zu validieren. So kann die Leistungsfähigkeit eines gesamten Netzwerks geschlossen gestärkt werden.

Durch den gesellschaftlichen Wandel verändert sich die Produktnutzung. Für den Kunden und die Politik wird die Transparenz aller Stationen des PLM immer relevanter. Dementsprechend besteht ein großer Bedarf zwischenbetriebliche Interaktionen mit dem Wertschöpfungsnetzwerk zu optimieren. Der stationäre Handel muss sich besser vernetzen und attraktive Alternativen oder bessere Brücken zum Online-Handel finden. Daher wurden in diesem Anwendungsfall die Optimierung der Produktkonfigurationen durch Datenrückflüsse aus dem stationären Verkauf gewählt.

1. Anwendungsfall: Optimierung der Produktkonfiguration durch den Onlineshop

Auf einer stationären Verkaufsfläche eines Möbelhändlers soll ein Feedbacksystem in Form eines Shop-In-Shop-Konzepts integriert werden, um Rückschlüsse auf das Verhalten eines Kunden im Kaufprozess zu schließen. Diese Informationen sollen dem Händler helfen seinen Verkaufsbereich attraktiver zu gestalten.

In der Möbelbranche bildet die Heterogenität der Stakeholder eine große Herausforderung. Es gibt eine Vielzahl von Optionen für den Verkauf und den dementsprechenden logistischen Prozess, von einstufigen über mehrstufige bis hin zu kombinierten Systemen (B. Fleischmann, 2018). Ein Beispiel ist das 2-Mann-Handling, welches nicht nur den Transport zum Endkunden beinhaltet, sondern ebenso eine zusätzliche Dienstleistung zum Aufbau des Produktes. In der Auftragsabwicklung der Logistik spielen zudem die Lagerhaltung, Verpackung, Transport und das Lagerhaus eine relevante Rolle (B. Fleischmann, 2018). Der

Austausch der hierzu gehörigen Daten funktioniert nicht reibungslos. Die Verpackungsgröße ist ein Beispiel für häufig fehlende Informationen, die für das Logistik-Unternehmen eine große Unbekannte bei der Planung von Touren liefert. Daher wird der Anwendungsfall der Reklamation in dieser Arbeit herangezogen.

2. Anwendungsfall: Bessere Vernetzung im Reklamationsprozess

Ein Feedbacksystem soll in eine Reklamations-App eines Herstellers integriert werden, um die Kundenerfahrung zur Reklamation direkt im Prozess zu erfassen. Hierzu kann der Kunde direkt und standardisiert eine Reklamation und dessen Grund melden.

6.2.2 Umsetzung der Anwendungsfälle aus der Möbelbranche

Grundlegende technische Implementierung für die Anwendungsfälle 1 und 2

Im Rahmen des BMWi-geförderten Forschungsprojekts FURNeCorp (Laufzeit: 01.08.2015 – 31.01.2018, Förderkennzeichen: 01MS14003A), welches der Förderinitiative „eStandards: Geschäftsprozesse standardisieren, Erfolg sichern“ zugeordnet werden kann, wurde das Konzept eines Feedbacksystems implementiert. Dies bildet ein Teil der Methodik des Feedbackraums ab. Das entstandene Framework bietet die Funktionen der Feedbackstrukturierung, des Managements und der Auswertung. Daraus ergeben sich drei Module: F1 Feedback-Manager, F2 Workflow-Manager und F3 Kollektorserver. Die Interaktionen zwischen den Modulen sind in Abbildung 6-2 veranschaulicht.

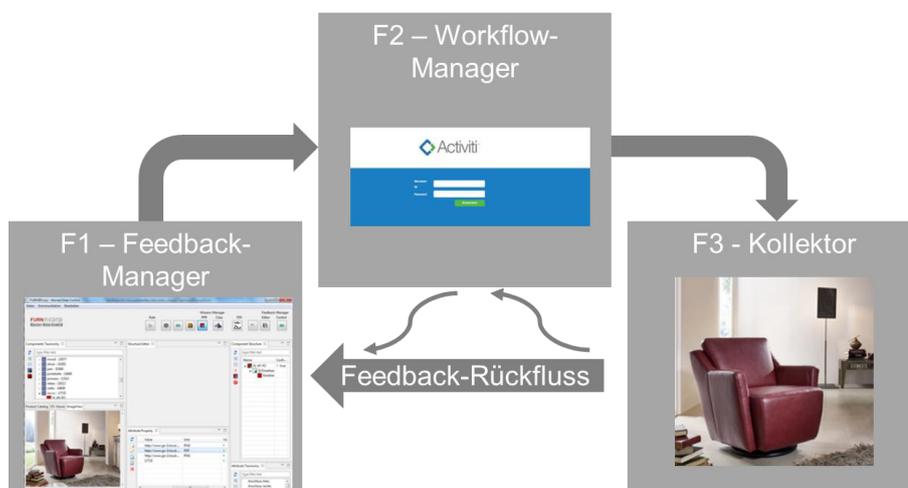


Abbildung 6-2: Funktionsmodule des Feedback-Frameworks im Rahmen des Projektes FURNeCorp (01MS14003A)

Der Feedback-Prozess kann mit fünf Schritten beschrieben werden:

1. F1 Feedback-Manager: Strukturierung der Feedback-Kampagnen

Die relevanten Daten, wie z. B. der Produktkatalog im IDM-Format oder bereits existierende Kampagnen inkl. Definitionen, können in den Feedback-Manager geladen werden. Basierend auf diesen Daten wird eine konkrete Frage und deren Kontext mithilfe einer Feedback-Definition erstellt. Danach erfolgt die Zuordnung von verschiedenen Definitionen zu einer Feedback-Kampagne. In dieser werden ebenfalls für die Ausführung relevante Informationen, wie die Dauer der Kampagne, festgelegt.

2. F2 Workflow-Manager: Prozess des Feedbacks

Im zweiten Schritt wird mithilfe von Bausteinen der Workflow definiert, an welche Stelle eine Feedback-Kampagne weitergeleitet, wie sie auf diesem Weg übersetzt oder angereichert und wie das Feedback zurückgeführt wird. Anschließend ist die Ausführung des Workflows möglich, der die automatisierte Übertragung an die entsprechenden Systeme in beide Richtungen ermöglicht.

3. F3 Kollektor: Erfassen von Feedback

Ein Feedback-Erfasser sammelt das Feedback. Mit dem sogenannten Kollektor kann in digitalen Systemen eine automatisierte Erfassung erfolgen.

4. F2 Workflow-Manager: Rückfluss des Feedbacks

Vorab definierte Workflows zum Zweck der Rückführung der Feedback-Daten werden ausgeführt. Dieser Schritt wird häufig bereits bei der Definition der Kampagnen-Weiterleitung ausgeführt. Für diesen Prozessschritt ist nur relevant, dass die Feedback-Daten zurück an den Feedback-Manager geliefert werden.

5. F1 Feedback-Manager: Auswerten und Visualisieren von Feedbackevents

Die akkumulierten Daten können in Form von KPI oder Diagrammen visualisiert werden.

Dieser beschriebener Feedback-Prozess lässt sich als Framework, wie in Abbildung 6-3 dargestellt, umsetzen. Der Feedback-Manager beinhaltet den Konfigurator und Server zur Speicherung. Er kann auf externe Datenquellen, wie die Produktkataloge zugreifen. Der Workflow-Manager dient als Zwischenschicht und kann durch externe Datenquellen Übersetzungen oder Anreicherungen vornehmen. Das Sammeln der Daten wird über die Kollektoren-Server gesteuert, die einen Register als Bibliothek der Kollektoren und deren Funktionen beinhalten. Die eigentlichen Kollektoren sind an konkreten IT-Systemen und Webseiten mit passenden Schnittstellen angedockt.

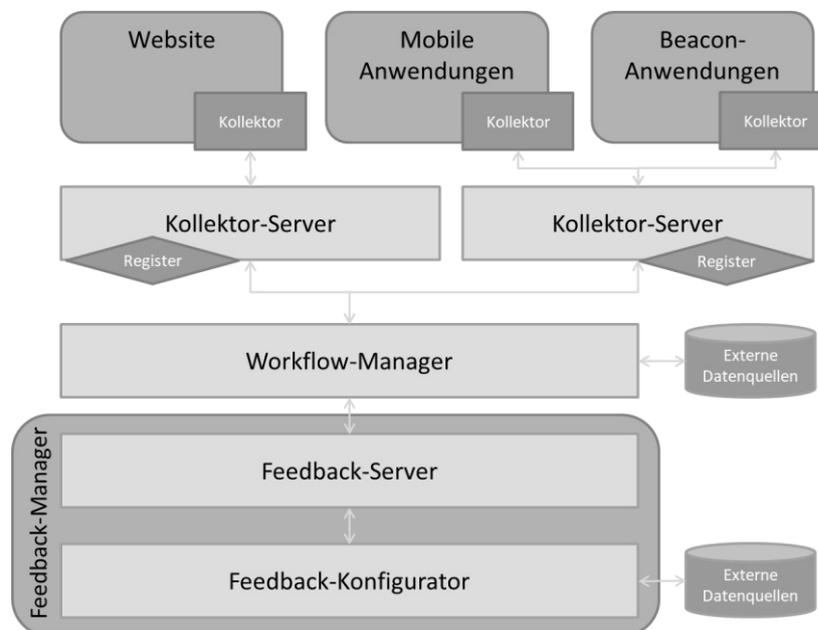


Abbildung 6-3: Adaptierte Systemarchitektur für den Anwendungsfall der Möbelbranche

Die webbasierte Anwendung von dem im Rahmen des Forschungsprojekts FURNeCorp umgesetzten Framework, wie in Abbildung 6-4 dargestellt, beinhaltet den Feedback-Manager und Workflow-Manager.

Eine detaillierte Beschreibung mit Screenshot jedes einzelnen Schrittes in der Anwendung kann im Anhang 9.4 Framework aus FURNeCorp-Projekt nachgelesen werden.

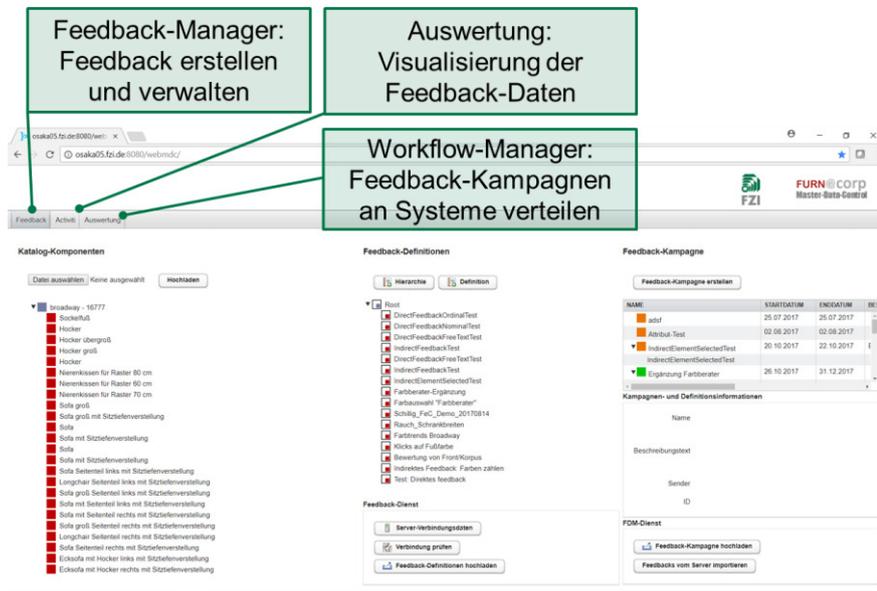


Abbildung 6-4: Übersicht über webbasierte Oberfläche des Feedback-Managers und Workflow-Managers im Forschungsprojekt FURNeCorp (01MS14003A)

Der Feedback-Manager umfasst die notwendigen Funktionen, um einen Feedbackraum strukturiert zu beschreiben. In dieser Software können konkrete Fragen und deren Kontext, wie Produktbezug, als Feedback-Definition angelegt werden. Die ausführungsrelevanten Details werden im Rahmen der Feedback-Kampagne festgesetzt. Dies beinhaltet auch die Bestimmung des Erfassers und Eigentümers. Zudem erfolgt in dem Feedback-Manager eine erste Visualisierung der Daten, um eine Weiterverarbeitung zu unterstützen.

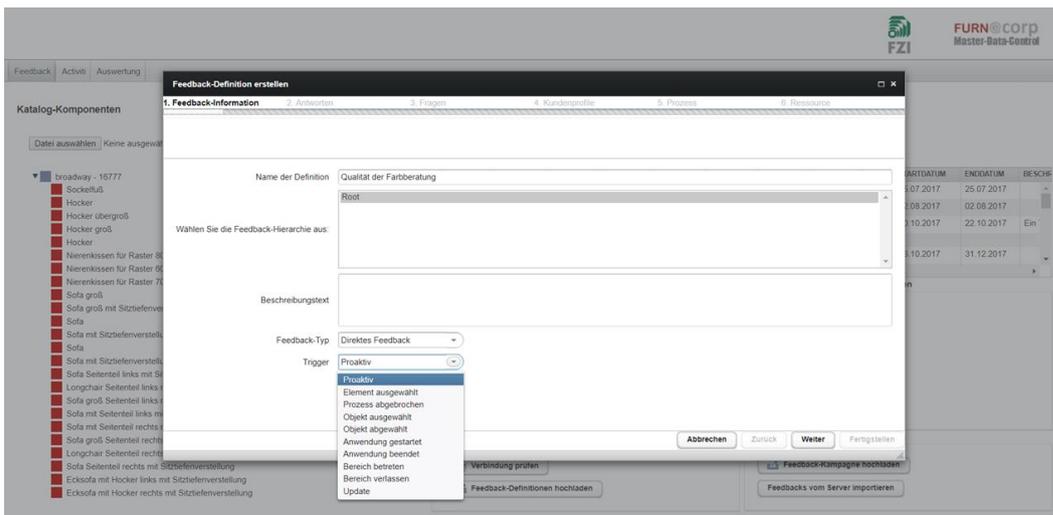


Abbildung 6-5: Formulierung einer Feedback-Definition im FURNeCorp-Framework (01MS14003A)

In Abbildung 6-5 ist ein Screenshot eines Wizard-Dialogfelds zum Anlegen einer Feedback-Definition abgebildet. Dies umfasst dabei sechs Kategorien:

- Feedback-Information
 - Name der Definition [Freitext-Eingabe]: zusätzlich zur automatisch vergeben ID
 - Feedback-Hierarchie [Listenauswahl]: Möglichkeit zur Strukturierung der Definitionen in Gruppen
 - Beschreibungstext [Freitext-Eingabe]: Klartext zur Erläuterung des Ziels
 - Feedback-Typ [direktes Feedback, indirektes Feedback]: Festlegung der Art des Feedbacks
- Antworten (nur bei direktem Feedback)
 - Frage [Freitext-Eingabe]: Formulierung einer konkreten Frage
 - Antworttyp: Festlegung der Art von Antwortmöglichkeiten, die dem Feedback-Geber angezeigt werden (z. B. Ordinal mit Minimum-, Maximum-Wert und Schrittgröße)
- Bezugsobjekt [Listenauswahl]: Ein hochgeladener Produkt-Katalog dient zur Einschränkung auf Basis bestimmter Produkte, dementsprechender Attribute und Attributwerte.
- Kundenprofile [Listenauswahl]: Eine Mehrfachwahl von vorab definierten Kundenprofilen ist möglich
- Prozess [Listenauswahl]: Eine Mehrfachwahl von vorab definierten Prozessschritten in einer Baumstruktur ist möglich. Dies bezieht sich auf den Zeitpunkt der Feedbackfassung, wie z. B. Pre-Sales, Fertigung oder Reklamation
- Ressourcen [Listenauswahl]: Eine Mehrfachwahl von vorab definierten Feedbackereigentümern ist möglich. An diesen Orten (auch virtuelle Orte wie Webshop) soll das Feedback erfasst werden

Die Feedback-Kampagnen referenzieren auf eine oder mehrere Feedback-Definitionen. Die einzelnen Fragen von den Definitionen werden als Feedback-Kampagne einer übergeordneten Fragestellung zugeordnet. Abbildung 6-6 zeigt eine Übersicht der Anwendung, die bereits einige Feedback-Kampagnen beinhaltet.

Feedback-Kampagne

Feedback-Kampagne erstellen Kampagnen filtern

NAME	STARTDATUM	ENDDATUM	BESCHREIBUNG
▼ Schillig_FeC_Demo_20170814	14.08.2017	31.08.2021	
Schillig_FeC_Demo_20170814			
▼ Sitzflächentester	14.12.2017	24.12.2037	Alles rund um die Sitzflächen, Komfort und Qua
Anzahl Sitzflächen			
Qualitätsmängel			
▼ Farb-Weihnachtstkampagne	14.12.2017	01.01.2018	Farb-Weihnachtstkampagne
Weihnachts-Farbtrends			
▼ Bewertung von Front/Korpus	28.07.2017	31.12.2018	
Bewertung von Front/Korpus			
▼ Klicks auf Fußfarbe	04.12.2017	31.12.2021	
Klicks auf Fußfarbe			

Kampagnen- und Definitionsinformationen

Name Farb-Weihnachtstkampagne

Beschreibung Farb-Weihnachtstkampagne

Sender WSCHILLIG

ID bbc915c4-f107-4dec-85d0-a6323e704a0b

Abbildung 6-6: Darstellung von beispielhaften Feedback-Kampagnen im Rahmen des FURNeCorp-Projektes

Die Feedbackdaten werden in Form von Feedbackereignissen in den Workflow-Manager zurückgeführt. In Abbildung 6-7 sind beispielhafte laufende Kampagnen zu sehen. Bei der Auswahl einer Kampagne werden

die referenzierten Definitionen angezeigt. Hierzu ist eine Visualisierung der Daten möglich. Diese Anzeige kann angepasst werden, z. B. durch die Einschränkung auf einen bestimmten Zeitraum.

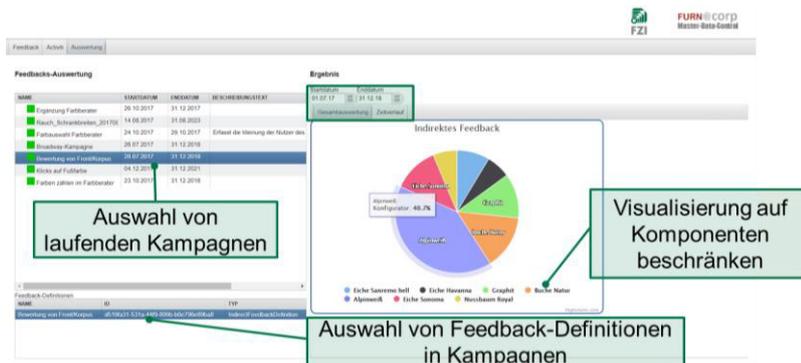


Abbildung 6-7: Beispielhafte Auswertungsmöglichkeiten des Feedback-Managers im Rahmen des FURNeCorp-Projektes (01MS14003A)

Optimierung der Produktkonfiguration

Bei einem Möbelhändler wurde im Rahmen des Forschungsprojekts FURNeCorp eine Fläche im stationären Verkauf gestaltet, wie in Abbildung 6-8 dargestellt. Hierbei wurden neue Technologien integriert, um das Verhalten des Kunden besser zu analysieren. In einem Möbelstück wurde ein Touchscreen eingebaut, auf dem die im Handel präsentierten Waren interaktiv konfiguriert werden konnten.



Abbildung 6-8: Shop-in-Shop-Fläche im Verkaufsraum konzipiert durch das BMWi-geförderte FURNeCorp-Projekt (01MS14003A)

An die Konfiguratoren wurden Kollektoren angeschlossen, die das Durchführen von Feedback-Kampagnen ermöglichten. Hierbei stand insbesondere die Auswertung der Farbvariationen und die Kauf-Abbruchrate in Kombination mit der Produktkonfiguration im Vordergrund. Die entsprechenden Rollen im Feedbackraum sind Tabelle 6-4 zu entnehmen.

ROLLE IM FEEDBACKRAUM	BESCHREIBUNG
FEEDBACK-GEBER	Endkunde (Nutzer der Konfigurations-App in der Verkaufsfläche)
FEEDBACK-ERFASSER	Möbelkonfigurations- und Farbkonfigurations-App
FEEDBACK-INITIATOR	Möbelhersteller
FEEDBACK-EIGENTÜMER	Möbelhändler (aufgrund von Datenschutzzustimmung bei Nutzung der App)
FEEDBACK-NUTZER	Möbelhersteller

Tabelle 6-2: Zuweisung der Rollen in einem Feedbackraum für den Anwendungsfall der Produktkonfigurationsoptimierung

In Form von indirektem Feedback wurden in den Konfiguratoren entsprechende Kampagnen in Absprache zwischen dem entsprechenden Hersteller und Händler initiiert. Diese betrafen das Aufrufen bestimmter Möbelstücke und die Verwendung von Materialien und deren Farbvarianten. Die Daten, die während der Projektlaufzeit im Möbelgeschäft gesammelt werden konnten, sind auszugsweise in Abbildung 6-9 dargestellt. Die Interpretation der Ergebnisse führte zu einer Umgestaltung des Internetauftritts bezüglich der angezeigten Produktkonfigurationen sowie Verbesserung der Ausstellung vor Ort.

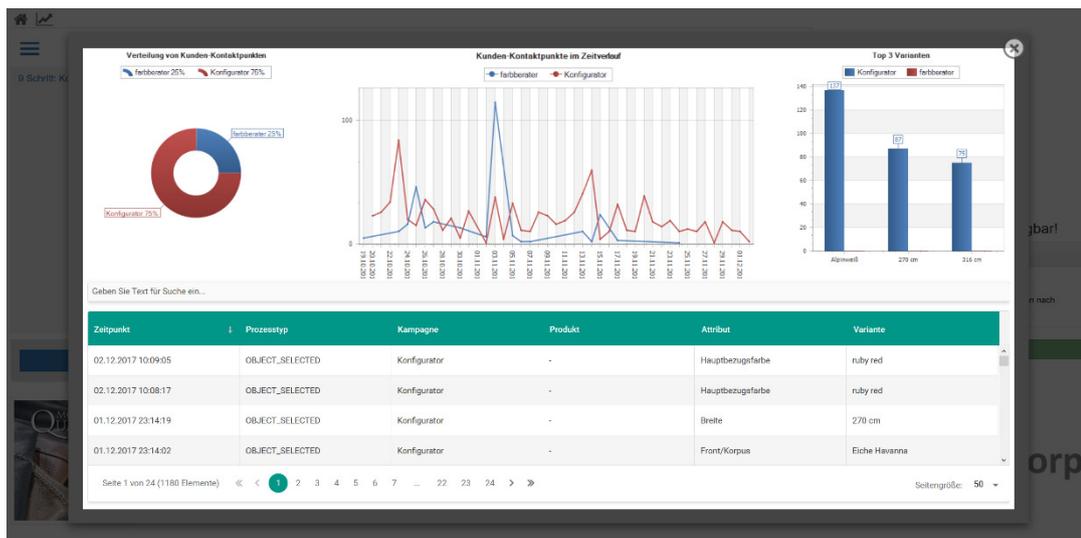


Abbildung 6-9: Dashboard aus dem Projekt FURNeCorp über Produktkonfiguratoren (01MS14003A)

Vor der Umsetzung des Feedbackraums wurden relevante Zielgrößen der KPI-Kategorien identifiziert. Dies führte zu der konkreten Formulierung von entsprechenden Feedback-Definitionen. In Tabelle 6-3 sind die ausgewählten Zielgrößen aufgeführt.

ZIELGRÖßE	CLUSTEREINORDNUNG	RELEVANTE KPI
Mitarbeiterzufriedenheit	Mensch – Mitarbeiter – Arbeitsbedingung	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeiterzufriedenheitsindex [-100;+100] (Havighorst, 2006, S. 35)
Akzeptanzbereitschaft	Mensch – Mitarbeiter – Arbeitsbedingung	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit [0;100] (Schmaltz, 2009, S. 70) • Social well-being: wahrgenommene Auswirkung der Technologie auf soziales Wohlbefinden [0;100] (Vuorikari et al., 2016, S. 9)
Qualifikationsentwicklung	Mensch – Mitarbeiter – Mitarbeiterqualifikation	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgeführte Mitarbeiter Qualifikationen [%] • Qualifikationsbedarf von Mitarbeitern [%]
Technologiepräsenz	Mensch – Kunde – Sales / Experience	<ul style="list-style-type: none"> • In-Store-Technologien: Aufenthaltszeit von Kunden auf der Verkaufsfläche [min] • Nutzungsrate KI-basierte Empfehlungen von Kunden [%]
Servicequalität	Mensch – Kunde – Sales / Experience	<ul style="list-style-type: none"> • Kundenbewertungen auf Kaufplattformen [0;5]
Kaufabbruch	Mensch – Kunde – Sales / Experience	<ul style="list-style-type: none"> • Kaufabbruch im Online-Shop [%]
System	Technologie – Kommunikation – Kommunikationsknoten	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentuale Ausfalldauer des Systems mit eingeschränkter Erreichbarkeit [%]
Benutzerfreundlichkeit	Technologie – Software & Systemtechnik – Qualität	<ul style="list-style-type: none"> • Erkennbare Angemessenheit: wahrgenommene Zufriedenheit mit dem System [0;10] (ISO 25010, 2011) • Bedienbarkeit: wahrgenommene Beherrschbarkeit des Systems [0;10] (ISO 25010, 2011)

Tabelle 6-3: Relevante Zielgrößen der KPI-Kategorien für den Produktkonfigurations-Anwendungsfall

Für das Unternehmen waren insbesondere die Kategorien *Mensch* und *Technologie* relevant. In der ersten Kategorie wurde zum einen die Interaktion und Zufriedenheit des Kunden als wichtig bewertet. Zum anderen wurde auch Wert auf das Cluster *Mitarbeiter* gelegt. Die neu gestaltete Verkaufsfläche sollte in erster Linie das Verkaufserlebnis der Kunden verbessern. Die Mitarbeitenden müssen dieser Technologie jedoch offen gegenüber eingestellt sein, um die Kunden qualifiziert unterstützen zu können. Zudem wurden weitere KPIs aus dem Bereich *Technologie* ausgewählt. Das Unternehmen hat die Vorschläge aus dem KPI-Monitoring in das interne Management Board eingebracht.

Im Realbetrieb wurde insbesondere die Technologiepräsenz überwacht. Dies erfolgte mit dem Messen von Kunden-Kontakt-Punkten über die beiden Configurationstools (Farbberater und Produktkonfigurator) auf den Verkaufsflächen. Auch Daten über den Kaufabbruch im Produktkonfigurator wurden erhoben und ausgewertet. Das Unternehmen hat aufgrund der Feedback-Daten zur Farbauswahl ihren Online-Auftritt

angepasst. Das Anzeigebild von verschiedenen Produkten wurde auf die meist ausgewählte Farbe im Farbberater und Konfigurator geändert.

Verbesserung des Reklamationsprozesses

Die Auslieferung zum Endkunden kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. In der Möbelbranche kommt es vermehrt vor, dass es Lagerprodukte beim Händler gibt, die direkt vom Kunden mitgenommen werden können. Eine andere Möglichkeit ist, dass die Lieferungen zum Handel durch eine Bestellung erfolgt. Auch ein Weitertransport an den Endkunden ist möglich. Oft wird der Transport von einem externen Anbieter ausgeführt. In der Praxis sind Mischformen gängig, wenn z. B. der Händler an einen Hub anliefern und von dort aus eine Auslieferpedition übernimmt. Die unterschiedlichen Prozesse beziehen unterschiedliche Akteure ein.

Insbesondere im Fall der Reklamation gelangen nur selten weiterführende Informationen an die relevanten Akteure des Wertschöpfungsnetzwerks. Der Zeitpunkt, die Ansprechpartner, die Art und Ursache einer Reklamation unterscheiden sich. Beispielsweise können aufgrund von Beschädigungen oder Qualitätsmängel (Ursache) Teile-Nachlieferung oder Ersatzteilbestellungen (Art) ausgelöst werden. Zudem können weitere Dienstleistungen, wie eine Montage vor Ort, die Komplexität der Abwicklung erhöhen. Kommt es zu einer Reklamation ist der Abwicklungsprozess selten für alle Akteure transparent. Zieht man die aufgeführten Herausforderungen aus dem einleitenden Kapitel heran (siehe Abbildung 1-1, S. 22), liefert der Anwendungsfall der Reklamation eine gute Ausgangslage für den Einsatz eines Feedbackraums. Es existieren unterschiedliche Stakeholder, die verschiedene IT-Systeme benutzen. Die Daten werden nicht ausreichend erfasst und übermittelt. Zudem ist einzelnen Akteuren unklar, welches Potential in einer Datensammlung steckt.

Bei den verschiedenen Konstellationen der Auslieferungsstationen gibt es unterschiedliche Punkte, die Grund für eine Reklamation sein können. Nicht nur der Endkunde kann eine Reklamation melden, ebenso ein Lagermitarbeiter oder Spediteur. Die Rückführung von Informationen über eine beschädigte Ware ist aktuell nicht übergreifend standardisiert, lückenhaft und sehr verzweigt. Meistens wird nur eine bidirektionale Kommunikation zwischen den Beteiligten aufgebaut, wie z. B. vom Kunden zum stationären Handel, vom Transportunternehmen zum Hersteller oder vom Dienstleister einer Montage zum Endkunden. Vollständige Informationen zu diesem Vorfall liegen selten den Beteiligten vor. Neben dem tatsächlichen Schadenfalls sind Transportinformationen und zusätzliche Beurteilungen der Reklamation zur Ursache, dem Entstehungsort etc. ausschlaggebend.

Nach dem Konzept des Feedbackraums sollte zu einer Reklamation ein Bezugsobjekt mit weiteren Kontextdaten erstellt werden, die vorab von den Beteiligten definiert werden. Somit kann der Workflow – also der Fluss der Daten – sowie die Art und Weise der Erfassung systematisch realisiert werden. Relevante Informationen, wie die Klassifikation, Bewertung und Abwicklung der Reklamationen können hinzugefügt werden. Ein Feedbacksystem kann aktive Komponenten enthalten – wie die konkrete Mitteilung eines Schadenfalls – aber auch passive Feedbackaspekte, wie das Passieren von Knotenpunkten oder Zeitstempeln. Dadurch verbessert sich zusätzlich die Datengrundlage, um Auswertungen zu Häufigkeiten in Abhängigkeit von Kontextdaten, Beschaffenheit der Waren oder Verpackungsbeschädigungen für bestimmte Strecken erstellen zu können.

Die Validierung erfolgt mithilfe eines Möbelherstellers. Dieser beabsichtigte eine neue Technologie in sein Portfolio aufzunehmen, um eine übergreifende Interaktion durch den Feedbackraum zu ermöglichen. Die Firma implementierte parallel zur Umsetzung des Feedbackraums eine App zur Reklamation von Möbelstücken für den Endkunden. Ausgehend vom QR-Code aus dem Lieferschein werden automatisiert die Auftragsdaten in die App geladen.

Mit wenigen digitalen Schritten wurde der Nutzer durch einen Reklamationsprozess geführt. Insbesondere die Verwendung des BfQ-Schlüssels, der zur Standardisierung von Schadensfällen vom Bündnis für Qualität herausgegeben wurde, diente der standardisierten Erfassung eines Reklamationsteil. Die Kategorien des BfQ-Schlüssels unterteilen sich in Beschädigungen, Qualitätsmängel, Abwicklungsprobleme, Fehlteile und interne Handelsaspekte. Es wurden Schnittstellen für Kollektoren, zur Sammlung von Feedbackdaten, implementiert. In diesem Anwendungsfall sind demnach die Rollen gemäß der Tabelle 6-4 definiert.

ROLLE IM FEEDBACKRAUM	BESCHREIBUNG
FEEDBACK-GEBER	Endkunde (Nutzer der Reklamations-App)
FEEDBACK-ERFASSER	Reklamations-App des Möbelherstellers
FEEDBACK-INITIATOR	Möbelhersteller
FEEDBACK-EIGENTÜMER	Möbelhersteller (aufgrund von Datenschutzzustimmung)
FEEDBACK-NUTZER	Möbelhersteller

Tabelle 6-4: Zuweisung der Rollen in einem Feedbackraum für den Anwendungsfall der Reklamation in der Möbelbranche

In diesem Anwendungsfall wurden Feedback-Definitionen in Form von direktem Feedback konzipiert. Es wurden explizite Fragen zum BfQ-Schlüssel mit einer Nominal-Skala sowie relevante Kontexte formuliert. Die ergänzenden Informationen konnten in Form von Freitexten oder hochgeladenen Bildern ergänzt werden. Die Einbindung in bestimmte Feedback-Kampagnen ermöglichte eine hohe Flexibilität für die Erfassung und ggf. Anpassung des Umfangs von Reklamationsdaten. Die Feedbackdaten wurden von der Firma zur Verbesserung der Produktentwicklung genutzt, insbesondere für die Auswahl von Materialien.

Bei der Konzipierung des Feedbackraums wurden zudem die KPI-Cluster herangezogen. In Tabelle 6-5 sind die relevanten Zielgrößen den Clustern zugeordnet sowie die relevanten KPIs aufgelistet. Das Unternehmen hat diese um weitere KPIs ergänzt. Die Beschreibungen und Einordnungen der Zielgrößen sind in Kapitel 5.2.3.1 zu finden.

ZIELGRÖßE	CLUSTEREINORDNUNG	RELEVANTE KPI
Transport	Mensch – Partner – Partner für Logistik	<ul style="list-style-type: none"> • Transportschäden [%]
Lieferung	Mensch – Kunden - After-Sales/Overall Satisfaction	<ul style="list-style-type: none"> • Reklamation aufgrund Verpackungsbeschädigung [Stk./Produkt]
Reklamation	Mensch – Kunden - After-Sales/Overall Satisfaction	<ul style="list-style-type: none"> • Reklamationsquote [%] (Gottmann, 2019, S. 130) • Rücksendungsquote [%] (Gottmann, 2019, S. 130)
Kundenzufriedenheit	Mensch – Kunden - After-Sales/Overall Satisfaction	<ul style="list-style-type: none"> • Unzufriedenheitsquote [%] (Gottmann, 2019, S. 130)

Kundenfeedback	Mensch – Kunden - After-Sales/Overall Satisfaction	• Sternebewertung auf Verkaufsplattform [0;5] (Grewal & Roggeveen, 2020)
----------------	--	--

Tabelle 6-5: Relevante Zielgrößen der KPI-Kategorien für den Reklamations-Anwendungsfall

6.2.3 Bewertungen der Anforderungen für die Anwendungsfälle aus der Möbelbranche

Die Einführung eines Feedbackraums in unterschiedlichen Szenarien in der Möbelbranche führte nachweislich zur Optimierung für Händler und Hersteller. Die Gestaltung des Sortiments konnte durch neue Technologien an die aktuellen Kundenwünsche angepasst werden. Zudem gab es Image-Verbesserungen im sehr traditionellen stationären Verkauf. Die Zusammenarbeit in dem Wertschöpfungsnetzwerk wurde verstärkt. Informationen von bspw. Endkunden konnten durch den integrierten Feedbackraum direkt und mit relevanten Daten (Feedback-Bezugsobjekte) an den Hersteller übermittelt werden. Durch die technische Unterstützung des Feedback-Managers gibt es nun eine strukturierte Vorgehensweise, um Anfragen und Anforderungen von Wertschöpfungspartnern zu koordinieren und umzusetzen. Die Branchen-Teilnehmer bewerten weitere Anwendungen über die bereits umgesetzten Szenarien als hilfreich und sinnvoll.

In Tabelle 6-6 ist eine Übersicht an Anforderungen auf Grundlage einer allgemeinen und für die Möbelbranche spezifischen Analyse zu finden. Auf Basis der Relevanz der Anforderung und den hier vorliegenden Validierungsszenarien wurde eine Gewichtung festgelegt. Zudem erfolgt eine qualitative Einschätzung der Anforderungserfüllung. Im folgenden Absatz wird die Bewertung jeder Anforderung kurz erläutert.

Die erste Anforderung betrifft die Allgemeingültigkeit der Methodik (I), die eine Anwendbarkeit unabhängig von der Branche voraussetzt. Da innerhalb der Möbelbranche bereits weitere Branchen, wie Logistik miteinbezogen werden, ist die Anforderung vollumfänglich erfüllt. Es wurden viele Phasen des Produktlebenszyklus betrachtet, z. B. die Auswirkung des Verkaufs auf die Produktentwicklung. Aspekte wie Recycling erhielten keine Betrachtung. Daher wurde der Erfüllungsgrad bezogen auf die holistische Betrachtung aller Phasen des Produktlebenszyklus mit 90% angesetzt. Da unterschiedliche Akteure miteinander interagiert haben, hat der Feedbackraum dazu beigetragen die entsprechenden Systeme kommunikationsfähig zu machen. Systemgrenzen (III) konnten demnach mit der Methodik überwunden werden. Die Szenarien betrafen lokale als auch systemübergreifende Feedbackmechanismen (IV), was die Skalierbarkeit bestätigt.

Erweiterungskonzepte wurden während der Umsetzung entwickelt. Jedoch wurden funktionale Änderungen oder technologische Erweiterungen nicht umgesetzt. Die Herausforderungen waren auch den Rahmenbedingungen geschuldet, dass die Szenarien in dem Forschungsprojekt mit den assoziierten Partnern vordefiniert waren. Aus diesem Grund wird die Anforderung der Erweiterbarkeit neuer Technologiefelder (V) mit einem Erfüllungsgrad von 65% bewertet. Ebenso verhält es sich mit der Anforderung einer nachhaltigen Integration in bestehende Infrastruktur und unternehmensspezifische Prozesse (VI). Die beteiligten Unternehmen haben eine Pilotanwendung mithilfe der Methodik des Feedbackraums aufgebaut, die aber nicht direkt in die übergeordnete Unternehmensstrategie verankert wurde. Eine Voranalyse mit Einbeziehung aller Entscheidungsträger hätte zur erfolgreichen Umsetzung beigetragen.

In dem Szenario der Möbelbranche wurden zwei unterschiedliche Anwendungsfälle umgesetzt, sodass die Anwendbarkeit (VII) in unterschiedlichen Kontexten nachgewiesen wurde. Ebenso ist die Verbesserung der Kommunikation (VIII) in beiden Anwendungsfällen durch die Digitalisierung einer der Kernelemente des Feedbackraums. In den Anwendungsszenarien wurde die Kommunikation von verschiedenen Wertschöpfungspartnern betrachtet, weswegen die Anforderung vollumfänglich erfüllt wurde. In beiden Szenarien wurden branchenrelevante Standards (IX) eingesetzt. Das Feedback-Datenformat setzt die Nutzung der ECLASS-Beschreibung von Produkten voraus. Im Fall der Reklamation wurde der BfQ-Schlüssel verwendet. Aufgrund der eingeschränkten Verbreitung von Standards in der Branche ist die Erfüllung der Anforderung mit 85% zu bewerten.

Mit der automatisierten Abfrage im Feedbackraum konnten unnötige Interaktionen und manuelle Rückfragen (X) vermieden werden. Da in der Branche der Austausch in dieser Weise eher untypisch ist, sind im Rahmen der Umsetzung mehr Absprachen nötig gewesen als der Feedbackraum allgemein vorsieht. Dementsprechend ist die Anforderung mit 90% zu bewerten.

In dem Szenario haben verschiedene Wertschöpfungspartner, wie beispielsweise Hersteller, Händler, Logistiker, Verbände und Kunden, teilgenommen und mit dem Feedbacksystem interagiert. Daher konnte die Anforderung XI zur Kompatibilität unterschiedlicher Partner umfänglich erfüllt werden. Dasselbe gilt für die Optimierung des Tagesgeschäfts (XII). Alle an der Umsetzung beteiligten Partner bekräftigten dies in Gesprächen. Der Fokus auf Standards wie ECLASS wurde ebenfalls bei diesen Rückmeldungen positiv hervorgehoben. So kann sichergestellt werden, dass verschiedene Produktvarianten abbildbar sind. Ein kleiner Teil der Branche unterstützt diesen Standard noch nicht, sodass die Anforderung an starken Produkt- und Variantenbezug (XIII) in diesem Fall mit einer Erfüllung von 95% beurteilt wird.

ID	Titel	Beschreibung	Gewichtung	Erfüllungsgrad	Validierungskennzahl
I	Allgemeingültigkeit	Die Methodik muss unabhängig von der Branche anwendbar sein.	12%	100%	12,0%
II	Holistische Betrachtung	Die Methodik soll alle Phasen des Produktlebenszyklus unter Berücksichtigung relevanter Aspekte beleuchten.	7%	90%	6,3%
III	Interoperabilität	Die Methodik kann die Überwindung von Systemgrenzen unterstützen.	4%	100%	4,0%
IV	Skalierbarkeit	Die Methodik muss einsetzbar für lokale Feedbackmechanismen bis hin zu komplexen Gesamtsystemen sein.	12%	100%	12%
V	Erweiterbarkeit	Die Methodik kann einfache und schnelle funktionale Erweiterungen zur Integration neuer Technologiefelder zu lassen.	4%	65%	2,6%

VI	Nachhaltigkeit	Die Methodik muss in die bestehende Infrastruktur und unternehmensspezifische Prozesse langfristig eingebaut werden.	10%	65%	6,5%
VII	Anwendbarkeit	Die Methodik soll in unterschiedlichen Anwendungsfällen eingesetzt werden.	6%	100%	6,0%
VII I	Digitale Kommunikation	Ein Feedbacksystem muss die Kommunikation zwischen Wertschöpfungspartnern digital unterstützen.	10%	100%	10,0%
IX	Branchen-Standards	Ein Feedbacksystem soll die Einführung und Nutzung von Branchen-Standards fördern.	7%	85%	6,0%
X	Rückspracheschleifen	Ein Feedbacksystem kann manuelle Iterationen in der Kommunikation bei Rückfragen vermeiden.	3%	90%	2,7%
XI	Kompatibilität	Ein Feedbacksystem soll kompatibel für unterschiedliche Wertschöpfungspartner sein.	6%	100%	6,0%
XII	Optimierung	Ein Feedbacksystem muss positive Auswirkungen auf das Tagesgeschäft haben (Zeit, Kosten, Qualität).	12%	100%	12,0%
XII I	Produktbezug	Ein Feedbacksystem soll Produkte und deren Varianten abbilden und behandeln können.	7%	95%	6,7%
Validierungsergebnis				92,7%	

Tabelle 6-6: Bewertung der Anforderungen mit anwendungsspezifischer Gewichtung und entsprechend gewichtetem Validierungsergebnis für die Möbelbranchen-Anwendungsfälle

Durch die Gewichtung und qualitative Einschätzung ergibt sich eine Gesamtbewertung von 93% für die Anwendungsfälle aus der Möbelbranche. Die Szenarien aus der Möbelbranche trugen aktiv zu der positiven Validierung der Eignung des Feedbackraums für sowohl interne als auch externe Interaktionen bei. In beiden Anwendungsfällen wurden ebenfalls die KPI-Cluster herangezogen und von den Anwendungspartnern validiert. Exemplarische Einblicke in das KPI-basierte Monitoring verstärkten die Aussagen der Anwender, dass sich der Feedbackraum gut in die Prozesse eingliedert und Optimierungen von bisherigen Prozessen zulässt.

6.3 Anwendung des Feedbackraums für Closed Loop Engineering in der Produktionsplanung

Das Validierungsszenario wird in Kapitel 6.3.1 vorgestellt und motiviert. Darauf aufbauend erfolgt die Erläuterung des Szenarios in Kapitel 6.3.2. Abschließend wird auf eine ausführliche Bewertung der KPI-Betrachtung sowie Einschätzung des Erfüllungsgrads der Anforderungen eingegangen (Kapitel 6.3.3).

6.3.1 Motivation und Ausgangslage des Anwendungsfalls

Insbesondere der Kundenwunsch nach individuellen Produkten steht im Kontrast zu der durch den Wettbewerb erzeugten Notwendigkeit von verkürzten Lieferzeiten. In der produzierenden Industrie äußert es sich häufig in vermehrten Aufträgen, die kleinere Losgrößen beinhalten. Diese Ausgangslage führt zu höheren Ansprüchen an eine Flexibilisierung der Produktion und eine erhöhte Konfigurierbarkeit der Produkte. Daher wird in der Industrie der Ansatz eines Closed-Loop-Engineering mithilfe der digitalen Fabrik verfolgt. Ziel ist es in kurzen Iterationszyklen sowohl in der realen als auch virtuellen Fabrik schnell Problembehebungen und Optimierungen vornehmen zu können. Dazu werden Technologien aus den Bereichen Produktions- und Prozessautomatisierung, VR und IoT miteinander kombiniert.

Als Validierungsumgebung, die in Auszügen in der Veröffentlichung von Bender et al. (2019) vorgestellt wurde, diente ein VR-Demonstrator, der die kommerzielle IoT-Plattform CONTACT Elements for IoT mit einem FZI-entwickelten Produktprozessplaner sowie MES verknüpft. Der Feedbackraum wurde demnach mithilfe der digitalen Fabrik umgesetzt und fokussierte sich auf die Simulation der Prozessebene. Im Vordergrund stand die Auswirkung einer Layoutplanung auf die Effizienz und Effektivität der Produktionslinie.

In Abbildung 6-10 ist ein grundlegender Ablauf eines Umplanungsszenarios mithilfe eines digitalen Zwillings veranschaulicht. Grundlage bietet eine aktive Produktionslinie. In dieser tritt während der Produktion ein Fehler auf. Es kann sich auch um eine Ineffizienz handeln. Die Gründe hierfür können vielfältig sein und unterliegen einer genauen Analyse. In dem idealtypischen Prozess eines Closes-Loop-Engineerings werden alle Maschinendaten in Echtzeit an den digitalen Zwilling übermittelt. So kann in der virtuellen Umgebung der Sachverhalt durch eine datengetriebene Analyse überprüft werden. Mögliche Ursachen können beispielsweise auf den Verschleiß einer Maschinenkomponente oder ein Fehler in der Produktionsplanung rückführbar sein. Nach Identifizierung des Fehlers startet der virtuelle Re-Engineering-Prozess. Die notwendigen Änderungen an der Produktionslinie können virtuell getestet und anschließend in einer Simulation validiert werden. Hat sich ein Lösungsansatz virtuell bewährt, wird dementsprechend der digitale Zwilling und die Anlage modifiziert.

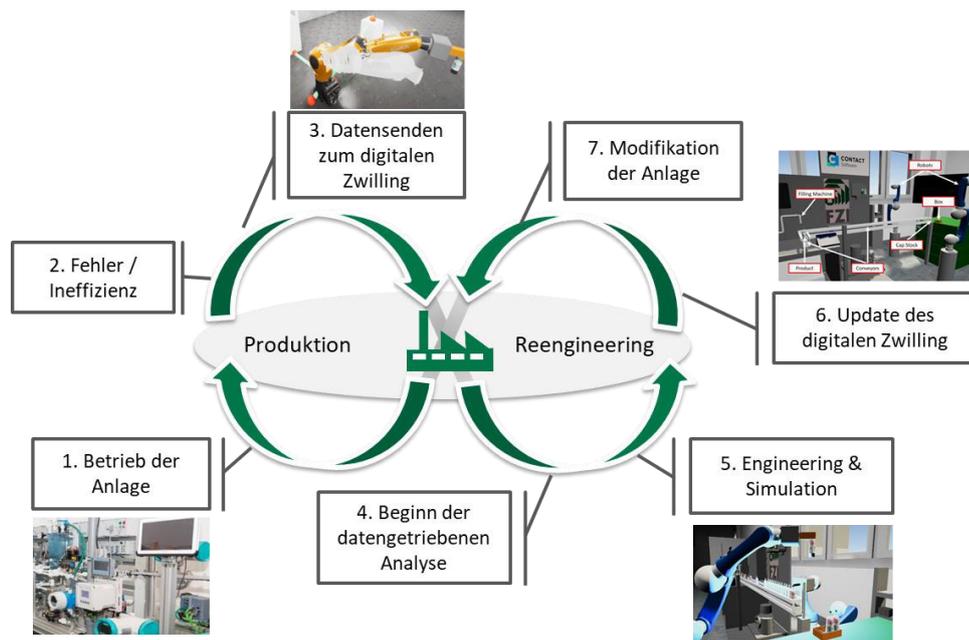


Abbildung 6-10: Ablauf einer Anlageumplanung mittels digitalen Zwillingen nach dem Closed-Loop-Ansatz

6.3.2 Umsetzung des Anwendungsfalls aus dem Maschinenbau

Ein konkreter Anwendungsfall wurde für den Closed-Loop-Ansatz entworfen und mit dem Konzept des Feedbackraums umgesetzt. Zu diesem Zweck wurde eine Abfüllanlage aus dem FZI Living Lab Industrial Intelligence um einen digitalen Zwilling erweitert. Die Abbildung 6-11 gibt einen ersten Eindruck auf den Anwendungsfall.

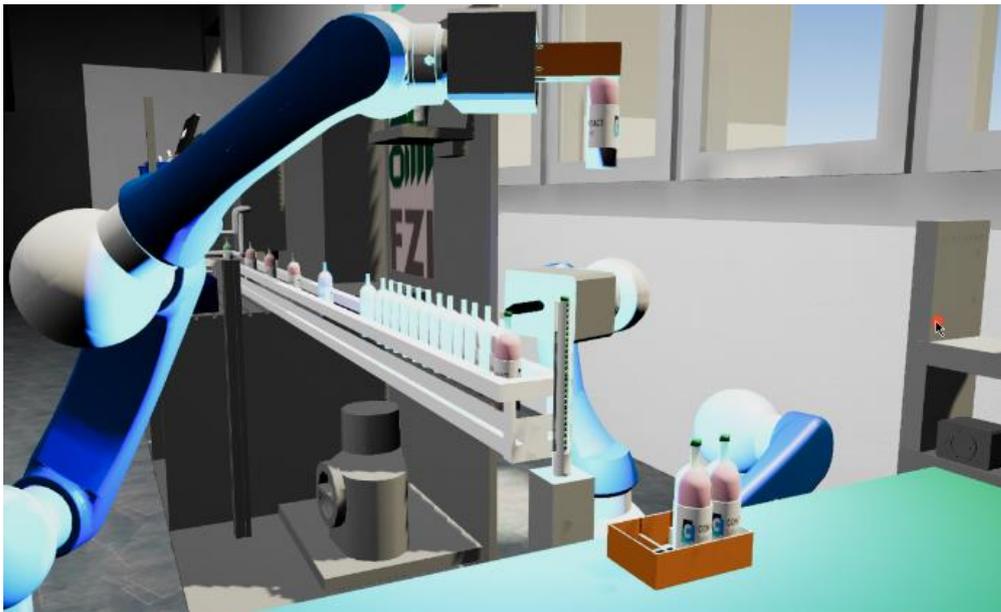


Abbildung 6-11: VR-gestützte Simulation des Closed-Loop-Engineerings in der Engine Unity

In dem Szenario füllt die Maschine je nach Auftragsart eine Flasche mit einem unterschiedlichen Füllstand. Dementsprechend werden im nächsten Produktionsschritt Deckel auf die Flaschen gesetzt. Dazu werden die Flaschen über ein Förderband zu einem Roboter weitergeleitet. Dieser verschließt die Flaschen mit einem blauen Deckel. Falls eine andere Deckelart laut Auftrag gefordert ist, wird das Werkzeug des Roboters gewechselt. Das nun verbaute Gravurwerkzeug ergänzt den Deckel mit einer entsprechenden Gravur. Mit dem Greifarm wird die Flasche dann in eine Transportkiste gestellt. Der Ablauf ist in Abbildung 6-12 anschaulich dargestellt.

Förderband 1 befördert die Flasche zur Abfüllanlage		
Abfüllanlage füllt die Flasche ab mit...		
Green_Bottle	Yellow_Bottle	Blue_Bottle
Füllstand: 1.1 Farbe: grün	Füllstand: 0.9 Farbe: gelb	Füllstand: 1.1 Farbe: blau
Förderband 2 befördert die Flasche zur Abholposition		
Roboter holt einen blauen Deckel aus der Deckelablage und setzt den Deckel auf die Flasche auf		
ist die Flasche vom Typ „green“ oder „yellow“?		
Green_Bottle	Yellow_Bottle	Blue_Bottle
Roboter graviert Deckel: grün	Roboter graviert Deckel: gelb	
Roboter greift die fertige Flasche und befördert sie in die Transportkiste		

Abbildung 6-12: Ablaufdarstellung des Anwendungsfalls des Closed-Loop-Engineering

Aus technischer Sicht wurde der Feedback-Manager mit einem Process Planning & Execution System gekoppelt. Als Workflow-Manager fungierte eine kommerzielle IoT-Plattform (*CONTACT Elements for IoT Plattform*). Die Feedbackdaten wurden in der virtuellen Umgebung erfasst, die in Abbildung 6-13 dargestellt ist. Diese virtuelle Fabrik bestand aus vier Ressourcen:

- Abfüllanlage
- Förderbänder
- Roboterarm
- Transportbox

Die Produkte setzen sich aus den Flaschen und Deckeln zusammen. Zusätzlich zu den Sensoren des Roboterarms wurde eine Kamera verwendet, die die Transportbox und die aktuelle Bestückung der Box erfasst.

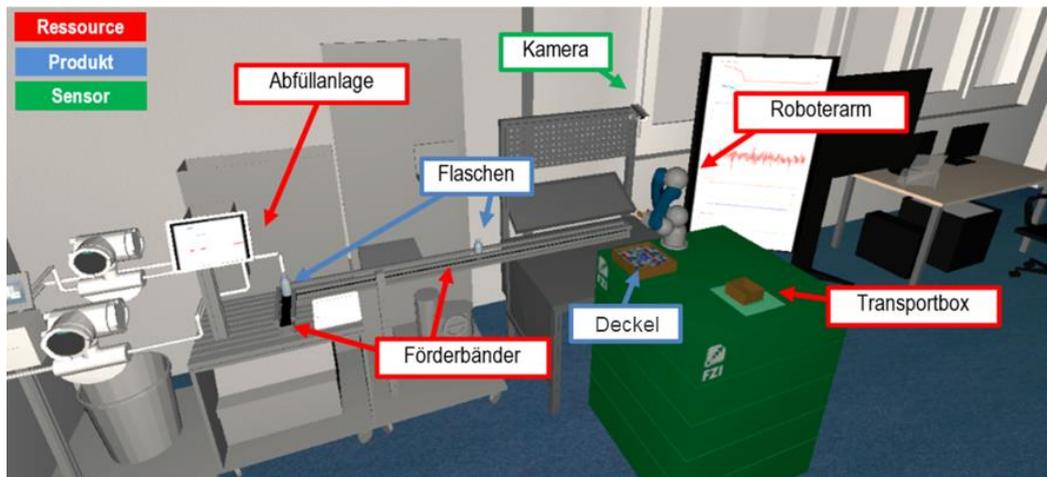


Abbildung 6-13: Aufbau der virtuellen Fabrik für den Anwendungsfall des Closed-Loop-Engineering

Alle notwendigen Kontextdaten der virtuellen Fabrik wurden in dem Feedback-Manager angelegt (siehe Abbildung 6-14), welcher ebenfalls die Funktionen der Prozessplanung und Ausführung beinhaltet. Hierzu wurde der skillbasierte Ansatz für Produkt, Prozess und Ressourcen (PPR) verwendet. Dieser ermöglicht abstrakte High-Level-Fähigkeiten für Maschinen ohne Implementierungsdetails zum Typ zu definieren. Der Roboterarm in dem Anwendungsfall hat dementsprechend die Fähigkeiten Transportieren, Montieren und Gravieren und wird dementsprechend herstellerunabhängig betrachtet. Für die Planung der Produktionsschritte reicht es aus, die Abfolge der Fertigkeiten zu bestimmen. Im Kontext von PPR beinhaltet die Beschreibung eines Produkts ebenfalls die Reihenfolge der notwendigen Fertigungsschritte ausgehend vom Ausgangswerkstück. Zur Laufzeit werden diese erforderlichen Fertigkeiten (Produktfertigkeiten) auf die von den Maschinen bereitgestellten Fertigkeiten (Ressourcenfertigkeiten) im tatsächlichen Layout abgebildet.

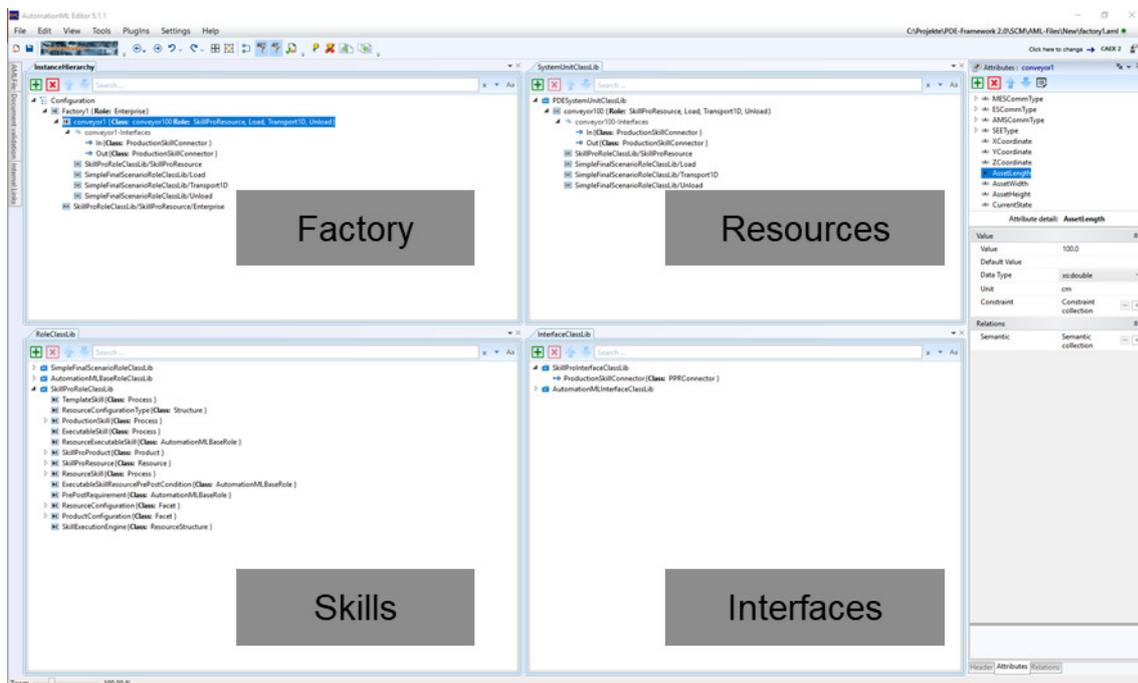


Abbildung 6-14: Anlegen der Fabrik im Feedback-Manager bestehend aus Ressourcen, Skills und der Schnittstellen

Abbildung 6-15 zeigt die technische Infrastruktur. Es wurde ein VR-Demonstrator auf Basis der CONTACT Elements for IoT Plattform mit einem webbasierten Feedback-Manager inklusive der Produktionsprozessplaner des FZI Forschungszentrums Informatik in Java sowie der Unity Game Engine für die Echtzeitsimulation in VR entwickelt. Im Folgenden ist der Ablauf des Anwendungsfalls geschildert:

1. Die Daten werden im Feedback-Manager angelegt. Eine Anreicherung der Daten (z. B. Layout-Informationen) über das Register des Workflow-Managers ist möglich.
2. Die Feedback-Kampagne inkl. Definition zur Aufdeckung von Ineffizienz und Prozessverzögerungen wird angelegt.
3. Die virtuelle Fabrik liefert über den Workflow-Manager die Feedbackdaten.
4. Die gesammelten Daten werden der IoT-Plattform zu Auswertungszwecken zur Verfügung gestellt.
5. Die virtuelle Fabrik wird in der Simulation rekonfiguriert und optimiert.
6. Die Anpassungen werden in der realen Fabrik durchgeführt.

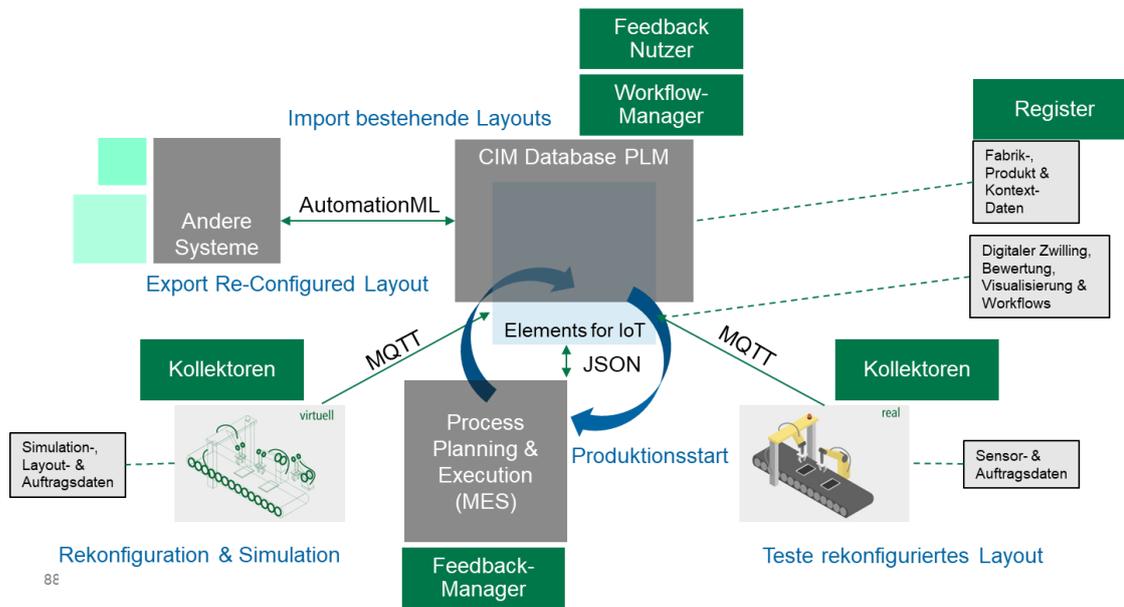


Abbildung 6-15: Technische Infrastruktur und Datenflüsse des Anwendungsfalls Closed-Loop-Engineering

In diesem Validierungsfall erfolgte die Datenaufnahme in der virtuellen Fabrik. Jedoch kann ebenfalls eine Feedback-Kampagne in der realen Fabrik ausgeführt werden. Zusammengefasst ergeben sich die Rollenzuweisungen im Feedbackraum gemäß Tabelle 6-7.

ROLLE IM FEEDBACKRAUM	BESCHREIBUNG
FEEDBACK-GEBER	Virtuelle Fabrik
FEEDBACK-ERFASSER	Kollektor in Unity
FEEDBACK-INITIATOR	IoT-Plattform
FEEDBACK-EIGENTÜMER	Produzierendes Unternehmen
FEEDBACK-NUTZER	IoT-Plattform

Tabelle 6-7: Zuweisung der Rollen in einem Feedbackraum für den Anwendungsfall des Closed-Loop-Engineering

Die KPI-basierte Überwachung kann in zwei Teile unterschieden werden. Zum einen wurden die Feedbackdaten für ein Dashboard genutzt (siehe Abbildung 6-16), welches die aktuelle Produktion bzw. Produktionssimulation faktenbasiert begleitet. Hier wurden anwendungsfallsspezifische KPIs entwickelt, die es ermöglichen Ineffizienzen im Prozess zu identifizieren.

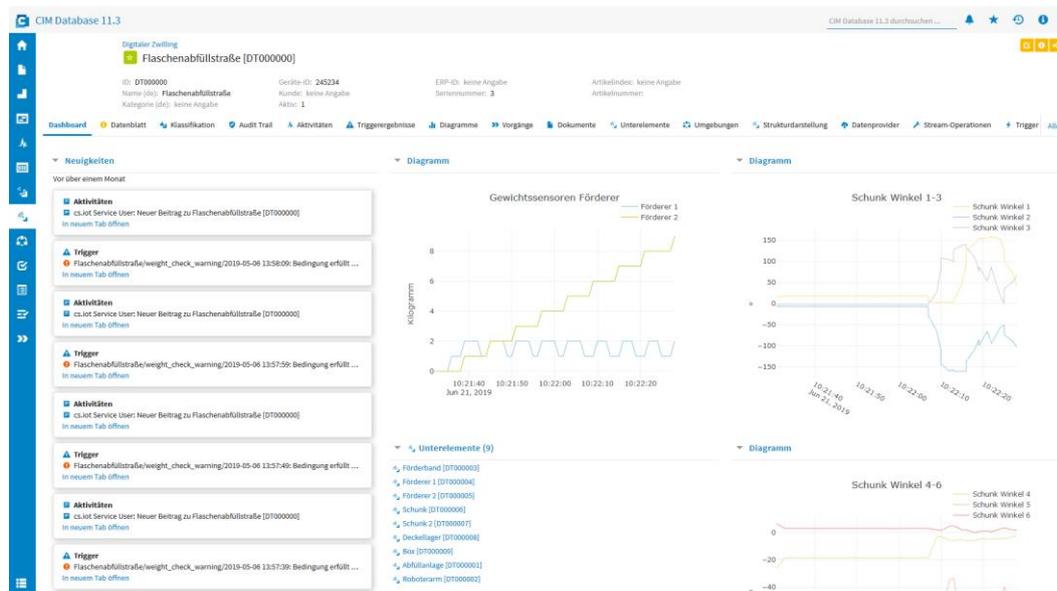


Abbildung 6-16: Darstellung des Dashboards zur laufenden Produktion

Zum anderen wurden zur Überprüfung der Effizienz des aufgebauten Feedbackraums die in Tabelle 6-8 aufgelisteten KPIs herangezogen. Vor der tatsächlichen Umsetzung wurden diese ausgewählt. Davon sind 17 der 18 KPIs dem Cluster Technik zugeordnet.

ZIELGRÖßE	CLUSTEREINORDNUNG	RELEVANTE KPI
Akzeptanzbereitschaft	Mensch – Mitarbeiter – Arbeitsbedingung	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrgenommene Nützlichkeit [0;100] (Schmaltz, 2009, S. 70) • Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit [0;100] (Schmaltz, 2009, S. 70)
Maschine	Technik – Kommunikation – Kommunikationsknoten	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentualer Anteil an kommunikationsfähigen Maschinen in der Produktion [%]
System	Technik – Kommunikation – Kommunikationsknoten	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentuale Ausfalldauer des Systems mit eingeschränkter Erreichbarkeit [%]
Verbindung	Technik – Mensch-Maschinen-Schnittstellen – Kommunikationsknoten	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer der Ausfälle der Verbindung im Betrieb [%]
Diagnose	Technik – Mensch-Maschinen-Schnittstellen – Funktionsteilung	<ul style="list-style-type: none"> • Einsparung durch Remote Support (Arbeitszeit, Reisekosten) [€ /Monat]
Produktivität	Technik – Mensch-Maschinen-Schnittstellen – Arbeitsleistung	<ul style="list-style-type: none"> • Produkt-Output [Stk. /Monat]
Fehlerreduzierung	Technik – Mensch-Maschinen-Schnittstellen – Arbeitsleistung	<ul style="list-style-type: none"> • Produkt-Fehlerquote [%] [Stk. /Auftrag]

Reichweite	Technik – Software & Systemtechnik – Integration	<ul style="list-style-type: none"> • Digitaler Reifegrad [%] (Krol et al., 2021, S. 32)
Funktion als Eignung	Technik – Software & Systemtechnik – Qualität	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionale Vollständigkeit: Erfüllungsgrad der Benutzerziele [%] (ISO 25010, 2011) • Funktionale Korrektheit: Richtigkeit der Ergebnisse des Systems [%] (ISO 25010, 2011) • Funktionale Angemessenheit: Grad der Erleichterung von Aufgabenabarbeitung durch das System [%] (ISO 25010, 2011)
Kompatibilität	Technik – Software & Systemtechnik – Qualität	<ul style="list-style-type: none"> • Interoperabilität: Grad in dem mehrere Systeme Informationen nutzen und austauschen können [%] (ISO 25010, 2011)
Übertragbarkeit	Technik – Software & Systemtechnik – Qualität	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassungsfähigkeit: Grad der Möglichkeit ein System an eine andere Umgebung anzupassen [%] (ISO 25010, 2011)
Traceability	Technik – Sensorik, Aktorik & Eingebettete Systeme – Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> • Durchschnittliche Dauer der Verortung eines Fehlers [min]
Digitaler Zwilling	Technik – Sensorik, Aktorik & Eingebettete Systeme – Funktionalität	<ul style="list-style-type: none"> • Existenz eines digitalen Zwillings [ja/nein] • Maß des Einsatzes vom digitalen Zwilling in der Produktion [%]
Komplexitätsgrad	Technik – Sensorik, Aktorik & Eingebettete Systeme – Leistungsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Umfang der Nutzung von Sensoren zu Auswertungszwecken [%]

Tabelle 6-8: Relevante Zielgrößen der KPI-Kategorien für den Closed-Loop-Engineering-Anwendungsfall

6.3.3 Bewertung des Closed-Loop-Engineering-Anwendungsfalls

Die Bewertung bzw. Messung der KPIs erfolgt durch die Erfahrungen aus den Laborversuchen als auch durch die Einschätzung der an der Umsetzung beteiligten fünf Personen. Die folgende Tabelle 6-9 beinhaltet die Resultate. Zudem wird die Messung in den Gesamtkontext durch ein Ampelsystem eingeordnet. Dabei entspricht die rote Ampel einer unzureichenden Entwicklung, die grüne einer positiven Entwicklung und die orange bildet einen Mittelweg ab. In diesen Fällen gibt es weitere Verbesserungspotentiale, jedoch wurde ein positiver Trend erkannt. Von den 18 KPIs wurden zwei nach der Umsetzung als nicht geeignet eingestuft. Diese KPIs sind für die Weiterentwicklung des Anwendungsfalls jedoch weiterhin relevant. Insgesamt konnte der Feedbackraum durch 13 KPIs als aktuell erfolgreich eingestuft werden. Es gab nur eine kritische KPI, die ebenfalls auf die Weiterentwicklung des Prototyps abzielt. Somit sollte der in diesem Anwendungsfall aufgebaute Prototyp im nächsten Schritt nicht

nur mit virtuellen, sondern mit realen Komponenten agieren. Zudem ist der Ansatz auf seine Übertragbarkeit bzw. einer weitergehenden Modularisierung zu prüfen.

KPI	MESSUNG	EINORDNUNG
Wahrgenommene Nützlichkeit	Bewertung erfolgte durch Projektpartner: 80/100	
Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit	Bewertung erfolgte durch Projektpartner: 90/100	
Prozentualer Anteil an kommunikationsfähigen Maschinen in der Produktion	66,67%	
Prozentuale Ausfalldauer des Systems mit eingeschränkter Erreichbarkeit	2 %	
Dauer der Ausfälle der Verbindung im Betrieb [%]	2 %	
Einsparung durch Remote Support [€/Monat]	Innerhalb der Laborumgebung nicht relevant.	
Prozessverkürzung	60 %	
Produkt-Fehlerquote [%]	Von 40 % auf 5 %	
Digitaler Reifegrad [%]	Bewertung erfolgte durch Projektpartner: 75/100	
Funktionale Vollständigkeit: Erfüllungsgrad der Benutzerziele [%]	Bewertung erfolgte durch Projektpartner: 90 %	
Funktionale Korrektheit: Richtigkeit der Ergebnisse des Systems [%]	Bewertung erfolgte durch Projektpartner: 100 %	
Funktionale Angemessenheit: Grad der Erleichterung von Aufgabenabarbeitung durch das System	Bewertung erfolgte durch Projektpartner: 90 %	
Interoperabilität: Grad in dem mehrere Systeme Informationen nutzen und austauschen können [%]	Bewertung erfolgte durch Projektpartner: 95 %	
Anpassungsfähigkeit: Grad der Möglichkeit ein System an eine andere Umgebung anzupassen [%]	Bewertung erfolgte durch Projektpartner: 30 %	
Durchschnittliche Dauer der Verortung eines Fehlers [min]	10 min	
Existenz eines digitalen Zwillings [ja/nein]	Ja	

Maß des Einsatzes vom digitalen Zwilling in der Produktion [%]	Innerhalb der Laborumgebung nicht relevant.	
Umfang der Nutzung von Sensoren zu Auswertungszwecken [%]	Bewertung erfolgte durch Projektpartner: 95 %	

Tabelle 6-9: Auswertung der KPIs nach der Umsetzung des Closed-Loop-Engineering-Anwendungsfalls mit der Einordnung des Ausmaßes nach einem Ampelsystem (rot – schlecht, orange – mittel, grün – gut)

In Tabelle 6-10 ist eine Übersicht der bewerteten Anforderungen für den Closed-Loop-Engineering-Anwendungsfall zu finden. Auf Basis der Relevanz (Kann-, Soll- oder Muss-Kriterium) der Anforderung und den hier vorliegenden Validierungsszenarien wurde eine Gewichtung festgelegt. Zudem erfolgte, wie bereits beim vorangehenden Anwendungsfall, eine qualitative Einschätzung der Anforderungserfüllung.

Die Allgemeingültigkeit der Methodik (I) konnte insbesondere durch die zwei unterschiedlichen Anwendungsfälle aus dem Maschinenbau und der Möbelbranche bestätigt werden. Beim Closed-Loop Anwendungsfall lag der Fokus auf der Fabrik-Layoutplanung und der Produktionsplanung. Angrenzende Produktlebensphasen (II) wurden nur eingeschränkt berücksichtigt. Es bedarf einer Vorabanalyse, die sowohl mikro- als auch makroskopische Betrachtungen einbezieht. Die konkrete Umsetzung beinhaltete verschiedene Systeme und stärkte deren Interoperabilität (III). Jedoch handelte es sich um ein Laborszenario, weshalb die Skalierbarkeit (IV) nicht uneingeschränkt geprüft werden konnte. Daher ist der Erfüllungsgrad mit 85% zu bewerten.

Auch in diesem Szenario wurden Erweiterungskonzepte (V) während der Umsetzung entwickelt, jedoch nur vereinzelt umgesetzt. Dies führt zu einer Bewertung von 80%. Ebenso konnte die Anforderung der Nachhaltigkeit nicht ausreichend untersucht werden. Die Laborumgebung ermöglichte es nur eingeschränkt die unternehmensspezifischen Prozesse abzubilden, sodass eine qualitative Bewertung des Erfüllungsgrad mit 25% erfolgte.

Für den Feedbackraum wurde ein digitaler Zwilling aufgebaut. Dieser erlaubt den Einsatz für weitere Anwendungsfälle. Da keine weiteren Szenarien in diesem Konzept umgesetzt wurden, aber die Möglichkeit gegeben ist, wird die Anforderung der Anwendbarkeit (VII) zu 85% erfüllt. Der digitale Zwilling der Produktion dient maßgeblich der Verbesserung von internen Prozessen, sodass die Kommunikation (VIII) mit Wertschöpfungspartnern nicht im Vordergrund stand. Da das Szenario jedoch einen Produzenten und einen IoT-Anbieter abgebildet hat, kann diese Anforderung mit einer Teilerfüllung in der Höhe von 65% bewertet werden. In dem Szenario wurden Branchen-Standards (IX) wie AutomationML oder OPC UA eingesetzt. Der Einsatz von Kommunikationsstandards ermöglicht unter anderem auch eine verbesserte Kommunikation und weniger Interaktionsschleifen (X). Der Einsatz von Standards ermöglicht ebenfalls die Kompatibilität (XI) mit unterschiedlichen Wertschöpfungspartner. Auch der Aufbau als Laborszenario soll weitere Unternehmen für weitere Testbetriebe motivieren. Da die Möglichkeit besteht, aber noch keine Umsetzungen erfolgt sind, ist die Anforderung zu 65% erfüllt.

Insbesondere die Reduzierung von Zeit bei der Fehlerbehebung stand im Vordergrund des Anwendungsfalls. Diese Optimierung (XII) war erfolgreich. Die Optimierung bezog sich auf unterschiedliche Produktvarianten, weshalb auch der Produktbezug (XIII) nachgewiesen wurde.

ID	Titel	Beschreibung	Gewichtung	Erfüllungsgrad	Validierungskennzahl
I	Allgemeingültigkeit	Die Methodik ist anwendbar unabhängig von der Branche.	8%	100%	8%
II	Holistische Betrachtung	Die Methodik muss unabhängig von der Branche anwendbar sein.	7%	75%	5,3%
III	Interoperabilität	Die Methodik soll alle Phasen des Produktlebenszyklus unter Berücksichtigung relevanter Aspekte beleuchten.	4%	100%	4%
IV	Skalierbarkeit	Die Methodik kann die Überwindung von Systemgrenzen unterstützen.	13%	85%	11,1%
V	Erweiterbarkeit	Die Methodik muss einsetzbar für lokale Feedbackmechanismen bis hin zu komplexen Gesamtsystemen sein.	4%	80%	3,2%
VI	Nachhaltigkeit	Die Methodik kann einfache und schnelle funktionale Erweiterungen zur Integration neuer Technologiefelder zu lassen.	10%	25%	2,5%
VII	Anwendbarkeit	Die Methodik muss in die bestehende Infrastruktur und unternehmensspezifische Prozesse langfristig eingebaut werden.	7%	85%	6%
VIII	Digitale Kommunikation	Die Methodik soll in unterschiedlichen Anwendungsfällen eingesetzt werden.	8%	65%	5,2%
IX	Branchen-Standards	Ein Feedbacksystem muss die Kommunikation zwischen Wertschöpfungspartnern digital unterstützen.	7%	100%	7%
X	Rückspracheschleifen	Ein Feedbacksystem soll die Einführung und Nutzung von Branchen-Standards fördern.	4%	100%	4%
XI	Kompatibilität	Ein Feedbacksystem kann manuelle Iterationen in der Kommunikation bei Rückfragen vermeiden.	6%	65%	3,9%

XII	Optimierung	Ein Feedbacksystem soll kompatibel für unterschiedliche Wertschöpfungspartner sein.	15%	100%	15%
XIII	Produktbezug	Ein Feedbacksystem muss positive Auswirkungen auf das Tagesgeschäft haben (Zeit, Kosten, Qualität).	7%	100%	7%
				Ergebnis	82,1%

Tabelle 6-10: Bewertung der Anforderungen mit anwendungsspezifischer Gewichtung und entsprechend gewichtetem Validierungsergebnis für den Closed-Loop-Anwendungsfall

Die Validierung der Methodik in dem Anwendungsfall des Closed-Loop-Engineering kann mit einer qualitativen, gewichteten Validierungsquote von 82% als erfolgreich eingestuft werden. Die Methodenmodule des Feedbackraums und der KPI-Kategorisierung sind prototypisch anwendbar. Die spezifischen Rollen, Interaktionen und Funktionsweisen wurden systematisch beschrieben. Es erfolgte ebenfalls die in dem Vorgehen vorgesehene Erfolgskontrolle, die weitere Potentiale aufgedeckt hat. Dies spricht für den hier verfolgten Ansatz der kontinuierlichen Verbesserung.

6.4 Teilvalidierung der Potentialanalyse mit Expertenbefragung

Dieser Teil der Validierung betrifft das Methodikmodul der Potentialanalyse. Aufbauend auf den bereits vorgestellten Validierungsergebnissen wurde eine Notwendigkeit einer Voranalyse abgeleitet, die in Kapitel 6.4.1 erläutert wird. Für die Validierung wurden vier Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagebau interviewt (Kapitel 6.4.3). Es erfolgt in Kapitel 6.4.3 zudem die Bewertung der formalen Ergebnisse der Potentialanalyse von den Experten der entsprechenden Unternehmen.

6.4.1 Anforderungen an die Potentialanalyse abgeleitet aus vorheriger Validierung

Bei der Validierung der ersten beiden Anwendungsfälle konnten einige Anforderung nicht zufriedenstellend erfüllt werden. Dies betrifft folgende Aspekte:

- **Holistische Betrachtung:** Die Methodik soll alle Phasen des Produktlebenszyklus unter Berücksichtigung relevanter Aspekte beleuchten.
- **Erweiterbarkeit:** Die Methodik lässt einfache und schnelle funktionale Erweiterungen zur Integration neuer Technologiefelder zu.
- **Nachhaltigkeit:** Die Methodik muss in die bestehende Infrastruktur und unternehmensspezifische Prozesse langfristig eingebaut werden.

Im Nachgang wurde festgestellt, dass eine systematische Betrachtung von Technologien im Kontext des Wertschöpfungsnetzwerks notwendig ist. Dies soll nicht nur bei der Identifizierung von relevanten Technologien zur Optimierung von Prozessen unterstützen, sondern ebenfalls bei der langfristigen Integration in strategische Mechanismen des Unternehmens.

Aus diesem Grund wurde die Methodik um eine umfangreiche Potentialanalyse erweitert. Diese muss insbesondere die drei oben genannten Anforderungen erfüllen. Zudem wird diese durch Expertenbefragungen validiert. Da es sich um laufende Projekte handelt, kann aktuell nur eine Aussage über die Potentialanalyse getroffen werden. Die befragten Unternehmen haben im Nachgang die Ergebnisse der eigenen Potentialanalyse bewertet. Hierzu wurden drei Aspekte beleuchtet:

1. Dauer: Die Potentialanalyse soll einen schnellen Einstieg in die Thematik ermöglichen. Daher muss die Beantwortung eines Fragebogens innerhalb von 30 Minuten möglich sein.
2. Verständnis: Die Potentialanalyse bietet einen niedrigschwelligen Zugang zu der Thematik. Die Beantwortung soll aus diesem Grund nicht zwingend in einer Befragung durchgeführt werden, sondern die Struktur und Formulierung ist selbsterklärend und nachvollziehbar.
3. Eignung der Auswertungsmatrix: Die Potentialanalyse bietet eine strukturierte Methode auf Grundlage der Antworten automatisiert Technologie- und Potentialfelder abzuleiten. Die Übereinstimmung der formalisierten Ergebnisse zu der Selbsteinschätzung der Teilnehmenden ist gefordert.

6.4.2 Expertenbefragung und Auswertung

Ziel der Potentialanalyse ist das Nachvollziehen der IST-Situation mittels eines Fragebogens und die Erfassung möglicher Potentiale durch die Betrachtung des SOLL-Zustands. Um dieses Ziel zu erreichen, muss ein aussagekräftiger Fragebogen die Ermittlung von Informationen und Daten gewährleisten. Anhand von vier Expertenbefragungen wurden die unternehmensspezifischen Determinanten, Potentiale und relevante Technologiefelder ermittelt.

Nach einer internen Pilotanwendung und einer Korrektur sowie Vereinfachung der Fragen erfolgte ein 30-minütiger Testlauf mit einem Unternehmen. Die draus resultierende Version der Befragung wurde dann in vier Expertenbefragungen in einem Online-Meeting durchgeführt. Eine Charakterisierung der Unternehmen ist in Tabelle 6-11 zu finden. Abschließend erhielten die Unternehmen die Detailanalyse ihres Unternehmens mit Handlungsempfehlungen.

	U1	U2	U3	U4
BRANCHE	Formenbau und Kunststoff-technik	Metallbau, Industrie-mechanik, Robotiksysteme	Spezialchemie	Oberflächen-technik
MITARBEITENDE	300	40	750	Unter 50
GRÖßE	Mittel	Klein	Groß	Klein
UMSATZ	50 Mio. Euro	5 Mio. Euro	626 Mio. Euro	4 Mio. Euro
POSITION	Projektleiter	Geschäftsführer	Strategische Unternehmens-entwicklung	Geschäftsführer

Tabelle 6-11: Charakterisierung der Teilnehmenden und deren Unternehmen im Rahmen der Expertenbefragung

Die Auswertung des Unternehmens U1 zeigte viele gute Übereinstimmungen mit vielen Potentialfeldern. Insbesondere die Potentialfelder im Bereich *Standards und Normungen* hatten alle ein besonders geringes Abweichungsmaß (kurz: Abw.) und ein hohes Ähnlichkeitsmaß (Ähn.). Kurz rekapituliert, beschreibt das Abweichungsmaß die normierte, gemittelte Abweichung vom Unternehmensprofil zum jeweiligen Profil des Potential- bzw. Technologiefelds. Dahingegen zählt das Ähnlichkeitsmaß die Determinanten, die nur

gering abweichen, und setzt diese mit der Anzahl der relevanten Determinanten je Feld ins Verhältnis. Details zu der Berechnung können der Methodik (siehe Kapitel 5.2.1.2) entnommen werden. Bis auf das Technologiefeld Mensch-Maschinen-Schnittstellen konnte in allen anderen Feldern relevante Potentialfelder identifiziert werden. Durch eine Gewichtung der beiden Maße mit 70% auf das Abweichungsmaß, ergibt sich folgende Rangfolge der ersten sieben Potentialfelder:

1. Standards für Produktkataloge (Abw.: 15,7%, Ähn.: 44,4%)
2. Digitale Produktdokumentation und Standardisierung (Abw.: 15,3%, Ähn.: 42,9%)
3. Identifikationsmittel (Abw.: 20,2%, Ähn.: 40,0%)
4. Interne, horizontale Vernetzung im Shopfloor (Abw.: 21,7%, Ähn.: 36,4%)
5. Vernetzung über digitale Lieferantenplattform (Abw.: 21,7%, Ähn.: 36,4%)
6. Interne, vertikale Vernetzung über mehrere Ebenen (Abw.: 23,1%, Ähn.: 36,4%)
7. Kommunikationsprotokolle (Abw.: 18,5%, Ähn.: 25,0%)

Aus Perspektive des Unternehmens sind insbesondere die digitale Produktdokumentation (Rang 2) und die Einbeziehung in die Produktentwicklung (Rang 8) wichtig. Da die Produkte sehr individuell sind, wurde noch nicht viel standardisiert. Dies ist jedoch sehr relevant, insbesondere da so die Kundeneinbeziehung auch besser gestaltet werden kann.

Das Unternehmen U2 teilt unabhängig von der Potentialanalyse mit, dass aufgrund der Nachfrage insbesondere im Bereich Schnittstellen für Ersatzteilbestellungen nächste digitale Entwicklungen getätigt werden sollen. Ebenso ist die Berücksichtigung des Kundenwunsches ausschlaggebend für den Erfolg des Unternehmens. Laut der Potentialanalyse rangieren diese Potentialfelder an erster und fünfter Stelle. Das Potentialfeld des Customer Experience Management hat eine große Überschneidung mit dem von dem Unternehmen benannten Themen und ist in der Analyse an zweiter Stelle aufgeführt. Die sieben Top Potentialfelder sind:

1. Schnittstellen für Ersatzteilbestellungen (Abw.: 13,2%, Ähn.: 80,0%)
2. Customer Experience Management im Sales (Abw.: 19,0%, Ähn.: 50,0%)
3. Assistenzsysteme im Shopfloor (Abw.: 19,0%, Ähn.: 37,5%)
4. Identifikationsmittel (Abw.: 17,2%, Ähn.: 30,0%)
5. Kundeneinbeziehung in die Produktentwicklung (Abw.: 23,2%, Ähn.: 37,5%)
6. Digitale Produktdokumentation & Standardisierung (Abw.: 26,1%, Ähn.: 42,9%)
7. Interne, Vertikale Vernetzung über mehrere Ebenen (Abw.: 21,5%, Ähn.: 27,3%)

Die Performance der Indikatoren (Ähnlichkeitsmaß, Abweichungsmaß) sind bei dieser Befragung sehr gut. Auch die Übereinstimmung der Selbsteinschätzung und Analyseergebnisse erfüllen alle Anforderungen. Bei der Befragung von Unternehmen U3 konnten vergleichbare Ergebnisse für die ersten sieben Potentialfelder berechnet werden:

1. Externe, horizontale Vernetzung im Shopfloor (Abw.: 14,7%, Ähn.: 71,4%)
2. Kommunikationsprotokolle (Abw.: 15,7%, Ähn.: 50,0%)
3. Interne, horizontale Vernetzung im Shopfloor (Abw.: 22,5%, Ähn.: 55,6%)
4. Standards für Produktkataloge (Abw.: 23,4%, Ähn.: 55,6%)
5. Assistenzsysteme im Shopfloor (Abw.: 20,9%, Ähn.: 37,5%)
6. Sensorik zur Überwachung und Qualitätssicherung (Abw.: 22,5%, Ähn.: 37,5%)
7. Kundeneinbeziehung in die Produktentwicklung (Abw.: 28,44%, Ähn.: 50,0%)

Dieses Unternehmen war das größte in der Expertenbefragung und nicht ganz in der Zielgruppe der Methodik. Der eigene Fokus des Unternehmens U3 lag auf dem Bereich Standardisierung. Die Standardisierung ist nicht ohne Grund als Querschnittsthema angelegt, da fast alle Potentialfelder es

voraussetzen bzw. Standards eine nachhaltige Umsetzung im Unternehmen ermöglichen. Der Befragte wollte sich nicht auf Potential- oder Technologiefelder festlegen, aber betonte die Überschneidung der Analyseergebnisse mit der Strategie des Unternehmens.

Das Unternehmen U4 hatte im Vergleich zu den anderen Unternehmen nicht so aussagekräftige Ergebnisse. Dabei konnten durch das Ähnlichkeitsmaß eher Favoriten bestimmt werden, als durch das Abweichungsmaß. Die Liste der ersten sieben am besten gerankten Potentialfelder ist folgende:

1. Kommunikationsprotokolle (Abw.: 25,2%, Ähn.: 50,0%)
2. Volumenflexibilität durch systemgestützte flexible Arbeitszeitmodelle (Abw.: 23,8%, Ähn.: 40,0%)
3. Standards für Produktkataloge (Abw.: 27,6%, Ähn.: 44,4%)
4. Kundeneinbeziehung in die Produktentwicklung (Abw.: 36,3%, Ähn.: 50,0%)
5. Assistenzsysteme im Shopfloor (Abw.: 27,7%, Ähn.: 25,0%)
6. Sensorik zur Überwachung und Qualitätssicherung (Abw.: 29,0%, Ähn.: 25,0%)
7. Digital gesteuerte Rekonfigurationsprozesse (Abw.: 27,4%, Ähn.: 14,9%)

Vom Unternehmen U4 wurden insbesondere Potentiale in der Verwendung von Produktkatalogen (Rang 3) und der Kundeneinbeziehung (Rang 4) gesehen. Es werden bereits vereinzelt Standards eingesetzt, die die Beherrschbarkeit der Produktvielfalt erhöht. Die Produktgestaltung ist nur in einem beschränkten Umfang möglich. Jedoch fokussiert sich das Unternehmen auf die Transparenz für die Kunden. Die Selbsteinschätzung und die Analyseergebnisse stimmen auch in diesem Fall überein.

6.4.3 Bewertung der Potentialanalyse und Verbesserungen

Durch die vorab durchgeführte Pilotanwendung konnten Fragen konsolidiert und vereinfacht werden. Ebenso wurde an der sprachlichen Präzision gearbeitet. Diese Verbesserungen haben insbesondere auf das Verständnis und die Dauer der Durchführung Einfluss gehabt. Mit dieser Version ist die Teilvalidierung durchgeführt wurden. In Tabelle 6-12 wurden die Ergebnisse und Einschätzungen zusammengefasst. Alle vier Befragungen konnten in weniger als 30 Minuten durchgeführt werden. Die Teilnehmenden schätzten die Verständlichkeit und Struktur des Fragebogen als gut bis sehr gut ein. Ebenso gab es bei jeder Befragung eine große Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Analyse und der Selbsteinschätzung. Daher kann dieser Teil der Methodik als erfolgreich validiert gekennzeichnet werden.

UNTERNEHMEN	U1	U2	U3	U4
DAUER DER BEFRAGUNG IN WENIGER ALS 30 MIN	Ja	Ja	Ja	Ja
EINSCHÄTZUNG DES VERSTÄNDNISS ES	8/10	10/10	7/10	8/10
ÄHNLICHKEITSMAB (ERSTE 3)	44%, 44%, 43%	80%, 50%, 50%	71%, 56%, 56%	50%, 50%, 44%
ABWEICHUNGSMAB (ERSTE 3)	15%, 16%, 19%	13%, 17%, 19%	15%, 16%, 21%	24%, 25%, 27%
TECHNOLOGIEFELDER	Kommunikation, Software, Sensorik	Kommunikation, Mensch-Maschinen-Schnittstellen,	Mensch-Maschinen-Schnittstellen, Software-Technik	Mensch-Maschinen-Schnittstellen, Software-Technik

POTENTIAL-FELDER	Produktkatalog, Produkt-dokumentation, Identifikationsmittel, interne horizontale Vernetzung	Ersatzteilbestellung, Customer Exp. Management, Assistenzsystem Shopfloor, Identifikationsmittel, Kundeneinbeziehung	Horizontale Vernetzung im Shopfloor (intern & extern), Kommunikationsprotokolle, Produktkataloge, Assistenzsystem Shopfloor, Kundeneinbeziehung	Kommunikationsprotokolle, Volumenflexibilität, Produktkatalog, Kundeneinbeziehung, Assistenzsystem Shopfloor
SELBST-EINSCHÄTZUNG	Produkt-dokumentation, Kundeneinbeziehung	Ersatzteilbestellung, Kundeneinbeziehung	Produkt-dokumentation, Ersatzteilbestellung	Produktkatalog, Kundeneinbeziehung
ÜBER-EINSTIMMUNG	Große Übereinstimmung	Sehr große Übereinstimmung	Mittlere Übereinstimmung	Große Übereinstimmung

Tabelle 6-12: Zusammenfassung der Teilvalidierung durch Expertenbefragung für die Potentialanalyse

Die Potentialanalyse ist insbesondere im Bereich der Potential und Technologiefelder darauf angewiesen stetig erweitert zu werden. Zudem sollten auch die Gewichtungen der einzelnen Dimensionen kontinuierlich überprüft werden.

6.5 Zusammenfassung und Fazit

Das Ziel der Validierung lag in der Bestätigung der Wirksamkeit der einzelnen Methodenmodule und deren Zusammenspiel. Es wurde exemplarisch vorgeführt, dass die Anwendung der Methodik zu der nachhaltigen Optimierung von Produkten, Prozessen und Ressourcen bezogen auf die gesamte Wertschöpfungskette führte.

Die prototypischen Implementierungen in den Anwendungsfällen aus der Möbelbranche und dem Closed Loop Engineering diente der Validierung des Methodenmoduls des Feedbackraums und des KPI-Monitorings. Vorab definierte Anforderungen wurden auf ihren Erfüllungsgrad hin überprüft. Innerhalb einer Expertenbefragung wurde die Wirksamkeit der Potentialanalyse dargelegt, die insbesondere in den Kriterien Dauer, Verständnis und Eignung der Auswertung bewertet wurden.

Es konnte bestätigt werden, dass die Methodik in unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus angewandt werden kann. Die Vorgehensweise und Bewertungsverfahren der Potentialanalyse sind leicht nachvollziehbar und können weitestgehend ohne externe Beratung durchgeführt werden. Außerdem konnten in den Anwendungsfällen verschiedene technische, menschenzentrierte und wirtschaftliche Aspekte systematisch verglichen werden. Ferner lieferte die Methodik eine Referenzarchitektur zur strukturierten und standardisierten Umsetzung flexibler Feedbackräume.

Die Methodik muss kontinuierlich erweitert werden, um für einen industriellen Kontext anwendbar zu bleiben. Dies betrifft insbesondere die Technologie- und Potentialfelder der Potentialanalyse sowie die Cluster, Subcluster und Zielgrößen des KPI-Monitorings. Unter dieser Voraussetzung können Methodenmodule des Feedbackraums langfristig zur Optimierung der datengetriebenen Kollaboration eingesetzt werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Dissertation wurde eine Methodik für den Aufbau- und Integrationsprozess eines Feedbackraums vorgestellt, welche unter Einbeziehung des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks neue Perspektiven für effiziente und datenbasierte Zusammenarbeit eröffnet. In diesem Kapitel erfolgt ein Resümee der gesamten Arbeit basierend auf den eingangs gestellten Forschungsfragen sowie ein Ausblick durch das Erörtern von Entwicklungsmöglichkeiten.

7.1 Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit

Produzierende Unternehmen stehen durch den technologischen Wandel vor einer Reihe von Herausforderungen. Diese betreffen insbesondere die oftmals gehemmte Interaktion mit Wertschöpfungspartnern aufgrund von unterschiedlichen Digitalisierungsständen sowie die unzureichende und wenig zielgerichtete, interne Datenerfassung. Um die Problematik besser einzuordnen, wurden spezifische Begrifflichkeiten und grundlegende Methoden aus dem Bereich des Produktlebenszyklus und der digitalen Fabrik im Grundlagenteil erörtert. Eine weitere wichtige theoretische Basis umfasst etablierte Methoden der Wirtschaftlichkeitsprüfung sowie Nutzenermittlung und die subjektorientierte Modellierungssprache PASS.

Aufbauend auf den vorgestellten Grundlagen folgte eine Beleuchtung der Definition von Aidi et al. (2017) zum Feedbackmanagement. Demnach ist unter dem Begriff die Sammlung und Auswertung von kontextbezogenen Informationen aus objektiven oder subjektiven Datenbeständen zu verstehen. Mittels der Vorstellung von fünf Feedbackmanagement-Dimensionen wurde aufgezeigt, dass unter Feedback nicht nur Kundenbeurteilungen zu verstehen sind, sondern der gesamte Produktlebenszyklus in jedem Knoten eines Wertschöpfungsnetzwerks relevantes Feedback hervorbringen kann. Dabei wird der reine Datenaustauschprozess als Datenraum bezeichnet (Reiberg et al., 2022). Bei dem Feedbackprozess können Innovationen aus neuen Technologiefeldern den Menschen im Wandel der Arbeitswelt unterstützen. Im Kontext von diesem Wandel wurden internationale Forschungsaktivitäten im Bereich von digitaler Vernetzung durch Datenökosysteme vorgestellt und aktuelle Entwicklungstrends aufgezeigt.

Durch die Betrachtung der mittelständisch geprägten, variantenreichen Möbelbranche konnte der aktuelle Stand der Zusammenarbeit in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken analysiert werden. Die eingangs motivierten Herausforderungen und Chancen wurden durch Online-Befragungen und Experteninterviews unterstrichen. Ein wesentliches Ergebnis der Kontextanalyse war die Ableitung von insgesamt 13 Anforderungen an ein Feedbacksystem.

Die darauf aufbauend entwickelte Methodik umfasst drei Module, die synergetisch ineinandergreifen, aber auch isoliert anwendbar sind. Mit dem ersten Methoden-Modul - *der Potentialanalyse* - erfolgt eine systematische Analyse des IST-Zustands des Unternehmens und seines Umfelds, wobei relevante Faktoren wie Mensch, Technik und Organisation berücksichtigt werden. Mithilfe eines standardisierten Vorgehens werden unternehmensspezifische Potential- und Technologiefelder identifiziert, die die gewünschten Verbesserungen und Ziele des Unternehmens widerspiegeln. Dieser Lösungsansatz bietet eine Antwort auf die in der Einleitung gestellte erste Forschungsfrage F1 zu der Identifizierung von Feedback-Mechanismen basierend auf spezifischen Eigenschaften eines Unternehmens. Die Auswahl und Umsetzung von Komponenten eines Feedbackraums erfolgt unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und der Anpassungsfähigkeit an die Unternehmensbedürfnisse durch eine frühzeitige KPI-basierte Zieldefinition. Damit wurde auch die zweite Forschungsfrage F2 durch die Einbeziehung verschiedener Perspektiven zum Vergleich von abgeleiteten Mechanismen beleuchtet.

Mit der dritten Forschungsfrage wurde die Spezifizierung von Komponenten und des Verhältnisses für ein allgemeingültiges Feedbacksystem adressiert. Ebendieses Ziel wurde im zweiten Methodenmodul verfolgt. Es fokussiert die Definition und die Strukturierung eines *Feedbackraums*. Dabei grenzt es relevante Akteure bzw. Gruppen sowie IT-Systeme voneinander ab und legt deren Beziehung zum Zweck der Feedbackerfassung und Weiterverarbeitung fest. Im nächsten Schritt wurden die Interaktionen durch ein subjektorientiertes Prozessmodell konkretisiert und darauf aufbauend eine allgemeingültige Systemarchitektur und ein Datenmodell abgeleitet. In dieser Form ist die Kommunikation sowie Interaktion ausführlich beschrieben und damit auch die vierte Forschungsfrage beantwortet.

Der vorgestellte Feedbackraum bezieht sich auf den gesamten Produktlebenszyklus und beliebig viele Wertschöpfungspartner. Demnach ist eine kontinuierliche *Überwachung und Optimierung* erfolgsentscheidend und wurde im dritten Methodenmodul adressiert. Hierzu sind 13 Cluster in drei KPI-Kategorien beschrieben, die es ermöglichen, den Feedbackraum unter den Gesichtspunkten von Mensch und Technik zu betreiben. Eine Konkretisierung erfolgte durch 27 Subcluster und 116 Zielgrößen, die wiederum konkrete KPI-Beispiele beinhalten. Durch regelmäßige Kontrolle und systematische Anpassung an externe und interne Veränderungen sichert die Methodik eine langfristige Relevanz und Effektivität, die durch die fünfte Forschungsfrage in dieser Weise gefordert wurde.

Insgesamt trägt die Methodik mit den drei Modulen dazu bei, eine individuelle Positionsbestimmung im Hinblick auf interne und externe Faktoren vorzunehmen, tieferes Verständnis von Technologieanwendungen zu erlangen und kontinuierliche Verbesserungen zur Erhöhung der Unternehmensleistung zu ermöglichen. Dies wurde ebenfalls mit der Validierung bestätigt. Die prototypischen Implementierungen in den Anwendungsfällen aus der Möbelbranche und dem Closed Loop Engineering diente der Validierung des zweiten und dritten Methodenmoduls. Innerhalb einer Expertenbefragung wurde die Wirksamkeit der Potentialanalyse dargelegt, die insbesondere in den Kriterien Dauer, Verständnis und Eignung der Auswertung bewertet wurden.

7.2 Ausblick und Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

Die Methodik des Feedbackraums ist durch die Herausforderungen entstanden, die sich durch den digitalen Wandel ergeben haben. Dementsprechend ist es obligatorisch, dass sich die Methodik durch den unaufhaltsamen Wandel ebenfalls weiter entwickeln muss. Im Folgenden werden die Entwicklungsmöglichkeiten der einzelnen Methodenmodule beleuchtet.

Die Potentialanalyse basiert auf sogenannten Potentialfeldern und profitiert von der Erläuterung konkreter Erfolgsbeispiele. Diese sollten kontinuierlich erweitert werden, um die Gültigkeit und Aussagekraft dieses Moduls zu steigern. Ebenfalls bietet die Spezialisierung auf Branchen eine Möglichkeit die Genauigkeit der Identifikation von relevanten Feedbackmechanismen zu steigern.

Mit dem Feedbackraum wurden Akteure und deren Interaktion systematisch dargestellt. Der Umgang und die Datenauswertung spielte dabei nur eine untergeordnete Rolle. Dementsprechend könnte eine Anwendungsebene mit Datenvorverarbeitungs- und Auswertungsmethoden ergänzt werden. Beispiele sind Vollständigkeits- und Qualitätsprüfungen von Daten. Zudem ist die Datenvorverarbeitung für eine intelligente Datenauswertung sehr relevant. Neben dieser Anwendungsebene konnten auch weitere relevante Aspekte nicht detailliert betrachtet werden. Der Feedbackraum ist als Erweiterung eines Datenraums zu verstehen. Der nächste Entwicklungsschritt ist der Aufbau eines Feedbackökosystems mit weiteren relevanten Mechanismen. Dies betrifft ein Betreibermodell, Vertrauens- und Identitätssicherung sowie die Nutzung von föderierten Servicekatalogen. Eine Umsetzung in Anlehnung an Gaia-X oder ähnlichen Datenökosystemen würde diese Mechanismen insbesondere unter verstärkter Beachtung der digitalen Souveränität ermöglichen.

In Anlehnung an die Potentialanalyse unterliegen die KPI-Cluster ebenfalls dem Digitalisierungswandel. Die Methodik muss daher auch kontinuierlich erweitert werden, um für einen industriellen Kontext anwendbar zu bleiben. Dies betrifft die Cluster, Subcluster und Zielgrößen des KPI-Monitorings.

Durch die vorgestellten Weiterentwicklungsmöglichkeiten können Methodenmodule des Feedbackraums langfristig zur Optimierung der datengetriebenen Kollaboration eingesetzt werden. Nachweislicher Nutzen der Methodik konnte in der Möbelbranche und in der Fertigung aufgezeigt werden. Zukünftig ist ein Einsatz in weiteren Anwendungsgebieten erstrebenswert und bereits in Umsetzung. So ermöglicht ein Feedbackraum für Bäckereibetriebe die Einbeziehung verschiedener Feedbacks zur besseren Ausrichtung auf die schwankende Nachfrage der Kunden und der Notwendigkeit von Flexibilität durch den Wettbewerb. Rohstoff- sowie Energiekrisen, Klimawandel und Konkurrenzdruck durch Discounterprodukte sind nur ein Teil der Herausforderungen für Bäckereibetriebe. Eine flexiblere Produktionsplanung mit Beachtung des Markts und der Rohstoffverfügbarkeit würde vielen Betrieben zu verstärkter Resilienz und Anpassungsfähigkeit verhelfen. Der Feedbackraum kann so gestaltet werden, dass Veränderungen im Kaufverhalten frühzeitig identifiziert und Absätze prognostiziert werden. Durch unterschiedliche Feedbackgeber stehen weitere Informationen über die Produktion, den Transport und externe Umwelteinflüsse, wie Wetter oder Verkehr, für die Planung zur Verfügung. In diesem Szenario könnten beispielsweise Kampagnen zur Erhebung von direktem Feedback der Kunden zu Produktvarianten umgesetzt werden. Auch die Einbeziehung eines Feedbackgebers in der Form einer Datenbank zur Wettervorhersage könnte Feedback-Events auslösen, wenn Extremwetterwarnungen vorliegen. Dies hat direkten Einfluss auf die Absatzmenge im Verkauf. Durch die hohe Reaktionsgeschwindigkeit und Flexibilität bei der Anpassung des Produktsortiments und der Produktmengen von Bäckereien können die Informationen direkt für eine ressourcenschonende Bestelloptimierung genutzt werden.

Zudem kann die Vision verfolgt werden, dass nicht nur ein Wertschöpfungsnetz aus der produzierenden Industrie in einem Feedbackökosystem agiert. Die Verknüpfung von unterschiedlichen Wertschöpfungsnetzwerken und dementsprechend unterschiedlichen Feedbackökosystemen eröffnet die Nutzung von branchenübergreifenden Synergien.

8 Literaturverzeichnis

- Abdelkafi, N., & Radic, M. (2018). eStandards–Enabler der digitalen Transformation von Geschäftsmodellen. *aw&I Conference*, 3. Jg.
- acatech. (2022). *Battery Pass – Umsetzung einer neuen Generation digitaler Produkthandhabung*. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. URL: <https://www.acatech.de/projekt/batteriepass-made-with-germany-umsetzung-einer-neuen-generation-digitaler-produkthandhabung/>, zuletzt abgerufen am: 22.05.2024
- Aidi, Y., Dang, H. B., Abramovici, M., Gebus, P., & Göbel, J. C. (2017). Lifecycle Management industrieller Produkt-Service-Systeme. In H. Meier & E. Uhlmann (Hrsg.), *Industrielle Produkt-Service Systeme* (S. 245–271). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Akash, K., McMahon, G., Reid, T., & Jain, N. (2020). Human trust-based feedback control: Dynamically varying automation transparency to optimize human-machine interactions. *IEEE Control Systems Magazine*, 40. Jg., S. 98–116.
- Anderl, R., Picard, A., Wang, Y., Fleischer, J., Dosch, S., Klee, B., & Bauer, J. (2015). *Leitfaden Industrie 4.0-Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand*. Frankfurt: VDMA Forum Industrie 4.0.
- Atkinson, C., & Kuhne, T. (2003). Model-driven development: a metamodeling foundation. *IEEE Software*, 20. Jg., S. 36–41.
- Autolitano, S., & Pawlowska, A. (2021). *Europe’s quest for digital sovereignty: GAIA-X as a case study*. Rom: Istituto Affari Internazionali (IAI).
- Bader, S., Barnstedt, E., Bedenbender, H., & Berres, B. (2022). *Details of the Asset Administration Shell - Part 1: The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 3.0)* (BMWK - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Hrsg.). Berlin.
- Bailey, J. E., & Pearson, S. W. (1983). Development of a tool for measuring and analyzing computer user satisfaction. *Management science*, 29. Jg., Heft 5, S. 530–545.
- Baptista, L. F., & Barata, J. (2021). Piloting Industry 4.0 in SMEs with RAMI 4.0: an enterprise architecture approach. *Procedia Computer Science*, 192. Jg., S. 2826–2835.
- Bashir, H., & Thomson, V. (1999). Estimating Design Complexity. *Journal of Engineering Design - J ENGINEERING DESIGN*, 10. Jg., S. 247–257.
- Becker, T. (2008). *Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Bender, J., Deckers, J., Fritz, S., & Ovtcharova, J. (2019). Closed-Loop-Engineering – Enabler for Swift Reconfiguration in Plant Engineering. *Proceedings of the 31st European Modeling and Simulation Symposium*, S. 138–144.

- Bentes, A. V., Carneiro, J., da Silva, J. F., & Kimura, H. (2012). Multidimensional assessment of organizational performance: Integrating BSC and AHP. *Journal of Business Research*, 65. Jg., Heft 12, S. 1790–1799.
- Bernhardt, J., & Steininger, M. (2021). Gaia-X–Wegbereiter einer digitalen und wettbewerbsfähigen Zukunft der EU? *ifo Schnelldienst*, 74. Jg., Heft 05, S. 66–71.
- Binder, C., Calà, A., Vollmar, J., Neureiter, C., & Lüder, A. (2023). From Model to Implementation: Engineering of flexible Production Systems with RAMI 4.0. *2023 IEEE 32nd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, S. 1–6.
- Bischoff, J., Taphorn, C., Wolter, D., Braun, N., Fellbaum, M., Goloverov, A., Ludwig, S., Hegmanns, T., Prasse, C., Henke, M., Hompel, M., ten, Döbbeler, F., Fuss, E., Kirsch, C., Mättig, B., Braun, S., Guth, M., Kaspers, M., & Schwffler, D. (2015). Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand: Studie. *BMWi*.
- Biskup, T. (2009). *Agile fachmodellgetriebene Softwareentwicklung für mittelständische IT-Projekte* [Dissertation, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg].
- BMUV. (2023). *Was ist ein digitaler Produktpass?* Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz -. URL: <https://www.bmuv.de/faq/was-ist-ein-digitaler-produktpass>, zuletzt abgerufen am: 22.05.2024
- BMWi. (2019). *Das Projekt GAIA-X: Eine vernetzte Dateninfrastruktur als Wiege eines vitalen, europäischen Ökosystems*. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/das-projekt-gaia-x.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt abgerufen am: 31.05.2024
- Böhm, R., & Prümm, R.-I. (2022). *EEBus Standard for Energy Control* [White Paper]. Köln: EEBus Initiative e.V.
- Bonfiglio, F. (2021). *Gaia-X: Vision & Strategy*. URL: <https://gaia-x.eu/wp-content/uploads/2021/12/Vision-Strategy.pdf>, zuletzt abgerufen am: 31.05.2024
- Bönsch, J., Elstermann, M., Kimmig, A., & Ovtcharova, J. (2022). A subject-oriented reference model for Digital Twins. *Computers & Industrial Engineering*, 172. Jg.
- Braziotis, C., & Tannock, J. (2011). Building the extended enterprise: key collaboration factors. *The International Journal of Logistics Management*, 22. Jg., Heft 3, S. 349–372.
- Bruhn, P. (2020). KPI, Digital Maturity, Dashboard oder Empathie: Wie sich Fortschritt und Erfolg der Digitalen Transformation messen und steuern lassen. In H. R. Fortmann (Hrsg.), *Digitalisierung im Mittelstand* (S. 69–83). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Bundesfinanzministerium. (2011). *Arbeitsanleitung Einführung in Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen*. RdSchr. des BMF vom 12. Januar 2011. URL: https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_20122013_IIA3H1012100810004.htm, zuletzt abgerufen am: 14.07.2024

- Bundesrechnungshof. (2023). *Prüfungsordnung des Bundesrechnungshofes*. Downloads. URL: https://www.bundesrechnungshof.de/SharedDocs/Downloads/DE/diverse_dokumente/pruefungsordnung_bundesrechnungshof.pdf?__blob=publicationFile&v=7, zuletzt abgerufen am: 14.07.2024
- Bungard, W. (2018). Feedback in Organisationen: Stellenwert, Instrumente und Erfolgsfaktoren. In I. Jöns & W. Bungard (Hrsg.), *Feedbackinstrumente im Unternehmen: Grundlagen, Gestaltungshinweise, Erfahrungsberichte* (2. Aufl., S. 3–28). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Burghardt, M. (2013). *Einführung in Projektmanagement: Definition, Planung, Kontrolle und Abschluss* (Siemens Aktiengesellschaft, Hrsg.; 6. Aufl.). Erlangen: Publicis Publishing.
- Cassisi, D., Pfeiffer, J., & Hass, T. (2021). Leistungsbewertung von eingebetteten und Echtzeitsystemen. *informatikJournal*, 12. Jg., S. 39–49.
- Catena-X. (2024). *Die Lösung: Catena-X*. Catena-X - Your Automotive Network. URL: <https://catena-x.net/de/vision>, zuletzt abgerufen am: 09.06.2024
- CIRPASS. (2023). *CIRPASS: Collaborative Initiative for a Standards-based Digital Product Passport for Stakeholder-Specific Sharing of Product Data for a Circular Economy*. URL: <https://cirpassproject.eu/wp-content/uploads/2023/03/CIRPASS-presentation.pdf>, zuletzt abgerufen am: 19.05.2024
- Colledani, M., & Abdalla, A. (2023). *D3.1 Benchmark of existing DPP-oriented reference architectures* (CIRPASS Consortium, Hrsg.). Politecnico di Milano.
- D’Agostino, N., van Deventer, C., Böge, G., Fox, J., Gering, P., Jantzen, S., Knothe, T., Schlender, A., & Simböck, J. (2023). *The Battery Pass Technical Standard Stack*.
- DCC. (2024). *Integriertes Datenmodell IDM - Sicherheit durch elektronische Bestellabwicklung*. Entwicklungen des DCC. URL: <https://www.dcc-moebel.org/download.html>, zuletzt abgerufen am: 23.05.2024
- De Groote, J. K., & Backmann, J. (2020). Initiating open innovation collaborations between incumbents and startups: How can David and Goliath get along? *International Journal of Innovation Management*, 24. Jg., Heft 02, S. 2050011.
- DGNB. (2023). *Der Gebäuderessourcenpass der DGNB: Dokumentieren Sie zentrale Informationen über alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes*. URL: <https://www.dgnb.de/de/nachhaltiges-bauen/zirkulaeres-bauen/gebaeuderessourcenpass>, zuletzt abgerufen am: 05.06.2024
- Dietel, M., Heyer, S., Lämpke, H.-J., Macke, N., Richter, D., Schiek, V., & Trinter, R. (2017). *Industrie 4.0 – Die Bedeutung von Interoperabilität im Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [Leitfaden]*.
- DIN 9000:2015. (2015). *DIN EN ISO 9000:2015-11 Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe*. DIN e.V., Berlin.
- Dispan, J., & Schwarz-Kocher, M. (2018). *Digitalisierung im Maschinenbau. Entwicklungstrends, Herausforderungen, Beschäftigungswirkungen, Gestaltungsfelder*. 094. Jg.

- Dorst, W., Glohr, C., Hahn, T., Knafla, F., Loewen, U., & et al. (2015). *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 - Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*.
- Dos Santos, L. M. A. L., da Costa, M. B., Kothe, J. V., Benitez, G. B., Schaefer, J. L., Baierle, I. C., & Nara, E. O. B. (2021). Industry 4.0 collaborative networks for industrial performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32. Jg., Heft 2, S. 245–265.
- Drath, R., & Schleipen, M. (2010). Grundarchitektur: das Objektmodell. In R. Draht (Hrsg.), *Datenaustausch in der Anlagenplanung mit AutomationML: Integration von CAEX, PLCopen XML und COLLADA* (S. 45–94). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Drossel, W.-G., Ihlenfeldt, S., Penter, L., Zorn, W., Hellmich, A., & Grüning, T. (2016). Das Presswerk auf dem Weg in das Cyber-physische Zeitalter. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 111. Jg., Hefts 7–8, S. 460–465.
- Dücker, J. (2015). *Masterarbeit: Analyse der Wirtschaftlichkeit der Virtual-Reality-Technologie im Kontext von Industrie 4.0*. Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Dücker, J., Gödel, C., & Ovtcharova, J. (2016). Update 4.0 für den Mittelstand: Ein Konzept zur unternehmensbezogenen Potenzialanalyse hinsichtlich Industrie 4.0 für den Mittelstand. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 111. Jg., Heft 9, S. 560–564.
- Dücker, J., Häfner, P., & Ovtcharova, J. (2016a). Methodology for efficiency analysis of VR environments for industrial applications. *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*, S. 72–88.
- Dücker, J., Häfner, P., & Ovtcharova, J. (2016b). *Virtual Reality im Alltag - Erfahrungswerte von VR-Industrieanwender in Bezug auf Einsatz, Probleme und Wirtschaftlichkeit*. ININTERACT CONFERENCE, Chemnitz.
- Dücker, J., & Siebel, J. (2018). Feedbackmanagement in der Möbelbranche. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 113. Jg., Heft 4, S. 230–233.
- ECLASS e.V. (2024). *ECLASS - Einführung in den Standard*. URL: <https://eclass.eu/eclass-standard/einfuehrung>, zuletzt abgerufen am: 23.04.2024
- Eigner, M. (2013). Modellbasierte virtuelle produktentwicklung auf einer plattform für system lifecycle management. In *Industrie 4.0* (S. 91–110). Springer.
- Eigner, M. (2014). Product Lifecycle Management (PLM). In M. Eigner, D. Roubanov, & R. Zafirov (Hrsg.), *Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung* (S. 267–300). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Elstermann, M. (2019). *Executing Strategic Product Planning: A Subject-Oriented Analysis and New Referential Process Model for IT-Tool Support and Agile Execution of Strategic Product Planning* (Bd. 3). Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Emmelhainz, M. A. (1992). *EDI: Total Management Guide* (2. Aufl.). USA: John Wiley & Sons.

- Falkenau, F., Jelschow, V., Josef Loewke, C., Kujath, M., Steinert, H., Wolfrum, P., & Bauernhansl, T. (2023). Catena-X–Online Steuerung und Simulation: Unternehmensübergreifende Supply-Chain-Simulation: Ein Ansatz zur Steigerung der Transparenz und Reaktionsfähigkeit in der Supply Chain. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 118. Jg., Heft 4, S. 212–216.
- Feger, U., Jänicke, L., Jochem, M., Kisch, M., Krammel, M., Mehrfeld, J., Nitschke, T., Sander, M., Schmitt, M., Teuscher, A., & Walloschke, T. (2016). *Technischer Überblick: Sichere unternehmensübergreifende Kommunikation* [Ergebnispapier]. Berlin: Plattform Industrie 4.0.
- Fleischmann, A., Schmidt, W., Sary, C., Obermeier, S., & Börger, E. (2011). *Subjektorientiertes Prozessmanagement: Mitarbeiter einbinden, Motivation und Prozessakzeptanz steigern*. München: Carl Hanser Verlag.
- Fleischmann, B. (2018). Begriffliche Grundlagen der Logistik. In H. Tempelmeier (Hrsg.), *Begriff der Logistik, logistische Systeme und Prozesse* (S. 1–16). Berlin: Springer Vieweg.
- Følstad, A., & Kvale, K. (2018). Customer journeys: a systematic literature review. *Journal of service theory and practice*, 28. Jg., Heft 2, S. 196–227.
- Fortuin, L. (1988). Performance indicators—why, where and how? *European journal of operational research*, 34. Jg., Heft 1, S. 1–9.
- Frade, J. R., & Panizo, J.-M. (2023). *Design of the DPP System: First considerations on possible technical solutions* [Webinar]. Aufzeichnung Webinar zum Digitalen Produktpass am 12. Juni 2023, online. online.
- Fraunhofer-Gesellschaft. (2024). *Kreislaufwirtschaft: Digitaler EU-Produktpass für Batterien* (Forschung kompakt, S. 5) [Pressebericht].
- Gaia-X. (2021). *Gaia-X Labelling Framework*. URL: https://gaia-x.eu/wp-content/uploads/files/2021-11/Gaia-X%20Labelling%20Framework_0.pdf, zuletzt abgerufen am: 31.05.2024
- Gaia-X. (2022). *Gaia-x - Architecture Document - 22.04 Release*. URL: <https://gaia-x.eu/wp-content/uploads/2022/06/Gaia-x-Architecture-Document-22.04-Release.pdf>, zuletzt abgerufen am: 31.05.2024
- Garrels, K., Grüner, S., Orzelski, A., & Reinschmidt, J. (2023). *DPP 4.0: An Architecture Proposal for a DPP-System to implement the EU Digital Product Passport for Industrial Products* [Discussion Paper]. Berlin: ZVEI e. V.
- Garvin, D. A. (1984). What Does “Product Quality” Really Mean? *Sloan Management Review*, 25. Jg., S. 25–43.
- Gáspár, S., Thalmeiner, G., Barta, Á., & Zéman, Z. (2022). Development of a Fuzzy Controlling Model to Measure the Leanness of Manufacturing Systems. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19. Jg., Heft 4.
- Geilenberg, V., Schulz, W. H., Mize, J., & Kleis, H. (2024). From self-descriptions (SD) to self-recommendations (SR): Evolving Gaia-X for the future European economy. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4. Jg., Heft 2, S. 100249.

- Generaldirektion Umwelt. (2020). *Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft - Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa*. Europäische Kommission. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>, zuletzt abgerufen am: 19.05.2024
- Generaldirektion Umwelt. (2022). *Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG*. Europäische Kommission. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0142>, zuletzt abgerufen am: 19.05.2024
- Gladen, W. (2014). *Performance Measurement - Controlling mit Kennzahlen* (6. Aufl.). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Goos, M., & Manning, A. (2007). Lousy and Lovely Jobs: The Rising Polarization of Work in Britain. *The Review of Economics and Statistics*, 89. Jg., Heft 1, S. 118–133.
- Gottmann, J. (2019). *Produktionscontrolling* (2. Aufl.). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Götz, T., Adisorn, T., & Tholen, L. (2021). *Der Digitale Produktpass als Politik-Konzept: Kurzstudie im Rahmen der Umweltpolitischen Digitalagenda des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)* (Wuppertal Report Nr. 20). Wuppertal.
- Götze, U., & Bloech, J. (2002). *Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Granström, B., House, D., & Swerts, M. (2002). Multimodal feedback cues in human-machine interactions. *Speech prosody 2002, international conference*.
- Grewal, D., & Roggeveen, A. L. (2020). Understanding retail experiences and customer journey management. *Journal of Retailing*, 96. Jg., Heft 1, S. 3–8.
- Gronau, N. (2021). *ERP-Systeme. Architektur, Management und Funktionen des Enterprise Resource Planning* (4. Aufl.). Berlin, Boston: Walter de Gruyter GmbH.
- Grundig, C.-G. (2014). *Fabrikplanung: Planungssystematik-Methoden-Anwendungen* (7. Aufl.). München: Carl Hanser Verlag.
- Haasis, S., Frank, D., Rommel, B., & Weyrich, M. (1999). Feature-basierte Integration von Produktentwicklung, Prozeßgestaltung und Ressourcenplanung. *VDI Berichte 1497*, S. 333–348.
- Hahn, A. (1997). *Integrationsumgebung für verteilte objektorientierte Ingenieursysteme* [HNI-Verlagsschriftreihe, Band 33]. Universität Paderborn.
- Halmschlager, V. (2023). *Status Quo - Der digitale Produktpass: Kreislaforientierte Produktion* (Verein Industrie 4.0 Österreich, Hrsg.).
- Hausegger, T., Scharinger, C., Sicher, J., & Weber, F. (2016). *Qualifizierungsmaßnahmen im Zusammenhang mit der Einführung von Industrie 4.0* [Studie im Auftrag der Austria Wirtschaftsservice GmbH - aws, der Arbeiterkammer Wien und des Bundesministeriums für Verkehr, Infrastruktur und Technologie, bmvit]. prospect - Research & Solution.

- Havighorst, F. (2006). *Personalkennzahlen*. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.
- Hefft, D., & Große, N. (2023). Design Knowledge for GAIA-X-compliant Ecosystems: A Literature Review. *AMCIS 2023 Proceedings*.
- Heigl, N. J. (2014). *Acht Disziplinen ganzheitlicher Führung : Menschen, Ideen, Projekte und Prozesse bewegen*. Berlin: Schmidt.
- Heinemann, G. (2017). *Der neue Online-Handel: Geschäftsmodell und Kanalexzellenz im Digital Commerce* (8. Aufl.). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Herberg, U., Mashima, D., Jetcheva, J. G., & Mirzazad-Barijough, S. (2014). OpenADR 2.0 deployment architectures: Options and implications. *2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, S. 782–787.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Wandel von Produktionsarbeit–„Industrie 4.0“. *WSI-Mitteilungen*, 67. Jg., Heft 6, S. 421–429.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2015). *Digitalisierung von Arbeit: Folgen, Grenzen und Perspektiven* (Soziologisches Arbeitspapier Nr. 43/2015). Dortmund: Technische Universität Dortmund.
- Hirsch-Kreinsen, H., & Hompel, M. ten. (2020). Digitalisierung industrieller Arbeit: Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0* (3. Aufl., S. 495–512). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Hoffmann-Riem, W. (2010). Das Grundrecht auf Schutz der Vertraulichkeit und Integrität eigengenutzter informationstechnischer Systeme. In *Netzwelt-Wege, Werte, Wandel* (S. 165–178). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Huchler, N. (2015). Die „Rolle des Menschen“ in der Industrie 4.0 - Technikzentrierter vs. humanzentrierter Ansatz. *AIS-Studien*, 9. Jg., Heft 1, S. 57–79.
- IEC 62264. (2003). *IEC 62264-1 Enterprise-control System Integration (Part 1: Models and terminology)*. Genf: International Electrotechnical Commission and others.
- ISO 22400-1. (2014). *ISO 22400-1:2014 (Part 1: Overview, concepts and terminology, S. 19)*. Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management: ISO Internationale Organisation für Normung.
- ISO 25010. (2011). *ISO/IEC 25010:2011 (Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models)*. ISO Internationale Organisation für Normung.
- ISO/DIS 59040. (2024). *Circular economy — Product circularity data sheet*. International Organization for Standardization.
- Ittermann, P., Niehaus, J., & Hirsch-Kreinsen, H. (2015). *Arbeiten in der Industrie 4.0: Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder* (Research Report Nr. 308). Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.
- Jöns, I., & Bungard, W. (Hrsg.). (2018). *Leistungsbeurteilung und Beurteilungsgespräch* (2. Aufl.). Wiesbaden: Springer Gabler.

- Joppen, R., Enzberg, S. von, Gundlach, J., Kühn, A., & Dumitrescu, R. (2019). Key performance indicators in the production of the future. *Procedia CIRP*, 81. Jg., S. 759–764.
- Kaplan, A. D., Kessler, T. T., & Hancock, P. A. (2020). How Trust is Defined and its use in Human-Human and Human-Machine Interaction. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 64. Jg., Heft 1, S. 1150–1154.
- Katicic, J. (2014). *Methodik für Erfassung und Bewertung von emotionalem Kundenfeedback für variantenreiche virtuelle Produkte in immersiver Umgebung* [Dissertation]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Kettner, H., Schmidt, J., & Greim, H.-R. (1984). *Leitfaden der systematischen Fabrikplanung*. München: Carl Hanser Verlag.
- Krickel, K. (2022). *Referenzarchitekturmodell für Experience Management* [Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)].
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51. Jg., S. 1016–1022.
- Krodel, T., Schott, V., Mayer, A., & Ovtcharova, J. (2024). Impact of XR-Enabled Collaboration in Businesses—An Economic, Ecological, and Social Perspective. In B. Alareeni & I. Elgedawy (Hrsg.), *AI and Business, and Innovation Research: Understanding the Potential and Risks of AI for Modern Enterprises* (S. 767–777). Cham: Springer.
- Krol, F., See, B. von, & Kersten, W. (2021). Digitalisierung messbar machen: ein soziotechnisches KPI-Modell für die digitale Transformation. *Industrie 4.0 Management: Gegenwart und Zukunft industrieller Geschäftsprozesse*, 37. Jg., Heft 3, S. 30–34.
- Kühnapfel, J. B. (2021). *Vertriebskennzahlen: Kennzahlen und Kennzahlensysteme für das Vertriebsmanagement* (3. Aufl.). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Künzel, M., & Meier zu Köcker, G. (2015). *Werkstattpapier: Industrie 4.0 – die Rolle von Cluster-Initiativen im Wandel der Wertschöpfungsketten* [Im Auftrag vom Ministerium für Finanzen und Wirtschaft]. Stuttgart: ClusterAgentur Baden-Württemberg.
- Laakso, M., & Kiviniemi, A. O. (2012). The IFC standard: A review of history, development, and standardization, information technology. *ITcon*, 17. Jg., Heft 9.
- Lammers, L. M. (2012). *Efficient consumer response: strategische Bedeutung und organisatorische Implikationen absatzorientierter ECR-Kooperationen* (M. J. Ringlstetter, Hrsg.). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Lay, K. (2000). MORPHA: Intelligente anthropomorphe Assistenzsysteme—Die Interaktion zwischen Mensch und mobilen Assistenzsystemen als grundlegende Variante der Mensch-Technik-Interaktion. *It - Information Technology*, 42. Jg., Heft 1, S. 38–43.
- Lee, S., Park, G., Yoon, B., & Park, J. (2010). Open innovation in SMEs—An intermediated network model. *Research policy*, 39. Jg., Heft 2, S. 290–300.
- Lehner, F. (2003). *Information Sharing und Wissensaustausch in Unternehmen*. Institut für Wirtschaftsinformatik, Regensburg.

- Levy, P. E., & Steelman, L. A. (1997). Performance appraisal for team-based organizations: A prototypical multiple rater system. In *Advances in interdisciplinary studies of work teams* (Bd. 4, S. 141–165). USA: Elsevier Science/JAI Press.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (2015). *Industrie 4.0-Readiness: Bd. Institut der deutschen Wirtschaft*. Köln: IMPULS-Stiftung.
- London, M. (1995). Giving feedback: Source-centered antecedents and consequences of constructive and destructive feedback. *Human Resource Management Review*, 5. Jg., Heft 3, S. 159–188.
- Lukas, T. (2018). Business Model Canvas–Geschäftsmodellentwicklung im digitalen Zeitalter. In S. Grote & R. Goyk (Hrsg.), *Führungsinstrumente aus dem Silicon Valley: Konzepte und Kompetenzen* (S. 143–159). Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Mackiewicz, R. E. (2006). Overview of IEC 61850 and Benefits. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, S. 8–16.
- Mayer, A., Chardonnet, J.-R., Häfner, P., & Ovtcharova, J. (2023). Collaborative Work Enabled by Immersive Environments. In A. Shajek & E. A. Hartmann (Hrsg.), *New Digital Work – Digital Sovereignty at the Workplace* (S. 87–117). Cham: Springer.
- Mayer, A., Combe, T., Chardonnet, J.-R., & Ovtcharova, J. (2022). Asynchronous manual work in mixed reality remote collaboration. *International Conference on Extended Reality*, S. 17–33.
- Mazak, A., Wimmer, M., Huemer, C., Kappel, G., & Kastner, W. (2016). Rahmenwerk zur modellbasierten horizontalen und vertikalen Integration von Standards für Industrie 4.0. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0: Produktion, Automatisierung und Logistik* (S. 969–992). Berlin, Heidelberg: Springer.
- McGibney, A., Gutierrez, F. M., Ballarino, A., Power, M., Barni, A., Yalcinkaya, E., Yoruk, N. Y., Guventurk, A., Yurduseven, K., & Rea, S. (2023). *Pathways to Energy Efficient Manufacturing through Digitisation* [White Paper]. H2020 DT-FOF-09-2020 Project Working Group.
- Melo, P. F., Godoy, E. P., Ferrari, P., & Sisinni, E. (2021). Open source control device for industry 4.0 based on RAMI 4.0. *Electronics*, 10. Jg., Heft 7, S. 869.
- Ménard, T., Young, K., Siegel, L., Emerson, J., Studt, R., Sidor, L., IMPALA Industry Group, Khordi, D., Donohue, D., & Sliwowska, M. (2021). Cross-company collaboration to leverage analytics for clinical quality and accelerate drug development: The IMPALA industry group. *CPT: pharmacometrics & systems pharmacology*, 10. Jg., Heft 8, S. 799–803.
- Mentzel, W., Grotzfeld, S., & Haub, C. (2008). *Mitarbeitergespräche: Mitarbeiter motivieren, richtig beurteilen und effektiv einsetzen* (7. Aufl.). München: Rudolf Haufe Verlag.
- Meroni, A., Sangiorgi, D., & Cooper, R. (2011). *Design for Services: From Theory to Practice and Vice Versa*. New York: Gower Publishing Ltd.
- Möbelmarkt.de. (2022). *Gutes 1. Quartal, doch die Herausforderungen bleiben groß* [Pressebericht]. URL: <https://www.moebelmarkt.de/beitrag/deutsche-m%C3%B6belindustrie-gutes-1-quartal-doch-die-herausforderungen-bleiben-gro%C3%9F>, zuletzt abgerufen am: 19.04.2024

- Möller, T., & Dörrenberg, F. (2003). *Projektmanagement*. München, Wien: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Moore, J. F. (1993). Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard business review*, 71. Jg., Heft 3, S. 75–86.
- MTCConnect Institute. (2024). *MTCConnect standardizes factory device data*. URL: <https://www.mtconnect.org/>, zuletzt abgerufen am: 26.05.2024
- Mulhall, D., Ayed, A.-C., Schroeder, J., Hansen, K., & Wautelet, T. (2022). The product circularity data sheet—A standardized digital fingerprint for circular economy data about products. *Energies*, 15. Jg., Heft 9, S. 3397.
- Nagel, K. (1990). *Nutzen der Informationsverarbeitung : Methoden zur Bewertung von strategischen Wettbewerbsvorteilen, Produktivitätsverbesserungen und Kosteneinsparungen* (2., überarb. und erw. Aufl). München: Oldenbourg.
- NalamKI. (2024). <https://nalamki.de/> [Projekt-Webseite]. URL: <https://nalamki.de/>, zuletzt abgerufen am: 07.06.2024
- Norton, D. P., & Kaplan, R. S. (1997). *Balanced Scorecard: Strategien erfolgreich umsetzen*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Object Management Group. (2024). *What is DDS?* URL: <https://www.dds-foundation.org/what-is-dds-3/>, zuletzt abgerufen am: 26.05.2024
- Omega-X. (2022). *Orchestrating an interoperable sovereign federated Multi-vector Energy data space built on open standards and ready for GAia-X* [Projekt-Webseite]. URL: <https://omega-x.eu/>, zuletzt abgerufen am: 07.06.2024
- oneM2M Partners. (2022). *How oneM2M is Enabling More Sustainable IoT Deployments* [White Paper]. URL: <https://www.onem2m.org/images/images/files/oneM2M-SSC-White-Paper-2nd-edition.pdf>, zuletzt abgerufen am: 26.05.2024
- OPC Foundation. (2024). *What is OPC?* OPC Foundation - The Industrial Interoperability Standard. URL: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>, zuletzt abgerufen am: 23.05.2024
- Ortmann, U., & Guhlke, B. (2014). *Leitfaden Technologieakzeptanz: Konzepte zur sozial- und humanverträglichen Gestaltung von Industrie 4.0*. Bielefeld: OWL - das Technologienetzwerk.
- Ott, H. J. (1993). Wirtschaftlichkeitsanalyse von EDV-Investitionen mit dem WARS-Modell am Beispiel der Einführung von CASE. *Wirtschaftsinformatik*, 35. Jg., Heft 6, S. 522–531.
- Ott, H. J., Rausch, T. O., & Schweiggert, F. (1992). Rechnet sich CASE für ein mittelständisches Unternehmen? In *Wirtschaftlichkeit von Software-Entwicklung und-Einsatz* (S. 197–212). Wiesbaden: Springer Vieweg + Teubner Verlag.
- Ovtcharova, J. (2015). Virtuelles Abbild - Neue Ingenieurmethoden für Industrie 4.0. *Tagungsband der 3. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung in Chemnitz*. VAR², Chemnitz.

- Ovtcharova, J., Grethler, M., Striebig, P., & Strumberger, K. (2017). *Machbarkeitsüberprüfung relevanter digitaler/„Internet of Things (IoT)“ Plattform-Lösungen für die Wohnungswirtschaft als digitaler Marktplatz* [Studie]. Karlsruhe.
- Ovtcharova, J., Häfner, P., Häfner, V., Katicic, J., & Vinke, C. (2015). Innovation braucht resourceful humans Aufbruch in eine neue Arbeitskultur durch virtual engineering. In *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 111–124). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Pawellek, G. (2014). *Ganzheitliche Fabrikplanung: Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Petrik, D. (2022). *Management der Zufriedenheit der Wertschöpfungspartner auf Basis der Boundary Resources im IIoT*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Piller, F. T., Lüttgens, D., & Pollok, P. (2013). Open Innovation : Methoden und Erfolgsbeurteilung. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium : WiSt*, 42. Jg., Heft 11, S. 607–614.
- Plattform Industrie 4.0. (2019). *Leitbild 2030 für Industrie 4.0 - Digitale Ökosysteme global gestalten* [Publikation]. URL: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Leitbild-2030-f%C3%BCr-Industrie-4.0.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt abgerufen am: 31.05.2024
- Poggensee, K. (2011). *Investitionsrechnung: Grundlagen - Aufgaben - Lösungen* (2. Aufl.). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Ragge, H. R. (2000). Analysetechniken - Die Toolbox des Marketing-Controllers. In M. P. Zerres (Hrsg.), *Handbuch Marketing-Controlling* (Bd. 2, S. 13–40). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rahman, S. M., Carlson, J., Gudergan, S. P., Wetzels, M., & Grewal, D. (2022). Perceived Omnichannel Customer Experience (OCX): Concept, measurement, and impact. *Journal of Retailing*, 98. Jg., Heft 4, S. 611–632.
- Ramanathan, U., & Gunasekaran, A. (2014). Supply chain collaboration: Impact of success in long-term partnerships. *International Journal of Production Economics*, 147. Jg., S. 252–259.
- Rat der Europäischen Union. (2023). *Verordnung (EU) 2023/ des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG*. Europäisches Parlament. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1542>, zuletzt abgerufen am: 19.05.2024
- Ravasio, D., Tuissi, L., Spinelli, S., & Ballarino, A. (2023). A Compressed Air Network Energy-Efficient Hierarchical Unit Commitment and Control. *2023 15th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, S. 469–473.
- Reiberg, A., Niebel, C., & Krämer, P. (2022). *Was ist ein Datenraum? Definition des Konzeptes Datenraum* [White Paper]. Gaia-X Hub Germany.
- Roth, A. (Hrsg.). (2016). *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

- Rusche, C. (2022). *Einführung in Gaia-X: Hintergrund, Ziele und Aufbau* [IW-Repot 10/2021]. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.
- Ryu, S.-J., Tsukishima, T., & Onari, H. (2009). A study on evaluation of demand information-sharing methods in supply chain. *International Journal of Production Economics*, 120. Jg., Heft 1, S. 162–175.
- Sacco, M., Pedrazzoli, P., & Terkaj, W. (2010). VFF: Virtual Factory Framework. *IEEE International Technology Management Conference (ICE)*, S. 1–8.
- safeFBDC. (2024). *safeFBDC - Plattform und Ökosystem für den sicheren Datenaustausch auf Finanzmärkten* [Projekt-Webseite]. URL: <https://safefbdc.com/>, zuletzt abgerufen am: 07.06.2024
- Sariguel, Z. (2021). *Entwicklung von KPI-Kategorien zur Überprüfung von Wertschöpfungsketten-übergreifenden Datenrückführungsmechanismen* [Bachelorarbeit]. Karlsruhe: KIT Karlsruher Institut für Technologie.
- Saucedo-Martínez, J. A., Pérez-Lara, M., Marmolejo-Saucedo, J. A., Salais-Fierro, T. E., & Vasant, P. (2018). Industry 4.0 framework for management and operations: a review. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, 9. Jg., S. 789–801.
- Schäfer, H. (1999). Vertrauen und Loyalität im Marketing von Finanzdienstleistungen mit Kontraktguteigenschaften. In H. Albach (Hrsg.), *Innovation und Investition: Bd. ZfB Special Issue* (S. 1–23). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Schenten, J., Fonseca, S., Niebler, R., & Führ, M. (2023). *LIFE AskREACH: Impact Assessment Report* [Impact Assessment Report]. URL: https://www.askreach.eu/wp-content/uploads/2023/11/Impact-assessment-report_version-FINAL_19.11.2023.pdf, zuletzt abgerufen am: 03.06.2024
- Schleipen, M., & Drath, R. (2009). Three-view-concept for modeling process or manufacturing plants with AutomationML. *IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation*, S. 1–4.
- Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft* (4. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Schlink, H. (2014). *Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure* (3. Aufl.). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Schlund, S., & Gerlach, S. (2013). *Der Mensch im industriellen Holozän*. *Economic Engineering*. Jg., S. 22–26.
- Schmaltz, M. A. (2009). *Methode zur Messung und Steigerung der individuellen Akzeptanz von Informationslogistik in Unternehmen*. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH.
- Schmidt, W., Fleischmann, A., & Gilbert, O. (2009). Subjektorientiertes Geschäftsprozessmanagement. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, Heft 2, S. 52–62.
- Schönsleben, P. (2011). Vor- und Nachkalkulation und Prozesskostenrechnung. *Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend*, S. 775–814.

- Schudnagis, M., & Womser-Hacker, C. (2003). Feedback als Kernelement der benutzerfreundlichen Mensch-Maschine-Interaktion bei Lernsystemen. *Tagungsband der 1. e-Learning Fachtagung Informatik*, Gesellschaft für Informatik e.V. Jg., S. 173–182.
- Schuh, G., Kampker, A., & Ziskoven, H. (2011). Rechtsformen, Rechnungswesen und Controlling. In G. Schuh & A. Kampker (Hrsg.), *Strategie und Management produzierender Unternehmen* (2. Aufl., S. 383–461). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schumacher, A., Geissler, P., & Sihm, W. (2016). Von smarten Technologien zur smarten Fabrik - Die Basistechnologien der Industrie und deren Potential. *WINGBusiness*, 2. Jg., S. 14–18.
- Schumacher, A., & Sihm, W. (2020). Development of a Monitoring System for Implementation of Industrial Digitalization and Automation using 143 Key Performance Indicators. *Procedia CIRP*, 93. Jg., S. 1310–1315.
- Schütze, F. (2016). *Bewertung der Nutzenpotenziale von Industrie 4.0-Anwendungen für Mitarbeiter in der Produktion* [Masterarbeit]. Karlsruhe: KIT Karlsruher Institut für Technologie.
- Seidel, H. (2014). Industrie 4.0 Check-Up. *Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme*, 18. Jg., S. 15–18.
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2016). Virtual engineering factory: Creating experience base for industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 47. Jg., Hefts 1–2, S. 32–47.
- Siepmann, D. (2016). Industrie 4.0 - Technologische Komponenten. In A. Roth (Hrsg.), *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0 - Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis* (S. 35–46). Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- SmartLivingNEXT. (2024). *Über SmartLivingNEXT* [Projekt-Webseite]. URL: <https://smartlivingnext.de/ueber-smartlivingnext/>, zuletzt abgerufen am: 07.06.2024
- Soni, D., & Makwana, A. (2017). A survey on mqtt: a protocol of internet of things (iot). *International conference on telecommunication, power analysis and computing techniques (ICTPACT-2017)*, 20. Jg., S. 173–177.
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Virtual manufacturing in industry 4.0: A review. *Data Science and Management*, 7. Jg., Heft 1, S. 47–63.
- Stahl, T., Völter, M., Efftinge, S., & Haase, A. (2007). *Modellgetriebene Softwareentwicklung: Techniken, Engineering, Management* (2. Aufl.). Heidelberg: dpunkt-Verlag.
- Stauss, B. (2011). Feedbackmanagement. In H. Hippner, B. Hubrich, & K. D. Wilde (Hrsg.), *Grundlagen des CRM: Strategie, Geschäftsprozesse und IT-Unterstützung* (S. 441–473). Wiesbaden: Gabler.
- Tariq, B., Salma, M., Rajaa, B., & Jamal, B. (2023). RAMI 4.0 Framework applied to Industry 4.0 technologies deployment: Moroccan chemical industry use case. *2023 7th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt)*, S. 384–388.
- Terkaj, W., Pedrielli, G., & Sacco, M. (2012). Virtual factory data model. *Proceedings of the workshop on ontology and semantic web for manufacturing, Graz, Austria*, S. 29–43.

- Thiemann, D., & Kozica, A. (2019). Digitalisierung der Arbeitswelt: Eine empirische Analyse relevanter Handlungsfelder bei der digitalen Transformation von Geschäftsprozessen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 56. Jg., Heft 4, S. 721–734.
- Todeva, E., & Knoke, D. (2005). Strategic alliances and models of collaboration. *Management decision*, 43. Jg., Heft 1, S. 123–148.
- Tolio, T., Sacco, M., Terkaj, W., & Urgo, M. (2013). Virtual factory: An integrated framework for manufacturing systems design and analysis. *Procedia CIRP*, 7. Jg., S. 25–30.
- Tuissi, L., Ravasio, D., Spinelli, S., & Ballarino, A. (2023). Neural Network Modeling of the Refining Motor Load for Medium-Density Fibreboard Production. *2023 15th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, S. 519–523.
- Ulich, E. (2013). Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung. *Journal Psychologie des Alltagshandelns*, 6. Jg., Heft 1, S. 4–12.
- Varisco, M., Johnsson, C., Mejvik, J., Schiraldi, M. M., & Zhu, L. (2018). KPIs for Manufacturing Operations Management: driving the ISO22400 standard towards practical applicability. *IFAC-PapersOnLine*, 51. Jg., Heft 11, S. 7–12.
- VDI_3699. (2015). *VDI/VDE 3699 Prozessführung mit Bildschirmen* (Blatt 1 - Prozessführung mit Bildschirmen - Begriffe) [VDI-Handbuch Informationstechnik]. Verein Deutscher Ingenieure e. V.
- VDI_4499. (2008). *VDI-Richtlinie 4499, Blatt 1: Digitale Fabrik – Grundlagen* [VDI-Richtlinien]. Berlin: Beuth Verlag.
- VDMA_66412-1. (2009). *Manufacturing Execution Systems (MES) Kennzahlen* [Technische Regel]. Verband Deutscher Maschinen-und Anlagenbau e V.
- Verhoef, P. C., Lemon, K. N., Parasuraman, A., Roggeveen, A., Tsiros, M., & Schlesinger, L. A. (2009). Customer experience creation: Determinants, dynamics and management strategies. *Journal of Retailing*, 85. Jg., Heft 1, S. 31–41.
- Vincenz Network. (2024). *Inlands- und Auslandsumsatz der Möbelindustrie* (Möbel Zahlen Daten - Die Online-Datenbank) [Statistische Auswertung]. Hamburg: Ferdinand Holzmann Verlag.
- Von Geibler, J., Riera, N., Echternacht, L., Björling, S.-E., Domen, T., Dupont, E., Hermenier, R., Jenkins, A., Kimmel, A., & Kresse, S. (2015). *myEcoCost: Forming the nucleus of a novel environmental accounting system. Vision, prototype and way forward* (Wuppertal Spezial Nr. 50; Heft 50, S. 1–32). Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.
- von Geibler, J., Wiesen, K., Mostyn, R. S., Werner, M., Riera, N., Su, D. Z., Björling, S. E., Domen, T., Smith, J., & Jenkins, A. (2014). Forming the nucleus of a novel ecological accounting system: The myEcoCost approach. *Key Engineering Materials*, 572. Jg., S. 78–83.
- Vuorikari, R., Punie, Y., Gomez, S. C., & Van Den Brande, G. (2016). *DigComp 2.0: The digital competence framework for citizens. Update phase 1: The conceptual reference model* [JRC Research Report JRC101254]. Luxembourg: Joint Research Centre.

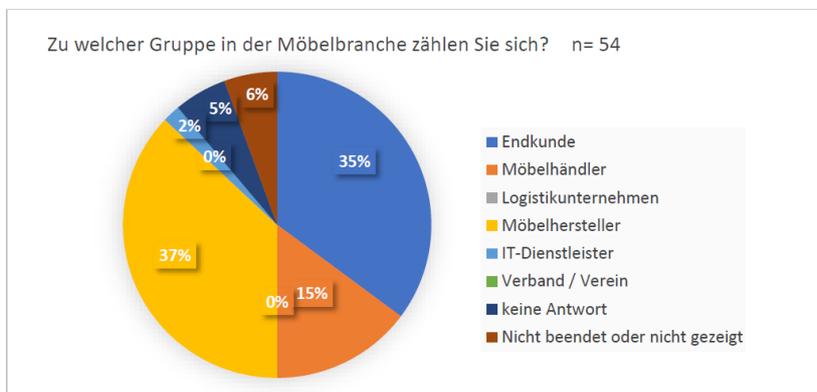
- Wagner, E., Rukanova, B., Bernier, C., Wautelet, T., Ayed, A.-C., Böll, M., Gayko, J., Schneider, A., Bendzuck, K., & Dalwigk, I. von. (2023). *D2.1 Mapping of legal and voluntary requirements and screening of emerging DPP-related pilots: 2.0 07/2023* [Report]. CIRPASS Consortium.
- Weerth, C., Schewe, G., Mecke, I., & Haric, P. (2018). *Definition: Was ist „Integration“?* Gabler Wirtschaftslexikon. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/integration-38922/version-262343>, zuletzt abgerufen am: 19.04.2024
- Weiland, T. (2013). *Arbeitsorganisation und Qualifikation in der Industrie 4.0* [Masterarbeit]. Bremen: Universität Bremen (FB Produktionstechnik).
- Wenking, M., Benninghaus, C., & Friedli, T. (2016). Umsetzungsbarrieren und -lösungen von Industrie 4.0: Welche Faktoren limitieren die Produktion der Zukunft? *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 111. Jg., Heft 12, S. 847–850.
- Werkmann-Karcher, B., Zirkler, M., Windlinger, L., & Weber, C. (2023). Flexibilisierung der Arbeit in Raum und Zeit. In B. Werkmann-Karcher, A. Müller, & T. Zbinden (Hrsg.), *Personalpsychologie für das Human Resource Management* (S. 245–279). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Westkämper, E., Spath, D., Constantinescu, C., & Lentes, J. (Hrsg.). (2013). *Digitale Produktion*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wiendahl, H.-P. (2005). *Planung modularer Fabriken : Vorgehen und Beispiele aus der Praxis*. München: Hanser.
- Will, L., & Köppen, V. (2012). Zentrales, standardisiertes Monitoring als Grundlage des Service Level Managements in flexiblen SOA-Lösungen. *INFORMATIK 2012*, S. 759–773.
- Windelband, L. (2014). Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“. *Journal of Technical Education*, 2. Jg., Heft 2, S. 138–160.
- Wixom, B. H., & Todd, P. A. (2005). A theoretical integration of user satisfaction and technology acceptance. *Information systems research*, 16. Jg., Heft 1, S. 85–102.
- Zehnter, C., Burger, A., & Ovtcharova, J. (2012). *Key-Performance-Analyse von Methoden des Anforderungsmanagements* (KIT Scientific Report Nr. 7620; S. 1–112). Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Zhang, Y., Zhang, G., Wang, J., Sun, S., Si, S., & Yang, T. (2015). Real-time information capturing and integration framework of the internet of manufacturing things. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28. Jg., Heft 8, S. 811–822.
- Zhu, M., Sun, Z., Zhang, Z., Shi, Q., He, T., Liu, H., Chen, T., & Lee, C. (2020). Haptic-feedback smart glove as a creative human-machine interface (HMI) for virtual/augmented reality applications. *Science Advances*, 6. Jg., Heft 19.
- ZVEI. (2020). *Empfehlung 2020.01: Das Digitale Typenschild: Konsistent, nachhaltig, zukunftssicher, vernetzt* (Empfehlung Version 1). Frankfurt: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie.

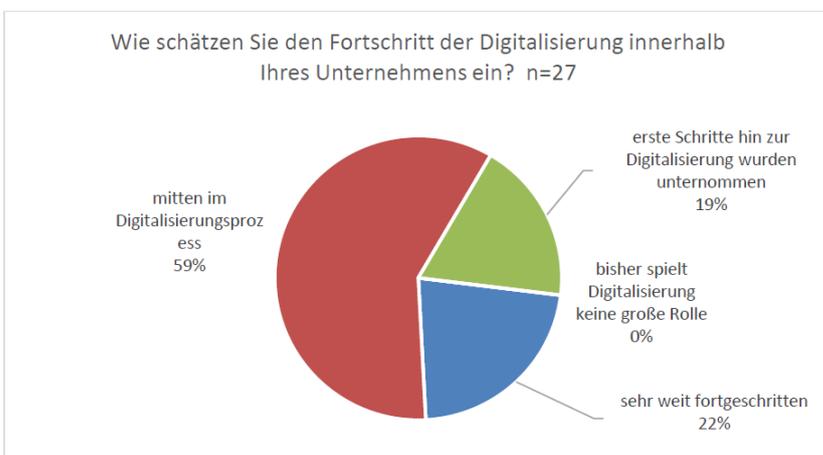
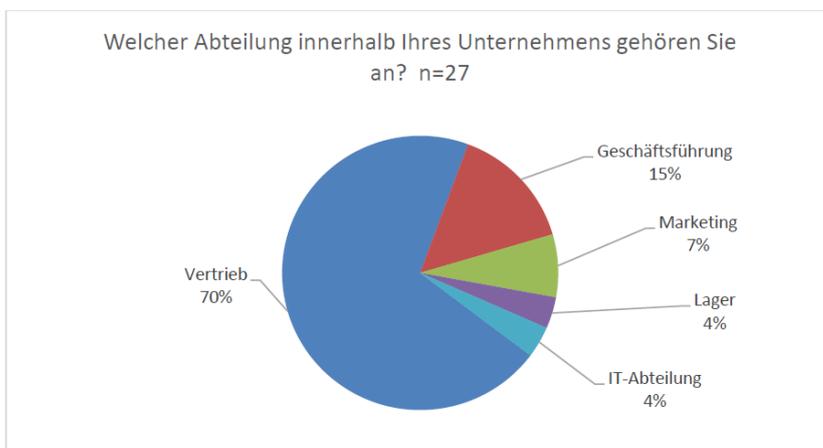
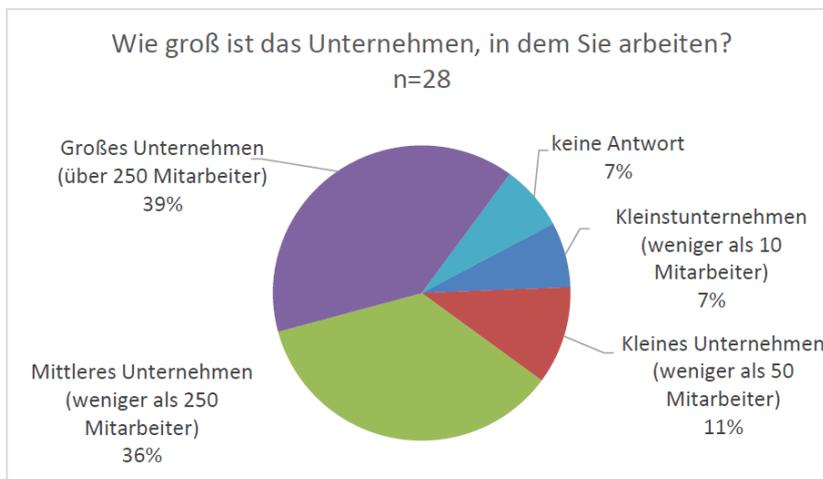
9 Anhang

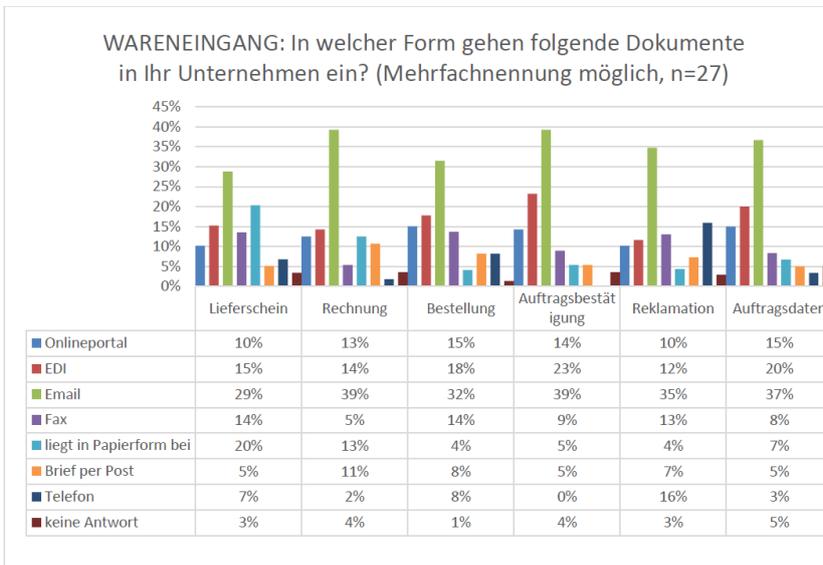
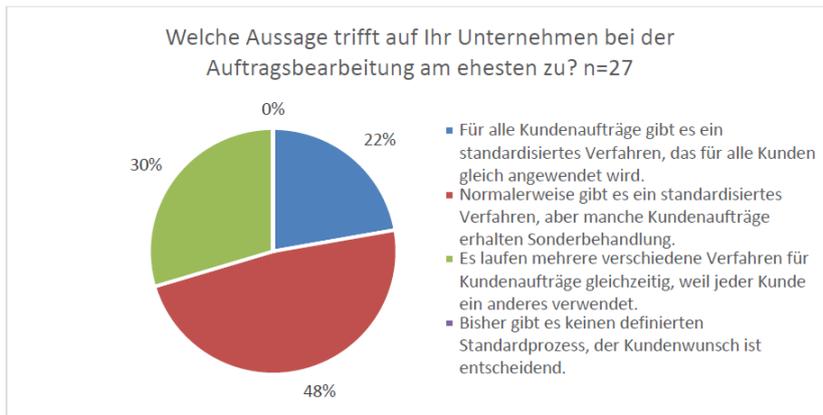
9.1 Fragen und Ergebnisse der Online-Befragung zur Digitalisierung in der Möbelbranche

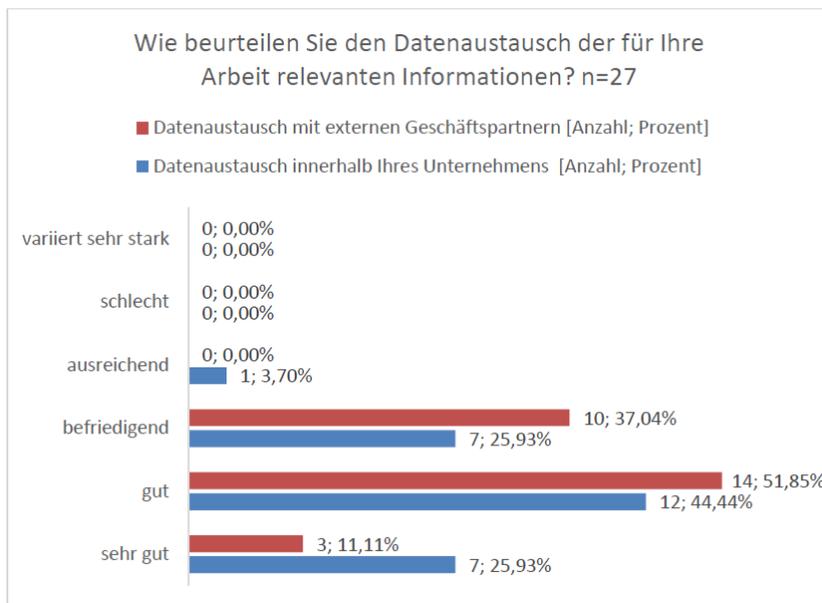
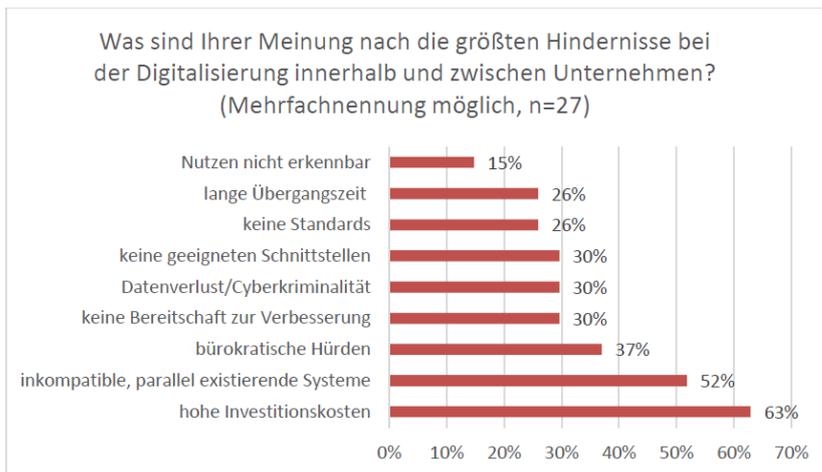
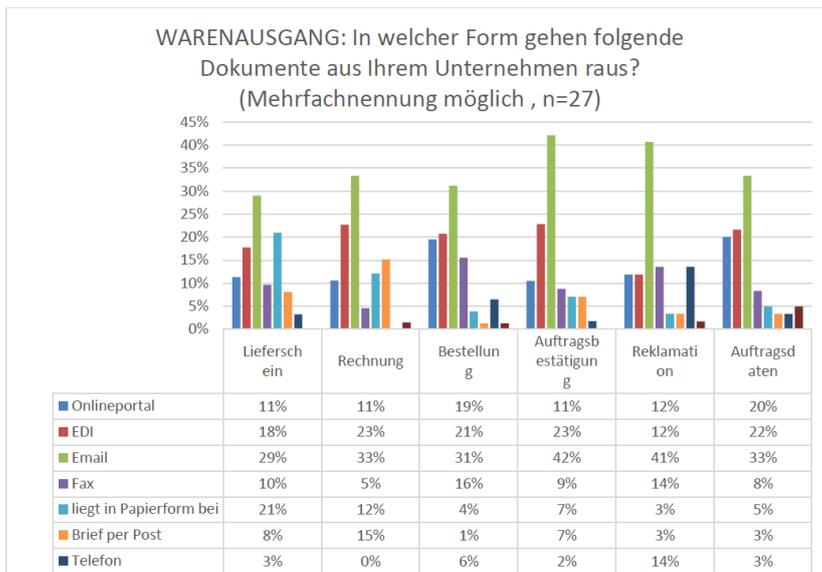
In diesem Abschnitt werden alle Fragen und Antworten dargestellt, die eine sinnvolle Anzahl von Teilnehmern erreicht haben. Die Überschriften entsprechen jeweils der Fragestellung. Falls eine Mehrfachnennung möglich war, ist dies gekennzeichnet. Die Anzahl der Teilnehmer je Frage wird mit „n = Anzahl der Teilnehmer“ dargestellt.

9.1.1 Eingruppierung und Einstiegsfragen

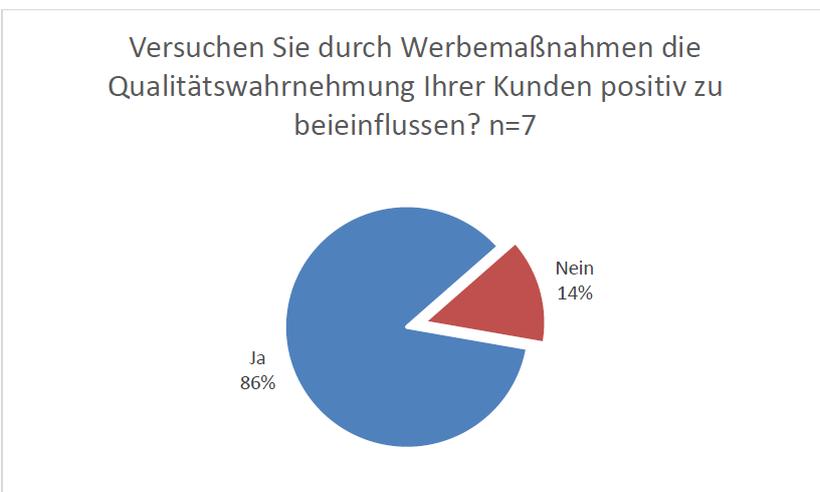
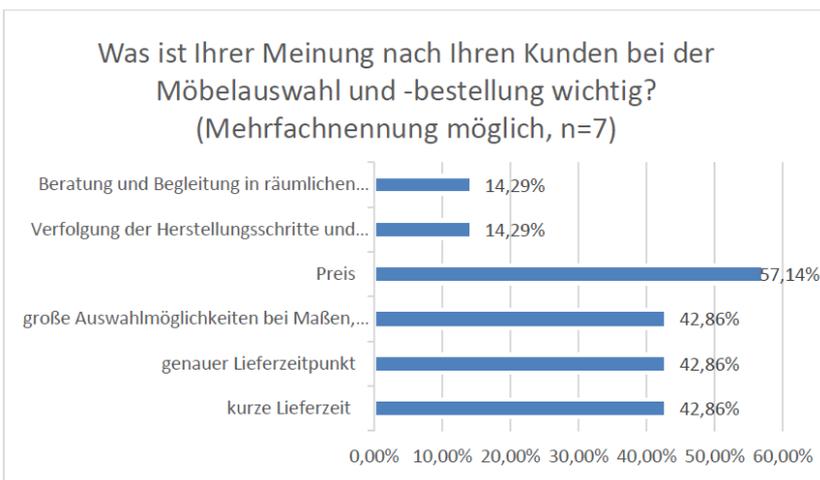
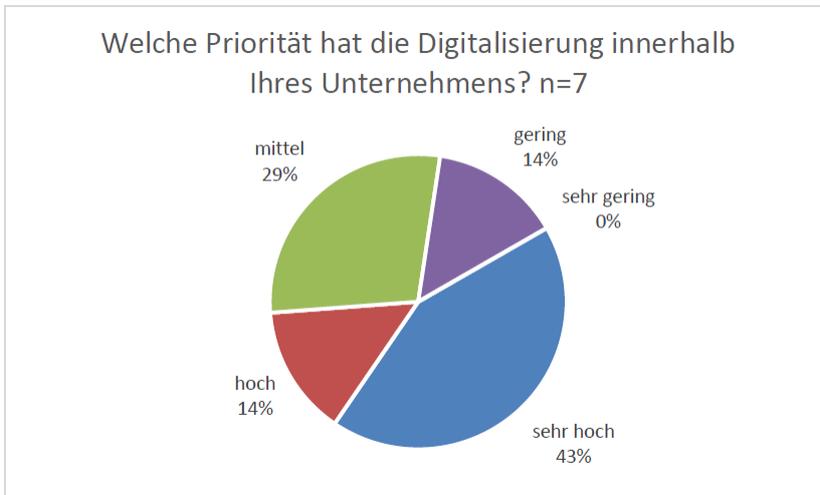




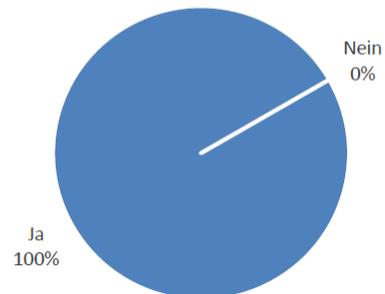




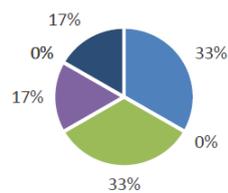
9.1.2 Händler



Sehen Sie einen Vorteil darin, wenn sich die Lieferzeit eines Produkts stark verkürzt? n=6



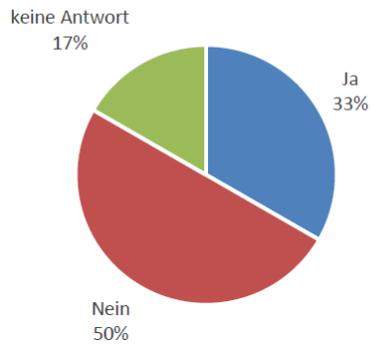
Wie erfolgt bei Ihnen die Warenannahme/Wareneingangskontrolle und die anschließende Einlagerung? n=6



- angelieferte Ware wird direkt über zuvor vom Zulieferer erhaltene Stammdaten (Barcode, RFID, etc.) eingebucht
- angelieferte Ware wird sofort durch auf dem Paket vermerkte Artikelkennzahlen manuell eingebucht
- angelieferte Pakete werden bei Ankunft von Mitarbeitenden gezählt und später die Ware eingebucht
- angelieferte Ware wird von Mitarbeitenden ausgepackt, geprüft und einzeln eingebucht
- Ware wird dem Anliefernden direkt quittiert und später geprüft

Haben Sie für jeden Zulieferer festgelegte Tage in der Woche an denen angeliefert werden muss?

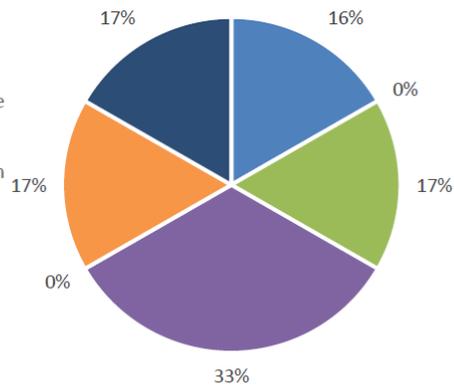
n=6



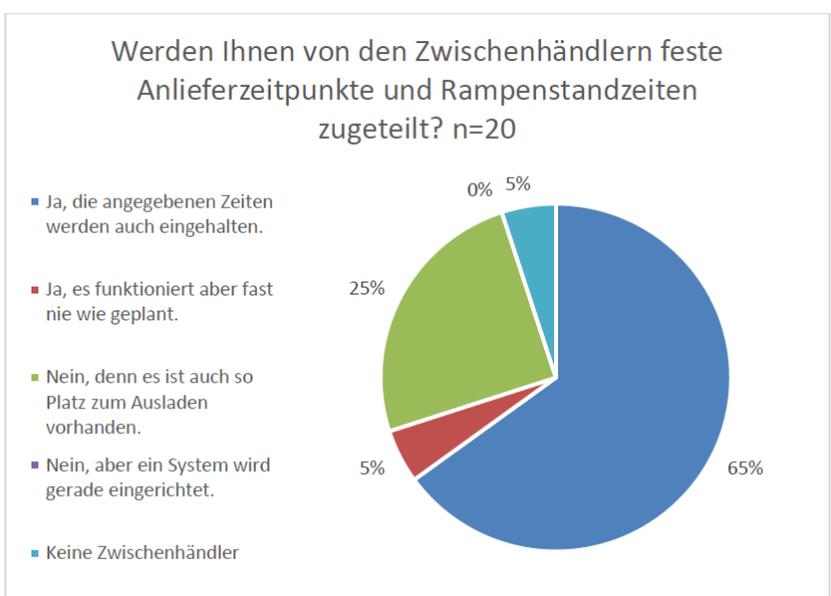
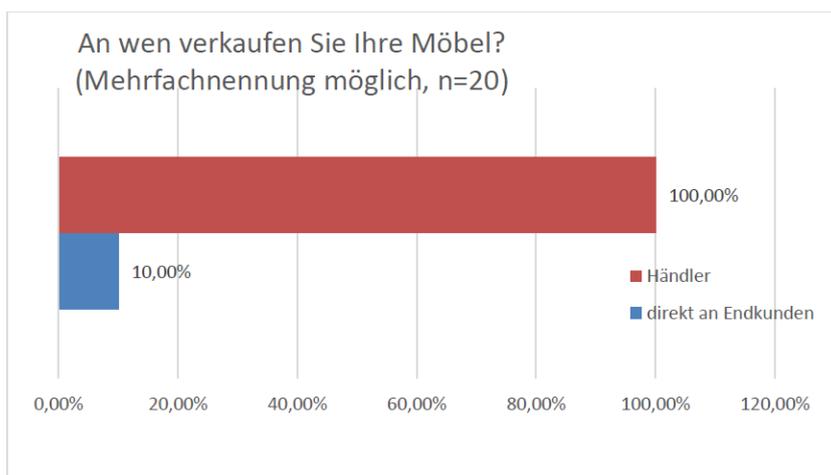
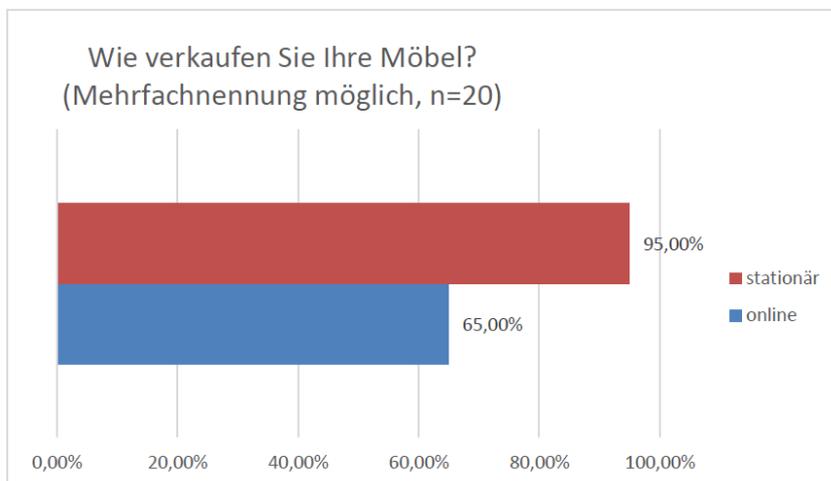
Teilen Sie Ihren Zulieferern feste Anlieferzeitpunkte und Rampenstandzeiten zu?

n=6

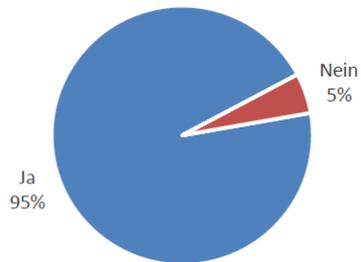
- Ja, so können wir unsere Kapazitäten an der Rampe gut ausnutzen.
- Ja, es funktioniert aber fast nie wie geplant.
- Nein, denn es ist auch so Platz zum Ausladen vorhanden.
- Nein, denn die Zulieferer bestimmen, wann Sie vorbei kommen.
- Nein, die Planung ist zu komplex



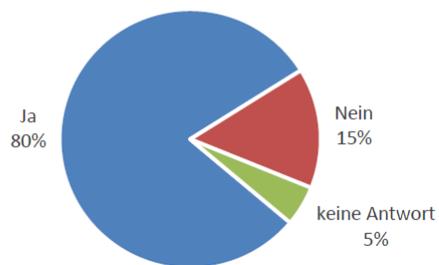
9.1.3 Hersteller



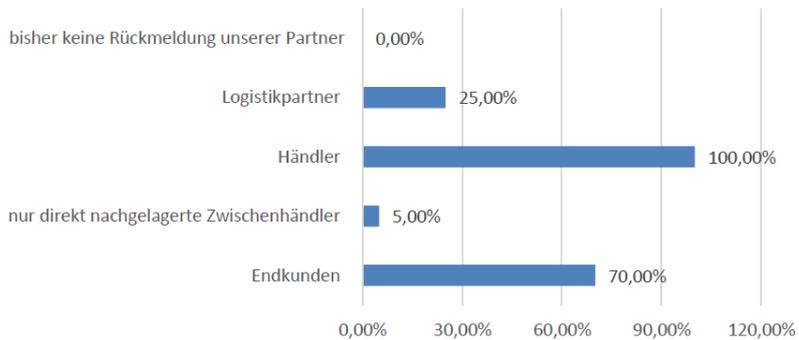
Befürworten Sie grundsätzlich die Einführung eines Systems, das die Kundenmeinungen leichter an Sie zurückfließen lässt? n=20



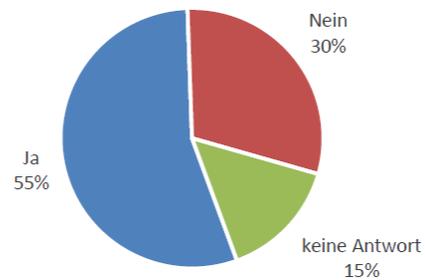
Sehen Sie einen Vorteil darin, wenn sich die Lieferzeit eines Produkts für den Endkunden stark verkürzt? n=20



Wer gibt Ihnen eine Rückmeldung zu Ihren Produkten? (Mehrfachauswahl möglich, n=20)

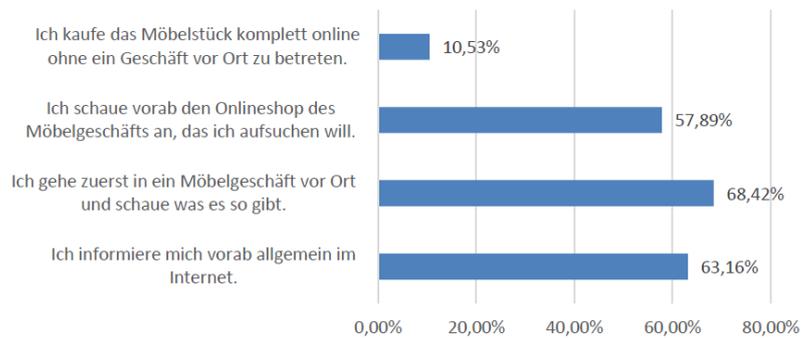


Werden Ihre Produkte anhand eines Datenstandards (beispielsweise eCl@ss) klassifiziert und eindeutig beschrieben? n=20

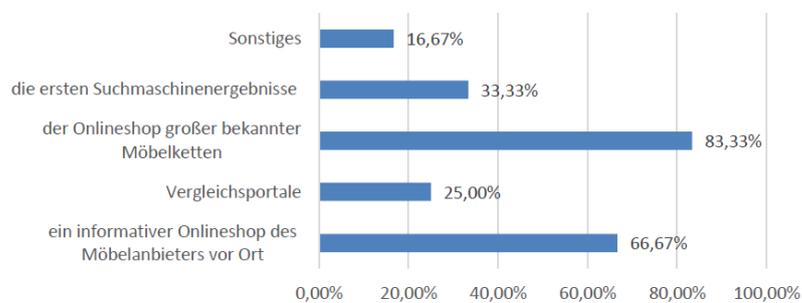


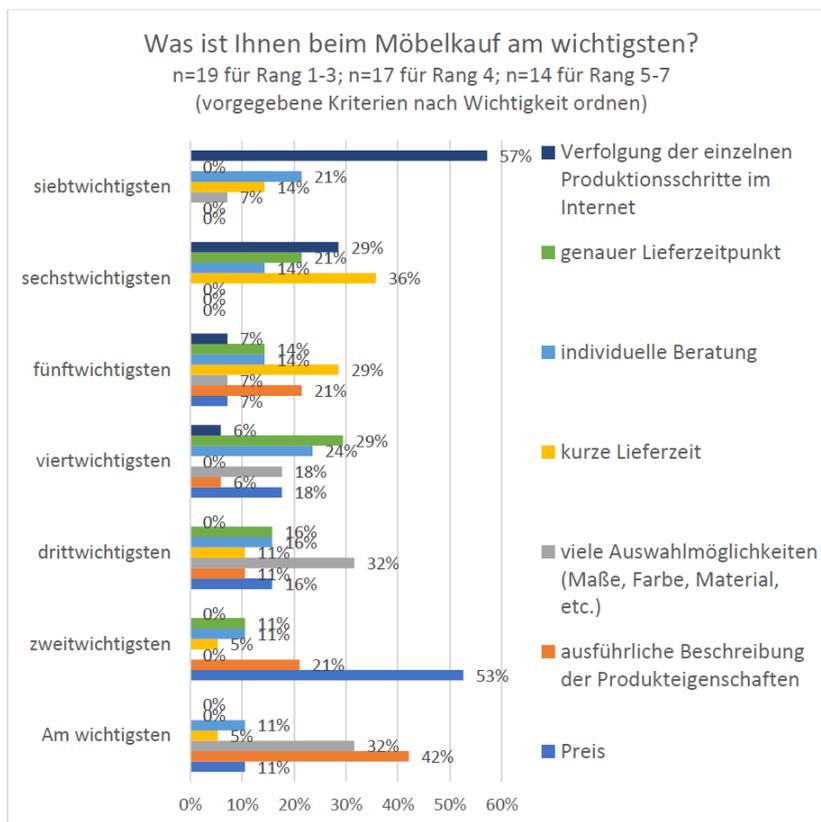
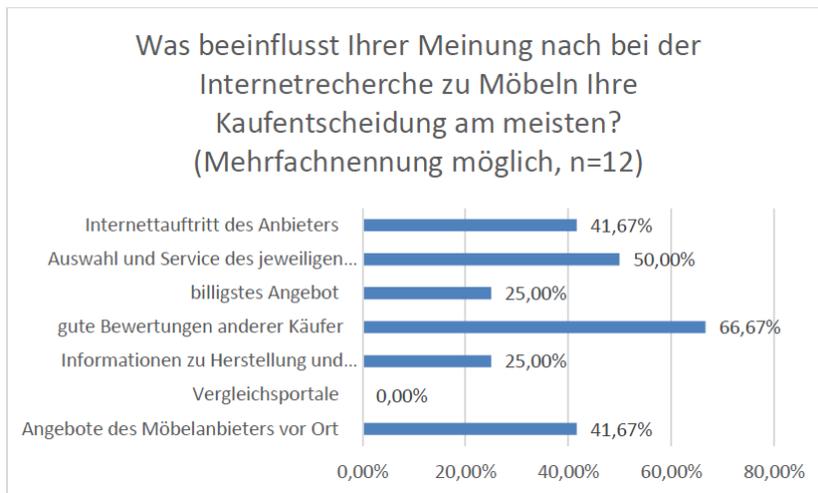
9.1.4 Endkunden

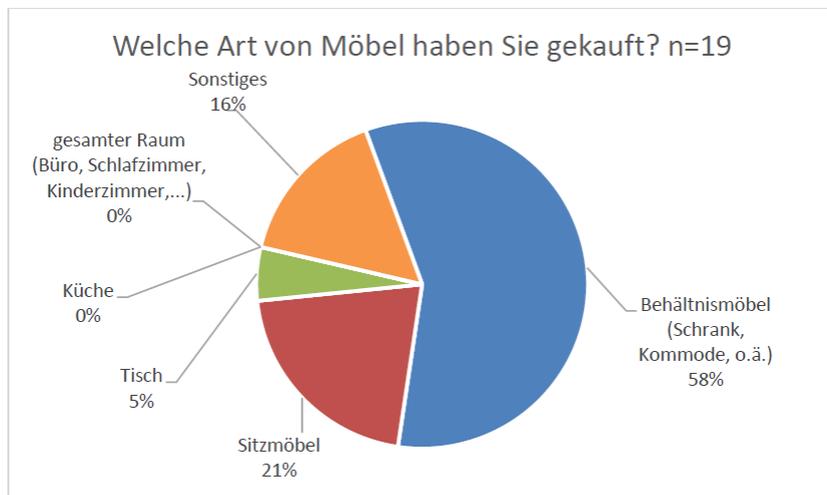
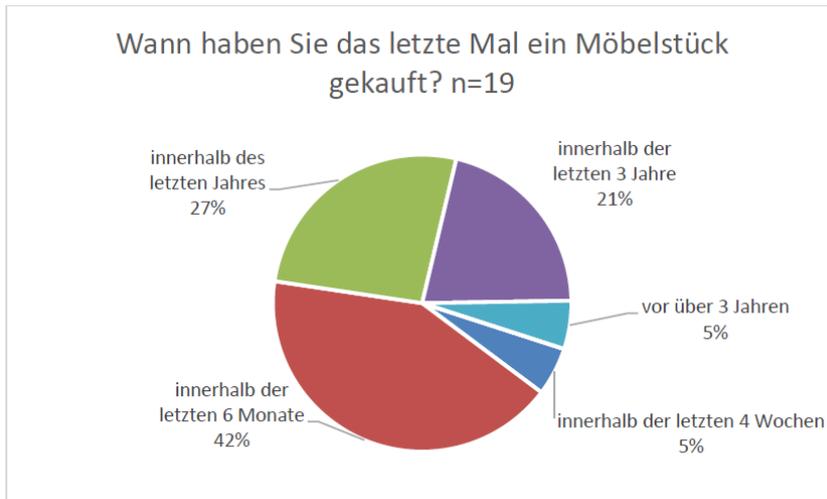
Wie bereiten Sie sich auf einen Möbelkauf vor?
(Mehrfachnennung möglich, n=19)

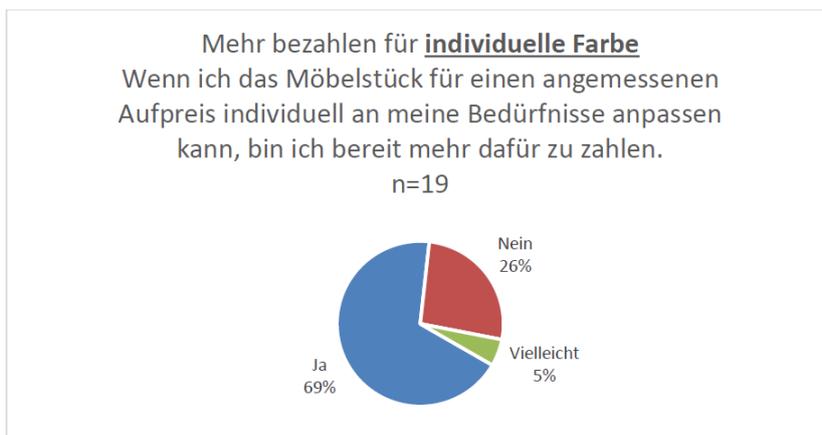
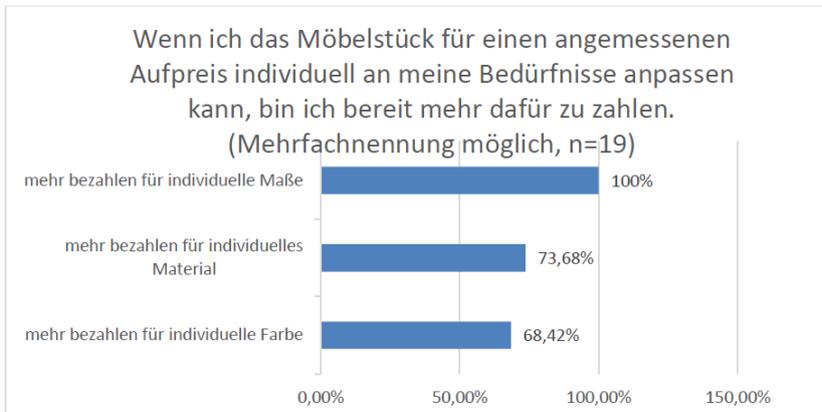
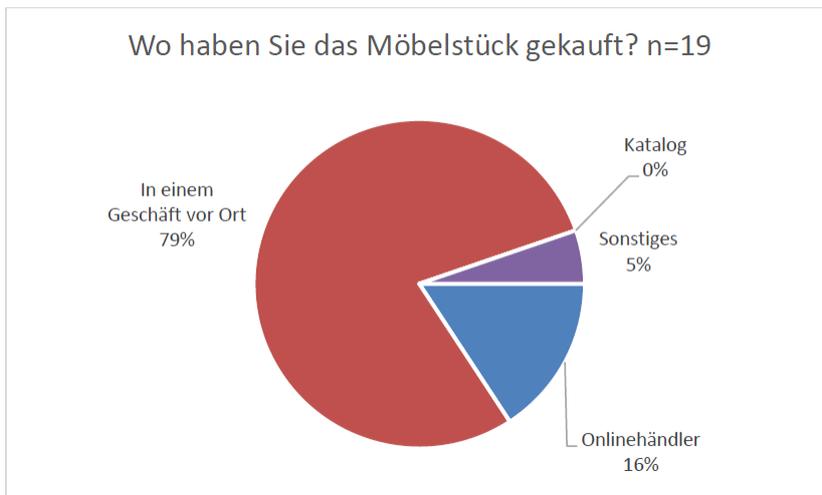


Was sind Ihre Informationsquellen bei der Internetrecherche zu Möbeln?
(Mehrfachnennung möglich, n= 12)



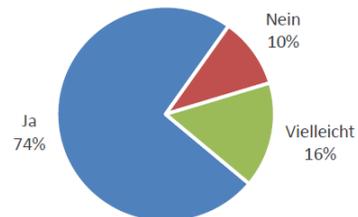






Mehr bezahlen für **individuelles Material**
Wenn ich das Möbelstück für einen angemessenen
Aufpreis individuell an meine Bedürfnisse anpassen
kann, bin ich bereit mehr dafür zu zahlen.

n=19



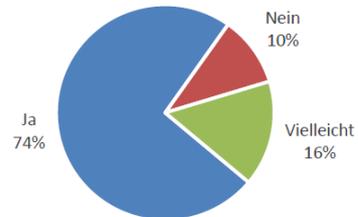
Mehr bezahlen für **individuelle Maße**
Wenn ich das Möbelstück für einen angemessenen
Aufpreis individuell an meine Bedürfnisse anpassen
kann, bin ich bereit mehr dafür zu zahlen.

n=19



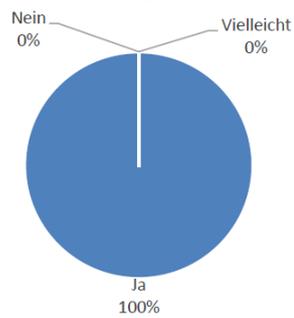
Mehr bezahlen für **individuelles Material**
Wenn ich das Möbelstück für einen angemessenen
Aufpreis individuell an meine Bedürfnisse anpassen
kann, bin ich bereit mehr dafür zu zahlen.

n=19



Mehr bezahlen für **individuelle Maße**
Wenn ich das Möbelstück für einen angemessenen
Aufpreis individuell an meine Bedürfnisse anpassen
kann, bin ich bereit mehr dafür zu zahlen.

n=19



9.2 Fragen und Auswertungstabellen zu der Potentialanalyse

9.2.1 Fragebogen zur Potentialanalyse

Produkt-Determinanten

Individualisierungsgrad

1. Wie stark sind Ihre Produkte individualisierbar (im Sinne einer Auftragsproduktion)?

1 (nicht)	2	3	4	5 (sehr stark)
<input type="checkbox"/>				

2. Inwieweit wünschen Ihre Kunden eine individuelle Entwicklung des Produktes in der Anwendungs-Umgebung (Beispiel: Konstruktion einer Verpackungsanlage in die Produktionshalle des Kunden = sehr stark)?

1 (nicht)	2	3	4	5 (sehr stark)
<input type="checkbox"/>				

Produktkomplexität

3. Wie viele Funktionen besitzen Ihre Produkte (Beispiel: Fenster = eine Basis-Funktion, PKW = sehr viele Funktionen)?

1 (eine Basis-Funktion)	2	3	4	5 (sehr viele Funktionen)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Wie hoch ist der Komplexitätsgrad Ihrer Produkte hinsichtlich der Produktstruktur (Beispiel: Schrauben = gering, Verpackungsanlage = sehr hoch)?

1 (gering)	2	3	4	5 (sehr hoch)
<input type="checkbox"/>				

5. Wie ausgeprägt ist der Anteil an Elektronik in Ihren Produkten?

1 (keine Elektronik)	2	3	4	5 (hohe Anteile an Elektronik)
<input type="checkbox"/>				

6. Wie ausgeprägt ist der Anteil an Software in Ihren Produkten?

1 (keine Software)	2	3	4	5 (hohe Anteile an Software)
<input type="checkbox"/>				

Variantenvielfalt

7. Wie gestaltet sich die Variantenvielfalt innerhalb Ihres Produktportfolios (Beispiel: Konfiguration der Mercedes S-Klasse = sehr viele)?

1 (eine Variante)	2	3	4	5 (sehr viele Varianten)
<input type="checkbox"/>				

8. Wie schätzen Sie die Variantenvielfalt in Zukunft in Ihrem Produktportfolio ein?

1 (eine Variante)	2	3	4	5 (sehr viele Varianten)
<input type="checkbox"/>				

Digitale Produktkonfiguration für den Kunden

9. Wie relevant ist es für Ihr Unternehmen, den Kunden die Möglichkeit zu geben, selbst Ihre Produkte nach vorgegebenen Varianten zu konfigurieren?

1 (nicht relevant)	2	3	4	5 (sehr relevant)
<input type="checkbox"/>				

Fremdfertigungsanteil

10. Wie hoch ist ca. Ihr Anteil an externer Fremdfertigung?

0%	1-10%	10-30%	31-60%	>60%
<input type="checkbox"/>				

Automatisierungsgrad der Fertigung und Montage

11. Wie stufen Sie den Automatisierungsgrad in Ihrer Fertigung ein?

1 (sehr manuell)	2	3	4	5 (sehr mechanisiert)
<input type="checkbox"/>				

12. *Falls relevant: Wie stufen Sie den Mechanisierungsgrad in Ihrer Montage ein?

1 (sehr manuell)	2	3	4	5
---------------------	---	---	---	---

<input type="checkbox"/>	(sehr mechanisiert) <input type="checkbox"/>				
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--

Nachfragevolatilität

13. Wie volatil ist Ihre Auftragslage?

1 (gleichmäßig)	2	3	4	5 (sehr volatil)
<input type="checkbox"/>				

14. *Wie schätzen Sie die Volatilität in Zukunft in Ihrer Branche ein?

1 (gleichmäßig)	2	3	4	5 (sehr volatil)
<input type="checkbox"/>				

Relevanz Ersatzteilgeschäft

15. Vertreiben Sie Ersatzteile für Ihre Produkte?

Ja	Nein
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. Nur falls bei Frage 15. „ja“ ausgewählt wurde: wie hoch ist die Relevanz des Ersatzteilgeschäfts für Sie?

1 (gering)	2	3	4	5 (sehr hoch)	Nicht relevant
<input type="checkbox"/>					

17. Nur falls bei Frage 15. „ja“ ausgewählt wurde: Wie zeitsensibel sind Ihre Kunden hinsichtlich der Lieferung von Ersatzteilen?

1 (gering)	2	3	4	5 (sehr hoch)
<input type="checkbox"/>				

18. Nur falls bei Frage 15. „ja“ ausgewählt wurde: In welchen zeitlichen Abständen werden Ersatzteile durch Ihre Kunden durchschnittlich angefragt?

1 (halbjährlich oder seltener)	2 (halb- bis vierteljährlich)	3 (alle 2-3 Monate)	4 (monatlich)	5 (wöchentlich oder häufiger)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Relevanz produktbezogener Services

19.[a-f] In welchen Kategorien bieten Sie Ihrem Kunden zusätzliche produktbezogene Dienstleistungen an? Zum Beispiel für Produktkonfiguration.

Kategorien von produktbezogenen Dienstleistungen	kein Service	In Planung	Aktiv	Keine Aussage
	1	2	3	
Produktkonfiguration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auftragsverfolgung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ersatzteilbestellungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wartungsservice	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Überwachungs- und Instandhaltungsunterstützung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entsorgungsdienstleistungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

20. [a-f] Wie hoch schätzen Sie die Relevanz produktbezogener Services aus Kundensicht in der Zukunft ein?

Kategorien von produktbezogenen Dienstleistungen	Nicht relevant		Sehr relevant			Keine Aussage
	1	2	3	4	5	
Produktkonfiguration	<input type="checkbox"/>					
Auftragsverfolgung	<input type="checkbox"/>					
Ersatzteilbestellungen	<input type="checkbox"/>					
Wartungsservice	<input type="checkbox"/>					
Überwachungs- und Instandhaltungsunterstützung	<input type="checkbox"/>					
Entsorgungsdienstleistungen	<input type="checkbox"/>					

Determinanten aus Systeme, Schnittstellen und Daten

Systeme

21. [a-g] Welche Prozessschritte werden durch IT-Systeme unterstützt?

Einschätzung/ Zyklus	Nicht vorhanden	Planung	Im Einsatz	nicht bekannt
Produktionsplanung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entwicklung/ Konstruktion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arbeitsvorbereitung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fertigung/ Montage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Service	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Recycling	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strategische Unternehmensplanung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Standards

22. [a-g] Bewerten Sie je Lebenszyklus die Nutzung von Standards.

Einschätzung/ Zyklus	Nicht vorhanden	Planung	Im Einsatz	nicht bekannt
Produktionsplanung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entwicklung/ Konstruktion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arbeitsvorbereitung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fertigung/ Montage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Service	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Recycling	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strategische Unternehmensplanung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

23. Existieren ausreichend branchenspezifische Standards zur Datenerfassung und zum -Austausch?

1	2	3	4	5
keine Standards	Unpassende Standards	Keine Notwendigkeit	Teillösunge n	Ausreichend viele
<input type="checkbox"/>				

24. Sind die spezifischen Standards in der Branche etabliert?

1	2	3	4	5
nein	kaum	Von einigen wenigen	Von der Mehrheit	vollständig
<input type="checkbox"/>				

Datenaustausch

25. Wie schätzen Sie den **IST-** und **SOLL-**Zustand der **Datenverfügbarkeit** bezogen auf die **interne Kommunikation** des jeweiligen Lebenszyklus ein?

1	2	3	4	5	Unbekannt
Papierbasiert ¹⁾	Semi- digitalisiert ²⁾	Digitalisiert ³⁾	Semi- automatisiert ⁴⁾	Automatisiert ⁵⁾	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nennen Sie ein positives und ein negatives Beispiel (Produktionsplanung, Entwicklung/Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung/Montage, Service, Recycling, Strategische Unternehmensplanung):

Positiv: _____

Negativ: _____

¹⁾ Papierbasiert z. B. per (Haus-)Post, ²⁾ Semi-digitalisiert z. B. als Scan, ³⁾ digitalisiert z. B. elektronisch-lesbar per E-Mail, ⁴⁾ Semi-automatisiert, z. B. per System-Schnittstelle gesteuert vom Mitarbeiter ⁵⁾ automatisiert, z. B. Standard-basierter Austausch gesteuert vom System

26. Wie schätzen Sie den **IST-** und **SOLL-**Zustand des **Datenaustausches** bezogen auf die **interne Kommunikation** des jeweiligen Lebenszyklus ein?

1	2	3	4	5	Unbekannt
Papierbasiert ¹⁾	Semi-digitalisiert ²⁾	Digitalisiert ³⁾	Semi-automatisiert ⁴⁾	Automatisiert ⁵⁾	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nennen Sie ein positives und ein negatives Beispiel (Produktionsplanung, Entwicklung/Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung/Montage, Service, Recycling, Strategische Unternehmensplanung):
 Positiv: _____

Negativ: _____

¹⁾ Papierbasiert z. B. per (Haus-)Post, ²⁾ Semi-digitalisiert z. B. als Scan, ³⁾ digitalisiert z. B. elektronisch-lesbar per E-Mail, ⁴⁾ Semi-automatisiert, z. B. per System-Schnittstelle gesteuert vom Mitarbeiter ⁵⁾ automatisiert, z. B. Standard-basierter Austausch gesteuert vom System

27. Wie schätzen Sie den **IST-** und **SOLL-**Zustand der **Datenverarbeitung und -analyse** bezogen auf die **interne Kommunikation** des jeweiligen Lebenszyklus ein?

1	2	3	4	5	Unbekannt
Manuel ¹⁾	Semi-digitalisiert ²⁾	Digitalisiert ³⁾	Semi-automatisiert ⁴⁾	Automatisiert ⁵⁾	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nennen Sie ein positives und ein negatives Beispiel (Produktionsplanung, Entwicklung/Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung/Montage, Service, Recycling, Strategische Unternehmensplanung):
 Positiv: _____

Negativ: _____

¹⁾ Manuell z. B. mit Stift und Papier, ²⁾ Semi-digitalisiert unterstützt z. B. einfachen Office-Programmen, ³⁾ digital unterstützt z. B. mit spezifischen Programmen wie CAD, ⁴⁾ Semi-automatisiert, z. B. ergänzende Simulationen ⁵⁾ automatisiert, z. B. KI-Auswertung

28. Wie schätzen Sie den **IST-** und **SOLL-**Zustand der **Datenverfügbarkeit** bezogen auf die **externe Kommunikation** des jeweiligen Lebenszyklus ein?

1	2	3	4	5	Unbekannt
Manuel ¹⁾	Semi-digitalisiert ²⁾	Digitalisiert ³⁾	Semi-automatisiert ⁴⁾	Automatisiert ⁵⁾	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nennen Sie ein positives und ein negatives Beispiel (Produktionsplanung, Entwicklung/Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung/Montage, Service, Recycling, Strategische Unternehmensplanung):

Positiv: _____

Negativ: _____

¹⁾ Manuell z. B. mit Stift und Papier, ²⁾ Semi-digitalisiert unterstützt z. B. einfachen Office-Programmen, ³⁾ digital unterstützt z. B. mit spezifischen Programmen wie CAD, ⁴⁾ Semi-automatisiert, z. B. ergänzende Simulationen ⁵⁾ automatisiert, z. B. KI-Auswertung

29. Wie schätzen Sie den **IST-** und **SOLL-**Zustand des **Datenaustausches** bezogen auf die **externe Kommunikation** des jeweiligen Lebenszyklus ein?

1	2	3	4	5		Unbekannt
Manuel ¹⁾	Semi- digitalisiert ²⁾	Digitalisiert ³⁾	Semi- automatisiert ⁴⁾	Automatisiert ⁵⁾		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Nennen Sie ein positives und ein negatives Beispiel (Produktionsplanung, Entwicklung/Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung/Montage, Service, Recycling, Strategische Unternehmensplanung):

Positiv: _____

Negativ: _____

¹⁾ Manuell z. B. mit Stift und Papier, ²⁾ Semi-digitalisiert unterstützt z. B. einfachen Office-Programmen, ³⁾ digital unterstützt z. B. mit spezifischen Programmen wie CAD, ⁴⁾ Semi-automatisiert, z. B. ergänzende Simulationen ⁵⁾ automatisiert, z. B. KI-Auswertung

30. Wie schätzen Sie den **IST-** und **SOLL-**Zustand der **Datenverarbeitung** bezogen auf die **interne**

1	2	3	4	5		Unbekannt
Manuel ¹⁾	Semi- digitalisiert ²⁾	Digitalisiert ³⁾	Semi- automatisiert ⁴⁾	Automatisiert ⁵⁾		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Nennen Sie ein positives und ein negatives Beispiel (Produktionsplanung, Entwicklung/Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung/Montage, Service, Recycling, Strategische Unternehmensplanung):

Positiv: _____

Negativ: _____

¹⁾ Manuell z. B. mit Stift und Papier, ²⁾ Semi-digitalisiert unterstützt z. B. einfachen Office-Programmen, ³⁾ digital unterstützt z. B. mit spezifischen Programmen wie CAD, ⁴⁾ Semi-automatisiert, z. B. ergänzende Simulationen ⁵⁾ automatisiert, z. B. KI-Auswertung

Wandel des Arbeitsplatzes

31. Wie stark soll die direkte **Änderung am Arbeitsplatz** bezogen auf den Mitarbeiter sein?

Einschätzung	Rückläufige Entwicklung		Starke Zunahme			unbekannt
	1	2	3	4	5	
Horizontale Tätigkeitserweiterung ¹⁾	<input type="checkbox"/>					
Vertikale Tätigkeitserweiterung ²⁾	<input type="checkbox"/>					
Mensch-Technik- Interaktion ³⁾	<input type="checkbox"/>					
Mensch-Maschinen-Kommunikation ⁴⁾	<input type="checkbox"/>					
Kontextsensitive Umwelt- & Mitarbeiterbeobachtung ⁵⁾	<input type="checkbox"/>					
Verbesserte Informationsbereitstellung ⁶⁾	<input type="checkbox"/>					
Individuelle Arbeitsplatzgestaltung ⁷⁾	<input type="checkbox"/>					
Flexible Arbeitszeiten ⁸⁾	<input type="checkbox"/>					

¹⁾ Erweiterung des Aufgabenbereichs eines Mitarbeiters durch andere Aufgaben, ²⁾ Vertiefung einer konkreten Aufgabe durch mehr Verantwortung oder höhere Komplexität, ³⁾ Mensch und Technik (insbesondere Roboter) arbeiten im selben Arbeitsraum abwechselnd oder parallel an derselben Aufgabe, ⁴⁾ Verbesserung der Kommunikation (Ein- & Ausgabe) durch intuitive Bedienschnittstellen, ⁵⁾ Erfassung von dem Zusammenspiel von Umwelt und Mitarbeiter zum Zweck der Gefahrenminimierung und Zufriedenheitserhöhung, ⁶⁾ Art und Form der Informationsbereitstellung, ⁷⁾ Anpassung des Arbeitsplatz an die Bedürfnisse des Mitarbeiters, ⁸⁾ Steigerung der Mitbestimmung der Arbeitszeitgestaltung

9.2.2 Zuordnung und Gewichtung von Fragen zu Determinanten

DETERMINANTE	KATEGORIE	FRAGE
Produkt	Individualisierungsgrad	1
	Produktkomplexität	3, 4, 5, 6
	Variantenvielfalt	7, 8
Ressourcen	Fremdfertigungsanteil	10
	Automatisierungsgrad	11, 12
	Systemvernetzung	21, 22, 23, 24
	Datenaustausch-intern	25, 26
	Arbeitsplatz	31
Wertschöpfungskette	Digitale Kundenintegration	2, 9
	Nachfragevolatilität	13, 14
	Relevanz Ersatzteilegeschäft	15, 16, 17, 18
	Relevanz produktbezogener Services	19, 20
	Datenaustausch-extern	28, 29, 30

Tabelle 9-1: Übersicht über die Zuordnung der Frage zu Determinanten-Kategorien

ABK.	BESCHREIBUNG	UMRECHNUNG
Fkt1	5-elementige Skala [1,5]	1 → -1; 2 → -0,5; 3 → 0; 4 → 0,5; 5 → 1
Fkt2	Entscheidungsfragen (ja/nein)	Ja → 1; Nein → -1
Fkt3	Weiterführende Entscheidungsfrage [-1,5]	Keine Antwort → -1; 1-5 → siehe Fkt1
Fkt4	4-elementige Skala [0,3]	Keine Antwort → 1; 1 → -1; 2 → 0; 3 → 1
Fkt5	6-elementige Skala [0,5]	Keine Antwort → 0; 1 → -1; 2 → -0,5; 3 → 0,25; 4 → 0,5; 5 → 1
Fkt6	SOLL-/IST-Vergleich [0,5] x [0,5]	SOLL-Wert < IST-Wert → 0 SOLL-Wert - IST-Wert: 0 → 1; 1 → 0,75; 2 → 0,5; 3 → -0,25; 4 → -0,5; 5 → -1

Tabelle 9-2: Überblick über die Umrechnungsfunktionen (Fragebogenwert → Item für Determinantenkategorie) der Antwortmöglichkeiten aus der Potentialanalyse für die Determinantenbestimmung

Fragennummer	Skala	Gewicht- ung	Determinanten- berechnung
Individualisierungsgrad			Produkt
1	[1-5]	1	Fkt1
Produktkomplexität			1
3	[1-5]	0,5	Fkt1
4	[1-5]	0,3	Fkt1
5	[1-5]	0,1	Fkt1
6	[1-5]	0,1	Fkt1
Variantenvielfalt			1
7	[1-5]	0,8	Fkt1
8	[1-5]	0,2	Fkt1
Fremdfertigungsanteil			1
			Interne Ressource/Prozesse
10	[1-5]	1	Fkt1
Automatisierungsgrad			1
11	[1-5]	0,8	Fkt1
12	[1-5]	0,2	Fkt1
Systemvernetzung			1
21-Produktionsplanung	[0-5]	0,05	Fkt4
21-Entwicklung/ Konstruktion	[0-5]	0,05	Fkt4
21-Arbeitsvorbereitung	[0-5]	0,05	Fkt4
21-Fertigung/ Montage	[0-5]	0,05	Fkt4
21-Service	[0-5]	0,05	Fkt4
21-Recycling	[0-5]	0,05	Fkt4
21-Strategische Unternehmensplanung	[0-5]	0,05	Fkt4
22-Produktionsplanung	[0-5]	0,05	Fkt4
22-Entwicklung/ Konstruktion	[0-5]	0,05	Fkt4
22-Arbeitsvorbereitung	[0-5]	0,05	Fkt4
22-Fertigung/ Montage	[0-5]	0,05	Fkt4
22-Service	[0-5]	0,05	Fkt4
22-Recycling	[0-5]	0,05	Fkt4
22-Strategische Unternehmensplanung	[0-5]	0,05	Fkt4
23	[1-4]	0,15	Fkt1
24	[1-4]	0,15	Fkt1
Datenaustausch -intern			1
25-Datenverfügbarkeit	[0-5] - [0-5]	0,40	Fkt6
26-Datenaustausch	[0-5] - [0-5]	0,40	Fkt6
27-Datenverarbeitung und -analyse	[0-5] - [0-5]	0,20	Fkt6
Arbeitsplatz			1
31-Horizontale Tätigkeitserweiterung	[0-5]	0,125	Fkt5
31-Vertikale Tätigkeitserweiterung	[0-5]	0,125	Fkt5
31-Mensch-Technik- Interaktion	[0-5]	0,125	Fkt5
31-Mensch-Maschinen-Kommunikation	[0-5]	0,125	Fkt5

31-Kontextsensitive Umwelt- & Mitarbeiterbeobachtung	[0-5]	0,125	Fkt5
31-Verbesserte Informationsbereitstellung	[0-5]	0,125	Fkt5
31-Individuelle Arbeitsplatzgestaltung	[0-5]	0,125	Fkt5
31-Flexible Arbeitszeiten	[0-5]	0,125	Fkt5
Digitale Kundenintegration		1	Prozess in der Wertschöpfungskette
2	[1-5]	0,5	Fkt1
9	[1-5]	0,5	Fkt1
Nachfragevolatilität		1	
13	{-1,1}	0,8	Fkt2
14	[1-5]	0,2	Fkt1
Relevanz Ersatzteilgeschäft		1	
15	{-1,1}	0,5	Fkt2
16	{-1,[1-5]}	0,2	Fkt3
17	{-1,[1-5]}	0,2	Fkt3
18	{-1,[1-5]}	0,1	Fkt3
Relevanz produktbezogener Services		1	
19-Produktkonfiguration	[0-3]	0,08	Fkt4
19-Auftragsverfolgung	[0-3]	0,08	Fkt4
19-Ersatzteilbestellungen	[0-3]	0,08	Fkt4
19-Wartungsservice	[0-3]	0,08	Fkt4
19-Überwachungs- und Instandhaltungsunterstützung	[0-3]	0,08	Fkt4
19-Entsorgungsdienstleistungen	[0-3]	0,08	Fkt4
20-Produktkonfiguration	[0-3]	0,08	Fkt4
20-Auftragsverfolgung	[0-3]	0,08	Fkt4
20-Ersatzteilbestellungen	[0-3]	0,08	Fkt4
20-Wartungsservice	[0-3]	0,08	Fkt4
20-Überwachungs- und Instandhaltungsunterstützung	[0-3]	0,08	Fkt4
20-Entsorgungsdienstleistungen	[0-3]	0,08	Fkt4
Datenaustausch-extern		1,00	
28-Datenverfügbarkeit	[0-5] - [0-5]	0,33	Fkt6
29-Datenaustausch	[0-5] - [0-5]	0,33	Fkt6
30-Datenverarbeitung und -analyse	[0-5] - [0-5]	0,33	Fkt6

9.2.3 Abhängigkeitsmatrix von Determinanten zu Technologie- sowie Potentialfeldern

In einer Abhängigkeitsmatrix sind die Zusammenhänge zwischen den Determinanten und Technologie- sowie Potentialfeldern festgehalten. Jede Zelle der Abhängigkeitsmatrix beinhaltet den jeweiligen Einfluss der Determinanten auf das Technologie- bzw. Potentialfeld. Dieser Zusammenhang reicht von einem eindeutig positiven (Wert: 1) über einem neutralen (Wert: 0) bis hin zu einem eindeutig negativen (Wert: -1). Es sind ebenfalls auch Zwischenzustände, wie z. B. 0,75 oder -0,25, abbildbar.

Technologiefelder	Potentialfelder		Produkt				Interne Ressource/Prozesse				Prozess in der Wertschöpfungskette			
	Indiv.-grad	Produktkompl.	Variantenvielf.	Fremdfertigungsant.	Auto.-grad	Systemvernetz.	Daten-intern	Arbeitsplatz	Kundenintegration	Nachfragevo	Infatilität	Ersatzteilgeschäft	Produkt-Services	Daten-extern
Kommunikation	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0,5
	0,5	0,5	1	1	0	0,25	0,25	0,25	0	0,5	0	0,5	0,5	1
	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0,25	0,25	1	0	0	0,25	0,25	0	0
	0,25	0,25	0,25	0	0	0,25	0	0,25	0	0	0,25	0	0	0,5
	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0,25	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5	0
	0,5	0,25	0,5	-0,5	0	0,5	0,75	0,5	1	0,5	0,5	0	1	0,5
	1	0,5	0,5	-0,25	0	0,5	1	0	1	0	0	0	1	0
	-1	0	0	0,25	0	0	0	0	1	0,5	0	0	1	0,5
	0,5	0	0	0	0	0	0,25	0	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5
	0,5	0,25	0,5	-0,5	0	0,25	0,25	1	0	0	0	0	0	0,25
Standards und Normungen	0	0	0,5	0,5	0,25	0,5	1	0,25	1	0,25	0	0,25	0	0,5
	0,5	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0,5
Software/System-Technik	0	0	0	0	0,5	0,5	0,25	0,25	0	0,25	0	0	0	0
	-0,5	0	0	0	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0
	-0,5	-0,5	1	0	1	1	0,5	1	0	0	0	0	0	0
	-0,5	0	0	0	0,5	1	0,5	0,5	0	1	0	0	0,5	0
	0	0	0	0	-0,5	1	1	1	0	0	1	0	0	0
	-0,25	0,5	0	0	0	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0	0
Eingebettete Systeme	-0,25	0,5	0,25	0	0,5	0,5	1	1	0	0,5	0	0	0	0
	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0,25	0,5	0	0,5	0	0,5
	-0,25	0	0,25	0	0,5	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0	0
	-0,25	0	0,25	0	0,5	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0	0

9.3 Glossar für den Feedbackraum

	BEGRIFF	BESCHREIBUNG
GRUNDLAGEN	Feedbackraum	Vernetzung und Interaktionen aller Personen, Organisationen und IT-Systeme, die miteinander organisatorisch und technisch an der Feedbacksammlung beteiligt sind.
	Feedback-Definition	Beschreibung des zu sammelnden Feedbacks in einem Feedbackraum mit Informationen über Typ (direkt/indirekt), Fragen, Antwortmöglichkeiten und Bedingungen für das Sammeln Nicht enthalten: Tatsächlich gegebene Antworten, Information über den Kontext einer Antwort
	Feedback-Kampagne	Zeit- und systembeschränkte Beschreibung einer Datenaufnahme, die gezielt Feedback zur Beantwortung einer Frage im Feedbackraum einholt. Eine Feedback-Kampagne fasst eine oder mehrere Feedback-Definitionen zusammen und ergänzt diese um zeitliche und systemspezifische Komponenten.
	Feedback-Event	Tatsächlich gegebenes Feedback, welches sich immer auf ein oder mehrere Objekte bezieht, z. B. eine beantwortete Frage oder ein Klick auf ein Objekt im Web-Browser.
	Feedback-Bezugsobjekt (FBO)	Bündelung von Informationen, die das Objekt betreffen, zu welchem Feedback gegeben wurde. Bei einem Produkt können es z. B. Informationen zum Kauf oder zu dem aktuellen Prozessschritt (Kauf, Reklamation etc.) sein.
	Feedback Message	Enthält gegebene Antworten (Feedback-Event), die ursprüngliche Definition und Kontextinformationen, wie z. B. das Feedback-Bezugsobjekt.
	Feedback-Task	Eine um systemspezifische Daten angereicherte Version der Definition, die an den Feedback-Sammler weitergeben wird.
FEEDBACK KART	Direktes Feedback	Bewusst gegebene Antwort des Feedback-Gebers auf eine ihm gestellte Frage, z. B. Ausfüllen eines Reklamationsbogens.
	Indirektes Feedback	Sammlung des Feedbacks im Hintergrund, ohne dass dem Feedback-Geber die Erfassung notwendigerweise bewusst ist.
FEEDBACK-ROLLEN	Feedback-Geber	Ein System oder eine Person, die Feedback liefert oder gibt. Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> • Der Kunde, der einen Fragebogen ausfüllt • Der Kundenberater, der nach einem Beratungsgespräch die Meinung des Kunden abschätzt und in das Feedback-System eingibt • Eine Produktionsmaschine, die auf Anfrage ihren Produktionsstatus meldet • Ein Telefonhotline-Mitarbeitender, der nach einem Telefonat abschätzt, was der Kunde denkt
	Feedback-Erfasser	Ein System oder eine Person (eine oder mehrere), welches das Feedback aufnimmt, z. B. eine Konfigurationssoftware für Produkte, die direktes oder indirektes Feedback eines Kunden aufnimmt. Anmerkung: es kann auch eine Kette von Feedback-Erfassern geben, z. B. ein Mitarbeitender einer Telefonhotline, der am Telefon das Feedback eines Kunden über ein Online-Formular aufnimmt. Hier ist sowohl der Mitarbeitende als auch das System Feedback-Erfasser.

	BEGRIFF	BESCHREIBUNG
SYSTEMTECHNISCHE UMSETZUNG	Feedback-Initiator	Eine Organisation/Abteilung/Rolle, die eine Feedback-Kampagne in Auftrag gibt.
	Feedback-Eigentümer	Eine Organisation/Abteilung/Rolle (eine oder mehrere), die aus Datenschutzgesichtspunkten rechtmäßiger Besitzer des Feedback-Events ist und das feedbackgenerierende System anbietet/bereitstellt. Anmerkung: aufgrund von rechtlichen Vereinbarungen können auch mehrere Personen/Organisationen Eigentümer des Feedbacks sein.
	Feedback-Nutzer	Eine Organisation/Abteilung/Rolle (eine oder mehrere), die das Feedback verwertet.
	Feedback-Workflow	Der Prozess, der technisch definiert, wie die Feedback-Kampagne über die Systeme aller Akteure zum Feedback-Erfasser gelangt und wie die entsprechenden Feedback-Events wieder zurück geleitet werden.
	Feedback-Kollektor	Die systemtechnische Umsetzung des Feedback-Erfassers.
	Feedback-Kollektor-Server	Die systemtechnische Umsetzung zur Koordination von Feedback-Tasks an verschiedene Kollektoren sowie die Aggregation der entsprechenden Feedbacks-Events.
	Feedback-Workflow-Manager	Die systemtechnische Umsetzung zur Steuerung des Feedback-Workflows sowie zur Übersetzung und Anreicherung der Feedback-Tasks und Feedback-Messages.
	Feedback-Server	Die systemtechnische Umsetzung zur Speicherung von Feedback-Definition, -Kampagnen der Feedback-Messages.
	Feedback-Manager	Die systemtechnische Umsetzung zur Strukturierung von Feedback-Definition und -Kampagnen sowie zur Bereitstellung der Feedback-Messages zur Datenauswertung.

Tabelle 9-3: Begriffe im Feedbackraum

Feedback-Definitionen erhalten die eigentliche Frage bzw. den Feedbackgegenstand sowie einschränkende Informationen wie ausgewählte Produkte oder Merkmale.

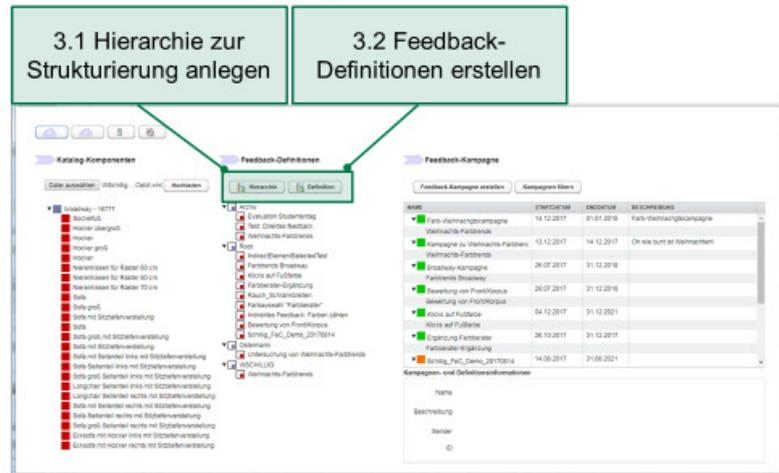


Abbildung 9-3: Erstellen einer Hierarchie zur Strukturierung von Feedback-Definitionen

Es gibt 2 Feedbacktypen: bei direktem Feedback ist sich der Feedbackgeber über seine aktive Rolle als Feedbackgeber im Klaren (z. B. Kundenbefragung); bei indirektem Feedback werden Feedbackgeber beobachtet (z. B. Browserverlauf).

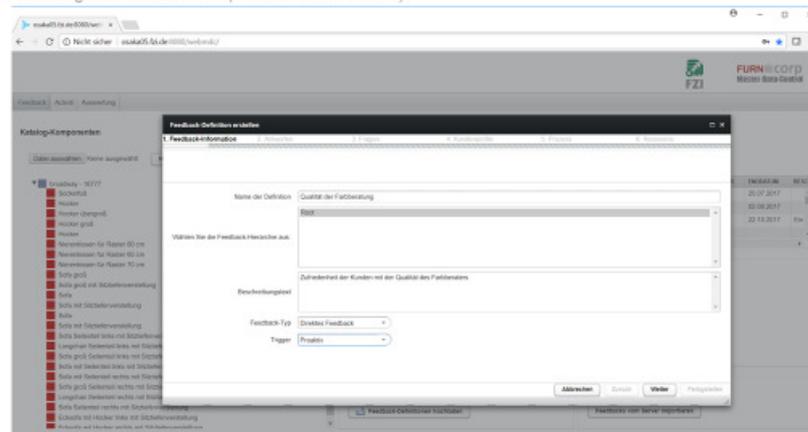


Abbildung 9-4: Festlegung von allgemeinen Informationen innerhalb einer Feedback-Definition

Neben Namen, Beschreibung und Feedback-Typ wird ein Trigger ausgewählt. Dieser bestimmt unter welcher Bedingung ein Feedback gesammelt wird. Soll Feedback über das Abbrechen eines Online-Videos gesammelt werden, wählt man *Anwendung abgebrochen* als Trigger aus.

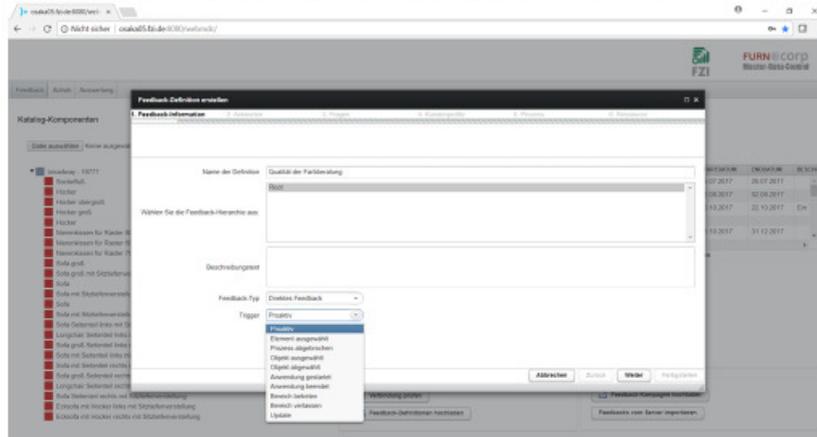


Abbildung 9-5: Festlegung von allgemeinen Informationen innerhalb einer Feedback-Definition mit Fokus auf Trigger-Typen

Bei direktem Feedback hat man die Möglichkeit die Art der Antwort festzulegen. Hierzu sind Vorlagen für Freitext, Ordinal (Zahlen-Skala) oder Nominal (selbstfestzulegende Kategorien) verfügbar. Bei indirektem Feedback wird dieser Reiter übersprungen.

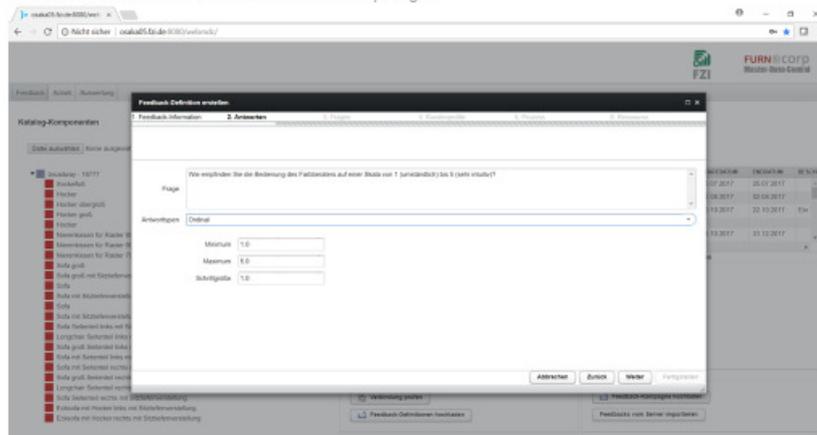


Abbildung 9-6: Festlegung von Antworten innerhalb einer Feedback-Definition

Es ist möglich eine Feedback-Frage auf ausgewählte Produkte oder Merkmalausprägungen einzuschränken. Damit kann sich z. B. eine Frage nur auf ein spezielles Sofa mit der Hauptbezugsart Rot beziehen. Es wird vorausgesetzt, dass die Zielsysteme die Definition interpretieren kann.

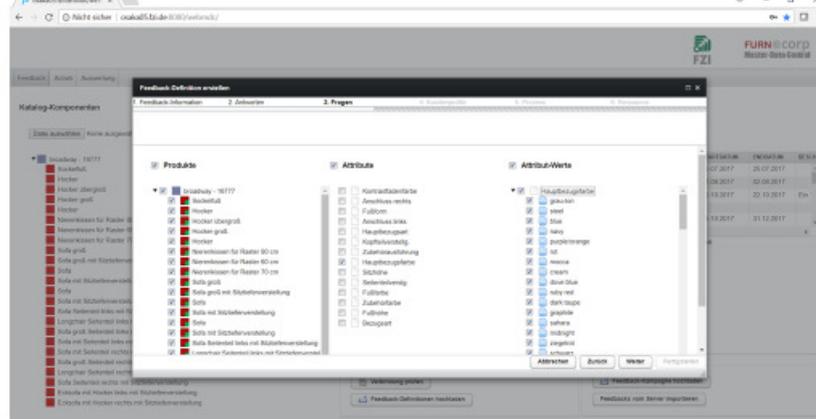


Abbildung 9-7: Festlegung von Produktabhängigkeit innerhalb einer Feedback-Definition

Ebenso wie eine Produkteinschränkung ist eine Konkretisierung der Zielgruppe möglich. Diese kann nicht in der Oberfläche angelegt oder verwaltet werden. Bei Änderungen bzw. Erweiterung muss dies im Quellcode erfolgen.

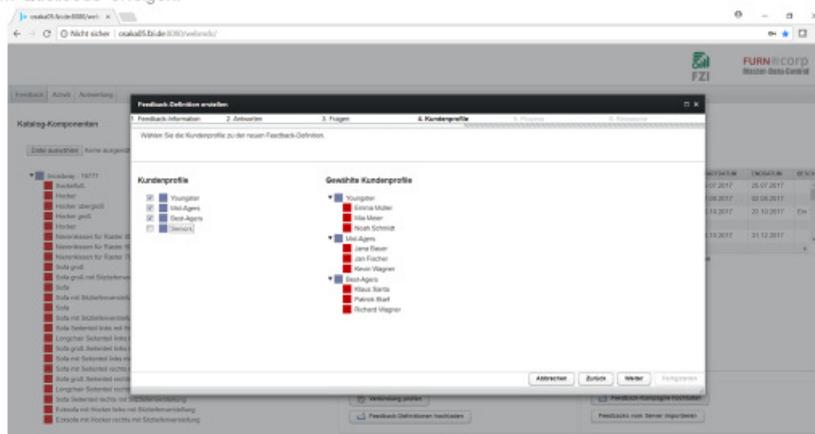


Abbildung 9-8: Festlegung des Kundenprofils innerhalb einer Feedback-Definition

Die aufgeführten Prozessschritte bilden den gesamten Produktlebenszyklus ab – von der Produktentwicklung dem Verkauf bis hin zur Reklamation. Auch hier können Einschränkungen vorgenommen werden, die jedoch statisch im Quellcode definiert werden.

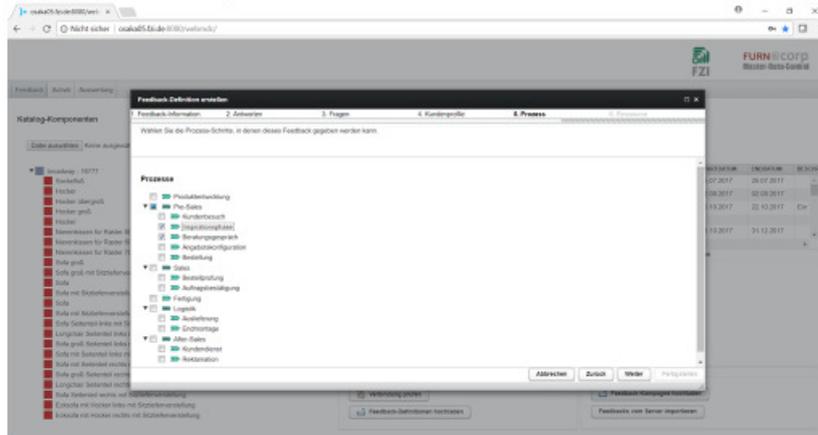


Abbildung 9-9: Auswahl von Prozessschritte innerhalb einer Feedback-Definition

In diesem Reiter wird bestimmt, an welchem Ort das Feedback gesammelt wird. Dies kann z. B. eine Filiale oder der Online-Auftritt eines Händlers sein. Auch hier ist keine Änderung und Erweiterung in der Oberfläche möglich.

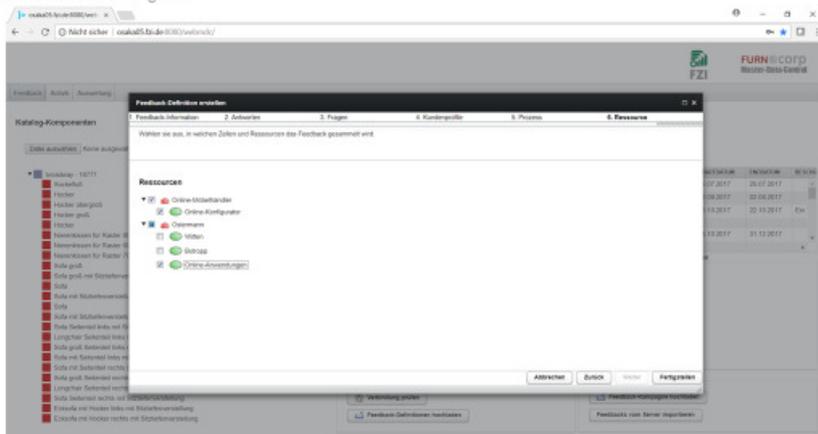


Abbildung 9-10: Auswahl von Ressourcen innerhalb einer Feedback-Definition

Schon erstellte Feedback-Definitionen können immer wieder aufgerufen und angepasst werden.

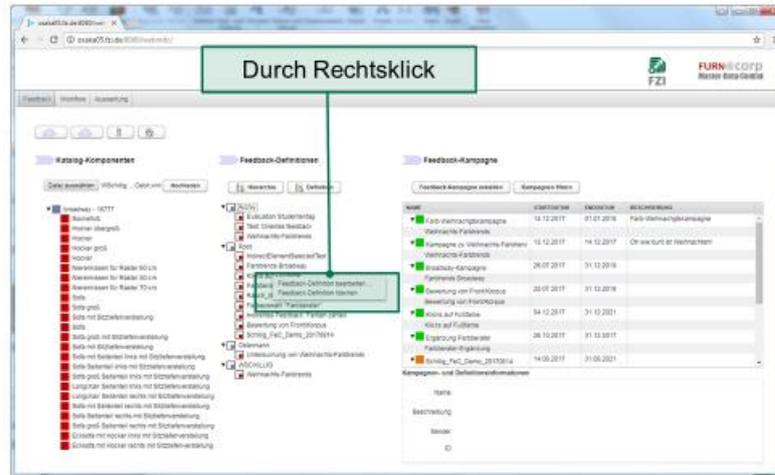


Abbildung 9-11: Bearbeitung von bereits erstellten Feedback-Definitionen

In einer Feedback-Kampagne werden zu den einzelnen Fragen (Feedback-Definitionen) ein genauer Zeitraum und zusätzliche Informationen festgelegt.

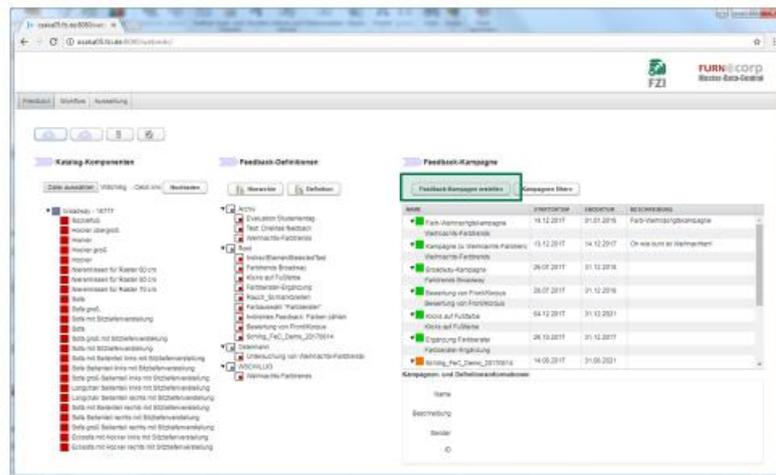


Abbildung 9-12: Anlagen von Feedback-Kampagnen

Eine Feedback-Kampagne muss mindestens eine Feedback-Definition enthalten. Es ist auch möglich mehrere Feedback-Definitionen in einer Kampagne zu bündeln.

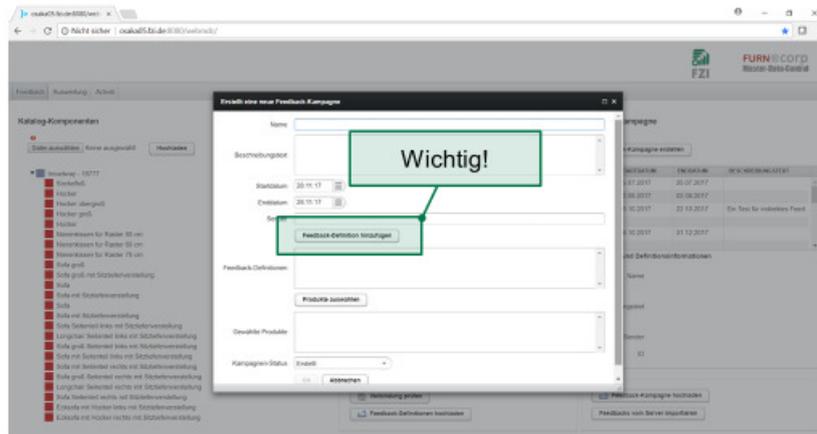


Abbildung 9-13: Zuordnung von Feedback-Definitionen zu einer Feedback-Kampagne

Ist die Feedback-Kampagne fertig, muss sie nur noch hochgeladen werden. Im nächsten Schritt wird sie dann an die entsprechenden Systeme verteilt.

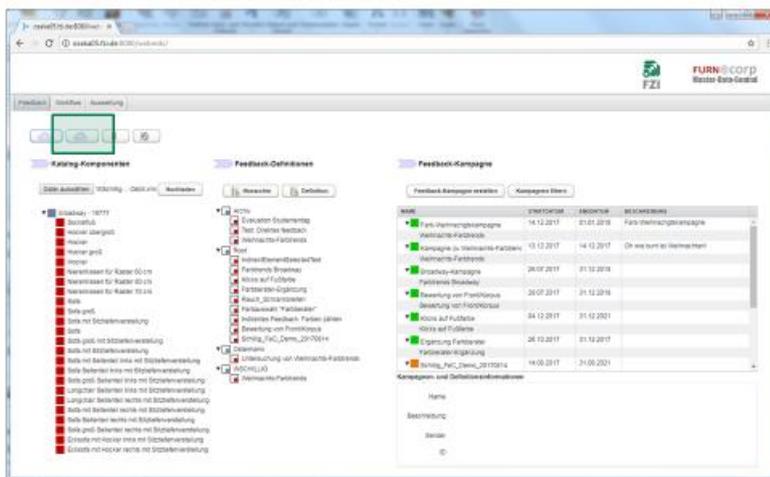


Abbildung 9-14: Hochladen der Feedback-Definitionen und -Kampagnen zur Weiterverarbeitung