



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Menschorientierte Gestaltung komplexer System of Systems „MoSyS“



Abschlussdokumentation

Abschlussdokumentation

Verbundprojekt „Menschorientierte Gestaltung komplexer System of Systems“ (Akronym „MoSyS“)

Fördermaßnahme: „Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering für die Wertschöpfung von morgen (PDA_ASE)“

Programm: „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ des BMBF

Projektlaufzeit: 01.10.2020 bis 31.03.2024

Projektkonsortium	Assoziierte Partner
• Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik (IEM) • IPEK - Institut für Produktentwicklung am KIT • FAU Erlangen-Nürnberg, Institut für Soziologie/Nuremberg Campus of Technology, LS Technik-Arbeit-Gesellschaft • wbk - Institut für Produktionstechnik am KIT • sem engineering methods AG • BENTELER Automobiltechnik GmbH • CLAAS KGaA mbH • HARTING Applied Technologies GmbH • IG Metall (Gewerkschaft) • Lenze SE • KOSTAL Automobil Elektrik GmbH & Co. KG • Miele & Cie. KG • Philips GmbH Innovation Services Aachen • Renumics GmbH • Robert Bosch GmbH • tech-solute GmbH & Co. KG • TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG • Two Pillars GmbH	• aen e.V. • Airbus • Audi AG • Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG • Cluster Elektromobilität Süd-West • ELHA-MASCHINENBAU Liemke KG • Fresenius Medical Care Deutschland GmbH • IG Metall BW • IG Metall NRW • It's OWL Clustermanagement GmbH • OWL Maschinenbau e.V. • Pilz GmbH & Co. KG • RAConsulting GmbH • SimPlan AG • thyssenkrupp Industrial Solutions AG • Valispace GmbH Projektkoordination: Dr.-Ing. Harald Anacker Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik (IEM) Zukunftsmeile 1 33102 Paderborn Tel.: +49 (0) 5251 5465-324 E-Mail: harald.anacker@iem.fraunhofer.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis	12
1. Einleitung	13
1.1. Motivation, Ziele und Aufbau von MoSyS	14
1.2. Vorgehen in MoSyS	16
1.3. MoSyS Wissensnuggets	18
2. Wissensnuggets.....	19
2.1. Definition und Operationalisierung von Agilität	20
2.2. Anforderungen an Agilität & Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse	29
2.3. Kompass Agilität	46
2.4. Kollaborationsmodell.....	56
2.5. Definition Arbeitskonflikte bei agilem SE und Handlungsempfehlungen	61
2.6. Richtlinien zur Arbeitssystemgestaltung	75
2.7. Evaluationssystematik Qualität von Partizipation/Aufgabe von Betriebsräten	87
2.8. Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse	92
2.9. Glossar	104
2.10. Einleitung Problem-Statements sowie Einsatz- und Anwendungsszenarien SoS.....	106
2.11. SoS Referenzarchitektur.....	115
2.12. Meta-Modell.....	124
2.13. MoSyS-MBSE-Methodik.....	132
2.14. Grundlagen für die Entwicklung einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement	137
2.15. Prüfung der Validität von Änderungsanfragen im modellbasierten Technischen Änderungsmanagement	145
2.16. Ausbreitungsanalyse einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement	151
2.17. Auswirkungsanalyse einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement	158
2.18. Agiles Kommunikationskonzept einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement	164
2.19. Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement.....	171
2.20. Lösungsmuster im Kontext SoS.....	182
2.21. Lösungsmusterkatalog Smart Products, Produktion, V&V	189
2.22. Schnittstelle Mensch/KI	204
2.23. Menschorientierte Entwicklung von KI-Anwendungen.....	208

2.24.	Entwurf KI-gestützte Anwendung.....	214
2.25.	Technische Weiterentwicklung der KI-Anwendung	217
2.26.	Anforderungserhebung für einen Digitalen Zwilling	223
2.27.	Informationsmodell für einen Digitalen Zwilling	238
2.28.	Leitfaden zur Implementierung des Digitalen Zwillings.....	244
2.29.	Prozessmodell zur Definition von Inkrementumfängen	268
2.30.	Methodendatenbank zu Methoden des agilen Systems Engineerings	271
2.31.	Synergien und Potenziale von agilem Systems Engineering Einleitung	277
2.32.	Leitfaden zur Umsetzung eines Individuellen Veränderungsprozesses hin zu agilem Systems Engineering.....	282
2.33.	Anforderungen & Konzept SE-Unternehmen	290
2.34.	Datenmodelle & Informationsflüsse	300
2.35.	Engineering-IT-Bebauung.....	304
2.36.	Umsetzung der Engineering-IT	308
2.37.	SoS-Demonstrator modellhaftes SE-Unternehmen.....	313
3.	Zusammenfassung und Ausblick.....	317
4.	Danksagung.....	318

Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1: Übersicht über die Verbundprojektpartner und ihre Rollen.....	14
Bild 1-2: Vereinfachte Projektstruktur.....	15
Bild 2-1: Beiträge der Konsortialpartner zum Verständnis und zur Adaption agiler Ansätze.....	22
Bild 2-2: Beispiel für Bildung von Subkategorien zur Kategorie Agilität	31
Bild 2-3: Übersicht zentraler Befunde	32
Bild 2-4: Herausforderungen, die Flexibilisierung erfordern	33
Bild 2-5: Externe Einflussfaktoren aus Sicht der Experten.....	34
Bild 2-6: Ausgangspunkte und Bedingungen für Umsetzung von Agilität	35
Bild 2-7: Umsetzungsprozesse	37
Bild 2-8: Erfahrungen mit Agilität	39
Bild 2-9: Nicht-intendierte Folgen und Fehlentwicklungen.....	40
Bild 2-10: Anwendungsformen agiler Ansätze	49
Bild 2-11: Verbreitung Projektmethoden	49
Bild 2-12: Anpassung der Vorgehensmodelle.....	50
Bild 2-13: Weiterbildung für agile Ansätze	51
Bild 2-14: Größte Hemmnisse für agiles Arbeiten	52
Bild 2-15: Erwarteter und erlebter Nutzen von agilen Methoden.....	52
Bild 2-16: Auswirkung agiler Methoden auf den Arbeitsalltag	53
Bild 2-17: Kollaborationsmodell.....	58
Bild 2-18: Innovationsarbeitssystem	77
Bild 2-19: Das triadische Schema der betrieblichen Arbeitsbeziehungen [Tie08].....	101
Bild 2-20: Das Glossar für MoSyS-relevante Begriffe (A) mit einheitlichen und gemeinsamen Definitionen (B) sowie Anmerkungs- und Notizenmöglichkeit (C)	105
Bild 2-21: Aufbau des Steckbriefs für die Beschreibung der Einsatz- und Anwendungsszenarien	106
Bild 2-22: Steckbrief des Szenarios „Kommunikation - Im Produktlebensphasenübergreifenden Kontext“	108
Bild 2-23: Steckbrief des Szenarios „Verantwortlichkeitseitige Traceability und Schnittstellen“	109
Bild 2-24: Steckbrief des Szenarios „Organisation, Ressourcen und Infrastruktur - Mangel an Ressourcen über den gesamten Produktentstehungsprozess und Projektablauf“	110
Bild 2-25: Steckbrief des Szenarios „Anforderungsmanagement“	111
Bild 2-26: Steckbrief des Szenarios „Produktseitige Traceability und Schnittstellen“	112
Bild 2-27: Steckbrief des Szenarios „Produktseitige Traceability und Schnittstellen“	113
Bild 2-28: Steckbrief des Szenarios „Fehlende anwendbare/akzeptierte Rahmenwerke“	114
Bild 2-29: AECIA Framework.....	116

Bild 2-30: SoS-Referenarchitektur-Framework: Übergreifende Ansicht	119
Bild 2-31: SoS-Referenarchitektur-Framework: Systemtyp, Zeit und Systemebene	120
Bild 2-32: SoS-Referenarchitektur-Framework: System- (SG) and Entwicklungsgeneration (EG), Zeit- und Systemebene innerhalb eines Systemtyps	120
Bild 2-33: SoS-Referenarchitektur-Framework: PS-RFLP Abstraktion, übergreifende Perspektiven und Systemebene innerhalb einer Entwicklungsgeneration.....	121
Bild 2-34: Gesamtübersicht über die Ontologie der SoS-Referenzarchitektur.....	122
Bild 2-35: Zielbild des Meta-Modells Meta-Modells.....	125
Bild 2-36: Konzept des Meta-Modells	125
Bild 2-37: Modellierungsrichtlinien für WHY.....	126
Bild 2-38: Modellierungsrichtlinien für WHAT	127
Bild 2-39: Modellierungsrichtlinien für WHO und WHEREBY.....	128
Bild 2-40: Modellierungsrichtlinien für HOW	129
Bild 2-41: Modellierungsrichtlinien für WHERE.....	129
Bild 2-42: Angewandtes Framework bei Harting.....	130
Bild 2-43: Abgeändertes und angewandtes Framework bei Bosch	130
Bild 2-44: MoSyS-MBSE-Framework mit den Ebenen Produkt, Validierung und PGE.....	133
Bild 2-45: Beispielhafte Navigation vom Rahmenwerk zu einer Modellierungsaktivität und dem zu verwendenden Diagramm für einen Schritt der Aktivität	133
Bild 2-46: MoSyS-MBSE-Framework mit den unterschiedlichen Sichten sowie Modellieraktivitäten (Ausschnitt für Modellierungsaktivitäten Produkt-Requirement).....	134
Bild 2-47: Beispiel für Modellierungsaktivitäten in iQuavis bei Harting AT.....	135
Bild 2-48: Einordnung des Wissensnuggets 2.14 in das MoSyS Projekt.....	137
Bild 2-49: Übersicht der erfassten Änderungsfälle sowie die Charakterisierungsmap.....	139
Bild 2-50: Ausschnitt aus der Einfluss-Relevanzanalyse von Änderungsfällen	139
Bild 2-51: Ergebnisse der Evaluation von Anforderung an eine modellbasierte Methodik im techn. Änderungsmanagement	141
Bild 2-52: Das aktivitätenbasierte AECIA- Framework.....	142
Bild 2-53: Im Kontext von AP3 erstellte (Teil-)Systemmodelle	143
Bild 2-54: Einordnung des Wissensnuggets 2.15 in das MoSyS Projekt.....	145
Bild 2-55: Das aktivitätenbasierte AECIA-Framework.....	146
Bild 2-56: Vorgehen zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen	147
Bild 2-57: Ausschnitt des Systemmodells einer TRUMPF-Vereinzelungsstation.....	148
Bild 2-58: In iQuavis implementiertes Vorgehensmodell zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen.....	148
Bild 2-59: Modellierung der Änderungsausbreitung am Beispiel der TRUMPF-Vereinzelungsstation	149

Bild 2-60: Einordnung des Wissensnuggets 2.16 in das MoSyS Projekt.....	151
Bild 2-61: Das aktivitätenbasierte AECIA- Framework.....	152
Bild 2-62: Beispiel zur Darstellung von der Änderung potentiell betroffenen Elementen	153
Bild 2-63: Beispiel zur Modellierung und Verknüpfung des Elementes Change Issue mit dem Restmodell.....	154
Bild 2-64: Beispiel zur Modellierung und Verknüpfung von Lösungsalternativen mit dem Restmodell	154
Bild 2-65: Kaskadenförmige modellierung von Änderungen und Folgeänderungen in einem Modell	155
Bild 2-66: Ergebnisse der Evaluation der AECIA-Methodik	156
Bild 2-67: Einordnung des Wissensnuggets 2.17 in das MoSyS Projekt.....	158
Bild 2-68: Das aktivitätenbasierte AECIA- Framework.....	160
Bild 2-69: Zweiteilige Bewertung von Lösungsalternativen einer technischen Änderung	161
Bild 2-70: Sichten zur Durchführung der Bewertung von Lösungsalternativen.....	162
Bild 2-71: Einordnung des Wissensnuggets 2.18 in das MoSyS Projekt.....	164
Bild 2-72: Das aktivitätenbasierte AECIA- Framework.....	165
Bild 2-73: Verknüpfung zwischen Trigger Item und dem Restmodell	166
Bild 2-74: Prozessabläufe zur Erstellung, Vernetzung und Verwaltung von Trigger Items & Stakeholder	167
Bild 2-75: Implementierte Sicht zur Verknüpfung von Stakeholder und relevanten Systemmodellelementen	167
Bild 2-76: Übersicht von erstellten Trigger Items, den verknüpften Change Elementen, betroffenen Systemelementen und dem Status.....	167
Bild 2-77: Übersicht der Ergebnisse der Evaluation der AECIA-Methodik.....	169
Bild 2-78: Einordnung des Wissensnuggets 2.19 in das MoSyS Projekt.....	171
Bild 2-79: Vorgehen zur Entwicklung der (Teil-)Ergebnisse in Anlehnung an SEIN et al. [SHP+11]	172
Bild 2-80: Übersicht Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement.....	173
Bild 2-81: Überblick Architekturframework (AP 2).....	174
Bild 2-82: Zusammenhang zwischen Einflussgrößen und der System-Referenzarchitektur (in Anlehnung an [CMV+09]).....	176
Bild 2-83: Vorgehen zur Entwicklung einer Systemreferenzarchitektur	176
Bild 2-84: Nutzungskonzept der System-Referenzarchitektur.....	177
Bild 2-85: Lösungsmuster im Gestaltungsprozess.....	178
Bild 2-86: Vorgehensmodell zur Nutzung des Architekturreifegradmodells zur Bewertung von Architekturen.....	180
Bild 2-87: Auszug aus dem Reifegradmodell zur Bewertung von Architekturen.....	180
Bild 2-88: Einordnung des Wissensnuggets 2.20 in das MoSyS Projekt.....	182

Bild 2-89: Übersicht Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement.....	183
Bild 2-90: Übersicht SoS-Anwendungsfall	185
Bild 2-91: Lösungsmustertemplate	186
Bild 2-92: Prinzipdarstellung für den Einsatz von Lösungsmuster	187
Bild 2-93: Einordnung des Wissensnuggets 2.22 in das MoSyS Projekt.....	189
Bild 2-94: Vorgehen zur Übertragung von Lösungsmuster in Lösungsmusterkataloge	189
Bild 2-95: Einordnung im Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement.....	190
Bild 2-96: Lösungsmusterbeschreibung auf Basis der Referenzarchitektur	191
Bild 2-97: Übersicht der unterschiedlichen Quellen für Lösungsmuster	192
Bild 2-98: Smart Product Lösungsmuster „Zentrale Architektur“	193
Bild 2-99: Auszug Lösungsmusterkatalog Smart Products in Cameo	193
Bild 2-100: Framework zur Dokumentation von Lösungsmustern in der Produktion	194
Bild 2-101: Ontologie für Produkt-Produktions-Systeme.....	195
Bild 2-102: Zusammenhang zwischen Produkt und Produktion in Cameo (links) und iQUAVIS (rechts)	195
Bild 2-103: Anlagenverhalten (sequenziell vs. parallel) in iQUAVIS.....	196
Bild 2-104: SysML Diagramm zur Verknüpfung von Produkt, Prozess und Produktionssystem und Beispiele für implementierte Lösungsmuster in CAMEO	196
Bild 2-105: Verkettung von Lösungselementen in Visual Components	197
Bild 2-106: Übersicht Lösungsmusterkatalog V&V	199
Bild 2-107: Verifikationsmuster.....	199
Bild 2-108: Validierungsmuster.....	200
Bild 2-109: Vorgehen zur Dokumentation und Wiederverwendung von Lösungswissen für die V&V	200
Bild 2-110: Umsetzung V&V Lösungsmuster in iQuavis	201
Bild 2-111: Anwendungsbeispiel Lösungsmuster in der Verifikation	202
Bild 2-112: Erstellungsprozess des Glossars	205
Bild 2-113: Klassifikation der Definition der technischen Sicht.....	206
Bild 2-114: Prozess der Potenzialanalyse	208
Bild 2-115: Planung und Selektion der KI-Anwendungsfälle	209
Bild 2-116: Prozessmodellierung am Beispiel der Phase Konstruktion	210
Bild 2-117: Steckbrief eines KI-Potenzials Reverse Engineering von Funktionen	210
Bild 2-118: Bewertung der KI-Anwendungsfälle.....	211
Bild 2-119: Stakeholder-Map.....	211
Bild 2-120: Bewertung der KI-Anwendungsfälle.....	212
Bild 2-121: Ansatz zur Validierung eines KI-Anwendungsfalls in den frühen Phasen	215

Bild 2-122: Mock-up Gleichteilemanagement	218
Bild 2-123: Benutzeroberfläche Gleichteilemanagement	219
Bild 2-124: Funktionscluster der Benutzeroberfläche	219
Bild 2-125: Testauswertung SUS	220
Bild 2-126: Testauswertung SUMI	221
Bild 2-127: Einordnung des Wissensnuggets 2.26 in das MoSyS Projekt.....	223
Bild 2-128: Schematische Übersicht des Rahmenwerks.....	225
Bild 2-129: Digitaler Zwilling Use Case Matrix	235
Bild 2-130: Steckbrief für eine detaillierte Betrachtung von Anwendungsfällen eines digitalen Zwillings	236
Bild 2-131: Einordnung des Wissensnuggets 2.29 in das MoSyS Projekt.....	238
Bild 2-132: Erstellung und Nutzung von Informationen in Bezug auf den Lebenszyklus	240
Bild 2-133: Beispielhafte Darstellung des Konzepts der Verwaltungsschale	240
Bild 2-134: Informationsmodell für den digitalen Zwilling	242
Bild 2-135: Einordnung des Wissensnuggets 2.28 in das MoSyS Projekt.....	244
Bild 2-136: Persona-Steckbrief eines Produktmanagers.....	246
Bild 2-137: Persona-Steckbrief eines Data Scientist.....	247
Bild 2-138: Persona-Steckbrief eines Hardwareentwicklers.....	247
Bild 2-139: Persona-Steckbrief eines Softwareentwicklers	248
Bild 2-140: Persona-Steckbrief eines Simulationsexperten	248
Bild 2-141: Persona-Steckbrief eines Anforderungsmanager	249
Bild 2-142: Persona-Steckbrief eines Validierungsingenieurs.....	249
Bild 2-143: Persona-Steckbrief eines Systemarchitekt	250
Bild 2-144: Persona-Steckbrief eines PLM- und EA-Koordinators	251
Bild 2-145: Leitfaden für die Erstellung von DZ.....	251
Bild 2-146: Schritt 1 - Aktivitäten für die Erstellung eines digitalen Zwillings	254
Bild 2-147: Schritt 2 - Aktivitäten für die Erstellung des Inhalts eines digitalen Zwillings	259
Bild 2-148: Schritt 3 - Aktivitäten für die Nutzung eines digitalen Zwillings.....	264
Bild 2-149: Einordnung des Wissensnuggets 2.29 in das MoSyS Projekt.....	268
Bild 2-150: Generischer Prozess zur Definition von Inkrementumfängen	270
Bild 2-151: Einordnung des Wissensnuggets 2.30 in das MoSyS Projekt.....	271
Bild 2-152: Übersichtsseite Methodensteckbrief	272
Bild 2-153: Ausgangssituation	273
Bild 2-154: Prozessverbesserung.....	273

Bild 2-155: Einführung der Methode	274
Bild 2-156: Durchführung der Methode.....	274
Bild 2-157: Messung der Prozessverbesserung	275
Bild 2-158: Zusammenfassung.....	275
Bild 2-159: Einordnung des Wissensnuggets 2.31 in das MoSyS Projekt.....	277
Bild 2-160: Ausprägung der Faktoren.....	277
Bild 2-161: Charakteristika zur Vermittlung von Wechselwirkungen	278
Bild 2-162: Beispielhafter Konflikt.....	279
Bild 2-163: Beispielhafte Synergie.....	280
Bild 2-164: Übersicht der Wechselwirkungen	280
Bild 2-165: Einordnung des Wissensnuggets 2.32 in das MoSyS Projekt.....	282
Bild 2-166: Zielauswahl im Web-Leitfaden.....	284
Bild 2-167: Logik zur Auswahl passender Methoden	286
Bild 2-168: Methodenvorschlag im Leitfaden.....	286
Bild 2-169: Einordnung des Wissensnuggets 2.33 in das MoSyS Projekt.....	290
Bild 2-170: Darstellung der gebildeten Cluster für die Anforderungserhebung.....	291
Bild 2-171: Modellierung der Aufbauorganisation im Modellierungstool iQUAVIS.....	296
Bild 2-172: Modellierung der Ablauforganisation im Modellierungstool iQUAVIS	297
Bild 2-173: Bildhafte Darstellung eines SoS im Transferdemonstrator.....	298
Bild 2-174: IT-Architektur für das modellhafte SE-Unternehmen	299
Bild 2-175: Einordnung des Wissensnuggets 2.34 in das MoSyS Projekt.....	300
Bild 2-176: Modellierung von Softwarewerkzeugen und dessen Zusammenwirkungen	301
Bild 2-177: Modellierung des Informationsfluss während eines Entwicklungsprozess.....	301
Bild 2-178: Darstellung der notwendigen Informationen und des entsprechenden Zielwerkzeugs	302
Bild 2-179: Einordnung des Wissensnuggets 2.35 in das MoSyS Projekt.....	304
Bild 2-180: IT-Architektur für das modellhafte SE-Unternehmen	305
Bild 2-181: Einordnung des Wissensnuggets 2.36 in das MoSyS Projekt.....	308
Bild 2-182: Modellierung der Systemanforderungen des Racecar-Demonstrator.....	309
Bild 2-183: Modellierung der funktionalen und logischen Architektur des Racecar-Demonstrator..	309
Bild 2-184: 3D-Modell des Racecar-Demonstrator	310
Bild 2-185: Modell für die Produktionsplanung des Racecar-Demonstrator	310
Bild 2-186: Modellierung der Anforderungen des Racecar-Demonstrators mittels Codebeamer....	311
Bild 2-187: Modellierung des Kontexts des Racecar-Demonstrators	312
Bild 2-188: Zusammenhang zu den Projektergebnissen im MoSyS-Projekt	313

Bild 2-189: Visualisierung der Eigenschaften eines SoS anhand der unternehmensübergreifenden Kommunikation	315
Bild 2-190: Darstellung der Forschungsfragen und der folgenden Ergebnisse anhand des modellbasierten Architekturmanagements.....	315

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Übersicht der Wissensnuggets.....	18
Tabelle 2-1: Arbeitswissenschaftliches Ebenensystem emergenter Ordnungen und Zuordnung zu den für die Ebenen relevanten wissenschaftlichen Disziplinen [LVR+87]	78
Tabelle 2-2: Checkliste für die Durchführung von Workshops	90
Tabelle 2-3: Auszug von SoS-Beispielen.....	117
Tabelle 2-4: Identifizierten Anforderungen an eine modellbasierte Methodik für das techn. Änderungsmanagement	140
Tabelle 2-5: Übersicht der Bewertungskriterien zur Evaluation der AECIA-Methodik.....	168
Tabelle 2-6: Anforderungsübersicht an einen Leitfaden.....	225
Tabelle 2-7: Anforderungen das das Modellierungswerkzeug eines digitalen Zwillings	227
Tabelle 2-8: Anforderung an die Modellierungssprache des digitalen Zwillings	230
Tabelle 2-9: Anforderungen an die Referenzarchitektur eines digitalen Zwillings	231
Tabelle 2-10: Identifizierte Anwendungsfälle eines digitalen Zwillings	235
Tabelle 2-11: Detaillierte Beschreibung der übergeordneten Schritte des Leitfadens	252
Tabelle 2-12: Detaillierte Beschreibung der Schritte für die Erstellung eines digitalen Zwillings	254
Tabelle 2-13: Detaillierte Beschreibung der Schritte für die Erstellung des Inhalts eines digitalen Zwillings	259
Tabelle 2-14: Detaillierte Beschreibung der Schritte für die Nutzung eines digitalen Zwillings	264
Tabelle 2-15: Anforderungen an die Aufbauorganisation des modellhaften SE-Unternehmens	291
Tabelle 2-16: Anforderungen an die Ablauforganisation eines modellhaften SE-Unternehmen	292
Tabelle 2-17: Anforderungen an die Daten eines modellhaften SE-Unternehmen	293
Tabelle 2-18: Anforderungen an die Informationen eines modellhaften SE-Unternehmen	294
Tabelle 2-19: Anforderungen an die IT-Anwendungen eines modellhaftes SE-Unternehmens	295

1. Einleitung

Das Forschungsprojekt MoSyS (Menschorientierte Gestaltung komplexer System of Systems) wurde im Rahmen der Fördermaßnahme "Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme" des BMBF initiiert, um den steigenden Herausforderungen in der Entwicklung komplexer technischer Systeme und System-of Systems zu begegnen. Im Zeitalter der fortschreitenden Digitalisierung und der zunehmenden Vernetzung von Systemen stehen Unternehmen vor der Aufgabe, innovative technische Lösungen zu entwickeln, die nicht nur technologisch, sondern auch organisatorisch neue Maßstäbe setzen.

Die Einbindung des Menschen in den Entwicklungsprozess, die Förderung von Agilität und Kollaboration sowie der Einsatz modernster Methoden und IT-Werkzeuge stehen im Mittelpunkt dieses Projekts. Ziel ist es, sowohl technologische als auch organisatorische Aspekte der Systementwicklung zu optimieren, um den steigenden Anforderungen der Industrie gerecht zu werden und gleichzeitig den Menschen als zentralen Akteur zu stärken.

In den folgenden Unterkapiteln wird zunächst auf die Motivation, die Ziele und den Aufbau von MoSyS eingegangen (Kapitel 1.1). Anschließend wird das Vorgehen im Projekt detailliert beschrieben (Kapitel 1.2), bevor im letzten Teil des Kapitels (Kapitel 1.3) die sogenannten "MoSyS Wissensnuggets" vorgestellt werden, die als praxisorientierte Leitfäden und Best Practices zur Anwendung der im Projekt erarbeiteten Methoden dienen.

Zusätzlich ist zu beachten, dass dieser schriftlichen Abschlussdokumentation ein digitaler Anhang angehängt ist. In dieser Abschlussdokumentation wird z.T. auf die Dateien in diesem Anhang verlinkt. Sollten Sie keinen Zugriff auf die verlinkten Dateien haben, kontaktieren sie das Fraunhofer IEM.

1.1. Motivation, Ziele und Aufbau von MoSyS

Das Engineering der Zukunft erfordert eine integrierte Betrachtung der Themen Agilität, Kollaboration, Systems Engineering und Digitalisierung bzw. KI. Die weitgehend getrennten Forschungsrichtungen von Arbeitssoziologie, Produktentwicklung sowie Produktionssystementwicklung sind im Schulterschluss zu analysieren und holistische Lösungsansätze sind zu entwickeln. Damit werden Anforderungen an gute Arbeit (Mitbestimmung, Selbstorganisation) als Ressource für nachhaltige Innovationsfähigkeit anerkannt und wirksam gemacht. Dies stellt die Grundlage zur Definition einer agilen SE-Organisation mit einer transparenten Beschreibung der Reichweite einer systematischen Transformation dar.

Es ist ein Engineering komplexer SoS anzuvizieren, welches auf bestehenden Ansätzen des MBSE (z. B. SysML) fußt und diese bezogen auf aktuelle und zukünftige Herausforderungen in der Entwicklung komplexer SoS erweitert. Dabei ist insbesondere auf die Besonderheiten im integrierten, systemorientierten und menschenzentrierten Engineering aller beteiligten Akteure einzugehen. Ausgehend aus der Produktentwicklung sind angrenzende Unternehmensbereiche wie z. B. die Produktion von Beginn an und konsequent mit einzubeziehen.

Die Bearbeitung dieser Ziele erfolgte durch ein Konsortium bestehend aus 18 Projektpartnern. Diese sind in Forschungseinrichtungen, Befähiger- und Anwenderunternehmen einzuteilen. Zusätzlich wirkten im Rahmen des Breitentransfers 13 weitere assoziierte Partner im Verbundprojekt MoSyS mit. Bild 1-1 gibt einen Überblick über das Projektkonsortium.



Bild 1-1: Übersicht über die Verbundprojektpartner und ihre Rollen

Aufgrund der sehr vielfältigen Problem- und Aufgabenstellung unterteilte sich das Verbundprojekte MoSyS in zehn Arbeitspakete. AP 1 und AP 2 bildeten das Fundament jeglicher Arbeiten und insbesondere der ausgewählten Schwerpunktthemen in AP 3 bis AP 7. Die funktionale Demonstration und prototypische Implementierung erfolgten im Rahmen des AP 8. Die Pilotierung der AP-Inhalte findet bereits im Rahmen der APs in Form von partnerspezifischen Anwendungsfällen (AF) statt und wird direkt von den beteiligten Anwendungsunternehmen verantwortet. Die Partner sind weitestgehend in allen APs involviert, legen jedoch entsprechend der Anwendungsfälle thematische Schwerpunkte. Zusätzlich behandelt AP9 alle Aspekte rund um die Verbreitung und Veröffentlichung der Ergebnisse und Aktivitäten des Verbundprojektes MoSyS. Abschließend wurden alle koordinativen Aufgaben innerhalb des Projektes in AP10 behandelt. Bild 1-2 stellt die vereinfachte Projektstruktur und die Zusammenhänge der beschriebenen Projektaspekte dar.

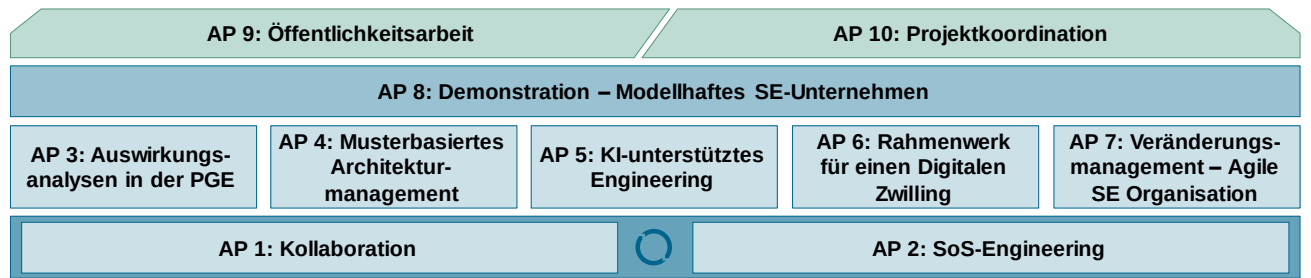


Bild 1-2: Vereinfachte Projektstruktur

Weitere Informationen	Link: Herausforderungen der heutigen Systementwicklung: https://www.youtube.com/watch?v=hMPvG0X50

1.2. Vorgehen in MoSyS

Die verbundinterne Projektplanung beinhaltete das Zusammenwirken der beteiligten Forschungseinrichtungen, der Befähiger- und Anwenderunternehmen sowie der assoziierten Partner des Verbundprojektes MoSyS. Die Projektstruktur bildete die Grundlage für die Zusammenarbeit. In den Arbeitspaketen (AP) wurden die wissenschaftlichen Grundlagen erarbeitet, die in den Anwendungsfällen (AF) der einzelnen Industrieunternehmen zur Anwendung kamen. Im Folgenden wird auf die Aspekte Projektkoordination, Arbeitspaketleitung, Lenkungsreis, Anwendungsfälle und Projektdurchführung näher eingegangen, da diese Aspekte die tragenden Säulen des Projektablaufs darstellen.

Projektkoordination: Die Koordination des Gesamtprojektes oblag dem Fraunhofer IEM und war in AP 10 auch in der Projektstruktur verankert. Die Projektkoordination überwachte gemeinsam mit dem Lenkungsreis den Arbeitsfortschritt und bildete die Schnittstelle zwischen dem Projektkonsortium und dem Projektträger. Dabei wurde auf Basis des Arbeitsplans und der Arbeitsteilung besonderer Wert auf die Sicherstellung der arbeitsteiligen und interdisziplinären Zusammenarbeit aller Projektpartner über die Grenzen der partnerspezifischen Anwendungsfälle hinweg sowie auf ein konstruktives Konfliktmanagement gelegt.

Arbeitspaketleitung: Die organisatorische und inhaltliche Leitung der Arbeitspakete erfolgte durch definierte Partner – der sogenannten Federführung der einzelnen APs. Diese koordinierten die inhaltliche Bearbeitung der Teilarbeitspakete sowie die damit verbundene inhaltliche Erarbeitung der verorteten Anwendungsfälle. Die Federführung übernahm somit die im Rahmen der Projektkoordination beschriebenen Aufgaben auf Ebene der Arbeitspakete. Unterstützt wurde die Federführung bei der Leitung der Arbeitspakete durch die Co-Federführung. Diese stand der AP-Leitung als Sparring zur Verfügung und stellte die Breitenwirksamkeit sowie die thematische Ausrichtung der APs auf die Anwendungsfälle sicher.

MoSyS-Lenkungsreis: Der Lenkungsreis setzte sich aus der Projektkoordination und den verantwortlichen Arbeitspaketleitern zusammen. Er überwachte die strategische Ausrichtung des Projektes. Einmal im Quartal erstellte der Lenkungsreis unter Verantwortung der Projektkoordination einen Gesamtbericht für das PTKA. Ebenfalls einmal im Quartal fand eine Controlling-Sitzung mit den Mitgliedern des Lenkungsreises statt, um den Projektfortschritt kontinuierlich zu kontrollieren und die Vernetzung der APs zu gewährleisten. Dabei beriet der Lenkungsreis über das weitere Vorgehen im Projekt, sprach Handlungsempfehlungen aus und entlastete die Projektkoordination, indem er die erarbeiteten Ergebnisse überprüfte und mit dem Projektziel abglich.

Anwendungsfälle: Jeder Anwendungsfall wurde von einem Anwendungsfallverantwortlichen geleitet. Seine Aufgabe war es, die Aktivitäten des Anwendungsfalles zu steuern und zu koordinieren, wie z.B. die Organisation und Durchführung von Sitzungen mit Einladungen und Protokollen. Jedem Anwendungsfallverantwortlichen stand ein Arbeitspaketleiter auf wissenschaftlicher Seite als Ansprechpartner zur Verfügung. Er stellte sicher, dass die Forschungsergebnisse einen hohen Praxisbezug aufwiesen und umfassend erprobt wurden.

Projektdurchführung: Für eine effektive Projektdurchführung wurden die Anwendungsfälle der Unternehmen in den Teilarbeitspaketen verortet und mit konkreten Ergebnissen je Arbeitspaket versehen. Die Erfüllung der Ergebnisse je Arbeitspaket war eine wesentliche Voraussetzung für die planmäßige Projektdurchführung und wurde von den verantwortlichen Unternehmen an die Arbeitspaketleitung kommuniziert. Diese waren für die Erstellung eines Ergebnisberichtes auf Arbeitspaketebene verantwortlich, der den Partnern sowie dem Projektträger zur Verfügung gestellt wurde. Zur Sicherstellung der individuellen Zielerreichung verpflichtete sich jeder Partner zur Erstellung eines eigenen Ergebnisberichtes für den jährlichen Zwischennachweis an den Projektträger. Der Zeitpunkt der Abgabe dieser Berichte wurde im Rahmen der Kooperationsvereinbarung geregelt.

Für eine regelmäßige Abstimmung wurden Treffen aller Projektmitglieder im Rahmen von jährlichen Meilensteintreffen genutzt. Während die ersten Treffen aufgrund der Corona-Pandemie noch virtuell und online stattgefunden haben, haben die folgenden Treffen wie folgt stattgefunden: 2021 in Paderborn beim Fraunhofer IEM, 2022 in Stuttgart bei TRUMPF, 2023 in Harsewinkel bei CLAAS und 2024 in Paderborn beim Fraunhofer IEM. Außerdem haben innerhalb der APs weitere Treffen in Person in kleinerer Personenstärke stattgefunden.

1.3. MoSyS Wissensnuggets

Die wesentlichen Ergebnisse des Verbundprojektes MoSyS werden in Form sogenannter Wissensnuggets präsentiert. Jedes Wissensnugget stellt ein konkretes, eigenständiges Ergebnis des Projektes dar, auch wenn diese zum Teil in enger Abstimmung zueinander entstanden sind. Im Folgenden werden die Wissensnuggets im Sinne einer verbesserten Übersichtlichkeit nach den Arbeitspaketen (AP), in denen diese hauptsächlich entstanden sind, aufgelistet

Tabelle 1-1: Übersicht der Wissensnuggets

Arbeitspaket	Wissensnuggets
AP1 Kollaboration	• Definition und Operationalisierung von Agilität • Anforderungen an Agilität & Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse • Kompass Agilität • Kollaborationsmodell • Definition Arbeitskonflikte bei agilem SE und Handlungsempfehlungen • Richtlinien zur Arbeitssystemgestaltung • Evaluationssystematik Qualität von Partizipation/Aufgabe von Betriebsräten • Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse
AP2 SoS Engineering	• Glossar • Einsatz- und Anwendungsszenarien für SoS • SoS Referenzarchitektur • SoS-Meta-Modell • MoSyS-MBSE-Methodik
AP3 Auswirkungsanalysen in der PGE	• Grundlagen für die Entwicklung einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement • Prüfung der Validität von Änderungsanfragen im modellbasierten Technischen Änderungsmanagement • Ausbreitungsanalyse einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement • Auswirkungsanalyse einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement • Agiles Kommunikationskonzept einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement
AP4 Musterbasiertes Architekturmanagement	• Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement • Lösungsmuster im Kontext SoS • Lösungsmusterkatalog Smart Products, Produktion, V&V
AP5 KI-unterstütztes Engineering	• Schnittstelle Mensch/KI • Potenzialanalyse & Planung und Selektion KI-gestützte Anwendungen • Entwurf KI-gestützte Anwendung • Technische Weiterentwicklung der KI-Anwendung
AP6 Rahmenwerk für einen Digitalen Zwilling	• Anforderungserhebung für einen Digitalen Zwilling • Informationsmodell für digitalen Zwilling • Leitfaden zur Implementierung des Digitalen Zwillings
AP7 Änderungsmanagement – Agile SE-Organisation	• Prozessmodell zur Definition von Inkrementumfängen • Methodendatenbank zu Methoden des agilen Systems Engineerings • Synergien und Potenziale von agilem Systems Engineering • Leitfaden zur Umsetzung eines Individuellen Veränderungsprozesses hin zu agilem Systems Engineering
AP8 Modellhaftes SE- Unternehmen	• Anforderungen & Konzept für ein modellhaftes SE-Unternehmen • Datenmodelle & Informationsflüsse • Engineering-IT-Bebauung • Umsetzung der Engineering-IT • SoS-Demonstrator modellhaftes SE-Unternehmen

2. Wissensnuggets

Im Folgenden Kapitel sind alle entstandenen Wissensnuggets detailliert beschrieben. Der Aufbau jedes Wissensnuggets folgt dem gleichen Schema und wird im Folgenden erläutert. Die übergeordnete Ebene ist in eine Einleitung (2.X.1), einen Hauptteil (2.X.2) und eine Diskussion sowie Ausblick (2.X.3) gegliedert. Das „X“ wird je nach Wissensnugget mit der entsprechenden Kapitelnummer ausgetauscht.

In der Einleitung wird zunächst die generelle Zielsetzung des Wissensnuggets näher beschrieben (2.X.1.1). Anschließend wird das Wissensnugget in das Gesamtprojekt MoSyS eingeordnet (2.X.1.2). Dadurch werden Abhängigkeiten zu anderen Arbeitspaketen und Wissensnuggets offengelegt. Als abschließendes Unterkapitel der Einleitung wird das Vorgehen zur Erarbeitung des Wissensnuggets beschrieben (2.X.1.3). Dort werden die angewandten Forschungsmethoden oder der Arbeitsmodus dargestellt.

Der Hauptteil eines jeden Wissensnuggets beginnt mit Definitionen von Fachbegriffen, die zum Verständnis der Wissensnugget-Inhalte beitragen (2.X.2.1). Beispielsweise wird hier der Begriff Architektur definiert, wenn das Wissensnugget im Kontext des Architekturmanagement entstanden ist. Das nächste Unterkapitel beinhaltet die konkreten Ergebnisse des Wissensnuggets (2.X.2.2). Diese können in einer weiteren Unterebene individuell gegliedert und strukturiert sein, um die Ergebnisse optimal zu präsentieren.

Anschließend werden die Ergebnisse und Erkenntnisse im letzten nummerierten Kapitel der Wissensnuggets diskutiert und weitere Forschungsbedarfe in einen Ausblick gestellt (2.X.3). Somit bietet dieses Kapitel eine kritische Betrachtung der Ergebnisse und eine Beschreibung bzw. einen Startpunkt für folgende Forschungsvorhaben. Bei der Verwendung und Zitation von Literaturquellen zur Beschreibung der Wissensnuggets sind diese am Ende des Wissensnuggets ebenfalls angegeben.

Des Weiteren werden innerhalb der Wissensnuggets weitere Informationen verlinkt. Diese können Veröffentlichungen zum entsprechenden Thema, Dateien im digitalen Anhang dieser Abschlussdokumentation oder Links zu relevanten Websites sein. Sollten Sie keinen Zugriff auf die verlinkten Dateien haben, wenden Sie sich gerne an das Fraunhofer IEM. Hier ein Beispiel für die Darstellung der Verlinkung zu zusätzlichen Informationen:

Weitere Informationen	Link: Herausforderungen der heutigen Systementwicklung: https://www.youtube.com/watch?v=hMP_rvG0X50

2.1. Definition und Operationalisierung von Agilität

2.1.1. Einleitung

2.1.1.1. Zielsetzung

Die in AP 1 erarbeitete Definition und Operationalisierung von Agilität umfassen eine generische Definition von Agilität, zentrale agile Grundprinzipien sowie Merkmale agiler Vorgehensweisen in der Projektarbeit. Im kollaborativen Austausch mit den Projektpartnern und unter Einbeziehung empirischer Befunde aus den Experteninterviews, Beschäftigtenbefragung und Workshops wurde das grundlegende Agilitätsverständnis weiterentwickelt sowie in einzelnen Aspekten operationalisiert und empirisch überprüft [RPB+23b].

Definition und Operationalisierung von Agilität haben das Ziel die Unternehmen bei der nachhaltigen Einführung agiler Prozesse und Strukturen zu unterstützen. Der Blick in die Literatur sowie auch eine erste Umfrage unter den beteiligten Unternehmen zum Projektstart zeigten die begriffliche und konzeptionelle Vielfalt bzw. Unschärfe von Agilität. Insofern war es notwendig einen (Selbst-)Verständigungsprozess zu initiieren und ein gemeinsames Verständnis von Agilität mit den Unternehmen im Konsortium zu erarbeiten.

Agilität wird oft mit dem Agilen Manifest [BBB+01] und seinem Ursprung in der Softwareentwicklung sowie mit Ansätzen wie SCRUM gleichgesetzt, was die Adaptionmöglichkeiten in der mechatronischen Produktentwicklung zu limitieren scheint. Ein gemeinsames Grundverständnis trägt dazu bei, einerseits die Möglichkeiten und andererseits auch die Limitierungen bei der Adaption agiler Grundprinzipien und Vorgehensweisen abzuwägen sowie Umsetzungsmöglichkeiten auszuloten. Von daher bestand ein erster Schritt zum Projektbeginn darin, eine grundlegende Definition für Agilität in der physischen Produktentwicklung zu entwickeln, zentrale Aspekte zu konkretisieren und auf diese Weise das Spektrum der Umsetzung agiler Arbeitsweisen zu verdeutlichen. Ausgangspunkt war eine umfassende Literaturanalyse im engen Austausch mit AP 7.

Definition und Operationalisierung dienen als eine Referenzfolie bei der Standort- und Zielbestimmung im Prozess der Agilisierung: zum einen können damit bereits bewährte flexible bzw. agil-ähnliche Arbeitsweisen identifiziert werden, an denen erfolgreich angeknüpft werden kann, zum anderen lassen sich Ziele bestimmen und im Prozess der Implementierung regelmäßig überprüfen. Definition und Operationalisierung sind dabei notwendig generisch bzw. breit angelegt, um für heterogene Unternehmenskontexte anwendbar zu sein. Was Agilität bzw. agile Arbeitsweisen konkret für die beteiligten (heterogenen) Unternehmen bedeuten und wie (weit) einzelne Aspekte umgesetzt werden (können), bleibt eine unternehmensspezifische Interpretations-, Adaption- und Implementationsaufgabe unter Einbeziehung der beteiligten betrieblichen Akteure.

2.1.1.2. Einordnung in MoSyS

Grundlage für die Definition und Operationalisierung sind eine umfassende Literaturrecherche und ein intensiver kollaborativer Austausch mit AP 7 und AP 2. Die konsolidierten Ergebnisse dieser Recherche und Abstimmung sind wiederum in die Erarbeitung des Leitfadens und Veränderungsmanagements (AP 7) und Entwicklung des Metamodells (AP 2) eingeflossen. Sie bildeten darüber hinaus die Grundlage für weitere empirische Erhebungen im AP 1, wie die Experteninterviews zur Analyse der Anforderungen und des Ist-Standes der Umsetzung von Agilität [RPB+23b], die Konzipierung der standardisierten Befragung für den Kompass Agilität [PAR+23], die Gruppeninterviews mit betrieblichen Interessenvertretungen durch die Kollegen der IG Metall [Kli24] sowie für die Vorbereitung der Workshops mit Beschäftigten für die Analyse der Kollaboration im Engineering [RTA+24]. Der im AP

1 verfolgte Mixed-Methods-Forschungsansatz beinhaltet die Kombination qualitativer und quantitativer Erhebungsmethoden sowie die vergleichende Analyse der Befunde, um ein umfassenderes Verständnis der untersuchten Phänomene zu ermöglichen.

Weitere Informationen	Wiki: Definition und Operationalisierung von Agilität: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Definition und Operationalisierung von Agilit%C3%A4t Digitaler Anhang: • Anforderungen und Umsetzung Agilität.pdf • Kompass Agilität.pdf • Kollaborationsmodell.pdf Wissensnuggets: • Definition Arbeitskonflikte bei agilem SE und Handlungsempfehlungen • Evaluationssystematik Qualität von Partizipationsprozessen und Aufgaben von Betriebsräten • Richtlinien zur Arbeitssystemgestaltung • Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse

2.1.1.3. Vorgehen

Ausgangspunkt zur Entwicklung einer Arbeitsdefinition war eine umfangreiche Literaturrecherche. Dazu wurden arbeitssoziologische Publikationen (u.a. [HS18]; [SP18]; [NNT+21]; [PNS21]; [SNP21]), Managementliteratur [BBB+01] und empirische Untersuchungen ([ANS+20]; [Kom20]) sowie im engen Austausch mit AP 7 ingenieurwissenschaftliche Publikationen (u.a. [AHM+19]; [AHS+19]; [HRF+21]; [HKA21]) ausgewertet. Anhand der Literaturanalysen wurde eine generische Definition von Agilität, zentrale agile Grundprinzipien sowie Merkmale agiler Vorgehensweisen in der Projektarbeit herausgearbeitet, die als eine erste Orientierung bzw. Annäherung dienen.

Auf dieser Basis wurde in einem regelmäßigen kollaborativen Austausch mit den teilnehmenden Unternehmen und wissenschaftlichen Instituten sowie unter Einbeziehung empirischer Befunde aus den Experteninterviews [RPB+23], Beschäftigtenbefragung [PAR+23] und Workshops das grundlegende Agilitätsverständnis iterativ weiterentwickelt sowie in einzelnen Aspekten operationalisiert und vertieft (s. Bild 2-1).

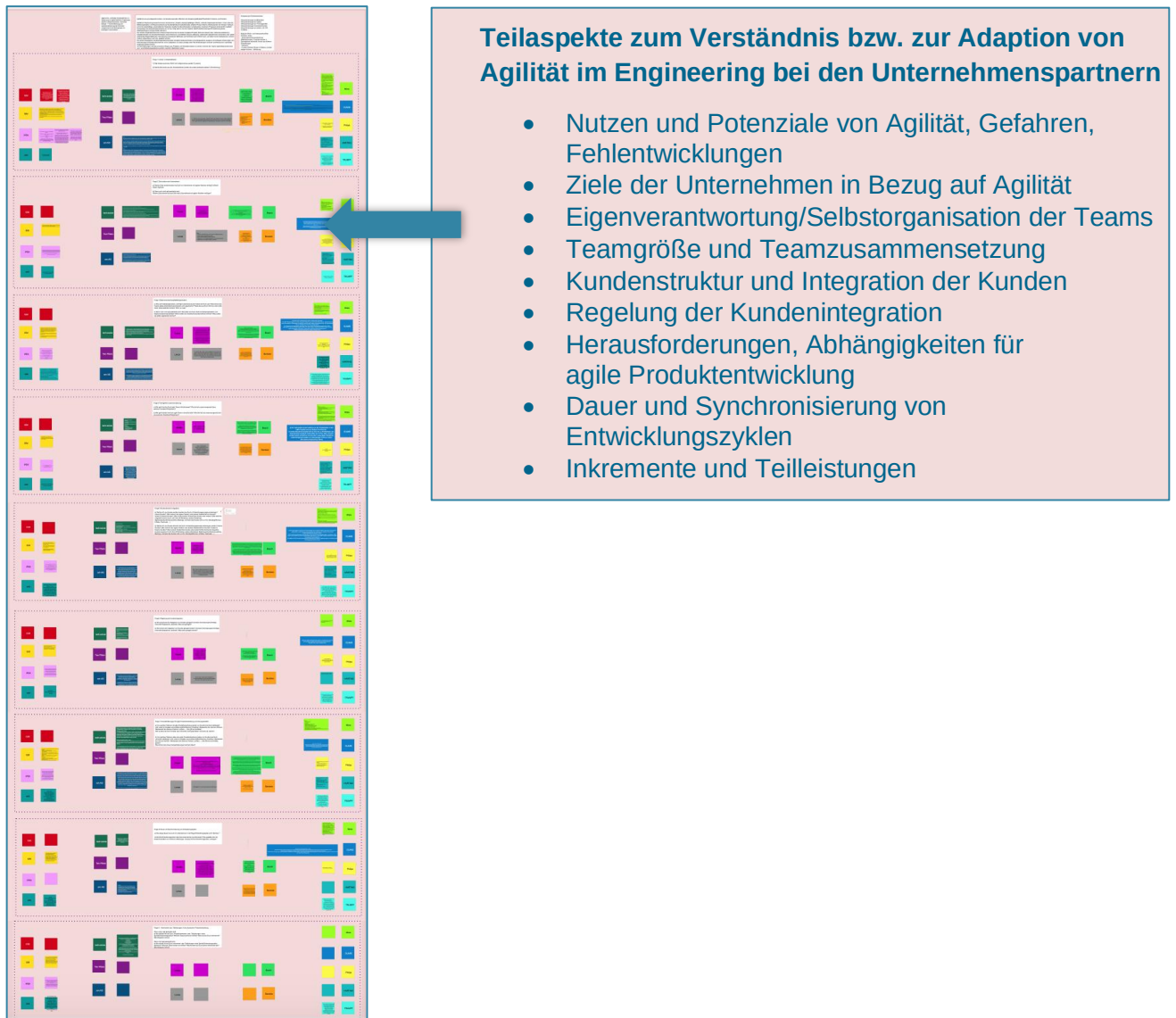


Bild 2-1: Beiträge der Konsortialpartner zum Verständnis und zur Adaption agiler Ansätze

2.1.2. Hauptteil

2.1.2.1. Definitionen

Agilität ist eine grundlegende kontext- und situationssensible Offenheit und Fähigkeit im Denken und Handeln von Beschäftigten, Arbeitsgruppen bzw. Organisationen, um sich fortwährend sowie schnell und angemessen an dynamische, komplexe und unsichere interne und externe Entwicklungen anzupassen.

2.1.2.2. Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden in einem Paper [RPB+23] zusammengefasst und dokumentiert. Das Paper enthält die generische *Definition von Agilität*, zentrale *agile Grundprinzipien* sowie allgemeine *Merkmale agiler Vorgehensweisen* in der Projektarbeit.

Weitere Informationen	Wiki: Definition und Operationalisierung von Agilität: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Definition_und_Operationalisierung_von_Agilit%C3%A4t

Digitaler Anhang:

- [Definition und Operationalisierung Agilität.pdf](#)

Als **Grundprinzipien** unterschiedlicher agiler Ansätze sowie auch konkreter Vorgehensweisen in den Unternehmen wurden herausgearbeitet:

- Kundenorientierung
- Intensive Kooperation/Kommunikation in relativ kleinen (Kern-)Teams
- Selbstorganisation des Teams
- Interdisziplinarität, Vernetzung im Unternehmen und darüber hinaus
- Schnellstmögliche funktionale Lösungen (kurze Zyklen), die ...
- ... kontinuierlich verbessert werden
- Zielführend in komplexen und dynamischen Umfeldern sowie bei neuen, unbekannten bzw. nicht-definierten Prozessen

Agile Vorgehensweise in Projekten (agiles Arbeiten und agiles Projektmanagement) bedeutet allgemein, dass

- in einem dynamischen, proaktiv anpassungsfähigen und strukturierten Arbeits- und/oder Organisationskontext (Struktur und Kultur),
- über Selbstorganisation und Eigenverantwortung interdisziplinär bzw. cross-funktional zusammengesetzter Entwicklungs-Teams und
- unter kontinuierlicher, systematischer Integration des/der Kunden bzw. Anwender
- sowie anderer relevanter Stakeholder
- in strukturierten, iterativen Prozessen
- kontinuierlich (inkrementell) ein Mehrwert
- zum Nutzen von Kunden bzw. Nutzern und Anbietern erzeugt wird.

Darüber hinaus wurden die Vorstellungen zu Agilität bzw. bisherige Umsetzung grundlegender Aspekte agilen Arbeitens in den beteiligten Unternehmen herausgearbeitet (u.a.):

Merkmale eines agilen Arbeitskontextes: Ein Arbeitskontext, der agiles Arbeiten ermöglicht, setzt ein einheitliches, möglichst gemeinsam erarbeitetes *Verständnis* von agilen Prinzipien und Werten, Vorgehensweisen und deren grundlegende Akzeptanz bei allen Beteiligten voraus. Er ist allgemein gekennzeichnet durch:

- (zu Beginn der Projekte) ausgewählte/bestimmte Akteure bzw. Akteurskonstellationen wie Entwicklungs-Kern-Teams, erweiterte Entwicklungs-Teams, Stakeholder, die über die Laufzeit relativ stabil bleiben,
- klar definierte Ziele und (modular zerlegbare) Aufgabenbündel sowie verbindliche Verantwortlichkeiten,
- mit den für die Entwicklungsarbeit notwendigen, vereinbarten bzw. ausgehandelten infrastrukturellen, zeitlichen und personellen Ressourcen, über die die Teams in einem vorab definierten Rahmen eigenständig verfügen können,
- einen formalen Rahmen zur (Selbst-)Organisation, Kooperation und Kommunikation (Strukturen, Abläufe, Dokumentation) inklusive adäquater, aufeinander abgestimmter (agiler) Regeln und Methoden,
- eine offene, fehlertolerante, vertrauensvolle und soziale Teamkultur,
- ein agiles oder agilitäts-tolerantes Umgebungssystem (Organisation),

- Offenheit und Bereitschaft aller Beteiligten zu kontinuierlicher Selbstreflexion und Anpassung von Zielen, Plänen und Vorgehensweisen sowie
- Managementstrukturen und Führungs- sowie Firmenkulturen, die agiles Arbeiten der Teams ermöglichen und unterstützen.

Interdisziplinäres Wissens- und Erfahrungsmanagement als Voraussetzung und Mehrwert agilen Arbeitens: Um die Erfahrungen und das erworbene Wissen aus Projekten und Arbeitsprozessen zu sichern, nutzen die in agiler Entwicklungsarbeit qualifizierten Teams regelmäßig strukturierte und auch individualisierte Lern- und Reflexionsspielräume, dafür werden zeitliche und räumliche Möglichkeiten sowie methodische Unterstützung z.B. durch Experten (agile Master, Coaches, Tools) zur Verfügung gestellt. Andernfalls drohen Hemmnisse bei der (Re-)Produktion von Erfahrungswissen bzw. Arbeitsvermögen, was wiederum kontraproduktiv für Flexibilitätsanforderungen sein kann.

Dominante Umsetzungsmuster agilen Arbeitens in den Unternehmen: In den Unternehmen des MoSyS-Konsortiums überwiegen *selektiv-hybride* Nutzungsmuster agiler Ansätze [PAR+23], d.h. es werden Projekte gleichzeitig sowohl klassisch als auch agil durchgeführt bzw. agile Projekte haben eher (noch) Pilot- oder Inselcharakter. Die agilen Projekte wiederum verwenden größtenteils *adaptierte* agile Methoden und Techniken, sind damit nach gängiger Auffassung als *hybrid-agil* zu bezeichnen, wobei *hybrid* bzw. *adaptiert agil* mitunter sehr weit gefasst wird und von der Nutzung einzelner agiler Praktiken (z.B. Daily und Board zur Aufgabennachverfolgung), über (an betriebliche Anforderungen) angepasste *Mischungen* agiler und klassischer Ansätze bis hin zu systematischen an die mechatronische Entwicklung adaptierte Ansätze reicht.

Von der **Implementierung von Agilität** versprechen sich die Unternehmen u.a. folgenden **Nutzen**: Verbesserung der Kundenorientierung bzw. Kundeneinbindung, Erhöhung der Mitarbeiterzufriedenheit und Mitarbeiterentwicklung, schnellere, passendere und schlankere Entwicklungsergebnisse, Erhöhung der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Engineerings, Verbesserung des Projektmanagements und/oder Komplexitätsbewältigung.

Die **Agilen Teamstrukturen** in den Unternehmen zeichnen sich durch einige Besonderheiten im Vergleich zu bspw. SCRUM in der Softwareentwicklung aus: Es existieren auf unterschiedlichen Ebenen unterschiedliche Teamstrukturen. So wird zwischen sogenannten *Kern-Teams* bzw. *primären (Entwickler)-Teams* und *erweiterten Teams* bzw. auch *sekundären Teammitgliedern* (z.B. Montage, Vertrieb, Einkauf, Arbeitsvorbereitung, Validierung, evtl. auch Kunde, Anwender) unterschieden. In den Kern-Teams sind meistens alle für das Projekt notwendigen Disziplinen bzw. Domänen vertreten (z.B. Mechanik, Elektrotechnik/Elektronik, Softwareentwicklung, Verifizierung/Validierung/Testen, Management, Architektur). Die Kern-Teamgröße richtet sich grundsätzlich nach Größe und Art der Aufgaben bzw. Projekte, sollte jedoch aus Sicht der Unternehmen aber so klein wie möglich sein und besteht meistens aus fünf bis ca. 20 Mitgliedern; je größer das Kern-Team, desto schwieriger gestaltet sich Kommunikation, z.B. Terminfindungen usw. Bei der in den Unternehmen dominierenden Multiprojektarbeit ist eine Person meistens in mehrere Projekte involviert, was eine gleichmäßige Verteilung (Auslastung) der Kapazitäten oft erschwert und intensive Abstimmung bzw. Synchronisierung der Projekte erfordert und zu einer Überlastung der Beschäftigten führen kann [PAR+23].

Ausmaß und Qualität der Selbstorganisation und Eigenverantwortung zwischen und auch z.T. innerhalb der Firmen sind heterogen: Da in den Firmen nicht durchgängig agil gearbeitet wird, wird meist vor bzw. zu Beginn des Projektstarts entschieden, ob ein Projekt agil oder klassisch (oder *hybrid*) durchgeführt wird. Hierfür existieren oft noch keine konsolidierten Instrumente oder Entscheidungshilfen. Die Entscheidung wird i.d.R. durch verantwortliche Managementebenen getroffen. In einigen Unternehmen wird noch zwischen expliziten Innovations- bzw. Forschungsprojekten und sogenannten Kundenprojekten unterschieden; während erstere deutlich selbstbestimmter geplant und durchgeführt werden können – jedoch sehr strengen Budgetrestriktionen unterliegen (ob überhaupt

ein solches Projekt durchgeführt werden kann), werden bei Kundenprojekten strengere Vorgaben von oberen Managementebenen bzw. von OEMs (bei Zulieferern) gemacht. Den Teams werden sogenannte Rahmenplanungen mit Zielen, Zeitplan sowie den erwarteten Artefakten bzw. (Teil-)Leistungen in definierter Qualität (Meilensteine, Arbeitspakete) von den Auftraggebern (Kunden) vorgegeben. Die Selbstorganisation und Eigenverantwortung beziehen sich dann (subsidiär) auf die Detailplanung und -umsetzung innerhalb der Sprints bzw. Zyklen bzw. Meilensteine. Hier *kann* das Team Aufgaben priorisieren (Zeit) und konkrete Arbeitsweisen erarbeiten, d.h. den Weg, *wie* es zur Realisierung und Validierung der erwarteten Leistung in der gegebenen Zeit kommt, selbst bestimmen. Allerdings scheint sich die (relativ friktionsarme) Selbstorganisation eher auf die Teams jeweils einer Domäne bzw. Disziplin zu beziehen; möglich, dass hier Selbstorganisation aufgrund der gleichen fachlichen Basis und Erfahrungen in der Zusammenarbeit unstrittiger und einfacher umsetzbar ist. Darüber hinaus wird auch immer wieder von Eingriffen seitens des Managements berichtet.

Die Thematik **Kundenorientierung bzw. Kundenintegration** stellt sich ausgesprochen heterogen und kompliziert dar, oft wird auch der Begriff Auftraggeber („*Besteller*“) verwendet. Unterschiedliche Projektarten und Kunden korrespondieren mit divergenten Integrationsformen, -konstellationen sowie -häufigkeiten. Da agiles Arbeiten auf eine stärkere Kundennähe bzw. -integration abzielt, ist es erforderlich zu identifizieren, wer überhaupt ein bzw. der Kunde für das Engineering bzw. ein Entwicklungsprojekt ist. Pragmatisch wird oft derjenige als Kunde bezeichnet, der eine Entwicklungsleistung bestellt bzw. beauftragt und bezahlt. Insofern wird das Engineering mit unterschiedlichen Kunden(-Beziehungen) konfrontiert, die sich analytisch unterscheiden lassen nach ihrer *Lokalisation* bzw. *Rechtsverhältnis* (extern vs. intern), *Beziehung/Bindung*, *Bekanntheit* (bekannte/konkrete vs. unbekannt/potenzielle Kunden), nach Charakter des *Nachfragers* (privates Unternehmen, Organisation, Privatperson) sowie nach der *Bedeutung* (oder Volumen der Nachfrage wie z.B. Key Customer und andere):

Externer Kunde (gehört nicht zum Unternehmen):

- Bekannte externe Kunden wie z.B. Management und Einkauf bzw. Entwicklungsabteilung von OEMs, Endkunden, Anwender (Maschinenbediener), spezifische bekannte Testkunden, Key-Customer, private Unternehmen, Organisationen oder Personen
- Unbekannte, potenzielle Kunden und Nutzer (Unternehmen, Organisationen, private Personen), über Märkte vermittelt, direkte Kooperation erschwert, anonyme Nutzerbefragungen bzw. Testzentren o.ä.

Interner Kunde (im Unternehmen, Konzern, Schwester-, Mutterunternehmen usw.):

- Interne Kunden wie z.B. Führungskräfte und Entwicklungsbereiche anderer Business-Units oder Gesellschaften, Kollegen, Anwender/Maschinenbediener
- Interne Repräsentanten eines externen Kunden wie z.B. Produktmanager, Verkauf, Marketing als

Je nach Kundenart bzw. Kundenbeziehung gestalten sich auch die Möglichkeiten und Formen der Einbeziehung unterschiedlich.

Im Vergleich zur Agilen Softwareentwicklung sieht sich das Engineering beim Einsatz agiler Ansätze in der physischen Produktentwicklung mit **besonderen Herausforderungen** konfrontiert [RPB+23b]; [PAR+23]: Die genannten Herausforderungen betreffen zum einen die Komplexität der Produkte und damit Entwicklungsstrukturen und -prozesse (wie bspw. vielfältige temporäre Teamstrukturen), bei der mehrere Domänen zusammenarbeiten und sich abstimmen müssen, zum anderen aber auch, damit auch in Verbindung stehende, kulturelle Aspekte sowie das Vorgehen bei der Implementierung

bzw. generell Change Prozesse. Während die Komplexität der Produkte und damit definierte arbeitsteilige Prozesse (wie Schnittstellenprobleme, Engpässe, Abhängigkeiten) sowie Anforderungen an Qualität und Sicherheit (wie gesetzliche Vorgaben, Normen, Anforderungen von Kunden usw.) die Adaptierung agiler Ansätzen zwar nicht unmöglich, aber doch komplizierter machen, erweisen sich die gewachsenen Unternehmens-, Bereichs- bzw. Disziplinkulturen sowie entsprechende Führungskulturen als robust bis widerstandsfähig. Das hat Auswirkungen auf die Implementierung und nachhaltige Verankerung agilen Arbeitens, genannt wurden u.a.: Anweisung von Agilität von oben/extern ohne Rücksicht auf vorhandene Strukturen, Kultur, Ressourcen (Zeit, personelle Ressourcen) und ohne Partizipation der betreffenden Beschäftigten, tradiertes Führungsverständnis bzw. Kontrollbedürfnis des Managements, fehlendes Wissen (unzureichende Schulung), heterogenes Verständnis und dementsprechend Zielkonflikte, sog. Wildwuchs sowie eine ausgeprägte Toolfixierung (z.B. auf Boards und tägliche Meetings) in der Umsetzung [RPB+23]; PAR+23].

Weitere Informationen	Wiki: Definition und Operationalisierung von Agilität: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Definition_und_Operationalisierung_von_Agilit%C3%A4t Digitaler Anhang: • Kollaboration im Engineering.pdf • Definition und Operationalisierung Agilität.pdf • Anforderungen und Umsetzung Agilität.pdf • Kompass Agilität.pdf • Kollaborationsmodell.pdf Wissensnuggets: • Anforderungen an Agilität & Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse • Kompass Agilität • Kollaborationsmodell • Definition Arbeitskonflikte bei agilem SE und Handlungsempfehlungen • Evaluationssystematik Qualität von Partizipationsprozessen und Aufgaben von Betriebsräten • Richtlinien zur Arbeitssystemgestaltung • Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse Veröffentlichungen: [AS24] ALBERT, A.; SAUER, S. (2024): Arbeit: Projektbasiert, selbstorganisiert, wertgeschätzt? In: Arbeit, Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. (im Erscheinen). [HRF+21] HEIMICKE, J.; ROEBENACK, S.; FROBIETER, C.; THILARIK, A.; ALBERT, B.; BRAMATO, L.; MANDEL, C.; BEHRENDT, M.; ALBERS, A. (2021a): Evaluation of Challenges in the Implementation of Scrum in a large German Plant Engineering Company: Derivation of Hypotheses for an Improved Introduction of Agile Approaches into the Processes of Physical Product Development. R&D Management Conference. University of Strathclyde. Glasgow. http://dx.doi.org/10.5445/IR/1000135429 [Kli24] KLIPPERT, J. (2024): Advanced Systems Engineering: Transformation in den Entwicklungsabteilungen? In: WSI Mitteilungen, 77Jg., 2/2024, 143-148. https://doi.org/10.5771/0342-300X-2024-2-143

	[NRS23] NICKLICH, M.; RÖBENACK, S.; SAUER, S.; SCHREYER, J.; TIHLARIK, A. (2023): Qualitative Sozialforschung auf Distanz. Das Interview im Zeitalter seiner virtuellen Durchführbarkeit. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 24(1), Art. 15. http://dx.doi.org/10.17169/fqs-24.1.4010 [Tih24] TIHLARIK, A. (2024): Evaluation of the use of AI technologies in German engineering: insights from the employee perspective, Discover Global Society. (im Erscheinen) [TAB+24] TIHLARIK, A.; ALBERT, B.; BLINZLER, R.; RÖBENACK, S. (2024): Mixed-methods Analysis of AI technology usage in German engineering: quantitative and qualitative perspectives from the viewpoint of employees. (im Erscheinen)

2.1.3. Diskussion und Ausblick

In der physischen Produktentwicklung gibt es keine standardisierten bzw. konfektionierten Agilitätskonzepte, vielmehr, so zeigen die Befunde, müssen sich die Akteure in den Unternehmen sowohl im Vorfeld einer Implementierung agiler Arbeitskonzepte über Ziele, Reichweiten, Passfähigkeit, Formate und Vorgehen verständigen als auch im Implementierungsprozess und betrieblichen Alltag Umsetzungen auf ihre Zweckmäßigkeit überprüfen und gegebenenfalls anpassen. Hierbei können die generische Definition sowie die operationalisierten Aspekte als ein Ausgangspunkt für die unternehmensbezogene Adaption und Weiterentwicklung dienen und Agilisierungsprozesse unterstützen.

Die Unternehmen befanden sich zu Beginn des Forschungsvorhabens in einer Vorbereitungs- bzw. Pilotphase agiler Change Prozesse. Die besonderen Bedingungen und Erfordernisse der Coronapandemie (wie Lock Down, Homeoffice, Sicherung der Lieferketten usw.) haben zwar die Selbstorganisation der Beschäftigten bzw. Teams gefordert und gefördert, aber systematische agile Change Prozesse erschwert. Eine systematisch vergleichende Evaluation war daher nicht möglich.

Für weitere Forschungsvorhaben ergeben sich verschiedene Anknüpfungspunkte. Agiles Arbeiten kann eine Möglichkeit sein, auf die zunehmende Komplexität und Dynamik der Marktanforderungen angemessen zu reagieren und zugleich attraktive Arbeitsbedingungen für Beschäftigte zu bieten. Eine systematische Evaluierung unternehmensspezifischer struktureller Bedingungen, Implementierungsprozesse sowie Praxistauglichkeit der Agilitätsformate – jenseits coronabedingter Sonderbedingungen – kann darüber hinaus generalisierbare Aspekte für eine gelingende und nachhaltige Entwicklung und Umsetzung agiler Konzepte liefern

2.1.4. Literaturverzeichnis

- [AHM+19] ALBERS, A.; HEIMICKE, J.; MÜLLER, J.; SPADINGER, M. (2019a): Agility and its Features in Mechatronic System Development: A Systematic Literature Review. The ISPIM Innovation Conference – Celebrating Innovation: 500 Years Since daVinci, Florence, Italy on 16-19 June 2019, 1-13.
- [AHS+19] ALBERS, A.; HEIMICKE, J.; SPADINGER, M.; REISS, N.; BREITSCHUH, J.; RICHTER, T.; BURSAC, N.; MARTHALER, F. (2019b): A systematic approach to situation-adequate mechatronic system development by ASD - Agile Systems Design b 29th CIRP Design 2019 (CIRP Design 2019), 1015-1022. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.312>
- [AS24] ALBERT, A.; SAUER, S. (2024): Arbeit: Projektbasiert, selbstorganisiert, wertgeschätzt? In: Arbeit, Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. (im Erscheinen).
- [ANS+20] ATZBERGER, A.; NICKLAS, S. J.; SCHROF, J.; WEISS, S.; PAETZOLD, K. (2020): Agile Entwicklung physischer Produkte 2020. Eine Studie zum aktuellen Stand in der industriellen Praxis. Universität der Bundeswehr München. <https://doi.org/10.25368/2023.213>
- [BBB+01] BECK, K.; BEEDLE, M.; BENNEKUM, A.v.; COCKBURN, A. CUNNINGHAM, W.; FOWLER, M. et al. (2001): Agile Manifesto. <http://agilemanifesto.org> (Zugriff 15.04.2024)

- [HRF+21] HEIMICKE, J.; ROEBENACK, S.; FROBIETER, C.; THILARIK, A.; ALBERT, B.; BRAMATO, L.; MANDEL, C.; BEHRENDT, M.; ALBERS, A. (2021a): Evaluation of Challenges in the Implementation of Scrum in a large German Plant Engineering Company: Derivation of Hypotheses for an Improved Introduction of Agile Approaches into the Processes of Physical Product Development. R&D Management Conference. University of Strathclyde. Glasgow. <http://dx.doi.org/10.5445/IR/1000135429>
- [HKA21] HEIMICKE, J.; KAISER, S.; ALBERS, A. (2021b): Agile product development: an analysis of acceptance and added value in practice. 31st CIRP Design Conference 2021 (CIRP Design 2021). Procedia CIRP 100 (2021), 768–773. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.046>
- [HS18] HUCHLER, N.; SAUER, S. (2018): Soziologische Perspektiven auf Arbeit 4.0. In: Werther, S.; Bruckner, L. (Hrsg.): Arbeit 4.0 aktiv gestalten. Die Zukunft der Arbeit zwischen Agilität, People Analytics und Digitalisierung, Springer Verlag, Berlin, 55-64. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53885-2_3
- [Kli24] KLIPPERT, J. (2024): Advanced Systems Engineering: Transformation in den Entwicklungsabteilungen? In: WSI Mitteilungen, 77Jg., 2/2024, 143-148. <https://doi.org/10.5771/0342-300X-2024-2-143>
- [Kom20] KOMUS, A. (2020): Status Quo (scaled) Agile. <https://www.process-and-project.net/studien/studienunterseiten/status-quo-scaled-agile-2020/> (Zugriff 3.4.2024)
- [NNT+21] NEUMER J., NICKLICH M., TIHLARIK A., WILLE C., PFEIFFER S. (2021): Alles agil, alles gut? In: Bauer W., Mütze-Niewöhner S., Stowasser S., Zanker C., Müller N. (Hrsg.). Arbeit in der digitalisierten Welt. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62215-5_9
- [NRS23] NICKLICH, M.; RÖBENACK, S.; SAUER, S.; SCHREYER, J.; TIHLARIK, A. (2023): Qualitative Sozialforschung auf Distanz. Das Interview im Zeitalter seiner virtuellen Durchführbarkeit. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 24(1), Art. 15. <http://dx.doi.org/10.17169/fqs-24.1.4010>
- [PNS21] PFEIFFER, S.; NICKLICH, M.; SAUER, S. (Eds.) (2021): The Agile Imperative. Teams, Organizations and Society under Reconstruction? Springer, Berlin.
- [PAR+23] PFEIFFER, S.; ALBERT, B.; RÖBENACK, S.; TIHLARIK, A.; HEINZ, I.; BLINZLER, R. (2023): Kompass Agilität – Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung. Univ. Paper, Nürnberg.
- [RTA+24] RÖBENACK, S.; TIHLARIK, A.; ALBERT, B.; KLIPPERT, J.; BLINZLER, R.; PFEIFFER, S. (2024): Kollaboration im Engineering. Univ. Paper, Nürnberg.
- [RPB+23a] RÖBENACK, S.; PFEIFFER, S.; BLINZLER, R.; ALBERT, B.; TIHLARIK, A. (2023a): Agilität in der digitalisierten Arbeit – Definition und Operationalisierung. Univ. Paper, Nürnberg.
- [RPB+23b] RÖBENACK, S.; PFEIFFER, S.; BLINZLER, R.; TIHLARIK, A.; ALBERT, B. (2023b): Anforderungen an Agilität und Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse – Befunde aus den Interviews mit Expert*innen. Univ. Paper, Nürnberg.
- [SNP21] SAUER, S.; NICKLICH, M.; PFEIFFER, S. (2021): The Agile Imperative: A Multi-Level Perspective on Agility as a New Principle of Organizing Work. In: Pfeiffer, S.; Nicklich, M.; Sauer, S. (Eds.) (2021): The Agile Imperative. Teams, Organizations and Society under Reconstruction? Springer, Berlin, 1-15. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-73994-2>
- [SP18] SAUER, S.; PFEIFFER, S. (2018): Innovation Meets Agility. Four Ideal Types of a Combination of Agility and Innovation. In: International Journal of Strategic Management, 18(1), 33–41. <http://dx.doi.org/10.18374/IJSM-18-1.4>
- [Tih24] TIHLARIK, A. (2024): Evaluation of the use of AI technologies in German engineering: insights from the employee perspective, Discover Global Society. (im Erscheinen)
- [TAB+24] TIHLARIK, A.; ALBERT, B.; BLINZLER, R.; RÖBENACK, S. (2024): Mixed-methods Analysis of AI technology usage in German engineering: quantitative and qualitative perspectives from the viewpoint of employees. (im Erscheinen)

2.2. Anforderungen an Agilität & Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse

2.2.1. Einleitung

2.2.1.1. Zielsetzung

Die Entwicklung immer komplexer werdender Produkte sowie dazugehöriger Dienstleistungen erfordert eine flexible unternehmensinterne und unternehmensübergreifende Zusammenarbeit verschiedener Akteure aus unterschiedlichen Bereichen und Disziplinen. Für eine konstruktive disziplinübergreifende Zusammenarbeit ist zum einen eine Sensibilität und Bereitschaft für eine wechselseitige Perspektivenübernahme aller Beteiligten förderlich; die Anerkennung der jeweiligen Bedarfe und Abhängigkeiten der Beteiligten im Entwicklungsprozess hilft gewachsene bzw. arbeitsteilig bedingte Disziplin- und Bereichsgrenzen zu überbrücken. Zum anderen bedarf es bestimmter Methoden und Ansätze, um eine flexible und adaptive Zusammenarbeit zu strukturieren und damit zu unterstützen. Insbesondere agile Arbeitsformen, welche die Arbeitserfahrungen und Selbstorganisationsfähigkeiten der Entwicklungsteams adressieren, können hier hilfreich sein.

Das Ziel der Interviews mit ausgewählten Experten des Konsortiums bestand darin, den aktuellen Ist-Stand der Umsetzung agiler Methoden und Ansätze in den Konsortialunternehmen zu ermitteln und zu dokumentieren. Auf der Basis von 83 Interviews mit Experten aus allen Unternehmen und wissenschaftlichen Instituten wurden generelle Anforderungen an Agilität sowie eine Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse herausgearbeitet. Die Analyse fokussiert grundlegende Herausforderungen, vor denen die Unternehmen stehen, Ausgangspunkte und Bedingungen für die Implementierung von Agilität, den Stand der Umsetzung agiler Ansätze, die Erfahrungen der Beteiligten mit agilem Arbeiten sowie nicht-intendierte Folgen und Fehlentwicklungen [RPB+23b].

Die Analyse veranschaulicht die letztlich unumgehbare Heterogenität der Agilisierungsprozesse und -ergebnisse im spezifischen Wechselverhältnis zu Marktentwicklungen und Kundenforderungen, Digitalisierung, Besonderheiten der Produkte und Leistungen sowie Unternehmensstrukturen und -kulturen. Hierdurch wird nachvollziehbar, dass es für eine nachhaltige Flexibilisierung bzw. Agilisierung weder einfache noch für alle Unternehmen gleichermaßen passende vorgefertigte Konzepte und Wege gibt, sondern jedes Unternehmen eigene passende Lösungen entwickeln und immer wieder anpassen muss.

2.2.1.2. Einordnung in MoSyS

Der im AP 1 verfolgte Mixed-Methods-Forschungsansatz beinhaltet die Kombination qualitativer und quantitativer Erhebungsmethoden sowie die vergleichende Analyse der Befunde, was ein umfassenderes Verständnis der untersuchten Phänomene ermöglicht. Die Ergebnisse der Experteninterviews bildeten einerseits den Ausgangspunkt für die Konzipierung der anschließenden empirischen Erhebungen im AP 1, wie die Erarbeitung des Fragebogens für die standardisierte Beschäftigtenbefragung [PAR+23], die Gruppeninterviews mit betrieblichen Interessenvertretungen [Kli24] sowie für die Vorbereitung der Workshops mit Beschäftigten für das Kollaborationsmodell [RTA+24]. Andererseits dienen die Befunde der vertiefenden Analyse und Interpretation der Ergebnisse der weiteren empirischen Erhebungen sowie der Validierung der Befunde. Darüber hinaus sind die Ergebnisse in die Ausarbeitung des Leitfadens und Veränderungsmanagements (AP 7) und Entwicklung des Metamodells (AP 2) eingegangen.

Weitere Informationen	Wiki: Anforderungen an Agilität sowie Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Anforderungen_an_Agilit%C3%A4t_sowie_Bestandsaufnahme_der_Umsetzung_agiler_Prozesse Wissensnuggets: • Kompass Agilität • Kollaborationsmodell • Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse • Evaluationssystematik Qualität von Partizipation/Aufgabe von Betriebsräten

2.2.1.3. Vorgehen

Ausgehend von der im engen Austausch mit AP 2 und AP 7 sowie mit den Konsortialpartnern erarbeiteten generischen und operationalisierten Definition von Agilität [RPB+23a] sowie einer Sichtung vorhandener Untersuchungen zur Verbreitung und Umsetzung agiler Ansätze (u.a. [AHM+19]; [AHS+19]; [ANS+20]; [HKA21]; [Kom20]; [NRS+21]; [PNS21]; [SP18]) wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, der u.a. folgende Themenblöcke enthielt:

- Rekonstruktion der Vorgehensweise bei einem komplexen Entwicklungsprojekt,
- Verbreitung agiler Arbeitsweisen im Engineering,
- Verständnis von Agilität, Ziele und Befürchtungen, die mit agilen Ansätzen verknüpft werden,
- Treiber als auch Hemmnisse für die Implementierung von Agilität,
- (potenzielle) Einsatz und Umsetzung(smöglichkeiten) im Engineering,
- Vorgehen bei der Implementierung,
- eingesetzte Ansätze und Praktiken,
- Gestaltung von Schnittstellen,
- (potenzielle) Auswirkungen bzw. Herausforderungen für beteiligte Akteursgruppen im und außerhalb der Unternehmen sowie
- Vorteile und Nachteile agiler Vorgehensweisen.

Aufgrund der Corona-Pandemie erfolgten die Vorbereitung, Planung und Durchführung der Interviews ausschließlich im Remote-Modus. Zur Vorbereitung und Einbindung der Unternehmenspartner wurde ein virtueller Workshop zum Mixed-Methods-Ansatz und den empirischen Erhebungen durchgeführt. Außerdem wurden die Unternehmensvertreter in bilateralen virtuellen Meetings über die Auswahlkriterien potenzieller Gesprächspartner sowie Ablauf, Vorbereitung, Datenschutz, Zeitplan für die Interviews usw. informiert. Die Auswahl der Experten sowie zeitliche Koordinierung der Interviews in den Unternehmen erfolgte ausschließlich in Eigenregie der Unternehmenspartner. Trotz der erschwerenden Coronabedingungen wurden insgesamt 83 Interviews remote auf einer Besprechungsplattform durchgeführt. Die Vor- und Nachteile der Remote-Interviews wurden am Institut für Soziologie analysiert (vgl. [NRS+23]). Die Interviews wurden transkribiert und Ablauf, Besonderheiten usw. in einem ausführlichen Protokoll festgehalten. Die Auswertung orientierte sich an der qualitativen Inhaltsanalyse von Mayring (2015). Dabei wurden die Interviews mittels computergestützter qualitativer Daten- und Textanalyse verkodet (s. Bild 2-2) und vergleichend analysiert.

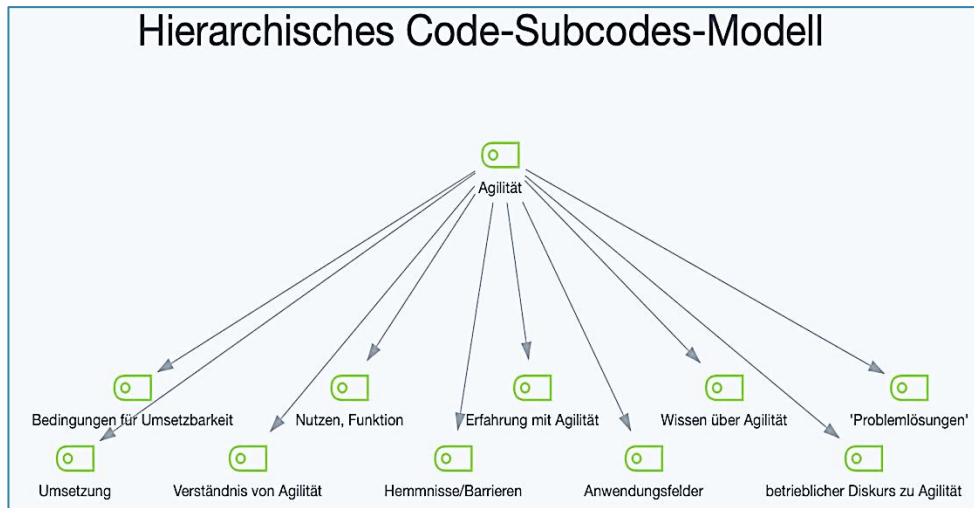


Bild 2-2: Beispiel für Bildung von Subkategorien zur Kategorie Agilität

Untersuchungssample: 98% der Interviewpartner verfügte über einen akademischen Abschluss, 85% in den Ingenieurwissenschaften; Führungskräfte stellten den größten Anteil (54%) der Befragten, was das Expertensample hinsichtlich der Position/Funktion deutlich vom Sample der quantitativen Beschäftigtenbefragung unterscheidet [vgl. PAR+23].

2.2.2. Hauptteil

2.2.2.1. Definitionen

Für die Erarbeitung des Interviewleitfadens sowie für die Inhaltsanalyse wurde auf die zuvor erarbeitete generische Definition von Agilität bzw. agiles Vorgehen zurückgegriffen [RPB+23a].

Weitere Informationen	Wiki: Anforderungen an Agilität sowie Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Anforderungen_an_Agilit%C3%A4t_sowie_Bestandsaufnahme_der_Umsetzung_agiler_Prozesse Digitaler Anhang: • Definition und Operationalisierung Agilität.pdf Wissensnuggets: • Definition und Operationalisierung von Agilität

Definition: Agilität ist eine grundlegende kontext- und situationssensible Offenheit und Fähigkeit im Denken und Handeln von Beschäftigten, Arbeitsgruppen bzw. Organisationen, um sich fortwährend sowie schnell und angemessen an dynamische, komplexe und unsichere interne und externe Entwicklungen anzupassen.

Agile Vorgehensweise in Projekten (agiles Arbeiten und agiles Projektmanagement) bedeutet allgemein, dass

- in einem dynamischen, proaktiv anpassungsfähigen und strukturierten Arbeits- und/oder Organisationskontext (Struktur und Kultur),
- über Selbstorganisation und Eigenverantwortung interdisziplinär bzw. cross-funktional zusammengesetzter Entwicklungs-Teams und

- unter kontinuierlicher, systematischer Integration des/der Kunden bzw. Anwender
- sowie anderer relevanter Stakeholder
- in strukturierten, iterativen Prozessen
- kontinuierlich (inkrementell) ein Mehrwert
- zum Nutzen von Kunden bzw. Nutzern und Anbietern erzeugt wird.

2.2.2.2. Ergebnisse

Die zentralen Ergebnisse der Interviewanalyse wurden in Form von Thesen in einer Präsentation formuliert und in fünf Themenfelder geclustert (s. Bild 2-3): (1) Herausforderungen, (2) Ausgangspunkte und Bedingungen für die Umsetzung, (3) Umsetzungsprozesse, (4) Erfahrungen und (5) nicht-intendierte Folgen [RPB+23b].

Weitere Informationen	Wiki: Anforderungen an Agilität sowie Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Anforderungen_an_Agit%C3%A4t_sowie_Bestandsaufnahme_der_Umsetzung_agiler_Prozesse Digitaler Anhang: • Anforderungen und Bestandsaufnahme Agilität.pdf

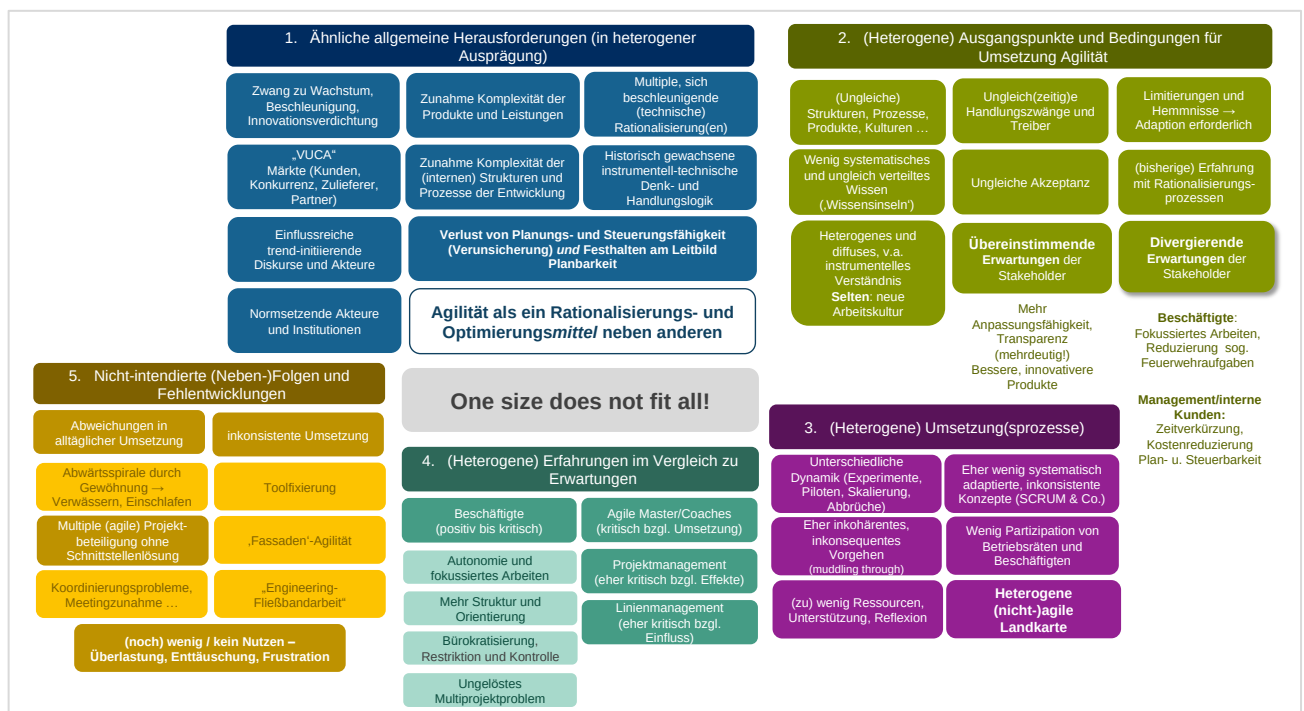


Bild 2-3: Übersicht zentraler Befunde

(1) Ähnliche allgemeine Herausforderungen in heterogener Ausprägung erfordern mehr Flexibilität, es wird ein notwendiger, aber widersprüchlicher und fluider Handlungsbedarf wahrgenommen. Agilität gilt als eine (instrumentelle) Option der Rationalisierung neben anderen (s. Bild 2-4 und Bild 2-5).

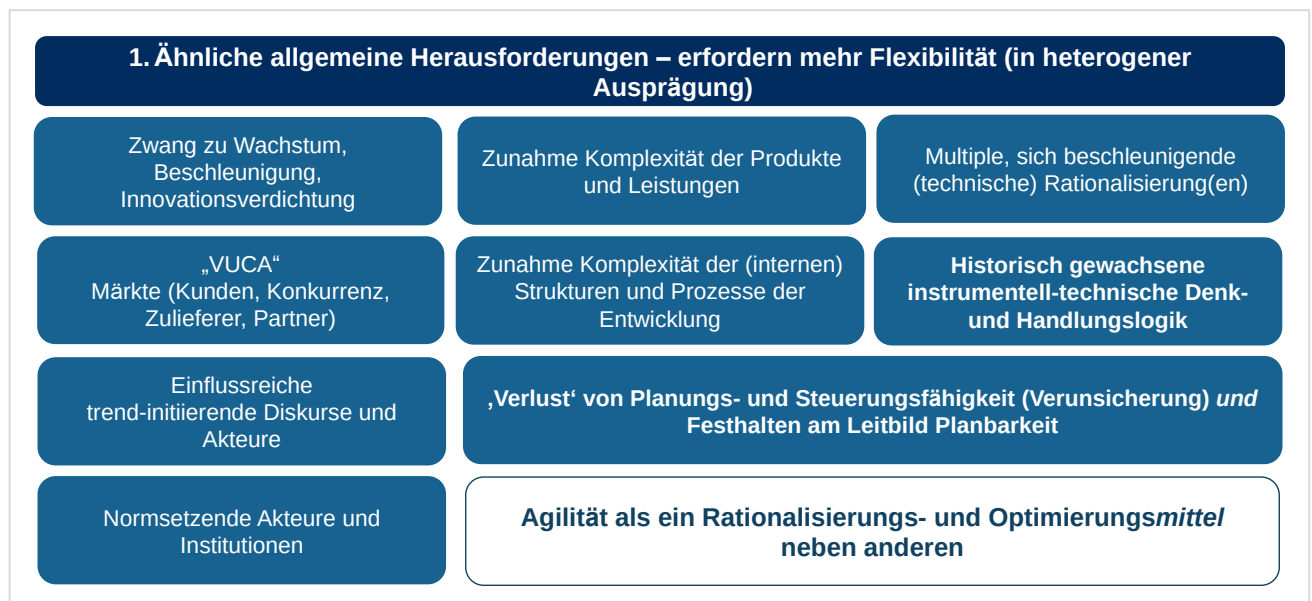


Bild 2-4: Herausforderungen, die Flexibilisierung erfordern

Ähnliche Herausforderungen in heterogener Ausprägung: Die Unternehmen stehen generell vor ähnlichen Herausforderungen, die – im Zusammenhang mit je spezifischen Produkten bzw. Leistungen sowie Kunden, Märkten – hinsichtlich Ausmaßes bzw. Gewichtung heterogen ausgeprägt sind. Diese Herausforderungen, darin sind sich die befragten Experten einig, werden durch wachsende Dynamik sowie Unbeständigkeit und Widersprüchlichkeit der Märkte (Absatz und Beschaffung), Digitalisierung, Krisen, Konkurrenzdruck (vor allem aus Asien), steigende Komplexität der Produkte und Leistungen (Entwicklung hin zu komplexen Systemen und smarten Dienstleistungen), verändertes Anspruchsverhalten der Kunden (plakativ: schnell, billig, vielfältig, variabel und innovativ) noch weiter zunehmen. Deshalb müssen sich die Unternehmen, einschließlich des Engineerings, verändern, um den Unternehmenserhalt zu sichern. Dieser fortwährende Wandel zielt in der paradoxen „*Logik dynamischer Stabilisierung*“ [Ros20] auf Optimierung, d.h. ökonomisches Wachstum, technische Beschleunigung und Innovationsverdichtung.

Kontingenzerfahrung: Entscheidungen für konkrete Optimierungsstrategien sind in einem von Unsicherheit, Unübersichtlichkeit und Vieldeutigkeit geprägten Handlungsumfeld (VUCA) allerdings risikoreich, was Irritation und Verunsicherung erzeugt und explizit bzw. implizit als Verlust von Planungs-, Steuerungs- und Handlungssicherheit bzw. „*Kontingenzerfahrung*“ [Rec21] wahrgenommen wird. Dennoch gilt nach wie vor die Leitidee prinzipiell notwendiger und möglicher Planbarkeit [Böh04].

Multiple Rationalisierung als Belastungsfaktor: Angesichts unklarer bzw. fluider Zukunftsvorstellungen wird in den Unternehmen an unterschiedlichen ‚Stellschrauben‘ gedreht, um diesen widersprüchlichen Herausforderungen zu begegnen – oft gleichzeitig und inkonsequent bzw. zu kurz. Die (erstaunlich) relativ wenig koordinierten multiplen und sich beschleunigenden Rationalisierungsprozesse ver- bzw. behindern systematisch Nachhaltigkeit sowie reflexive Lernprozesse und führen zu steigender Belastung und Verunsicherung bei den Beschäftigten sowie sinkendem Vertrauen in die Führungskompetenz des Managements.

Agilität als ein Rationalisierungsmittel, Methodenfixierung: In diesem Kontext gilt Agilität als ein mögliches, aber nachrangiges Rationalisierungs- bzw. Optimierungsmittel neben eher klassischen technischen Lösungen wie Digitalisierung, Vernetzung, Automatisierung, KI, Baukastenentwicklung oder Systems Engineering. Diese historisch gewachsene instrumentell-technische Perspektive geht oft einher mit einer ausgeprägten Tool- bzw. Methodenorientierung bei dem Verständnis von Agilität, den Erwartungen an deren Nutzen sowie bei der Umsetzung von Agilität.

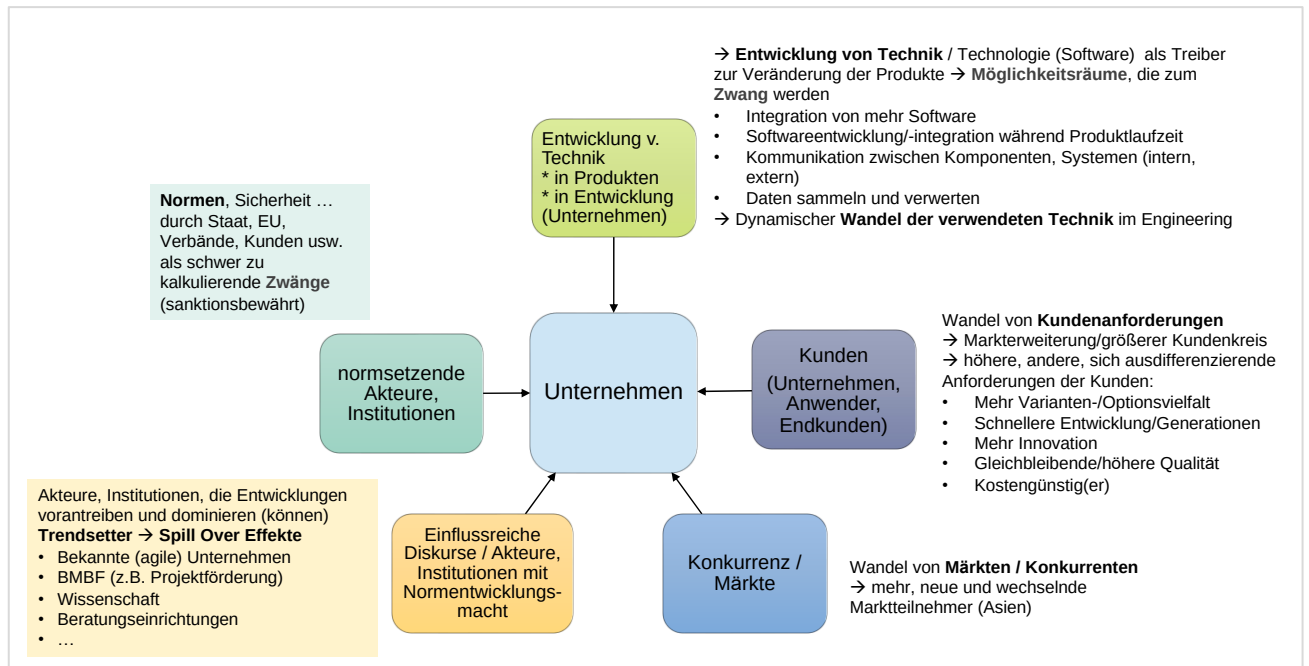


Bild 2-5: Externe Einflussfaktoren aus Sicht der Experten

Klassische Rationalisierungsmuster: Auffällig und – angesichts des immer wieder thematisierten Fachkräftemangels – erstaunlich ist, dass die Bedürfnisse bzw. Interessen der Mitarbeiter (Stichwort: Neue Arbeitskultur) kaum als Motiv für Flexibilisierungs- bzw. Agilisierungsinitiativen der Unternehmen genannt werden. Ausnahmen bilden (nachvollziehbar) agile Coaches und agile Master, teilweise aber auch Projektleitungen und/oder Bottom-up-Initiativen vor allem aus der Softwareentwicklung, die systematisch agile Arbeitsweisen i.S. von mehr Autonomie und Selbstorganisation der Beschäftigten fordern. Prägend sind nach wie vor klassische Denkmuster und Handlungsstrategien, die die Idee einer Optimierung und Rationalisierung durch Technik bzw. Technologie (in allen Facetten) präferieren.

(2) Die Ausgangspunkte und Bedingungen für die Umsetzung von Agilität in den Unternehmen sind heterogen: es ist wenig Wissen zu Agilität vorhanden, was mit einem divergierenden und verkürzten Verständnis sowie mit unklaren, teils konträren Erwartungen korrespondiert; zudem lassen sich spezifische Limitierungen und Hemmnisse beobachten (s. Bild 2-6).



Bild 2-6: Ausgangspunkte und Bedingungen für Umsetzung von Agilität

Wissen: In der Breite ist in den Unternehmen relativ wenig systematisches und qualifiziertes Wissen über Agilität allgemein sowie über bereits agil laufende Projekte im Unternehmen vorhanden. Dieses Wissen ist zudem ungleich verteilt; es existieren *Wissensinseln*, zentriert um qualifizierte agile Coaches bzw. Master sowie agil-erfahrene Teams und Bereiche, vor allem in der Entwicklung von Software.

Verständnis: Analog zum Kenntnisstand ist auch das Verständnis von Agilität, agilen Werten und Methoden/Techniken heterogen, oft diffus bzw. verkürzt. Es überwiegt ein instrumentelles Verständnis, d.h. Agilität wird als eine Form des Projektmanagements mit spezifischen Methoden und Tools verstanden und eher selten als neue Arbeitsweise bzw. Arbeitskultur mit einer neuen Qualität der Autonomie der Beschäftigten.

Erwartungen: Ebenso divergieren die Erwartungen (bzw. Befürchtungen) hinsichtlich des Nutzens von Agilität. Die Erwartungen und im Zusammenhang damit die Akzeptanz werden darüber hinaus beeinflusst durch die Eigenlogik der Unternehmen wie Struktur, Führungskultur, betrieblicher Sozialordnung, Selbstverständnis, durch Produkte/Leistungen, Kunden und Zulieferer bzw. Dienstleister, die spezifischen Bedürfnisse und Interessen der Bereiche/Abteilungen und Akteursgruppen sowie durch die Erfahrung mit Agilität bzw. generell mit bisherigen Rationalisierungs- bzw. Reorganisationsprozessen.

Es lassen sich folgende **gruppenbezogenen Erwartungen** zusammenfassen:

- Unternehmen/(Top-)Management: Verkürzung der Entwicklungszeit und Kostensenkung
- Beschäftigte: ungestörteres Arbeiten, Fokussierung auf Kernaufgaben und Reduzierung sogenannter „Feuerwehraufgaben“ bzw. „Störfeuer“
- Agile Coaches: mehr Autonomie der Beschäftigten, besseres (Zusammen-)Arbeiten
- Projektleitungen: teilweise Entlastung durch mehr Eigenverantwortung der Beschäftigten

Übereinstimmende Erwartungen: Bei aller Divergenz lässt sich jedoch eine Schnittmenge der Erwartungen über alle befragten Akteure hinweg identifizieren. Generell erwarten alle Befragten eine Steigerung der Anpassung(sfähigkeit) des Unternehmens, des Engineering an dynamische Veränderungen sowie qualitativ bessere und innovativere Produkte bzw. Leistungen im Interesse der Kunden.

Ambivalente Transparenz: Darüber hinaus erhoffen sich verschiedene Akteure durch Agilität (eine Erhöhung der) Transparenz über Entwicklungs- bzw. Arbeitsstände, Engpässe, erforderliche Änderungen, Fehlentwicklungen usw. Transparenz (bspw. sichtbar auf Boards) wird von Beschäftigten also nicht grundsätzlich kritisch gesehen, sie verbinden jedoch damit andere Zwecke als Projektleitungen und Management, was oft nicht explizit kommuniziert wird und von daher zu Missverständnissen und Konflikten führen kann: Während die Beschäftigten sich die Sichtbarmachung und Eskalation von Überlastungssituationen in die Managementhierarchie und Entlastung erhoffen, erwarten Projektverantwortliche sowie Manager mehr und kurzzyklische Informationen über die Entwicklungsstände i.S. von Steuerungs- und Kontrollmöglichkeiten. Die Transparenz hat also zwei Seiten und ermöglicht auch beides, sie ist daher ambivalent und muss geregelt werden, d.h. zusammen mit Interessenvertretungen und den Beschäftigten muss der Zugang zu den potenziell möglichen Informationen definiert werden.

Limitierungen: Die Experten gehen davon aus, dass die vorhandenen agile Ansätze, bspw. das in der Softwareentwicklung entwickelte und erfolgreich angewandte SCRUM, in der physischen Produktentwicklung an Grenzen stößt. Agile Konzepte müssen an die Unternehmen, Produkte usw. angepasst werden.

- Die strukturellen Bedingungen der hoch arbeitsteiligen physischen Produktentwicklung wie etwa Zeitintensität der Entwicklung und Erprobung, Abhängigkeiten von Kunden, Zulieferern, externen Stakeholdern (Gesetze, Normen usw.) und unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten der Disziplinen sind kompliziert bis komplex.
- Organisation der (agilen) Produktentwicklung muss je nach Produktkomplexität und Arbeitsteilung eine Vielzahl Beteiligter in komplizierten kaskadierenden Teamstrukturen koordinieren, was oft eine Vervielfältigung von Meeting-Strukturen mit sich bringt. Hinzu kommt ein kompliziertes oder kein klar geregeltes Schnittstellenmanagement zu anderen agilen bzw. nicht-agilen Bereichen bzw. Teams.
- Im Unterschied zum klassischen SCRUM gibt es keine dauerhaften Projektteams in den hoch arbeitsteiligen Entwicklungsprozessen; vielmehr sind die Beschäftigten in mehreren, Spezialisten mitunter bis zu sechs und mehr Projekten in unterschiedlichen Entwicklungsstadien tätig (vgl. [PAR+23]). Der oft unterstellte Idealfall einer gleichmäßigen Arbeitsauslastung über die Projekte hinweg ist eher die Ausnahme.
- Trotz Multiprojektstrukturen fehlt es oft an unterstützendem Multiprojektmanagement, d.h. einer Synchronisierung bzw. Priorisierung der Aufgaben für die Beschäftigten.
- Grenzen werden aber auch in den unklaren bzw. auch kontraproduktiven Führungs-, Aufgaben- und Machtstrukturen in teils unübersichtlichen schwachen Matrixorganisationen gesehen, das betrifft z.B. die Rolle des mittleren und unteren Linienmanagements bei agilen Projektformen, die wegfällt bzw. Neu definiert werden muss.
- Eine wesentliche Limitierung stellt die teils geringe Bereitschaft und eventuell auch Fähigkeit zur Perspektivenübernahme dar; die Denk- und Verhaltensmuster sind nach wie vor begrenzt auf die eigene Disziplin, den eigenen Bereich/die Abteilung, was durch entsprechende Kennziffersysteme unterstützt und perpetuiert wird.

Hemmnisse: In den Interviews wird auch über ‚hausgemachte‘ Barrieren bei der Implementierung agiler Ansätze berichtet, u.a.:

- Festhalten an der Leitidee der Plan- und Steuerbarkeit
- Relativ gering ausgeprägte Ambiguitäts- bzw. Ungewissheitstoleranz als Voraussetzung für agiles Arbeiten

- Relativ wenig normative und faktische Förderung durch das Top-Management
- Unzureichende Information über Sinn und Zweck der Einführung agilen Arbeitens für das Unternehmen, für die eigene Abteilung
- Wenig Wissen über Möglichkeiten und Grenzen agilen Arbeitens
- Geringe Partizipation der Beteiligten und der Interessenvertretungen
- Relativ wenig Akzeptanz bei Beschäftigten und Management eines (komplementären) Wandels des Rollen- und Selbstverständnisses durch agiles Vorgehen, stattdessen instrumentelle Toolorientierung
- Kaum systematisches Schnittstellenmanagement zu nicht-agilen Bereichen, Abteilungen, was wechselseitiges Unverständnis eher befördert als abbaut
- Relativ wenig Akzeptanz bei Kunden und Zulieferern; manche Kunden fordern auch Agilität
- Unzureichende Unterstützung durch qualifizierte Coaches
- Unzureichende Ressourcen (Zeit, Geld, Personal) für die Implementierung und fortwährende Anpassung

(3) *Die Umsetzungsprozesse agiler Ansätze in und zwischen Unternehmen divergieren deutlich, was auch in eine heterogene agile bzw. nicht-agile Landschaft mündet (s. Bild 2-7)*

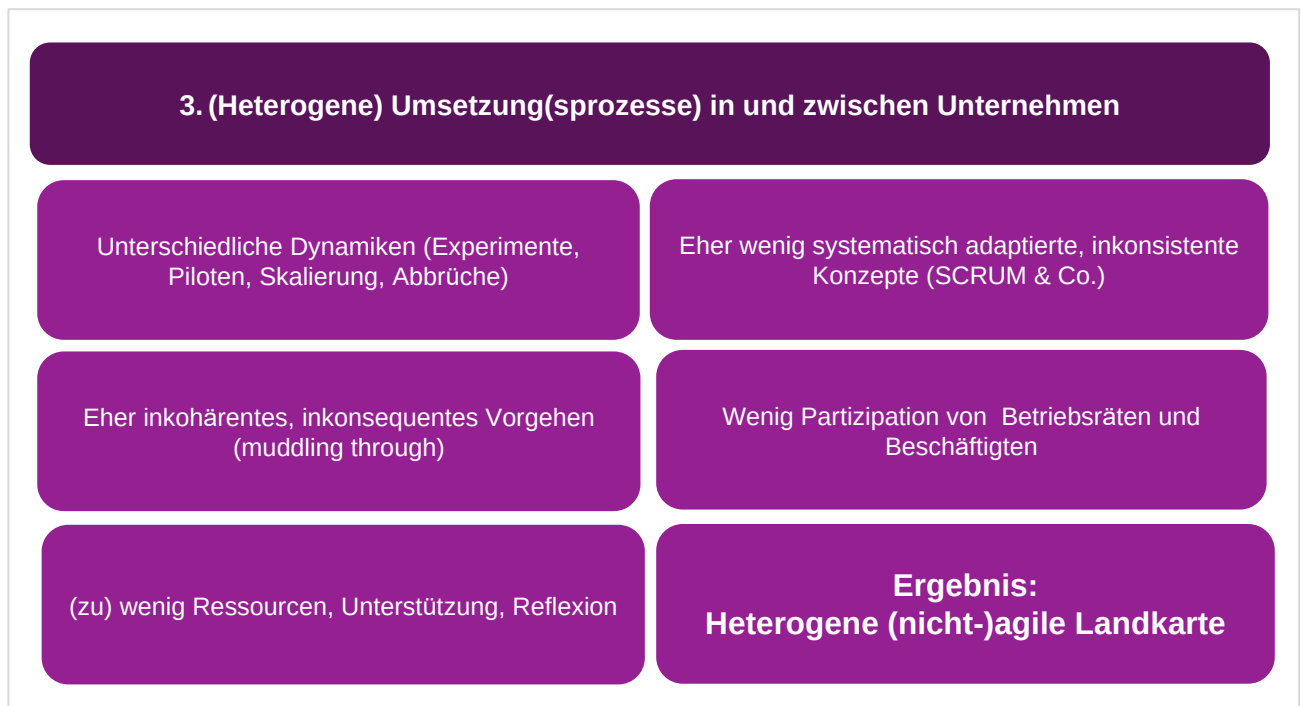


Bild 2-7: Umsetzungsprozesse

Agilisierungsdynamik: Die Agilisierungsdynamik ist unterschiedlich ausgeprägt, der Verbreitungsgrad agiler Ansätze im Engineering der Unternehmen ist heterogen und reicht von (früheren) „agilen Episoden“ über laufende *Piloten*, verstreute „*Inseln*“ bis hin zu Skalierungsanfängen aber auch Abbrüchen; es dominierten zum Zeitpunkt der Interviews unverbundene Insellösungen. Das dürfte zum einen Ausdruck von Ungleichzeitigkeit sowie Ungleichheit hinsichtlich der Bedarfe und Bedingungen in den Unternehmen sein, zum anderen können sich dahinter auch problematische bzw. misslingende/misslungene Implementierungsversuche verbergen.

Implementierung: Systematische, an den Werten und Prinzipien des Agilen Manifestes [BBB+01] orientierte unternehmens- bzw. kontextbezogene Implementierungsprozesse sind eher selten; die Umsetzung befindet sich, bis auf Ausnahmen, in unterschiedlichen Stadien des Experimentierens.

Bis auf Agilisierungsinitiativen *von unten* durch Belegschaftsmitglieder selbst werden Beschäftigte selten an der Konzipierung und Implementierung beteiligt.

Agile Ansätze und Methoden: Bei der Umsetzung dominiert das Leitkonzept SCRUM, allerdings mit teils erheblichen Ab- bzw. Aufweichungen. Bis auf wenige Ausnahmen (Replikation von SCRUM *by the Book* in der Softwareentwicklung, systematische Adaption etablierter Konzepte in den Unternehmenskontext) überwiegen (stark) reduzierte „*Eigen-Kreationen*“ (SCRUM but, SCRUM light) sowie eine relativ unübersichtliche bis beliebige selektive Nutzung ausgewählter Techniken (z.B. Kurzmeetings, Boards), die mit traditionellen Vorgehensweisen kompatibel erscheinen (*agiles add on*).

Agile Landkarte: Dementsprechend ist die *agile Landkarte* ausgesprochen vielgestaltig und reicht von relativ stabilen agilen Prozessen (in ausgewählten Unternehmensbereichen) über einzelne agile Piloten bzw. Bereiche und Teams bis hin zu *Fassaden-Agilität* oder reinen „*Lippen-Bekenntnissen*“ und vielen *weißen Flecken*. Kategorien wie *selektiv agil* und *hybrid agil* suggerieren dagegen eine systematische agile Transformation bzw. eine (zwingende) Konvergenz der Vorgehensweisen, die in den untersuchten Unternehmen so nicht vorgefunden wurde. In Bezug auf die Abbildbarkeit der Situation in den Unternehmen verdecken solche Kategorisierungen die potenzielle wie reale Vielfältigkeit, die Ungleichzeitigkeit sowie Ambivalenzen und Fehlentwicklungen in den Entwicklungspraktiken in den Unternehmen und widersprechen damit auch der ursprünglichen Idee von Agilität.

Anpassung und Weiterentwicklung: Es gibt keine fertigen Konzepte *von der Stange*. Die Adaption bzw. Weiterentwicklung existierender Konzepte oder auch Neuentwicklung auf der Basis der existierenden Unternehmensstrukturen und -kulturen ist unerlässlich. Im Interesse struktureller und kultureller Passfähigkeit sowie Akzeptanz ist es sinnvoll, bereits (überall) vorhandene Ansätze von Flexibilität und Selbstorganisation, d.h. die Erfahrungen der Beschäftigten zu nutzen bzw. weiterzuentwickeln; was deren Partizipation auf *Augenhöhe* voraussetzt.

Generelles Problem: Die strukturell bedingte und vermutlich auch künftige Heterogenität im Engineering ist jedoch keine Legitimation für defizitäre (inkonsistente und inkohärente) und zu viele Reorganisationsprozesse gleichzeitig. Besonders kritisch aus Sicht der Befragten: Für die Konzipierung, Umsetzung sowie für begleitende Lernprozesse werden (zu) wenig Ressourcen wie Zeit und Unterstützung durch qualifizierte agile Coaches zur Verfügung gestellt. Das scheint *kein agil-spezifisches*, sondern ein allgemeines Problem von Change Prozessen zu sein. Dasselbe wird auch in Bezug auf Systems Engineering berichtet.

(4) Die Erfahrungen mit agilem Arbeiten unterscheiden sich ebenfalls; bestimmte Erwartungen werden (notwendig) enttäuscht. Der konstruktive Abgleich von Erwartungen und Erfahrungen kann Lern- und Adaptionsprozesse fördern (s. Bild 2-8).

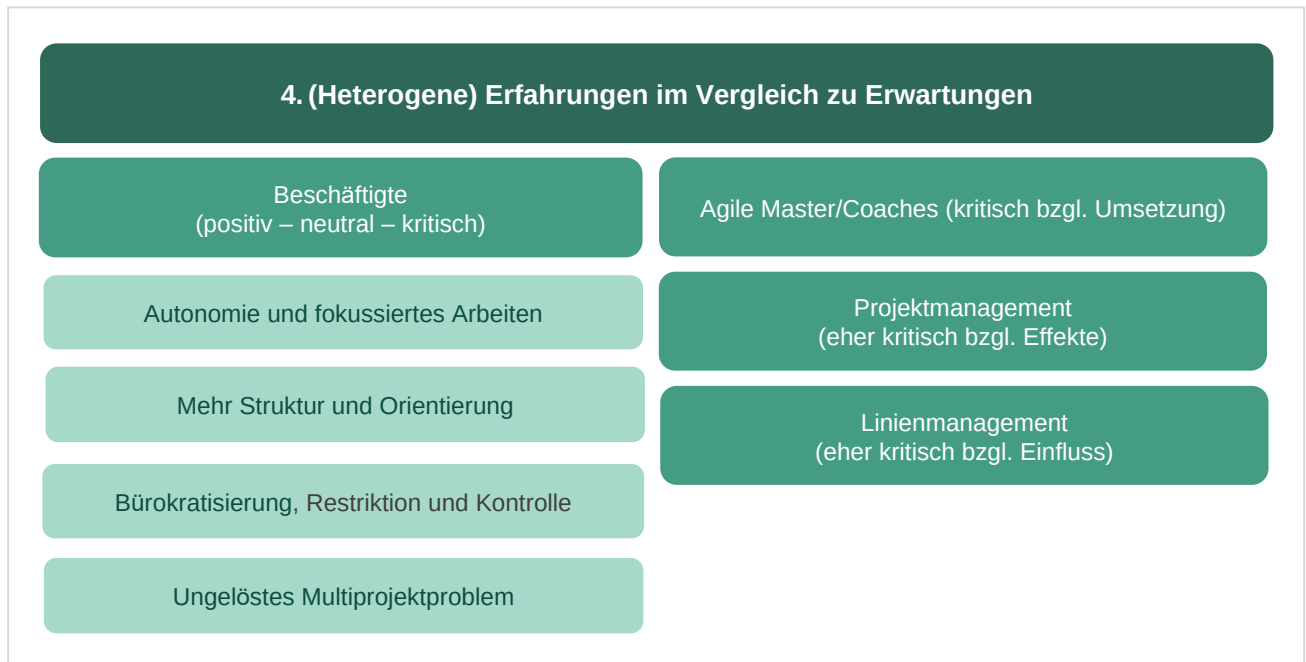


Bild 2-8: Erfahrungen mit Agilität

Erfahrungen: Die ersten Erfahrungen der befragten Experten mit agiler Arbeitsweise sind kritisch bis verhalten positiv. Nach der ersten Erprobung findet i.d.R. und notwendigerweise ein Realitätsabgleich über die Möglichkeiten und die Grenzen der Umsetzung von agilen Ansätzen statt und im günstigsten Fall eine reflexive Anpassung. Definitive Ablehnung wurde eher selten geäußert, was sich mit den Befunden der quantitativen Beschäftigtenbefragung deckt [PAR+23].

Erfahrungen der Beschäftigten: Die Erfahrungen der wenigen Entwickler im Sample sind – ähnlich wie schon die Erwartungen – heterogen:

- *Mehr Autonomie, fokussiertes Arbeiten und Entlastung:* Bei konsequenter und konsistenter sowie partizipativer Umsetzung, oft auch auf Initiative der Beschäftigten selbst, sind die Erfahrungen relativ positiv. Die Entwickler können ungestörter arbeiten, weil sie ungeplante kurzfristige Anfragen nach Änderung ihrer Arbeitsabläufe und Aufgaben an agile Coaches oder Master delegieren können und nicht selbst verhandeln und koordinieren müssen. Die Einschaltung der agilen Coaches oder Master führt auch eher dazu, dass für neu hinzukommende Aufgaben andere auch verschoben werden oder wegfallen, auf diese Weise kann Überlastung der Beschäftigten vermieden werden.
- *Bürokratisierung, Kontrolle und Restriktion:* Einige, insbesondere diejenigen Befragten mit wenig agiler Erfahrung bzw. mit der Erfahrung unsystematischer bzw. gescheiterter Implementationen und/oder mit ursprünglich sehr weitgehende Handlungs- und Entscheidungsspielraum in ihrem Arbeitsabläufen empfinden agile Arbeitsformen als bürokratisch und formalisierend, restriktiv sowie kontrollierend.
- *Zumutung und Überforderung:* Andere wiederum sehen in der geforderten Selbstorganisation und Übernahme von mehr Eigenverantwortung eine Verantwortungsabweisung seitens des Managements und empfinden dies als Überforderung.

Agile Coaches und Master: Agile Coaches bzw. Master sind von agilen Konzepten grundsätzlich überzeugt, ihre oft kritischen Erfahrungen beziehen sich auf die unzureichende Unterstützung seitens des (Top-)Managements sowie die inkonsequente Umsetzung unter „*falschem Vorzeichen*“, nämlich einer primär instrumentellen Optimierungslogik. Sie be- und empfinden sich oft in einer machtlosen Vermittlungsrolle zwischen unterschiedlichen bzw. sich widersprechenden Interessengruppen. Ihre teilweise geäußerte Enttäuschung in Bezug auf die Beschäftigten resultiert aus deren zögerlichen Bereitschaft zu Selbstorganisation oder Ablehnung von mehr Eigenverantwortung.

Projektleitungen: Die Erfahrungen der Projektleitungen sind ebenfalls eher kritisch, ihre Erwartungen hinsichtlich eines besseren Überblicks über den Stand der Projekte gehen nur dann auf, wenn die Beschäftigten das Taskmanagement konsequent und einheitlich dokumentieren, was nicht immer der Fall ist. Auch die erhoffte Entlastung durch mehr Eigenverantwortung und Selbstorganisation auf Seiten der Beschäftigten ist nach Ansicht der Projektleitungen noch ausbaufähig.

Management: Die Erwartungen des (Top-)Managements in Bezug auf die Kostensenkung und Zeitreduzierung bei der Entwicklung werden bislang kaum oder nicht erfüllt, die Steigerung der Flexibilität sowie Anpassungsfähigkeit ist eher ein mittelfristiger Effekt bzw. lässt sich überdies nur schwer messen. Teilweise werden agile Vorgehensweisen sogar als Steuerungs- und Kontrollverlust und damit als Nachteil im Vergleich zu klassischer plangetriebener Entwicklung wahrgenommen. Bei konsequenter Umsetzung agilen Arbeitens verliert außerdem das mittlere Linienmanagement seinen bisherigen Einfluss auf die Entwicklungsprojekte und letztlich auf die Beschäftigten, für die sie disziplinarisch verantwortlich sind. Neben dem Verlust an Einfluss scheint die Rolle des Linienmanagements im Kontext agiler Projekte vielfach noch nicht geklärt.

(5) *Es lassen sich systematische nicht-intendierte (Neben-)Folgen und Fehlentwicklungen beobachten, die zu Überforderung, Überlastung oder Frustration bei Beschäftigten führen und den Nutzen agiler Konzepte infrage stellen (s. Bild 2-9).*



Bild 2-9: Nicht-intendierte Folgen und Fehlentwicklungen

Nicht-intendierte Folgen und Fehlentwicklungen: Unzureichende Vorbereitung sowie inkonsequente Implementierung führen zu nicht gewünschten Folgen und Fehlentwicklungen. Diese werden dann den Werten und Prinzipien agiler Ansätze angelastet, die als nicht passend bzw. umsetzbar abgelehnt werden. Am häufigsten wurden folgende Probleme genannt:

- *Schnittstelle agil - nicht agil:* Vor und während der Einführung agiler Ansätze (meist über Pilotprojekte) wird die neue Qualität der Schnittstellen zwischen agilen und nicht-agilen Bereichen nicht konsequent mitgedacht, vor- und nachgelagerte Abteilungen nicht oder zu spät einbezogen. Hierdurch entstehen Irritationen, Missverständnisse, Reibungsverluste bis hin zu Konflikten, die meist im wechselseitigen Unverständnis über die (nicht-)agilen Handlungslogiken und Bedarfe bzw. Zwänge der jeweils anderen Bereiche wurzeln. Hier bedarf es der Verständigung über Arbeitsabläufe sowie der Regelung der Kollaboration.
- *Multiprojektbeteiligung:* Schnittstellenprobleme bzw. mehr Koordinationsaufwand erleben immer wieder auch Beschäftigte, die in mehr als ein oder zwei agilen Projekten gleichzeitig tätig sind. Ohne entsprechendes Schnittstellenmanagement zwischen den verschiedenen Projekten ist das Problem durch die einzelnen Beschäftigten kaum befriedigend lösbar; als Notlösung arbeiten die Befragten bspw. in einem Projekt agil und in den anderen klassisch.
- *Zunahme von Meetings:* Agile Ansätze und insbesondere die Multiprojektbeteiligung führt zu einer Zunahme von Meetings für Beschäftigte. Diese Meetings müssen zum einen konsequent in die Arbeitsabläufe integriert und diszipliniert wie strukturiert durchgeführt werden; zum anderen müssen sie für die Beteiligten als sinnvoll für die eigene Arbeitsaufgabe erlebt werden, sollen sie nicht als neue Quelle für zunehmenden Zeitdruck und Belastung wahrgenommen werden.
- *Verordnete ‚fremd-organisierte‘ Selbstorganisation:* Bei der Einführung agiler Ansätze, gerade auch bei unzureichender Partizipation der Beschäftigten wird deren Bereitschaft und auch realistische Möglichkeit zur Selbstorganisation nicht selten überschätzt. Wenn Selbstorganisation und Selbstverantwortung lediglich verordnet und keine Schulung und Unterstützung sowie Zeit und Raum zum Lernen und Anpassen gewährt werden, führt das zu Überlastung und Ablehnung. Oft bleibt auch unklar, was die Beschäftigten überhaupt selbst verantworten wollen und auch de facto können. Eine konsequente frühzeitige Einbindung der Beschäftigten in den Implementationsprozess kann die Akzeptanz und auch Anwendung fördern.
- *„Engineering-Fließband-Arbeit“:* Die Agilisierung ohne Kenntnis der etablierten Arbeitskultur hat destruktive Folgewirkungen – so auch in einer bereits autonomiegeprägten Arbeitsorganisation. Beschäftigte, die bereits autonom und selbstorganisiert arbeiten und das auch als Arbeitsqualität schätzen, können oktroyierte strukturierte agile Ansätze als Einengung und Verlust des gewohnten Handlungsspielraumes und damit Sinnzusammenhangs ihrer Arbeit wahrnehmen mit der Folge von Frustration und Belastungszunahme.
- *Tool- und Methodenfixierung:* Ein häufig genanntes Problem ist die Reduzierung von Agilität auf einzelne Methoden und Tools („Tooling“) statt auf den Wandel der Arbeitsformen. Das ist meist dort zu beobachten, wo kein umfassender unternehmensweiter Verständigungsprozess über die Sinnhaftigkeit, Ziele sowie Passfähigkeit von Agilität im Vorfeld stattgefunden hat, sondern stattdessen selektiv und instrumentell einzelne Tools (wie bspw. Boards) eingesetzt werden, die ohne die entsprechende Einbettung in kulturelle Veränderungen ihr Potenzial nicht entfalten können bzw. gegenteilige Wirkung zeitigen i.S. von mehr Kontrolle statt mehr Autonomie.
- *Formalisierung, Bürokratisierung und Kontrolle:* Berichtet wird auch von einer einseitigen instrumentellen Ausrichtung agiler Ansätze auf Kosten- und Zeitreduzierung oft im Verbund mit der Fixierung auf Tools, die vor allem Kontroll- und Steuerungsbedarfe bedienen (wie bspw. Boards, Meetings). Hierdurch wird Agilität nicht als Flexibilisierung, sondern als Zunahme von Formalisierung, Kontrolle und Kennziffern erlebt.

- *Fassaden-Agilität*: Eine besondere und offenbar nicht seltene Form der Fehlentwicklung besteht darin, dass gewohnte Vorgehensweise beibehalten und lediglich als agil umetikettiert werden. Zielt das auf Imageaufwertung nach außen und wird als nützliche Marketingmaßnahme auch von den Beschäftigten akzeptiert („nur auf dem Papier agil“), hat das unternehmensintern nicht zwingend negative Auswirkungen. Wird jedoch eine agile Transformation von den Beschäftigten gefordert, vom Management angekündigt, aber nicht oder halbherzig umgesetzt („Lippenbekenntnis“), dann verliert das Management an Glaubwürdigkeit, Loyalität und u.U. auch frustrierte Beschäftigte.
- *Abwärtsspiralen*: Agile Ansätze müssen an die Strukturen und Kulturen angepasst werden, aber Inkonsequenz in der alltäglichen Praxis wie wiederholte Abweichungen bspw. von Meeting Strukturen wegen etwa (regelmäßig eintretender!) ungeplanter Arbeitsaufgaben behindern die Habitualisierung agiler Arbeitsweisen. Beschrieben werden Abwärtsspiralen, d.h. ein zunehmendes „Verwässern“ bis hin zum vollständigen „Einschlafen“ agiler Praktiken. Auch in Krisensituationen wird oft zu traditionellen Vorgehensweisen zurückgekehrt, die nach der Krise beibehalten werden.

FAZIT – One size does not fit all!

1. Die Agile Landkarte zwischen und in den Unternehmen zum Zeitpunkt der Untersuchung (2021) ist heterogen; es existieren unterschiedliche (nicht-)agile Welten: eher vereinzelt SCRUM (SAFe) – strukturierte Adaptionen – Eigen-Kreationen SCRUM but/light – selektive/hybride Nutzung einzelner Elemente (bis hin zu Scheinagilität) – klassische Vorgehensweisen.
2. Hintergründe für Heterogenität:
 - Ungleichheit hinsichtlich der Bedingungen, externen und internen Bedarfe bzw. Handlungszwänge sowie ‚Eigenlogik‘ der Unternehmen, Implementierung
 - Ungleichzeitigkeit in der Umsetzung
 - Fehlentwicklungen, nicht-intendierte Nebenfolgen
3. Idee der Plan- und Steuerbarkeit bleibt für Denk- und Handlungslogik wichtig mit entsprechenden Folgen für die Umsetzung von Agilität.
4. Traditionelle technisch-instrumentelle Pfadabhängigkeit begünstigt Orientierung bzw. Fixierung auf vorhandene Methoden und Tools statt Wandel der Arbeits- und Organisationskultur.
5. Es gibt kein für alle passendes Konzept *von der Stange*, sondern es muss ein Prozess der Übersetzung und Anpassung an das Unternehmen (resp. Bereiche usw.) geleistet werden.
6. Der Transformationsprozess benötigt Unterstützung des Top-Managements, Einbeziehung der Beschäftigten und ihrer Interessenvertretung, Zeit sowie Bereitschaft und Fähigkeit zur Reflexivität bei allen Beteiligten i.S. wiederkehrender Lern- und Anpassungsschleifen.

Weitere Informationen	Wiki: Anforderungen an Agilität sowie Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Anforderungen_an_Agilit%C3%A4t_sowie_Bestandsaufnahme_der_Umsetzung_agiler_Prozesse

	Digitaler Anhang: • Definition und Operationalisierung Agilität.pdf • Anforderungen und Bestandsaufnahme Agilität Thesen.pdf • Kompass Agilität.pdf • Kollaboration im Engineering.pdf Wissensnuggets: • Anforderungen an Agilität & Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse • Kompass Agilität • Kollaborationsmodell • Definition Arbeitskonflikte bei agilem SE und Handlungsempfehlungen • Evaluationssystematik Qualität von Partizipationsprozessen und Aufgaben von Betriebsräten • Richtlinien zur Arbeitssystemgestaltung • Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse Veröffentlichungen: [AS24] ALBERT, A.; SAUER, S. (2024): Arbeit: Projektbasiert, selbstorganisiert, wertgeschätzt? In: Arbeit, Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. (im Erscheinen). [HRF+21] HEIMICKE, J.; ROEBENACK, S.; FROBIETER, C.; THILARIK, A.; ALBERT, B.; BRAMATO, L.; MANDEL, C.; BEHRENDT, M.; ALBERS, A. (2021): Evaluation of Challenges in the Implementation of Scrum in a large German Plant Engineering Company: Derivation of Hypotheses for an Improved Introduction of Agile Approaches into the Processes of Physical Product Development. R&D Management Conference. University of Strathclyde. Glasgow. http://dx.doi.org/10.5445/IR/1000135429 [NRS+23] NICKLICH, M.; RÖBENACK, S.; SAUER, S.; SCHREYER, J.; TIHLARIK, A. (2023). Qualitative Sozialforschung auf Distanz. Das Interview im Zeitalter seiner virtuellen Durchführbarkeit. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 24(1), Art. 15, http://dx.doi.org/10.17169/fqs-24.1.4010 [TAB+24] TIHLARIK, A.; ALBERT, B.; BLINZLER, R.; RÖBENACK, S. (2024): Mixed-methods Analysis of AI technology usage in German engineering: quantitative and qualitative perspectives from the viewpoint of employees. (im Erscheinen) [Tih24] TIHLARIK, A. (2024): Evaluation of the use of AI technologies in German engineering: insights from the employee perspective, Discover Global Society. (im Erscheinen)

2.2.3. Diskussion und Ausblick

Der Wandel von Arbeitsorganisation und Arbeitskulturen ist stets ein langwieriger und aufwändiger Prozess, der – soll er gelingen – die vorhandenen Strukturen und Kulturen berücksichtigen, mithin die Beschäftigten und ihre Interessen einbeziehen muss. Dies gilt um so mehr, wenn es, wie bei Agilität, mit Selbstorganisation und Eigenverantwortung um eine zentrale Frage der Arbeitsqualität geht.

Die Befunde geben einen (zeitlich begrenzten) Einblick in die organisatorische wie soziale Komplexität von agilen Change Prozessen. Obgleich sich die beteiligten Unternehmen zum Erhebungszeitpunkt in unterschiedlichen Agilitätsphasen befanden, lässt die überdeutliche Heterogenität in der Umsetzung agiler Konzepte den Schluss zu: *One size does not fit all*. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass

es keinen einfachen Weg mit vorkonfektionierten Ansätzen zu mehr Flexibilität und Anpassungsfähigkeit gibt bzw. geben kann und es zeigt sich, dass agiles Arbeiten nicht gegen bzw. ohne die betreffenden Beschäftigten eingeführt werden sollte und kann.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes mit drei Jahren Laufzeit können mittel- und langfristige Folgen nicht untersucht werden. Die Forschung sollte sich der Frage widmen, ob und wie agile Konzepte erfolgreich in der physischen Produktentwicklung adaptiert werden (können) und welche Effekte sich hierbei realiter zeigen.

2.2.4. Literaturverzeichnis

- [AHM+19] ALBERS, A.; HEIMICKE, J.; MÜLLER, J.; SPADINGER, M. (2019): Agility and its Features in Mechatronic System Development: A Systematic Literature Review. The ISPIM Innovation Conference – Celebrating Innovation: 500 Years Since daVinci, Florence, Italy on 16-19 June 2019, 1-13.
- [AHS+19] ALBERS, A.; HEIMICKE, J.; SPADINGER, M.; REISS, N.; BREITSCHUH, J.; RICHTER, T., BURSAC, N.; MARTHALER, F. (2019): A systematic approach to situation-adequate mechatronic system development by ASD - Agile Systems Design b 29th CIRP Design 2019 (CIRP Design 2019), 1015-1022.
- [ANS+20] ATZBERGER, A.; NICKLAS, S. J.; SCHROF, J.; WEISS, S.; PAETZOLD, K. (2020): Agile Entwicklung physischer Produkte 2020. Eine Studie zum aktuellen Stand in der industriellen Praxis. Universität der Bundeswehr München. <https://doi.org/10.25368/2023.213>
- [AS24] ALBERT, A.; SAUER, S. (2024): Arbeit: Projektbasiert, selbstorganisiert, wertgeschätzt? In: Arbeit, Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. (im Erscheinen).
- [BBB+01] BECK, K.; BEEDLE, M.; BENNEKUM, A.v.; COCKBURN, A. CUNNINGHAM, W.; FOWLER, M. et al. (2001): Agile Manifesto. <http://agilemanifesto.org> (Zugriff 15.04.2024)
- [Böh04] BÖHLE, F. (2004). Die Bewältigung des Unplanbaren als neue Herausforderung in der Arbeitswelt. In: Böhle, F.; Pfeiffer, S.; Sevsay-Tegethoff, N. (Hrsg.) (2004): Die Bewältigung des Unplanbaren. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 12-54.
- [HKA21] HEIMICKE, J.; KAISER, S.; ALBERS, A. (2021): Agile product development: an analysis of acceptance and added value in practice. 31st CIRP Design Conference 2021 (CIRP Design 2021). Procedia CIRP 100 (2021), 768–773. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.046>
- [HRF+21] HEIMICKE, J.; ROEBENACK, S.; FROBIETER, C.; THILARIK, A.; ALBERT, B.; BRAMATO, L.; MANDEL, C.; BEHRENDT, M.; ALBERS, A. (2021): Evaluation of Challenges in the Implementation of Scrum in a large German Plant Engineering Company: Derivation of Hypotheses for an Improved Introduction of Agile Approaches into the Processes of Physical Product Development. R&D Management Conference. University of Strathclyde. Glasgow. <http://dx.doi.org/10.5445/IR/1000135429>
- [Kli24] KLIPPERT, J. (2024): Advanced Systems Engineering: Transformation in den Entwicklungsabteilungen? In: WSI Mitteilungen, 77Jg., 2/2024, 143-148. <https://doi.org/10.5771/0342-300X-2024-2-143>
- [Kom20] KOMUS, A. (2020): Status Quo (scaled) Agile. <https://www.process-and-project.net/studien/studienunterseiten/status-quo-scaled-agile-2020/> (Zugriff 3.4.2024)
- [May15] MAYRING, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. Weinheim: Basel: Beltz Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0_38
- [NNT+21] NEUMER J., NICKLICH M., TIHLARIK A., WILLE C., PFEIFFER S. (2021): Alles agil, alles gut? In: Bauer W., Mütze-Niewöhner S., Stowasser S., Zanker C., Müller N. (Hrsg). Arbeit in der digitalisierten Welt. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62215-5_9

- [NRS+23] NICKLICH, M.; RÖBENACK, S.; SAUER, S.; SCHREYER, J.; TIHLARIK, A. (2023). Qualitative Sozialforschung auf Distanz. Das Interview im Zeitalter seiner virtuellen Durchführbarkeit. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 24(1), Art. 15, <http://dx.doi.org/10.17169/fqs-24.1.4010>
- [PAR+23] PFEIFFER, S.; ALBERT, B.; RÖBENACK, S.; TIHLARIK, A.; HEINZ, I.; BLINZLER, R. (2023): Kompass Agilität – Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung.
- [PNS21] PFEIFFER, S.; NICKLICH, M.; SAUER, S. (Hg.) (2021): The Agile Imperative: Teams, Organizations and Society under Reconstruction? Cham: PalgraveMcMillan.
- [Rec21] RECKWITZ, A. (2021): Gesellschaftstheorie als Werkzeug. In: Reckwitz, A.; Rosa, H. (2021): Spätmoderne in der Krise. Was leistet die Gesellschaftstheorie? Berlin: Suhrkamp, 23-150. <https://doi.org/10.1515/srsr-2022-2026>
- [Ros20] ROSA, H. (2020): Resonanz. Eine Soziologie der Weltbeziehung. Berlin, Suhrkamp.
- [RPB+23a] RÖBENACK, S.; PFEIFFER, S.; BLINZLER, R.; ALBERT, B.; TIHLARIK, A. (2023a): Agilität in der digitalisierten Arbeit – Definition und Operationalisierung. Univ. Paper, Nürnberg.
- [RPB+23b] RÖBENACK, S.; PFEIFFER, S.; BLINZLER, R.; TIHLARIK, A.; ALBERT, B. (2023b): Anforderungen an Agilität und Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse – Befunde aus den Interviews mit Expert*innen. Univ. Paper, Nürnberg.
- [RTA+24] RÖBENACK, S.; TIHLARIK, A.; ALBERT, B.; KLIPPERT, J.; BLINZLER, R.; PFEIFFER, S. (2024): Kollaboration im Engineering. Univ. Paper, Nürnberg.
- [SNP21] SAUER, S.; NICKLICH, M.; PFEIFFER, S. (2021): The Agile Imperative: A Multi-Level Perspective on Agility as a New Principle of Organizing Work. In: Pfeiffer, S.; Nicklich, M.; Sauer, S. (Eds.) (2021): The Agile Imperative. Teams, Organizations and Society under Reconstruction? Springer, Berlin, S. 1-15. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-73994-2>
- [SP18] SAUER, S.; PFEIFFER, S. (2018): Innovation Meets Agility. Four Ideal Types of a Combination of Agility and Innovation. In: International Journal of Strategic Management, 18(1), 33–41. <http://dx.doi.org/10.18374/IJSM-18-1.4>
- [TAB+24] TIHLARIK, A.; ALBERT, B.; BLINZLER, R.; RÖBENACK, S. (2024): Mixed-methods Analysis of AI technology usage in German engineering: quantitative and qualitative perspectives from the viewpoint of employees. (im Erscheinen)
- [Tih24] TIHLARIK, A. (2024): Evaluation of the use of AI technologies in German engineering: insights from the employee perspective, Discover Global Society. (im Erscheinen)

2.3. Kompass Agilität

2.3.1. Einleitung

2.3.1.1. Zielsetzung

Das Ziel des Wissensnuggets ist die verschiedenen Sichtweisen auf Agilität in Engineering-Arbeitswelten aus der Perspektive der Beschäftigten zu untersuchen und darzustellen. Hierbei werden arbeitsinhaltliche und organisationale, ebenso wie individuelle Themen wie Be- und Entlastungsfaktoren untersucht. Darüber hinaus soll der Ist-Stand zu Agilität in den beteiligten Partnerunternehmen erfasst werden.

Der Kompass Agilität soll dabei helfen die Erwartungen und Befürchtungen der Beschäftigten in den beteiligten Partnerunternehmen zu erkennen und zu verstehen. Dadurch ergeben sich Implikationen für den Einführungsprozess und die Ausgestaltung von agilen Arbeitsmethoden im Engineering. Außerdem erfasst der Kompass Agilität Hemmnisse und Limitierungen von agilen Arbeitsformen im Engineering der beteiligten Partnerunternehmen. Die Analyse dieser Hemmnisse und Limitierungen ist eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung bzw. Anpassung der aus der Software-Entwicklung stammenden agilen Arbeitsweise für das Engineering.

2.3.1.2. Einordnung in MoSyS

Der im AP 1 verfolgte Mixed-Methods-Forschungsansatz beinhaltet die Kombination qualitativer und quantitativer Erhebungsmethoden sowie die vergleichende Analyse der Befunde, was ein umfassenderes Verständnis der untersuchten Phänomene ermöglicht. Der Kompass Agilität beruht auf einer standardisierten Beschäftigtenbefragung. Der Fragebogen dieser Befragung wurde auf Grundlage der Ergebnisse der vorhergegangenen Experteninterviews [RPB+23a] erarbeitet. Die Ergebnisse des Kompass Agilität flossen in die Gestaltung, Durchführung und Analyse der Workshops mit Beschäftigten für das Kollaborationsmodell [RTA+24] ein. Darüber hinaus wurde bei der Interpretation und Bewertung der Ergebnisse des Agilitätskompasses ein wechselseitiger Bezug zu den Ergebnissen der Gruppeninterviews mit den betrieblichen Interessenvertretungen hergestellt [Kli24]. Agilität stellt ein zentrales Element des „Advanced Systems Engineering“ dar. Die Befunde des Kompass Agilität ergänzen die im AP 7 erarbeiteten Leitfäden zur Umsetzung eines Individuellen Veränderungsprozesses hin zu agilem Systems Engineering sowie die Methodendatenbank zu Methoden des agilen Systems Engineerings.

Weitere Informationen	Wiki: Kompass Agilität: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Kompass_Agilit%C3%A4t Digitaler Anhang: • Kompass Agilität.pdf • Definition und Operationalisierung Agilität.pdf • Anforderungen und Bestandsaufnahme Agilität.pdf • Kollaboration im Engineering.pdf Wissensnuggets: • Anforderungen an Agilität & Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse • Kompass Agilität • Kollaborationsmodell • Definition und Operationalisierung von Agilität

2.3.1.3. Vorgehen

Die Beschäftigten in den beteiligten Engineeringbereichen der neun Partnerunternehmen wurden mit Hilfe eines Online-Fragebogens im Zeitraum vom 17.01.2022 bis zum 04.03.2022 zu ihren Sichtweisen zum Thema Agilität befragt. Insgesamt haben 1.502 Beschäftigte an 14 verschiedenen Unternehmensstandorten teilgenommen.

Zunächst wurden unter Einbeziehung der Partnerunternehmen die relevanten Themen für die Befragung bestimmt. Davon ausgehend werden unter anderem notwendige Kollaboration und organisationale Voraussetzungen, die Einbindung agiler Strukturen in die Gesamtorganisation sowie die Zusammenarbeit mit Kunden sowie entlastende und belastende Faktoren agiler Arbeit erfasst.

Im Anschluss wurde inkrementell in intensiver Zusammenarbeit mit den Partnerunternehmen auf Basis der bei den Experteninterviews gewonnenen Erkenntnissen ein Fragebogen entwickelt, der in mehreren Runden evaluiert und angepasst wurde. Bei der Entwicklung wurde auf die Vergleichbarkeit zu anderen quantitativen wissenschaftlichen Studien im Themenfeld Agilität geachtet [Kom20]; [ANS+20]. Da es den Beschäftigten in den Partnerunternehmen ermöglicht werden sollte, den Fragebogen während ihrer regulären Arbeitszeit auszufüllen, war es wichtig, dass die Bearbeitungszeit des Fragebogens 20-25 Minuten nicht überstieg.

Danach wurde der Fragebogen im Rahmen eines „kognitiven Pre-Tests“ mit 15 Beschäftigten aus acht Partnerunternehmen getestet. Im Pre-Test wurde sowohl die technische Funktion des Fragebogens als auch die Verständlichkeit der Fragen geprüft. Darüber hinaus wurde die mittlere Bearbeitungszeit ermittelt. Darauf folgte eine erneute Anpassung bzw. Überarbeitung des Fragebogens entsprechend der Anmerkungen der Testpersonen.

Als Zielgruppe der Befragung wurden Beschäftigte im Engineering der beteiligten Partnerunternehmen identifiziert. Zunächst wurde daher gemeinsam mit den Partnerunternehmen eine Arbeitsdefinition der Gruppe „Beschäftigte im Engineering“ erstellt. Anschließend wurden in den Unternehmen Befragte aus dieser Gruppe zur Kontaktierung ausgewählt. In einigen Unternehmen wurden alle im Engineering beschäftigten Personen befragt, in anderen Unternehmen wurden lediglich Teile der Gruppe ausgewählt und befragt.

Sieben der neun beteiligten Partnerunternehmen wurden in einem „Softlaunch“ kurz hintereinander in der dritten Kalenderwoche 2022 zur Befragung freigeschaltet. Zwei weitere Unternehmen konnten wegen Verzögerungen im Mailversand und der Freigabe der Befragung erst später zur Befragung freigeschaltet werden. Der ursprünglich für sechs Wochen geplante Befragungszeitraum wurde daher entsprechend verlängert. Die Befragung blieb auch für die planmäßig gestarteten Unternehmen weiterhin erreichbar.

Die Befragten konnten über personalisierte Zugangslinks an der Befragung teilnehmen. Die Verwendung von personalisierten Zugangslinks verhindert sowohl mehrmaliges Ausfüllen als auch eine unautorisierte Weitergabe der Links an nicht eingeladene Personen. Bei drei Partnerunternehmen erfolgte der Versand der Links durch unseren Lehrstuhl. Bei den übrigen Partnerunternehmen wurden die Links vom Lehrstuhl bereitgestellt und durch die Unternehmen selbst versandt. Insgesamt wurden 3.190 personalisierte Einladungen zur Teilnahme an der Befragung versandt. Von den versandten Fragebögen wurden 1.512 bearbeitet, 1.326 Fragebögen davon vollständig. Die unvollständigen Fragebögen wurden, soweit möglich, mit in die Auswertung einbezogen. Das entspricht einer Ausschöpfungsquote von 47% inklusive unvollständiger Fragebögen, beziehungsweise 42%, wenn nur vollständig bearbeitete Fragebögen in die Rücklaufquote eingeschlossen werden.

2.3.2. Hauptteil

2.3.2.1. Definitionen

Agilität: Agilität ist eine grundlegende kontext- und situationssensible Offenheit und Fähigkeit im Denken und Handeln von Beschäftigten, Arbeitsgruppen bzw. Organisationen, die es ermöglicht sich fortwährend sowie schnell und angemessen an dynamische, komplexe und unsichere interne und externe Entwicklungen anzupassen.

Agile Projektmanagementmethoden: Agile Projektmanagementmethoden wie z.B. SCRUM oder Kanban bilden ein Regelwerk, dass vorgibt wie Agilität durch bestimmte Rollen, Praktiken und Techniken im Projektalltag gelebt werden kann.

In den von uns beforschten Unternehmen spielen Mischformen von agilen Projektmanagementmethoden eine große Rolle; wir unterscheiden dabei zwischen zwei Mischformen:

hybride Agilität: es wird mit einer Mischform aus agilen und klassischen Projektmanagement Ansätzen gearbeitet.

selektive Agilität: es wird parallel sowohl in einzelnen/ausgewählten Projekten/Entwicklungsprozessen mit agilen Projektmanagementansätzen gearbeitet, in anderen Projekten/Entwicklungsprozessen wird mit klassischen Projektmanagementansätzen gearbeitet.

Weitere Informationen	Wiki: Kompass Agilität: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Kompass_Agilit%C3%A4t Digitaler Anhang: • Definition und Operationalisierung Agilität.pdf • Anforderungen und Bestandsaufnahme Agilität.pdf

2.3.2.2. Ergebnisse

Für die Erfassung des Ist-Stands zu Agilität in den beteiligten Partnerunternehmen wurden unter anderem die Verbreitung agiler Projektmanagementansätze und Methoden, die Anpassung der Methoden an betriebliche Erfordernisse, sowie die Weiterbildung zum Thema Agilität in den Blick genommen. Um die Perspektive der Beschäftigten auf Agilität in ihrem Unternehmen abzubilden haben wir die Beschäftigten unter anderem nach den aus ihrer Sicht größten Hemmnissen für agiles Arbeiten in ihrem Betrieb, nach dem erwarteten und erlebten Nutzen von agiler Arbeit und nach Arbeitserleichterung beziehungsweise mögliche Belastungen durch agiles Arbeiten gefragt.

In Bezug auf den Ist-Stand (s. Bild 2-10) lässt sich feststellen, dass agile Arbeitsformen in den beteiligten Partnerunternehmen grundsätzlich verbreitet sind, ihre Anwendung ist allerdings von großer Heterogenität geprägt. 64% der Befragten geben an, aktuell oder in der Vergangenheit mit agilen Projektmanagement-Ansätzen gearbeitet zu haben. Allerdings sind agile Mischformen deutlich verbreiteter als durchgängig agile Arbeitsformen, nur 10% der Befragten geben an durchgängig agil zu arbeiten.

Anwendungsformen agiler Ansätze (n=1475), Angaben in Prozent

Frage: Wenden Sie aktuell agile Projektmanagement-Ansätze bei Ihrer Arbeit an oder haben sie in der Vergangenheit agil gearbeitet? Und wenn ja, in welcher Form?

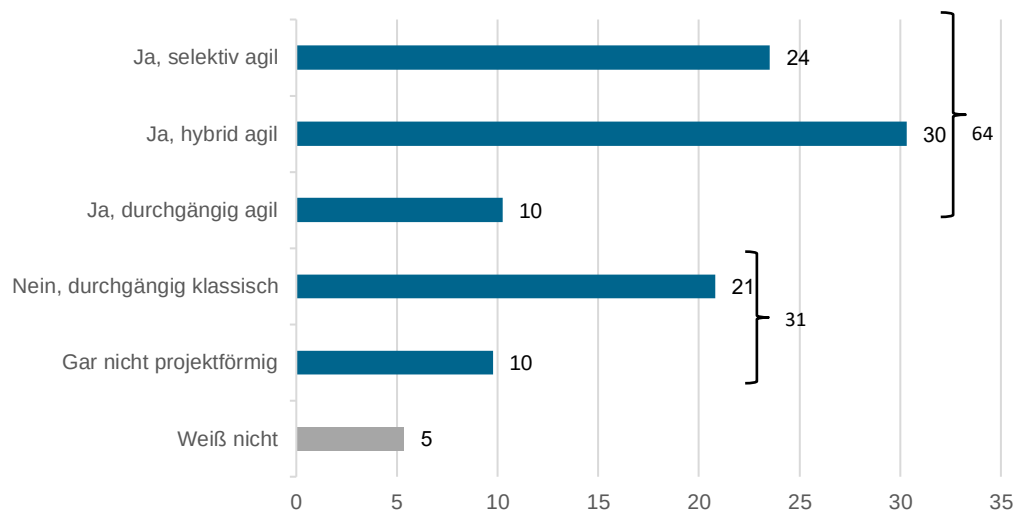


Bild 2-10: Anwendungsformen agiler Ansätze

Am verbreitetsten ist die Anwendung hybrid agiler Arbeitsformen, eine Mischform aus agilen und klassischen Arbeitsweisen. Ein Drittel der Befragten nutzt keine agilen Methoden und arbeitet entweder durchgängig mit klassischen Methoden (21%) oder gar nicht projektförmig (10%).

Genutzte Projektmethoden (n=945), Angaben in Prozent; nur agil arbeitende Befragte

Frage: Denken Sie bitte an Ihre aktuelle Tätigkeit und an das agile Projekt, in das Sie am stärksten eingebunden sind. Welche der folgenden Projektmethoden nutzen Sie? Mehrfachantworten möglich.

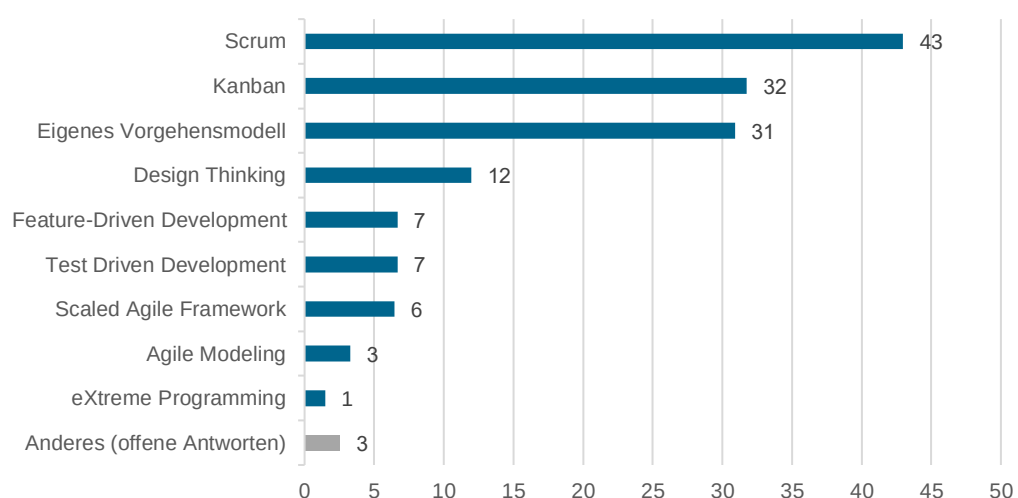


Bild 2-11: Verbreitung Projektmethoden

In Bezug auf die genutzten Projektmethoden (s. Bild 2-11) ist SCRUM die agile Methode, die sich in unserer Befragungsgruppe der größten Beliebtheit erfreut, 43% der Befragten geben an diese Projektmethode zu nutzen. Kanban und eigene Vorgehensmodelle sind mit jeweils etwa 30% Nutzung

ebenfalls weit verbreitet. Andere agile Projekt- und Entwicklungsmethoden wie etwa Design Thinking, Feature-Driven-Development, Test-Driven Development oder eXtreme Programming spielen in den befragten Partnerunternehmen nur eine untergeordnete Rolle. Ebenfalls wenig verbreitet sind Scaled Agile Frameworks, die Probleme adressieren sollen, die bei der Skalierung agiler Arbeit über einzelne Teams hinaus auf der Unternehmensebene auftreten.

Die aus der Software-Entwicklung stammenden agilen Vorgehensmodelle werden in der Regel darüber hinaus an die konkreten betrieblichen Erfordernisse im Engineering angepasst (s. Bild 2-12). Etwa ein Drittel der Befragten gibt dabei an, die Vorgehensmodelle sehr stark oder ziemlich stark anzupassen. Etwa die Hälfte der Befragte gibt an, dass die Modelle zum Teil oder in geringem Umfang angepasst werden. Nur 4% der Befragten geben an, dass die Modelle gar nicht an die betrieblichen Erfordernisse im Engineering angepasst werden.

Anpassung Vorgehensmodelle an betriebliche Erfordernisse (n=935). Angaben in Prozent; nur agil arbeitende Befragte

Frage: Denken Sie bitte an Ihre aktuelle Tätigkeit und an das oder die Projekte, in denen Sie agil arbeiten. Wie stark werden agile Vorgehensmodelle wie z.B. SCRUM an betriebliche Erfordernisse angepasst?

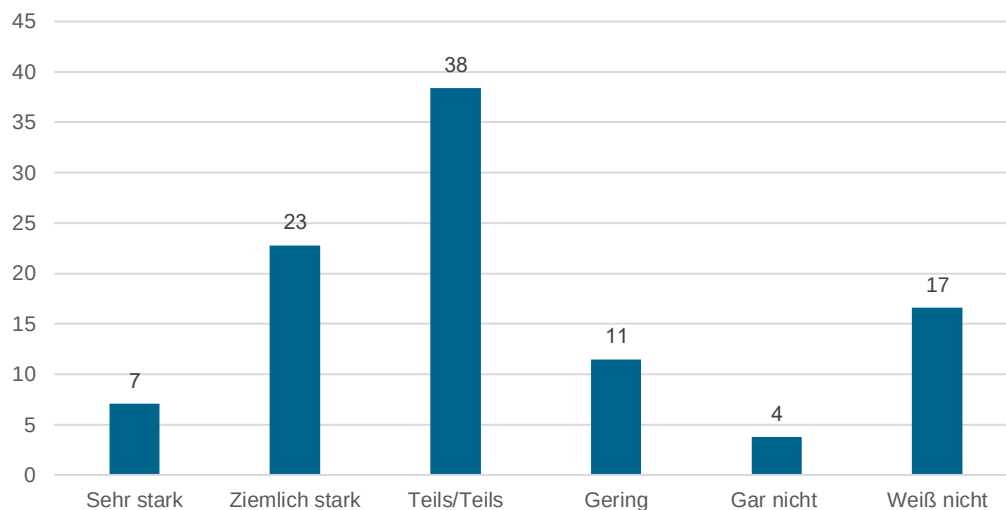


Bild 2-12: Anpassung der Vorgehensmodelle

Weiterbildung für agile Ansätze (n=944), Angaben in Prozent; nur agil arbeitende Befragte

Frage: Qualifizierungen zu agilen Ansätzen bilden eine gemeinsame Wissensbasis für agile Teams. Haben Sie dazu an einer Weiterbildung teilgenommen?

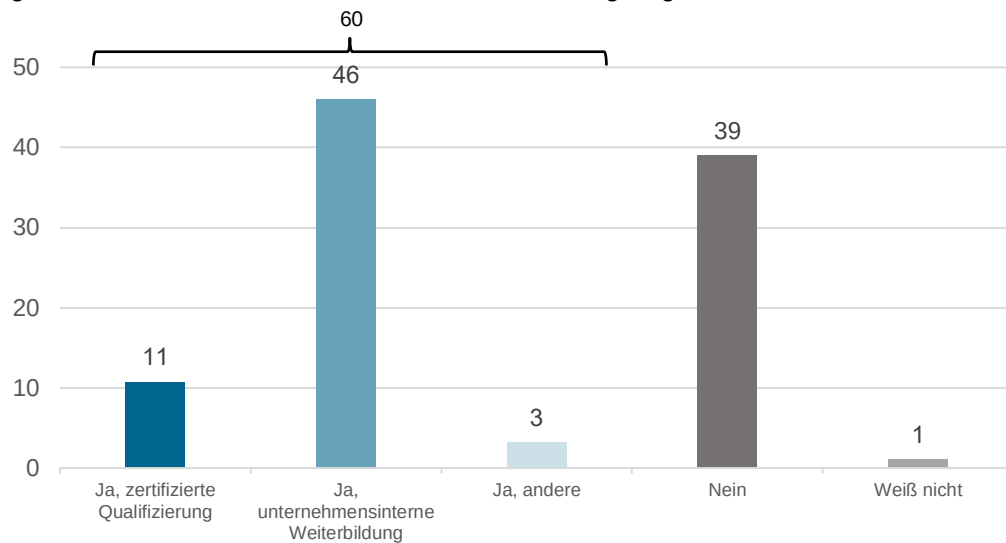


Bild 2-13: Weiterbildung für agile Ansätze

Für die erfolgreiche Einführung agiler Methoden ist eine gemeinsame Wissensbasis unabdingbar, diese wird üblicherweise im Betriebskontext über Fort- und Weiterbildungen hergestellt. 60% der agil arbeitenden Beschäftigten geben an eine Fortbildung zum Thema agiles Arbeiten erhalten zu haben (s. Bild 2-13). Der größte Teil dieser Gruppe hat eine unternehmensinterne Fortbildung zum Thema erhalten. 39% der agil Befragten geben allerdings an keine Fortbildung zu agilem Arbeiten erhalten zu haben.

So ist es auch nicht überraschend, dass fehlendes Wissen von den Befragten als größtes Hemmnis für agiles Arbeiten angesehen wird (s. Bild 2-14). Ebenfalls problematisch sind uneinheitliche agile Prozesse, die von einer großen Heterogenität der Ausübung von Agilität innerhalb der Unternehmen herrührt. Die Unternehmenskultur wird ebenfalls von vielen Beschäftigten als Hemmnis für agiles Arbeiten identifiziert. Ebenfalls unter den fünf meistgenannten Hemmnissen sind fehlende Akzeptanz und festgelegte Produktentwicklungsprozesse.

Größten Hemmnisse für agiles Arbeiten (n=1416), Angaben in Prozent

Frage: Was sind Ihrer Meinung nach die fünf größten Hemmnisse für agiles Arbeiten in Ihrem Betrieb? Bitte nennen Sie bis zu fünf Hemmnisse.

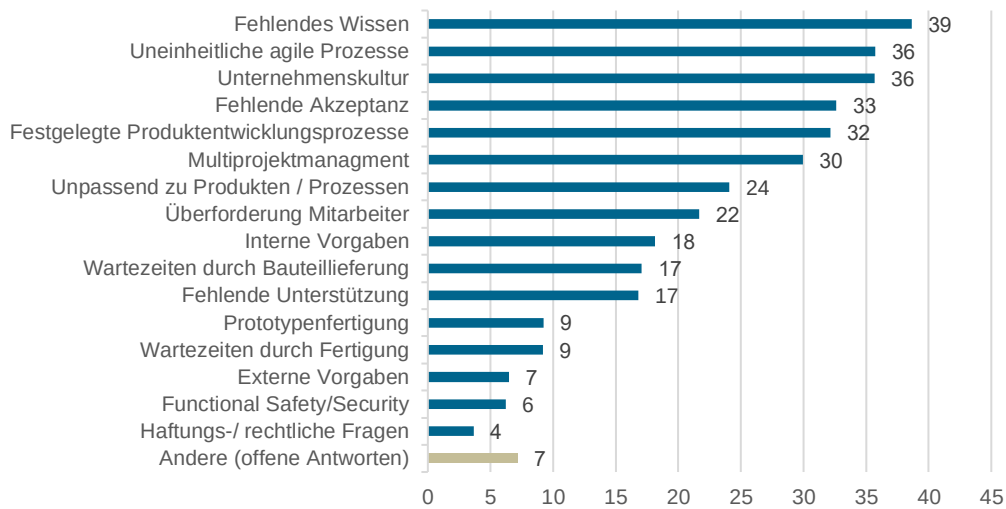


Bild 2-14: Größte Hemmnisse für agiles Arbeiten

Vergleicht man die Erwartungen an agiles Arbeiten, die von nicht agilen Beschäftigten geäußert wird mit den Erfahrungen der bereits agil arbeitenden Beschäftigten, fällt zunächst auf, dass der Aspekt der verbesserten teaminternen Kommunikation von den agil arbeitenden Befragten den höchsten Nutzen zugesprochen bekommt: 65% der agil arbeitenden Befragten nehmen einen hohen oder sogar sehr hohen Nutzen auf diesem Gebiet war (s. Bild 2-15).

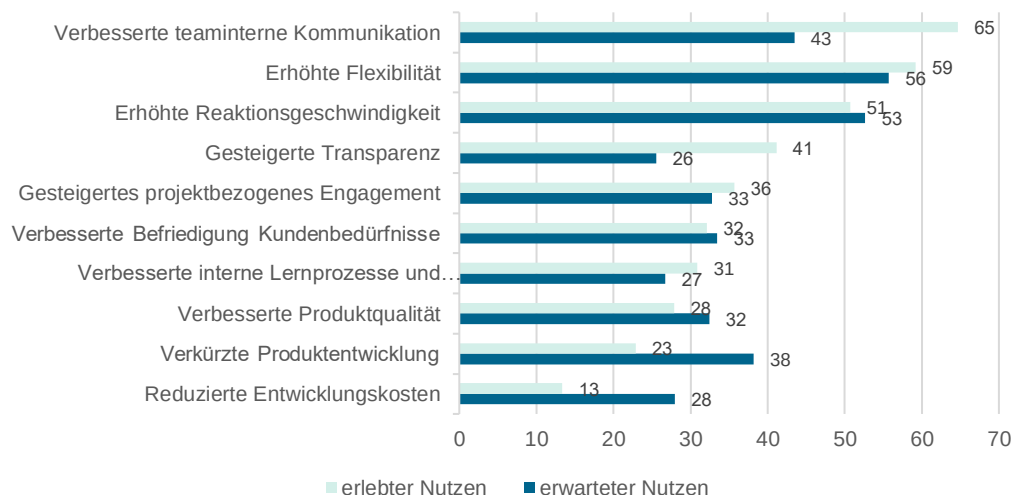
Erwarteter und erlebter Nutzen von agilen Methoden. Prozentualer Anteil der Antwortkategorien hoher Nutzen + sehr hoher Nutzen (n=1512)

Bild 2-15: Erwarteter und erlebter Nutzen von agilen Methoden

Dies ist insbesondere deshalb bemerkenswert, weil der Anteil der nicht-agilen Befragten, die sich einen hohen oder sehr hohen Nutzen von agilem Arbeiten in diesem Bereich erhoffen, deutlich kleiner ist. In den Bereichen „erhöhte Flexibilität“ und „Reaktionsgeschwindigkeit“ nehmen etwa die Hälfte

der agil arbeitenden Befragten einen hohen oder sehr hohen Nutzen durch Agilität war. Dies entspricht in etwa dem Anteil der nicht agilen Befragten, die sich in diesen Bereichen einen hohen oder sehr hohen Nutzen erwarten. In den Bereichen „verbesserte Produktqualität“, „verkürzte Produktentwicklung“ und „reduzierte Entwicklungskosten“ ist der Anteil der agil arbeitenden Befragten, die einen hohen oder sehr hohen Nutzen wahrnehmen, am geringsten.

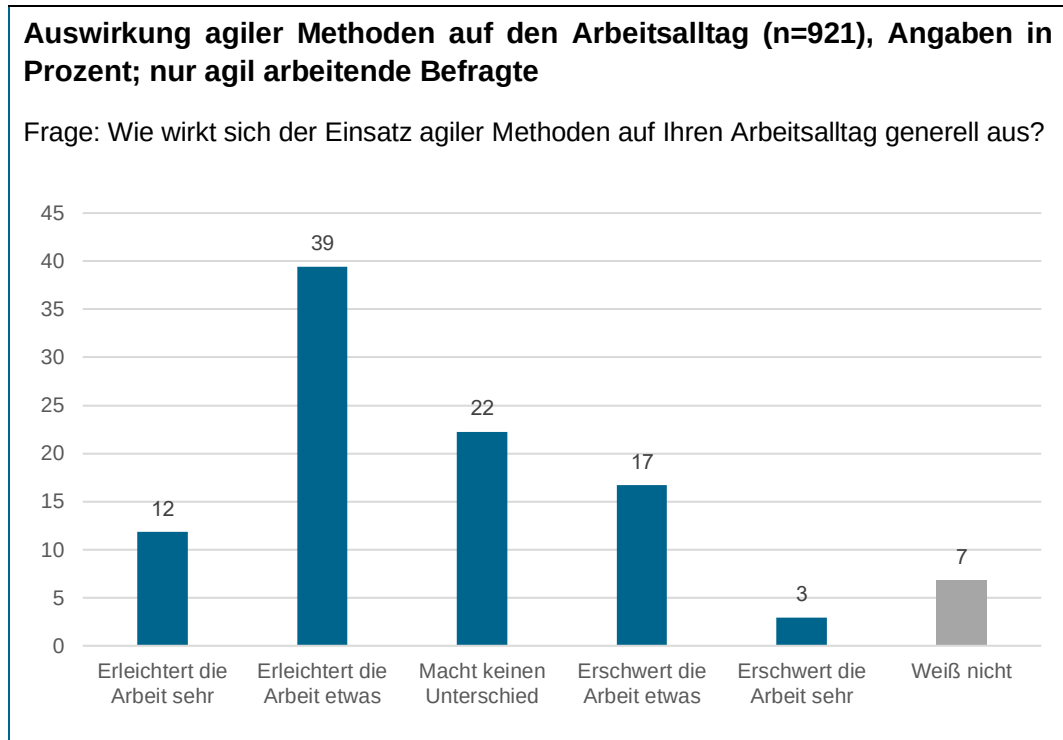


Bild 2-16: Auswirkung agiler Methoden auf den Arbeitsalltag

Eine wichtige zu klärende Frage rund um den Einsatz agiler Methoden ist, ob die Beschäftigten agile Methoden als erleichternd für ihre Arbeit wahrnehmen oder ob sie den Einsatz im Gegenteil als belastend wahrnehmen. In unserer Untersuchungsgruppe ist ein eher positiver Effekt durch den Einsatz agiler Methoden zu beobachten (s. Bild 2-16). Über die Hälfte der Befragten gibt an, dass ihre Arbeit durch den Einsatz agiler Methoden erleichtert wird. 22% der Befragten nehmen hinsichtlich der Arbeitserleichterung keinen Unterschied durch den Einsatz agiler Methoden wahr. 19% der Befragten geben allerdings an, dass agile Arbeit ihnen die Arbeit erschwert. Hier ist es wichtig festzustellen, ob die Erschwerung der Arbeit ein temporärer Effekt ist, der in der Anfangsphase der Umstellung auftritt und mit der Zeit wieder verschwindet oder ob es sich um eine nachhaltige Belastung der Beschäftigten handelt.

Weitere Informationen	Wiki: Kompass Agilität: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Kompass_Agilit%C3%A4t Digitaler Anhang: • Kompass Agilität.pdf • Definition und Operationalisierung Agilität.pdf • Anforderungen und Bestandsaufnahme Agilität.pdf • Kollaboration im Engineering.pdf

	Wissensnuggets: • Anforderungen an Agilität & Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse • Definition und Operationalisierung von Agilität • Kollaborationsmodell • Definition Arbeitskonflikte bei agilem SE und Handlungsempfehlungen • Evaluationssystematik Qualität von Partizipationsprozessen und Aufgaben von Betriebsräten • Richtlinien zur Arbeitssystemgestaltung • Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse Veröffentlichung: [AS24] ALBERT, A.; SAUER, S. (2024): Arbeit: Projektbasiert, selbstorganisiert, wertgeschätzt? In: Arbeit, Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. (im Erscheinen).

2.3.3. Diskussion und Ausblick

Der Kompass Agilität erfasst den Ist-Stand agilen Arbeitens sowie die Perspektive der Beschäftigten auf die Umsetzung des agilen Arbeitens in ihren Unternehmen. Der Kompass Agilität kann daher als Benchmark für die beteiligten Partnerunternehmen genutzt werden, um den Ist-Stand und die Umsetzung agilen Arbeitens mit den eigenen Zielen und Erwartungen abzugleichen. Außerdem stellt der Kompass Agilität eine Evaluation der Nachhaltigkeit und Effekte von Agilität hinsichtlich der Beschäftigten vor allem im Hinblick auf die Belastung, Qualifizierung und Arbeitserfahrung für die beteiligten Partnerunternehmen dar.

Darüber hinaus kann der Kompass Agilität als Reflexionsfolie für erste Schritte bei der Umsetzung von agilen Elementen verwendet werden, um beispielsweise mögliche Ziele, die durch agiles Arbeiten erreicht werden sollen, zu erarbeiten und mögliche Hemmnisse für agiles Arbeiten frühzeitig zu identifizieren und den Umgang mit diesen Hemmnissen zu planen.

Der Kompass Agilität stellt eine Momentaufnahme der Perspektive der Beschäftigten auf den Ist-Stand agilen Arbeitens in den jeweiligen Unternehmen dar. Agiles Arbeiten ist allerdings ein ständiger fortlaufender und sich entwickelnder Prozess. Die Entwicklung agilen Arbeitens muss daher fortlaufend evaluiert und in den Blick genommen werden. Von besonderer Wichtigkeit ist dabei die Frage wie sich agiles Arbeiten entwickelt, wenn Unternehmen vor wirtschaftlichen Herausforderungen stehen, die eine Neuverteilung der Prioritäten notwendig macht.

2.3.4. Literaturverzeichnis

- [AS24] ALBERT, A.; SAUER, S. (2024): Arbeit: Projektbasiert, selbstorganisiert, wertgeschätzt? In: Arbeit, Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. (im Erscheinen).
- [ANS+20] ATZBERGER, A.; NICKLAS, S. J.; SCHROF, J.; WEISS, S.; PAETZOLD, K. (2020): Agile Entwicklung physischer Produkte 2020. Eine Studie zum aktuellen Stand in der industriellen Praxis. Universität der Bundeswehr München. <https://doi.org/10.25368/2023.213>
- [Kli24] KLIPPERT, J. (2024): Advanced Systems Engineering: Transformation in den Entwicklungsabteilungen? In: WSI Mitteilungen, 77Jg., 2/2024, 143-148. <https://doi.org/10.5771/0342-300X-2024-2-143>
- [Kom20] KOMUS, A. (2020): Status Quo (scaled) Agile. <https://www.process-and-project.net/studien/studienunterseiten/status-quo-scaled-agile-2020/> (Zugriff 3.4.2024)
- [PAR+23] PFEIFFER, S.; ALBERT, B.; RÖBENACK, S.; TIHLARIK, A.; HEINZ, I.; BLINZLER, R. (2023): Kompass Agilität – Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung. Unv. Paper, Nürnberg.

- [RTA+24] RÖBENACK, S.; TIHLARIK, A.; ALBERT, B.; KLIPPERT, J.; BLINZLER, R.; PFEIFFER, S. (2024): Kollaboration im Engineering. Univ. Paper, Nürnberg.
- [RPB+23a] RÖBENACK, S.; PFEIFFER, S.; BLINZLER, R.; ALBERT, B.; TIHLARIK, A. (2023a): Agilität in der digitalisierten Arbeit – Definition und Operationalisierung. Univ. Paper, Nürnberg.
- [RPB+23b] RÖBENACK, S.; PFEIFFER, S.; BLINZLER, R.; TIHLARIK, A.; ALBERT, B. (2023b): Anforderungen an Agilität und Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse – Befunde aus den Interviews mit Expert*innen. Univ. Paper, Nürnberg.

2.4. Kollaborationsmodell

2.4.1. Einleitung

2.4.1.1. Zielsetzung

Das arbeitssoziologische Kollaborationsmodell (s. [RTA+24]) dient als Werkzeug, um kollaborative Arbeitsweisen zu reflektieren und Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Teams und Gruppen im Engineering haben hiermit die Möglichkeit, ihre Zusammenarbeit systematisch zu analysieren und zu bewerten. Mithilfe des Modells können Teams die verschiedenen Aspekte der Zusammenarbeit betrachten, potenzielle Verbesserungsmöglichkeiten identifizieren und erste Ansätze für Veränderungen entwickeln. Das Modell dient somit in erster Linie als Hilfsmittel, um die eigene Kollaboration im Unternehmen zu reflektieren, zu hinterfragen und die einzelnen Prozessschritte genauer zu betrachten, um anhand dieser eine Einordnung der vorhandenen Kollaborationskonfiguration vorzunehmen. Somit fungiert das Modell als Ausgangspunkt für weitere Bearbeitungsschritte im Sinne einer Verbesserung der Kollaboration.

Weitere Informationen	Wiki: Arbeitssoziologisches Kollaborationsmodell: https://websites.fraunhofer.de/mo-sys/index.php/Arbeitssoziologisches_Kollaborationsmodell Digitaler Anhang: • Kollaboration im Engineering.pdf

2.4.1.2. Einordnung in MoSyS

Das arbeitssoziologische Kollaborationsmodell stellt eine bedeutende Ergänzung zu allen anderen Arbeitspaketen dar, indem es einen Leitfaden bietet, wie die Zusammenarbeit speziell im Bereich des Engineerings betrachtet, analysiert und verbessert werden kann. Es fungiert als Orientierungshilfe, um die Dynamik der Zusammenarbeit zu verstehen und gezielte Verbesserungen zu fördern.

2.4.1.3. Vorgehen

Durch die Analyse des Datenmaterials bestehend aus qualitativen Expert*inneninterviews und einer quantitativen Beschäftigten-Befragungen mit 1.502 Teilnahmen, wurden Muster und Paradigmen in der Zusammenarbeit im Engineering identifiziert. Ergänzend dazu wurden Beschäftigtenworkshops durchgeführt, um direktes Feedback dieser einzubinden und die Erkenntnisse zu vertiefen und zu ergänzen. In mehreren iterativen Analyseschritten wurde das Datenmaterial gesichtet, analysiert und letztendlich zum arbeitssoziologischen Kollaborationsmodell verdichtet.

2.4.2. Hauptteil

2.4.2.1. Definitionen

Die **betriebliche Sozialordnung** nimmt Einfluss auf fast alle Faktoren der Kollaboration (um dies zu verdeutlichen wird sie im Modell als Hintergrund dargestellt, s. Bild 2-17). Sie bedingt zum einen wie externe Einflussfaktoren gefiltert werden und in endogene übersetzt werden, wirkt auf die Entstehung der Kollaborations-Problemfelder ein sowie auch auf die Nebenfolgen. Zum anderen gestaltet die betriebliche Sozialordnung die Optionen in welchem Rahmen es Beschäftigten möglich ist, die zuvor genannten Problemfelder zu bewältigen und Kompensationsstrategien zu entwickeln. Auf die daraus entstehenden Folgen für Externe wie z.B. andere Unternehmen aber auch auf nicht-intendierte Nebenfolgen wirkt die betriebliche Sozialordnung lediglich partiell ein.

Die **Einfluss-Faktoren** (ganz links in Bild 2-17), die zunächst einige Anforderungen in den gesamten Kollaborationsprozess vorgeben, werden zwischen exogenen und endogenen Faktoren unterschieden. *Exogene Faktoren* werden von der Umwelt der Unternehmen vorgegeben und sind so nicht beeinflussbar. Diese werden daraufhin für das jeweilige Unternehmen unter Zuhilfenahme der betrieblichen Sozialordnung gefiltert, um so die konkreten Anforderungen unter dem Licht der *endogenen Einflussfaktoren*, bedingt durch die Unternehmensstrukturen, zu übersetzen.

Kollaborationsproblemfelder:

Information/Transparenz: Es konnten über die Unternehmen hinweg drei Kollaborationsfelder identifiziert werden. Im Bereich der Informationsverbreitung sowie der Transparenz der Informationen wurde in den Beschäftigten-Workshops deutlich, dass der Fluss von Informationen oft nicht den Anforderungen der Beschäftigten entspricht. Dies kann verschiedene Formen annehmen: So kann beispielsweise keinerlei Informationsfluss an den Schnittstellen im Prozess stattfinden, aber auch ein partieller Fluss von Informationen sowie Fehlinformationen oder nicht relevante Informationen, die weitergegeben werden, ist möglich. Ein zudem wichtiger Punkt hinsichtlich der Informationen ist die Transparenz hinter diesen. So ist es für am Prozess Beteiligte oftmals von immenser Bedeutung hinsichtlich des eigenen Verständnisses, Entscheidungsgrundlagen nachvollziehbar dargelegt zu bekommen. Sei es, warum ein Projekt nun nicht fortgeführt wird oder weshalb sich vorherige Anforderungen plötzlich verändert haben. Diese Transparenz hinter Informationen, aus welchen Gründen sich wie auch immer entschieden wurde, schafft eine Basis bei Beschäftigten, welche auf deren individuelle Motivation aber auch auf das Vertrauensverhältnis gegenüber anderen Beschäftigten und dem Unternehmen selbst positiv wirken kann.

Abstimmung: In den untersuchten Unternehmen finden sich diverse Abstimmungsprobleme, sodass sowohl zu wenig als auch zu viel Abstimmung auftreten kann. Zu wenig Abstimmung zwischen Teams kann zu Problemen bei der Produktentwicklung führen, während hingegen zu viel Abstimmung die Folge nach sich ziehen kann, dass Beschäftigte mit (ir)relevanten Informationen überflutet werden. Zudem konnte eine mangelnde Synchronisation an den Schnittstellen zwischen Teams und Abteilungen festgestellt werden, welche Leerlauf und Frustration verursacht. Viele der untersuchten Unternehmen haben keine formal dokumentierten Prozesse für die Zusammenarbeit, was zu informellen Abstimmungen führt, die jedoch nicht immer ausreichend sind.

Verständigung/Austausch: Da das Feld rund um Engineering geprägt ist durch den Einbezug verschiedenster Disziplinen, welche an einem Produkt zusammenarbeiten, ergeben sich an den Schnittstellen der Kollaboration Probleme, welche sich auf die Verständigung untereinander sowie den Austausch beziehen. *Verständigung* beschreibt die Problematik, dass unter den verschiedenen Disziplinen nicht zwingend eine Sprache genutzt wird, welche für alle Beteiligten dasselbe beschreibt. So kann es passieren, dass eine Begrifflichkeit in zwei Abteilungen anders ausgelegt wird, was dazu führt, dass in der Kommunikation nicht über das Gleiche gesprochen wird, selbst wenn der gleiche Begriff genutzt wird. Diese nicht eindeutige oder gar Fehl-Kommunikation kann somit auf die Kollaboration und die Umsetzung von Aufgaben Einfluss haben und zu Missverständnissen führen, die sich wiederum auf die Produktion erstrecken können. Entsprechend können Fehler passieren, welche zu Fehlproduktionen führen, Stress und Zeitnot in Abteilungen verursachen und die Motivation der Beschäftigten sowie die Produktqualität beeinflussen.

Sogenannte **individuelle und kollektive Bewältigungs- und Kompensationsmuster** spielen eine wichtige Rolle, um die Zusammenarbeit in den untersuchten Unternehmen überhaupt zu ermöglichen. Ein Bewältigungsmuster umfasst die informelle Selbstorganisation, die oft geduldet wird und sich durch eine gewisse *Loyalität* gegenüber dem Arbeitgeber auszeichnet. Ein weiteres Muster ist der Rückzug, der latent stattfindet und eine Form des *Exit* darstellt. Zudem zeigt sich als ein Muster, um

Probleme in der Kollaboration zu bewältigen, die Eskalation nach oben bzw. das äußern von Widerstand, was als *Voice* bezeichnet wird. Diese drei gefundenen Muster zeigen, wie Mitarbeiter individuell oder gemeinsam mit Herausforderungen und Kollaborationsproblemen in Unternehmen umgehen.

2.4.2.2. Ergebnisse

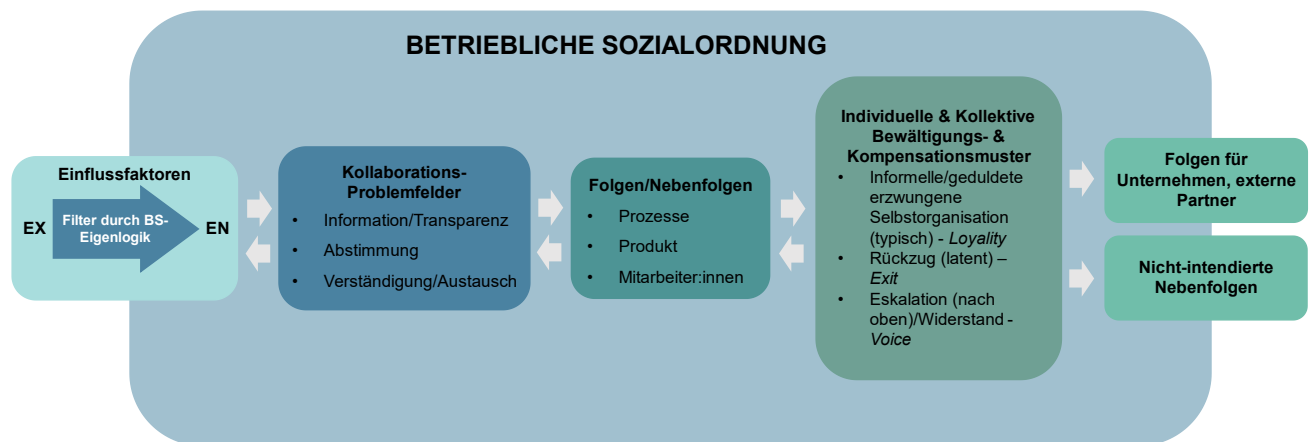


Bild 2-17: Kollaborationsmodell

Das Arbeitssoziologische Kollaborationsmodell (Bild 2-17) bietet eine strukturierte Heuristik, um die Zusammenarbeit in Organisationen tiefergehend zu betrachten, um so potentielle bzw. bestehende Problemfelder zu identifizieren und in ihrer Wirkung genauer zu analysieren. Die visuelle Darstellung des Modells hilft dabei, die verschiedenen Elemente der Zusammenarbeit und ihre Verbindungen untereinander genauer zu erfassen. Somit dient das arbeitssoziologische Kollaborationsmodell als eine Art Leitfaden und hilft den Beteiligten, die stattfindende Kollaboration besser verständlich zu machen.

Jeder Schritt des kollaborativen Prozesses wird im arbeitssoziologischen Kollaborationsmodell visuell dargestellt und mit Erläuterungen versehen, um zu erklären, was dahintersteckt und welche Punkte bzw. Charakteristika zu beachten sind. Das Modell eignet sich besonders als Unterstützung und Hilfsmittel, sodass es beispielsweise in Workshops mit Beschäftigten zur Analyse der Zusammenarbeit herangezogen werden kann. Hier können die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Feedback zu einzelnen Stufen der Kollaboration geben und ihre individuellen Erfahrungen miteinander teilen, um gemeinsam herauszuarbeiten, welche Bereiche in der Zusammenarbeit möglicherweise verbessert werden müssen. Es ist wichtig, dass innerhalb dieser Workshops ein offener aber gleichzeitig anonymer Dialog gefördert wird und dass die Ergebnisse konstruktiv genutzt werden, um kontinuierliche Verbesserungen vorzunehmen.

Durch eine bildliche Darstellung, klare Schritte mit Erläuterungen und die Analyse in Workshops mit Beschäftigten können Organisationen die Wirksamkeit des Modells maximieren und eine produktive und belastungsarme Arbeitsumgebung fördern. Je nach Feld bietet das Modell unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten und kann entsprechend individuell angepasst und genutzt werden.

Weitere Informationen	Wiki: Arbeitssoziologisches Kollaborationsmodell: https://websites.fraunhofer.de/mo-sys/index.php/Arbeitssoziologisches_Kollaborationsmodell Digitaler Anhang: • Kompass Agilität.pdf • Definition und Operationalisierung Agilität.pdf

- [Anforderungen und Bestandsaufnahme Agilität Thesen.pdf](#)
- [Kollaboration im Engineering.pdf](#)

2.4.3. Diskussion und Ausblick

Das Arbeitssoziologische Kollaborationsmodell bietet einen vielversprechenden Ausblick für die Anwendung in Bereichen, in denen Probleme bestehen und Veränderungsprozesse erforderlich sind. Durch die Integration dieses Modells können Organisationen effektivere Kollaborationsstrukturen schaffen und den Herausforderungen des Wandels besser begegnen. Insbesondere in Zeiten von Veränderungen und Umstrukturierungen kann das Modell dazu beitragen, Widerstand zu minimieren und die Akzeptanz neuer Arbeitsweisen zu fördern.

Darüber hinaus ist es entscheidend, die Nachhaltigkeit und die Auswirkungen von Agilität auf die Beschäftigten zu evaluieren, insbesondere im Hinblick auf Belastung, Qualifizierung und Arbeitserfahrung. Durch eine kontinuierliche Bewertung können Organisationen sicherstellen, dass die Implementierung des kollaborativen Modells nicht zu übermäßigem Stress oder Überlastung führt. Gleichzeitig ermöglicht es eine gezielte Qualifizierung und Entwicklung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, um ihre Fähigkeiten und ihr Engagement zu stärken. Die Arbeitserfahrung kann durch die Anwendung des Modells verbessert werden, indem sie eine unterstützende und dynamische Umgebung schafft, die das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten fördert.

Insgesamt bietet das Arbeitssoziologische Kollaborationsmodell vielversprechende Möglichkeiten für die Bewältigung von Herausforderungen und die Schaffung einer positiven Arbeitsumgebung, die die Bedürfnisse der Beschäftigten berücksichtigt und langfristig erfolgreiche Zusammenarbeit fördert.

Weitere Informationen	Wiki: Arbeitssoziologisches Kollaborationsmodell: https://websites.fraunhofer.de/mo-sys/index.php/Arbeitssoziologisches_Kollaborationsmodell Digitaler Anhang: • Kompass Agilität.pdf • Definition und Operationalisierung Agilität.pdf • Anforderungen und Bestandsaufnahme Agilität Thesen.pdf • Kollaboration im Engineering.pdf Wissensnuggets: • Anforderungen an Agilität & Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse • Definition und Operationalisierung von Agilität • Kompass Agilität • Definition Arbeitskonflikte bei agilem SE und Handlungsempfehlungen • Evaluationssystematik Qualität von Partizipationsprozessen und Aufgaben von Betriebsräten • Richtlinien zur Arbeitssystemgestaltung • Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse Veröffentlichungen: [AS24] ALBERT, A.; SAUER, S. (2024): Arbeit: Projektbasiert, selbstorganisiert, wertgeschätzt? In: Arbeit, Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. (im Erscheinen).

	[HRF+21] HEIMICKE, J.; ROEBENACK, S.; FROBIETER, C.; THILARIK, A.; ALBERT, B.; BRAMATO, L.; MANDEL, C.; BEHRENDT, M.; ALBERS, A. (2021): Evaluation of Challenges in the Implementation of Scrum in a large German Plant Engineering Company: Derivation of Hypotheses for an Improved Introduction of Agile Approaches into the Processes of Physical Product Development. R&D Management Conference. University of Strathclyde. Glasgow. http://dx.doi.org/10.5445/IR/1000135429 [Kli24] KLIPPERT, J. (2024): Advanced Systems Engineering: Transformation in den Entwicklungsabteilungen? In: WSI Mitteilungen, 77Jg., 2/2024, 143-148. https://doi.org/10.5771/0342-300X-2024-2-143 [NRS+23] NICKLICH, M.; RÖBENACK, S.; SAUER, S.; SCHREYER, J.; TIHLARIK, A. (2023). Qualitative Sozialforschung auf Distanz. Das Interview im Zeitalter seiner virtuellen Durchführbarkeit. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 24(1), Art. 15, http://dx.doi.org/10.17169/fqs-24.1.4010 [TAB+24] TIHLARIK, A.; ALBERT, B.; BLINZLER, R.; RÖBENACK, S. (2024): Mixed-methods Analysis of AI technology usage in German engineering: quantitative and qualitative perspectives from the viewpoint of employees. (im Erscheinen) [Tih24] TIHLARIK, A. (2024): Evaluation of the use of AI technologies in German engineering: insights from the employee perspective, Discover Global Society. (im Erscheinen)

2.4.4. Literaturverzeichnis

- [AS24] ALBERT, A.; SAUER, S. (2024): Arbeit: Projektbasiert, selbstorganisiert, wertgeschätzt? In: Arbeit, Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. (im Erscheinen).
- [PAR+23] PFEIFFER, S.; ALBERT, B.; RÖBENACK, S.; TIHLARIK, A.; HEINZ, I.; BLINZLER, R. (2023): Kompass Agilität – Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung. Unv. Paper, Nürnberg.
- [RTA+24] RÖBENACK, S.; TIHLARIK, A.; ALBERT, B.; KLIPPERT, J.; BLINZLER, R.; PFEIFFER, S. (2024): Kollaboration im Engineering. Unv. Paper, Nürnberg.
- [RPB+23a] RÖBENACK, S.; PFEIFFER, S.; BLINZLER, R.; ALBERT, B.; TIHLARIK, A. (2023a): Agilität in der digitalisierten Arbeit – Definition und Operationalisierung. Unv. Paper, Nürnberg.
- [RPB+23b] RÖBENACK, S.; PFEIFFER, S.; BLINZLER, R.; TIHLARIK, A.; ALBERT, B. (2023b): Anforderungen an Agilität und Bestandsaufnahme der Umsetzung agiler Prozesse – Befunde aus den Interviews mit Expert*innen. Unv. Paper, Nürnberg.

2.5. Definition Arbeitskonflikte bei agilem SE und Handlungsempfehlungen

2.5.1. Einleitung

2.5.1.1. Zielsetzung

Arbeitsbeziehungen sind auch durch Spannungen zwischen den Akteur:innen gekennzeichnet. Diese Spannungen zwischen Beschäftigten untereinander sowie zwischen Beschäftigten und Vorgesetzten können die Kollaboration belasten. Mit „Spannungen“ verbinden wir vermutlich alle intuitiv eine subjektive Vorstellung. Um über den Austausch subjektiver Vorstellungen hinaus zu gelangen, soll im Folgenden ein Begriff erarbeitet werden, mit dem das Phänomen eindeutiger gefasst werden kann. Durch die Systematisierung in Form von Konfliktfeldern legen wir die Grundlage für eine betriebliche Bearbeitung von Arbeitskonflikten jenseits des Einzelfalles. Abschließend geben wir Handlungsempfehlungen für die betriebliche Konfliktlösung. Diese können Betriebsräte, Manager sowie Promotor:innen agiler Prozesse (agile Coaches, Scrum Master, Product Owner u.a.) und natürlich Beschäftigte in agilen Teams für ihre betriebliche Praxis nutzen.

2.5.1.2. Einordnung in MoSyS

Dieses Wissensnugget liefert die Gewerkschafts- und Betriebsratsperspektive zur Kollaboration im agilen Systems Engineering und trägt damit zum AP 1 Kollaboration bei. Weiterhin liefert es Beiträge zum AP 7 Veränderungsmanagement – Agile SE-Organisation sowie zum AP 2 SoS-Engineering und zum AP 5 KI-unterstütztes Engineering aus der Perspektive von Betriebsräten und Gewerkschaften.

2.5.1.3. Vorgehen

Zur Begriffsbildung greifen wir auf Arbeiten zu Arbeitskonflikten zurück. Einmal grundlegend [Hei14] und anschließend fokussierter auf Arbeitskonflikte bei Digitalisierungsprozessen [RCK+21]. Im letztgenannten Werk ziehen wir die dort beschriebenen empirische Erkenntnisse zu Konflikten bei der Agilisierung von Arbeit [RCK+21] heran und stellen ergänzend unsere eigenen empirischen Erkenntnisse zu Agilisierungskonflikten vor, die im Rahmen des Projektes MoSyS gewonnen wurden. Aus den empirischen Erkenntnissen arbeiten wir dann Konfliktfelder beim agilen Systems Engineering (SE) heraus, um die beobachteten Konflikte zu systematisieren.

Das Wissensnugget basiert auf Erkenntnissen, die durch empirische Erhebungen bei Betriebsräten und durch Workshops mit Betriebsratsmitgliedern und hauptamtlichen Beschäftigten der IG Metall gewonnen wurden (Details zur Methode: [KJ22]).

2.5.2. Hauptteil

2.5.2.1. Definitionen

2.5.2.1.1. Warum die Beschäftigung mit Konflikten?

Wenn agile Arbeitsformen in Betrieben umgesetzt sind, beobachten wir in unserer gewerkschaftlichen Praxis vielfältige Formen und Ausprägungen von Spannungen zwischen den beteiligten Akteuren im Betrieb. Wir nutzten die Ressourcen des Projektes MoSyS, um dieser Beobachtung vertieft nachzugehen und diese alltäglichen Beobachtungen zu systematisieren. Gewerkschaften und BR wird in der öffentlichen Debatte gelegentlich unterstellt, sie hätten Freude am Konflikt. Konflikt wird in solchen Zusammenhängen meist negativ konnotiert. Es ist nicht die Freude am Konflikt, die uns dazu bewegt, das Thema im Rahmen des Projektes MoSyS intensiver zu bearbeiten. Es ist vielmehr die Erkenntnis aus empirischer arbeitswissenschaftlicher Forschung, dass jeder technisch-organisatorische Wandel prinzipiell mit Konflikten verbunden ist. Zudem sind Konflikte nicht als per se negativ aufzufassen, denn sie können durchaus produktive und integrative Wirkungen entfalten, wenn sie in konstruktiver

Weise ausgetragen werden [RCK+21]. In Deutschland sind Arbeit, Arbeitsbeziehungen und Arbeitskonflikte institutionalisiert und verrechtlicht. Dadurch weisen Konflikt- und Aushandlungskonstellationen u. a. auf betrieblicher Ebene spezifische Formen auf, die genutzt werden können, um aus Konflikten heraus konstruktive Dynamiken zu entwickeln. [RCK+21] Die mit Advanced Systems Engineering angestrebten Veränderungen des Engineerings fassen wir als einen technisch-organisatorischen Veränderungsprozess auf. Verschiedenste betriebliche Akteure treiben im Zusammenwirken strategischen wie situativen Handelns die Veränderungen voran und versuchen ihre Vorstellungen und Interessen durchzusetzen. Neben den organisationalen Veränderungen sind digitale Technologien entscheidend für den Prozess, denn sie prägen die Strukturen, welche das durch Aufbau- und Ablauforganisation definierte Handeln zugleich ermöglichen und begrenzen. Digitale Technologien werden daher bei unseren Betrachtungen stets zusammen mit den damit verbundenen Strategien und Praktiken der sie entwickelnden und anwendenden Akteure gedacht [RCK+21] Wir halten dies für wichtig, weil dieses Zusammenwirken von technischen und organisationalen Logiken Quelle für Konflikte sein kann. Doch dazu später (Kap. 2.2) mehr, nachdem wir den Begriff Arbeitskonflikte konkretisiert haben. Festzuhalten ist an dieser Stelle, dass Konflikte bei technisch-organisatorischen Veränderungen im System der deutschen Arbeitsbeziehungen auf betrieblicher Ebene spezifische Formen von Aushandlungskonstellationen aufweisen, die bei der betrieblichen Umsetzung von Advanced Systems Engineering zur Entfaltung konstruktiver Dynamiken genutzt werden können.

2.5.2.1.2. Arbeitskonflikte

In der arbeitswissenschaftlichen Forschung wird das, was wir im ersten Zugriff „Spannungen“ genannt haben, unter dem Begriff „Arbeitskonflikte“ diskutiert [Hei14]; [RCK+21]. Arbeitskonflikte [Hei14] werden arbeitssoziologisch als Interessenkonflikte betrachtet, die auf die unterschiedlichen Interessen von Kapital und Arbeit zurückzuführen sind und sich in Arbeitsbedingungen manifestieren. Die industriesoziologische Forschung der 1970er Jahre verwendete einen Begriff des Arbeitskonflikts im Sinne eines gesellschaftlichen Konflikts, der mit hoher Intensität entlang des Antagonismus Kapital und Arbeit ausgetragen wurde und in der Regel mit kollektiven Arbeitskampfmaßnahmen wie Streik und Aussperrung geführt wurde. (vgl. [RCK+21] Das soziale Phänomen Konflikt ist wesentlich weiter gefasst als Arbeitskonflikte und im Alltag ist davon auszugehen, dass sich Arbeitskonflikte mit weiteren Konflikten mischen. Zudem ist schwer zu bestimmen, wo Konflikte beginnen und wo sie enden. Diese Frage ist schwer hinreichend zu beantworten, weil Konflikte eine subjektive Dimension aufweisen, denn sie beruhen auf Erwartungen der beteiligten Akteure. Konflikte entstehen, wenn mindestens zwei unvereinbare Erwartungen manifest aufeinandertreffen. Ob dies der Fall ist, entscheiden die beteiligten Akteure selbst. Dies geschieht im Alltag jedoch meist nicht bewusst. So ist es denkbar, dass Personen unter Bedingungen zusammenarbeiten, die von Außenstehenden als konfliktär betrachtet würden, ohne dass dies von den Beteiligten als Konflikt erlebt wird. Eine solche Situation kann als latenter Konflikt bezeichnet werden. (vgl. [Hei14]) Ein Arbeitskonflikt liegt vor, wenn [Hei14]:

- eine - zu bestimmende - Gegensätzlichkeit vorliegt,
- der Menschen in der Arbeit begegnet,
- die gesellschaftlich verursacht ist und somit einen sozialen Konflikt darstellt und
- die manifest ist, d. h. den handelnden Akteuren bewusst ist.

Wir betrachten Konflikt als eine handlungstheoretische Kategorie, die mit Akteuren und deren Wahrnehmen und Handeln verbunden ist. Die Akteure entscheiden, ob aus einem latenten Konflikt ein manifester Konflikt wird und ob dieser durch individualisiertes oder kollektives Interessenhandeln bearbeitet wird. [RCK+21]

Die für Arbeitskonflikte charakteristische Gegensätzlichkeit ist gekennzeichnet durch das vom Management vertretene Interesse der Sicherung von Renditezielen, der Geltendmachung von Renditeerwartungen und der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit einerseits. Auf der Gegenseite stehen die Interessen der Beschäftigten, konkret Reproduktions- und Autonomieinteressen, deren Ansprüche an Arbeit und Reproduktion. Diese Widerspruchskonstellation beinhaltet auch Interessenüberschneidungen, denn das Reproduktionsinteresse der Beschäftigten umfasst auch die Beschäftigungssicherung und damit die (langfristige) Absicherung des Betriebs im wirtschaftlichen Wettbewerb. Die Gegensätzlichkeit der Interessen von Management und Beschäftigten, die in Form von Arbeitskonflikten zu Tage treten kann, ist in Deutschland institutionalisiert. Die wesentlichen Institutionen sind die Arbeitsbeziehungen (oder auch industriellen Beziehungen) und das Arbeitsrecht, auf dem diese basieren. Die Arbeitsbeziehungen sind dynamisch und somit Ergebnis von Kompromissbildungen vorangegangener gesellschaftlicher Auseinandersetzungen. (vgl. [RCK+21])

Kennzeichen der Institutionalisierung von Arbeitsbeziehungen in Deutschland ist das duale System von Tarifautonomie und Betriebsverfassung. Dadurch werden zwei Konfliktarenen definiert. Das sorgt dafür, dass Verteilungskonflikte (beispielsweise um Geld und Zeit) aus dem betrieblichen Alltagshandeln herausgehalten werden. Dies ist eine Arena, in der sich Gewerkschaften und Arbeitgeberverbände gegenüberstehen. In der betrieblichen Arena, die durch das Betriebsverfassungsgesetz festgelegt ist, stehen sich Betriebsrat und Management gegenüber. Der Begriff „Arena“ markiert jeweils ein „komplexes Institutionensystem, das festlegt, welche Formen, Interessen und Akteure zugelassen sind“ und „ein abgegrenztes Konfliktfeld, das den Akteuren für die Lösung spezifizierter Probleme Handlungsmöglichkeiten – mit definierten Grenzen – einräumt“ [Mul96]

Bei unserer Betrachtung fokussieren wir auf die betriebliche Arena, weil die Arbeitskonflikte, zu denen uns empirische Befunde vorliegen, ausschließlich im Betrieb ausgetragen wurden.

2.5.2.1.3. Interessenhandeln

Individuelles Interessenhandeln

Die Berufe in den von uns betrachteten Fällen reichen von Ingenieur: innen verschiedener Fachrichtungen über die Naturwissenschaften bis hin zur Informatik sowie den Wirtschaftswissenschaften. Diese Berufe von Personen mit meist akademischer Ausbildung fassen wir unter dem Begriff „Hochqualifizierte“ zusammen [Kot16a] Die Qualität der Arbeitsbedingungen von Hochqualifizierten wird in der Arbeitsforschung als sehr privilegiert beschrieben: hohe Entgelte, große Arbeitsplatzsicherheit, interessante Arbeit, hohe Autonomiespielräume und beste Karrierechancen. Die betriebliche Sozialordnung ist durch eine Vertrauenskultur gekennzeichnet. Konflikte werden im Normalfall individuell durch Gespräche mit den Vorgesetzten geregelt. Den Betriebsrat (BR) oder andere Institutionen hinzuzuziehen, wird als Vertrauensbruch betrachtet. Es besteht eine große Distanz zur Gewerkschaft und zum BR. Hochqualifizierte sehen sich – entgegen ihres objektiven Status – nicht als abhängig Beschäftigte, sondern denken oft wie Unternehmer. Sie grenzen sich in der Hierarchie nach unten gegenüber Tarifangestellten und Arbeitern ab und orientieren sich eher nach „oben“, in Richtung Geschäftsleitung. Hochqualifizierte sehen sich meist als „beitragsorientierte Leistungsträger“, die sich mit dem Betrieb identifizieren und einen Beitrag zum wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens leisten wollen. Empirische Studien unter Beschäftigten in der IT-Industrie berichten von ähnlicher, stark ausgeprägter Beitragsorientierung und großer Distanz zu Gewerkschaft und Betriebsrat, wie in der Old-Economy [Kot16]. Die Erfahrungen der IG Metall mit hochqualifizierten Beschäftigten weisen oft in eine andere Richtung. Vielen Hochqualifizierten in den von uns betreuten Betrieben ist durchaus bewusst, dass sie als Angestellte abhängig Beschäftigte sind und sie sehen den BR und Gewerkschaften als ihre Interessenvertretung an.

Kollektives Interessenhandeln

Arbeitsbeziehungen sind neben dem individuellen Interessenhandeln auch durch kollektive Formen der Artikulation und Durchsetzung von Interessen gekennzeichnet.¹ Gewerkschaften sind üblicherweise Organisationen, die sich kollektives Interessenhandeln auf die Fahnen geschrieben haben. Im internationalen Vergleich zeigt sich in Deutschland eine Sondersituation der Arbeitsbeziehungen. In den Betrieben agieren BR als kollektive Interessenvertretungen und auf überbetrieblicher Ebene sind Gewerkschaften als Institutionen des kollektiven Interessenhandelns präsent, wenn es beispielsweise um die Durchsetzungen von Lohnerhöhungen geht. In Deutschland wird daher von einem dualen System der Arbeitsbeziehungen gesprochen. [Wir21]

Der Sozialcharaktertypus des beitragsorientierten Leistungsträgers weist ein angespanntes Verhältnis zu Gewerkschaften und Betriebsräten auf, das nicht ohne Folgen für die Arbeit der repräsentativen Mitbestimmung im Betrieb bleibt [Kot96] [Kot16b].

2.5.2.1.4. Erstes Fazit und Fragestellungen

Zusammenfassend lässt sich Folgendes sagen: Wir können nur manifeste Konflikte betrachten, die von den Akteur: innen formuliert werden. Daran schließen sich zwei Fragen an: Welche Erkenntnisse aus der Arbeitsforschung liegen dazu vor? Welche Aussagen dazu können wir aus unserem empirischen Material gewinnen?

Uns interessiert das individuelle Konflikthandeln. Wie gehen die Akteur: innen mit den Konflikten um? An wen werden Konflikte adressiert? Dann betrachten wir Formen des kollektiven Konflikthandelns. Was berichten die befragten Betriebsratsgremien dazu? Welche Rolle spielen Betriebsräte (BR) bei den Arbeitskonflikten der hochqualifizierten Beschäftigten im Engineering? Übt der BR eine Repräsentationsfunktion der Beschäftigten aus und kann er als Schnittstelle zwischen individuellem und kollektivem Konflikthandeln fungieren? Dies werden wir ebenfalls anhand vorliegender Erkenntnisse der Arbeitsforschung und unseres eigenen empirischen Materials beantworten.

2.5.2.2. Ergebnisse

2.5.2.2.1. Vorliegende empirische Erkenntnisse

Auf der Basis von qualitativen empirischen Erhebungen in Großunternehmen der Metall- und Chemieindustrie, der Versicherungsbranche und in Pilotbereichen einzelner Stadtverwaltungen, in denen agile Arbeitsformen und Unternehmensprozesse vonseiten des Managements vorangetrieben werden, identifizieren Rüb et al. [RCK+21] vier Konfliktlinien in Verbindung mit Agilisierung:

1. Transplantation von - mitbestimmungsfreien - Startup-Kulturen in bestehende Unternehmenskulturen, in denen Rolle von Betriebsrat und Tarifvertrag anerkannt ist.
2. Kluft zwischen Konzept und tatsächlicher Umsetzung agiler Arbeitsformen, die zu Blockaden und Konflikten führen kann.
3. Agile Innovationsprozesse geraten in Konflikt mit den geregelten Beteiligungsverfahren des Betriebsrats und zugleich kommt die Repräsentationsfunktion des Betriebsrats unter Druck.
4. Agile Arbeitsformen, die sich in neuen Bürokonzepten materialisieren, werden als Privilegien hochqualifizierter Angestellter erlebt, was andere Beschäftigtengruppen benachteiligt, weil sie diese nicht in Anspruch nehmen können.

Eine dieser Konfliktlinien taucht in den Befunden unserer im Rahmen von MoSyS durchgeführten empirischen Gruppeninterviews mit Betriebsräten ebenfalls auf: Wir können die Kluft zwischen Konzept und tatsächlicher Umsetzung agiler Arbeitsformen bestätigen. Der Punkt drei taucht in unseren

¹ Der Aspekt des kollektiven Interessenhandelns wird noch detaillierter im Wissensnugget 6 behandelt.

Fallstudien am Rande auf. Das Verhältnis von selbstorganisierter Arbeit zur Institution BR ist spannungsgeladen. Teams legen beispielsweise selbstorganisiert ihre Arbeitszeiten und -mengen fest. Damit sind Regelungsbereiche des BR berührt. Arbeitszeitregelungen sind aus Sicht des Gesundheitsschutzes ein Thema, bei dem BR für Regelungen sorgen, um Gefährdungen der Gesundheit beispielsweise durch überlange Arbeitszeiten zu verhindern.

Bei Rüb et al. [RCK+21] ist unter Punkt drei auch die Art im Fokus, wie viele technische-organisatorische Veränderungen - also die digitale Transformation selbst - meist ablaufen. Das Management strebt meist agile und ergebnisoffene Veränderungsprozesse an. Die etablierten Verfahren der betrieblichen Mitbestimmung des technisch-organisatorischen Wandels sind eher auf Veränderungsprozesse mit vorab klar definierten Zielen ausgerichtet. Die Mitbestimmungsprozesse sind durch formale Verhandlungen mit Vertreter: innen des Managements und darauffolgende Gremienbeschlüsse ausgerichtet. Durch die neuen Formen von Veränderungsprozesse sehen sich Betriebsräte zunehmend gezwungen ihre Rolle neu zu definieren: weg von formalen Mitbestimmungsverfahren hin zur direkten und langfristigen Beteiligung von Betriebsratsmitgliedern an den Projektgruppen und Mitarbeit in Workshops, in denen die technisch-organisatorische Veränderungsprojekte konzipiert, diskutiert und vorangetrieben werden. Diese Entwicklungen schwingen in unseren Interviews mit, sind jedoch nicht expliziter Inhalt der Interviews gewesen. Somit können wir diese Aspekte lediglich anreißen.

Zur ersten Konfliktlinie können wir keine Aussagen tätigen, weil dieser Fall in den von uns untersuchten Betrieben schlicht nicht gegeben war. Die Konfliktlinie vier, Kritik von gewerblich-technischen Beschäftigten an neuen Bürokonzepten als Privilegien hochqualifizierter Angestellter, wurde in unseren Befunden nicht bestätigt. Das kann damit zusammenhängen, dass wir unseren Fokus auf die Beschäftigtengruppe der Hochqualifizierten und auf deren Arbeitsorganisation gerichtet haben. Es ging bei unseren Interviews ausschließlich um die Situation von Hochqualifizierten, die in Entwicklungsprozessen beteiligt sind. Fragen nach neuen Bürokonzepten, wie sie unter den Schlagworten Shared Desk und New Work diskutiert werden, hätten unsere Interviews überfrachtet.

2.5.2.2.2. Unsere empirischen Erkenntnisse zu Konflikten bei Agilisierung

Umsetzung von Agilisierung im Betrieb

Wir stellen unsere empirischen Erkenntnisse anhand von drei ausgewählten Beispielen dar [Kli24]. Diese Beispiele orientieren sich an einer Typologie, die Erkenntnisse anderer Arbeitsforscher aus mehr als zehn Jahren empirischer Forschung und einer Vielzahl von Fallstudien zusammenfasst. Diese Befunde zeigen, dass die Erwartungen von Beschäftigten nach mehr Freiräumen und weniger bürokratischen Hemmnissen sehr unterschiedlich erfüllt werden [ZKL+20]. Es gibt Fälle, bei denen die betriebliche Umsetzung von Agilität nah am Konzept dran ist, wie es beispielsweise im Agilen Manifest [BBB+01] formuliert ist. In der Mehrzahl erleben Beschäftigte nur bedingt erweiterte Freiräume unter kaum verminderter bürokratischer Kontrolle („gebremste Agilität“) oder die Agilität gerät zur Farce („Agilität als Etikettenschwindel“).

Agilität als Etikettenschwindel

Bei unserem Beispiel für Agilität als Etikettenschwindel handelt es sich um einen Betrieb aus dem Maschinenbau. In diesem Fall war ein großer Anteil mechanischer Komponenten und weniger Softwarekomponenten zu entwickeln. Die Entwickler: innen wurden auf die Einführung von Scrum nicht gezielt vorbereitet und die Einführung wurde von der Geschäftsleitung Top-down angeordnet. Die Qualifizierung der Entwickler: innen erfolgte durch Tagesworkshops externer Berater: innen. Im laufenden Betrieb wurden keine weiteren formellen Beratungsangebote zur Umsetzung der Selbstorganisation angeboten. Die Betroffenen passten sich den Vorgaben der Geschäftsleitung an: Agile Rituale werden praktiziert, doch die Praxis entspricht weiter klassischem Projektmanagement mit vorab festgelegten Phasen. Die Beschäftigten befanden, dass diese Arbeitsweise besser zu ihren konkreten

Entwicklungsaufgaben passt. Agile Arbeitsformen scheinen nicht für alle Arbeitsaufgaben und -bereiche zu passen.

Dieses Beispiel zeigt, wenn agile Arbeitsformen inkonsequent eingeführt werden, dann werden ritualisierte Methoden als Zusatzbelastung empfunden. Die Beschäftigten bewältigen diese Zusatzbelastung durch eigene informelle Aktivität. Der BR wurde – zumindest formell – von den Beschäftigten dazu nicht konsultiert.

Gebremste Agilität

In unserem zweiten Fall passt agile Arbeit zu den Entwicklungsaufgaben der betroffenen Ingenieure und die Einführung wird von ihnen auch begrüßt. In dieser Fallstudie geht es um reine Softwareentwicklung. Dieser Fall ist ein Beispiel für gebremste Agilität und kommt ebenfalls aus der Maschinenbaubranche. Der Betrieb entwickelt die Software für mechatronische Systeme des Mutterunternehmens. Beschäftigt sind fast ausschließlich Softwareentwickler: innen, die den Impuls zur Einführung agiler Arbeit, der vom Top-Management kam, dankbar aufgegriffen hat, weil sie bisher stark hierarchisch arbeiteten und bürokratische Mechanismen beklagten, die sie mehrheitlich als Hemmnis für ihre Arbeit betrachteten. Zusammen mit dem BR, der ebenfalls fast ausschließlich aus Softwareentwickler: innen besteht, begrüßten sie die Top-down Initiative und brachten eigene Vorstellungen über selbstorganisierte Arbeit in die betriebliche Debatte ein, indem ein innerbetrieblicher Diskussionsprozess über den BR initiiert wurde. Zur Einführung agiler Arbeit wurden umfangreiche Schulungen angeboten und es wurden Scrum-Master zur Unterstützung der Teams ausgebildet. Die anfängliche Euphorie bei Beschäftigten und BR wegen der neuen Arbeitsweise wich bald einer Ernüchterung. Das mittlere Management war unzureichend auf die neue Rolle vorbereitet. Viele der Führungskräfte fürchteten durch agile Arbeit den Verlust ihrer Koordinationsaufgaben und ihres Status. In der Folge wurden agile Prinzipien wieder durch stärkere Kontrolle unterlaufen und die Führungskräfte begannen, Leistungsdruck auszuüben, indem beispielsweise nach den Sprints die abgearbeiteten Punkte aus dem Arbeitsvorrat gezählt und die Teams untereinander verglichen wurden.

In diesem Fall wurden die Führungskräfte darauf vorbereitet, dass sie für agile Arbeit eine neue Rolle einnehmen müssen: von „Command and Control“ zu „Responsible Autonomy“ [Fri77]. Waren sie bisher eher „Befehlshaber“ müssen sie bei agiler Arbeit zum „Coach“ des Teams werden. Die Tätigkeit des Vorgesetzten muss sich vom Erteilen von Anweisungen und dem Überwachen von deren Einhaltung wandeln zum Aufzeigen von Zielen und dem Motivieren, diese zu erreichen. Die Mehrzahl der Vorgesetzten in diesem Fallbeispiel findet sich nur schwer in ihre neue Rolle ein. Das führt zu der widersprüchlichen Situation, dass die Beschäftigten agil arbeiten wollen, die Vorgesetzte dies durch Kontrollverhalten jedoch blockieren.

Konsequente Agilität

Unser Beispiel für konsequente Agilität stammt aus der Branche Medizintechnik. Dort werden in Teams mechatronische Systeme und Software gemeinsam entwickelt. Der Impuls zur Einführung kam in diesem Fall von Entwickler: innen, die agile Arbeitsweise in anderen Betrieben kennengelernt hatten und sie fortführen wollten. Das Top-Management ließ die Bottom-up Initiative laufen und unterstützte sie zunächst im Rahmen vorhandener Ressourcen für Personal- und Organisationsentwicklung. Die Befürworter: innen von Agilität vernetzten sich im Betrieb und boten für interessierte Teams Beratung zu Agilität an.

Die Umstellung auf agile Arbeit erfolgt hier seitdem Bottom-Up: Entweder sind Teams unzufrieden mit ihrer Arbeitsweise oder die Führungskraft regt an, sich mit agilen Methoden zu beschäftigen. Nach einer Anfrage an das Netzwerk kommt ein agiler Coach zum Team. Diese/r ermittelt mit dem Team zusammen Bedarfe und schlägt agile Methoden vor. Das Team probiert die neuen Methoden anschließend aus und entscheidet, ob diese passen. Die Qualifizierung in diesem Fall wird wesentlich

über die Teams gesteuert: die Eigeninitiative der Teams löst den Lernprozess aus, die Lerninhalte werden zusammen mit dem agilen Coach erarbeitet. Die Teams finden im Rahmen ihrer täglichen Arbeit ihre spezifische Arbeitsweise.

Zwischenfazit

Zu unseren Fragen zum individuellen Konflikt handeln zeigen sich unterschiedliche Handlungsweisen der Beschäftigten. Beim Fall Agilität als Etikettenschwindel werden die Beschäftigten informell aktiv und behalten ihre gewohnte Arbeitsweise bei und erfüllen nach außen die Vorgaben des Managements, indem sie eine agile Fassade errichten. Der BR wird dabei nicht hinzugezogen, trotz der Präsenz einiger aus der Gruppe der Hochqualifizierten im Gremium. Beim Fall gebremste Agilität ist der BR in das Handeln der Beschäftigten involviert. Die Bedingungen dafür sind günstig, weil das Gremium zum großen Teil aus betroffenen Beschäftigten besteht. Über den BR erheben die Beschäftigten ihre Stimme, indem eigene Vorstellungen über selbstorganisierte Arbeit in den innerbetrieblichen Diskussionsprozess eingebracht werden. Im Fall konsequente Agilität ist der BR – höchst aufmerksamer – Beobachter der von den Beschäftigten Bottom-up entwickelten agilen Arbeitsformen. Weil einige BR-Mitglieder – darunter auch der Vorsitzende des Gremiums – aus der betroffenen Beschäftigtengruppe stammen, besteht ein direkter informeller Draht zum BR.

BR sind unterschiedlich involviert. Ein Faktor, der dies beeinflusst, scheint die Nähe der BR-Gremienmitglieder zur betroffenen Beschäftigtengruppe zu sein. Dies betrifft zum einen die Präsenz der betroffenen Beschäftigtengruppe im Gremium aber zum anderen auch die Bereitschaft, das Gremium, sich mit den Themen der Hochqualifizierten intensiv zu beschäftigen. Präsenz Hochqualifizierter im Gremium kann die aktive Befassung mit den Themen dieser Gruppe fördern, ist aber allein noch kein Garant für die intensiver Arbeit des BR an den Themen.

2.5.2.2.3. Partizipation des Betriebsrats (BR)

Betriebsratshandeln bei Agilisierung

In unserem Beispiel für Agilität als Etikettenschwindel war der Betriebsrat im Vorfeld über die Pläne zur Einführung von agiler Arbeit informiert. Das Management teilte mit, dass Scrum eingeführt werden soll und bot dem BR an, am Change-Prozess teilzunehmen. Der BR entsandte Vertreter:innen zu den Treffen, kam aber schnell zu dem Urteil, dass der Change-Prozess nicht gut organisiert ist. Der BR hatte den Eindruck, dass Scrum nicht konsequent umgesetzt wird und sich das Management nur einige Tools aus Scrum ausgewählt hatte, die in deren Vorstellungen der Prozessorganisation hineinpassten. In den Teams hing es stark von der Persönlichkeit des direkten Vorgesetzten ab, wie die Tools angewandt wurden und agile Arbeit umgesetzt wurde. Beschäftigte empfanden die agile Arbeitsweise oft als weitere Belastung, weil sie mit zusätzlichem Dokumentationsaufwand verbunden war.

Im BR-Gremium sind nur wenige Personen der Gruppe hochqualifizierter Beschäftigter vertreten. Der Vorsitzende entstammt der Gruppe der gewerblich-technischen Mitarbeiter und die Arbeit des Gremiums ist in erster Linie an den Belangen dieser Beschäftigten ausgelegt.

Die Mitglieder des BR im Beispiel gebremste Agilität kommen fast ausschließlich aus der Gruppe der Softwareentwickler:innen. Der BR war bereits im Vorfeld über die Pläne zur Einführung agiler Arbeit informiert, allerdings eher, weil Mitglieder des Gremiums in ihrer Funktion als Entwickler:innen bereits über die Pläne informiert waren. Der BR begrüßte, wie die meisten Softwareentwickler:innen im Betrieb, die Top-down Initiative zur Einführung agiler Arbeitsformen und brachten eigene Vorstellungen über selbstorganisierte Arbeit in die betriebliche Debatte ein. Als die Erwartungen an Agilität im Betrieb durch die Blockade des mittleren Managements enttäuscht wurden, hat der BR die Formulierung eines gemeinsamen Papiers mit dem Management zur Reflexion über die Art der Zusammenarbeit

im Betrieb angestoßen. Der BR hat damit den betrieblichen Diskurs über agile Arbeit maßgeblich beeinflusst. Im weiteren Verlauf des Diskurses entwickelte sich ein selbstbewussterer Umgang insbesondere bei der Festlegung der Arbeitsmenge in den Sprints, wie in unserem zweiten Interview (etwa zwei Jahre später) in diesem Betrieb deutlich wurde. Aus dem gemeinsamen Papier zur Reflexion über die Art der Zusammenarbeit folgten keine formellen Regelungen zur Gestaltung agiler Arbeit, wie beispielsweise eine Betriebsvereinbarung, doch hat das Papier informell den Wandel der Haltung vieler Beschäftigter zur Leistungsregulation bei den Sprints beeinflusst.

Der BR im Beispiel konsequente Agilität besteht in etwa zu gleichen Teilen aus gewerblich-technischen, kaufmännischen und hochqualifizierten Beschäftigten. Der Vorsitzende war vor seiner Freistellung als BR selbst Entwickler und entsprechend gut mit diesen Bereichen vernetzt. Der BR war somit von Anfang an über die Initiativen zu agilen Arbeitsformen informiert und hat sie aufmerksam beobachtet. In diesem BR stehen zusätzliche personelle Ressourcen in Form von Referent:innen des BR zur Verfügung. Diese Personen haben eine mit Stabsstellen des Managements vergleichbare Position und arbeiten der Geschäftsführung des BR zu. Eine solche Stelle wurde mit einer Person besetzt, die zuvor agiler Coach war. Dadurch ergab sich ein vertiefter Kontakt des BR mit dem Netzwerk der agilen Coaches.

Zwischenfazit

Dann betrachten wir Formen des kollektiven Konflikthandelns. Was berichten die befragten Betriebsratsgremien dazu? Welche Rolle spielen Betriebsräte (BR) bei den Arbeitskonflikten der hochqualifizierten Beschäftigten im Engineering? Übt der BR eine Repräsentationsfunktion der Beschäftigten aus und kann er als Schnittstelle zwischen individuellem und kollektivem Konflikt handeln fungieren?

Im Fallbeispiel Agilität als Etikettenschwindel wendet sich der BR von der Möglichkeit der Begleitung des betrieblichen Veränderungsprozesse ab, als dem BR klar wurde, dass der Change-Prozess schlecht organisiert ist und das Management agile Methoden nach dem Prinzip der Rosinenpickerei einführt und nur die ihm genehm erscheinenden Tools anwendet.

Beim Fall gebremste Agilität wird der BR zum aktiven Förderer der agilen Arbeitsformen – mit der Vorstellung, der von ihm präferierten Variante zur Umsetzung verhelfen zu können. Der BR verspricht sich von agiler Arbeit, wie auch die Mehrheit der Beschäftigten, Entbürokratisierung und bessere Ergebnisse der Entwicklungsprozesse. Dies wird vom Top-Management nicht aktiv gefördert und nach ersten Erfahrungen vom mittleren Management blockiert. Der BR kämpft weiter für seine Vorstellungen agiler Arbeit, in dem ein innerbetrieblicher Diskussionsprozess initiiert wird, dessen Ergebnisse in einem betriebsöffentlichen Dokument zusammengefasst wird. Der Plan, dieses Dokument zu einer Betriebsvereinbarung weiterzuentwickeln, scheitert an der Bereitschaft des Managements, die Grundsätze schriftlich zu fixieren. Der BR kämpft anschließend informell weiter für seine Vorstellungen und nutzt die Erfahrungen der Beschäftigten durch den innerbetrieblichen Diskurs, um einen selbstbewussteren Umgang der Beschäftigten mit den Anforderungen agiler Arbeit zu fördern, beispielsweise durch Zurückweisung und Korrektur überzogener Arbeitsmengen bei der Sprintplanung.

2.5.2.2.4. Konfliktfelder beim agilen SE

2.5.2.2.4.1. Differenz zwischen dem Konzept Agilität und der betrieblichen Umsetzung

Die Kluft zwischen Konzept und tatsächlicher Umsetzung agiler Arbeitsformen haben wir anhand zweier Fälle aus unserer Empirie dargestellt. Anhand eines weiteren Falls können wir illustrieren, dass in der Praxis auch Realisierungen agiler Arbeit zu finden sind, die sich nah am Konzept der Agilität bewegen. Diese sind jedoch seltener zu beobachten. Dies deckt sich mit dem aktuellen Forschungsstand der Arbeitsforschung zu Agilität (z.B. [ZKL+20]). Somit können wir die Abweichungen

vom Konzept agilen Arbeitens, die bewirken, dass Erwartungen von Beschäftigten an Entbürokratisierung der Entwicklungsprozesse nicht erfüllt werden, als ein Konfliktfeld benennen.

Was können die Ursachen für die Differenzen zwischen Konzept und Umsetzung sein? Aus dem Fall Agilität als Etikettenschwindel lässt sich ableiten: Die Situation entsteht aus einem Mangel an Kommunikation zwischen Beschäftigten und Management. Das Management verfügt Top-down die Einführung von Agilität, ohne den Beschäftigten im Vorfeld formell Gelegenheit zu geben, ihre eignen Anforderungen und Vorstellungen an eine Umgestaltung der Entwicklungsprozesse zu äußern bzw. zu den Vorstellungen des Managements Rückmeldungen zu geben. Die Sicht der Beschäftigten wird weder bei der Vorbereitung noch nach der Umsetzung von Agilität berücksichtigt.

2.5.2.2.4.2. Mangelnde Aufgabenklarheit bei Führungskräften in agilen Prozessen

Wir beobachten auch Konflikte zwischen Teams und direkten Führungskräften nach der Umsetzung von Agilität. Dies kann anhand des Falls gebremste Agilität illustriert werden. In diesem Fall wird die Ankündigung des oberen Managements, agile Arbeit einzuführen, von den Entwickler: innen in der Mehrzahl ausdrücklich begrüßt. Sie erwarten dadurch eine Verbesserung ihrer Arbeitsbedingungen durch weniger bürokratische Hemmnisse und hierarchische Hürden im Entwicklungsprozess. Im Sinne der Beitragsorientierung erwarten sie dadurch bessere Ergebnisse ihrer Entwicklungsarbeit. Hierin gleichen sich die Interessen von Beschäftigten und oberem Management.

Das mittlere Management sieht nun, dass ein großer Teil ihrer Aufgaben im Rahmen agiler Arbeit an die Teams delegiert wird. Zudem schwindet der Einfluss der direkten Vorgesetzten auf den Entwicklungsprozess. Die mittlere Führungsebene sieht eigene Stellung und Privilegien gefährdet und beginnt daraufhin ihren Einfluss auf die Prozesse informell wieder herzustellen, indem Reports eingeführt werden, um ihrerseits wieder mehr Kontrolle über den Entwicklungsprozess zu erlangen. Dies widerspricht dem Konzept agilen Arbeitens, denn die Pflicht zur Dokumentation soll reduziert werden. Die Erstellung von Reports bindet wiederum Arbeitskapazitäten, die den Entwickler: innen fehlen, um bessere und schnellere Entwicklungsergebnisse zu erzielen.

Was können die Gründe sein? Diese hier skizzierten Konflikte basieren darauf, dass das obere Management seine Vorstellungen über agile Arbeit nicht klar kommuniziert.

Dem mittleren Management scheint nicht klar zu sein, welche Ziele das obere Management mit der Agilität verfolgt und welche veränderten Aufgaben den Linienmanagern bei der agilen Arbeit zukommt. Sie werden weiterhin gebraucht als disziplinarische Vorgesetzte, weil es die in den agilen Teams nicht gibt. Zudem könnten sie eine wichtige Funktion im Sinne eines Mentors oder Coachs für Teams und einzelne Teammitglieder wahrnehmen, die Wege zur Organisationsentwicklung und zur persönlichen Weiterentwicklung aufzeigen können. Konflikte dieser Art können ebenfalls auf einen Mangel an Kommunikation zurückgeführt werden. Es bestehen keine gleichen Vorstellungen über Ziele, die mit Agilität verfolgt werden. Agilität ist oft mit unterschiedlichen Erwartungen verknüpft [EM21]. Während das obere Management Agilität vorwiegend als Wettbewerbsvorteil sieht und bei Entwickler:innen Agilität als vertrauensvolle Zusammenarbeit in einer Gemeinschaft gleichgesinnter angesehen, die das Bedürfnis nach sinnhafter Arbeit und die „Beitragsorientierung“ [Kot16a] befriedigt, sind in diesem Fall die Erwartungen des Linienmanagements nicht berücksichtigt worden. Es wäre sinnvoll gewesen, die Sicht dieser Beschäftigtengruppe über ihre Vorstellungen einer guten Arbeitsorganisation zu ermitteln und im Einführungsprozess zu berücksichtigen.

2.5.2.2.5. Gratifikationsdefizite

Agil zu arbeiten bedeutet in der alltäglichen Praxis, dass Entwickler: innen entscheiden, welche Ziele für die nächste Iterationsschleife zu priorisieren sind. Diese wählen sie dann

aus dem Arbeitsvorrat des Product-Back-Log für den anstehenden Sprint aus. Entwickler: innen entscheiden dann weiter, wie die anstehende Arbeit unter den Teammitglieder: innen aufgeteilt wird. Am Ende des Sprints blickt das Teams zurück und überprüft, welche Ziele erreicht wurden und entscheidet, wie im Falle nicht erreichter Ziele zu verfahren ist. Die Verantwortung für die fristgerechte Abarbeitung des Projekts und die Einhaltung der Qualitätskriterien liegt zumindest teilweise bei den Entwickler: innen.

Klassischerweise war das Setzen von konkreten Arbeitszielen und die Festlegung der Arbeitsteilung eine Aufgabe des Managements. Ebenso war die Kontrolle des Arbeitsfortschritts und Entscheidungen über den Umgang mit Abweichungen vom Plan eine Domäne von Manager: innen. Diese größere Verantwortung die Aufgabe, Entscheidungen treffen zu müssen, diente traditionell auch als Legitimation für in der Regel höhere Einkommen der Entscheider: innen.

In unseren Befunden taucht hier eine weitere Konfliktlinie auf. **Veränderte Anforderungen durch agile Formen schlagen sich in vielen Fällen weder angemessen im Entgelt nieder noch werden sie in Form immaterieller Wertschätzung honoriert.**

Mangel an Gratifikation kann weitreichende Folgen bei den Beschäftigten verursachen. Wenn sich Beschäftigte in Betrieben nicht gerecht behandelt fühlen, kann dies die Entstehung arbeitsbedingter Erkrankungen befördern. **Aus der arbeitspsychologischen Forschung liegen Erkenntnisse vor, die beispielsweise auf einen Zusammenhang von mangelnder Gratifikation und Kardio-vaskulären Erkrankungen hindeuten [Sie10].** Ob und inwieweit sich Beschäftigte gerecht behandelt fühlen, hängt ganz wesentlich von der Erfüllung ihrer Erwartungen an eine faire Belohnung für ihre Leistungen ab. Diese Gratifikationen umfassen nicht nur Löhne und Gehälter oder beispielsweise Bonuszahlungen, sondern beinhalten auch nicht-monetäre Formen der Anerkennung sowie gewährte Optionen des Erhalts bzw. der Verbesserung des beruflichen Status sowie Arbeitsplatzsicherheit. **[SD20] Unsere Befunde deuten in einer Vielzahl der betrachteten Fälle darauf hin, dass dieser Aspekt bei der Einführung und Gestaltung agiler Arbeit nicht berücksichtigt wurde. In vielen Fällen** wird Verantwortung auf Beschäftigte übertragen, ohne die gestiegenen Anforderungen zu honorieren, weder durch immaterielle Formen der Wertschätzung noch durch eine verbesserte Entlohnung beispielsweise durch eine höhere Eingruppierung in der jeweiligen im Betrieb gültigen tarifliche Systematik der Entgeltgruppen.

2.5.2.2.6. Veränderte Bedingungen der repräsentativen Partizipation

Unsere bisherigen Ausführungen beziehen sich auf die Möglichkeiten der direkten Partizipation im Arbeitsprozess und damit verbunden die Beteiligung an Entscheidungen über Veränderungen der Abläufe.² Wir haben gesehen, dass die Vorstellungen der Beschäftigtengruppen Entwickler: innen und Linienmanager: innen über agile Arbeit im Rahmen der direkten Partizipation nicht erfragt wurden.

Neben der direkten Partizipation gibt es auch die repräsentative Partizipation von Beschäftigten beispielsweise über gewählte Betriebsräte. Wie verhält es sich mit der repräsentativen Partizipation? Wird die mangelnde Kommunikation durch kollektive Konfliktlösung ausgeglichen?

Wie oben bereits dargestellt (2.2.1), ist ein Befund der empirischen Forschung von Rüb et al., dass agile Innovationsprozesse in Konflikt mit den geregelten Beteiligungsverfahren des Betriebsrats geraten. Ein weiterer Befund lautet, dass die Repräsentationsfunktion des Betriebsrats unter Druck gerät [RCK+21]. Klassische Betriebsratsarbeit scheint überfordert mit den veränderten Anforderungen der heutigen Arbeitswelt. Betriebsräte, die bis vor einigen Jahren noch wirksam handeln und gestalten

² Die Differenzierung zwischen direkter und repräsentativer Partizipation wird im Wissensnugget 6 näher ausgeführt.

konnten, sind der Komplexität und Geschwindigkeit der heutigen technisch-organisatorischen Veränderungsprozesse nicht mehr gewachsen. Dies hängt, so das Ergebnis einer weiteren Studie, mit dem Wandel betrieblicher Veränderungsprozesse zusammen. Früher veränderten sich Unternehmen in der Regel langsam, der Wandel war meist überschau- und prognostizierbar. Das Management war ebenso wie die Betriebskultur hierarchisch und autoritär geprägt. Beschäftigte wurden in Veränderungsprozessen ebenso behandelt wie die Technik: Sie waren Objekte der Gestaltung. Beteiligung von Beschäftigten an technisch-organisatorischen Veränderungen, der Gestaltung ihrer Arbeitsplätze und -prozesse war eine seltene Ausnahme [Ger20]. Die Mitbestimmung war auf diese Bedingungen ausgerichtet. Mitbestimmung war arbeitsteilig organisiert, IT-Fragen bearbeitete der IT-Ausschuss des BR, Gesundheitsschutz der Gesundheitsschutzausschuss usw. Mitbestimmung war reaktiv ausgerichtet und wurde aktiv, wenn das Management eine technisch-organisatorische Maßnahme ankündigte. Ziel der Mitbestimmung war es dann, eine Standard-Lösung zu erarbeiten, die für den gesamten Betrieb Gültigkeit erlangen sollte. Betriebsräte erarbeiteten, nachdem das Management eine Veränderung angekündigt hatte, in fürsorglicher Stellvertretung für die Beschäftigten standardisierte Gestaltungslösungen. Für dieses Vorgehen hatten Betriebsräte in aller Regel die Legitimation der überwiegenden Mehrheit Beschäftigten. [Ger20]

Heute verfügen Betriebe auf eine vielfältige Auswahl an digitaler Technik und ihnen steht ein ständig wachsendes Repertoire von Ansätzen der Flexibilisierung und Agilisierung von Arbeitsprozessen zur Verfügung. „Diese technische und organisatorische Transformation hat tiefgreifende Konsequenzen für die Mitbestimmung: Standardlösungen sind zunehmend Grenzen gesetzt, ebenso wie dem bisher arbeitsteiligen Vorgehen. Dies betrifft die Modernisierung, doch gleichzeitig auch viele Themenfelder wie Gesundheitsschutz, Personalentwicklung und Datenschutz. Zudem liegen die Themen nicht selten quer zu den Kompetenzen und Zuständigkeiten der Gremien und erfordern fachübergreifende Vorgehensweisen.“ [Ger20]

Nach den Befunden von Rüb et al. [RCK+21] zeigt diese soeben beschriebene Situation, die häufig in Verbindung Agilität auftritt, den Betriebsräten immer öfter die Grenzen bestehender betrieblicher Regulierungsweisen auf:

- Das Management reagiert auf diese veränderten Bedingungen, indem betrieblichen Arbeitsbeziehungen auf eine stärkere Kooperation und Vertrauensbeziehung hin ausgerichtet werden. Betriebsräte werden in Veränderungsprojekte eingebunden, um die möglichst reibungslose Umsetzung der angestrebten Veränderungen der Unternehmensprozesse sicherzustellen.
- Betriebsräte können die Komplexität und Geschwindigkeit der technisch-organisatorischen Veränderungsprozesse nur bewältigen und erfolgreich in gemeinsamen betrieblichen Projektgruppen mitarbeiten, wenn sie sich arbeitsteilig breit aufstellen und interne wie externe Expertise hinzuziehen. Zudem sollten Betriebsräte ihre eigene Arbeit anders organisieren, z. B. Ausschussstrukturen und Zusammenarbeit von Ausschüssen verändern.
- Die Interessenlagen von Beschäftigten sind heute immer öfter deutlich heterogener als noch vor wenigen Jahrzehnten. Beschäftigte sehen stellvertretend handelnde Betriebsräte dadurch immer öfter als nicht legitim an.

Wir finden in unserer Empirie ebenfalls Fälle, in denen das Personalmanagement darauf hinarbeitet, die Zusammenarbeit mit dem Betriebsrat auf eine stärkere Kooperation und Vertrauensbeziehung hin auszurichten, um die möglichst reibungslose Umsetzung der Veränderungen zu erzielen.

Es gibt viele Fälle, in den die Mitbestimmung diesen Weg der stärkeren Kooperation und Vertrauensbeziehung mit dem Management mitgehen will. Es gibt in unserem empirischen Material auch einen Fall, in dem der Betriebsrat, auf die Einladung zur Mitgestaltung nicht annimmt, weil ihm die zeitlichen und personellen Ressourcen fehlen, sich so intensiv mit der Thematik zu beschäftigen, um die Vor-

schläge, die das Management mit Unterstützung zahlreicher Stabsstellen erarbeiten und implementieren lässt, wirksam zu kommentieren. Dieser BR sieht die Gefahr, von Beschäftigten mitverantwortlich gemacht zu werden, wenn die so entstandenen Formen agiler Arbeit Nachteile für die Beschäftigten bedeuten. In anderen Fällen wurden Betriebsräte bei den Veränderungen hin zur Agilität vollständig übergangen und erfuhren nur informell von den - dann meist schon vollzogenen - Veränderungen. Eine Begründung für das Ignorieren des Betriebsrats in Fragen Agilisierung war die - rechtlich falsche - Annahme, die Mitbestimmung sei in diesen Fragen nicht zu beteiligen, weil es sich um Veränderungen in der Gruppe der Hochqualifizierten handle, die dem Betriebsrat meist distanziert gegenüberstehen. Wir haben einige Fälle beobachtet, in denen Betriebsräte angesichts der Komplexität und Geschwindigkeit der technisch-organisatorischen Veränderungsprozesse überfordert sind. Dies gilt vor allem für Betriebsräte, in denen das Gremium vorwiegend aus Mitgliedern mit gewerblich-technischem und/oder gewerblich-kaufmännischem Hintergrund besteht. In einigen Fällen haben Mitbestimmungsgremien ihre Arbeit aber auch erfolgreich umorganisiert bzw. sie befinden sich gerade in einem Prozess der Veränderung von Ausschussstrukturen und Zusammenarbeit von Ausschüssen. Ein großes Problem besteht auch hier in den Fällen, in denen Betriebsräte rechtswidrig in ihrer Arbeit behindert werden, indem ihnen Informationen über anstehende Änderungen vorenthalten oder zu spät zugehen.³

Wir beobachten ebenfalls die von Rüb et al. [RCK+21] konstatierte Heterogenisierung der Interessenlagen der Beschäftigten. Dazu kommt eine stark individualistische Form der Interessenvertretung bei Hochqualifizierten. Persönliche Anliegen, Probleme und Konflikte werden ausschließlich direkt mit dem zuständigen Vorgesetzten besprochen oder sie bleiben unausgesprochen und werden nicht geregelt. Die Bearbeitung von Anliegen, Problemen und Konflikten über den Betriebsrat oder die Gewerkschaft würde als Vertrauensbruch angesehen. (vgl. Kot16a] Dies können wir auch in den meisten von uns untersuchten Fällen beobachten. Einzig das Thema Entgelt führt Hochqualifizierte öfter zum Betriebsrat. Dies wird in etwa der Hälfte unserer Interviews berichtet.

In einigen der von uns untersuchten Fälle berichteten Betriebsräte in den Interviews, dass auf Seiten des Managements die Vorstellung bestehe, der Betriebsrat sei als repräsentatives Partizipationsorgan nur für gewerblich-technische und kaufmännische Mitarbeiter: innen zuständig. Seine Mitbestimmung erstreckte sich nicht auf Belange Hochqualifizierter.

Es ist zwar oft der Fall, dass bei hochqualifizierter Beschäftigten eine größere Distanz zu Gewerkschaften und Betriebsräten besteht als bei den Kolleg: innen auf den darunterliegenden Hierarchieebenen.

Doch die meisten Hochqualifizierte beurteilen Gewerkschaften durchaus als eine positive historische Errungenschaft und sehen Betriebsräte im eigenen Betrieb als wichtig an, jedoch nur für die Arbeiter und Tarifangestellten, die nicht in der Lage seien, ihre Interessen selbst zu vertreten. (vgl. Kot16a] Aus dieser Distanziertheit Hochqualifizierter abzuleiten, dass der Betriebsrat bei Veränderungen der Arbeitsorganisation für Hochqualifizierte nicht zu beteiligen sei, ist falsch und widerspricht gesetzlichen Regelungen.

Ein Gutachten eines bekannten Arbeitsjuristen belegt: der Betriebsrat hat sowohl bei der Einführung agiler Arbeit [Kra21] als auch bei der Ausgestaltung agiler Arbeit [Kra21] umfassende Beteiligungsrechte. In den MoSyS Arbeitspapieren zur Partizipation wird noch zu zeigen sein, dass Betriebsräte die Umsetzung agiler Arbeit fördern können und die sich die Ignoranz der repräsentativen Mitbestimmung in einer schlechteren Umsetzungsqualität agiler Arbeit äußert. Dies wird im Wissensnugget 6 „Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse“ näher ausgeführt.

³ Diese Thematik wird in Wissensnugget 6 „Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse“ vertieft.

Weitere Hinweise zur betrieblichen Umsetzung der hier dargestellten Überlegungen finden sich in einer Arbeitshilfe für Betriebsräte [JK23].

2.5.3. Diskussion und Ausblick

Wir können anhand unserer Ergebnisse mögliche Ursachen für die Kluft zwischen Konzept und Umsetzung von Agilität sowie für die mangelnde Klarheit über die veränderten Aufgaben von Führungskräften ausdifferenzieren:

- Die Sichtweise der Beschäftigten findet bei der Planung agiler Prozesse zu wenig Berücksichtigung. Die Beschäftigten werden im Vorfeld nicht beteiligt, um deren Bedarfe zur Verbesserung der Kollaboration zu ermitteln.
- Die Sichtweise von Führungskräften wird nicht hinreichend bei der Planung agiler Prozesse berücksichtigt. Die Bedarfe von Führungskräften zur Verbesserung der Partizipation werden nicht erhoben.

Das Konzept Agilität ist meist eines des oberen Managements, das weder mit den Hochqualifizierten Beschäftigten noch mit deren direkten Vorgesetzten in ausreichendem Maße partizipativ vorbereitet wird. Die Sichtweisen der Betroffenen Beschäftigten und ihrer direkten Vorgesetzten fließen weder in Planung noch Umsetzung mit ein.

Die Konflikte durch Gratifikationsdefizite deuten einerseits auf die erwähnte Beitragsorientierung der Hochqualifizierten (s. 2.1.3). Diese Beschäftigtengruppe erwartet, das belegt unsere Empirie, mindestens die Anerkennung ihres Beitrags zum Erfolg des Unternehmens in Form von Wertschätzung. Mehrfach wurde auch benannt, dass für die Verlagerung von Verantwortung und von Managementaufgaben auf die Teams Entgeltsteigerungen erwartet werden. Wenn die Hochqualifizierten sich an den Betriebsrat wenden, so geschieht laut unserer empirischen Befunde in den meisten Fällen wegen Entgeltfragen.

Für Konfliktlösungen müssen BR lernen, die Grenzen bestehender Regulierungsweisen (s. 2.3.4) zu überwinden. BR sollten in der Lage sein, in betrieblichen Arbeitsgruppen für organisatorische Veränderungen mitzuarbeiten und die komplexen und dynamischen technisch-organisatorischen Entwicklungen mitzuverfolgen und dabei die heterogenen Interessenlagen der verschiedenen Beschäftigtengruppen berücksichtigen. Dies ist keine einfache Aufgabe. BR sind gut beraten, wenn sie für mehr Partizipation sorgen, um bei der Bewältigung der komplexen Anforderungen einerseits die Kompetenz der Beschäftigten nutzen zu können und andererseits kontinuierlich in Kontakt mit den Kolleg:innen sind, um Legitimation für ihre Entscheidungen und ihr Vorgehen einzuholen.⁴

Literaturverzeichnis

- [BBB+01] BECK, K.; BEEDLE, M.; BENNEKUM, A.v.; COCKBURN, A. CUNNINGHAM, W.; FOWLER, M. et al. (2001): Agile Manifesto. <http://agilemanifesto.org> (Zugriff 13.12.2021)
- [EM21] Espinoza, Franziska; Mommartz, Sabine (2021): Agile Organisationen – Versuch einer kritischen Bestandsaufnahme. In: JfP 29 (1), S. 120–146. DOI: 10.30820/0942-2285-2021-1-120.
- [Fri77] Friedman, Andy (1977): Responsible Autonomy Versus Direct Control Over the Labour Process. In: Capital & Class 1 (1), S. 43–57. DOI: 10.1177/030981687700100104.
- [Ger20] Mitbestimmung in digitalen und agilen Betrieben. das Modell einer prozessualen partnerschaftlichen Konfliktkultur. In: Verena Bader und Stephan Kaiser (Hg.): Arbeit in der Data

⁴ Wir werden dies in Wissensnugget 5 eingehender behandeln. Die Bedingungen der repräsentativen Partizipation werden wir in Wissensnugget 6 näher erörtern.

- Society. Zukunftsvisionen für Mitbestimmung und Personalmanagement. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 35–56.
- [Hei14] Heiden, Mathias (2014): Arbeitskonflikte: Verborgene Auseinandersetzungen um Arbeit, Überlastung und Prekarität. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG (Forschung aus der Hans-Böckler-Stiftung (HBS), 165).
- [JK23] Jennerich, Marco; Klippert, Jürgen (2023): Transformation von Entwicklungstätigkeiten. Advanced Systems Engineering als gewerkschaftliche Gestaltungsaufgabe. Hg. v. IG Metall Vorstand, Ressort Zukunft der Arbeit. Frankfurt a. M. (Zukunft der Arbeit KONKRET, 3).
- [Kli24] Advanced Systems Engineering. Transformation in den Entwicklungsabteilungen? In: WSI Mitteilungen 77 (2), S. 143–148.
- [KJ22] Klippert, Jürgen; Jennerich, Marco (2022): Menschorientierte Gestaltung komplexer Produkte und Dienstleistungen. Arbeitspolitik im Rahmen agiler Arbeit bei Entwicklungstätigkeiten. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. St. Augustin (Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, C 3.4).
- [Kot96] Kotthoff, Hermann (1996): Hochqualifizierte Angestellte und betriebliche Umstrukturierung: Erosion von Sozialintegration und Loyalität im Großbetrieb. In: Soziale Welt 47 (4), S. 435–449. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/40878166>.
- [Kot16a] Kotthoff, Hermann (2016a): Arbeit, Arbeitsbewusstsein und Interessenorientierung von Hochqualifizierten Angestellten. In: IndBez 23 (4), S. 415–439.
- [Kot16b] Kotthoff, Hermann (2016b): Hochqualifiziertenforschung und Gewerkschaften. Phasen, Paradigmen und Prognosen. In: Thomas Haipeter (Hg.): Angestellte Revisited. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 67–82.
- [Kra21] Krause, Rüdiger (2021): Agile Arbeit und Betriebsverfassung. Frankfurt: Bund-Verlag (HSI-Schriftenreihe, Band 37).
- [Mul96] Müller-Jentsch, Walther (1996): Theorien Industrieller Beziehungen. In: IndBez 3 (1), S. 36–64.
- [RCK+21] Rüb, Stefan; Carls, Kristin; Kuhlmann, Martin; Vogel, Berthold; Winter, Svetlana (2021): Digitalisierungskonflikte. Eine empirische Studie zu interessenpolitischen Auseinandersetzungen und Aushandlungen betrieblicher Digitalisierungsprozesse. Unter Mitarbeit von Rüdiger Krause. Hg. v. Hans-Böckler-Stiftung. Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.
- [Sie10] Siegrist, Johannes (2010): Effort-reward imbalance at work and cardiovascular diseases. In: International journal of occupational medicine and environmental health 23 (3), S. 279–285. DOI: 10.2478/v10001-010-0013-8.
- [SD20] Siegrist, Johannes; Dragano, Nico (2020): Der Beitrag von Gratifikationen zur Mitarbeitergesundheit. In: Bernhard Badura, Antje Ducki, Helmut Schröder, Joachim Klose und Markus Meyer (Hg.): Fehlzeiten-Report 2020: Gerechtigkeit und Gesundheit. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 191–202. Online verfügbar unter https://doi.org/10.1007/978-3-662-61524-9_12.
- [Wir21] Wirth, Carsten (2021): Arbeitsbeziehungen im dualen System industrieller Beziehungen. In: Martin Allespach und Max Rudel (Hg.): Mitbestimmung – Ein Thema für die Wirtschaftswissenschaften. Studienbriefe zu zentralen Handlungsfeldern der Betriebswirtschaftslehre. Frankfurt a. M.: Bund Verlag, S. 45–81.
- [ZKL+20] Ziegler, Alexander; Kämpf, Tobias; Lühr, Thomas; Boes, Andreas (2020): Agile Arbeitsformen in der Praxis. In: Andreas Boes, Katrin Gül, Tobias Kämpf und Thomas Lühr (Hg.): Empowerment in der agilen Arbeitswelt: Analysen, Handlungsorientierungen und Erfolgsfaktoren. Freiburg, München, Stuttgart: Haufe-Lexware, S. 33–51.

2.6. Richtlinien zur Arbeitssystemgestaltung

2.6.1. Einleitung

2.6.1.1. Zielsetzung

In diesem Arbeitspapier wird im ersten Schritt die Tätigkeit, die im Projekt MoSyS im Zentrum steht, definiert. Wir beschreiben dazu die Aufgaben von hochqualifizierten Beschäftigten in der technischen Entwicklung aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive. Wir greifen dazu auf bekannte Modelle von Arbeitssystemen [SBL10] und erweitern diese anhand der Spezifikationen der definierten Tätigkeit in der Entwicklung technischer Systeme. Anschließend ziehen wir ersten Schlussfolgerungen für die Gestaltung guter Arbeitsbedingungen für Entwickler: innen und benennen abschließend Arbeitsfelder und geben erste Gestaltungsempfehlungen.

2.6.1.2. Einordnung in MoSyS

Dieses Wissensnugget liefert die Gewerkschafts- und Betriebsratsperspektive zur Kollaboration im agilen Systems Engineering und trägt damit zum AP 1 Kollaboration bei. Weiterhin liefert es Beiträge zum AP 7 Veränderungsmanagement – Agile SE-Organisation sowie zum AP 2 SoS-Engineering und zum AP 5 KI-unterstütztes Engineering aus der Perspektive von Betriebsräten und Gewerkschaften.

2.6.1.3. Vorgehen

Das Wissensnugget basiert auf Erkenntnissen, die durch empirische Erhebungen bei Betriebsräten und durch Workshops mit Betriebsratsmitgliedern und hauptamtlichen Beschäftigten der IG Metall gewonnen wurden.

2.6.2. Hauptteil

2.6.2.1. Definitionen

2.6.2.1.1. Charakterisierung der betrachteten Tätigkeit

Menschen, die Arbeitstätigkeiten ausführen, benötigen dazu Wissen. Dies gilt bei nahezu jeder menschlichen Tätigkeit. Beschäftigte sammeln dieses Wissen Ressource durch Schulbildung, Ausbildung, Studium usw. sowie durch praktische Erfahrungen. Diese Wissensressourcen werden dann bei der Ausführung von Tätigkeiten angewandt. Bei den hier untersuchten Tätigkeiten verhält es sich mit dem Wissen etwas anders. Hochqualifizierte Beschäftigte in der Systementwicklung nutzen einerseits Wissen als Ressource, dass in den meisten Fällen durch Studium und Berufserfahrung erworben wurde. Andererseits ist Wissen auch das Objekt und das Ergebnis ihrer Tätigkeit. Bei diesen Tätigkeiten genügt es nicht, einmal erworbenes Wissen anzuwenden, und es gegebenenfalls zu aktualisieren, um sich an Veränderungen beispielsweise von Technik und Rahmenbedingungen anzupassen. Systementwickler: innen greifen auf Wissensbestände zu, verändern und ergänzen diese im Sinne eines Arbeitsauftrages und liefern schließlich Wissen als Arbeitsergebnis in Form von Dokumenten, Daten, Zeichnungen usw. als Arbeitsergebnis ab. Wilke [Wil98] bezeichnet solche Tätigkeiten als Wissensarbeit. Diese erfordert, das relevante Wissen:

1. kontinuierlich zu revidieren,
2. permanent als verbesserungsfähig anzusehen,
3. prinzipiell nicht als Wahrheit, sondern als Ressource zu betrachten,
4. und untrennbar mit Nicht-Wissen gekoppelt anzusehen. (vgl. [Wil98])

Die Betrachtung von Wissen als Rohstoff und Produkt der Wissensgesellschaft darf nicht den Blick darauf verstellen, dass maßgeblich die Kreativität menschlicher Arbeit neues Wissen hervorbringt und dafür menschliches Handeln und somit Handlungsspielräume die Entfaltungsbedingungen für

Kreativität in Organisationen wesentlich bestimmen. Bei dieser Art von Tätigkeit kommt es im Ergebnis auf die innovative Leistung an. Die innovative Leistung ist nicht durch die beobachtbare Zahl der Arbeitshandlungen und die Anwendung gesicherter Wissensbestände zu charakterisieren und lässt sich nicht mehr im klassischen Sinne planen, steuern und managen. Um den innovativen Charakter dieser Tätigkeit zu betonen und von anderen Arbeitstypen abzugrenzen und sie analytisch besser entfalten zu können schlägt Moldaschl [Mol07] vor, diese Tätigkeiten unter dem Begriff Innovationsarbeit zu fassen. Innovationsarbeit ist definiert als „eine Arbeitstätigkeit, die dezidiert, vorrangig und systematisch auf das Hervorbringen von Neuem in beliebigen Handlungsfeldern (technisch, organisatorisch, sozial) gerichtet ist.“ [Mol07] Es handelt sich also um Arbeitstätigkeiten, die in ihrer Aufgabenbeschreibung oder in der Wahrnehmung von Vorgesetzten dezidiert die Produktion von Neuem (Wissen, Ideen, Regeln, Produkte, Verfahren) verlangen. Die Schaffung von Neuem ist vorrangige Arbeitsaufgabe, auch wenn die Tätigkeit weitere Teiltätigkeiten enthalten kann, die andere Ziele verfolgen, beispielsweise die Schaffung von Zugängen zu Wissensbeständen über die Kooperation mit Hochschulen. Die Organisation sollte systematisch auf die Schaffung von Neuem hin ausgerichtet sein. Prozesse und Strukturen müssen Handlungs- und Entscheidungsfreiräume bieten, die die Schaffung von Neuem ermöglichen. [Mol07]

Es sollte deutlich geworden sein, dass bei der Gestaltung von Organisationen für Innovationsarbeit neben einer technischen Logik auch eine Psycho-Logik und eine Sozio-Logik berücksichtigt werden sollte, um optimale Bedingungen für die Kreation von Innovationen zu schaffen. Eine all diese Aspekte berücksichtigende Betrachtung als sozio-technisches System galt bereits für das Projekt Industrie 4.0 als Voraussetzung einer erfolgreichen Systemgestaltung [Aca13] Der sozio-technische Systemansatz ist nicht neu und dient in der Arbeitsforschung schon seit mehreren Jahrzehnten konzeptionell und analytisch als Grundlage zur Untersuchung und Gestaltung technisierter und automatisierter Arbeitsprozesse. [TB51] [Syd85] Unter sozio-technischen Systemen können Arbeitssysteme verstanden werden, die aus interdependenten technologischen, organisatorischen und personellen Teilsystemen bestehen. Das technologische Teilsystem bildet die Grundlage sozio-technischer Systeme, weil es die Gestaltungsmöglichkeiten der beiden anderen Teilsysteme gleichzeitig ermöglicht und begrenzt. Jedoch weisen das organisatorische und personelle Teilsysteme eigenständige soziale und psychologische Eigenschaften auf, die wiederum auf die Funktionsweise des technologischen Teilsystems zurückwirken. Bei der Gestaltung sind alle Teilsysteme gleichrangig zu berücksichtigen („joint optimization“). [Ric63] Daraus folgt, dass ein interdisziplinäres Vorgehen bei der Entwicklung und Implementierung von Gestaltungslösungen für Innovationsarbeit notwendig ist.

2.6.2.1.2. Arbeitssystemmodell der Innovationsarbeit

Wir beschreiben die Innovationsarbeit als sozio-technisches Arbeitssystem. Dies ist angelehnt an klassische arbeitswissenschaftliche Arbeitssystemmodelle, die seit den 1960er Jahren zunächst zur Beschreibung von Arbeitssystemen der Produktionsarbeit entwickelt wurden, in denen es beispielsweise um die Materialumformung, trennende und fügende Bearbeitungsverfahren oder um die Montage von Bauteilen ging.

Systeme bestehen im Allgemeinen aus Systemelementen, die in Relationen zueinanderstehen, um einen spezifischen Zweck zu erfüllen, für den die jeweiligen Systeme eigens geschaffen wurden. Zur Erfüllung ihres Zwecks benötigen Systeme spezifische Eingaben, die im Verlauf eines Prozesses umgewandelt werden, um als dem Zweck entsprechende Ausgaben das System zu verlassen. Neben diesen zweckbezogenen Ein- und Ausgaben tauschen sich Systeme mit ihrer Umwelt aus. Systeme sind in ihre Umwelt eingebettet, grenzen sich klar gegenüber der Umwelt ab und unterhalten spezifische Formen des Austauschs mit der Systemumwelt. Wir greifen auf ein solches klassisches Arbeitssystemmodell zurück. [SBL10] Wir passen es an, um Wissen als Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstand

sowie als personale Ressource in das Modell zu integrieren (Bild 2-18). Folgende Überlegungen stellen wir zum Austausch des Innovationsarbeitssystems mit der Systemumwelt an:

- Die Eingabe in das und die Ausgabe aus dem Modell erfolgt bei der Innovationsarbeit im Wesentlichen in der Form von Wissen. Abgesehen von einem - heute eher seltenen - Austausch von Datenträgern, spielt die Eingabe von Material sowie die Ausgabe von materiellen Produkten kaum eine Rolle.
- Die sozialen und emotionalen sowie die organisatorischen und kommunikativen Umwelteinflüsse spielen bei der Innovationsarbeit eine gewichtigere Rolle als die physikalisch/organischen und die chemisch/stofflichen Umwelteinflüsse.
- Die physikalisch/organischen und die chemisch/stofflichen Umwelteinflüsse sind in einer Büroumgebung beispielsweise in Form des Raumklimas (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung) weiterhin von Bedeutung.
- Der Arbeitsauftrag bzw. die Zielvorgabe und Zwecksetzung des Systems wird bei agiler Arbeit nicht nur aus der Systemumwelt in das System eingegeben und aus dem System wieder rückgekoppelt, sondern diese werden von den Arbeitspersonen im - agilen - Innovationsarbeitssystem verändert. Die Arbeitsteilung und Koordination der Zusammenarbeit zur Umsetzung des Arbeitsauftrages werden im agilen Prozess erarbeitet bzw. verändert.

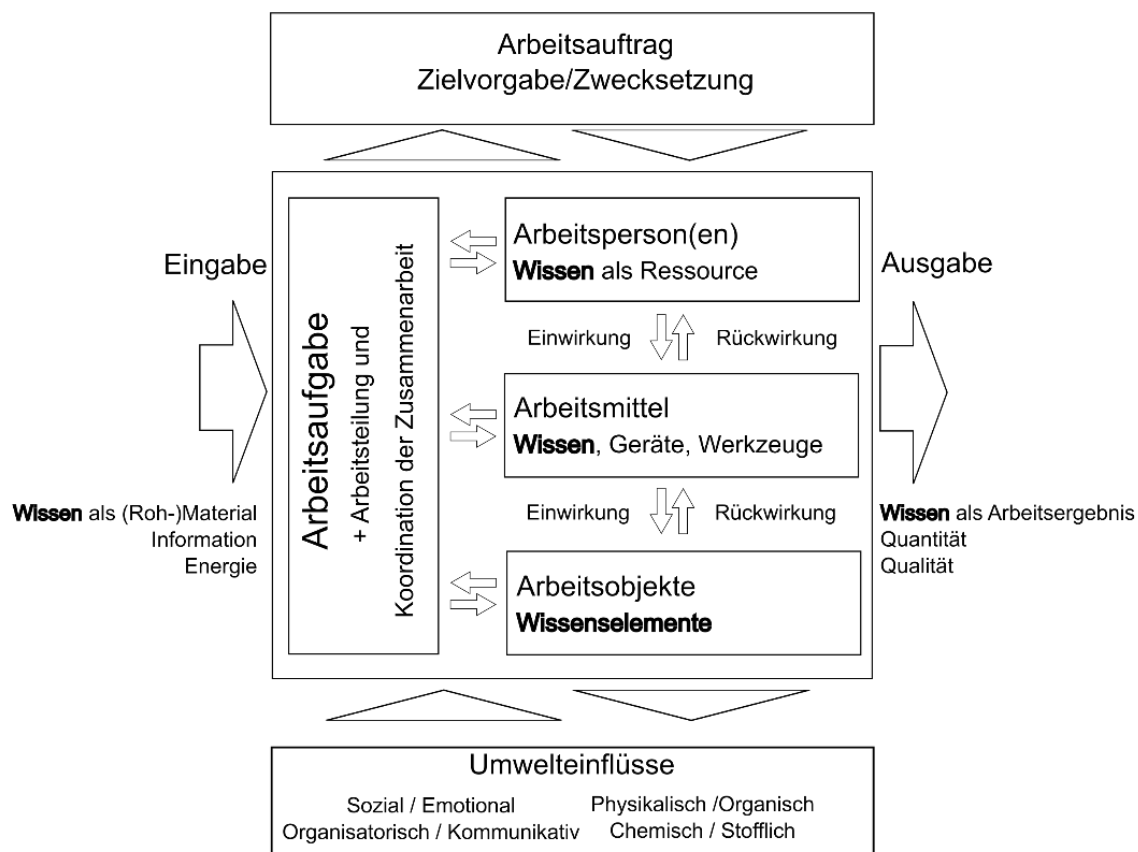


Bild 2-18: Innovationsarbeitssystem

Die sozialen und emotionalen sowie die organisatorischen und kommunikativen Aspekte sind zum einen als Umwelteinflüsse auf das Innovationsarbeitssystem wirksam und zum anderen sind sie auch im Kernbereich des Arbeitssystems von zentraler Bedeutung. Die Arbeitsaufgaben sind, anders als bei industrieller Produktionsarbeit, mit einem vergleichsweise hohen Anteil an kommunikativen Prozessen verbunden, bei denen wiederum soziale Stellungen der Akteure sowie ihre emotionalen Zustände einen wesentlichen Einfluss auf den Ablauf des Arbeitsprozesses haben. Dies muss bei der Gestaltung der organisationalen Strukturen und Bedingungen berücksichtigt werden, z. B. in Form

von ausreichenden Handlungsspielräumen und weitreichenden Möglichkeiten der Beschäftigten an Entscheidungen zu partizipieren. Die Arbeitsaufgabe von Beschäftigten in der technischen Systementwicklung besteht im Kern aus einer technischen Innovationsleistung, die nach ingenieurwissenschaftlichen Kriterien bewertet wird. In dieser eher naturwissenschaftlich geprägten Logik sind soziale und emotionale sowie organisatorische und kommunikative Aspekte meist unterrepräsentiert. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass Innovationsarbeitssysteme interdisziplinär zu gestalten sind, um ein gutes Zusammenspiel der erforderlichen Logiken zu ermöglichen. Die Techno-Logik muss mit Sozio-Logik und Psycho-Logik zusammen gedacht werden. Oder in den Worten des sozio-technischen Systemansatzes: Mensch-Organisation-Technik sind als gleichrangige Faktoren zu berücksichtigen.

2.6.2.1.3. Relevante arbeitswissenschaftliche Prozessebenen

Menschliche Arbeit als Gegenstand wissenschaftlicher Betrachtung lässt sich nicht erschöpfend aus der Perspektive einer Wissenschaftsdisziplin analysieren. Es bedarf des Zusammenspiels verschiedener Disziplinen wie beispielsweise der Physiologie, der Psychologie, der Soziologie. Weil Arbeitsprozesse in den meisten Fällen die Handhabung von technischen Artefakten beinhalten und bestimmte Formen der Arbeit durch technische Systeme erst ermöglicht werden, gehören auch die Ingenieurwissenschaften zu den Disziplinen, die in Analyse- und Gestaltungsprozesse integriert werden müssen. Die Arbeitswissenschaft als multidisziplinäre Wissenschaftsdisziplin steht aus den genannten Gründen traditionell vor der Herausforderung, eine Sprache zu finden, die keine möglichen Gegenstandsverengungen in sich trägt und gleichzeitig die erforderliche präzise Ausdrucksweise ermöglicht. Um dies zu verwirklichen, wurde in der Arbeitswissenschaft auf die Systemtheorie zurückgegriffen und ein Ebenensystem aus fünf emergenten Ordnungen entwickelt. Dieses erlaubt die Betrachtung des gleichen Untersuchungsgegenstandes - menschliche Arbeit - aus der Perspektive unterschiedlicher Disziplinen und gleichzeitig die Ordnung des Zusammenwirkens der disziplinären Perspektiven. [LVR+87] Für die Ebenen des Modells und deren Zusammenspiel gilt: „Jede Ebene hat also - so wird definitorisch angenommen - ihre eigene Ordnung (Struktur, Regelmäßigkeit, Gesetzmäßigkeit), die für alle Systeme dieser Ebene den Austausch zwischen System und Umgebung (sowie den Intersystemaustausch) reguliert. Der in Ebenen geschichtete Aufbau wird als in ständiger Entwicklung befindlich gedacht, wobei der Entwicklungsrhythmus (z. B. die systemtypischen Zykluszeiten) auf den einzelnen Ebenen unterschiedlich ist.“ [LVR+87] Die fünf Ebenen lassen sich in einem ersten Zugriff anhand der wissenschaftlichen Disziplinen, durch die sie üblicherweise untersucht werden, unterscheiden (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Arbeitswissenschaftliches Ebenensystem emergenter Ordnungen und Zuordnung zu den für die Ebenen relevanten wissenschaftlichen Disziplinen [LVR+87]

Prozessebenen		
	Subjektnaher Prozess in seiner objektiv erfassbaren Umgebung	Zugehörige Disziplinen oder Praxeologien
1	Organismische Teilprozesse in physikalischen, klimatischen (etc.) Bedingungen	Arbeitsmedizin, ökologische Biologie, Arbeitsschutz
2	Körperbewegungen, Operationen an Werkzeugen, Maschinen etc.	Physiologie, Psychologie, Ergonomie, Zeitstudien, Technologie (1)
3	Aufgaben, Tätigkeiten, psychische Regulation in Arbeitsplätzen, -gruppen, -systemen	Psychologie, Mikrosoziologie, Organisationslehre in BWL, Technologie (2)

4	Koordination von Tätigkeiten einer Person (Entwicklung durch Arbeit) im Netzwerk produktiver Funktionen	Psychologie, Soziologie, Forschung zur betrieblichen Sozialisation, BWL, Arbeitspädagogik
5	Kooperative Arbeitsformen in der Organisation der Produktion oder Dienstleistung	Soziologie, BWL, Arbeitsrecht, Arbeitspolitik, VWL, Politik- und Kommunikationswissenschaft

Dieses fünf-Ebenen-Modell ermöglicht einerseits einen Zugriff der einzelnen Disziplinen auf den Gegenstand „menschliche Arbeit“ aus ihrer jeweiligen Perspektive und mit ihrer jeweiligen Methodik. Durch dieses Modell kann plausibel gemacht werden, warum jede Disziplin eine andere Definition von „Arbeit“ zu Grunde legt, denn es sind jeweils andere Zeiträume und Grenzen zwischen System und Umgebung - ein anderer Fokus - gemeint, wenn von „Arbeit“ oder „Arbeitsumgebung“ gesprochen wird. Andererseits verdeutlicht dieses Modell durch die Anordnung der emergenten Ordnungen in Ebenen, dass diese in Beziehung zueinanderstehen.

Die Beziehungen zwischen den Ebenen sind dergestalt, dass Systeme einer Ebene die jeweils niedrigeren Ebenen als „Mittel“ für ihre „Zwecke“ benötigen. Umgekehrt bilden die höheren Ebenen einen Kontext, in dem sich die niedrigeren Ebenen bewegen. Dieser Kontext bildet die Form der eigengesetzlichen Entwicklung der Ebenen. Der Einbezug eines unteren Systems als „Mittel“, das dadurch eine „Funktion“ für das Höhere erhält, ist nur zeitweilig möglich. Daher kann das höhere System keine vollständige Determination auf die niederen Ebenen ausüben: Diese behalten eine relative Autonomie. [LVR+87]

Bei der Betrachtung von Innovationsarbeit kann dieses Modell genutzt werden, um die Perspektiven soziologischer, psychologischer und ingenieurwissenschaftlicher Ansätze bei der Kollaboration der Innovationsarbeiter: innen zu integrieren. Die Ebene 1, die organismische Teilprozesse, betreffen umgangssprachlich ausgedrückt, die körperliche Gesundheit und Unversehrtheit. Ebenso wie die Ebene 2, die Körperbewegungen und Operationen an Werkzeugen, Maschinen usw. aus einer ergonomischen Perspektive betrachtet, bildet sie die notwendige Bedingung für die Ausführung von Innovationsarbeit. Diese beiden Ebenen betreffen beispielsweise die Raumtemperatur, die Beleuchtungssituation und die ergonomische Qualität von Büroeinrichtungen. Diese beiden Ebenen sind für die Arbeitsqualität von Innovationsarbeiter: innen von Bedeutung. Die Ebenensystematik erlaubt uns nun, diese Ebenen bei unserer Betrachtung auszublenden, ohne ihre Bedeutung für eine gute Arbeitssystemgestaltung in Frage zu stellen.

Nun ist unser Fokus auf die Ebenen 3-5 gerichtet, um weiter der Frage nachzugehen, was gut gestaltete Innovationsarbeit ausmacht. Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive ist gut gestaltete Arbeit, zugleich produktiv und menschengerecht. Daher analysiert und gestaltet die Arbeitswissenschaft die technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen mit dem Ziel, die Kriterien Produktivität und Menschengerechtigkeit entsprechend den situativen Gegebenheiten zu verwirklichen. Dabei versucht sie, mehrere disziplinäre Perspektiven und Prozessebenen in einem Ordnungszusammenhang zu verbinden, und daraus eine eigene Betrachtungsweise von Arbeitsprozessen durch Angabe handhabbarer Kriterien, zum Beispiel für die rationelle Nutzung von Ressourcen, zu gewinnen. [LVR+87] Das Ebenenmodell bildet auch die Grundlage für Kriterien der Menschengerechtigkeit zur Beurteilung und Bewertung konkreter Arbeitsprozesse. Die Kriterien sind ebenenspezifisch und stehen in einem hierarchischen Verhältnis zueinander. Das bedeutet, dass die Kriterien der jeweils niedrigeren Ebene erfüllt sein müssen, bevor eine höhere Ebene greifen kann.

Die ebenenspezifischen Kriterien für gut gestaltete menschengerechte Arbeit sind:

1. Schädigungslosigkeit und Erträglichkeit der Arbeit, bezogen auf die physiologisch-ökologische Ebene;

2. Ausführbarkeit der Arbeit, bezogen auf die Ebene der Operationen mit Werkzeugen und an Maschinen;
3. Zumutbarkeit, Beeinträchtigungsfreiheit, Handlungs- und Tätigkeitsspielraum der Arbeit, bezogen auf die Gestaltung der Arbeitsaufgaben und Arbeitsumgebungen;
4. Zufriedenheit der Arbeitenden, Persönlichkeitsförderlichkeit der Arbeit, bezogen auf das Netzwerk produktiver Funktionen;
5. Sozialverträglichkeit der Arbeit, Beteiligung der Arbeitenden an der Gestaltung, bezogen auf die kooperative Organisation der Produktion oder Dienstleistung.

[LVR+87]

Für die gute Gestaltung von Innovationsarbeit blenden wir, wie oben bereits erläutert, die Ebenen 1 und 2 aus und ziehen die Kriterien der Ebenen 3-5 heran. Auf Kriterienebene 3 wird Zumutbarkeit und Beeinträchtigungsfreiheit beschrieben. Für dieses Kriterium gut gestalteter Arbeit sind Handlungsspielräume in der Arbeit von Bedeutung, um Beanspruchungswirkungen der Arbeit vermeiden oder kompensieren zu können. Die Arbeitsperson sollte Einfluss auf Menge und Zeitvorgaben nehmen können. Überbeanspruchungen sollten zeitnah innerhalb der Arbeitszeit (durch Pausen) oder in der Freizeit (durch Erholung) kompensiert werden können. Diese Betrachtung ist eher auf ein einzelnes Tätigkeitssystem eines Individuums bezogen. [LVR+87] [SBL10] Die Kriterienebene 4, die Zufriedenheit und Persönlichkeitsentfaltung beschreibt, bezieht sich einerseits auf die Möglichkeiten zur persönlichen Weiterentwicklung oder Erhaltung allgemeiner sowie berufsbezogener individueller Kompetenzen und andererseits auf die individuelle Zufriedenheit mit den Arbeitsbedingungen in ihrer Gesamtheit. [Hac86] [SBL10] Als oberste Ebene schließt Kriterienebene 5 mit dem Kriterium der Sozialverträglichkeit dieses arbeitswissenschaftliche Schema ab. Dieses Kriterium knüpft an kooperative Arbeitsformen in Arbeitsgruppen und betrieblichen Arbeitsbeziehungen an. Es spricht die individuellen und kollektiven Möglichkeiten der Arbeitenden zur Beteiligung an der Gestaltung ihrer Arbeitsbedingungen in Bezug auf die kooperative Organisation des Leistungserstellungsprozesses an. Ebenso wie die Kriterienebene 4 spricht die Ebene 5 Tätigkeitssysteme im Rahmen von Gruppen bzw. ganzer Organisationen an. [SBL10]

2.6.2.2. Ergebnisse

2.6.2.2.1. Prozessebenen für die interdisziplinäre Gestaltung

Wie wir soeben hergeleitet haben, sind die Prozessebenen 3 bis 5 von besonderer Bedeutung für die Gestaltung von Innovationsarbeitssystemen. Was bedeutet das für die Gestaltung von Innovationsarbeit? Welche Arbeitsfelder zeichnen sich für die Gestaltung ab?

Auf der Prozessebene 3 geht es um die Gestaltung einzelner Aufgaben, den gesamten Zuschnitt von Tätigkeiten und die psychische Regulation (Handlungsregulation s. [Hac86]) an Arbeitsplätzen, in Arbeitsgruppen und -systemen. Hier kommen psychologische und mikrosoziologische Ansätze sowie Erkenntnisse der Organisationslehre in der Betriebswirtschaftslehre (BWL) und technologische Aspekte zum Tragen. Dies wird auf Prozessebene 4 vertieft, wenn es um die

Koordination von Tätigkeiten von Personen bei der Kollaboration mit anderen Personen im Netzwerk produktiver Funktionen geht, um die Zufriedenheit der Arbeitenden und Persönlichkeitsförderlichkeit der Arbeit zu gewährleisten. Hier sind Ansätze der Wissenschaftsdisziplinen Psychologie und Soziologie sowie Forschung zur betrieblichen Sozialisation und Ansätze aus BWL und Arbeitspädagogik relevant. Gerahmt wird dies sozusagen durch die Prozessebene 5, die auf Sozialverträglichkeit von Arbeit zielt und dabei die Perspektiven von Soziologie, BWL, Arbeitsrecht, Arbeitspolitik, Volkswirtschaftslehre (VWL), Politik- und Kommunikationswissenschaft berücksichtigt.

2.6.2.2.2. Arbeitsfelder für die Gestaltung

Um diese disziplinäre Vielfalt handhabbar zu machen, ist es sinnvoll, bei der Gestaltung auf einzelne Arbeitsfelder zu fokussieren, um dem Gestaltungsprozess eine Struktur zu verleihen.

Die fünf Arbeitsfelder sind:

1. Differenzen zwischen Konzept und Umsetzung von Agilität
2. Mangelnde Aufgabenklarheit bei Führungskräften in agilen Prozessen
3. Gratifikationsdefizite
4. Missachtung der repräsentativen Partizipation
5. Arbeitsintensivierung

Die Arbeitsfelder für die Gestaltung von Innovationsarbeit leiten wir aus den im Arbeitsergebnis 4⁵ ermittelten vier Konfliktfeldern her. Ein fünftes Arbeitsfeld ergibt sich aus dem Stand der Forschung zu Belastung und Beanspruchung bei Innovationsarbeit und unseren empirischen Erkenntnissen aus dem Projekt MoSyS. Das Arbeitsverständnis Hochqualifizierter wurde als „Beitragsorientierung“ charakterisiert, das bedeutet eine quasi-unternehmerische Arbeitsorientierungen gepaart mit Eigeninitiative, problemorientiertem statt regelorientiertem Arbeiten und einem starken Bezug auf die Effektivität des Betriebs [Kot96] [Kot16]. Übersteigerte Formen dieses Arbeitsverständnisses werden aus einer Gesundheitsschutzperspektive als „interessierte Selbstgefährdung“ [Pet11] bezeichnet, von der bei selbstorganisierten und indirekt gesteuerten Tätigkeiten, wie der agilen Arbeit, ein Gesundheitsrisiko ausgeht. Eine Arbeitsintensivierung bei solchen Tätigkeiten kann auch anhand statistischer Erhebungen mit großen Fallzahlen belegt werden, wie dem European Working Conditions Survey (EWCS), dem Sozi-Ökonomischen-Panel (SOEP) und der US-amerikanischen Health- and Retirement Study. [Kor20] Auch Überblicksstudien, die eher auf qualitative Methoden fokussieren, belegen den Zusammenhang von Arbeitsintensivierung neuen Steuerungsformen, die auf Selbstorganisation von Beschäftigten basieren. [Kra20]

2.6.2.2.3. Arbeitsfelder und Gestaltungsempfehlungen

Arbeitsfeld Differenzen zwischen Konzept und Umsetzung von Agilität

Mit Agilität verbinden Personengruppen in Unternehmen unterschiedliche Erwartungen. Dies führt nicht selten dazu, dass im Agilitätsbegriff unterschiedliche Weltverständnisse aufeinanderprallen. Die Gruppe des Managements verbindet damit das Versprechen des wirtschaftlichen Erfolges durch beschleunigtes Arbeiten. Andere Gruppen im Betrieb setzen agil sein mit den Wert Menschorientierung gleich oder sehen in agilen Organisationsformen sinnorientierte Arbeitswelten. Oft werden diese unterschiedlichen Vorstellungen im Arbeitsalltag mit großer Häufigkeit und Verve diskutiert. [EM21] Dies ist anschlussfähig an verbreitete Arbeitsorientierungen der Gruppe hochqualifizierte Beschäftigte. Diese sind charakterisiert durch quasi-unternehmerisches Denken und gekennzeichnet durch Eigeninitiative, problemorientiertes statt regelorientiertes Arbeiten sowie eine starker Orientierung an der Effektivität der Firma. In ihrem direkten Arbeitsumfeld können sie dies meist umsetzen, weil sie den Umfang des Entscheidungs- und Verantwortungsspielraums, den der direkte Vorgesetzte ihnen gewährt, als ausreichend empfinden. Allerdings nehmen sie auf übergeordneten Hierarchieebenen enge bürokratische Regeln wahr, über die auch die direkten Vorgesetzten nicht verfügen können, wie beispielsweise die zu geringe Disposition über Budgetmittel und die Anschaffung von Arbeitsgegenständen. [Kot96]

⁵ Siehe dazu Wissensnugget 4 „Arbeitskonflikte“.

Unsere empirischen Befunde zeigen: Agiles Arbeiten weckt bei vielen Hochqualifizierten die Erwartung, diese bürokratischen Hürden überwinden zu können. Wenn diese Erwartung nicht erfüllt wird, kann dies allerdings zu Konflikten führen.

Dieses Konfliktfeld wird am deutlichsten erlebt bei Fällen, in denen sich Agilität als Etikettenschwindel entpuppt. Beispielsweise dann, wenn vom Management eine „agile“ Form der Arbeitsorganisation angeordnet wird, die von den Innovationsarbeiter:innen als unpassend zu ihren Arbeitsanforderungen angesehen und damit als nicht zielführend im Sinne ihrer „Beitragsorientierung“ [Kot96] erlebt wird.

Hier ist die Ebene 3 der ebenenspezifischen Kriterien (S. 80) für gut gestaltete menschengerechte Arbeit berührt. Diese betrifft die Zumutbarkeit, die Beeinträchtigungsfreiheit, den Handlungs- und Tätigkeitsspielraum der Arbeit und ist bezogen auf die Gestaltung der Arbeitsaufgaben und das unmittelbare Arbeitsumfeld.

Für die Arbeitsgestaltung bedeutet dies: Innovationsarbeiter:innen sollten im Vorfeld geplanter Veränderungen involviert werden und nicht mit fertigen Lösungen für eine neue Arbeitsorganisation konfrontiert werden, sondern die Problemstellung des Betriebes und anvisierte Ziele sollten mit ihnen erörtert werden. Dies wäre der Einstieg in eine partizipative Gestaltung der Arbeit, die unmittelbar an Arbeitsorientierungen der hochqualifizierten Mitarbeiter:innen ansetzt, die auf den Erfolg des eigenen Betriebes ausgerichtet sind.

Arbeitsfeld Mangelnde Aufgabenklarheit bei Führungskräften in agilen Prozessen

Die Einführung agiler Arbeit stellt an Organisationen die Aufgabe, dass der Wandel gelingen muss von einer auf dem Funktionsprinzip „Command-and-control“ [Fri77] basierenden Führung hin zu einer Führung, die Selbstorganisation von Prozessen ermöglicht und fördert.

Die traditionelle Auffassung darüber, was Führung bedeutet und wie Führung praktiziert werden soll, leitet sich meist aus den Bedingungen ab, unter denen Führungskräfte rekrutiert werden und unter denen sie arbeiten. In vielen Unternehmen herrscht ein fachorientierter Führungsstil vor. Führungskräfte haben sich oft durch fachliche Expertise für Führungspositionen profiliert. In ihrer Arbeit als Führungskräfte sind sie dann oft vorwiegend mit operativen Aufgaben befasst und nehmen Führungsaufgaben im Sinne von Menschenführung lediglich als Zusatzaufgabe zum operativen Geschäft wahr. Führungskräften fallen beim selbstorganisierten Arbeiten in agilen Strukturen neue Aufgaben zu und Führungsaufgaben verändern sich sehr stark. Führungskräften sollen fortan nicht mehr Ziele setzen und deren Ausführung kontrollieren, sondern sie sollen jetzt optimale Arbeitsbedingungen und optimale Leistungsvoraussetzungen für Mitarbeiter:innen bieten und diese gezielt in ihrer Entwicklung fördern. Zudem sollen sie diese zum eigenverantwortlichen Handeln ermächtigen sowie ihnen Orientierung und Halt geben, indem sie Leitlinien setzen. Das bedeutet den weitgehenden Rückzug der Führungskräfte aus dem operativen Geschäft. Zudem sollen Führungsaufgaben im Team nicht mehr bei einer Person zentralisiert werden, sondern auf mehrere Aufgabenträger:innen verteilt werden. Bei Scrum beispielsweise auf den Product Owner, den Scrum Master und das cross-funktionale Team, das sich selbst steuern soll. Dies stellt alle – Führungskräfte und Beschäftigte – vor enorme Herausforderungen: Wenn die Mitarbeiter selbst lernen sollen, eigenverantwortlich zu arbeiten, müssen Führungskräfte parallel lernen, loszulassen. [Häu20]

Beim Fall gebremste Agilität kommt dieses Konfliktfeld besonders zum Tragen. Die Innovationsarbeiter:innen begrüßen Agilität als Weg zur Entbürokratisierung und erleben nach kurzer Euphorie verschärfte Kontrolle durch direkte Vorgesetzte. Es ist zu vermuten, dass Führungskräfte in diesem Fall nicht ausreichend drauf vorbereitet wurden, dass sich im Rahmen der neuen Organisationsform ihre Aufgaben verändern.

Hier ist die Ebene 4 des arbeitswissenschaftlichen Ebenensystems (S. 80) angesprochen: Möglichkeiten zur persönlichen Weiterentwicklung oder Erhaltung allgemeiner sowie berufsbezogener individueller Kompetenzen, die andererseits auf die individuelle Zufriedenheit mit der Arbeit wirken. Es geht um die

Weiterentwicklung von organisationaler (Selbstwirksamkeit) und inhaltlicher Kompetenz (Qualifizierung). Im Falle agiler Arbeit geht es um die Qualifizierung der Führungskräfte hinsichtlich der veränderten Führungsaufgaben und der Beschäftigten in den crossfunktionalen Teams mit Blick auf Kompetenzen zur selbstorganisierten Arbeit.

Arbeitsgestaltung bedeutet auf diesem Feld, Lernprozesse zu ermöglichen und zu fördern. Für diese Lernprozesse muss ausreichend Zeit eingeplant werden und es muss durch Kompetenz in der Organisationsentwicklung begleitet werden. Viele Veränderungen der Arbeitsprozesse bei agiler Arbeit entwickeln sich in der Interaktion in und zwischen Teams und ihren Führungskräften. Dies kann im Idealfall die Form direkter Partizipation der Beschäftigten annehmen. Die repräsentative Partizipation durch Betriebsräte (BR) kann dabei außen vor bleiben, obwohl bei den Veränderungen mitbestimmungsrelevante Tatbestände berührt sein können, bei denen der BR zu beteiligen wäre. Betriebsräte müssen bei agiler Arbeit lernen, das Zusammenspiel von direkter und repräsentativer Partizipation zu moderieren.⁶

Arbeitsfeld Gratifikationsdefizite

In etwa der Hälfte der von uns untersuchten Fälle wird thematisiert, dass Agilität die Verlagerung von Verantwortung von Vorgesetzten auf die Innovationsarbeiter: innen bedeutet. Die Spezifizierung von Kundenwünschen, die Priorisierung der Kundenwünsche, die zeitliche Planung der Arbeit, die Aufteilung der Arbeit im Team, die Überwachung der Einhaltung von Spezifikationen und Zeitvorgaben, das alles sind klassische Managementaufgaben. Diese werden beim Wandel in zu Agilität auf die Teams von Innovationsarbeiter: innen übertragen. Meist wird diese Aufgaben- und Verantwortungsübernahme weder monetär noch in Form von Wertschätzung honoriert.

In Anlehnung an die arbeitspsychologische Belastungsforschung [Sie10] [SD20] können wir davon ausgehen, dass dies in psychischen Belastungen resultiert. Gerechte Gratifikation entscheidet somit über den Erfolg der Transformation hin zu agiler Arbeit.

Mangelnde Gratifikation ist in unserer Untersuchung queer zu den Fällen Etikettenschwindel, gebremste Agilität und konsequente Agilität zu beobachten.

Dieser Aspekt berührt die Ebenen 4 und 5 der ebenenspezifischen Kriterien für gut gestaltete Arbeit. Hier ist sowohl die Zufriedenheit der Arbeitenden als auch die Sozialverträglichkeit der Arbeit im Sinne einer Beteiligung der Arbeitenden an der Gestaltung im Sinne einer Beteiligung am Erfolg ihrer Arbeit angesprochen.

Für Betriebsräte (BR) ist die Entgeltgestaltung ein bedeutendes Feld ihrer Arbeit. Betriebsräte haben nach § 87 (1) 10 BetrVG ein Mitbestimmungsrecht bei allen Fragen der kollektiven Lohngestaltung im Betrieb, beispielsweise wenn der Arbeitgeber bestimmte Vergütungsordnungen oder Entlohnungsmethoden einführt. Dies betrifft nicht die Entgelthöhe, diese ist meist in Tarifverträgen festgelegt. Allerdings hat der BR nach § 80 (1) 1 die Aufgabe, „darüber zu wachen, dass die zugunsten der Arbeitnehmer geltenden Gesetze, Verordnungen, Unfallverhütungsvorschriften, Tarifverträge und Betriebsvereinbarungen durchgeführt werden.“ Darunter fällt auch die Aufgabe, über die in Tarifverträ-

⁶ Die Aspekte der direkten und repräsentativen Partizipation werden im Wissensnugget 6 „Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse“ detaillierter behandelt.

gen festgelegten Grundsätze der Eingruppierung von Beschäftigten mitzubestimmen. In vielen Tarifverträgen, so auch in dem im Bereich der IG Metall gültigen Entgeltrahmenabkommen (ERA) sind die vom Beschäftigten ausgeführten Arbeitsinhalte ein Kriterium für die Eingruppierung in eine Entgeltgruppe und somit entscheidend für die Höhe des Entgelts. Koordinierende und leitende Tätigkeiten sind höher einzugruppieren als ausführende Tätigkeiten, wie beispielsweise das Schreiben von Code für Software. BR sind in der Regel hochkompetent in Entgeltfragen. Sie sollten bestrebt sein, sich auch gegenüber den Innovationsarbeiter:innen mit dieser Kompetenz zu profilieren.

Arbeitsfeld Missachtung der repräsentativen Partizipation

Es wurde bereits dargestellt, dass wir in unserer Empirie auf Fälle gestoßen sind, in denen das Management davon ausging, dass BR lediglich die gewerblich-technischen und die kaufmännischen Beschäftigten repräsentieren und in Belangen der hochqualifizierten Beschäftigten der BR nicht zu konsultieren sei⁷. Ein Rechtsgutachten stellt unmissverständlich klar, dass BR sowohl bei der Einführung als auch bei der Ausgestaltung im laufenden Betrieb agiler Arbeit über Beteiligungsrechte verfügt [Kra21].

Dieser Punkt berührt die Ebene 5 des arbeitswissenschaftlichen Ebenensystems, die Sozialverträglichkeit der Arbeit.

Missachtung der Beteiligungsrechte sollten BR auf keinen Fall dulden und alle arbeitspolitischen Möglichkeiten sowie die Regelungen des Betriebsverfassungsgesetzes nutzen, damit ihre Stimme auch bei Regelungen zur Arbeit hochqualifizierter Beschäftigter gehört wird. Auch hier gilt: Betriebsräte müssen bei agiler Arbeit lernen, das Zusammenspiel von direkter und repräsentativer Partizipation zu moderieren.⁸

Arbeitsfeld Arbeitsintensivierung

Um hochqualifizierte Beschäftigte vor Arbeitsintensivierung zu schützen, muss sich der BR die unter Hochqualifizierten verbreitete starke „Beitragsorientierung“ zum Erfolg des Unternehmens [Kot96] vergegenwärtigen. Diese Beschäftigten wollen in der Regel eine hohe Leistung erbringen und würden Interventionen des BR, die beispielsweise auf strenge Vorschriften zur Dauer und Lage der Arbeitszeit in Entwicklungsabteilungen, kaum respektieren. Das Management kann auch kein Interesse daran haben, dass sich die hochqualifizierten Expert:innen in der Entwicklungsabteilung dauerhaft überlasten und auf psychische Belastungen beruhende Erkrankungen riskieren. Der BR sollte auf eine nachhaltige Gestaltung agiler Arbeit [BK19] hinarbeiten und dies in Kooperation mit betrieblichen Akteuren aus der Personalabteilung und der Arbeitsmedizin sowie externen Sachverständigen realisieren. Ziel solcher Aktivitäten sollte sein, die komplexen Entwicklungsdynamiken agiler Teams zu systematisieren, um dadurch die damit verbunden Belastungskonstellationen und deren Wirkmechanismen transparent zu machen. So kann der BR dazu beitragen, dass sich Beschäftigte selbst vor Überlastung schützen können. Sollten dabei Konflikte in den Teams bzw. zwischen Vorgesetzten und Teams auftreten, ist der BR als Moderator solcher Konflikte gefragt.

Hier ist zunächst die Ebene 3 des arbeitswissenschaftlichen Ebenensystems angesprochen. Beschäftigte sollen in der Lage sein, Beanspruchungswirkungen der Arbeit vermeiden oder kompensieren zu können. Sie sollten dazu über Handlungsspielräume verfügen, die Einfluss der Beschäftigten auf Menge und Zeitvorgaben ermöglichen. Dazu sind einerseits inhaltliche Kompetenzen zum Erkennen von Überlastung möglich. Das bedeutet auf der einen Seite, nachdem auf organisationaler Ebene

⁷ Dies wurde in Wissensnugget 4 „Arbeitskonflikte bei agiler Arbeit“ in Kapitel 2.3.4 dargestellt.

⁸ Die Aspekte der direkten und repräsentativen Partizipation werden im Wissensnugget 6 „Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse“ detaillierter behandelt.

die Entwicklungsdynamiken agiler Teams zu systematisiert und die damit verbunden Belastungskonstellationen und deren Wirkmechanismen transparent gemacht wurden, muss dieses Wissen den Hochqualifizierten, im Sinne von Qualifizierung, zugänglich gemacht werden. Das Management muss auf der anderen Seite dies respektieren, dazu sind organisationale Bedingungen zu schaffen, die die Selbstwirksamkeit der Beschäftigten stärken. BR können sich hier als Anwalt zum Gesundheitserhalt der Beschäftigten profilieren.

Weitere Hinweise zur betrieblichen Umsetzung der hier dargestellten Überlegungen finden sich in einer Arbeitshilfe für Betriebsräte [JK23][Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.](#) .

2.6.3. Diskussion und Ausblick

Agiler Arbeit liegt der Gedanke der Selbstorganisation zu Grunde. Die Maßnahmen zur Arbeitsgestaltung, und seien sie zum Schutz der Beschäftigten gedacht, einfach anzuordnen scheint wenig zielführend. Die in diesem Arbeitspapier skizzierten Arbeitsfelder sollten partizipativ abgearbeitet werden. Hier ist die Ebene 5 des arbeitswissenschaftlichen Ebenensystems tangiert. Es geht um die individuellen und kollektiven Möglichkeiten der Arbeitenden zur Beteiligung an der Gestaltung ihrer Arbeitsbedingungen in Bezug auf die kooperative Organisation des Leistungserstellungsprozesses. Hierin ist bereits angedeutet, dass es um ein Wechselspiel zwischen direkter und repräsentativer bzw. institutionalisierter Partizipation gehen sollte.⁹

Literaturverzeichnis

- [BK19] Boes, Andreas; Kämpf, Tobias (2019): Wie nachhaltig sind agile Arbeitsformen? In: Bernhard Badura, Antje Ducki, Helmut Schröder, Joachim Klose und Markus Meyer (Hg.): Fehlzeiten-Report 2019: Di-gitalisierung - gesundes Arbeiten ermöglichen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 193–204. Online verfügbar unter https://doi.org/10.1007/978-3-662-59044-7_13.
- [EM21] Espinoza, Franziska; Mommartz, Sabine (2021): Agile Organisationen – Versuch einer kritischen Bestandsaufnahme. In: JfP 29 (1), S. 120–146. DOI: 10.30820/0942-2285-2021-1-120.
- [Aca13] Forschungsunion; Acatech (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. BMBF.
- [Fri77] Friedman, Andy (1977): Responsible Autonomy Versus Direct Control Over the Labour Process. In: Capital & Class 1 (1), S. 43–57. DOI: 10.1177/030981687700100104.
- [Hac86] Hacker, Winfried (1986): Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Bern, Stuttgart, Toronto: Huber (Schriften zur Arbeitspsychologie, 41).
- [Häu20] Häusling, André (Hg.) (2020): Agile Organisationen: Transformationen erfolgreich gestalten Beispiele agiler Pioniere. 2. Aufl. Freiburg: Haufe Lexware.
- [JK23] Jennerich, Marco; Klippert, Jürgen (2023): Transformation von Entwicklungstätigkeiten. Advanced Systems Engineering als gewerkschaftliche Gestaltungsaufgabe. Hg. v. IG Metall Vorstand, Ressort Zukunft der Arbeit. Frankfurt a. M. (Zukunft der Arbeit KONKRET, 3).
- [Kor20] Korunka, Christian (2020): Arbeitsintensivierung: Ursachen, Verläufe und Risikogruppen. In: WSI Mitteilungen 73 (1), S. 11–18.
- [Kot96] Kotthoff, Hermann (1996): Hochqualifizierte Angestellte und betriebliche Umstrukturierung: Erosion von Sozialintegration und Loyalität im Großbetrieb. In: Soziale Welt 47 (4), S. 435–449. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/40878166>.

⁹ Dazu detailliertere Ausführungen im Wissensnugget 6 „Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse“.

- [Kot16] Kotthoff, Herrmann (2016): Arbeit, Arbeitsbewusstsein und Interessenorientierung von Hochqualifizierten An-gestellten. In: IndBez 23 (4), S. 415–439.
- [Kra20] Kratzer, Nick (2020): Arbeitsintensität und Arbeitsintensivierung. In: WSI Mitteilungen 73 (1), S. 3–10.
- [Kra21] Krause, Rüdiger (2021): Agile Arbeit und Betriebsverfassung. Frankfurt: Bund-Verlag (HSI-Schriftenreihe, Band 37).
- [LVR+87] Luczak, Holger; Volpert, Walter, Raeithel, Arne; Schwier, Willi (1987): Arbeitswissenschaft. Kerndefinition. Gegenstandskatalog, Forschungsgebiete. Eschborn: RKW.
- [Mol07] Moldaschl, Manfred (2007): Innovationsarbeit. In: Joachim Ludwig, Manfred Moldaschl, Martin Schmauder und Klaus Schmierl (Hg.): Arbeitsforschung und Innovationsfähigkeit in Deutschland. Mün-chen, Mering: Hampp (Arbeit, Innovation und Nachhaltigkeit / hrsg. von Manfred Moldaschl, Bd.9), S. 135–146.
- [Pet11] Peters, Klaus (2011): Indirekte Steuerung und interessierte Selbstgefährdung. Eine 180-Grad-Wende bei der betrieblichen Gesundheitsförderung. In: Nick Kratzer, Wolfgang Dunkel, Karina Becker und Stephan Hinrichs (Hg.): Arbeit und Gesundheit im Konflikt. Analysen und Ansätze für ein par-tizipatives Gesundheitsmanagement. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, S. 105–122.
- [Ric63] Rice, A. K. (1963): The Enterprise and its Environment. A System Theory of Management Organization. Lon-don: Routledge.
- [SBL10] Schlick, Christopher; Bruder, Ralph; Luczak, Holger (Hg.) (2010): Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg: Springer.
- [Sie10] Siegrist, Johannes (2010): Effort-reward imbalance at work and cardiovascular diseases. In: International jour-nal of occupational medicine and environmental health 23 (3), S. 279–285. DOI: 10.2478/v10001-010-0013-8.
- [SD20] Siegrist, Johannes; Dragano, Nico (2020): Der Beitrag von Gratifikationen zur Mitarbeitergesundheit. In: Bern-hard Badura, Antje Ducki, Helmut Schröder, Joachim Klose und Markus Meyer (Hg.): Fehlzei-ten-Report 2020: Gerechtigkeit und Gesundheit. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidel-berg, S. 191–202. Online verfügbar unter https://doi.org/10.1007/978-3-662-61524-9_12.
- [Syd85] Sydow, Jörg (1985): Der soziotechnische Ansatz der Arbeits-und Organisationsgestaltung. Darstellung, Kritik, Weiterentwicklung. Frankfurt a. M., New York: Campus Verlag.
- [TB51] Trist, Eric Lansdown; Bamforth, Kenneth W. (1951): Some social and psychological consequences of the longwall method of coal-getting: An examination of the psychological situation and defences of a work group in relation to the social structure and technological content of the work sys-tem. In: Human relations 4 (1), S. 3–38.
- [Wil98] Wilke, Helmut (1998): Organisierte Wissensarbeit. In: Zeitschrift für Soziologie 27 (3), S. 161–177.

2.7. Evaluationssystematik Qualität von Partizipation/Aufgabe von Betriebsräten

2.7.1. Einleitung

2.7.1.1. Zielsetzung

Ungenügende Partizipation war in vielen der von uns im Projekt MoSyS betrachteten empirischen Fälle zu beobachten. Die Ergebnisse unserer qualitativen Gruppeninterviews mit Betriebsräten (BR) werden von den empirischen Befunden der Befragung von Managern und Beschäftigten im Projekt MoSyS bestätigt. Weiter soziologische Forschungsarbeiten zu agiler Arbeit zeigen, dass es viele Fälle von gebremster Agilität bzw. Agilität als Etikettenschwindel gibt [ZKL+20] [Sau20] [PNS21]. Es ist davon auszugehen, dass mangelnde Partizipation in vielen Fällen eine Ursache ist für die Kluft zwischen dem Konzept Agilität [BBB+01] und der betrieblichen Umsetzung sowie für Belastung und Beanspruchung der Beschäftigten durch agile Arbeit. Diese Systematik dient dazu, Schwachstellen im Partizipationsprozess offen zu legen, um ihn für zu-künftige Anpassungen oder weitere organisationale Veränderungen zu verbessern.

Sie basiert zum einen auf einer Systematik zur sozio-technischen Gestaltung digitalisierter Arbeitssysteme [DHH+19] und einem Ansatz zur Überprüfung der Passung von Agilität zur Arbeitsaufgabe [Dum19]. Den Ansatz von Dumeril [Dum19] haben wir in MoSyS im Rahmen eines Workshops mit BR und durch betriebliche Anwendung auf Praxistauglichkeit überprüft. Die Rückmeldungen der beteiligten Betriebsräte sind in diese Ausführungen mit eingeflossen.

2.7.1.2. Einordnung in MoSyS

Dieses Wissensnugget ist ein praktisches Hilfsmittel (Tool) zur Umsetzung der in Wissensnugget 6 „Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse“ formulierten Hinweise.

2.7.1.3. Vorgehen

Das Wissensnugget basiert auf Erkenntnissen, die durch empirische Erhebungen bei Betriebsräten und durch Workshops mit Betriebsratsmitgliedern und hauptamtlichen Beschäftigten der IG Metall gewonnen wurden.

2.7.2. Hauptteil

2.7.2.1. Definitionen

Siehe dazu: Wissensnugget 6 „Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse“

2.7.2.2. Ergebnisse

2.7.2.2.1. Vorbereitung des Workshops

Grundsätze

Die Evaluation des Partizipationsprozesses soll im Rahmen eines betrieblichen Workshops erfolgen. Er sollte von einer/m erfahrenen Trainer:in angeleitet werden. Für den Workshop ist mindestens ein halber Arbeitstag, besser ein ganzer Tag einzuplanen. Es sollte ein Raum mit ruhiger Arbeitsatmosphäre und den üblichen Medien (Beamer, Moderationskoffer, Flipchart, Stellwände) zur Verfügung stehen.

Zu betrachtender Bereich

Vermutlich ist es so, dass nicht in allen Bereichen eines Betriebes agile Arbeit eingeführt wurde und auch nicht überall die gleichen Formen und Bedingungen der Partizipation angewendet wurden. Daher ist sinnvoll, gezielt einen Bereich auswählen, der unter gleichen Partizipationsbedingungen umgestaltet wurde, um ihn nach dieser Systematik zu überprüfen.

Teilnehmende

Teilnehmende des Workshops sind idealerweise:

- Vertreter: innen des Betriebsrats,
- Vertreterinnen der Geschäftsführung,
- Fachleute aus betroffenen Abteilungen sowie
- Beschäftigte aus betroffenen Abteilungen.

Das Team sollte fachlich fähig sein, technische und organisatorische Veränderungen zu beurteilen. Zumindest ein Teil des Teams (oder die moderierende Person) sollte über arbeitswissenschaftliche Grundkenntnisse und Erfahrung in der Moderation von Workshops verfügen. Wie groß das Team ist, können die Verantwortlichen im Unternehmen selbst entscheiden. Jedoch gilt aus Erfahrung: Viel mehr als fünf Mitglieder sollten es nicht sein.

2.7.2.2. Themen des Workshops

Zwei Themenbereiche der Checkliste

Mit dieser Systematik zur Evaluation von Partizipationsprozessen werden zwei Themenbereiche abgefragt, die für die Qualität der Partizipation relevant sind. Es geht zum einen um die Erfassung der formellen Organisation des Veränderungsprojektes im Betrieb und zum anderen darum, ob und wie Arbeitsinhalte und -prozesse im Veränderungsprojekt erfasst wurden. Die Hintergründe zu diesen beiden Themenbereichen werden im Folgenden kurz erläutert um anschließend die Checkliste vorzustellen und deren Anwendung zu erläutern.

Formelle Organisation des Veränderungsprojektes

Veränderungs- und Umsetzungsprojekte werden in der Regel nach Managemententscheidungen aufgesetzt und verfolgen das Ziel, diese Entscheidung umzusetzen. Die Umsetzung wird an eine Projektverantwortliche Person oder ein verantwortliches Team delegiert. Meist gibt es *ein steuerndes Gremium*, das die Umsetzung verfolgt, an das regelmäßig berichtet wird und das, wenn nötig Entscheidungen zu Inhalten oder Ressourcen trifft. Die erste Frage der Checkliste betrifft das Vorhandensein und die Kompetenzen dieses steuernden Gremiums.

Die zweite Frage geht auf die Qualität der *Beteiligung der Beschäftigten* ein, die von Information bis zur Erprobung und Bewertung von Alternativen durch die Beschäftigten reichen kann.

Mit der nächsten Frage wird erhoben, ob es *Erprobungsanwendungen (Pilotprojekte)* gab und welche Bereiche des Unternehmens von diesen abgedeckt wurden und ob anhand der Pilotprojekte die Erreichung der verfolgten Ziele überprüft wurde.

Die Form der *Qualifizierung und Unterstützung der Beschäftigten* wird in der vierten Frage erfasst. Neben einer grundlegenden Qualifizierung für agile Methoden ist eine laufende Unterstützung bei der Anwendung der Methoden sinnvoll.

Mit der Frage 5 werden die vorhandenen *Ressourcen für den Umsetzungsprozess* erfasst. Die Frage erfasst zum einen, ob überhaupt Ressourcen eingeplant waren und ob diese systematisch geplant worden sind, d. h. ob abgeschätzt wurde, welche Qualitäten und Quantitäten von Ressourcen in jeweiligen Projektphasen benötigt werden. Wenn Ressourcen vorhanden und systematisch geplant

waren, ist noch entscheidend, ob sie über den kompletten Umsetzungsprozess zur Verfügung standen.

Die Frage *Bewertung der Zielerreichung* zielt darauf ab, ob bezüglich der Umsetzung ein Evaluationsprozess (ggf. auch mehrere zu relevanten Zeitpunkten) durchgeführt wurde.

Mit der letzten Frage im Block Formelle Organisation des Veränderungsprojektes wird danach gefragt, ob und in welcher Intensität eine *Erfahrungstransfer* in der Organisation etabliert wurde.

Betrachtung der Arbeitsinhalte und -prozesse

Die erste Frage dieses Blocks *Klärung des Verhaltens bei Ressourcenknappheit*

zielt darauf ab, wie in agilen Projekten verfahren wird, wenn die vorhandenen personellen Ressourcen nicht ausreichen. Denkbar wären:

- Priorisierung und Scope-Anpassung; (Re-) Definieren des kleinsten möglichen Umfangs des Projekts, der einen Nutzen für die Kunden bringt
- Ressourcenoptimierung durch Prozessverbesserungen
- Akquirierung weiterer Ressourcen

Zudem kann hier eine Beratungsmöglichkeit während des laufenden Prozesses sinnvoll sein.

Die nächste Frage dieses Blocks betrifft die *Klärung der Möglichkeit und der Form von Inkrementen bei physischen Produkten*. Bei der Softwareentwicklung können Inkremente schlicht durch veränderten Code realisiert werden. Wenn physische Produkte entwickelt werden, ist zu klären, in welcher Form die Inkremente erstellt werden (Simulation, Konzept, rapid Prototyping, ...). Zudem sollte Dauer der Arbeit an einem Inkrement (Dauer eines „Sprints“) partizipativ geklärt werden.

Die abschließende Frage dient der *Klärung der Vor- und Nachteile agiler Arbeitsformen* sowie des *Wechsels zwischen agilen und konventionellen Arbeitsformen*. Wie wir mit den Wissensnuggets 4, 5 und 6 zeigen, hat agiles Arbeiten Vor- und Nachteile, die den Beschäftigten bewusst sein sollten. Agile Arbeit sollte nicht zum Dogma erhoben werden und den Teams sollte die Möglichkeit eröffnet werden, bei Bedarf auch in andere Formen des Projektmanagements zu wechseln.

2.7.2.2.3. Durchführung

Vorab ein Hinweis zur Anwendung der Checkliste in Tabelle 2-2: Diese Checkliste liefert eine Struktur, an der sich betriebliche Akteure orientieren können. Sie soll ermöglichen, dass alle am Workshop Teilnehmenden angeregt werden, ihre Assoziationen zur Agilisierung zur Sprache bringen. Agilität soll aus verschiedenen Richtungen kritisch betrachtet werden, um möglichst alle relevanten Aspekte bewusst zu machen. Ziel ist die gute Umsetzung agiler Prozesse. Uns ist völlig klar, dass die betrieblichen Realitäten so vielfältig sind, dass die Antwortmöglichkeiten nicht immer passen. Deshalb der Appell an die eigene Kreativität: eigne Einstufungen sind möglich und wenn Fragen als irrelevant eingeschätzt werden, können sie auch weggelassen werden.

Der Ablauf des Workshops ist wie folgt: Die Themen des Workshops werden kurz erläutert und nacheinander aufgerufen, ohne jedoch die Einstufungen nach Checkliste zu zeigen.

Zunächst erfolgt die freie Aussprache zu einem Thema, um Erfahrungen der Teilnehmenden damit zu Tage zu fördern. Während der nach Sammlung von Erfahrungen werden diese mit Unterstützung einer/s kompetenten Moderator: in auf Moderationskarten oder Flipchart festgehalten. Wenn der Eindruck entsteht, dass die Teilnehmenden durchdrungen haben, worauf das Thema abzielt, wird die Einstufung nach der Checkliste offengelegt und die Teilnehmenden stimmen ab, welche Einstufung

sie wählen. Ideal ist, wenn Konsens erreicht werden kann. Wenn dies nicht möglich ist, kann mehrheitlich abgestimmt werden. Das Ergebnis der Abstimmung sollte notiert werden (vor allem bei knappen Ergebnissen).

Die folgende Tabelle 2-2 zeigt die komplette Checkliste im Überblick:

Tabelle 2-2: Checkliste für die Durchführung von Workshops

Formelle Organisation des Veränderungsprojektes					
Steuerndes Gremium für Umsetzungsprojekte	Kein steuerndes Gremium vorhanden	Steuerndes Gremium vorhanden, welches die Veränderung begleitet	Steuerndes Gremium vorhanden, welches die Veränderung beurteilt und Vorschläge erarbeitet	Steuerndes Gremium vorhanden, welches Veränderung beurteilt und Entscheidungen über Projekte trifft	Steuerndes Gremium vorhanden, welches zusätzlich unternehmensweit Projekte koordiniert
Beteiligung der Beschäftigten	Nur Information	Information und Beantwortung von Fragen	Berücksichtigung von Beschäftigteninteressen bei der Gestaltung	Aktive Mitgestaltung durch die Beschäftigten	Beschäftigte erproben und bewerten Alternativen
Erprobungsanwendungen (Pilotprojekte)	Keine Pilotanwendung	Pilotanwendung teilweise umgesetzt	Pilotanwendung über Teilbereiche hinaus umgesetzt	Pilotanwendung mit definierten Zielen für Mensch, Technik und Organisation	Zielerreichung der Pilotanwendung werden systematisch überprüft
Qualifizierung und Unterstützung	Keine Qualifizierung	Qualifizierung in agilen Methoden für ausgewählte Beschäftigte	Möglichkeit der Unterstützung bei Bedarf (Scrum Master o. ä.)	Qualifizierung in agilen Methoden für alle	Qualifizierung für alle und Möglichkeit der Unterstützung
Ressourcen für den Umsetzungsprozess	Nicht vorhanden	Nicht ausreichend vorhanden	Systematisch geplant	Systematisch geplant und zur Verfügung gestellt	Sicherstellung der Ressourcen über den gesamten Umsetzungsprozess
Bewertung der Zielerreichung	Keine Evaluation	Freie, qualitative Evaluation	Qualitative Evaluation anhand vorher definierter Kriterien	Quantitative Evaluation anhand vorher definierter Kennzahlen	Evaluation mit Dokumentation und Ableitung neuer Initiativen
Erfahrungstransfer	Nicht oder kaum etabliert	Wissen über die Umsetzung technischer und organisatorischer Innovationen wird in geringem Umfang geteilt	Erkenntnisse werden systematisch aufbereitet und geteilt	Betrieb verfügt über einen definierten Prozess der Weitergabe von Wissen und Erfahrungen	Dieser Prozess wird beurteilt und weiter entwickelt
Betrachtung der Arbeitsinhalte und Prozesse					
Klärung über das Verfahren bei Ressourcenknappheit (Priorisierung/ Scope-Anpassung, Optimierung, Akquise)	Nicht durchgeführt	In grober Form durchgeführt	Weitgehende Klärung	Umfassende Klärung	Umfassende Klärung und Bereitstellung von Beratung dazu (z. B. durch Scrum-Master)
Klärung der Möglichkeit und der Form von Inkrementen bei physischen Produkten (inkl.)	Nicht durchgeführt	Möglichkeit von Inkrementen grob geklärt	Form von Inkrementen (Simulation, Konzept, rapid Prototyping, ...) grob geklärt	Form von Inkrementen (Simulation, Konzept, rapid Prototyping, ...) umfassend geklärt	Form von Inkrementen und Dauer der Arbeit am Inkrement (Sprint) umfassend geklärt

Dauer der Arbeit an einem Inkrement)					
Klärung der Vor- und Nachteile agiler Arbeitsformen, Wechsel zwischen agilen und konventionellen Arbeitsformen	Nicht durchgeführt	Vor- und Nachteile agiler Arbeitsformen grob geklärt	Vor- und Nachteile agiler Arbeitsformen umfassend geklärt	Vor- / Nachteile agiler Arbeitsformen und Anlässe für Wechsel zu konventionellen Arbeitsformen grob geklärt	Vor- und Nachteile agiler Arbeitsformen und Anlässe für Wechsel zu konventionellen Arbeitsformen umfassend geklärt

Auswertung

Wenn alle Themen abgearbeitet sind, sollte noch besprochen werden, ob zur jeweiligen Frage ein Handlungsbedarf gesehen wird. Bei Handlungsbedarf sollte in angemessener Zeit eine Lösung erarbeitet werden und es sollte festgelegt werden, wer für die Realisierung verantwortlich ist. Dies sollte ebenfalls schriftlich festgehalten werden.

2.7.3. Diskussion und Ausblick

Dieses Wissensnugget ist direkt zur praktischen Anwendung in Industrie und Forschung konzipiert.

Zur weiteren Entwicklung wären Rückmeldungen an die Autoren über die Erfahrungen bei der praktischen Anwendung hilfreich.

Literaturverzeichnis

- [BBB+01] BECK, K.; BEEDLE, M.; BENNEKUM, A.v.; COCKBURN, A. CUNNINGHAM, W.; FOWLER, M. et al. (2001): Agile Manifesto. <http://agilemanifesto.org> (Zugriff 13.12.2021)
- [DHH+19] Deuse, Jochen; Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Nöhring, Fabian; Wienzeck, Tobias; Gerst, Detlef (2019): Kompass Digitalisierung. Eine Gestaltungshilfe für gute digitale Arbeit. Hg. v. IG Metall Vorstand, Res-sort Zukunft der Arbeit.
- [Dum19] Duméril, Jean-Christophe (2019): Agility Suitability Check. Agile Methoden am richtigen Ort einsetzen. In: Christoph Negri (Hg.): Führen in der Arbeitswelt 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 52–62.
- [PNS21] Pfeiffer, Sabine; Nicklich, Manuel; Sauer, Stefan (Hg.) (2021): The Agile Imperative. Cham: Springer International Publishing.
- [Sau20] Sauer, Stefan (2020): Die Paradoxien von Selbstorganisation und Anerkennung – am Beispiel Agilität. In: Porschen-Hueck, Stephanie, Marc Jungtäubl und Margit Wehrich (Hg.): Agilität?: Herausforderungen neuer Konzepte der Selbstorganisation. 1. Aufl.: Rainer Hampp Verlag, S. 151–162.
- [ZKL+20] Ziegler, Alexander; Kämpf, Tobias; Lühr, Thomas; Boes, Andreas (2020): Agile Arbeitsformen in der Praxis. In: Andreas Boes, Katrin Gül, Tobias Kämpf und Thomas Lühr (Hg.): Empowerment in der agilen Arbeitswelt: Analysen, Handlungsorientierungen und Erfolgsfaktoren. Freiburg, München, Stuttgart: Haufe-Lexware, S. 33–51.

2.8. Gestaltungsempfehlungen für Partizipationsprozesse

2.8.1. Einleitung

2.8.1.1. Zielsetzung

Partizipation von Beschäftigten an der Gestaltung und Ausführung ihrer Arbeit ist leicht gesagt. Doch in der Umsetzung zeigen sich oft Schwierigkeiten. Um die Umsetzung zu erleichtern, werden wir im ersten Schritt (Kapitel 2.8.2.1) die unterschiedlichen Formen, direkte und repräsentative Partizipation, erläutern. Wir zeigen zudem die Rechte von Betriebsräten (BR) als Form der repräsentativen Partizipation und Treiber und Hemmnisse direkter Partizipation aus der Literatur auf. Anschließend (Kapitel 2.8.2.2) werfen wir einen Blick auf unsere empirischen Befunde zur direkten und repräsentativen Partizipation aus dem Projekt MoSyS. Hier lassen sich gelungene Beispiele für Partizipation finden, doch wir haben auch misslungene oder fehlende Partizipation beobachten können. Anhand unserer empirischen Befunde und theoretischen Überlegungen arbeiten wir anschließend (Kapitel 2.8.3) anzustellende Überlegungen bei der Gestaltung und Empfehlungen für gelungene Partizipationsprozesse bei agiler Arbeit heraus.

2.8.1.2. Einordnung in MoSyS

Dieses Wissensnugget liefert die Gewerkschafts- und Betriebsratsperspektive zur Kollaboration im agilen Systems Engineering und trägt damit zum AP 1 Kollaboration bei. Weiterhin liefert es Beiträge zum AP 7 Veränderungsmanagement – Agile SE-Organisation sowie zum AP 2 SoS-Engineering und zum AP 5 KI-unterstütztes Engineering aus der Perspektive von Betriebsräten und Gewerkschaften.

2.8.1.3. Vorgehen

Das Wissensnugget basiert auf Erkenntnissen, die durch empirische Erhebungen bei Betriebsräten und durch Workshops mit Betriebsratsmitgliedern und hauptamtlichen Beschäftigten der IG Metall gewonnen wurden.

2.8.2. Hauptteil

2.8.2.1. Definitionen

Zum Begriff Partizipation

Partizipation von Beschäftigten an der Gestaltung und Ausführung ihrer Arbeitstätigkeit kann in Form „direkter“ oder „individueller“ Partizipation als auch in „repräsentativen“ Formen der Interessenvertretung durch Betriebsrat und Gewerkschaften erfolgen. Direkte Partizipation bedeutet, dass die Beschäftigten im Rahmen der Arbeitsorganisation Möglichkeiten der Einflussnahme die Arbeit betreffende Angelegenheiten haben, beispielsweise auf die Reihenfolge von Arbeitsschritten, auf das Vorgehen beim Bewältigen unvorhergesehener Ereignisse oder die tägliche Arbeitsmenge. Weitergehende Formen direkter Partizipation eröffnen den Beschäftigten auch Einfluss auf arbeitsrelevante Entscheidungen, beispielsweise bei der Beschaffung von Arbeitsmitteln oder der Prozessplanung. Wie der Begriff repräsentative Partizipation bereits andeutet, nehmen hier die Beschäftigten nicht direkt, sondern über Repräsentant:innen Einfluss auf ihre Arbeitsbedingungen. Betriebsräte und Gewerkschaften sind bekannte Beispiele für Repräsentant:innen von Beschäftigten bei Fragen der Arbeitsbedingungen.

2.8.2.1.1. Direkte Formen von Partizipation

Bei den Formen „direkter“ oder „individueller“ Partizipation sind nach Sisson [Sis00] folgende Dimensionen zu unterscheiden:

- **Konsultation**; Arbeitskräfte werden angeregt, ihr Wissen und ihre Sichtweise in die Planung der Arbeit und in Managemententscheidungen einzubringen, wobei sich das Management vorbehält die letztendliche Entscheidung zu treffen.
- **Delegation**; Beschäftigten werden Spielräume für individuelle Selbsttätigkeit und kollektive Selbstorganisation eingeräumt, ohne dass dies mit dem Management rückgekoppelt wird. Dies wird auch als (Teil-)Autonomie bezeichnet.

Die Verbreitung direkter Partizipation variierte traditionell nach Unternehmensstrategie, Beschäftigtengruppen und Betriebsgröße. Direkter Einfluss von Beschäftigten auf ihre Arbeit im Sinne von (Teil-)Autonomie findet sich eher, wenn [KE04]:

- Das Unternehmen bestrebt ist, Eigenverantwortung zur Effizienzsteigerung gezielt zu forcieren, um Leistungspotentiale der Beschäftigten auszuschöpfen;
- Die Beschäftigten über hohe Qualifikationsniveaus verfügen oder es sich um Wissensarbeit in Dienstleistungs- und Industriebranchen handelt, die Selbstorganisation ermöglicht bzw. notwendig macht; oder
- Es sich um kleinbetriebliche Strukturen handelt, wo eigenverantwortliches Arbeiten mangels Regelungsmechanismen naturwüchsig und informell erfolgt.

Dies trifft weitgehend auch auf Agile Arbeit zu. Diese ist vorrangig in Entwicklungsabteilungen zu finden, in denen von hochqualifizierten Beschäftigten Wissens- bzw. Innovationsarbeit praktiziert wird (Zum Begriff Innovationsarbeit s. Arbeitsergebnis Nr. 4, „Gestaltungsleitlinien Innovationsarbeit“). Bei agiler Arbeit ist jedoch unklar, ob es sich ausschließlich um direkte Partizipation im Sinne von Delegation handelt. Unsere empirischen Befunde aus den Projekt MoSyS [JK23] deuten auf Mischformen hin. Bei der Untersuchung der Befunde zur direkten Partizipation betrachten wir, ob Delegation oder Konsultation vorliegt.

2.8.2.1.2. Repräsentative Formen von Partizipation

Unter repräsentativen Formen der Partizipation sind Mitwirkung und Mitbestimmung durch Organe der kollektiven Interessenvertretung zu verstehen. Die Arbeitsbeziehungen in Deutschland sind durch ein duales System der industriellen Beziehungen gekennzeichnet. Auf betrieblicher Ebene agieren Betriebsräte, die von den Beschäftigten des Betriebes gewählt sind, unabhängig davon, ob diese Gewerkschaftsmitglieder: innen sind oder nicht. Auch die Kandidatur für ein Betriebsratsmandat ist nicht von einer Gewerkschaftsmitgliedschaft abhängig. Betriebsratsgremien sind mit Gewerkschaften, der zweiten Akteursgruppe im dualen System, zwar oft eng verflochten, doch sind sie rechtlich unabhängig von den Gewerkschaften. [Wir21] Darin liegt vermutlich eine Ursache der traditionell hochkomplexen und widersprüchlichen Beziehungen zwischen Betriebsräten und Gewerkschaften. Der weitaus größte Teil aller Betriebsräte ist Mitglied einer Gewerkschaft im Deutschen Gewerkschaftsbund (DGB) und Betriebsräte stellen einen großen Teil der aktiven ehrenamtlichen Gewerkschaftsfunktionäre. Daher werden Mitglieder von Betriebsratsgremien von den Beschäftigten in der Regel als Gewerkschaftsvertreter angesehen, auch wenn sie in ihrer Funktion als Betriebsräte rechtlich unabhängig von Gewerkschaften handeln. Gerade jüngere Betriebsratsmitglieder gehen in ihrem Handeln unabhängiger von Gewerkschaften vor als Ältere, die aus traditioneller Verbundenheit meist einen höheren Grad an Loyalität gegenüber „ihrer“ Organisation aufweisen. [Tie08]

Das Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG) bildet die rechtliche Grundlage für die Aktivitäten von Betriebsräten. Betriebsräte sind nach BetrVG Vertretungsorgan der Beschäftigten des Betriebes und zugleich dem Betriebswohl verpflichtet. Dieser rechtliche Rahmen orientiert Betriebsräte auf kooperative und konsensuale Zusammenarbeit mit dem Management. Bei Konflikten, die auf betrieblicher Ebene nicht zu lösen sind, sieht das BetrVG den Gang vor das Arbeitsgericht vor. Für seine Arbeit

kann der BR auf eine Reihe im Gesetz verbriefter Rechte zurückgreifen. Dabei sind Mitbestimmungsrechte, Mitwirkungsrechte und Beratungsrechte sowie Informationsrechte zu unterscheiden. Informationsrechte legen dem Management die Verpflichtung auf, den BR „rechtzeitig und umfassend“ zu informieren. Beratungsrechte bedeuten, dass das Management den BR zu einer geplanten Maßnahme anhören und seine Meinung zur Kenntnis nehmen muss, letztlich aber einseitig entscheiden kann. Bei Mitwirkungsrechten kann der BR einer angekündigten Maßnahme des Managements - unter Bezugnahme auf im Gesetz formulierte Gründe - widersprechen. Gelingt eine Einigung auf betrieblicher Ebene nicht, kann das Management die fehlende Zustimmung des BR beim zuständigen Arbeitsgericht einholen. Bei Mitbestimmungsrechten kann das Management – bei einem wirkmächtigen BR – nicht einseitig entscheiden. Hier müssen sich BR und Management betrieblich einigen. Wenn diese nicht erzielt werden kann, kann eine sogenannte Einigungsstelle einberufen werden. Unter Vorsitz eines neutralen Vorsitzenden – meist sind dies Arbeitsrichter: innen höherer Instanzen - wird dann zwischen den Betriebsparteien eine Einigung ausgehandelt. Falls auch dies nicht gelingt, ersetzt der Spruch der/des Vorsitzenden die fehlende Einigung und es wird im Betrieb so verfahren, wie im Spruch formuliert. Bei diesen erzwingbaren Mitbestimmungsrechten haben BR zudem ein Initiativrecht, das bedeutet, sie können selbst initiativ werden, eigene Vorschläge in die betriebliche Debatte einbringen und auf deren Umsetzung dränge – bis zu einer Entscheidung durch eine Einigungsstelle. [Wir21]

2.8.2.2. Ergebnisse

2.8.2.2.1. Forschungsstand - Rechte von BR bei agiler Arbeit

Der BR hat sowohl bei der Einführung agiler Arbeit als auch bei deren Ausgestaltung im laufenden Betrieb Beteiligungsrechte. Die Einführung agiler Arbeit bedeutet eine Veränderung der Gestaltung von Arbeitsplatz und Arbeitsablauf. Der Betriebsrat verfügt in solchen Fällen über ein Informationsrecht gemäß § 90 Abs. 1 BetrVG und ein Beratungsrecht gemäß § 90 Abs. 2 BetrVG. Das Management ist somit verpflichtet, den Betriebsrat bereits im Vorfeld der Einführung agiler Arbeit zu informieren, dass diese Arbeitsorganisationsform eingeführt werden soll. Wenn der BR daraufhin Gesprächsbedarf gegenüber dem Management anmeldet, um beispielsweise eigene Vorschläge einzubringen oder Bedenken zu den Plänen des Managements zu äußern, so hat das Management diesem Wunsch nachzukommen und die Äußerungen des BR anzuhören. Der § 90 BetrVG zielt ausdrücklich auf die Gestaltung der Arbeit am Leitbild einer menschengerechten Gestaltung der Arbeit orientieren und geht somit weiter als Regelungen zum Gesundheitsschutz. In der Praxis werden Debatten darüber, was „menschengerecht“ konkret bedeutet, Stoff für Konflikte bieten, denn arbeitswissenschaftlich kann diese Frage nicht in allen Fällen eindeutig beantwortet werden. Insbesondere bei relativ neuen Organisationsformen wie der agilen Arbeit dürfte der Stand der Forschung noch keine gesicherten Erkenntnisse liefern. Häufig ist jedoch die Einführung von Agilität mit weiteren Veränderungen der Bürogestaltung verbunden, beispielsweise mit offenen Bürokonzepten ohne feste Arbeitsplatzzuordnungen. In solchen Fällen, in denen ein belastbarer Forschungsstand vorliegt, kann dessen Beachtung mittels des § 90 BetrVG eingefordert werden und bei Missachtung desselben kann der BR gemäß § 91 BetrVG ein korrigierendes Mitbestimmungsrecht geltend machen, um bestehende Missstände durch schlechte Gestaltung zu beheben. Die Veränderungen der Abläufe durch die Einführung agiler Arbeit können mitunter so grundlegend sein, dass eine sogenannte Betriebsänderung nach § 111 BetrVG vorliegen kann. Diese liegt dann vor, wenn agile Arbeit eine grundlegende Änderung der Betriebsorganisation und die Einführung grundlegend neuer Arbeitsmethoden für den betroffenen Betrieb bedeuten würde. Das BetrVG verlangt von den Betriebsparteien, dies mit der gebotenen rechtlichen Sorgfalt zu prüfen und bei Vorliegen einer Betriebsänderung entsprechende Maßnahmen zu ergreifen und beispielsweise einen Interessenausgleich nach § 112 BetrVG durchzuführen, um Nach-

teile für Beschäftigte auszugleichen. Zudem kann es bei der Einführung agiler Arbeit auch zu Versetzungen von Mitarbeiter:innen kommen, wenn diese sich beispielsweise entscheiden, in eine Abteilung zu wechseln, in der weiterhin mit den bisherigen Entwicklungsmethoden gearbeitet wird, oder die Einführung von Agilität kann Einstellungen neuer Mitarbeiter erforderlich machen, die über Erfahrungen im agilen Arbeiten verfügen. Agiles Arbeiten bedeutet oft eine Zunahme von Verantwortung oder zusätzlicher Aufgaben durch Entwicklungsteams. Diese sind Kriterien, die sich auf die Eingruppierung in Entgeltgruppen auswirken können. Bei all diesen Belangen, bei Versetzung, Einstellung und Eingruppierung verfügt der BR über Beteiligungsrechte. [Kra20]

Wenn Agilität in einem Betrieb eingeführt worden ist, enden die Beteiligungsrechte des BR nicht. Der verfügt auch im laufenden Betrieb, bei der Ausgestaltung agiler Arbeit über umfassende Rechte. Bei agiler Arbeit handelt es sich um eine Form der Gruppenarbeit. Der BR hat nach § 87 (1) 13 Mitbestimmungsrechte bei der Durchführung von Gruppenarbeit, ohne seine Zustimmung dürfen beispielsweise die an Gruppen übertragenen Aufgaben oder die Einbindung der Gruppe in die betrieblichen Abläufe nicht verändert werden. Der § 87 BetrVG sieht noch weitere Mitbestimmungsrechte des BR vor, so beispielsweise bei Arbeitszeitfragen und Urlaubsregelungen, beim Gesundheitsschutz und bei Möglichkeiten der technischen Überwachung von Leistung und Verhalten von Beschäftigten (z. B. durch Erfassung von Arbeitsmengen in Form von Storypoints). Zudem regelt der § 87 BetrVG die Mitbestimmung des BR bei entgeltbezogenen Fragen sowie der Qualifizierung und Weiterbildung. [Kra21]

Viele dieser mitbestimmungsrelevanten Fragen im laufenden Betrieb der Agilität, wie Beginn und Ende der täglichen Arbeitszeit oder Urlaubsregelungen werden in den Teams geregelt. Auch die Veränderungen der an die Gruppen übertragenen Aufgaben oder die Einbindung von Gruppen in die Linienorganisation werden bei agiler Arbeit in und zwischen Teams geregelt. Bieten sich bei Fragen der technischen Überwachung kollektive Regelungen an, beispielsweise zur anonymen Speicherung von individuellen Leistungsdaten, so ist bei anderen genannten Punkten zu hinterfragen, ob und wie hier kollektive Regelungen sinnvoll sind. Zugleich hat der BR die Aufgabe über die Einhaltung gesetzlicher und tariflicher Regelungen zu wachen, um Beschäftigte in sozialer, gesundheitlicher und wirtschaftlicher Hinsicht zu schützen. Hier treten bereits einige Widersprüche zwischen der direkten und der repräsentativen Partizipation zu Tage, die sich je nach Ausgestaltung fördernd oder hemmend auf die Partizipationsmöglichkeiten der Beschäftigten auswirken können.

2.8.2.2.2. Forschungsstand - Wirkungen von Konsultation auf Arbeitsbedingungen

Direkte Partizipation in Form von Konsultation ist die Form der Einbindung von Arbeitskräften in betriebliche Entscheidungen, bei denen Führungskräfte in mehr oder weniger strukturierten Verfahren Beschäftigte nach deren Meinung fragen bzw. gemeinsam mit MitarbeiterInnen oder Gruppen Lösungen aushandeln. Dies sind konkret bei Mitarbeiter:innenbefragungen und Mitarbeiter:innengespräche sowie temporäre Projektgruppen für spezielle Reorganisationsmaßnahmen oder längerfristige Arbeitsgruppen wie beispielsweise Qualitätszirkel. Auch personen- oder gruppenbezogene Leistungsvereinbarungssysteme, leistungs- und erfolgsorientierte Entgeltgestaltung bzw. Unternehmensbeteiligung für Beschäftigte (z.B. Aktienprogramme) gehören zu den Formen von Konsultation. Die leistungsorientierte Vergütung ist deshalb relevant, weil Leistungsvereinbarungssysteme auch in Form von Zielvereinbarungen gestaltet sein können und diese häufig mit der Variabilisierung von Einkommensbestandteilen einhergehen. [KE04]

Agile Arbeit zielt vorrangig auf Delegation als Element von direkter Partizipation, doch sie kann Elemente des Konzepts Konsultation enthalten. Dies ist dann der Fall, wenn agile Formen, wie tägliche Meetings im Stehen (Daily Stand Ups) unter Beteiligung von Vorgesetzten oder speziellen Koordinator:innen für tägliche Meetings abgehalten werden und aus den dort besprochenen Inhalten Vorgaben

für die Entwickler: innen abgeleitet werden. Es gibt Fälle, in denen die Einhaltung dieser Vorgaben von den Vorgesetzten kontrolliert werden oder die Arbeitserledigung quantifiziert wird, beispielsweise anhand der im Arbeitsvorrat (Produkt-Backlog) formulierten Punkte zu den Produkteigenschaften (Story-Points), um Teams miteinander zu vergleichen.

Ersteres war in dem von uns untersuchten Fall Selbstorganisation als Etikettenschwindel (s. Kapitel 2.8.2.2.4) zu beobachten. Die letztere Variante von Konsultation war in dem von uns empirisch untersuchten Fall gebremste Selbstorganisation (s. Kapitel 2.8.2.2.5) zu finden. In diesem Fall regte das obere Management mit der Einführung von Agilität direkte Partizipation in Form der Delegation an. Das mittlere Management untergrub dieses Ansinnen aufgrund von Angst vor Kompetenz- und Statusverlust und begann wieder Reports einzufordern und verglich die Arbeitsergebnisse verschiedener Teams nach quantitativen Kriterien, um gezielt Leistungsdruck aufzubauen. [Kli24b] Diese Formen der Umsetzung agiler Arbeit sind noch sehr nahe an der Konsultation, denn hinter der Fassade von Delegation und Selbstorganisation trifft das Management letztendlich die Entscheidungen. Diese Formen bürokratische Einflussnahme auf ihre Arbeit wird von Entwickler: innen als Behinderung ihrer Beitragsorientierung empfunden, weil es sie daran hindert, optimale Arbeitsergebnisse abzuliefern, die den Erfolg des Betriebes fördern.

2.8.2.2.3. Forschungsstand - Wirkung von Delegation auf Arbeitsbedingungen

Die Delegation von Entscheidungskompetenzen durch das Management eröffnet für Mitarbeiter: innen die Möglichkeit selbstorganisiert in Einzel- oder Gruppenarbeit zu agieren. Das macht diese Form der direkten Partizipation für Beschäftigte attraktiver als die Konsultation. Agile Arbeit weckt bei vielen Entwickler: innen die Hoffnung auf eine Abkehr von Formen der Bürokratie wie beispielsweise die Steuerung nach Kennzahlen. Insofern steckt in Delegation ein Potenzial für humanere Arbeit. Doch wird dieses Potenzial in der Praxis wirksam?

Studien nach der Selbstorganisationswelle zur Jahrtausendwende zeigen ein differenziertes Bild. Es ist eine Zunahme von Autonomie zu beobachten. Das Motiv des Managements bei der Gewährung von Autonomie ist meist nicht Humanisierung, sondern Effizienzsteigerung bei der Erledigung der Arbeitsaufgaben. Die Forcierung der Selbstverwirklichung bei den Beschäftigten ist nur in Ausnahmefällen zu beobachten. Selbstorganisation beschränkt sich in der Regel auf die eigenverantwortliche Festlegung von Aspekten der Arbeitsdurchführung. Betriebliche Rahmenbedingungen können selten beeinflusst werden. Dies gilt für die Ressourcenzuteilung bei selbstbestimmter Arbeit und auch für Aspekte der Leistungsregulierung wie z.B. Gestaltung der Entgeltsysteme, Regelungen für Überstundenabgeltungen oder Weiterbildungsmöglichkeiten. Diese sind weitgehend der Selbstbestimmung durch die Beschäftigten entzogen. Die direkte Kontrolle ist bei selbstorganisierten Arbeitsformen weitgehend durch indirekte Kontrollformen ersetzt. Dabei wird das Ergebnis der Arbeit betrachtet. Als Leistung gilt nicht mehr der Aufwand oder die Anstrengung und auch nicht das stoffliche Ergebnis in einer bestimmten Zeiteinheit wie beim klassischen Akkord- oder Prämienlohn. Leistung wird nun vom Ende der betrieblichen Prozesskette her definiert. Leistung ist, was der Markt als solche anerkennt. Dies wird in betriebswirtschaftlichen Kennzahlen (Umsatz-, Rendite-, Kostendeckungsgrößen) formuliert, die mit den Beschäftigten ausgehandelt werden und an denen diese gemessen und mit anderen verglichen werden. Selbstorganisation zur Effizienzsteigerung bewirkt in den meisten Fällen eine Leistungsintensivierung und -extensivierung. Hierin liegt das individuelle Risiko von Selbstüberforderung, Selbstausbeutung bis hin zum Burnout. [KE04]

2.8.2.2.4. Eigene empirische Befunde: Partizipation bei Agilität als Etikettenschwindel

Aus unserem empirischen Material und anhand des Forschungsstandes zu Agilität wurden drei Typen der Umsetzung von Agilität identifiziert [Kli24b]. Anhand dieser Fälle aus unserem empirischen Material, die diesen Typen entsprechen, illustrieren wir auch unterschiedliche Grade und Formen von Partizipation.

Mit der Einführung agiler Arbeit wurde Verantwortung für die Projektaufgaben an die Beschäftigten delegiert, die vorher bei den direkten Vorgesetzten lag. Nach Ansicht des BR wurde dies von vielen Beschäftigten als Abwälzen von Verantwortung auf die jeweils darunterliegenden Hierarchieebenen empfunden, weil es an der Unterstützung durch die Führungskräfte mangelte, wenn Schwierigkeiten im Projekt auftraten.

Die Verbesserung der Einhaltung von Lieferterminen war Ziel des Managements bei der Einführung agiler Arbeit. Ein agiles Tool hierfür sind Zeitschätzungen durch die Mitarbeiter: innen für die aktuell anstehende Arbeitsaufgabe. Die Einführung derselben wurde einerseits als Verbesserung aufgefasst, weil es bisher nur Endtermine für Gesamtprojekte gab und nun zeitliche Orientierungen für einzelne Projektschritte zur Verfügung standen. Andererseits erlebten Beschäftigte, dass sie diszipliniert wurden, wenn sie ihre eigene Zeitschätzung nicht einhalten konnten. Eine Reflexion von Ursachen der Zeitüberschreitung fand in diesen Fällen nicht statt, so dass Beschäftigte den Eindruck gewannen, Disziplinierung, nicht Prozessverbesserung, sei die eigentliche Funktion der Zeitschätzung. So wurde die Konsultation der Beschäftigten durch das Management als Repression erlebt.

Im BR-Gremium sind nur wenige Personen der Gruppe hochqualifizierter Beschäftigter vertreten. Der Vorsitzende entstammt der Gruppe der gewerblich-technischen Mitarbeiter und die Arbeit des Gremiums ist in erster Linie an den Belangen dieser Beschäftigten ausgelegt.

Der Betriebsrat war im Vorfeld über die Pläne zur Einführung von agiler Arbeit informiert. Das Management teilte mit, dass Scrum eingeführt werden soll und bot dem BR an, am Change-Prozess teilzunehmen. Der BR entsandte Vertreter: innen zu den Treffen, kam aber schnell zu dem Urteil, dass der Change-Prozess nicht gut organisiert ist. Der BR hatte den Eindruck, dass Scrum nicht konsequent umgesetzt wird und sich das Management nur einige Tools aus Scrum ausgewählt hatte, die in deren Vorstellungen der Prozessorganisation hineinpassten. In den Teams hing es stark von der Persönlichkeit des direkten Vorgesetzten ab, wie die Tools angewandt wurden und agile Arbeit umgesetzt wurde. Beschäftigte empfanden die agile Arbeitsweise oft als weitere Belastung, weil sie mit zusätzlichem Dokumentationsaufwand verbunden war.

So hat der BR erst nach der Einführung agiler Arbeitsformen bruchstückhaft und informell von den tatsächlich durch die Anwendung von Scrum ausgelösten Veränderungen in der Entwicklungsabteilung erfahren. Eine nachträgliche Korrektur schien nicht mehr möglich, weil sich bereits die Einführung weiterer Prozessveränderungen abzeichnete, ohne die Erfahrungen mit Scrum hinreichend zu reflektieren.

2.8.2.2.5. Eigene empirische Befunde: Partizipation beim Fall gebremste Agilität

Das Top-Management hatte in diesem Fall angekündigt, Agilität einführen zu wollen. Die Delegation von Kompetenzen zur Bearbeitung der Entwicklungsprojekte wurde von den Beschäftigten begrüßt, weil daran die Erwartung geknüpft war, die bürokratische Bevormundung durch Vorgesetzte zu überwinden, die oft als Hindernisse in der Arbeit wahrgenommen wurden. Es wurden umfangreiche Qualifizierungsmaßnahmen angeboten und den Beschäftigten standen von Beginn an bei Bedarf Expert: innen für agile Arbeit als Berater: innen zur Seite.

Die direkten Führungskräfte der Entwicklungsbeschäftigten waren zunächst reserviert angesichts der organisatorischen Neuerungen. Die Zurückhaltung wandelte sich nach einiger Zeit der Erfahrungen

mit der agilen Arbeitsweise zu einer informellen Blockade. Die direkten Führungskräfte befürchteten den Verlust ihrer fachlichen und disziplinarischen Aufgaben, die sie bisher in den Projekten hatten. Zudem sahen sie ihre herausgehobene Stellung und den damit verbundenen Status in Gefahr, weil die Teams beim agilen Arbeiten die Arbeitsteilung in den Projekten selbst festlegten, die konkreten Arbeitsziele bestimmten und deren Koordination übernahmen. Den mittleren Führungskräften war ihre neue Rolle bei der agilen Arbeit nicht vermittelt worden. Die sollte sich wandeln, weg vom Erteilen von Anweisungen und der anschließenden Überwachung der Einhaltung hin zu einer Funktion als Coach und Mentor der Teams. Als Gegenreaktion wurden – informell – wieder mehr Reports eingefordert und die Teams in ihrer Leistung untereinander verglichen und zunehmend unter Druck gesetzt.

Da es sich um einen Betrieb handelte, in dem ausschließlich entwickelt wird, stammten die Mitglieder des BR im Beispiel gebremste Agilität fast ausschließlich aus der Gruppe der Softwareentwickler: innen. Der BR war bereits im Vorfeld über die Pläne zur Einführung agiler Arbeit im Bilde, allerdings eher informell, weil Mitglieder des Gremiums in ihrer Funktion als Entwickler: innen bereits über die Pläne informiert waren.

Der BR war ebenfalls von der anfänglichen Euphorie im Betrieb angesichts der Einführung von Agilität erfasst worden und begrüßte die Top-down Initiative zur Einführung agiler Arbeitsformen. Nach und nach brachten die Gremiumsmitglieder eigene Vorstellungen über selbstorganisierte Arbeit in die betriebliche Debatte ein. Als die Euphorie durch die Blockade des mittleren Managements in Enttäuschung umschlug, wurde der BR aktiv und hat die Formulierung eines gemeinsamen Papiers mit dem Management zur Reflexion über die Art der Zusammenarbeit im Betrieb angestoßen. Dies beeinflusste betrieblichen Diskurs über agile Arbeit maßgeblich. Im weiteren Verlauf des Diskurses entwickelte sich ein selbstbewussterer Umgang mit Agilität in der Belegschaft. Insbesondere bei der Festlegung der Arbeitsmenge in den Sprints wurden überzogene Leistungserwartungen öfter abgelehnt als zu Beginn der agilen Arbeit. Dies wurde in unserem zweiten Interview (etwa zwei Jahre später) in diesem Betrieb deutlich. Ursprünglich war geplant, aus dem gemeinsamen Papier zur Reflexion über die Art der Zusammenarbeit eine Betriebsvereinbarung zu agiler Arbeit zu entwickeln. Angesichts der Blockade des mittleren Managements wurde dieser Plan fallen gelassen und es folgten keine formellen Regelungen zur Gestaltung agiler Arbeit. Doch hat das Papier informell das Selbstbewusstsein vieler Beschäftigter positiv beeinflusst und beispielsweise deren Haltung zur Leistungsregulation bei den Sprints verändert.

2.8.2.2.6. Eigene empirische Befunde: Partizipation beim Fall konsequente Agilität

Auch in diesem Fall hatten die Beschäftigten Interesse an einer Entwicklungsarbeit, die möglichst selten durch bürokratische Aufgaben unterbrochen ist. Der Impuls zur Einführung agiler Arbeit kam hier aber nicht Top-Down, sondern von Entwickler: innen, die agile Arbeit in anderen Betrieben kennengelernt hatten. Das Top-Management tolerierte diese Bottom-up-Initiative und sie wurde aus den laufenden Mitteln für Personal- und Organisationsentwicklung unterstützt. Die agilitätsaffinen Entwickler: innen bildeten ein Netzwerk, dessen Teilnehmer: innen sozusagen als Botschafter: innen für Agilität die Idee im Betrieb weiterverbreiteten. Wenn Teams unzufrieden mit ihrer Arbeitsweise sind oder eine Führungskraft ihr Team anregt, sich mit agilen Methoden zu beschäftigen, sind die Botschafter: innen erste Ansprechpartner: innen. Nach einer Anfrage kommt eine Person aus dem Netzwerk als interner Coach zum Team und ermittelt Bedarfe zur Veränderung der Arbeitsprozesse und schlägt passende agile Methoden vor. Nach einer Phase der praktischen Erprobung entscheidet das Team ob die neuen Methoden passen. Die Umstellung auf agile Arbeit erfolgt hier Bottom-up, die Teams können die neuen Methoden auch wieder verwerfen.

Die direkte Partizipation ist in diesem Fall die weitestgehende Delegation von Aufgaben an Beschäftigte, die wir in unserer Studie vorgefunden haben. Die vom Management an die Beschäftigten delegierten Kompetenzen enden hier bei der Frage der strategischen Entscheidungen, welche Produkte entwickelt werden und welche Ressourcen für ein Entwicklungsprojekt zur Verfügung stehen.

Der BR besteht in diesem Fall in etwa zu gleichen Teilen aus gewerblich-technischen, kaufmännischen und hochqualifizierten Beschäftigten. Der Vorsitzende dieser BR war selbst Entwickler, bevor er für seine Tätigkeit als BR von der Arbeit im Betrieb freigestellt wurde. Entsprechend gut war mit den Beschäftigten in diesen Bereichen vernetzt. Der BR war von Anfang an informell über die Initiativen zu agilen Arbeitsformen informiert. Zudem wurde das Gremium auch formell frühzeitig über die Aktivitäten zur Agilisierung informiert.

Weil der Wunsch von Entwickler:innen – nicht zuletzt aufgrund der persönlichen Erfahrungen des Vorsitzenden – vertraut war, hat der BR die Aktivitäten lediglich aufmerksam beobachtet und auf ein Eingreifen verzichtet. Es war klar, dass Aktivitäten des BR schnell als Eingriff in die Selbstorganisation der Beschäftigten missverstanden worden wären. Eine besondere Bedingung dieses BR wurde genutzt, um als Gremium ein besseres Verständnis agiler Arbeit zu erlangen. Diesem BR stehen zusätzliche personelle Ressourcen in Form von Referent:innen des BR zur Verfügung. Diese arbeiten der Geschäftsführung des BR zu und haben eine mit Stabsstellen des Managements vergleichbare Position. Eine solche Stelle wurde mit einer Person besetzt, die zuvor im Botschafter:innen-Netzwerk tätig war. Dadurch ergab sich ein engerer Kontakt des BR mit dem Netzwerk und ein vertiefter Einblick in das Wesen agiler Arbeit. Die Beschäftigten in der Entwicklung waren mit den Bedingungen der agilen Arbeit einverstanden bzw. konnten aufkommende Konflikte in und zwischen den Teams weitgehend selbst lösen. Daher sah der BR keine Notwendigkeit, steuernd in den Prozess agiler Arbeit einzugreifen.

2.8.3. Diskussion und Ausblick

2.8.3.1. Herausforderungen für Partizipation und Mitbestimmung

Bei agiler Arbeit sind spezifische Formen der Leistungssteuerung und -kontrolle zu beobachten. Diese haben sich schon seit etwa drei Jahrzehnten als neues Leitbild betrieblicher Rationalisierung von Arbeit entwickelt. Dieses Leitbild ist durch Ergebnisorientierung und Subjektivierung gekennzeichnet [Kra20]. Ergebnisorientierung bedeutet, dass die Steuerung der Leistung über die Vorgabe eines zu erreichenden Ergebnisses erfolgt und nicht mehr wie früher über die Vorgabe des einzusetzenden Arbeitsaufwandes oder die Vorgabe von Arbeitsschritten. Im Rahmen neuer Steuerungsformen liegt es nun in weit höherem Maße als früher in der Verantwortung der Beschäftigten, wie dieses Ergebnis zu erreichen ist. Dieser Umstand wird mit Subjektivierung bezeichnet. Das bedeutet für die Beschäftigten, sie dürfen und müssen sich – in Auseinandersetzung mit den Zielvorgaben, den gegebenen Ressourcen und den Kooperationsbezügen – selbst organisieren und steuern.

Diese seit den 1990er Jahren zu beobachtende Tendenz zur Vermarktlichung innerorganisatorischer Vorgänge und die oft damit einhergehende Dezentralisierung von Unternehmen verändert auch die Arbeitsbedingungen und -grundlagen für Betriebsräte (BR) [Tie08]. BR werden vermehrt in die Reorganisation ihres Unternehmens einbezogen werden. Das ist für viele BR neu. Weiterhin werden Betriebsräte durch die Ausbreitung von Verfahren direkter Partizipation im Rahmen zunehmender Subjektivierung vor neue sowohl betriebspolitische als auch kulturelle Anforderungen gestellt. Neue direkte Partizipationsformen, wie Arbeit in Projekten oder Teams, beinhalten neue Arrangements individualisierter bzw. gruppenbezogener Interessenvertretung, bei denen BR außen vor sind. Dies führt zu einer Neugestaltung der betrieblichen Sozialbeziehungen und macht es der Institution Betriebsrat immer schwerer, „dass er der einheitliche Repräsentant der Belegschaft als Ganzes ist“ [Kot95]. Hinzu kommt die zunehmende Segmentierung der Belegschaften in Stamm- und Randbelegschaften,

in Vollzeit- und Teilzeitbeschäftigte, in niedrig und hoch qualifizierte Arbeitskräfte usw., die es für den BR immer schwerer macht, einheitliche Belegschaftsinteressen zu formulieren. Die Tendenz zur „Subjektivierung“ bewirkt mit flexiblen Arbeitszeiten bis zur Vertrauensarbeitszeit, individuellen Zielvereinbarungen usw., dass jedem einzelnen Beschäftigten größere Aufmerksamkeit, aber auch größere Verantwortung zukommt und kaum mehr von einheitlichen Interessen gesprochen werden kann [Tie08].

2.8.3.2. Der Betriebsrat: ein besonderer Akteur in der betrieblichen Sozialordnung

Die betriebliche Arbeitsbeziehungen werden durch die Beziehungen der Akteursgruppen bestimmt. Die Hauptakteursgruppen sind zunächst die Geschäftsleitung, die Belegschaft und der Betriebsrat [Tie08]. In dem in Deutschland üblichen dualen System der industriellen Beziehungen besteht eine Arbeitsteilung zwischen Betriebsräten und Gewerkschaft [Wir21]. Gewerkschaften regeln die überbetriebliche Tarifpolitik und Betriebsräte regeln die betrieblichen Belange der Beschäftigten. Alle Akteursgruppe stehen mit allen anderen - mehr oder weniger direkt - im Kontakt. Die Kontakte lassen sich in Form von Beziehungsdreiecken zwischen jeweils drei Akteursgruppen darstellen. Die betrieblichen Arbeitsbeziehungen weisen einen triadischen Charakter auf. Es können für jeden Akteur im System industrieller Beziehungen je drei Beziehungsdreiecke gebildet werden.

Der BR ist ein zentraler Akteur, weil eine Grenzinstitution darstellt und eine intermediäre Instanz, ein Bindeglied, zwischen den Akteursgruppen bildet. Für den BR lassen sich folgende Beziehungsdreiecke bilden (s. Bild 2-19):

- Betriebsrat - Geschäftsleitung - Belegschaft
- Betriebsrat - Gewerkschaft – Geschäftsleitung
- Betriebsrat - Belegschaft - Gewerkschaft.

Die ersten beiden Beziehungsdreiecke können für die Gestaltung agiler Arbeit relevant sein. Für die betriebliche Gestaltung agiler Arbeit ist das erste Beziehungsdreieck relevant. Der BR kann bei der Gestaltung agiler Arbeit auf den in den Gestaltungsleitlinien Innovationsarbeit¹⁰ dargestellten Arbeitsfeldern:

- „Differenzen zwischen Konzept und Umsetzung von Agilität“
- „Mangelnde Aufgabenklarheit bei Führungskräften in agilen Prozessen“ und
- „Arbeitsintensivierung“

zwischen Geschäftsleitung und Belegschaft vermitteln.

¹⁰ Siehe dazu das Wissensnugget 5 „Gestaltungsleitlinien Innovationsarbeit“.

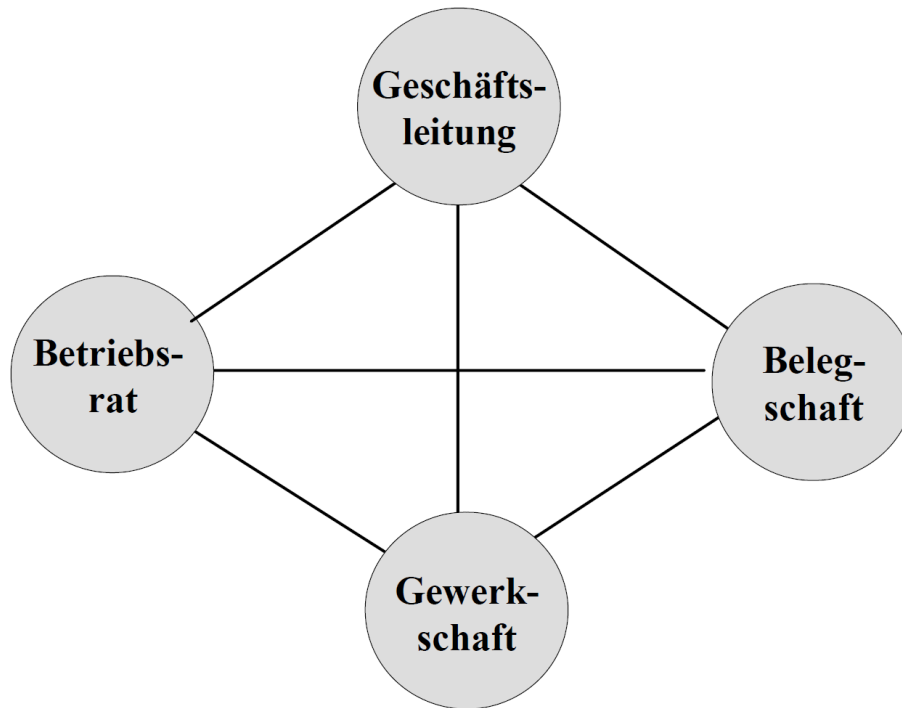


Bild 2-19: Das triadische Schema der betrieblichen Arbeitsbeziehungen [Tie08].

Der BR kann zwischen Geschäftsleitung und Belegschaft auch beim Arbeitsfeld „Gratifikationsdefizite“ hinsichtlich des Aspekts der nicht-monetären Formen von Wertschätzung vermitteln. Hinsichtlich der monetären Gratifikation wird das zweite Beziehungsdreieck relevant. Hier kann der BR beim Arbeitsfeld „Gratifikationsdefizite“ zusätzlich noch zwischen Gewerkschaft und Geschäftsleitung vermitteln.

Betriebsräte bilden eine einzigartige betriebliche Institution. Sie sind von der Belegschaft gewählt und genießen daher bei den Beschäftigten zumeist ein hohes Vertrauen. Aufgrund ihrer gesetzlichen Aufgaben nach dem Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG) sind sie vom Management über beteiligungsrelevante Sachverhalte zu informieren. Daher verfügen BR in den meisten Fällen über die Kompetenz in Managementkategorien zu denken und sie sind früher als die Mehrheit der Beschäftigten in die Pläne des Managements involviert. Über die Gewerkschaften, mit denen die meisten BR eng verbunden sind, verfügen BR oft über weitere Netzwerke, über die sie an gestaltungsrelevante Informationen gelangen können. Betriebsratsmitglieder sind oft über lange Zeit in Amt und Würden und haben in vielen Fällen schon mehrere Managementgenerationen „überlebt“. Das bedeutet, dass sie oft über einen wertvollen Schatz an Erfahrungswissen hinsichtlich betrieblicher Prozesse verfügen. Diese besonderen Kompetenzen von BR können für die erfolgreiche Gestaltung agiler Prozesse im Unternehmen genutzt werden.

2.8.3.3. Abschließende Überlegungen und Empfehlungen

Die direkte Partizipation ist bei der konsequenten Agilität im Vergleich der von uns erörterten Fälle am weitesten in Richtung Selbstbestimmung der Beschäftigten entwickelt. Doch auch hier wird von negativen Folgen der Agilisierung berichtet. Leistungsintensivierung wird als negative Folge der agilen Arbeitsweise berichtet. Daher wurde Leistungsintensivierung von uns auch als Arbeitsfeld in die Gestaltungsleitlinien Innovationsarbeit¹¹ aufgenommen.

¹¹ Dies wird detaillierter im Wissensnugget 5 „Gestaltungsleitlinien Innovationsarbeit“ behandelt.

Eine Voraussetzung der Nutzung von BR-Kompetenzen zur Gestaltung agiler Arbeit ist natürlich, die frühe und umfassende Information des BR über anstehende Veränderungen der Arbeitsorganisation. Nach BetrVG ist dies rechtlich verbindlich und der Betriebsrat ist beispielsweise nach §87 (1) 13 BetrVG „Grundsätze über die Durchführung von Gruppenarbeit“ zu beteiligen. Die betriebliche Praxis entspricht aber nicht immer den regulatorischen Vorschriften. Dies haben wir mit der Formulierung des Arbeitsfelds „Missachtung der repräsentativen Partizipation“ näher ausgeführt¹². Das BetrVG bietet eine Reihe von Möglichkeiten für BR, seine Mitbestimmungsrechte einzuklagen. Dies konfliktär auszutragen wäre jedoch keine gute Lösung. Ideal ist eine Betriebskultur, die auf eine konstruktive Bearbeitung von Konflikten zielt. Deshalb sollten BR und Geschäftsführung für die Gestaltung agiler Arbeit am Beziehungsdreieck 1, an der Beziehung Betriebsrat – Geschäftsleitung, arbeiten.

Wie in Arbeitsergebnis 5 erwähnt, erfolgt in vielen Fällen die direkte Partizipation in Form der Konsultation oder der Delegation ohne direkte Einbeziehung von repräsentativen Mitbestimmungsorganen. Direkte Beteiligung spielt sich bei agiler Arbeit im Wesentlichen zwischen den Vorgesetzten und Teams ab. Als BR beispielsweise auf die Arbeitsschutzregelungen zu pochen ist wenig sinnvoll, da es viele Beispiele dafür gibt, dass gerade Hochqualifizierte Arbeitszeitregelungen nicht nur unterlaufen und ignorieren, sondern es dem BR übel nehmen, wenn dieser ihr Verhalten rügt [Tie08]. Der BR muss deshalb ebenfalls am Beziehungsdreieck 1., speziell an der Beziehung Betriebsrat – Belegschaft arbeiten, wenn er Einfluss auf die Arbeitsgestaltung nehmen will.

Im Betrieb sollte – in regelmäßigem Turnus - ein Diskurs über die mit Agilität verfolgten Ziele stattfinden. Wir nennen hier nur einige Punkte, die hier bearbeitet werden sollten: Es sollte beispielsweise klar benannt werden, welche Leistungssteigerungen erwartet werden, wie kurz Entwicklungsprozesse werden sollen. Dann sollte auch ein Diskurs über Ressourcenausstattung geführt werden und wie das „Atmen“ der Prozesse bei knappen Ressourcen erfolgen soll über den Funktionsumfang oder über zusätzliche zeitliche oder personelle Ressourcen.

Wir bieten mit unserer „Evaluationssystematik Qualität von Partizipation/Aufgabe von Betriebsräten“ (Kap. 2.7) eine Checkliste für diesen betrieblichen Diskurs an¹³. Weitere Hinweise zur betrieblichen Umsetzung der hier dargestellten Überlegungen finden sich in einer Arbeitshilfe für Betriebsräte [JK23].

Literaturverzeichnis

- [JK23] Jennerich, Marco; Klippert, Jürgen (2023): Transformation von Entwicklungstätigkeiten. Advanced Systems Engineering als gewerkschaftliche Gestaltungsaufgabe. Hg. v. IG Metall Vorstand, Ressort Zukunft der Arbeit. Frankfurt a. M. (Zukunft der Arbeit KONKRET, 3).
- [KE04] Krenn, Manfred; Eichmann, Hubert (2004): Partizipation und Mitbestimmung. Aktuelle Befunde und begriffliche Bestimmungen. Forschungs- und Beratungsstelle Arbeitswelt (EAP-Diskussionspapier, 2).
- [Kli24a] Klippert, Jürgen (2024a): Advanced Systems Engineering. Lernförderlichkeit (k)ein Thema in den Entwicklungsabteilungen? Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft).
- [Kli24b] Klippert, Jürgen (2024b): Advanced Systems Engineering. Transformation in den Entwicklungsabteilungen? In: WSI Mitteilungen 77 (2), S. 143–148.

¹² Siehe Wissensnugget 5 „Gestaltungsleitlinien Innovationsarbeit“, Kap. 2.1.6.

¹³ Wissensnugget Nr. 7 „Systematik zur Evaluation von Partizipationsprozessen“.

- [Kot95] Kotthoff, Hermann (1995): Betriebsräte und betriebliche Reorganisation. Zur Modernisierung eines 'alten Hasen'. In: Arbeit 4 (4), S. 425–447. DOI: 10.1515/arbeit-1995-0406.
- [Kra20] Kratzer, Nick (2020): Arbeitsintensität und Arbeitsintensivierung. In: WSI Mitteilungen 73 (1), S. 3–10.
- [Kra21] Krause, Rüdiger (2021): Agile Arbeit und Betriebsverfassung. Frankfurt: Bund-Verlag (HSI-Schriftenreihe, Band 37).
- [Sis00] Sisson, Keith (2000): Direct Participation and the Modernisation of Work Organisation. Hg. v. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. Dublin, Irland.
- [Tie08] Tietel, Erhard (2008): Betriebspolitik im Wandel. Betriebsräte als Grenzgänger. In: Supervision (1), S. 6–13.
- [Wir21] Wirth, Carsten (2021): Arbeitsbeziehungen im dualen System industrieller Beziehungen. In: Martin Allespach und Max Rudel (Hg.): Mitbestimmung – Ein Thema für die Wirtschaftswissenschaften. Studien-briefe zu zentralen Handlungsfeldern der Betriebswirtschaftslehre. Frankfurt a. M.: Bund Verlag, S. 45–81.

2.9. Glossar

2.9.1. Einleitung

2.9.1.1. Zielsetzung

Ziel des Wissensnuggets 2.9 „Glossar“ war es, ein gemeinsames, modellbasiertes Glossar zu erstellen, um einerseits eine bessere Verständlichkeit der Begriffe zu ermöglichen und andererseits Definitionen von und Referenzen zwischen Begrifflichkeiten zu erstellen. In der menschenorientierten Gestaltung von SoS nimmt das Glossar eine übergreifende Rolle ein, indem einheitliche, übergreifende Begriffsverständnisse erstellt werden, um die domänen-, disziplin- und fachgebietsübergreifende Kommunikation zu verbessern.

2.9.1.2. Einordnung in MoSyS

Das Glossar bildet eine Basis für die Entwicklung der SoS Referenzarchitektur (Kap. 2.11) sowie die Identifikation von SoS-Anwendungsszenarien durch Interview mit den Projektpartnern (Kap. 2.10). Im weiteren Verlauf des Projekts sind neue Begrifflichkeiten und Definitionen, die in den einzelnen Arbeitspaketen aufkamen und für die weiteren Arbeitsschritten zugänglich gemacht werden sollten. Zusätzlich konnten bestehende oder neue Begriffsverständnisse durch Notizen und Anmerkungen aus anderen AP's diskutiert werden.

2.9.1.3. Vorgehen

Für das Glossar existiert kein lineares Vorgehen, sondern es wurden insgesamt die folgenden drei Schritten iterativ durchgeführt: Identifizieren und Definieren von bestehenden Begrifflichkeiten (I), Identifizieren und Definieren von aufkommenden Begrifflichkeiten (II) sowie Diskussion der Begrifflichkeiten (III). Im ersten Schritt wurden bestehende Begrifflichkeiten zu Beginn des Projekts identifiziert und durch Standardwerke aus der (A)SE-Community definiert. Im zweiten Schritt wurden im Projekt oder in AP aufkommende Begrifflichkeiten identifiziert und entweder durch Standardwerke oder Projektergebnisse definiert. Im dritten Schritt können Projektbearbeitende Notizen oder Anmerkungen hinzufügen, die durch den Verantwortlichen aufgenommen und in nächsten Diskussionsrunden bearbeitet werden können.

2.9.2. Hauptteil

2.9.2.1. Definitionen

Im Glossar werden die relevanten Begriffe im Projekt definiert und diskutiert, weswegen für die Erklärung des Glossars keine Definitionen notwendig sind.

2.9.2.2. Ergebnisse

Das Glossar besteht aus insgesamt drei Teilergebnisse: Begriffssammlung, Begriffsdefinitionen/-erklärungen sowie Notizen und Anmerkungen.

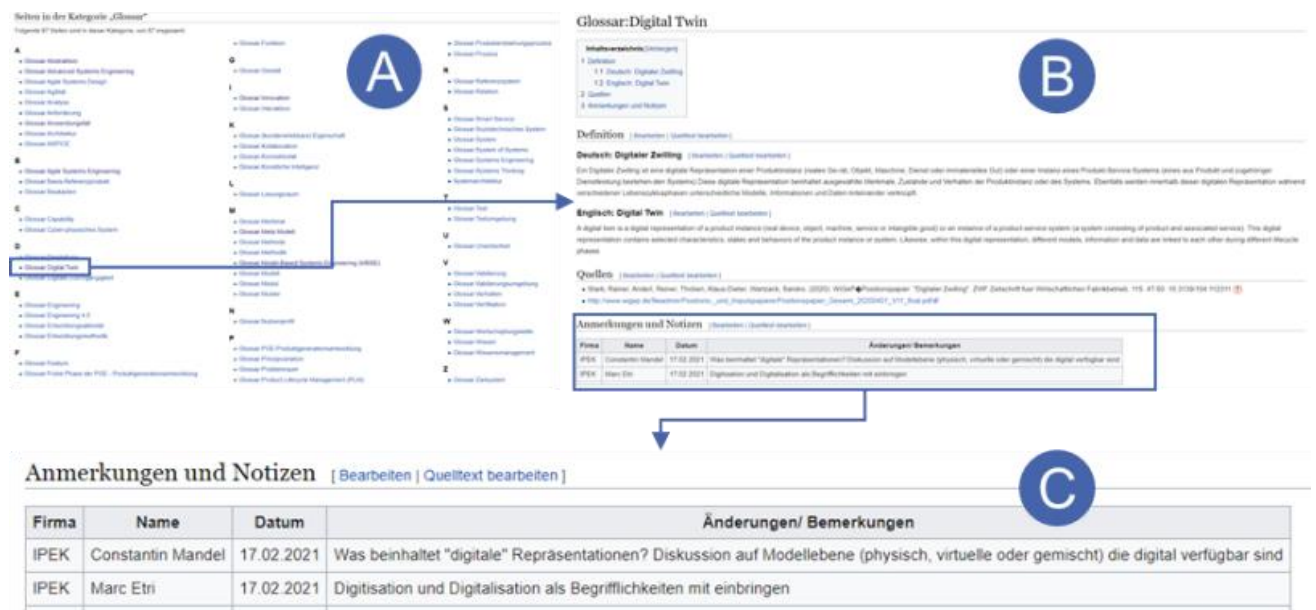


Bild 2-20: Das Glossar für MoSyS-relevante Begriffe (A) mit einheitlichen und gemeinsamen Definitionen (B) sowie Anmerkungs- und Notizenmöglichkeit (C)

Das Glossar umfasst 67 relevante und alphabetisch-sortierte Begriffe (siehe Bild 2-20 A) mit eigener Seite mit den Begriffsdefinitionen (siehe Bild 2-20 B). Wenn eine Definition geschaltet wurde, können Projektmitarbeitende Notizen und Anmerkungen direkt hinzufügen (siehe Bild 2-20 C).

Das Glossar ist auf dem Wiki geschaltet und kann über folgenden Link erreicht werden: <https://web-sites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Kategorie:Glossar>

2.9.3. Diskussion und Ausblick

Das Glossar bildet eine Basis für die Kommunikation in den verschiedenen Domänen, Disziplinen und Fachrichtungen, welches individuell erweitert werden kann. Für die Forschung und Industrie bietet das Glossar eine Möglichkeit für Neueinsteigende im Bereich SE, ASE sowie MBSE, um die entwickelten Methoden, Prozesse und Tools aus MoSyS anwenden zu können. Eine Vernetzung der Begriffe bleibt in diesem Wissensnugget aus, da diese modellbasierte Verknüpfung in der Referenzarchitektur (Kap. 2.11) umgesetzt wurde.

2.10. Einleitung Problem-Statements sowie Einsatz- und Anwendungsszenarien SoS

2.10.1. Einleitung

2.10.1.1. Zielsetzung

Ziel des Wissensnuggets 2.10 „Problem Statements sowie Einsatz- und Anwendungsszenarien SoS“ war es, basierend auf den Erfahrungen, Herausforderungen sowie Best Practices der Industriepartner sechs Einsatz- und Anwendungsszenarien abzuleiten.

2.10.1.2. Einordnung in MoSyS

Die Problem-Statements und Einsatz- und Anwendungsszenarien beschreiben Handlungsfelder, welcher in der Entwicklung von System of Systems aktuell existieren. Sie dienen als Verständnis und Basis für die entwickelten Methoden, Prozesse und Tools innerhalb des Projekt MoSyS.

2.10.1.3. Vorgehen

Das Vorgehen zur Erreichung des gesetzten Ziels besteht aus drei Hauptschritten. Im ersten Schritt haben die Partner aus der Industrie innerhalb eines moderierten Workshops verschiedene Probleme (Problem-Statements) gesammelt. Der Workshop fand virtuell statt und wurde über ein Concept-Board durchgeführt. Zu jedem Problem wurden folgende Fragen zu den notwendigen Informationen gestellt:

1. **Problembeschreibung:** Was ist das Problem?
2. **Problemauswirkung:** Warum ist es ein Problem und was Auswirkungen des Problems?
3. **Beteiligte Stakeholder und Akteure:** Wer hat dieses Problem?
4. **Abweichung Ist-Soll:** Was ist das eigentliche Bedürfnis?
5. **Aktivität:** Wann und an welcher Stelle trifft das Problem auf?
6. **Ist-Situation:** Wie wird das Problem heute angegangen?
7. **Projektion:** Wie sollte mit dem Problem (im Idealfall) in Zukunft umgegangen werden?

Im zweiten Schritt wurden die im Workshop identifizierten Problem-Statements dokumentiert und in insgesamt sieben Cluster unterteilt. Diese Cluster entsprechen den Einsatz- und Anwendungsszenarien im SoS Engineering. Im dritten Schritt wurden diese sieben Cluster durch einen einheitlichen Steckbrief beschrieben (siehe Bild 2-21).

Traceability und Schnittstellen Produktseitig

Subtitle:

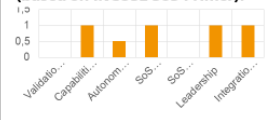
Description:

- **Änderung „Extern“:** Auswirkungen/Folgen eines Change-Requests bei Kundenanforderungen können nicht abgeschätzt werden
 - Change-Request sowie dessen Auswirkungen und Bearbeitung wird nicht/kaum nicht sauber dokumentiert und nachvollziehbar kommuniziert werden
- **Änderung „Intern“:** Auswirkungen interner Änderungen der Infrastruktur beispielsweise der Fertigung beeinflussen das Entwicklungsprojekt
- **Änderung „in der Entwicklung“:** Neue Systeme können nur schwer in bestehende Systeme / SoS eingebunden werden, da Auswirkungen auf weitere SystemModule und Schnittstellen nur schwer abgeschätzt werden können
 - Besonders „Nicht-Normale“ machen Probleme
 - Erst bei Inbetriebnahme werden Probleme/Fehler im Zusammenspiel der Sub-Systeme/Komponenten entdeckt
 - Abschätzung der Komplexität einer Änderung und deren Auswirkungen schwierig
- **Traceability „Tool-Umsetzung“:** Betrachtung der Wechselwirkung insbesondere zwischen Systemen aus unterschiedlichen Domänen schwierig umzusetzen
 - System-/Toolbrüche da unterschiedliche Dokumentationssysteme genutzt werden
 - Aufwändige Inkonsistenzen zwischen Anforderungen-Umsetzungen-Tests, da keine durchgängig nachvollziehbare Dokumentation vorhanden ist
 - Fehlende nachvollziehbare Entscheidungsgrundlage, die Planung und Durchführung von V&V-Aktivitäten behindert
- **Traceability „Verständnis und Prozess“:** Betrachtung der Wechselwirkung insbesondere zwischen Systemen aus unterschiedlichen Domänen nicht in einem Prozess verankert und deshalb oft nicht durchgeführt

Problem Statement IDs ([LINK](#))

2, 3, 5, 6, 11, 20, 22, 42, 46, 48, 58, 79

Challenges regarding SoS (based on INCOSE SoS-Primer):



Vision and Purpose:

- Unterstützung der Entscheidungsfindung durch klare, nachvollziehbare modellbasierte Dokumenten als Grundlage zur Folgen-Abschätzung, sowohl eines Change requests (Kundensystem), als auch interner Änderungen
- Bieten einer Grundlage zur sauberen Kommunikation
- Unterstützung beim Identifizieren von Referenzen/Konstanten Lösungen, um die Wiederverwendung von Lösungen zu unterstützen
- Ermöglichung einer virtuellen Inbetriebnahme, um Probleme und Abweichungen von Anforderungen frühzeitig erkennen zu können
- Etablierung einer Durchgängigkeit bei Daten und Datenübergabe, um domänenübergreifende Zusammenhänge abbilden und sichtbar machen zu können
- Etablierung eines einheitlichen, dokumentierten Prozesses, um die angestrebten Tools und Methoden im Unternehmen zu etablieren

Übersichtsteile Gestaltung komplexer System of Systems
Seite 3



Bild 2-21: Aufbau des Steckbriefs für die Beschreibung der Einsatz- und Anwendungsszenarien

In diesem Steckbrief werden die Cluster durch Berücksichtigung der einzelnen Problem-Statements aus dem Workshop beschrieben sowie auf die relevanten Problem-Statements verwiesen. Zusätzlich

wurden die Cluster hinsichtlich der SoS Herausforderungen aus dem INCOSE SoS-Primer bewertet. Unter Vision und Zweck wurden Anforderungen innerhalb des Clusters für Unterstützungen in den Einsatz- und Anwendungsszenarien.

2.10.2. Hauptteil

2.10.2.1. Definitionen

Problem-Statements entsprechen auftretende Probleme in den Unternehmen bei der Entwicklung von System of Systems. Die Clusterung der Problem-Statements und Beschreibung durch den Steckbrief ergeben die sieben Einsatz- und Anwendungsszenarien.

2.10.2.2. Ergebnisse

Aus 84 Problem-Statements wurden die folgenden sieben Einsatz- und Anwendungsszenarien identifiziert:

1. Kommunikation - Im Produktlebensphasenübergreifenden Kontext,
2. Verantwortlichkeiten, Traceability und Schnittstellen,
3. Organisation, Ressourcen und Infrastruktur - Mangel an Ressourcen über den gesamten Produktentstehungsprozess und Projektablauf,
4. Anforderungsmanagement,
5. Traceability Schnittstellen Produktseitig,
6. Dokumentation,
7. Fehlende anwendbare/akzeptierte Rahmenwerke.

Die Ergebnisse sind konsolidiert in dem Wiki mit entsprechenden Dateien hinterlegt. Diese Szenarien und der dazugehörige Steckbrief werden im Folgenden detaillierter beschrieben.

2.10.2.2.1. Kommunikation – Im Produktlebensphasenübergreifenden Kontext

können manche Informationen nicht an Kooperationspartner übermittelt werden, da die Abstimmungen nicht funktionieren. Weiterhin können Informationen nicht ausgetauscht werden, wenn sie benötigt werden, da sie nicht oder gering verfügbar sind.

Unterbrochene Deep-Work Phasen: Während der Projektarbeit können nach Abstimmungen oftmals Rückfragen auftreten, die meistens im bilateralen Austausch geklärt werden. Dadurch können konzentrierte Einzelarbeitsphase unterbrochen beziehungsweise Mitarbeitende aus diesen herausgenommen werden.

„Not invented here“-Problem: Bei Entwicklungsteams können „fremde“ Ideen auftreten, welche die Daseinsberechtigung eines anderen Entwicklungsteams angreift.

Fehlende Kommunikation zwischen Abteilungen: Oftmals werden keine Kommunikationen zwischen Abteilungen geführt, beispielsweise kommunizieren Entwicklung und Fertigung oder Entwicklung und Produktmanagement nicht miteinander.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, wurden insgesamt sieben Vision oder Zwecke für Methoden, Prozesse und Tools im Steckbrief in Bild 2-22 beschrieben:

- Crossfunktionale Entwicklungsteams
- Abteilungsübergreifende Einbindung/ Absprache schon im Ideenfindungsprozess
- Transparenter Umgang mit Entwicklungsideen
- Transparente Entwicklungsprozesse
- Frühzeitige Kommunikation aller Domänen und Abteilungen
- Trennen Gruppenarbeit/Sprechstunden vs. Konzentrierter Einzelarbeit
- Wiederverwenden von Wissen, Dokumentationen und Know-how

Kommunikation

Subtitle:

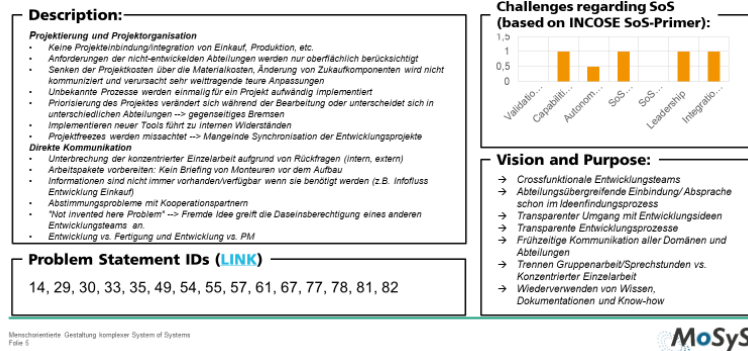


Bild 2-22: Steckbrief des Szenarios „Kommunikation - Im Produktlebensphasenübergreifenden Kontext“

2.10.2.2.2. Verantwortlichkeitseitige Traceability und Schnittstellen

Unter dem Szenario „Verantwortlichkeitseitige Traceability und Schnittstellen“ werden die folgenden Probleme zusammengefasst: Schnittstellenprobleme, Schwierige Aufteilung von Verantwortung, Verteilte Entwicklung und Informationsflüsse.

Schnittstellenprobleme: Schnittstellenprobleme treten innerhalb eines Projekts auf, aber auch projektübergreifend. Dadurch existieren viele Iterationsprobleme, das zu erhöhtem Arbeitsaufwand führt.

Schwierige Aufteilung von Verantwortung: Die Verantwortung basierend auf dem System aufzuteilen, birgt Schwierigkeiten, da das Systemdenken z.T. nicht ausgeprägt ist, da die Systemunterteilung nicht vollständig durchgeführt wird. Zusätzlich erschweren Komplexität und unklare Abhängigkeiten zwischen Funktionen die Systemunterteilung und Projektplanung (intern und extern).

Verteilte Entwicklung und Informationsflüsse: Bei verteilter Entwicklung können verteilte Verantwortlichkeiten existieren, die sich überschneiden oder unklar sind, wodurch ein paralleles Arbeiten von unterschiedlichen Domänen und Abteilungen z.T. nicht möglich ist. Zusätzlich erschweren unterschiedliche Entwicklungsstände die Informationsflüsse, da Informationen fehlen oder nicht verfügbar sind.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, wurden insgesamt fünf Visionen oder Zwecke für Methoden, Prozesse und Tools beschrieben im Steckbrief in Bild 2-23 beschrieben:

- Ausführliche Betrachtung des Gesamtsystems
- Fokus auf die Schnittstellen schon beim Projektstart
- Wissen und Dokumentationen wiederverwenden
- Klare Absprachen, welche Partner welche Verantwortungen haben
- Crossfunktionale Entwicklungsteams

Traceability und Schnittstellen Verantwortlichkeiten

Subtitle:

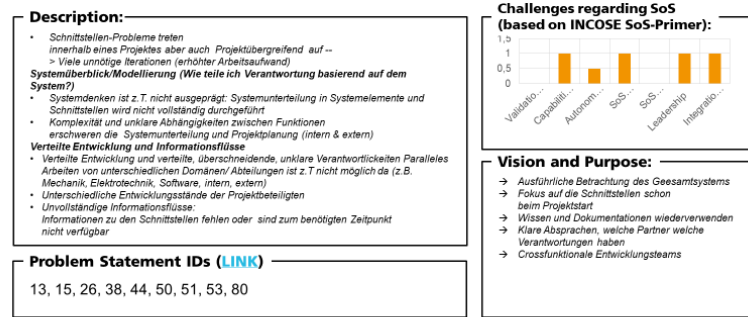


Bild 2-23: Steckbrief des Szenarios „Verantwortlichkeitseitige Traceability und Schnittstellen“

2.10.2.2.3. Organisation, Ressourcen und Infrastruktur - Mangel an Ressourcen über den gesamten Produktentstehungsprozess und Projektablauf

Dieses Szenario vereint Problem-Statements bezüglich des Mangels an Ressourcen. Dies zieht sich durch den gesamten Produktentstehungsprozess sowie den gesamten Ablauf eines Projekts:

Allgemein mangelnde Verfügbarkeit von personellen Ressourcen: Der Fachkräftemangel erschwert die Akquise von qualifiziertem Personal. Dieser Mangel pflanzt sich fort.

Mangelnde Weiterbildung von personellen Ressourcen: Die Anforderungen an die Tätigkeiten von Mitarbeitenden im Bereich Engineering steigen. Eine mangelhafte Weiterentwicklung der Mitarbeitenden führt jedoch dazu, dass diese nicht das notwendige Know-How besitzen, um die aktuellen (digitale) Technologien und Interessen der Kunden abzudecken. So werden Trends und neue Technologien zu spät erkannt.

Allgemeine Ressourcenzuweisung zu Projekten: Die Zuweisung von begrenzten Ressourcen zu verschiedenen Projekten führt meist dazu, dass einzelne Projekte die notwendigen Ressourcen nicht erhalten. So können Terminfristen häufig nicht eingehalten werden.

Mangel an physischen/räumlichen Ressourcen: Räumliche Kapazitäten stehen nur eingeschränkt zur Verfügung. Im Produktentstehungsprozess können so entstehende Teillösungen, Prototypen o. neue Technologien vor der Produktion häufig nicht getestet werden.

Zeitlich eingeschränkte Verfügbarkeit von Ressourcen: Der Workload von Mitarbeitenden ist sehr hoch. Hierdurch ergibt sich eine stark eingeschränkte Verfügbarkeit des grundsätzlich vorhandenen Personals. Ein steigender Automatisierungsgrad verschiebt den Arbeitsaufwand jedoch teilweise nur und es tritt keine Zeitersparnis ein.

Fehlendes Ressourcen-Monitoring: Fokus von Ressourcen kann durch zu viele unterschiedliche Projekte, die parallel ablaufen, fehlen.

Fehlende Gesamtvision: Entwicklungsteams haben divergierende Ziele und arbeiten an keinem übergreifenden Ziel.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, wurden insgesamt fünf Visionen oder Zwecke für Methoden, Prozesse und Tools im Steckbrief in Bild 2-24 beschrieben:

- Wissen formalisieren und verfügbar machen
- Auch bzgl. Ressourcenzuweisung agil arbeiten und eine kurzzyklische Entwicklung realisieren.
- Frühzeitiges Erkennen der Probleme durch Digital Twin

- Simulation der Systemlösung
- Erstellung von Gesamtvisionen

(Mangelnde) Ressourcen

Ressourcen: Infrastruktur, Qualifikation, Kapazitäten, Netzwerk

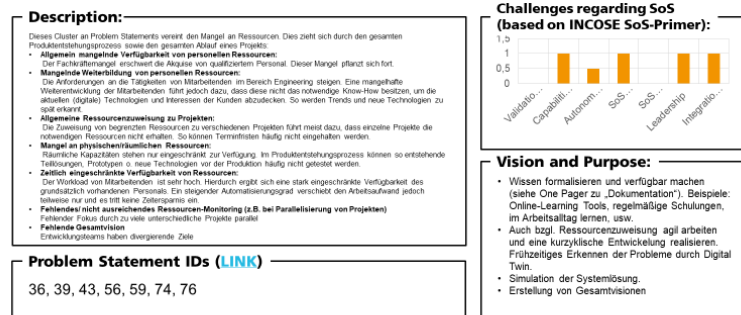


Bild 2-24: Steckbrief des Szenarios „Organisation, Ressourcen und Infrastruktur - Mangel an Ressourcen über den gesamten Produktentstehungsprozess und Projektablauf“

2.10.2.2.4. Anforderungsmanagement

Unter dem Szenario „Anforderungsmanagement“ werden die Probleme bezüglich dem Problemraums und dem Lösungsraums zusammengefasst:

Schwierigkeiten im Problemraum: Innerhalb des Problemraums werden oftmals die Aufgabenstellungen hingenommen und direkt bearbeitet, anstatt diese zu hinterfragen. Dadurch können Anforderungen und Spezifikationen bei Projektstart unklar formuliert, unaussagekräftig oder unbekannt sein. Ebenso können die Bewertungskriterien für die Erfüllung einer Anforderung nicht definiert sein. Zusätzlich kann die Quelle, die Motivation und der Grad einer Anforderung unklar sein oder Anforderungen werden nicht vollständig dokumentiert, gepflegt und synchronisiert.

Schwierigkeiten im Lösungsraum: Im Lösungsraum kann eine Abweichung oder Diskrepanz zwischen technischer Lösung, Detaillierungsgrad der Anforderungen und Erwartungshaltung des Kunden zur angekündigten Lösung existieren. Weiterhin können Konflikte und Korrelationen sowie Priorisierungen unter Anforderungen zunächst unklar sein. Auch V&V-Aktivitäten und Machbarkeitsanalyse der Anforderungen finden erst durch Projekt statt und nicht vorher.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, wurden insgesamt drei Visionen oder Zwecke für Methoden, Prozesse und Tools im Steckbrief in Bild 2-25 beschrieben:

- Eindeutig, transparente und klar formulierte Anforderungen auch die Hintergründe zu den Anforderungen berücksichtigen
- Gemeinsames Systemverständnis
- Ableiten eindeutiger Arbeitspakete und schaffen der Möglichkeit der Priorisierung der Aufgaben

Anforderungsmanagement

Subtitle:

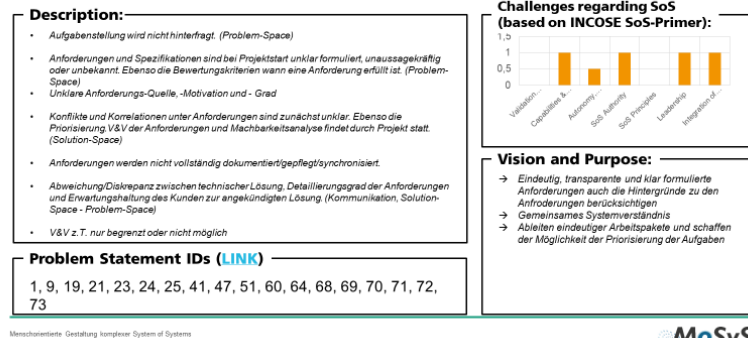


Bild 2-25: Steckbrief des Szenarios „Anforderungsmanagement“

2.10.2.2.5. Produktseitige Traceability und Schnittstellen

Dieses Szenario vereint Problem-Statements bezüglich der produktseitigen Traceability und Schnittstellen. Darunter können folgende Probleme verstanden werden: Externe Änderungen, Interne Änderungen, Änderungen während der Entwicklung, Schwierige Tool-Umsetzung von Traceability, Fehlendes Verständnis und fehlender Prozess für Traceability.

Externe Änderungen: Auswirkungen und Folgen eines Change-Requests bei Kundenanforderungen können nicht abgeschätzt werden. Change-Request sowie dessen Auswirkungen und Bearbeitung wird nicht oder kann nicht sauber dokumentiert und nachvollziehbar kommuniziert werden.

Interne Änderungen: Auswirkungen interner Änderungen der Infrastruktur beispielsweise der Fertigung beeinflussen das Entwicklungsprojekt.

Änderungen während der Entwicklung: Neue Systeme können nur schwer in bestehende Systeme oder SoS eingebunden werden, da Auswirkungen auf weitere Systeme/Module und Schnittstellen nur schwer abgeschätzt werden können. Besonders „Nicht-Normteile“ machen Probleme. Erst bei Inbetriebnahme werden Probleme/Fehler im Zusammenspiel der Sub-Systeme/Komponenten entdeckt. Abschätzung der Komplexität einer Änderung und deren Auswirkungen ist aktuell schwierig.

Schwierige Tool-Umsetzung von Traceability: Betrachtung der Wechselwirkung insbesondere zwischen Systemen aus unterschiedlichen Domänen ist schwierig umzusetzen. Zusätzlich können System- und Toolbrüche auftreten, da unterschiedliche Dokumentationssysteme genutzt werden. Auftretende Inkonsistenzen zwischen Anforderungen-Umsetzungen-Tests existieren, da keine durchgängig nachvollziehbare Dokumentation vorhanden ist. Weiterhin treten Behinderungen von der Planung und Durchführung von V&V-Aktivitäten aufgrund von fehlenden nachvollziehbaren Entscheidungsgrundlage auf.

Fehlendes Verständnis und fehlender Prozess für Traceability: Betrachtung der Wechselwirkung insbesondere zwischen Systemen aus unterschiedlichen Domänen nicht in einem Prozess verankert und deshalb oft nicht durchgeführt.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, wurden insgesamt sechs Visionen oder Zwecke für Methoden, Prozesse und Tools im Steckbrief in Bild 2-26 beschrieben:

- Unterstützung der Entscheidungsfindung durch klare, nachvollziehbare modellbasierte Dokumentation als Grundlage zur Folgen-Abschätzung, sowohl eines Change requests (Kunden/extern), als auch interner Änderungen
- Bilden einer Grundlage zur sauberen Kommunikation
- Unterstützung beim Identifizieren von Referenzen /vorhandenen Lösungen, um die Wiederverwendung von Lösungen zu unterstützen
- Ermöglichung einer virtuellen Inbetriebnahme, um Probleme und Abweichungen von Anforderungen frühzeitig erkennen zu können
- Etablierung einer Durchgängigkeit bei Daten und Datenübergabe, um domänenübergreifende Zusammenhänge abbilden und sichtbar machen zu können
- Etablierung eines einheitlichen, dokumentierten Prozesses, um die angestrebten Tools und Methoden im Unternehmen zu etablieren

Traceability und Schnittstellen Produktseitig

Subtitle:

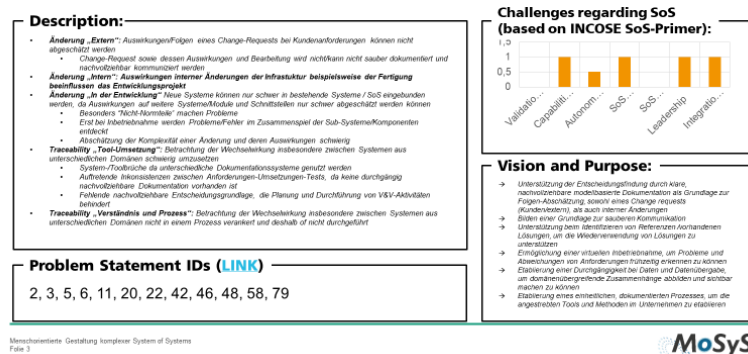


Bild 2-26: Steckbrief des Szenarios „Produktseitige Traceability und Schnittstellen“

2.10.2.2.6. Dokumentation

Für das Szenario „Dokumentation“ wurden auf Basis der Problem-Statements Anforderungen an eine Dokumentation abgeleitet:

- Verhindern des Verlusts von implizit vorhandenem Fachwissen (ggf. personengebunden) über die Zeit (Reduktion des Ressourcen- und Zeitaufwands zum neuen Anlernen)
- Förderung der Sensibilisierung von Mitarbeitenden
- Durchgängigkeit, Kommunikation und Zentralität (Abdecken verschiedener Softwaresysteme bzw. Einführung eines einheitlichen Softwaresystems)
- Einfache Informationsbeschaffung (nicht nur durch proaktives Suchen, Wiederverwendung der Infos in geeigneter Form, kontinuierliche Dokumentation um Dopplung von Diskussionen zu vermeiden)
- Disziplinübergreifender, einheitlicher & zentraler Zugang (Schnittstellen & Wechselwirkungen abdecken)
- Konsequente Berücksichtigung von Terminplänen und Fristen über den gesamten Projektablauf
- Zur Verfügung stellen der relevanten Informationen (Reduktion des Zeitaufwands der Suche, alle relevanten Informationen vor Entwicklungsstart definiert, einheitliche Dokumentationsart und einheitlicher Ablageort)
- Ausreichende Reflexion und Dokumentation abgeschlossener Projekte und der Lessons Learned/Best Practices (Vermeidung von Fehlerwiederholung)
- Berücksichtigung von frühzeitiger, integrativer Spezifikation von Anforderungen und Tests (modellbasiert)

- Dokumentation soll eine iterative Erzeugung von Artefakten ermöglichen

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurden insgesamt sechs Vision oder Zwecke für Methoden, Prozesse und Tools im Steckbrief in Bild 2-27 beschrieben:

- Selbsterklärende Dokumentation
- Konzeptentscheidungen unmittelbar festhalten
- Einführung eines einheitlichen Softwaresystems (MBSE-basiertes Meta-Modell als zentralen Wissensspeicher)
- Für alle Disziplinen gültiger Terminplan, der kontinuierlich synchronisiert wird und zentral für alle abliegt
- Konstruktives Projektreview
- Dokumentation in "daily business" der Entwickelnden integriert

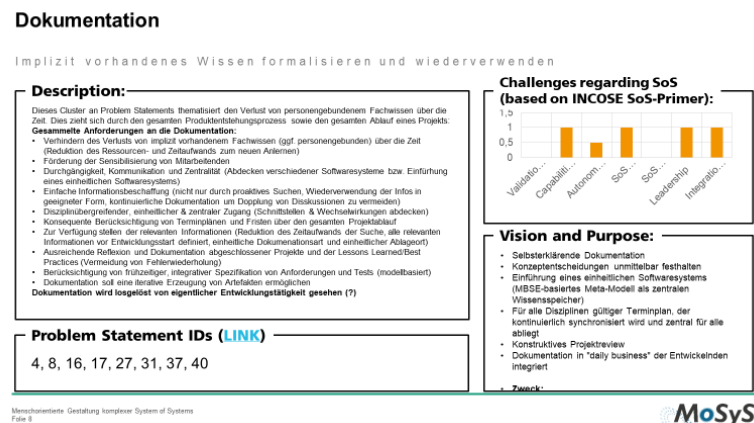


Bild 2-27: Steckbrief des Szenarios „Produktseitige Traceability und Schnittstellen“

2.10.2.2.7. Fehlende anwendbare/akzeptierte Rahmenwerke

Das Szenario „“ umfasst Problem-Statements, die sich folgenden Problemen widmen:

Keine Durchgängigkeit von Informationen: Die Durchgängigkeit von bspw. Anforderungen, Systemarchitektur sowie Testfällen ist aus der Sicht verschiedener Systeme nicht sichergestellt. Dadurch gibt es keine disziplinübergreifende Lösungsfindung. Weiterhin reicht die Qualität der Anforderungen für eine Testbarkeit nicht aus. Außerdem führen nicht bekannte Architekturrichtlinien zu Abstimmungsproblemen zwischen Entwickelnden und Architekten, wodurch auch eine fehlende einheitliche Datenbasis für die Entwicklung fehlt.

Eingeschränkte Wiederverwendbarkeit von Informationen und Ergebnissen: Projektübergreifende Architekturrahmen verhindert das Austauschen von Spezifikationen über Projekte, weshalb unter anderem auch Funktionen nicht wiederverwendet werden können oder Baukästen nicht zum Tragen kommen.

Kein etabliertes Mindset und keine Methodenkenntnisse: Funktionales Denken kann nicht etabliert werden, da dies oft zu abstrakt ist. Zusätzlich ist der Kenntnisstand von SE sehr heterogen, weshalb das Mindset nicht durchgängig etabliert ist.

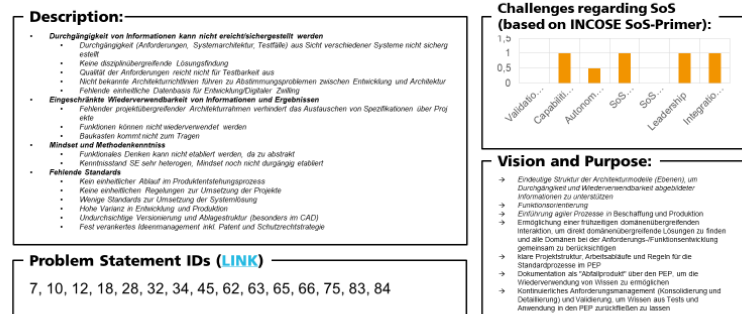
Fehlende Standards: Es existieren keine einheitlichen Abläufe im Produktentstehungsprozess sowie keine einheitliche Regelung zur Umsetzung der Projekte. Weiterhin gibt es wenige Standards zur Umsetzung einer Systemlösung, weshalb das Management von hoher Varianz in Entwicklung und Produktion erschwert ist. Auch eine undurchsichtige Versionierung und Ablagestruktur behindert dieses Variantenmanagement.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, wurden insgesamt sieben Visionen oder Zwecke für Methoden, Prozesse und Tools im Steckbrief in Bild 2-28 beschrieben:

- Eindeutige Struktur der Architekturmodelle (Ebenen), um Durchgängigkeit und Wiederverwendbarkeit abgebildeter Informationen zu unterstützen
- Funktionsorientierung
- Einführung agiler Prozesse in Beschaffung und Produktion
- Ermöglichung einer frühzeitigen domänenübergreifenden Interaktion, um direkt domänenübergreifende Lösungen zu finden und alle Domänen bei der Anforderungs-/Funktionsentwicklung gemeinsam zu berücksichtigen
- klare Projektstruktur, Arbeitsabläufe und Regeln für die Standardprozesse im PEP
- Dokumentation als "Abfallprodukt" über den PEP, um die Wiederverwendung von Wissen zu ermöglichen
- Kontinuierliches Anforderungsmanagement (Konsolidierung und Detaillierung) und Validierung, um Wissen aus Tests und Anwendung in den PEP zurückfließen zu lassen

Fehlende anwendbare/akzeptierte Rahmenwerke

Prozesse, Verantwortlichkeiten, Vorgaben zur Dokumentation



Menschzentrierte Gestaltung komplexer System of Systems
Seite 6



Bild 2-28: Steckbrief des Szenarios „Fehlende anwendbare/akzeptierte Rahmenwerke“

2.10.3. Diskussion und Ausblick

Das Wissensnugget kann für die Forschung genutzt werden, um neue Forschungsbedarfe innerhalb der einzelnen Szenarien zu identifizieren, da diese sehr allgemein auf SoS bezogen sind.

2.11. SoS Referenzarchitektur

2.11.1. Einleitung

2.11.1.1. Zielsetzung

Das Ziel dieses Wissensnuggets ist es, eine Referenzarchitektur für die Modellierung von System of Systems zu schaffen, welche unterschiedliche Bereiche der Produktentstehung wie Produktgenerationsentwicklung, Produktion, Validierung, Änderungsmanagement verknüpft. Dadurch existiert ein einheitliches Verständnis und Sprache, um interdisziplinär SoS zu gestalten.

2.11.1.2. Einordnung in MoSyS

Die Referenzarchitektur hängt mit mehreren Arbeitspaketen zusammen, indem sie zum einen als Input für andere Ergebnisse gilt und zum anderen andere Ergebnisse nutzt. Bezüglich ersteres wird die Referenzarchitektur für die Modellierung des Systemmodell-Bereich im Meta-Modell aus AP2 genutzt, denn die Entwickelnden können mithilfe der Referenzarchitektur die Produkte, Systeme oder Dienstleistungen sowie die dazugehörigen Systeme wie Produktion oder Validierung nutzen. Bezüglich letzteres nutzt die Referenzarchitektur die identifizierten Elementtypen aus AP3 im Änderungsmanagement und nutzt die Elementtypen der Methode AECIA, die im Rahmen von AP3 synthetisiert wurde. Diese Inhalte wurden auch in die Ontologie integriert.

2.11.1.3. Vorgehen

Das Vorgehen ist in vier Schritten zu unterteilen: Beschreiben der Relevanz der Rolle der SoS-Referenzarchitektur in der Gestaltung von SoS, Ableiten von Anforderungen an die SoS-Referenzarchitektur im Bereich Problemraum, SoS, V&V, Produktion, Änderungsmanagement, Produktgenerationsentwicklung.

2.11.2. Hauptteil

2.11.2.1. Definitionen

Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA)

Der Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) (s. Bild 2-29) ist eine MBSE-gestützte Methodik für ein umfassendes Änderungsmanagement. Diese Methodik baut auf dem aktivitätsbasierten IPEK-MBSE-Ansatz auf und erweitert ihn um die Dimension des Änderungsmanagements. AECIA umfasst spezifische Analyse- und Modellierungsaktivitäten, die flexibel iteriert und in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden können. Die zentralen Aktivitäten des AECIA-Frameworks unterstützen die Prüfung der Validität von Änderungsanfragen, die Analyse der Auswirkungen und Ausbreitung von Änderungen sowie die gezielte Kommunikation von änderungsrelevanten Informationen innerhalb einer agilen Entwicklungsumgebung.

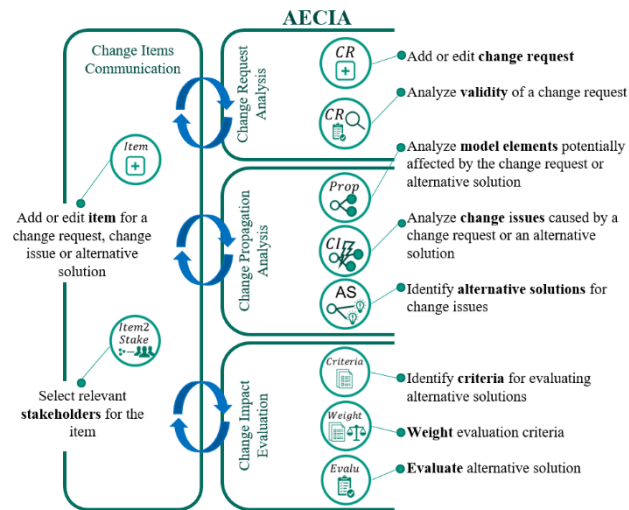


Bild 2-29: AECIA Framework

Weitere Informationen	Veröffentlichung: [MKP+22] Martin, Alex; Kaspar, Jerome; Pfeifer, Stefan; Constantin, Mandel; Simon, Rapp; Albert, Albers (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: IEEE ISSE 2022. 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering: Vienna, Austria, October 24-26, 2022 : ISSE 2022 conference proceedings. 2022 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE). Vienna, Austria, 10/24/2022 - 10/26/2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers; Systems Council. Piscataway, NJ, USA: IEEE, S. 1–7.

2.11.2.2. Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der SoS-Referenzarchitektur vorgestellt. Zu Beginn werden zum einen die Bedeutung der SoS-Referenzarchitektur in Bezug zur Gestaltung von SoS vorgestellt, Hierbei soll vorallem der Charakter von SoS und der dadurch entstandene Nutzen der SoS-Referenzarchitektur beschrieben werden. Abschließend wird das Framework und die Ontologie vorgestellt.

2.11.2.2.1. Bedeutung der SoS-Referenzarchitektur für die Gestaltung von SoS

Ein System of Systems ist ein Verbund aus mehreren Systemen, die miteinander interagieren und kommunizieren. Sie unterscheiden sich von einem Einzelsystem in acht Merkmalen [AGW+22]:

- **Managementunabhängigkeit**
- **Operative Unabhängigkeit**
- **Verteilung**
- **Weiterentwicklung (Evolution)**
- **Dynamische Rekonfiguration**
- **Emergentes Verhalten**
- **Interoperabilität**

Je nach SoS sind die einzelnen Merkmale unterschiedlich stark ausgeprägt. Anhand von zehn Anwendungsbeispielen der MoSyS-Anwendungspartner sowie zwölf Beispielen aus der Literatur wurden Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Ausprägungen der charakteristischen Merkmale identifiziert. Für die Unterscheidung von Projekttypen, die Auswirkungen auf die Entwicklungsvorgehen und Sprachelemente im Rahmen der Referenzarchitektur haben, wurden insbesondere die Managementunabhängigkeit und Projektart herangezogen. Diese lehnt sich an das Vorgehen nach Dahmann et al. in dem zwischen Initialisierung und Update unterschieden wird. Tabelle 2-3 gibt einen Einblick in die Beispielanalyse.

Tabelle 2-3: Auszug von SoS-Beispielen

Beispiel	Beschreibung	Mgmt.-unabh.	Projektart
„Flexible Produktion von Objekten“	Übergabe von Teilen und Baugruppen zwischen verschiedenen Fertigungs- und Automatisierungslösungen, organisiert innerhalb einer flexiblen Produktionslinie eines produzierenden Unternehmens	Gering	Update
„Smart Charging mit vernetzten Fahrzeugen“	Ladekonzept für E-Fahrzeuge im Verbund mit der Ladeinfrastruktur, Smart Homes und Netzbetreibern in Abhängigkeit der Verfügbarkeit, organisiert durch Gremien	Mittel	Update
+ 8 weitere MoSyS Beispiele			
„Flottenfahrt“ [Axe19]	Konzept zur Realisierung einer Flottenfahrt mit sehr geringem Abstand zwischen den beteiligten Fahrzeugen zur Reduzierung des Energieverbrauchs der hinterherfahrenden Fahrzeuge, organisiert in einer Interessensgemeinschaft	Mittel	Init.
„Krisenbewältigung“ [PKN+21]	Organisation der beteiligten Systeme in unvorhersehbaren Krisensituationen unter starker Einflussnahme von Menschen, die situativ Entscheidung treffen	hoch	Update
+ 10 weitere Literaturbeispiele			

Durch die Analyse der Beispiele und ihrer Gemeinsamkeiten, konnten insgesamt fünf Cluster identifiziert werden, die entsprechende Ähnlichkeiten aufweisen. In der praktischen Anwendung zeigten sich zwei Cluster besonders relevant, sodass diese in die Referenzarchitektur übernommen wurden: Managementgesteuerte SoS-Gestaltung (SoS Typ 1) und die Gremiengesteuerte SoS-Gestaltung (SoS Typ 2). Die zwei SoS-Projekttypen werden im folgenden kurz erläutert.

Managementgesteuerte SoS-Gestaltung (SoS Typ 1): In diesem Gestaltungskonzept wird auf Basis von neuen Ideen, Rahmenbedingungen oder Technologiesprüngen ein neues SoS-Konzept ausgestaltet. Dabei werden die übergeordneten Ziele festgelegt, relevante Systeme und Fähigkeiten des

SoS identifiziert und die wesentlichen Mechanismen ihrer Interaktion miteinander konzipiert. Zusätzlich werden notwendige Unternehmen identifiziert, die für eine erfolgreiche Umsetzung des Konzepts relevant sind. Die Initialisierung und Ausgestaltung des SoS-Konzepts ist dabei von möglichen Zusammenarbeitsmodellen zwischen den Unternehmen abhängig und kann sich über die Evolutionsstufen verändern.

Gremiengesteuerte SoS-Gestaltung (SoS Typ 2): Bei der managementgesteuerten SoS-Gestaltung liegt der Fokus auf der direkten Kooperation zwischen Unternehmen, die zusammen die SoS-Struktur und das Verhalten ausprägen. Dabei haben die jeweiligen Unternehmen Einfluss auf die beteiligten Systeme und können diese ggfs. anpassen und optimal aufeinander abstimmen. Um die Komplexität der Interaktion verschiedener Systeme zu beherrschen, können etablierte SE bzw. MBSE-Methoden angewendet werden. MBSE-Methoden, wie bspw. OOSEM [14], ermöglichen einem SoS-Team das SoS abzugrenzen und für ein gemeinsames Ziel zu gestalten. Das SoS-Team besteht dabei aus Entwicklern der beteiligten Unternehmen oder einem von den Unternehmen beauftragten Team. Über das Management können detaillierte Rahmenbedingungen des SoS festgelegt werden.

Um die Zusammenhänge dieser Gestaltungstypen im Rahmen der modellbasierten Architekturentwicklung zu beschreiben, werden unterschiedliche Beschreibungselemente benötigt. Während im SoS-Typ 1 auf etablierte Elemente zurückgegriffen werden kann, weil viele der Zusammenhänge identifizierbar und abgrenzbar sind, werden im SoS-Typ 2 erweiterte Sprachkonzepte benötigt, um die Unsicherheiten und die Vielfältigkeit der Interaktionsmöglichkeiten abzubilden. Insgesamt wurden sechs Elemente zur Beschreibung der Zusammenhänge in Bezug auf SoS in die Referenzarchitektur übernommen. Diese werden im Folgenden aufgelistet, kurz beschrieben und den jeweiligen SoS Typen zugeordnet:

- **Interagierendes System:** Interagierende Systeme sind operativ und managementunabhängige Systeme, die Teil eines System of Systems sind. (SoS Typ 1)
- **Systemziel:** Beschreibt die Ziele eines Systems in Development oder der vernetzten Systeme im Systemverbund eines SoS. (SoS Typ 2)
- **Systemrolle:** Rollen sind abstrakte Einheiten, die im SoS interagieren. Sie sind unabhängig von der technischen Realisierung und definieren sich über ihre Fähigkeiten. Die Rollen Beschreibung ist abhängig vom Anwendungsfall und ergibt sich häufig durch Ihre Pendants. Ein System kann innerhalb eines SoS mehrere Rollen aus unterschiedlichen Anwendungskontexten einnehmen. (SoS Typ 2)
- **Systemfähigkeit:** Systemfähigkeiten sind die implementierungsunabhängige Beschreibung von Systemfunktionen, um eine Wirkung in der physischen oder virtuellen Welt zu erzielen. [BBB+20]. Es kann als abgegrenzter Funktionsumfang verstanden werden, der von einer Rolle über Schnittstellen angeboten wird. (SoS Typ 2)
- **SoS Anwendungsfall:** Ein SoS-Anwendungsfall beschreibt eine nach außen sichtbare Interaktion zwischen Nutzern und dem SoS. (SoS Typ 2)
- **Vertrag:** Verträge (Contracts) beschreiben die Schnittstelle zwischen Rollen oder Systemen und die Voraussetzungen zur Etablierung einer Interaktion. Ein Vertrag besteht aus "Formalisierungen der Bedingungen für die Korrektheit der Elementintegration [...]" [SDP12]. (SoS Typ 2)

Die Beschreibung der SoS-spezifischen Aspekte steht im Zusammenhang mit den weiteren Bereichen der Referenzarchitektur. Zum einen baut die SoS-spezifische Analyse auf den Inhalten des Problemraums auf. U.a. sind die im **Problemraum** analysierten Anwendungsfälle und Stakeholder

wesentlicher Input zur Identifikation von eigenständigen Systemen oder auch SoS-Rollen und -Fähigkeiten. Zum anderen werden auf Basis der SoS-spezifischen Aspekten Lösungselemente in den Kategorien **Produkt** und **Produktion** abgeleitet. Bspw. werden die definierten SoS-Rollen der SoS-Typ 2 Kategorie in konkrete Systeme überführt, die diese Rollen einnehmen und die damit einhergehenden Fähigkeiten bereitstellen. Dazu werden konkrete Funktionen und logische Systemelemente oder auch Prozesse und logische Betriebsmittel definiert, die entsprechend mit den Rollen und Fähigkeiten der SoS Kategorie verknüpft.

Weitere Informationen	Veröffentlichungen: [AGW+22] Anacker, H.; Guenther, M.; Wyrwich, F.; Dumitrescu, R.: Pattern based engineering of System of Systems - a systematic literature review: 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE). 07.06.2022 - 11.06.2022, Rochester, NY, USA, IEEE, 2022, S. 178–183 [GGH+23] Günther, M.; Göllner, D.; Heihoff-Schwede, J.; Anacker, H.; Dumitrescu, R.: Engineering und Management von Systems of Systems – Gestaltungskonzepte im SoS-Engineering. In: Koch, W.; Wilke, D.; Dreiseitel, S.; Kaffenberger, R. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering, 2023, S. 137–143

2.11.2.2.2. Überblick: SoS-Referenzarchitektur – Framework

Das SoS-Referenzarchitektur-Framework kombiniert die verschiedenen Bereiche Produktgenerationsentwicklung, Validierung, Produktion mit dem SoS-Charakter von verschiedenen Ebenen (siehe Bild 2-30).

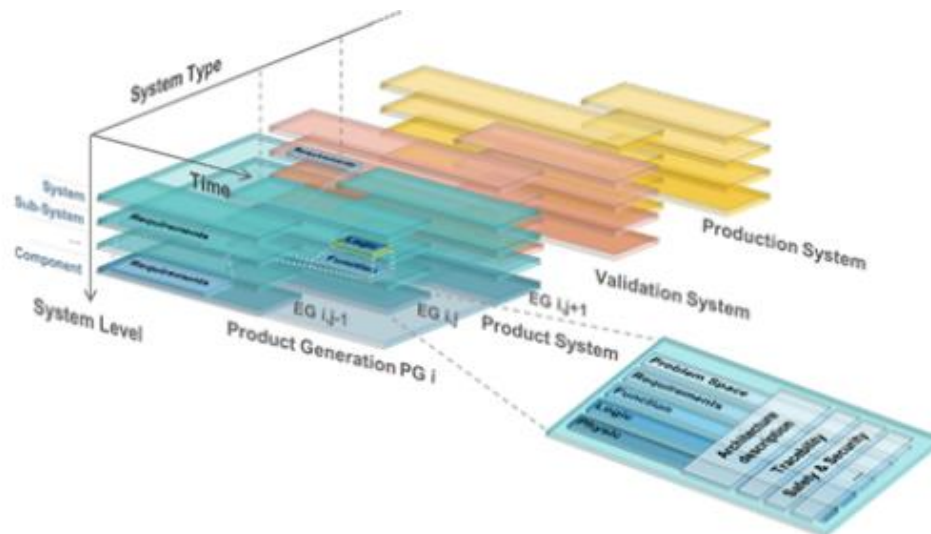


Bild 2-30: SoS-Referenzarchitektur-Framework: Übergreifende Ansicht

Zur übersichtlichen Darstellung wird der SoS-Referenzarchitektur in drei Teile gegliedert. Für den ersten Teil sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 2-31 drei Dimensionen dargestellt: "Systemhierarchie", "Systemtyp" und "Zeit". Die erste Achse bildet die Dimension der Systemhierarchie ab. Die Anzahl und Detaillierung der Systemebenen ist in der Regel unternehmensspezifisch. Die zweite Achse zeigt die Dimension der Systemtypen. Damit lässt sich die parallele Entwicklung von z.B. Produkt, Produktionssystem, Validierungssystem und anderen Systemtypen beschreiben. Die dritte Achse stellt die zeitliche Dimension dar, die die Lebenszyklen der verschiedenen Systeme abbildet.

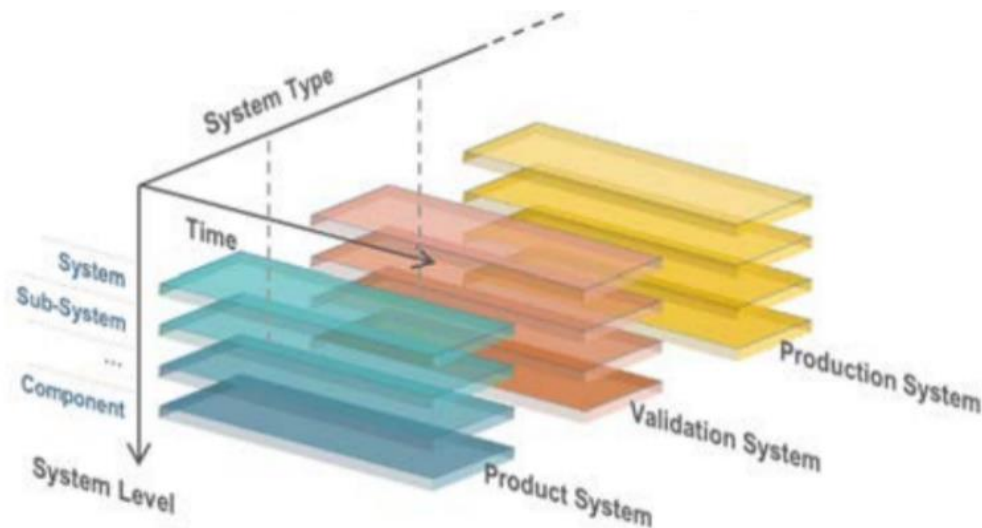


Bild 2-31: SoS-Referenzarchitektur-Framework: Systemtyp, Zeit und Systemebene

Bild 2-32 veranschaulicht die relevanten Dimensionen innerhalb eines Systemtyps, z. B. des Produktsystems. Hier werden zusätzlich zu den bereits vorgestellten Dimensionen "Zeit" und "Systemebene" auch die Dimensionen "Systemgeneration" und "Entwicklungsgeneration" eingeführt. "Entwicklungsgeneration", die den Reifegrad eines Systems repräsentieren, sind innerhalb einer "Systemgeneration" über die Zeitdimension angeordnet. Dadurch kann eine parallele Entwicklung dargestellt werden.

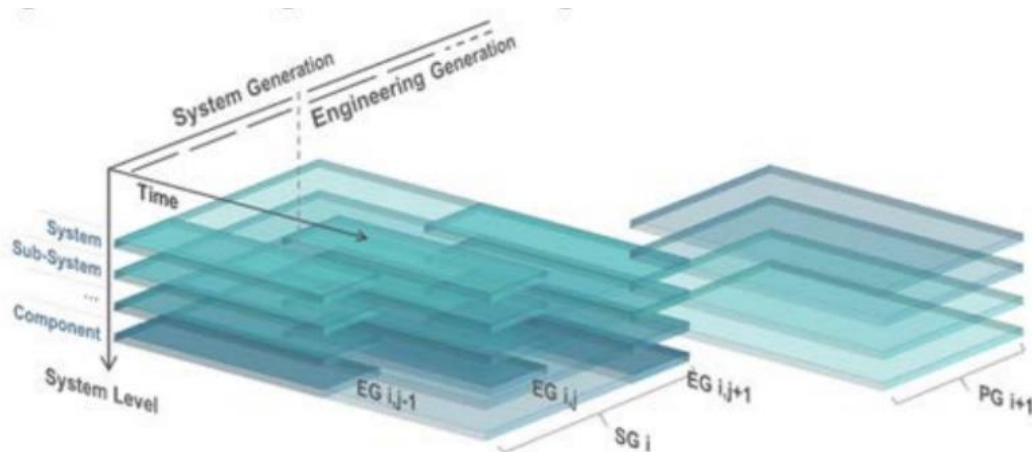


Bild 2-32: SoS-Referenzarchitektur-Framework: System- (SG) and Entwicklungsgeneration (EG), Zeit- und Systemebene innerhalb eines Systemtyps

Innerhalb einer Engineering-Generation wird jede Systemebene eines Systems durch zwei Dimensionen beschrieben (siehe Bild 2-33). Dabei ist die Dimension "Zeit" nicht dargestellt. Die PS-RFLP Dimension wird um eine weitere Dimension, die Crosscutting Aspects, ergänzt, zu denen eine beliebige Anzahl weiterer Aspekte hinzugefügt werden können. Dies ermöglicht die Verortung von anwendungsspezifischen, systemspezifische und systemtypische Querschnittssichten, z.B. zur Rückverfolgbarkeit. Im Abstraktionsbereich "Problem Space" werden SoS-Aspekte berücksichtigt

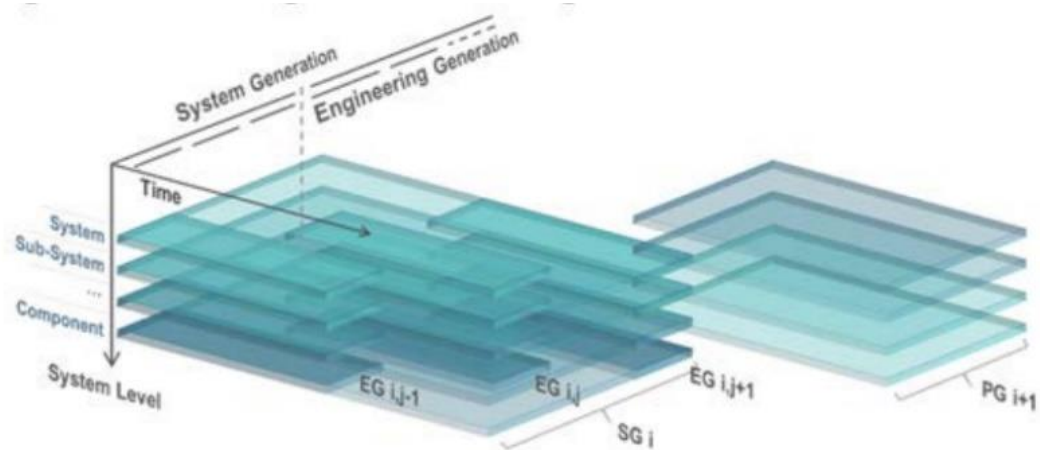


Bild 2-33: SoS-Referenzarchitektur-Framework: PS-RFLP Abstraktion, übergreifende Perspektiven und Systemebene innerhalb einer Entwicklungsgeneration

Weitere Informationen	Veröffentlichung: [MGM+22] Mandel, C.; Guenther, M.; Martin, A.; Windisch, E.; Bursac, N.; Rapp, S.; Anacker, H.; Albers, A.: Towards a System of Systems Engineering Architecture Framework: 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE). 07.06.2022 - 11.06.2022, Rochester, NY, USA, IEEE, 2022, S. 221–226

2.11.2.2.3. Überblick: SoS-Referenzarchitektur – Ontologie

Auf Basis des Frameworks wurde eine Ontologie erstellt, in der die Elementtypen in den verschiedenen Systemtypen beschrieben sowie die Zusammenhänge zwischen den Elementen definiert sind (siehe Bild 2-34).

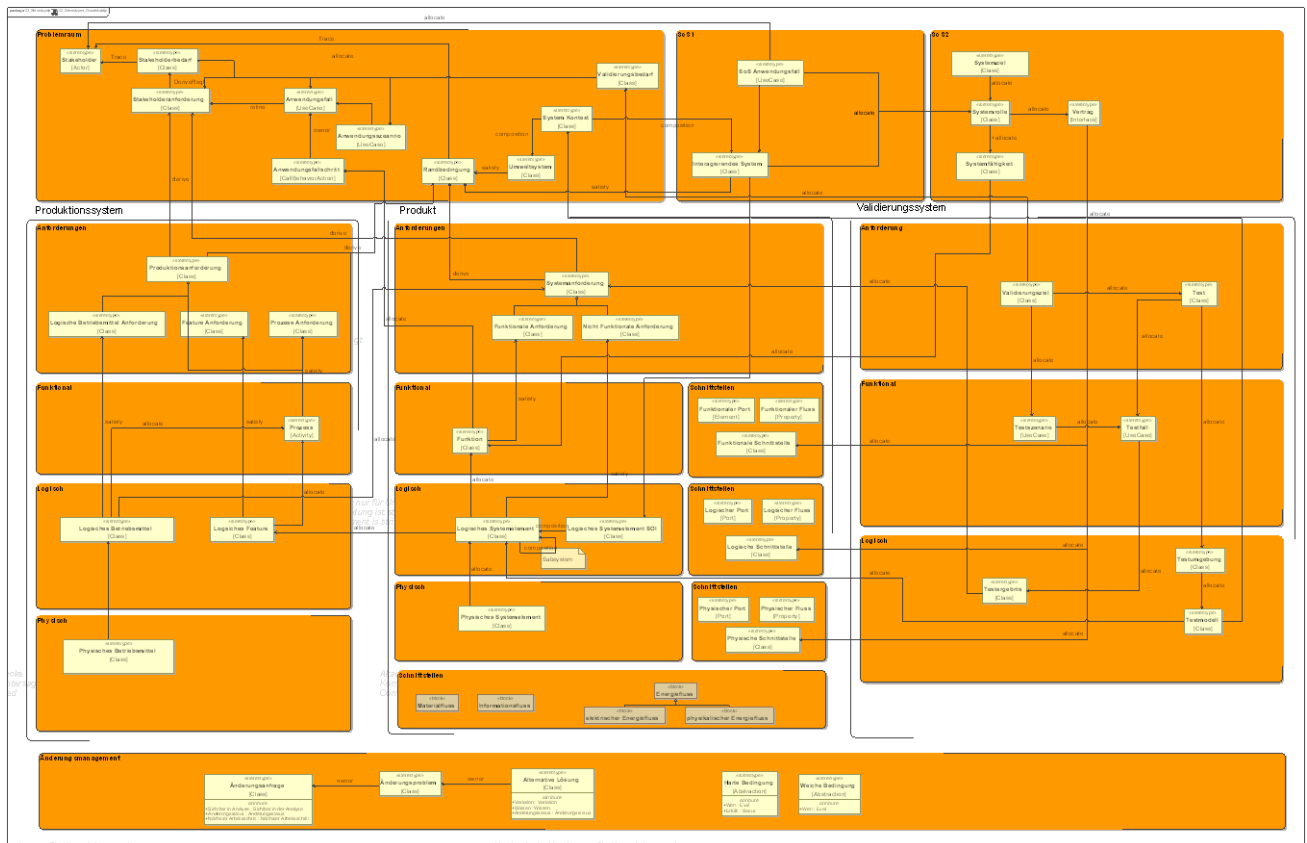


Bild 2-34: Gesamtübersicht über die Ontologie der SoS-Referenzarchitektur

Die Ontologie kann genutzt werden, um den Austausch von Informationen sowie die Herleitung der einzelnen Artefakte des Entwicklungsprozesses wie Anforderungen, Gestaltelemente in Produkt oder Produktion zu ermöglichen. Zusätzlich zeigt die Ontologie auf inwiefern die Systemtypen miteinander interagieren und welche Informationen ausgetauscht werden können.

Weitere Informationen	Digitaler Anhang: • SoS-Referenzarchitektur Cameo.mdzip Veröffentlichung: [SGM+23] Schäfer, L.; Günther, M.; Martin, A.; Lüpfer, M.; Mandel, C.; Rapp, S.; Lanza, G.; Anacker, H.; Albers, A.; Köchling, D.: Systematics for an Integrative Modelling of Product and Production System: 16th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering '22, 2023, S. 104–109 [WMG+24] Wiecher, C.; Mandel, C.; Günther, M.; Fischbach, J.; Greenyer, J.; Greinert, M.; Wolff, C.; Dumitrescu, R.; Mendez, D.; Albers, A.: VORLÄUFIG - Model-based Analysis and Specification of Functional Requirements and Tests for Complex Automotive Systems, 2024

2.11.3. Diskussion und Ausblick

Mithilfe der Referenzarchitektur kann die Industrie ein zentrales Systemmodell erstellen, in dem nicht nur disziplinintern, sondern auch disziplinübergreifend modelliert werden kann. Dadurch können koevolutionäre oder simultane Entwicklungsaktivitäten in verschiedenen Disziplinen durchgeführt werden. Beispielsweise können die Produktgenerationen mit dem Produktionssystem gemeinsam entwickelt werden und inwiefern welche Elementtypen ein Einfluss auf die andere Disziplin haben. Weiterhin können Entwicklungsaktivitäten getriggert werden, denn beispielsweise Änderungen im

Produkt können Auswirkungen auf das Produktionssystem sowie das Validierungssystem haben. Für diese Use-Cases können Unternehmen basierend auf der Referenzarchitektur individuelle Framework für die Modellierung eines zentralen Systemmodell entwickelt werden.

In der Forschung kann die Referenzarchitektur genutzt werden, um disziplinübergreifende Forschungsarbeiten zu ermöglichen. Im Bereich PPCD kann durch die Referenzarchitektur beispielsweise das gemeinsame Modellieren des Produkts und das dazugehörige Produktionssystem untersucht werden. Weiterhin kann durch die Referenzarchitektur beispielsweise die Modellierung von digitalen Zwillingen im Kontext PPCD ermöglicht werden, um Inkonsistenzen zwischen Produkt und Produktion zu ermitteln.

Literaturverzeichnis

- [BBB+20] Bayha, A.; Bock, J.; Boss, B.; Diedrich, C.; Malakuti, S.: Describing Capabilities of Industrie 4.0 Components – Whitepaper, 2020
- [SDP12] Sangiovanni-Vincentelli, A.; Damm, W.; Passerone, R.: Taming Dr. Frankenstein: Contract-Based Design for Cyber-Physical Systems*. European Journal of Control, (18)3, 2012, S. 217–238
- [Axe19] Axelsson, J.: Business Models and Roles for Mediating Services in a Truck Platooning System-of-Systems: 2019 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE). 2019 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE), 19.05.2019 - 22.05.2019, Anchorage, AK, USA, IEEE, 2019, S. 113–118
- [PKN+21] Prakasha, P. S.; Kilkis, S.; Naeem, N.; Ratei, P.; Nagel, B.: System of Systems Simulation Driven Wildfire Fighting Aircraft Design and Fleet Assessment. In: American Institute of Aeronautics and Astronautics (Hrsg.): AIAA Aviation 2021 Forum. August 2-6, virtual event, 2021

2.12. Meta-Modell

2.12.1. Einleitung

2.12.1.1. Zielsetzung

Das Ziel dieses Wissensnuggets ist die gemeinsame Modellierung und Verknüpfung der Aufbau- und Ablauforganisation sowie der Systemmodell eines Unternehmens, um Produktentwicklungsaktivitäten zu unterstützen. Beispielsweise können neue Projekte initialisiert, Risiken in Projekten abgeschätzt oder Projektergebnisse besser vermittelt werden.

Das Meta-Modell unterstützt den Menschen dabei das Unternehmen und die Systeme als gemeinsames SoS zu modellieren. Dadurch entspricht das Meta-Modell einer Unterstützung in der Gestaltung der Produktentwicklung von SoS.

2.12.1.2. Einordnung in MoSyS

Das Meta-Modell vereint mehrere Ergebnisse aus MoSyS. Auf Basis des Wissensnuggets der Problem Statements wurde das Meta-Modell synthetisiert. Zusätzlich wurde als Möglichkeit zur Modellierung des Systemmodells die SoS-Referenzarchitektur herangezogen.

2.12.1.3. Vorgehen

Das Vorgehen zur Synthese des Meta-Modells ist in insgesamt 5 Schritte erarbeitet, die aufeinander basieren:

1. Erarbeiten eines gemeinsamen Zielbilds mit den beteiligten Projektpartnern
2. Erarbeiten eines ersten Konzepts basierend auf dem Zielbild
3. Modellieren eines Meta-Modells in MIRO
4. Konkretisieren des Meta-Modells basierend auf den Modellierungen in MIRO
5. Finalisieren des Meta-Modells in Cameo Systems Modeller

Im ersten Schritt wurde initial mithilfe der beteiligten Projektpartnern ein Zielbild aufgestellt, weshalb das Meta-Modell benötigt wird und welche Use-Cases notwendig sind. Im zweiten Schritt wurde ein Konzept erstellt, um das Zielbild zu erreichen. Dabei wurden die notwendigen Bereiche und die Interaktion mit dem Meta-Modell diskutiert. Auf Basis des zweiten Schritts wurde das Meta-Modell in MIRO mithilfe von Inputs aus der Industrie modelliert. Dabei wurde MIRO verwendet, um eine schnelle und gemeinsame Modellierung zu ermöglichen, das in einem MBSE-Tool nicht möglich ist. Auf Basis der Datenlage aus Schritt 3 wurde das Meta-Modell verbessert und im letzten Schritt finalisiert, indem ein Framework und Beispiele aus Harting in Cameo erstellt wurden.

2.12.2. Hauptteil

2.12.2.1. Definitionen

Innerhalb des Meta-Modells wurden keine Definition, die übergreifend für die menschenorientierte Gestaltung von SoS. Definitionen einzelner Begriffe werden in den Ergebnissen eingeführt.

2.12.2.2. Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die zentralen Ergebnisse vorgestellt: Zielbild, Konzept, Modellierungsframework und zwei Beispiele von zwei Industriepartnern.

Das **Zielbild des Meta-Modells** basiert auf die Verknüpfung der drei Bereiche Ablauforganisation, Aufbauorganisation und Systemmodell über den Menschen (siehe Bild 2-35), denn die Handlungsableitung, das heißt bspw. welche Aktivitäten ausgelöst werden, können lediglich Produktentwickelnde durchführen. Weshalb das Meta-Modell dies unterstützt.

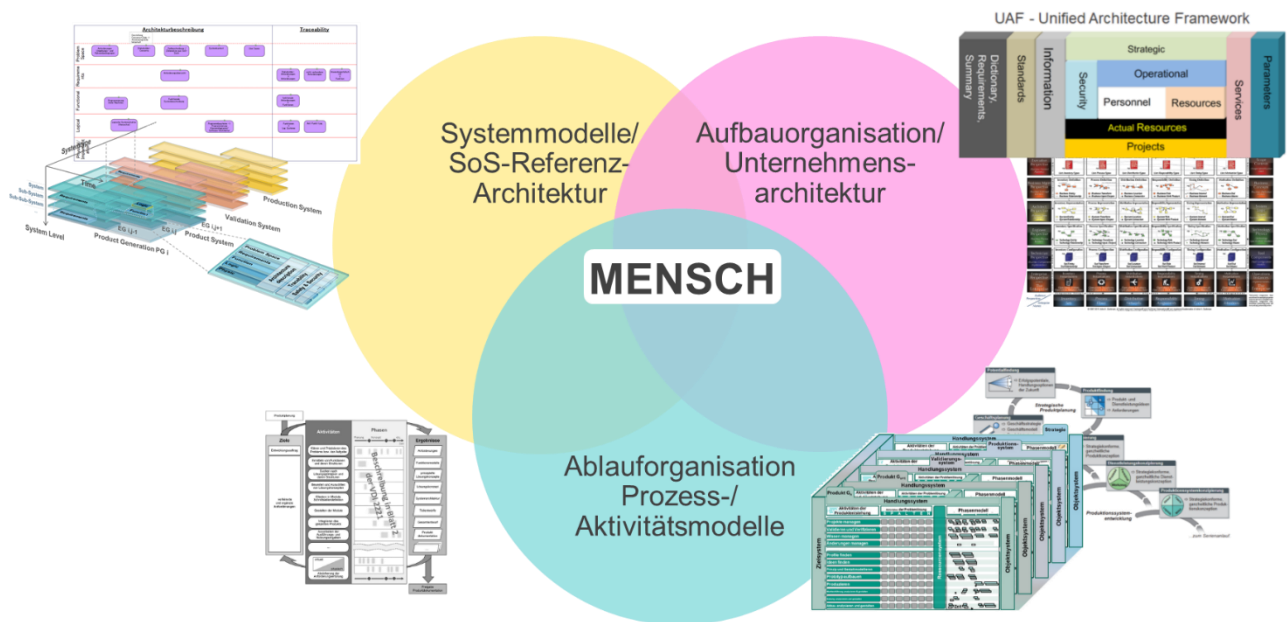


Bild 2-35: Zielbild des Meta-Modells Meta-Modells

Im Bereich Systemmodell wird das Produkt des Unternehmens modelliert, weshalb hier eine Möglichkeit die SoS-Referenzarchitektur ist. Dabei soll fokussiert werden, was aus der Wertschöpfung (intern sowie extern) des Unternehmens resultiert, beispielsweise Produkte, Teilsysteme, Änderungen im Unternehmen. Aufbauorganisation stellt den Bereich dar, inwiefern das Unternehmen aufgebaut ist, aber auch welche Capabilities das Unternehmen besitzt. Zum einen werden hier die Strukturen im Unternehmen (beispielsweise eine Matrixstruktur) modelliert und welche Rollen im Unternehmen existieren. Zum anderen werden hier auch existierende, notwendige und toolbasierte Kompetenzen festgehalten. Im Bereich Ablauforganisation werden Prozesse oder Aktivitäten aus Produktentstehungsmodelle wie das 3-Zyken-Modell nach Gausemeier [GEK01] oder das iPeM – integrierte Produktentstehungsmodell nach Albers [ARB+16].

Auf Basis des Zielbilds wurde das **Konzept des Meta-Modells** (s. Bild 2-36) synthetisiert. Dabei wurden den Bereichen konkrete Modellierungshinweise gegeben, was in den Bereichen modelliert werden kann. Diese basieren auf den W-Fragen des Zachmann-Frameworks.

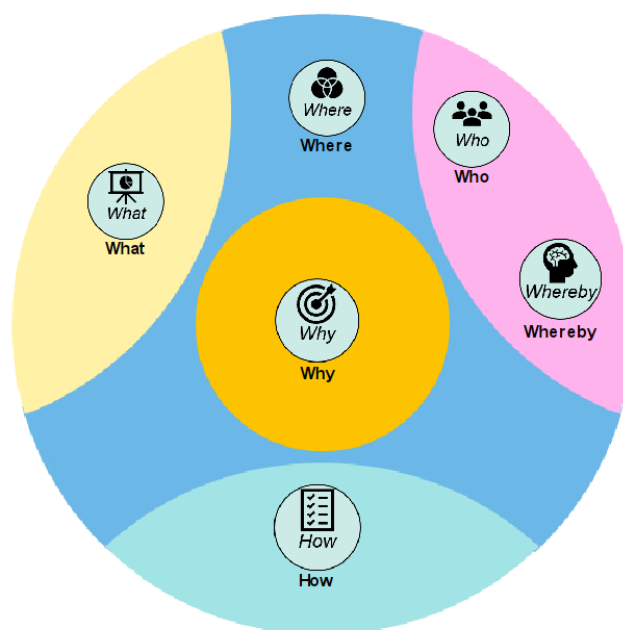


Bild 2-36: Konzept des Meta-Modells

Im Bereich Systemmodell existiert die W-Frage *WHAT*, da sie die Ergebnisse der Wertschöpfung des Unternehmens repräsentiert, also *WAS* entwickelt wird. Hier werden alle Systeme, Produkte, Dienstleistungen eines Unternehmens modelliert. Im Bereich Aufbauorganisation existieren die W-Fragen *WHO* und *WHEREBY*, da dadurch die Aspekte der strukturellen Organisation und der Kompetenzen. Zum einen wird geklärt *WER* aktuell im Unternehmen existiert und *WELCHE* Kompetenzen er besitzt. Im Bereich Ablauforganisation wird die Frage *HOW* modelliert, da hier beschrieben wird, *WIE* neue Produkte, Systeme oder Dienstleistungen im Unternehmen entwickelt werden. Der zentrale Bereich, in dem der Mensch agiert, wurde in zwei Bereiche (hellblau und orange) unterteilt: Verknüpfender Bereich (*WHERE*) und Zielbereich (*WHY*). Dadurch kann der Mensch optimal unterstützt werden, da er durch die modellierten Objectives und Keyresults des Unternehmens die Ausrichtung des Unternehmens (*WARUM*) nachvollziehen kann. Durch die Vernetzung kann der Mensch anschließend nachvollziehen, *WO* eine Änderung in den einzelnen Bereichen einen Impact haben.

Durch das Konzept konnte mithilfe von MIRO eine Modellierung mit Industriepartnern durchgeführt werden. Die Industriepartner beantworteten die W-Fragen aus der Sicht ihres Unternehmens und erstellten Kärtchen, was genau sie hier modellieren würden. Diese Modellierungen in MIRO konnten anschließend bei der Synthese des Frameworks in Cameo genutzt werden. Dabei konnte das Konzept in das Tool überführt werden und anschließend die W-Fragen mit Elementtypen versehen werden. Für die Elementtypen wurden Modellierhinweise hinzugefügt, um den Menschen zu unterstützen was modelliert werden muss. Im Why werden zum einen Objectives und Key-Results sowie Geschäftsziele modelliert (siehe Bild 2-37).

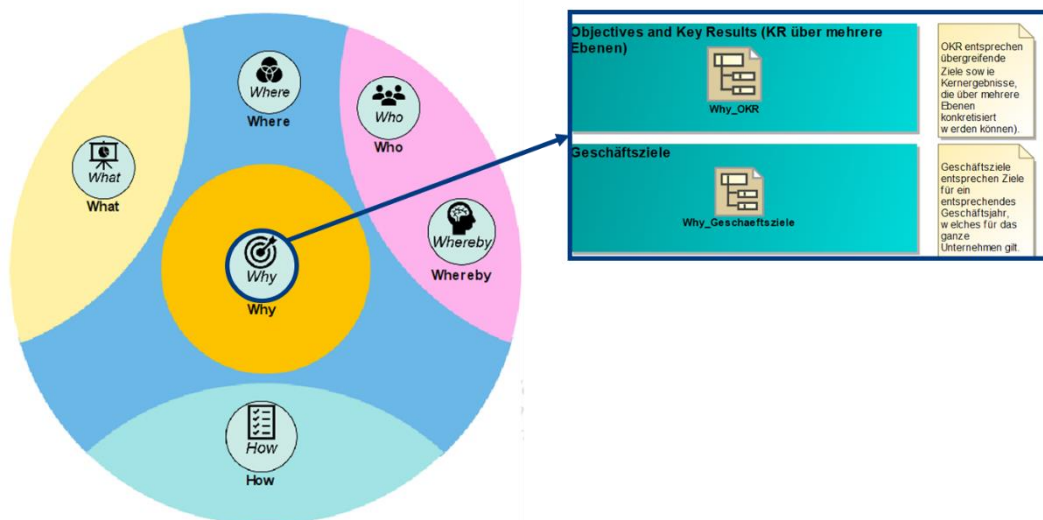


Bild 2-37: Modellierungsrichtlinien für *WHY*

Bei den OKR sind an oberster Stelle Objectives und besitzen mehrere Key Key-Results. Die Key-Results können auf unterschiedlichen Ebenen sein und miteinander verknüpft sein. Dabei können Key-Results auf einer oberen Ebene aus mehreren Key-Results in einer unteren Ebene bestehen. Diese Ebenen können strukturelle, systemische oder andere Ebenen sein. Zum anderen können neben den OKR's auch Geschäftsziele modelliert, wenn eine Modellierung in Ebenen nicht möglich ist.

Im Bereich *What* existieren vier Elementtypen, welche modelliert werden können: Interne Änderungen, Produkte sowie Dienstleistungen für Kunde und Anwender und Teilsysteme für Kunden (s. Bild 2-38).

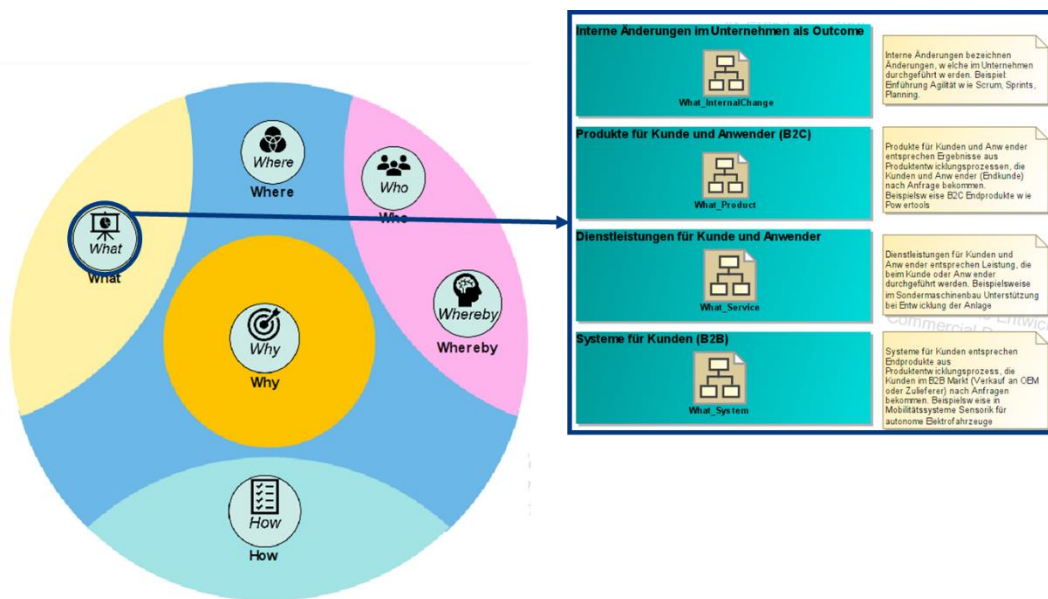


Bild 2-38: Modellierungsrichtlinien für WHAT

Interne Änderungen entsprechen dabei Changeprozesse, die innerhalb eines Unternehmens durchgeführt werden. Beispielsweise kann hier die Einführung eines neuen Entwicklungs- oder Innovationsprozesses integriert werden, indem nach der Referenzarchitektur Bedarfe, Ziele und Anforderungen modelliert werden. Außerdem kann auch die Einführung von Agilität im gesamten Unternehmen hier modelliert werden. Bei Produkten für Kunde und Anwender können Unternehmen ihre Produkte gemäß der Referenzarchitektur oder lediglich die Produkte selbst modellieren, die im B2C-Markt wie beispielsweise OEM's sind. Da nicht jedes Unternehmen Produkte im B2C-Markt anbietet, existieren auch Unternehmen, zum einen die als Zulieferer im B2B-Markt Gesamt- oder Teilsysteme und zum anderen Dienstleistungen im Sondermaschinenbau anbieten. Beides kann das Unternehmen in den unteren beiden Feldern modellieren. Wichtig ist, dass nur die Elemente modelliert werden, die notwendig sind. Das bedeutet, dass Unternehmen, die sowohl Zulieferer als auch OEM sind, sowohl Produkte im B2C als auch Systeme im B2B modellieren können.

Im Bereich Aufbauorganisation werden die Fragen Who und Whereby beantwortet. In Who wird die Organisationsstruktur und in Whereby die Kompetenzen des Unternehmens modelliert (siehe Bild 2-39). In der Organisationsstruktur kann beispielsweise das Organigramm des Unternehmens ohne die zugehörigen Namen, sondern lediglich mit Rollen modelliert werden. In Whereby werden notwendige Kompetenzen als Soll modelliert, die in Zukunft notwendig sein können. Beispielsweise sind aktuell Kompetenzen in AR/VR oder AI/KI eine mögliche Soll-Kompetenz, die in Unternehmen aktuell weniger benötigt werden, aber in Zukunft an Relevanz gewinnen. Aktuelle Kompetenzen werden als Ist in existierende Kompetenzen modelliert. Diese sind einerseits bestehende Kompetenzen und andererseits aktuell notwendige Kompetenzen. Weiterhin werden auch Tool-Kompetenzen getrennt modelliert, da oftmals Kompetenzen in einem Gebiet existieren, jedoch die Tool-Kompetenzen nicht vorhanden sind. Beispielsweise können Kompetenzen im Bereich (MB)SE im Unternehmen existieren, jedoch keine oder geringe Kompetenzen in Cameo oder Enterprise Architect.

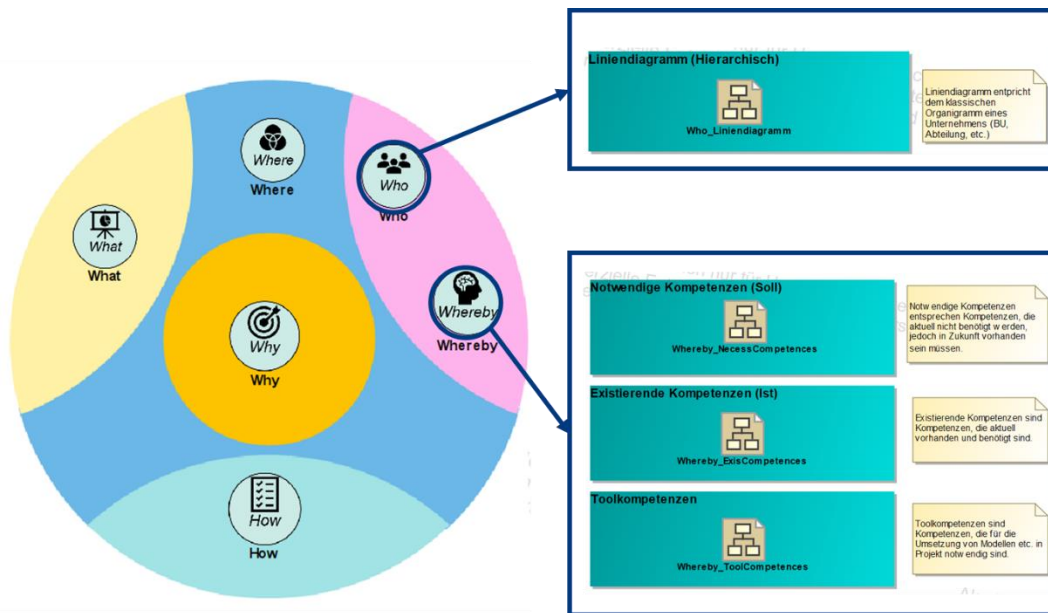


Bild 2-39: Modellierungsrichtlinien für WHO und WHEREBY

In der Ablauforganisation wird das How mit insgesamt sechs möglichen Elementtypen, jedoch müssen diese nur nach Bedarf und Situation modelliert werden (siehe Bild 2-40). Diese basieren auf dem Soll-Baukasten für Soll-Prozesse nach Wilmsen [W22]. Im ersten Typ werden bestehende Projekte modelliert. Die Modellierung kann hier verschiedene Abstraktions- und Konkretisierungsebenen annehmen. Im Kontext MoSyS kann dies das Gesamtprojekt sein oder auch die einzelnen Arbeitspakete. Projektphasen beschreiben mögliche Einteilungen von Entwicklungsprojekten in vordefinierte Phasen im Kontext eines Stage-Gate-Prozesses. Beispielsweise können hier die Phasen des iPeM Potentialfindung, Konzeptionierung, Präzisierung und Realisierung genutzt werden [ARB+16]. Standardprozesse entsprechen Prozesse, die von Unternehmensseite oder externen Randbedingungen eingehalten werden müssen. Beispielsweise existieren in Unternehmen Prozesse, die für die Administration der Projekte durchgeführt werden müssen. Zusätzlich gibt es in stark regulierten Entwicklungen wie in der Lebensmittelbranche oder der Medizintechnik vorgeschriebene Prozesse, die für die Freigabe eingehalten werden müssen. In Meilensteine, Deliverables und Aktivitäten werden dementsprechend beschrieben, wann etwas vorliegt, was genau vorliegen muss und wie etwas gemacht wird. Diese Elementtypen hängen stark von den einzelnen Phasen ab und müssen vorher definiert werden.

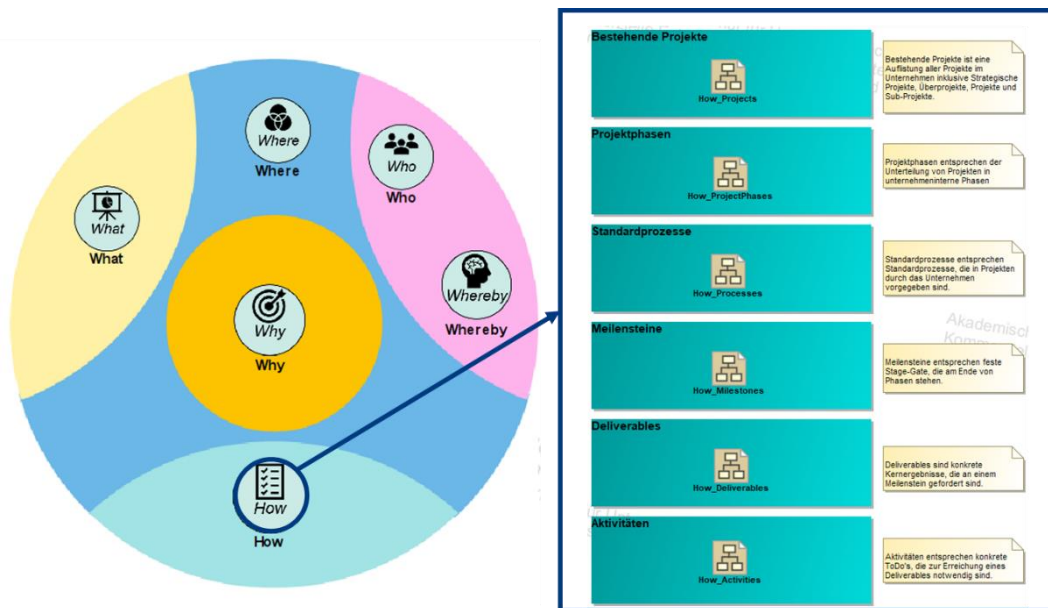


Bild 2-40: Modellierungsrichtlinien für HOW

Die Vernetzung der zuvor beschriebenen Modellierungsrichtlinien wird in Where vorgenommen (siehe Bild 2-41). Hierzu werden die einzelnen Diagramme mithilfe von Matrizen verknüpft. Beispielsweise können die visionären Ziele eines Unternehmens (Why) mit den Projekten (How) verknüpft werden, um die Relevanz von Projekten zu analysieren. Dabei wird angezeigt welche Projekte auf welches Ziel einzahlt und so können Dopplungen oder kritische Projekte identifiziert werden. Für jede einzelne Vernetzung muss eine solche Matrix erstellt werden.

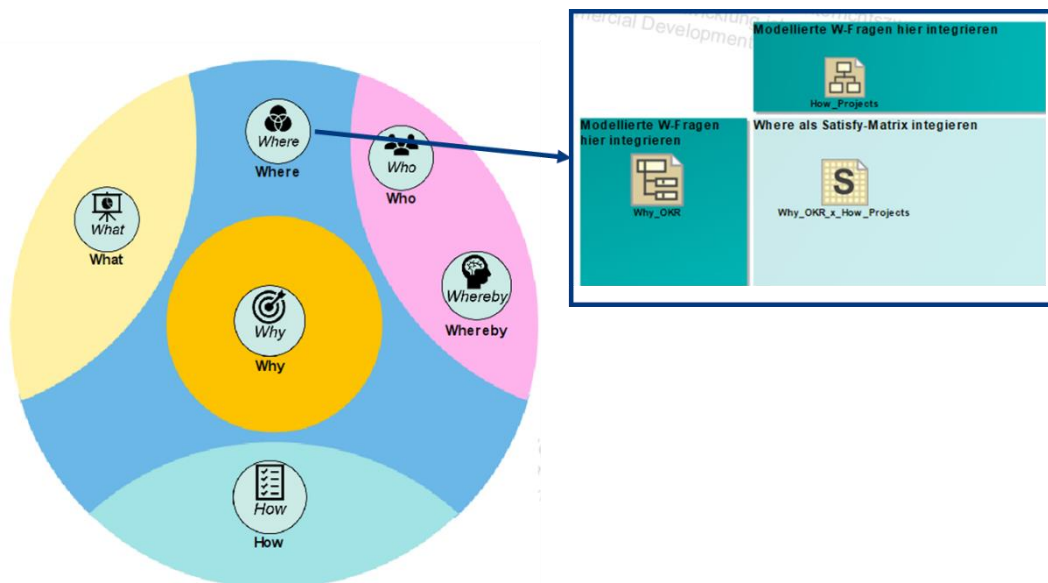


Bild 2-41: Modellierungsrichtlinien für WHERE

Das vorgestellte Framework mit den Modellierungsrichtlinien wurde in zwei Unternehmen eingesetzt und zwei Meta-Modelle modelliert werden. Dabei wurde das Framework zum einen wie vorgestellt eingesetzt und zum anderen eine Variation des Frameworks erstellt und angewandt.

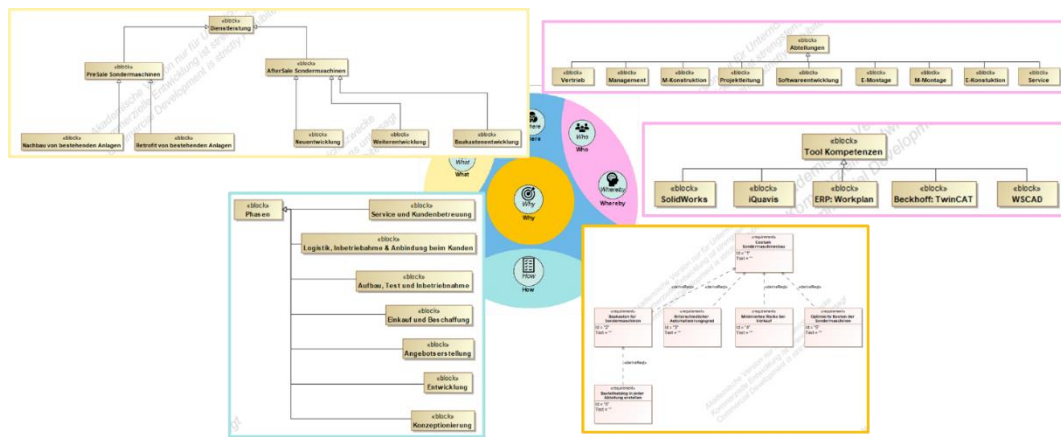


Bild 2-42: Angewandtes Framework bei Harting

Im ersten Beispiel konnte mithilfe von Harting das erste Meta-Modell aufgesetzt werden, indem die Ablauforganisation, Aufbauorganisation und die Systemmodell als Dienstleistung im Sondermaschinenbau modelliert wurden (siehe Bild 2-42). In der Modellierung der Ziele wurden die Geschäftsziele genutzt, da durch die flache Hierarchie OKR weniger nutzenstiftend war. Das Beispiel Harting zeigt, dass durch die Herannahme von Experten des Unternehmens die einzelnen Bereiche ausreichend modelliert werden können. Jedoch zeigt die Modellierung des Where ein Hindernis auf, denn hierfür muss klar definiert werden, für was das Meta-Modell eingesetzt wird. Letzteres konnte im zweiten Beispiel mit Bosch beschrieben werden (siehe Bild 2-43). Bei Bosch wurde nur ein Bruchteil der Aufbauorganisation und Ablauforganisation sowie Systemmodell modelliert, da durch die Größe des Unternehmens eine vollständige Modellierung keinen Mehrwert und viel Aufwand mit sich bringen würde. Jedoch kann hier die Vernetzung der einzelnen Bereiche in Where aufgezeigt werden, indem einzelne Projekte mit übergreifende Objectives des Unternehmens verknüpft wurden. Gerade im Use-Case der wandelnden Automobilindustrie kann der Impact von strategischen Änderungen im Umfeld auf Projektebene aufgezeigt werden.

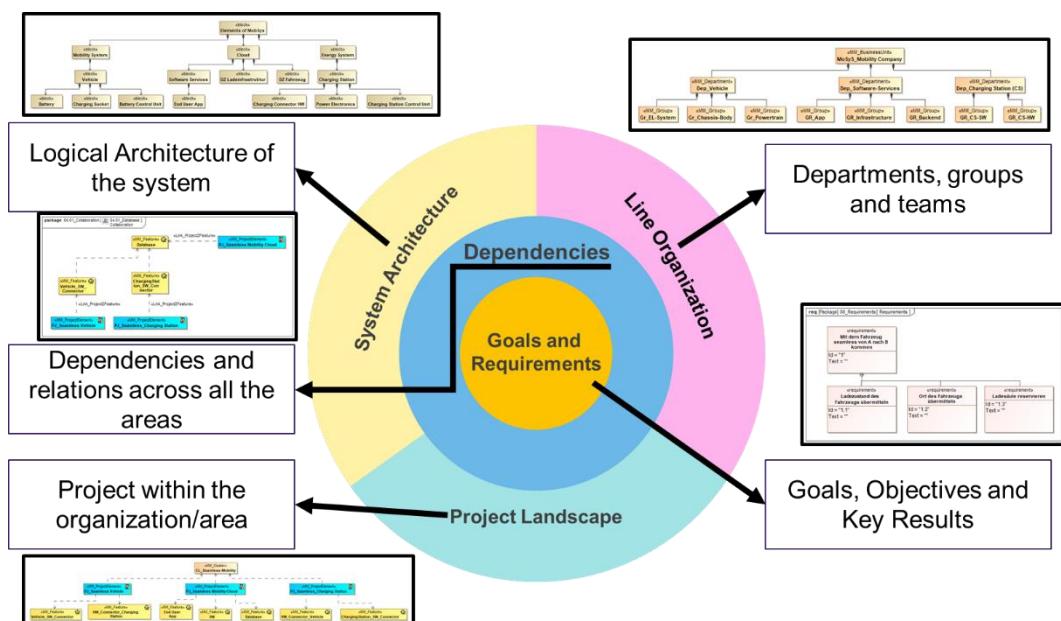


Bild 2-43: Abgeändertes und angewandtes Framework bei Bosch

Zusammengefasst wurde ein Meta-Modell zur Vernetzung von Aufbau- und Ablauforganisation sowie Systemmodell erstellt und durch zwei Beispiele die Anwendung nachgewiesen.

Weitere Informationen:	Digitaler Anhang: • Meta-Modell_Framework.mdzip • Meta-Modell_Harting.mdzip

2.12.3. Diskussion und Ausblick

Während der Erstellung des Meta-Modells wurden viele Use-Cases identifiziert, um das Meta-Modell einzusetzen. Jedoch wurde primär der Aspekt Projektierung bzw. Projekte managen als nutzenstiftende Verwertung in der Industrie genannt. In der Projektinitiierung, in der es um die Projektidee geht, kann das Meta-Modell herangezogen werden, um einerseits die Projektlücke aufzuzeigen oder andererseits die Wichtigkeit und Verknüpfung im Unternehmen eines Projekts beschrieben werden. In der Projektanbahnung kann beispielsweise durch die Verknüpfung der Unternehmensziele und der Projektidee die Relevanz bezogen auf das Unternehmen aufgezeigt werden, aber auch die notwendigen und vorhandenen Kompetenzen für eine Risikoabschätzung abgeleitet werden. Im Projekt kann durch bestehende, ähnliche Projekte ein Projektplan aufgebaut werden sowie Kompetenz und Auslastungen von Abteilungen, Teams und Individuen abgeleitet werden. Im Projektabschluss können Learnings für spätere Projektierungen in das Meta-Modell implementiert werden. Für die Forschung bietet das Meta-Modell eine Ausgangsbasis, um im Advanced Systems Engineering Unternehmen in der koevolutionären Entwicklung des Unternehmens sowie der Wertschöpfung zu unterstützen.

Für diesen Schritt muss das Meta-Modell ganzheitlich modelliert und eingesetzt werden. Hierfür muss ein Use-Case identifiziert werden, der zum einen komplex genug ist, um das Meta-Modell nutzen zu können, und zum anderen managebar sein, um nicht in der Modellierung der einzelnen Bereiche zu versinken. Dadurch kann das Meta-Modell ganzheitlich evaluiert werden.

Literaturverzeichnis

- [ARB+16] Albers, A.; Reiss, N.; Bursac, N.; Richter, T. (2016): iPeM – Integrated Product Engineering Model in Context of Product Generation Engineering. In: Procedia CIRP 50, S. 100–105. DOI: 10.1016/j.procir.2016.04.168.
- [GEK01] Gausemeier, J.; Ebbesmeyer, P.; Kallmeyer, F. (2001): Produktinnovation: Strategische planung und entwicklung der produkte von morgen.
- [W22] Wilmsen, Miriam (2022): Ansatz zur Entwicklung von SOLL-Prozess Baukästen für die Instanziierung und Konfiguration von SOLL-Prozess Vorschlägen in der automobilen Vorentwicklung = Approach for the development of target-process module sets for the instantiation and configuration of target-process suggestions in the automotive predevelopment. In: Albers, A.; Matthiesen, S.: Forschungsberichte am IPEK: Systeme, Methoden, Prozesse; Band 152
- [Z87] Zachmann, J. A. (1987): A framework for information systems architecture. In: IBM Syst. J. 26 (3), S. 276–292. DOI: 10.1147/sj.263.0276.

2.13. MoSyS-MBSE-Methodik

2.13.1. Einleitung

2.13.1.1. Zielsetzung

Ziel des Wissensnuggets ist es, eine Methodik zu entwickeln, mit dem ein zentrales Systemmodell entwickelt werden kann. Die Methodik besteht dabei aus den vier Säulen: Ontologie, Framework, Modellierungsaktivitäten und -unterstützungen.

2.13.1.2. Einordnung in MoSyS

Ziel des Wissensnuggets ist es, eine Methodik zu entwickeln, mit dem ein zentrales Systemmodell entwickelt werden kann. Die Methodik besteht dabei aus den vier Säulen: Ontologie, Framework, Modellierungsaktivitäten und -unterstützungen.

2.13.1.3. Vorgehen

Über die Projektdauer wurden Konzepte aus Vorarbeiten der Institute in MoSyS eingeführt und in mehreren Workshops weiterentwickelt. Die Weiterentwicklung zielt darauf ab, das MoSyS-MBSE-Methodik zu verfeinern, um den Anforderungen in industriellen Anwendungen von MBSE gerecht zu werden. Das entwickelte MoSyS-MBSE-Framework besteht aus den vier MBSE-Säulen: einer Ontologie, unterschiedlichen Sichten, die in einem Architekturrahmen angeordnet sind, methodischen Beschreibungen einzelner Modellierungsaktivitäten sowie der Anpassung und Vorlagen für Werkzeuge zur Unterstützung der Modellierung. Die einzelnen Aspekte wurden individuell entwickelt, jedoch durch Workshops und wissenschaftliche Diskussion konsistent gehalten.

2.13.2. Hauptteil

2.13.2.1. Definitionen

Ontologie: „Eine Ontologie ist eine explizite, formale Spezifikation, der Konzeptualisierung eines abgegrenzten Diskursbereichs zu einem definierten Zweck und auf die sich eine Gruppe von Akteuren geeinigt hat.“ [SSV19]

2.13.2.2. Ergebnisse

Im Folgenden werden die einzelnen Aspekte der MoSyS-MBSE-Methodik vorgestellt. Dabei werden lediglich das Framework mit den dazugehörigen Aktivitäten und Sichten sowie die Anwendung der Methodik bei Harting AT vorgestellt. Die Ontologie wurde bereits im Wissensnugget SoS-Referenzarchitektur des AP2 vorgestellt.

2.13.2.2.1. MoSyS-MBSE-Framework (Cameo)

In der ersten Version des MoSyS-MBSE-Frameworks wurden die Systemtypen "Produkt", "Validierungssystem" und "PGE - Produktgenerationsentwicklung" vor (siehe Bild 2-44). Innerhalb dieser Typen sind alle Aktivitäten zur Modellierung des jeweiligen Systems aufgeführt. So finden sich beispielsweise Aktivitäten der Stakeholder-, Systemkontext-, Anwendungsfall- und Kundennutzenmodellierung in der Ebene "Produkt" im Bereich des Problemraums/Produktprofils. Die Modellierung des Referenzsystems sowie der Variationsarten wird in der Ebene "PGE" durch die Aktivitäten "Modellelemente des Referenzsystems" und "Modellverbindung zwischen Systemeigenschaften und Referenzelementen" realisiert. Alle entwickelten Modellierungsaktivitäten innerhalb der verschiedenen Ebenen wurden durch einprägsame Symbole als anklickbare Schaltflächen in einer Vorlage für das Modellierungstool angeordnet.

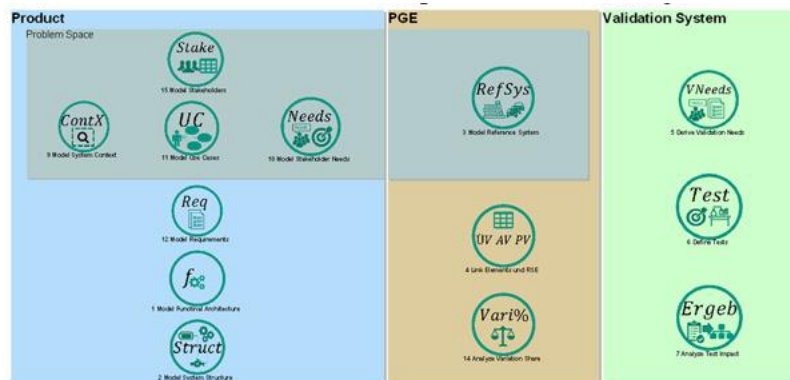


Bild 2-44: MoSyS-MBSE-Framework mit den Ebenen Produkt, Validierung und PGE

Durch Klicken auf ein Symbol einer Modellierungsaktivität im Modellierungstool wird der Benutzer zu einer detaillierten Visualisierung der Aktivität navigiert. Im Allgemeinen besteht jede Modellierungsaktivität aus vier Arten von Teilschritten zur Analyse und Synthese. Jeder Teilschritt verlinkt direkt zu den Sichtweisen, in denen der Teilschritt durchgeführt wird. Die vier Kategorien für Teilschritte sind:

1. Analyse des bestehenden (Teil-)Modells, um alle relevanten Informationen für die Durchführung der gewählten Modellierungsaktivität zu gewinnen.
2. Bearbeitung oder Erstellung neuer Modellelemente.
3. Verknüpfung von Modellelementen.
4. Zusammenfassung zur Analyse geänderter oder neu erstellter Elemente und Beziehungen.

Bild 2-45 zeigt ein Beispiel für die Navigation vom Rahmenwerk (rechts) zur Beschreibung einer Modellierungsaktivität (Mitte) und dem Diagramm, das notwendig ist, um einen Schritt der Modellierungsaktivität durchzuführen (links). In dem Tool wird diese Navigation mithilfe von Hyperlinks realisiert, die in der Vorlage des Modellierungstools implementiert sind. Alle Modellierungsaktivitäten können beliebig oft und in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden. Bei der erstmaligen Erstellung eines Systemmodells können die Aktivitäten von oben nach unten innerhalb einer Ebene ausgeführt werden. Jeder Schritt der Modellierungsaktivität beschreibt oder Syntheseaktivitäten unter Verwendung der definierten Sichten.

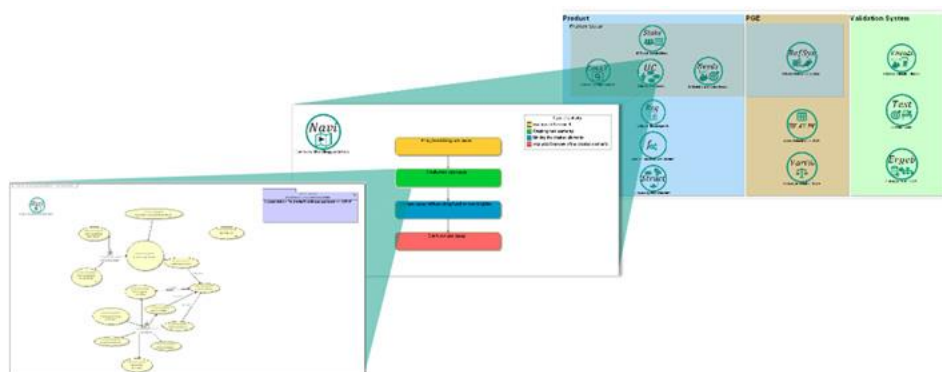


Bild 2-45: Beispielhafte Navigation vom Rahmenwerk zu einer Modellierungsaktivität und dem zu verwendenden Diagramm für einen Schritt der Aktivität

Da in der ersten Version basierend auf Vorarbeiten und -wissen der Fokus auf Produktprofil/Problemraum, Produkt/PGE und Validierungssystem gelegt wurde, wurden im folgenden Schritt Sichten für die Entwicklung des Produktionssystems sowie das Änderungsmanagement hinzugefügt (siehe Bild 2-46).

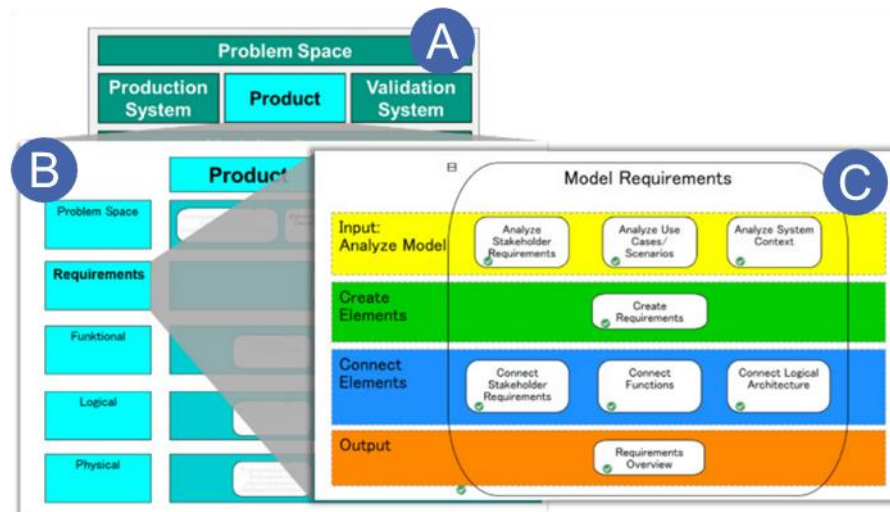


Bild 2-46: MoSyS-MBSE-Framework mit den unterschiedlichen Sichten sowie Modellieraktivitäten (Ausschnitt für Modellierungsaktivitäten Produkt-Requirement)

Dabei wurden die Kategorien für die Teilschritte der Modellierungsaktivitäten übernommen und für die entsprechenden Sichten angepasst. In Bild 2-46 A sind die einzelnen Sichten Produkt, Problemraum, Produktionssystem, Validierungssystem und Änderungsmanagement (nicht erkennbar) zu sehen. Unter B sind die Elementtypen zu sehen, die auf der Ontologie der SoS-Referenzarchitektur basieren. C zeigt die einzelnen Modellierungsaktivitäten gemäß der Kategorien an.

Weitere Informationen	Digitaler Anhang: • MoSyS-MBSE-Framework.mdzip Veröffentlichung: [MMA22] Mandel, Constantin & Martin, Alex & Albers Albert. (2022). Addressing Factors for User Acceptance of Model-Based Systems Engineering. In: Proceedings of the XXXIII ISPIM Innovation Conference "Innovating in a Digital World". [MKH+23] Mandel, Constantin & Kaspar, Jerome & Heitmann, Rebecca & Horst-meyer, Sarah & Martin, Alex & Albers, Albert. (2023). Implementation and Assessment of a Comprehensive Model-Based Systems Engineering Methodology with Regard to User Acceptance in Practice. Procedia CIRP. 119. 897-902. 10.1016/j.procir.2023.03.135. [Man24] Mandel, Constantin. (2024). Entwicklung einer Model-Based Systems Engineering Methodik zur Unterstützung der Validierung im Produktentstehungsprozess. (Dissertation, in Druck). IPEK - Institut für Produktentwicklung.

2.13.2.2.2. Anwendung der Methodik bei HARTING AT (iQuavis)

Für eine zielgerichtete Umsetzung der MoSyS-MBSE-Methodik wurde die Methodik bei HARTING AT angewandt. Erste Erkenntnisse aus dieser Umsetzung werden im Folgenden diskutiert.

Im Entwicklungsprozess wurde zunächst analysiert, welche Artefakte in zukünftigen Entwicklungsprojekten modellbasiert beschrieben werden sollten. Zu diesem Zweck wurde eine unternehmensspezifische Ontologie analog zur MoSyS-MBSE-Methodik entwickelt. In der Analysephase wurden verschiedene Methoden, wie eine Umweltanalyse sowie die Berücksichtigung von Anforderungen und Risiken, eingesetzt, um die Aufgabe zu verstehen und sie modellbasiert zu dokumentieren. Für jede dieser Methoden wurde die Abfolge konkreter Analyse- und Syntheseaktivitäten in Form von

Modellierungsaktivitäten definiert. Zusätzlich wurde festgelegt, in welcher Darstellungsform (z. B. Tabellen, hierarchische Strukturmodelle, Flussdiagramme) diese Aktivitäten dokumentiert werden könnten. Diese Sichtweisen wurden dann als Vorlagen in das Modellierungstool iQUAVIS übertragen. Neben einer detaillierten Methodendokumentation wurden die verschiedenen Methoden in Form von Schritt-für-Schritt-Anleitungen in das Modellierungstool implementiert. Eine interaktive Navigation innerhalb der Modellierungsaktivitäten, sodass die Ansichten direkt zur Bearbeitung geöffnet werden können, wird durch die Verwendung von Hyperlinks im Modellierungstool realisiert. Die Methodenbeschreibungen sind wiederum in eine Projektvorlage integriert, in der sie im grafisch dargestellten Entwicklungsprozess angeordnet sind, um den Benutzer zu unterstützen (siehe Bild 2-47).

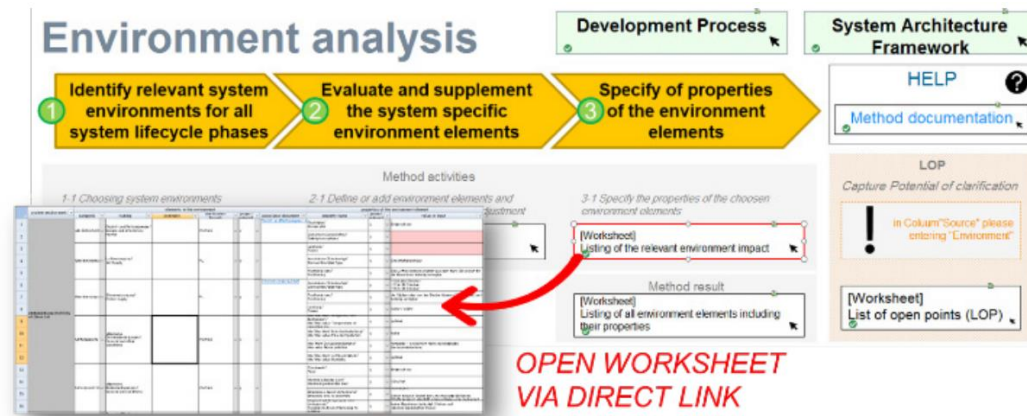


Bild 2-47: Beispiel für Modellierungsaktivitäten in iQuavis bei Harting AT

Die einzelnen Methoden wurden den verschiedenen Projektphasen zugeordnet, um den Modellierer bei der Abfolge zur Entwicklung eines Systemmodells zu unterstützen. Eine hohe Qualität des Systemmodells kann durch die vordefinierten Modellierungsvorlagen und die Methodenanleitungen gewährleistet werden. Aufgrund der verschiedenen Modellierer im selben Projekt und der großen Anzahl von Verknüpfungen zwischen verschiedenen Datenelementen sind solche Spezifikationen notwendig, um die Struktur des Systemmodells handhabbar zu machen. Die unternehmensspezifisch angepasste MBSE-Methodik, einschließlich der Modellierungsrichtlinien und Ansichtsvorlagen, ermöglicht die effiziente und gleichmäßige Durchführung von MBSE über Projekte hinweg. Darüber hinaus hat die Anpassung an die Interessen der Stakeholder, z. B. durch das Hinzufügen von Datenattributen in Ansichten, die Akzeptanz erhöht.

Weitere Informationen	Veröffentlichung: [MKH+23] Mandel, Constantin & Kaspar, Jerome & Heitmann, Rebecca & Horst-meyer, Sarah & Martin, Alex & Albers, Albert. (2023). Implementation and Assessment of a Comprehensive Model-Based Systems Engineering Methodology with Regard to User Acceptance in Practice. Procedia CIRP. 119. 897-902. 10.1016/j.procir.2023.03.135.

2.13.3. Diskussion und Ausblick

Die Veröffentlichungen zeigen, dass die MoSyS-MBSE-Methodik die Akzeptanz für den Einsatz von MBSE in der Industrie verbessert [MKH+23]. Deshalb unterstützt die MoSyS-MBSE-Methodik bei der Einführung von MBSE im Unternehmen und ermöglicht auch die Entwicklung einer maßgeschneideren, eigenen Methodik speziell für den Anwendungsfall des Unternehmens. Dadurch erkennen die Mitarbeitenden den Mehrwert und somit ist die Einstiegshürde kleiner. Zukünftige Forschung müssen bezogen auf die Akzeptanzbewertung die Bereiche weiter untersuchen, in denen die Befragten nur geringe Verbesserungen oder sogar Verschlechterungen im Vergleich zu bestehenden MBSE-Ansät-

zen sehen. Beispielsweise sollte die entwickelte MoSyS-MBSE-Methodik mit einem stakeholderspezifischen Filterkonzept auszustatten, um automatisch Teile der MBSE-Methodik auszublenden, die für die Aufgaben eines bestimmten Stakeholders nicht relevant sind. Außerdem ist es schwierig die Inhalte mit externen Partnern zu diskutieren, da sie entweder keine MBSE-Kompetenz besitzen oder die Methodik zu spezifisch ist. Deshalb sollte weiter erforscht werden, wie Inhalte der erstellten Modelle in einer leicht zugänglichen Form mit externen Partnern kommuniziert und diskutiert werden können oder unternehmensübergreifende Modelle methodisch unterstützt erstellt werden könne bzw. vernetzt werden können.

Literaturverzeichnis

- [MKH+23] Mandel, Constantin & Kaspar, Jerome & Heitmann, Rebecca & Horstmeyer, Sarah & Martin, Alex & Albers, Albert. (2023). Implementation and Assessment of a Comprehensive Model-Based Systems Engineering Methodology with Regard to User Acceptance in Practice. *Procedia CIRP*. 119. 897-902. 10.1016/j.procir.2023.03.135.
- [SSV2019] Studer, R. & Sure-Vetter, Y. (2019). Ontologien. *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik Online Lexikon*. Verfügbar unter: <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/daten-wissen/Wissensmanagement/Wissensmodellierung/Wissensrepräsentation/Semantisches-Netz/Ontologien/index.html>

2.14. Grundlagen für die Entwicklung einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement

2.14.1. Einleitung

2.14.1.1. Zielsetzung

Technische Änderungen sind ein wesentlicher Bestandteil des Produktentstehungsprozesses. Sie treten regelmäßig auf und definieren einen Großteil der Endkosten des zu entwickelnden Systems. Ein Drittel aller technischen Änderungen im Unternehmen werden als kritisch eingestuft und etwa ein Viertel aller Forschungs- und Entwicklungskosten werden durch technische Änderungen verursacht. Die Ursache dafür liegt in der hohen Komplexität auf der Ebene der zu entwickelnden Systeme sowie auf der Ebene von Organisationseinheiten in den jeweiligen Unternehmen.

Ansätze wie das Model-Based Systems Engineering - MBSE bieten Möglichkeiten für den Umgang mit hoher Systemkomplexität. Jedoch fehlt es an modellbasierten Ansätzen, die einen ganzheitlichen Umgang mit technischen Änderungen unterstützen. Ziel dieses Wissensnuggets ist es, die erarbeiteten Grundlagen für die Entwicklung einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement vorzustellen. Dazu gehören identifizierte und priorisierte Änderungsfälle, Ziele und Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik, die daraus resultierenden Aktivitäten im technischen Änderungsmanagement, die von der Methodik unterstützt werden sowie Teilsystemmodelle für die Analyse und Modellierung von Änderungsausbreitungen und Änderungsauswirkungen. Dieses Wissensnugget stellt eine relevante Basis für die Entwicklung einer modellbasierten Methodik für das technische Änderungsmanagement dar.

2.14.1.2. Einordnung in MoSyS

Für die Erarbeitung von Zielen und Anforderungen an eine modellbasierte Methodik für das technische Änderungsmanagement wurden unter anderem die Resultate aus den konsolidierten Problem Statements aus AP2 verwendet. Auch bei der Erstellung von unternehmensspezifischen und änderungsfallspezifischen (Teil-)Systemmodellen wurden im Rahmen der SoS-Referenzarchitektur erstellte Modelle und Inputs für die Weiterentwicklung dieser zurückgespiegelt (siehe Bild 2-48).

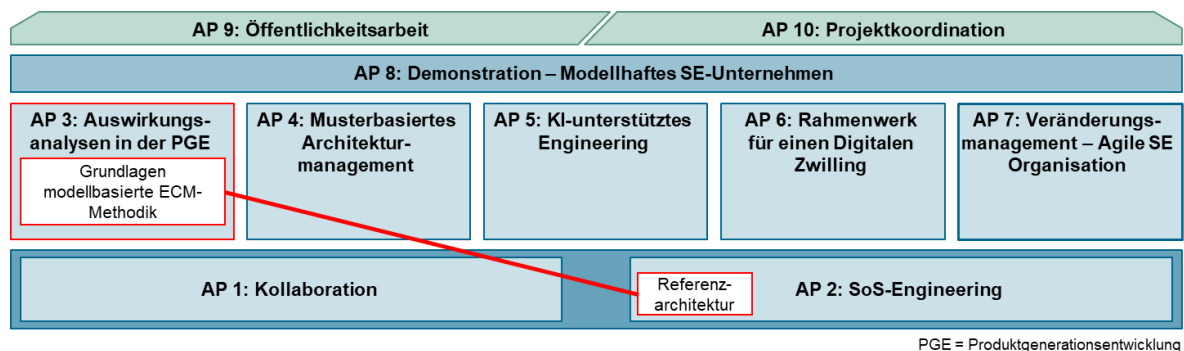


Bild 2-48: Einordnung des Wissensnuggets 2.14 in das MoSyS Projekt

2.14.1.3. Vorgehen

Die Erarbeitung dieses Wissensnuggets erfolgte iterativ durch die Zusammenarbeit von Projektpartnern aus Industrie und Forschung. Dabei wurden 49 unternehmensspezifische Änderungsfälle mit produkt- und produktionseitigen Auswirkungen aus unterschiedlichen Phasen der Produktentstehung identifiziert und mithilfe einer Einfluss-Relevanzanalyse priorisiert. Die priorisierten Änderungs-

fälle wurden geclustert und in einem Gesamtbild eingeordnet. Es wurden unternehmens- und änderungsfallspezifische (Teil-)Systemmodelle erstellt, die für die anschließende Ausbreitungs- und Auswirkungsanalyse und die initiale Evaluation der entwickelten Methodik verwendet wurden.

2.14.2. Hauptteil

2.14.2.1. Definitionen

MBSE

Der Ansatz des Model-Based Systems Engineering (MBSE) beinhaltet die systematische und formalisierte Anwendung von Modellierungstechniken zur Unterstützung von Aktivitäten in den Bereichen Anforderungsmanagement, Designprozess, Analyse sowie Verifikations- und Validierungsprozesse [WRF+15]. Im Gegensatz zum dokumentenbasierten Systems Engineering wird beim modellbasierten Ansatz ein zentrales Systemmodell verwendet, das relevante Informationen aus dem Produktentstehungsprozess disziplinübergreifend vernetzt und durch bedarfsgerechte Sichten zur Verfügung stellt [Weil06].

Die Anwendung des MBSE-Ansatzes kann sich über alle Phasen des Produktentstehungsprozesses erstrecken. Ziel ist es, ein ganzheitliches Verständnis des Systems zu fördern und dadurch die Effizienz in den verschiedenen Phasen der Produktentstehung zu verbessern. [WRF+15]

Technische Änderungen & Technisches Änderungsmanagement

Das Änderungsmanagements lässt sich in die Bereiche technisches, soziales, ökonomisches und organisatorisches Änderungsmanagement unterteilen [JEC+11]. Das technische Änderungsmanagement spielt eine zentrale Rolle in der Produktentwicklung und unterstützt zahlreiche Aktivitäten im Produktentwicklungsprozess [VDI2221]. Es umfasst alle relevanten Aktivitäten im Umgang mit technischen Änderungen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg [JEC+11]. Für den Begriff „Technische Änderung“ existiert keine allgemeingültige Definition in der Literatur. Eine relativ oft zitierte Definition liefern Hamraz et. al: Eine technische Änderung kann definiert werden als „Änderungen und/oder Modifikationen an freigegebenen Strukturen (Passformen, Formen und Abmessungen, Oberflächen, Materialien usw.), Verhalten (Stabilität, Festigkeit, Korrosion usw.), Funktionen (Geschwindigkeit, Leistung, Effizienz usw.) oder den Beziehungen zwischen Funktionen und Verhalten (Designprinzipien) bzw. Verhalten und Struktur (physikalische Gesetze) eines technischen Artefakts, frei übersetzt nach [HCC13]. Für die Auswahl geeigneter Methoden und Werkzeuge im technischen Änderungsmanagement führen Langer et al. acht Strategien auf, die je nach Umfang in präventive, transpräventive und postpräventive Strategien unterteilt werden [LWM+12].

2.14.2.2. Ergebnisse

Insgesamt wurden 49 Änderungsfälle mit produkt- und produktionsseitigen Auswirkungen bei den Anwenderunternehmen Benteler, Lenze, Philips, Miele und Trumpf identifiziert (siehe Bild 2-49). Die Änderungsfälle unterscheiden sich im Umfang, Änderungsobjekt und der Phase im Produktentstehungsprozess, in der die Änderung stattfindet.



Bild 2-49: Übersicht der erfassten Änderungsfälle sowie die Charakterisierungsmap

Für die Auswahl passender Änderungsfälle für die weitere Implementierung wurden die identifizierten Änderungsfälle mit Hilfe einer Einfluss-Relevanzanalyse priorisiert. Dabei wurden die Änderungsfälle der jeweiligen Phasen des Produktentstehungsprozesses zugeordnet und mit Hilfe von unternehmensspezifischen Kriterien bewertet (siehe Bild 2-50). Insgesamt wurden so 1-2 Änderungsfälle pro Anwenderunternehmen für die weitere Untersuchung ausgewählt.

Bewertung									
Bewerten Sie die unternehmensspezifischen Änderungsfälle mit den ausgewählten Kriterien über alle aufgeführten Phasen									
Änderungsfall	Bewertungskriterien				Phasen				
	Aktuelle Bewertung	Entwicklung Bewertung	Interdisziplinäre Bewertung	Techn. Bewertung	Strategie Bewertung	Strategie Bewertung	Strategie Bewertung	Strategie Bewertung	Strategie Bewertung
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch

Bewertung									
Bewerten Sie die unternehmensspezifischen Änderungsfälle mit den ausgewählten Kriterien über alle aufgeführten Phasen									
Änderungsfall	Bewertungskriterien				Phasen				
	Aktuelle Bewertung	Entwicklung Bewertung	Interdisziplinäre Bewertung	Techn. Bewertung	Strategie Bewertung	Strategie Bewertung	Strategie Bewertung	Strategie Bewertung	Strategie Bewertung
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Änderung des Produkts / Änderung der Prozesskette / Änderung der Schnittstellen / Änderung der Datenstruktur / Änderung der Benutzeroberfläche	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch

Bild 2-50: Ausschnitt aus der Einfluss-Relevanzanalyse von Änderungsfällen

Die Identifikation von Zielen und Anforderungen an eine modellbasierte Methodik für das technische Änderungsmanagement erfolgte über einen Zeitraum von 13 Monaten in wiederkehrenden Workshops und wurden auf Grundlage der identifizierten Bedarfe und der Analyse von Änderungsfällen in den Systemmodellen erarbeitet. An diesen Workshops nahmen 15 Industrie- und Forschungspartner aus den Bereichen SoS-Engineering, modulares System-Engineering, Maschinen- und Anlagenbau sowie Co-Design der Produktproduktion teil. Die ermittelten Ziele und Anforderungen wurden den acht Strategien für das technische Änderungsmanagement nach Langer et al. zugeordnet.

Tabelle 2-4: Identifizierten Anforderungen an eine modellbasierte Methodik für das techn. Änderungsmanagement

Legend:

preventive
Strategiestransventive
Strategiespostventive
Strategies

Req. No.	Identified Requirements	Addressed Strategies
1	Agile and iterative execution of analysis and modeling activities	  
2	Systematic identification of potentially affected elements	 
3	Validity check of a change request	  
4	Ability to model issues and knowledge or definition gaps caused by a change	  
5	Systematic modeling of causes and consequential changes for clear change traceability	 
6	Ability to analyze and model multiple cross-domain changes in parallel	  
7	Ability to model whether a change modifies, replaces, removes, or adds a model element	 
8	System model should not be changed during the change analysis	
9	Ability to evaluate change requests and alternatives solutions in terms of quality, cost, time technical risk, and complexity	 
10	Ability to re-add and re-weight evaluation criteria	  
11	Support in reusing of evaluation criteria from other change cases	  
12	Support in reusing of information from previous product generations	  
13	Support in communicating change information in agile development environments	  
14	Support in finding relevant stakeholders for specific changes	 

Die identifizierten Anforderungen verdeutlichen, dass eine modellbasierte Methodik für das technische Änderungsmanagement notwendig ist, welche präventive, transventive und postventive Strategien sowie eine iterative, agile und domänenübergreifende Durchführung von Analyse- und Modellierungsaktivitäten adressiert. Darüber hinaus wird eine Möglichkeit benötigt, Änderungsinformationen und damit verbundene Aufgaben transparent zu dokumentieren und gezielt an die relevanten Stakeholder im agilen Engineering-Umfeld zu kommunizieren.

Um die identifizierten Ziele und Anforderungen an eine modellbasierte Methodik für das technische Änderungsmanagement zu evaluieren wurden halbstrukturelle Umfragen von Trumpf Mitarbeitern durchgeführt (siehe Bild 2-51). Die Befragungsteilnehmer waren nicht aktiv an der Entwicklung der Methodik beteiligt. In der Befragung wird nach der Berufsbezeichnung, der Berufserfahrung in der aktuellen Tätigkeit und den Vorkenntnissen in den Bereichen Model-Based Systems Engineering und Engineering Change Management der Teilnehmer gefragt. Anschließend bewerten die Teilnehmer die Relevanz der aufgeführten Ziele und Anforderungen an eine modellbasierte Methodik im Engineering Change Management. Dabei sind vier Antworten auf einer Likert-Skala möglich, die von 1 = "die Anforderung ist nicht relevant für eine modellbasierte Methodik im Änderungsmanagement" bis 4 = "die Anforderung ist sehr relevant für eine modellbasierte Methodik im Änderungsmanagement" reichen.

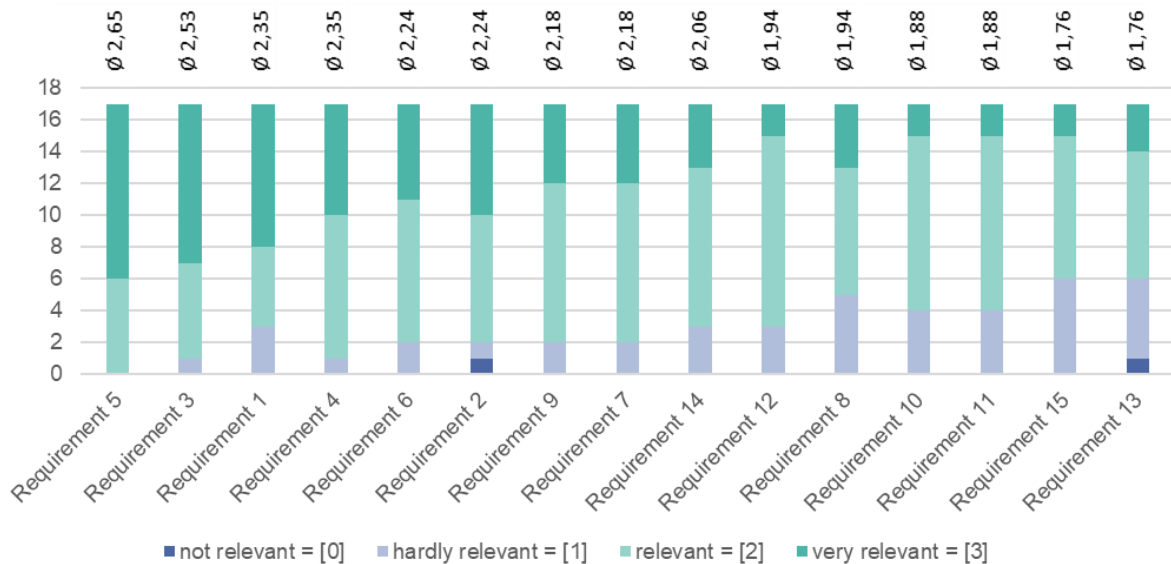


Bild 2-51: Ergebnisse der Evaluation von Anforderung an eine modellbasierte Methodik im techn. Änderungsmanagement

Die Umfrageergebnisse zeigen, dass insbesondere die Anforderungen 5 und 3 als besonders relevant eingestuft werden. So wird die Unterstützung bei der systematischen Identifikation potentiell betroffener Elemente sowie bei der systematischen Modellierung von Ursachen und nachfolgenden Veränderungen für eine transparente Änderungsverfolgung von den meisten Teilnehmern als relevant angesehen. Im Durchschnitt wird kein Ziel bzw. keine Anforderung als kaum oder nicht relevant eingestuft, so dass davon auszugehen ist, dass die aufgeführten Anforderungen von den meisten Teilnehmern als relevant erachtet werden.

Aus den identifizierten Zielen und Anforderungen konnten vier Hauptaktivitäten für das modellbasierte technische Änderungsmanagement abgeleitet werden:

- Unterstützung der Prüfung der Validität von Änderungsanfragen
- Ausbreitungsanalyse von Änderungen
- Auswirkungsanalyse von Änderungen
- Kommunikation von änderungsbezogenen Informationen in einer agilen Entwicklungsumgebung

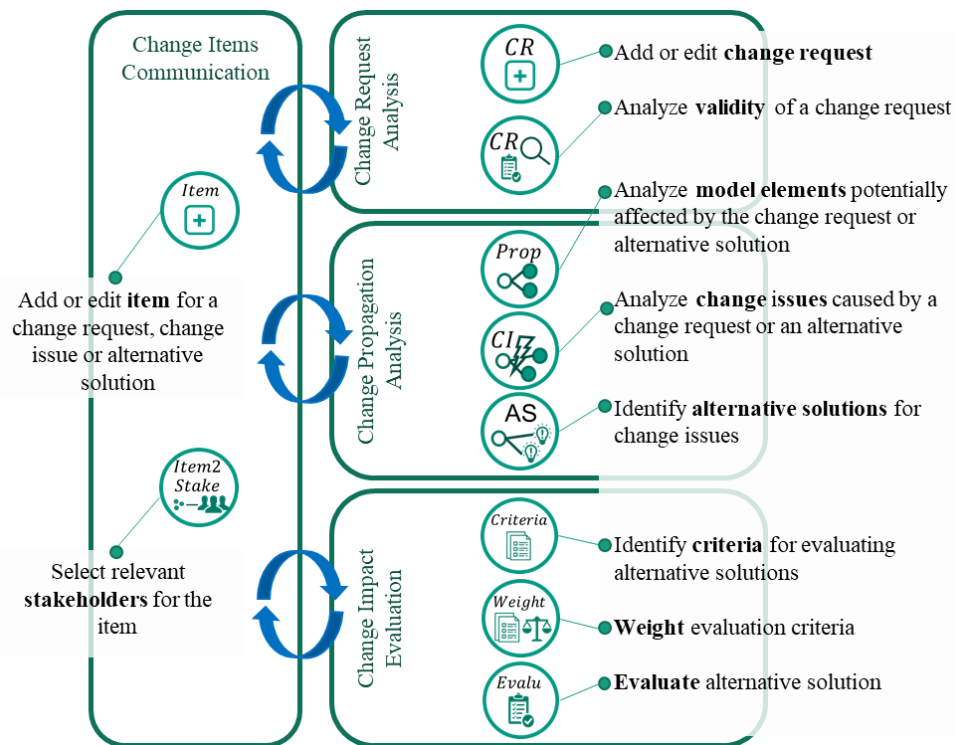


Bild 2-52: Das aktivitätenbasierte AECIA- Framework

Für die Methodik wurde ein aktivitätenbasiertes Framework „Advanced Engineering Change Impact Approach“ (AECIA) entwickelt, das die abgeleiteten Analyse- und Modellierungsaktivitäten, die iterativ und in beliebiger Reihenfolge durchgeführt werden können, einordnet (siehe Bild 2-52). Die Struktur des Frameworks basiert auf dem aktivitätsbasierten IPEK-MBSE-Framework [MMA22] und erweitert dieses um die Aspekte des technischen Änderungsmanagements. Das IPEK-MBSE-Framework berücksichtigt Handlungsfelder, die zur Förderung der Akzeptanz der MBSE-Methodik bei den Anwendern führen.

Für die Implementierung, Weiterentwicklung und Evaluation von Ansätzen der modellbasierten Methodik AECIA wurden unternehmensspezifische (Teil-)Systemmodelle der Anwenderunternehmen erstellt und ausgewählte Funktionen der Methodik im Modell implementiert. So wurde z.B. mit Hilfe der Modelle der Zahnbürsten-Testeinheit und der Montage- und Verpackungslinie von Philips Funktionen zur Ausbreitungs- und Auswirkungsanalyse von Änderungen entwickelt und evaluiert. Mit Hilfe des Modells der Vereinzelungsstation von Trumpf wurde die Funktion zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen entwickelt, implementiert und evaluiert und mit Hilfe der des Modells der Miele-Eco-System ein Konzept zur gezielten Kommunikation von Änderungsinformationen in einem agilen Entwicklungsumfeld entwickelt. Mit den Systemmodellen von Benteler und Lenze wurden die entwickelten Funktionen in den Bereichen von Produktionssystemen und Baukastensystemen angewandt und evaluiert

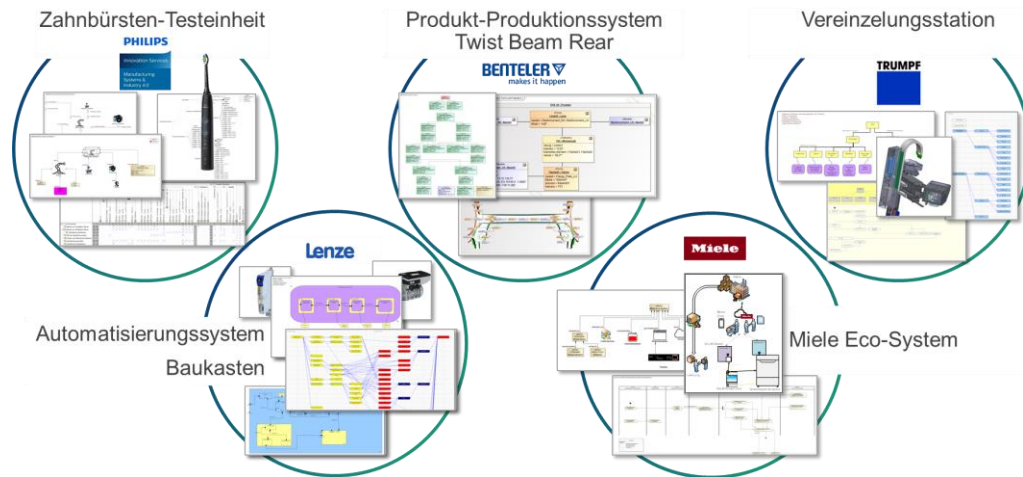


Bild 2-53: Im Kontext von AP3 erstellte (Teil-)Systemmodelle

Weitere Informationen:	Digitaler Anhang: • 201217_gesammelte_Änderungsfälle • 210125_Clustering • Unternehmensspezifische Bedarfe • PPCD_SYSCON_AECIA.mdzip • MA_SysMLDiagramm_BENTELER.mdzip • Miele_Füllstandmesssystem.mdzip • XTS_Assembly_Line_AECIA_Rebuild.mdzip • Philips_Zahnbürsten_Testsystem_V7_MS.mdzip Veröffentlichungen: [MKP+22] Martin, Alex; Kasper, Jerome; Pfeifer, Stefan; Mandel, Constantin; Rapp, Simon; Albers, Albert (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria. IEEE International Symposium on Systems Engineering; Institute of Electrical and Electronics Engineers; Systems Council; IEEE International Systems Engineering Symposium; ISSE. Piscataway: IEEE.

2.14.3. Diskussion und Ausblick

Die erarbeiteten Grundlagen verdeutlichen den Bedarf nach einer modellbasierten Methodik für das technische Änderungsmanagement. Die identifizierten Ziele und Anforderungen, die abgeleiteten Hauptaktivitäten sowie die Verwendung eines aktivitätenbasierten Frameworks zur Einordnung von Aktivitäten können für die Entwicklung unternehmensspezifischer Ansätze und Methoden für das technische Änderungsmanagement genutzt werden. Damit wird eine wesentliche Hürde auf dem Weg zu einem konsistenten technischen Änderungsmanagement überwunden. Zudem können die erstellten Modelle sowie die in den Modellen implementierten Funktionen für den Umgang mit technischen Änderungen als Basis für die Weiterentwicklung weiterer Funktionen dienen.

Die erarbeiteten Ergebnisse basieren auf dem Input einzelner Personen der Anwenderunternehmen. Daher ist die Gültigkeit der Ergebnisse auf die jeweiligen Unternehmen bzw. Abteilungen innerhalb der Unternehmen beschränkt. Nächste Schritte wären die Anwendung der Ergebnisse auf weitere Unternehmen, insbesondere aus anderen Branchen.

Literaturverzeichnis

- [WRF+15] D. D. Walden, G. J. Roedler, K. Forsberg, R. D. Hamelin, T. M. Shortell, and International Council on Systems Engineering, Eds., Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities ; INCOSE-TP-2003-002-04, 2015, 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2015.
- [Weil06] T. Weikiens, SystemsEngineering mit SysML/UML Modellierung, Analyse, Design. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH, 2006.
- [JEC+11] T. Jarratt, C. M. Eckert, N. H. M. Caldwell, and P. J. Clarkson, "Engineering Change: an Overview and Perspective on the Literature," Res Eng Design, vol. 22, no. 2, pp. 103–124, 2011, doi: 10.1007/s00163-010-0097-y.
- [VDI2221] VDI2221 Blatt1:2019-11, Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [HCC13] B. Hamraz, N. H. M. Caldwell, and P. J. Clarkson, "A Holistic Categorization Framework for Literature on Engineering Change Management," Syst. Engin., vol. 16, no. 4, pp. 473–505, 2013, doi: 10.1002/sys.21244.
- [LWM+12] S. Langer, J. Wilberg, A. Maier, and U. Lindemann, Änderungsmanagement-Report 2012: Studienergebnisse zu Ursachen und Auswirkungen, aktuellen Praktiken, Herausforderungen und Strategien in Deutschland. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Produktentwicklung, 2012.
- [MMA22] C. Mandel, A. Martin, and A. Albers, "Addressing Factors for User Acceptance of Model-Based Systems Engineering," ISPIIM2022, Copenhagen, p. xx, 2022.

2.15. Prüfung der Validität von Änderungsanfragen im modellbasierten Technischen Änderungsmanagement

2.15.1. Einleitung

2.15.1.1. Zielsetzung

Das in Projekt MoSyS entwickelte Advanced Engineering Change Impact Approach - AECIA stellt eine ganzheitliche Methodik für modellbasiertes Änderungsmanagement vor, die die Überprüfung der Validität von Änderungsanfragen, die Analyse der Änderungsfortpflanzung und -auswirkungen sowie die Kommunikation von Änderungsinformationen in einer agilen Entwicklungsumgebung unterstützt. Bevor Änderungsanfragen analysiert und potentielle Lösungsalternativen identifiziert und bewertet werden, ist es wichtig zu prüfen, ob die aufgestellte Änderungsanfrage valide ist. Ziel dieses Wissensnuggets ist es, einen Ansatz zur Überprüfung der Validität von Änderungsanfragen als Teil der modellbasierten Methodik Advanced Engineering Change Impact Approach - AECIA vorzustellen und am Beispiel eines Änderungsfalls an einer Werkzeugmaschine anzuwenden und zu bewerten.

2.15.1.2. Einordnung in MoSyS

Das Wissensnugget zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen verwendet Grundlagen zum technischen Änderungsmanagement aus dem AP3, diese Grundlagen wiederum verwenden die Referenzarchitektur aus dem AP2 (siehe Bild 2-54).

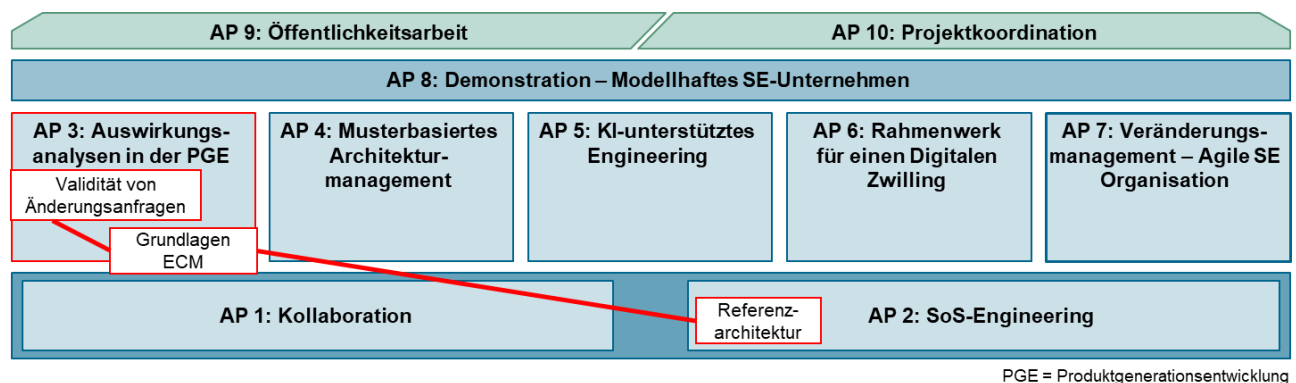


Bild 2-54: Einordnung des Wissensnuggets 2.15 in das MoSyS Projekt

2.15.1.3. Vorgehen

Die Erstellung dieses Wissensnuggets erfolgte durch eine iterative Kombination von Analyse- und Syntheseaktivitäten. Basierend auf den identifizierten Zielen und Anforderungen wurde ein Verfahren zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen entwickelt, in einem Modellierungstool implementiert und anhand einer Werkzeugmaschine von TRUMPF angewendet. Anschließend wurde das Verfahren von TRUMPF-Mitarbeitern, die nicht an der Entwicklung des Ansatzes beteiligt waren, evaluiert.

2.15.2. Hauptteil

2.15.2.1. Definitionen

Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA)

Der Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) ist eine MBSE-gestützte Methodik für ein umfassendes Änderungsmanagement. Diese Methodik baut auf dem aktivitätsbasierten IPEK-MBSE-Ansatz auf und erweitert ihn um die Dimension des Änderungsmanagements. AECIA umfasst spezifische Analyse- und Modellierungsaktivitäten, die flexibel iteriert und in beliebiger Reihenfolge

ausgeführt werden können. Die zentralen Aktivitäten des AECIA-Frameworks unterstützen die Prüfung der Validität von Änderungsanfragen, die Analyse der Auswirkungen und Ausbreitung von Änderungen sowie die gezielte Kommunikation von änderungsrelevanten Informationen innerhalb einer agilen Entwicklungsumgebung (siehe Bild 2-55).

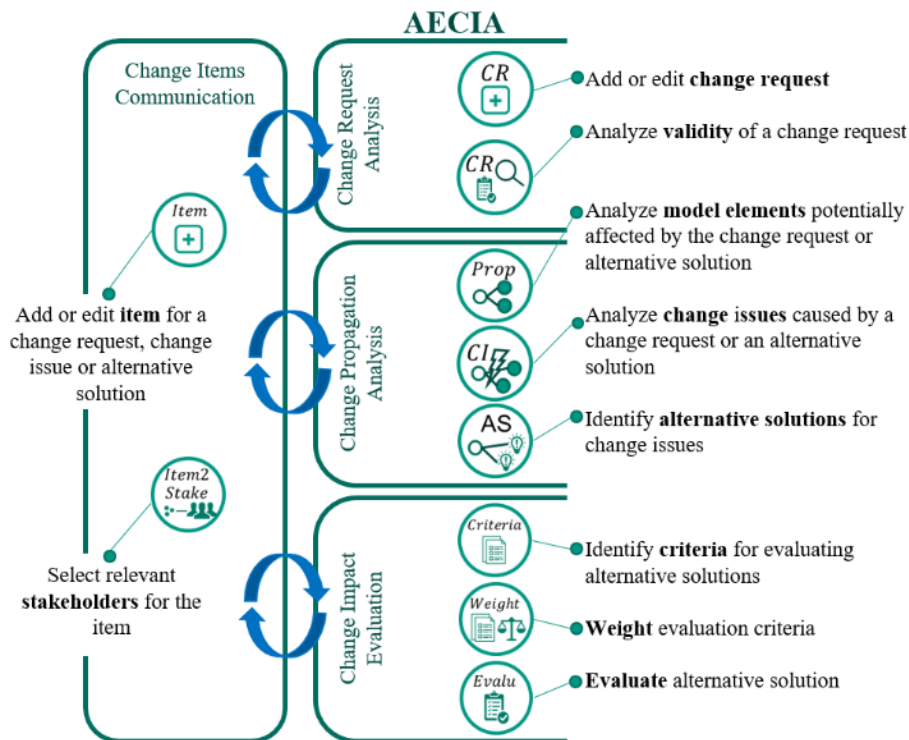


Bild 2-55: Das aktivitätenbasierte AECIA-Framework

Weitere Informationen:	Veröffentlichungen: [MKP+22] Martin, Alex; Kasper, Jerome; Pfeifer, Stefan; Mandel, Constantin; Rapp, Simon; Albers, Albert (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria. IEEE International Symposium on Systems Engineering; Institute of Electrical and Electronics Engineers; Systems Council; IEEE International Systems Engineering Symposium; ISSE. Piscataway: IEEE.

2.15.2.2. Ergebnisse

Mit der Prüfung der Validität einer Änderungsanfrage wird das Ziel verfolgt, den Umfang der Änderungsanfrage zu prüfen und damit einen gültigen Ausgangspunkt für weitere Analyse- und Syntheseschritte, wie die Ausbreitungs- und Auswirkungsanalyse, zu finden. Im Folgenden werden Schritte zur Prüfung der Validität eines Änderungsantrags vorgestellt (siehe Bild 2-56). Zudem werden neben den relevanten Aktivitäten notwendige Elemente, Beziehungen und Sichten abgeleitet. Das Vorgehen lässt sich in zwei Bereiche gliedern: "The Why-Cone" und "The No-solution-was-forgotten-fork". Im "Why-Cone" wird die Ursache einer Änderungsanfrage und der Zwang zur Umsetzung der Ursache analysiert. Beim "The No-solution-was-forgotten-fork" wird geprüft, ob es für die identifizierte Ursache andere Lösungsalternativen gibt. Damit wird sichergestellt, dass der Lösungsraum einer Änderungsanfrage nicht von vornherein zu stark eingeschränkt wird und mögliche Lösungsalternativen vernachlässigt werden.

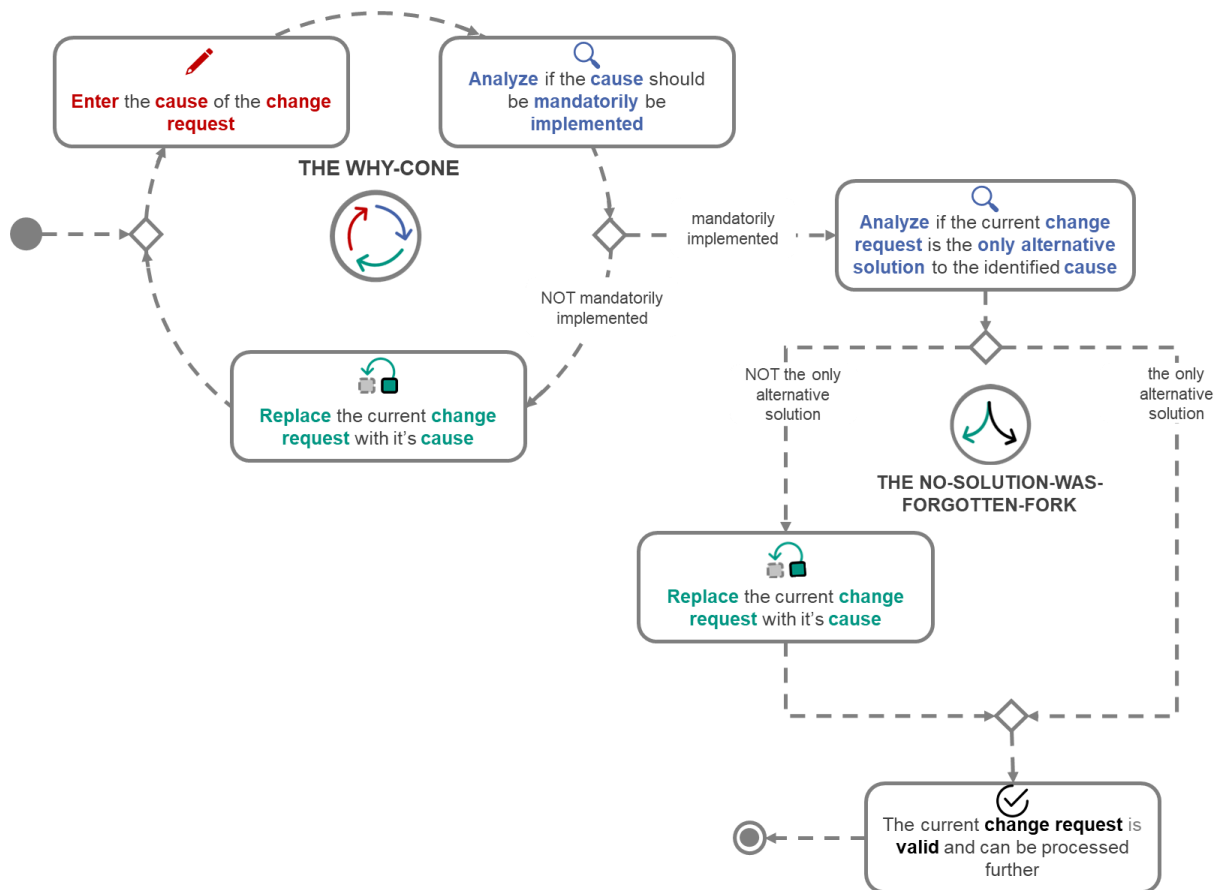


Bild 2-56: Vorgehen zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen

Für die Anwendung des Vorgehens zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen, wird die Vereinzelungsstation aus dem Produktportfolio des Werkzeugmaschinenherstellers TRUMPF SE + Co. KG verwendet (siehe Bild 2-57). Sie ist ein Teilsystem der Be- und Entladeeinheit der Automatisierungslösung für Stanz-Lasermaschinen. Sie agiert am Blechstapel und sorgt dafür, dass zusammenhängende Rohbleche getrennt werden, bevor sie von der Automatisierungslösung zur Maschine transportiert und dort verarbeitet werden.

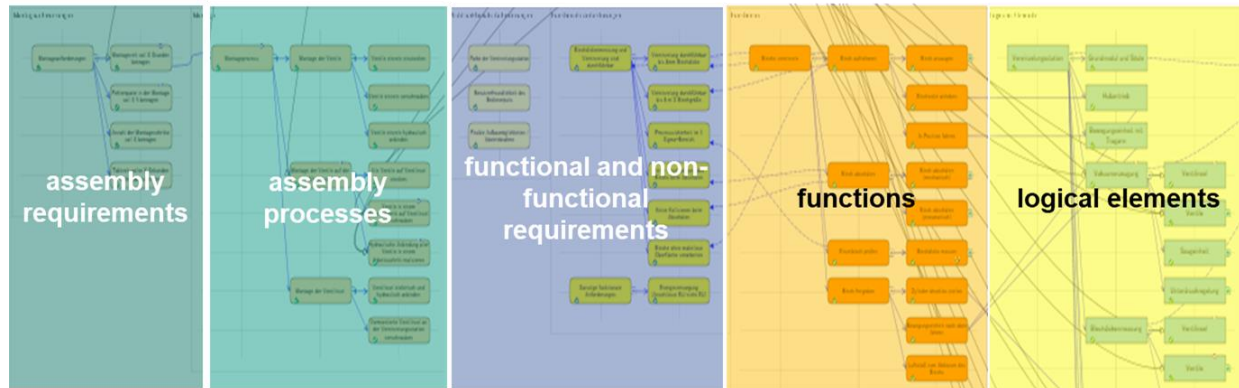


Bild 2-57: Ausschnitt des Systemmodells einer TRUMPF-Vereinzelungsstation

Für die Implementierung des Vorgehens zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen wird die Hauptaktivität mit einem Aktivitätsdiagramm verknüpft, in dem sich weitere Unteraktivitäten befinden (siehe Bild 2-58). Jede Unteraktivität ist wiederum mit einem Diagramm verknüpft, das die Ausführung der Unteraktivität unterstützen kann. Es können sowohl Analyse- als auch Syntheseaktivitäten durchgeführt werden. Jede Unteraktivität hat auch ein blaues Videosymbol, das mit einem kurzen Screen-cast verknüpft ist, der die jeweilige Unteraktivität anhand eines Beispiels erklärt. So können die Aktivitäten je nach Bedarf und Situation gelernt oder aufgefrischt werden. [MWG+23]

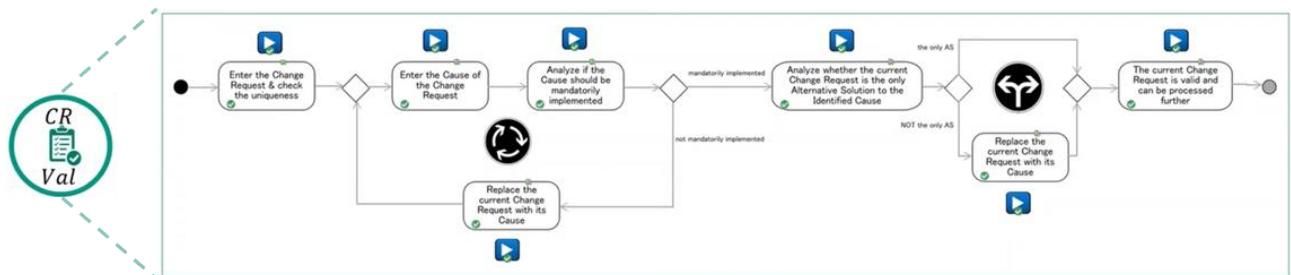


Bild 2-58: In iQuavis implementiertes Vorgehensmodell zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen

Die in diesem Wissensnugget betrachtete Fallstudie wird die Änderungsanfrage "Reduzierung der Montagezeit der Trennstation um mindestens X %" untersucht. Zuerst wird die Validität der Anfrage überprüft und im unten dargestellten Ablauf angewendet. Die Anfrage wird als Modellelement im Baumdiagramm erstellt und ihre Ursache "Produktivitätssteigerung" analysiert. Da diese zwingend umgesetzt werden muss und keine alternativen Lösungen vorliegen, wird die Anfrage als valide bestätigt und dient als Ausgangspunkt für weitere Ausbreitungs- und Wirkungsanalysen.

Anschließend wird die Ausbreitung der Anfrage gemäß dem Verfahren in [MKP+22] untersucht, indem die Anfrage mit der betroffenen Anforderung zur maximalen Montagezeit verknüpft wird. Alle damit verbundenen Systemelemente, insbesondere Montageprozesse, werden analysiert. Es wird ermittelt, welcher Prozess optimiert werden muss, um die Montagezeit zu verkürzen. Dies führt zur

Identifikation und Modellierung mehrerer Alternativlösungen, die mit den jeweiligen Änderungsursachen und betroffenen Systemelementen verknüpft sind. Beispielsweise wird die Vorabmontage von Ventilen als eine Lösung vorgeschlagen, was neue Änderungsfragen aufwirft, wie etwa die Wahl des Kommunikationsstandards zur Steuerung der Ventile. Änderungen und Alternativlösungen werden abwechselnd im Baumdiagramm modelliert, wie in Bild 2-59 gezeigt, ohne das Systemmodell selbst zu verändern, sodass parallele Änderungen analysiert werden können.

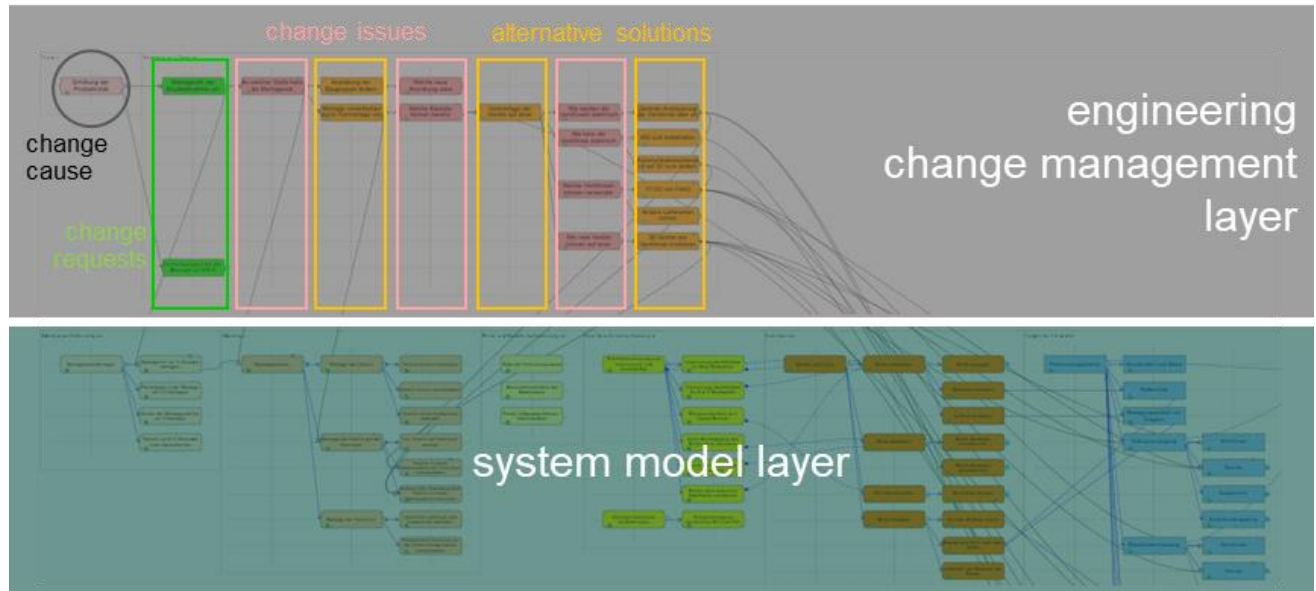


Bild 2-59: Modellierung der Änderungsausbreitung am Beispiel der TRUMPF-Vereinzelungsstation

Weitere Informationen:	Digitaler Anhang: Screenshots iQuavis_Vereinzelungsstation TRUMPF Veröffentlichungen: [MWG+23] Martin, Alex; Weidinger, Felicia; Greinert, Matthias; Wagenmann, Steffen; Albers, Albert; Ilmenau Scientific Colloquium. Technische Universität Ilmenau et al. (2023): Enhancement of an MBSE-supported methodology for managing engineering changes using the example of a machine tool. In: Engineering for a changing world: Proceedings : 60th ISC, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 04-08, 2023. DOI: 10.22032/dbt.58663

2.15.3. Diskussion und Ausblick

Das vorgestellte Vorgehen zur Prüfung der Validität von Änderungsanfragen kann sowohl implementiert in einem Modellierungstool, als auch „offline“ zur initialen Bewertung von Änderungsanfragen und damit der Identifikation eines validen Startpunktes für die weitere Ausbreitung- und Auswirkungsanalyse verwendet werden.

Die erarbeiteten Ergebnisse basieren auf dem Input einzelner Personen der Anwenderunternehmen. Daher ist die Gültigkeit der Ergebnisse auf die jeweiligen Unternehmen bzw. Abteilungen innerhalb der Unternehmen beschränkt. Nächste Schritte wären die Anwendung der Ergebnisse auf weitere Unternehmen, insbesondere aus anderen Branchen.

Literaturverzeichnis

- [MKP+22] Martin, Alex; Kasper, Jerome; Pfeifer, Stefan; Mandel, Constantin; Rapp, Simon; Albers, Albert (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria. IEEE International Symposium on Systems Engineering; Institute of Electrical and Electronics Engineers; Systems Council; IEEE International Systems Engineering Symposium; ISSE. Piscataway: IEEE.
- [MWG+23] Martin, Alex; Weidinger, Felicia; Greinert, Matthias; Wagenmann, Steffen; Albers, Albert; Ilmenau Scientific Colloquium. Technische Universität Ilmenau et al. (2023): Enhancement of an MBSE-supported methodology for managing engineering changes using the example of a machine tool. In: Engineering for a changing world: Proceedings : 60th ISC, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 04-08, 2023. DOI: 10.22032/dbt.58663

2.16. Ausbreitungsanalyse einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement

2.16.1. Einleitung

2.16.1.1. Zielsetzung

Das in Projekt MoSyS entwickelte Advanced Engineering Change Impact Approach - AECIA stellt eine ganzheitliche Methodik für modellbasiertes Änderungsmanagement vor, die die Überprüfung der Validität von Änderungsanfragen, die Analyse der Änderungsfortpflanzung und -auswirkungen sowie die Kommunikation von Änderungsinformationen in einer agilen Entwicklungsumgebung unterstützt. Nachdem eine valide Änderungsanfrage identifiziert wurde, kann diese auf Ihre Ausbreitung innerhalb eines Systemmodells analysiert werden. Dabei sollen potentielle Wissens- und Definitionslücken identifiziert sowie unterschiedliche Lösungsalternativen systematisch analysiert und modelliert werden. Ziel dieses Wissensnuggets ist es, einen Ansatz zur Ausbreitungsanalyse von Änderungsanfragen als Teil der modellbasierten Methodik Advanced Engineering Change Impact Approach - AECIA vorzustellen und zu bewerten.

2.16.1.2. Einordnung in MoSyS

Das Wissensnugget zur Analyse und Modellierung von Änderungsausbreitung verwendet Grundlagen zum technischen Änderungsmanagement aus dem AP3 sowie die Referenzarchitektur aus AP2 zur Modellierung von (Teil-)Systemmodellen, die für die Durchführung von Ausbreitungsanalysen verwendet wird (siehe Bild 2-60).

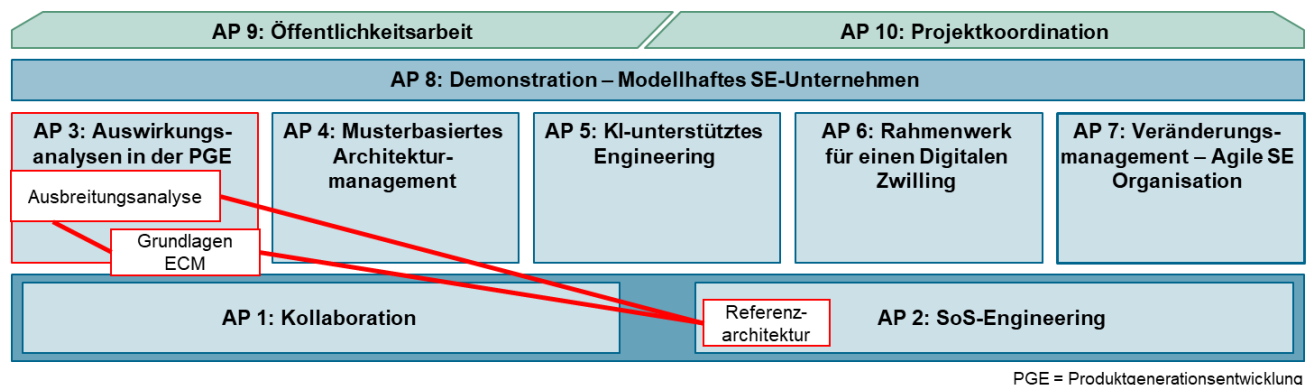


Bild 2-60: Einordnung des Wissensnuggets 2.16 in das MoSyS Projekt

2.16.1.3. Vorgehen

Die Erstellung dieses Wissensnuggets erfolgte durch eine iterative Kombination von Analyse- und Syntheseaktivitäten. Basierend auf den identifizierten Zielen und Anforderungen wurde eine Ontologie, Aktivitäten sowie dafür relevante Sichten zur Analyse und Modellierung von Änderungsausbreitungen entwickelt. Dieser Teil der ganzheitlichen Methodik AECIA wurde in einem Modellierungstool implementiert und anhand verschiedener Änderungsfälle angewendet. Anschließend wurde das Vorgehen von Entwickelnden, die nicht an der Entwicklung des Ansatzes beteiligt waren, evaluiert.

2.16.2. Hauptteil

2.16.2.1. Definitionen

MBSE

Der Ansatz des Model-Based Systems Engineering (MBSE) beinhaltet die systematische und formalisierte Anwendung von Modellierungstechniken zur Unterstützung von Aktivitäten in den Bereichen

Anforderungsmanagement, Designprozess, Analyse sowie Verifikations- und Validierungsprozesse WRF+15]. Im Gegensatz zum dokumentenbasierten Systems Engineering wird beim modellbasierten Ansatz ein zentrales Systemmodell verwendet, das relevante Informationen aus dem Produktentstehungsprozess disziplinübergreifend vernetzt und durch bedarfsgerechte Sichten zur Verfügung stellt [Weil06].

Die Anwendung des MBSE-Ansatzes kann sich über alle Phasen des Produktentstehungsprozesses erstrecken. Ziel ist es, ein ganzheitliches Verständnis des Systems zu fördern und dadurch die Effizienz in den verschiedenen Phasen der Produktentstehung zu verbessern. [WRF+15]

Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA)

Der Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) ist eine MBSE-gestützte Methodik für ein umfassendes Änderungsmanagement. Diese Methodik baut auf dem aktivitätsbasierten IPEK-MBSE-Ansatz auf und erweitert ihn um die Dimension des Änderungsmanagements. AECIA umfasst spezifische Analyse- und Modellierungsaktivitäten, die flexibel iteriert und in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden können. Die zentralen Aktivitäten des AECIA-Frameworks unterstützen die Prüfung der Validität von Änderungsanfragen, die Analyse der Auswirkungen und Ausbreitung von Änderungen sowie die gezielte Kommunikation von änderungsrelevanten Informationen innerhalb einer agilen Entwicklungsumgebung (siehe Bild 2-61).

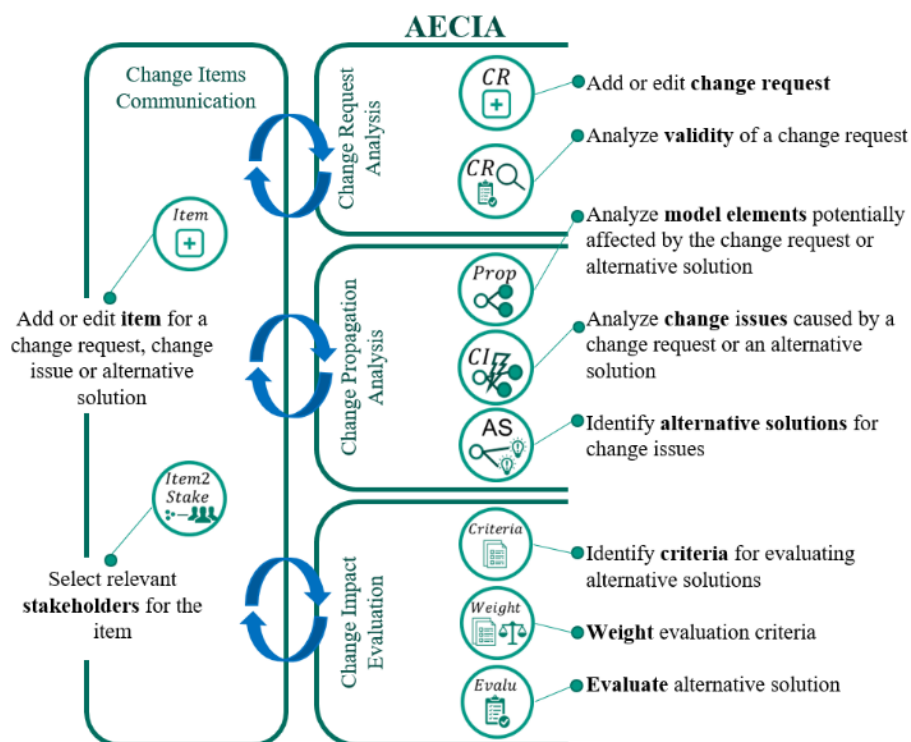


Bild 2-61: Das aktivitätenbasierte AECIA- Framework

Weitere Informationen:	Veröffentlichungen: [MKP+22] Martin, Alex; Kasper, Jerome; Pfeifer, Stefan; Mandel, Constantin; Rapp, Simon; Albers, Albert (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria.

2.16.2.2. Ergebnisse

Die Hauptaktivität der AECIA-Methodik "Change Propagation Analysis" analysiert die validierten Änderungsanfragen im Hinblick auf ihre Ausbreitung im Systemmodell. Dies beinhaltet die Identifizierung potenziell betroffener Elemente, die Erfassung möglicher Change Issues, die Probleme, Wissens- oder Definitionslücken beschreiben, und die Modellierung alternativer Lösungen. Die Aktivität "Analyze Model Elements potentially affected" identifiziert Elemente, die mit dem von einer Änderung betroffenen Element in Verbindung stehen. Wie in Bild 2-62 veranschaulicht, können potenziell betroffene Elemente Funktionen sein, an deren Realisierung das logische Element beteiligt ist, oder nicht-funktionale Anforderungen, die durch das logische Element erfüllt werden. Die bei der Modellierung des Systems verwendete Ontologie entscheidet, welche Elementtypen eines Systems miteinander in Beziehung gesetzt werden können.

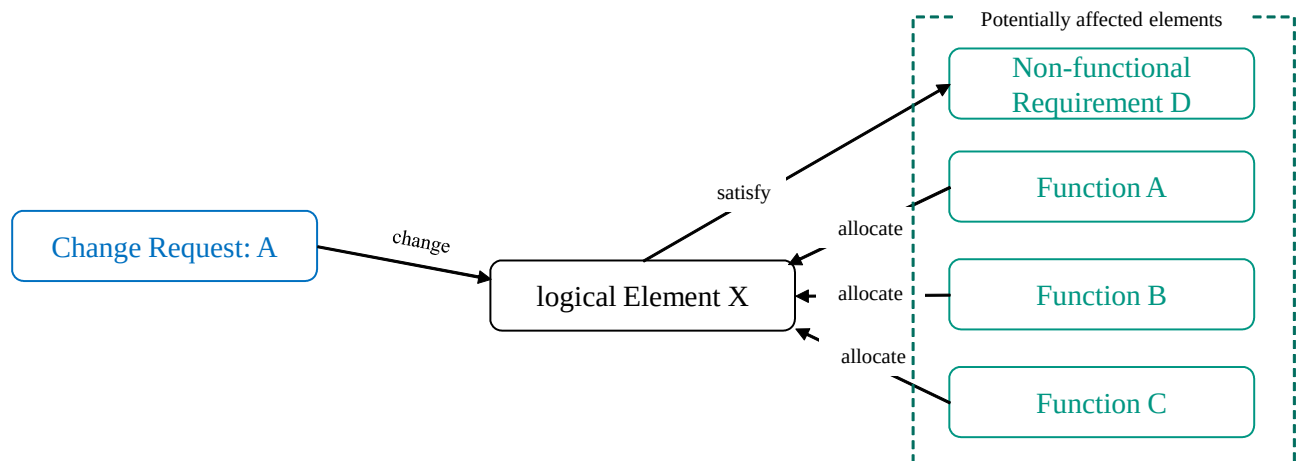


Bild 2-62: Beispiel zur Darstellung von der Änderung potentiell betroffenen Elementen

Die Aktivität "Analyze Change Issues" hilft bei der Untersuchung potenzielle Probleme, Wissenslücken oder Definitionslücken auf der Grundlage der identifizierten Elemente, die von der Änderung betroffen sein können, und erfasst sie als Change Issue (siehe Bild 2-63). Ein Change Issue wird demnach durch eine oder mehrere Änderungsanfrage oder Lösungsalternativen verursacht und ist mit diesen über eine Ableitungsbeziehung verbunden. Darüber hinaus wird ein Change Issue mit einem oder mehreren Systemelementen verknüpft, die von dem Änderungsproblem betroffen sind.

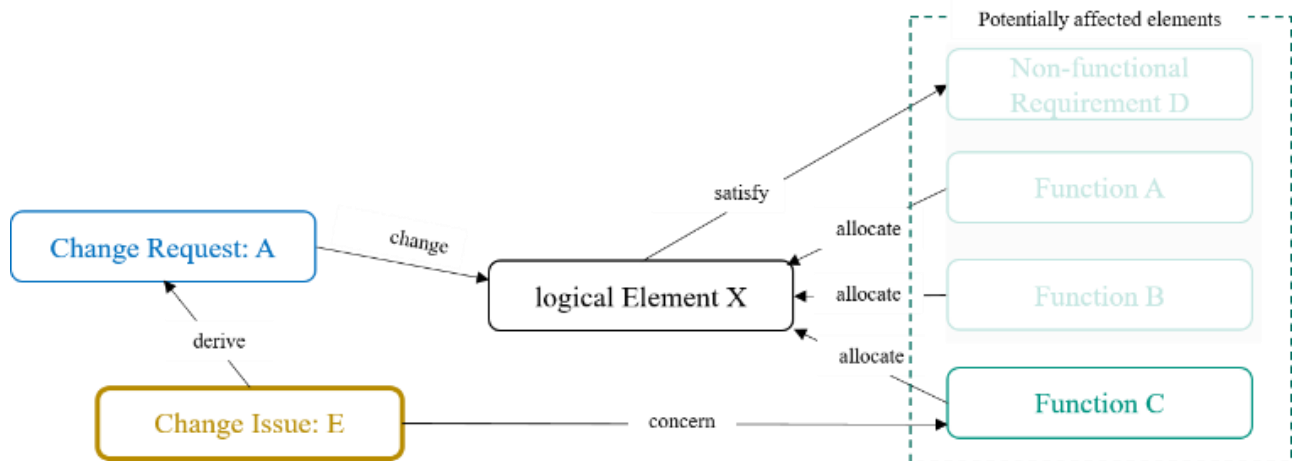


Bild 2-63: Beispiel zur Modellierung und Verknüpfung des Elementes Change Issue mit dem Restmodell

Um mögliche Lösungen für ein oder mehrere Change Issues zu finden, wird die Aktivität "Identify Alternative Solutions" eingesetzt. Zur Durchführung der Aktivität bilden die vom Change Issues betroffenen Elemente und die mit ihnen verknüpften Systemelemente einen Lösungsraum zur Synthese von Lösungsalternativen. Gefundene Lösungsalternativen können mit Hilfe der Beziehungstypen "Ändern", "Entfernen", "Ersetzen" und "Hinzufügen" mit Systemelementen verknüpft werden (siehe Bild 2-64).

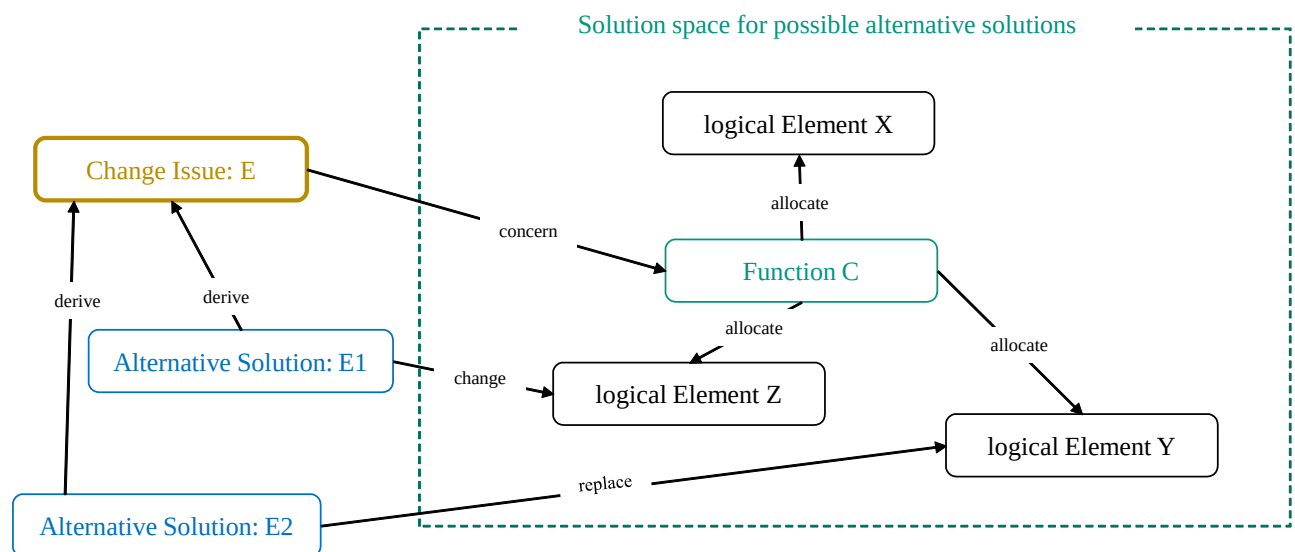


Bild 2-64: Beispiel zur Modellierung und Verknüpfung von Lösungsalternativen mit dem Restmodell

Ähnlich wie bei Änderungsanfragen können auch alternative Lösungen Change Issues auslösen, für die eine oder mehrere alternative Lösungen gefunden werden können, siehe Bild 2-65. Mit diesem Schema können die Ursachen und Folgen von Änderungen transparent und nachvollziehbar analysiert werden, was eine systematische Fortschrittsanalyse unterstützt.

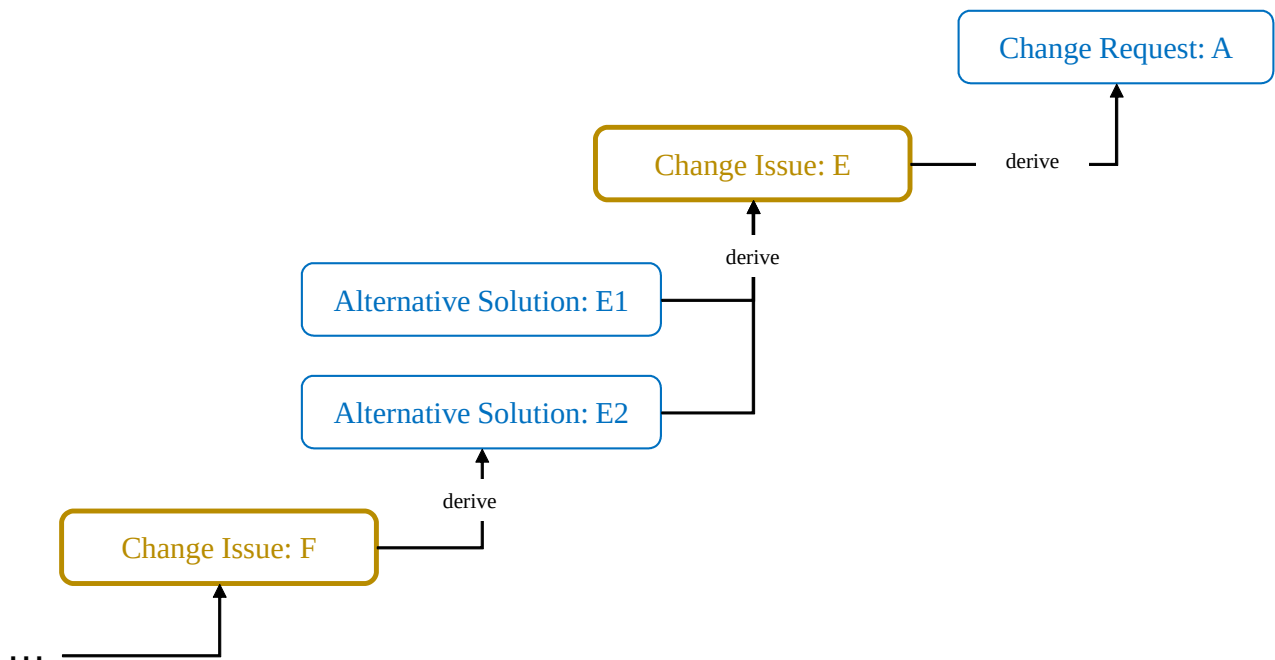


Bild 2-65: Kaskadenförmige modellierung von Änderungen und Folgeänderungen in einem Modell

Weitere Informationen:	Digitaler Anhang: • XTS Assembly Line AECIA Rebuild.mdzip • Philips Zahnbürsten Testsystem V7 MS.mdzip Veröffentlichungen: [MKP+22] Martin, Alex; Kasper, Jerome; Pfeifer, Stefan; Mandel, Constantin; Rapp, Simon; Albers, Albert (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria. IEEE International Symposium on Systems Engineering; Institute of Electrical and Electronics Engineers; Systems Council; IEEE International Systems Engineering Symposium; ISSE. Piscataway: IEEE. [MWG+23] Martin, Alex; Weidinger, Felicia; Greinert, Matthias; Wagenmann, Steffen; Albers, Albert; Ilmenau Scientific Colloquium. Technische Universität Ilmenau et al. (2023): Enhancement of an MBSE-supported methodology for managing engineering changes using the example of a machine tool. In: Engineering for a changing world: Proceedings : 60th ISC, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 04-08, 2023. DOI: 10.22032/dbt.58663

Die Evaluierung der weiterentwickelten AECIA-Methodik erfolgte in einem vierstündigen Workshop mit Ingenieurinnen und Ingenieuren der Koninklijke Philips N.V. Nach einer Live-Demonstration der AECIA-Methodik in einem Modellierungstool wurde eine semistrukturierte Umfrage mit den Workshop-Teilnehmenden durchgeführt. Keiner der Teilnehmenden war an der Entwicklung der AECIA-Methodik beteiligt.

Im ersten Teil der Umfrage wurden Berufsbezeichnung, Berufserfahrung sowie Vorerfahrungen in den Bereichen Model-Based Systems Engineering und technisches Änderungsmanagement erfasst. Anschließend wurde die AECIA-Methodik anhand einer Likert-Skala von 0 bis 3 (0: unterstützt überhaupt nicht, 3: unterstützt sehr stark) bewertet (siehe Bild 2-66). Die in der unteren Tabelle aufgeführten Bewertungskriterien basieren auf den Anforderungen an eine modellbasierte Methodik für das technische Änderungsmanagement, die in MoSyS identifiziert [MKP+22] und initial evaluiert [MWG+23] wurden.

Wie unterstützt die modellbasierte AECIA-Methodik...			
BK1	die Wiederverwendung von Informationen aus vorangegangenen Produktgenerationen?	BK7	die Modellierung einer Änderung, ob betroffene Modellelemente verändert, ersetzt, entfernt oder neu hinzugefügt werden sollen?
BK2	die Bewertung von Änderungen in Bezug auf verschiedene Kriterien wie Kosten, Zeit, Qualität, Entwicklungsrisiko usw.?	BK8	die Modellierung und Analyse von Änderungsfällen, ohne das Systemmodell vor der Freigabe einer Änderung zu verändern?
BK3	die systematische Identifizierung von potenziell von Änderungen betroffenen Elementen?	BK9	die parallele Analyse und Modellierung von mehreren bereichsübergreifenden Änderungen?
BK4	die Erfassung der Änderungshistorie?	BK10	die Wiederverwendung von Bewertungskriterien aus anderen Änderungsfällen?
BK5	die Modellierung von Problemen und Wissens- oder Definitionslücken, die durch eine Änderung verursacht werden?	BK11	das Hinzufügen und Gewichten von Bewertungskriterien?
BK6	die agile und iterative Durchführung von Analyse- und Syntheseaktivitäten?	BK12	die systematische Modellierung von Ursachen und Folgeänderungen für eine klare Rückverfolgbarkeit von Änderungen?

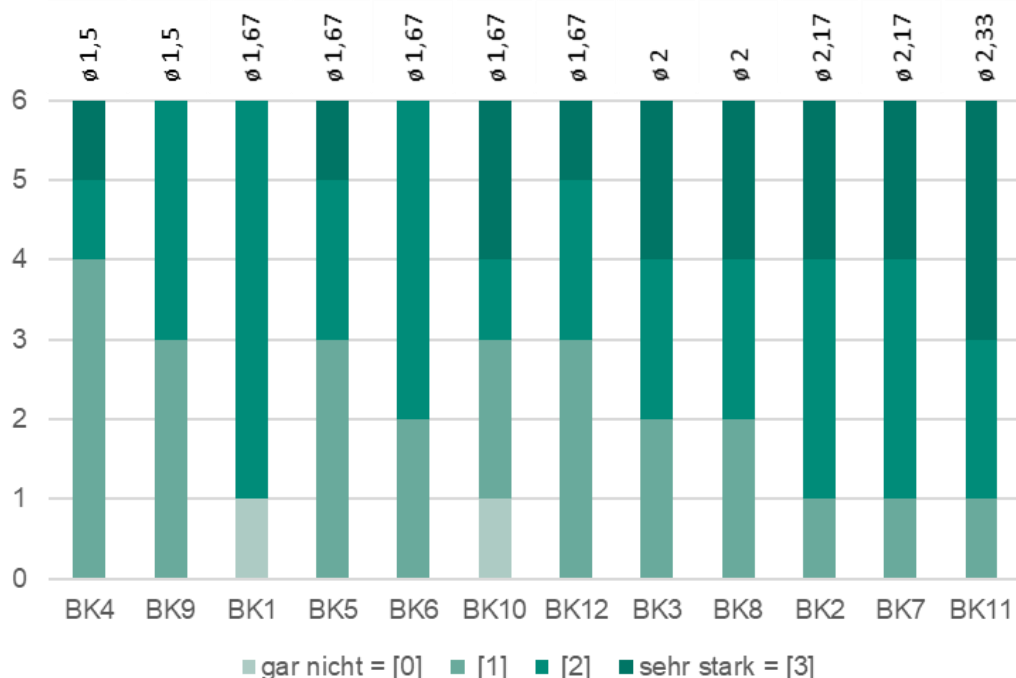


Bild 2-66: Ergebnisse der Evaluation der AECIA-Methodik

An der Umfrage nahmen 6 Personen teil. Die Teilnehmenden haben folgende Berufsbezeichnungen: Systems Engineer, Project Manager, Mechanical Engineer, Senior Systems Engineer, Lead Systems Engineer und Group Leader Systems Engineering. 3 Personen haben sehr gute, 2 haben geringe und eine hat keine Vorerfahrungen im Themenbereich des MBSE und des Änderungsmanagements. Die Hälfte der Teilnehmenden hat mehr als 10 Jahre Erfahrung im aktuellen Beruf. Bei der anderen Hälfte sind es mehr als 5 Jahre Berufserfahrung.

2.16.3. Diskussion und Ausblick

Das vorgestellte Vorgehen kann als Grundlage zur Analyse und Modellierung von Änderungsausbreitungen verwendet werden und dabei in unterschiedlichen Modellierungsumgebungen implementiert werden. Mit diesem Vorgehen werden Änderungsausbreitungen transparent und nachvollziehbar erfasst und damit Änderungsabläufe effizient analysiert, modelliert und nachhaltig dokumentiert werden.

Die erarbeiteten Ergebnisse basieren auf dem Input einzelner Personen der Anwenderunternehmen. Daher ist die Gültigkeit der Ergebnisse auf die jeweiligen Unternehmen bzw. Abteilungen innerhalb der Unternehmen beschränkt. Nächste Schritte wären die Anwendung der Ergebnisse auf weitere Unternehmen, insbesondere aus anderen Branchen.

Literaturverzeichnis

- [MKP+22] Martin, Alex; Kasper, Jerome; Pfeifer, Stefan; Mandel, Constantin; Rapp, Simon; Albers, Albert (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria. IEEE International Symposium on Systems Engineering; Institute of Electrical and Electronics Engineers; Systems Council; IEEE International Systems Engineering Symposium; ISSE. Piscataway: IEEE.
- [MWG+23] Martin, Alex; Weidinger, Felicia; Greinert, Matthias; Wagenmann, Steffen; Albers, Albert; Ilmenau Scientific Colloquium. Technische Universität Ilmenau et al. (2023): Enhancement of an MBSE-supported methodology for managing engineering changes using the example of a machine tool. In: *Engineering for a changing world: Proceedings : 60th ISC, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 04-08, 2023*. DOI: 10.22032/dbt.58663.
- [WRF+15] Walden, David D.; Roedler, Gary J.; Forsberg, Kevin; Hamelin, R. Douglas; Shortell, Thomas M.; International Council on Systems Engineering (Hg.) (2015): Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities ; INCOSE-TP-2003-002-04, 2015. 4. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley.
- [Weil06] Weilkiens, Tim (2006): SystemsEngineering mit SysML/UML Modellierung, Analyse, Design. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH.

2.17. Auswirkungsanalyse einer modellbasierten Methodik für das Technische Änderungsmanagement

2.17.1. Einleitung

2.17.1.1. Zielsetzung

Das in Projekt MoSyS entwickelte Advanced Engineering Change Impact Approach - AECIA stellt eine ganzheitliche Methodik für modellbasiertes Änderungsmanagement vor, die die Überprüfung der Validität von Änderungsanfragen, die Analyse der Änderungsfortpflanzung und -auswirkungen sowie die Kommunikation von Änderungsinformationen in einer agilen Entwicklungsumgebung unterstützt. Nachdem alternative Lösungen für eine Änderungsanfrage identifiziert wurden ist es wichtig diese objektiv bewerten zu können, um so eine passende Lösungsalternative auswählen zu können. Ziel dieses Wissensnuggets ist es, einen Ansatz Bewertung von Lösungsalternativen als Teil der modellbasierten Methodik Advanced Engineering Change Impact Approach - AECIA vorzustellen und zu evaluieren.

2.17.1.2. Einordnung in MoSyS

Das Wissensnugget zur Analyse und Modellierung von Änderungsauswirkungen verwendet Grundlagen zum technischen Änderungsmanagement aus dem AP3 sowie die Referenzarchitektur aus AP2 zur Modellierung von (Teil-)Systemmodellen, die für die Durchführung von Auswirkungsanalysen verwendet wird (siehe Bild 2-67).

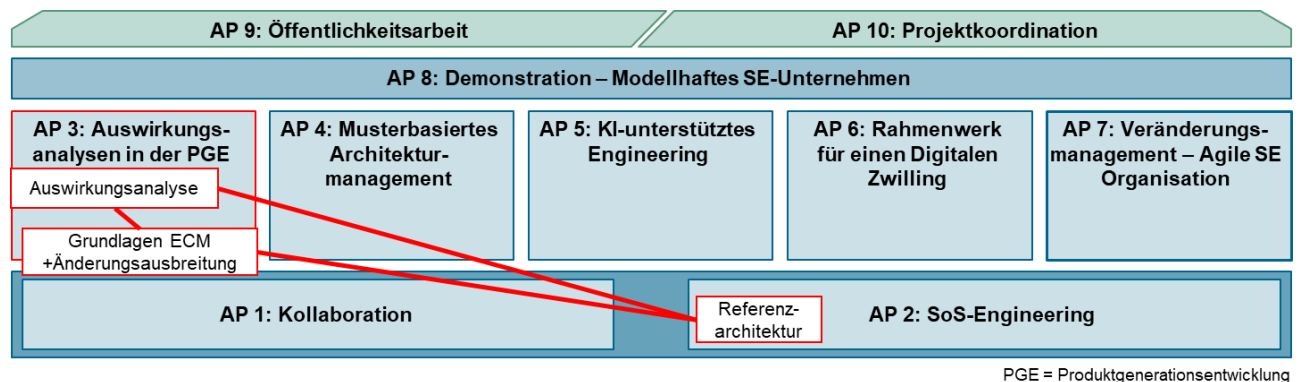


Bild 2-67: Einordnung des Wissensnuggets 2.17 in das MoSyS Projekt

2.17.1.3. Vorgehen

Die Erstellung dieses Wissensnuggets erfolgte durch eine iterative Kombination von Analyse- und Syntheseaktivitäten. Basierend auf den identifizierten Zielen und Anforderungen wurde eine Ontologie, Aktivitäten sowie dafür relevante Sichten zur Analyse und Modellierung von Änderungsauswirkungen entwickelt. Dieser Teil der ganzheitlichen Methodik AECIA wurde in einem Modellierungstool implementiert und anhand verschiedener Änderungsfälle angewendet. Anschließend wurde das Vorgehen von Entwickelnden, die nicht an der Entwicklung des Ansatzes beteiligt waren, evaluiert.

2.17.2. Hauptteil

2.17.2.1. Definitionen

MBSE

Der Ansatz des Model-Based Systems Engineering (MBSE) beinhaltet die systematische und formalisierte Anwendung von Modellierungstechniken zur Unterstützung von Aktivitäten in den Bereichen Anforderungsmanagement, Designprozess, Analyse sowie Verifikations- und Validierungsprozesse

[WRF+15]. Im Gegensatz zum dokumentenbasierten Systems Engineering wird beim modellbasierten Ansatz ein zentrales Systemmodell verwendet, das relevante Informationen aus dem Produktentstehungsprozess disziplinübergreifend vernetzt und durch bedarfsgerechte Sichten zur Verfügung stellt [Weil06].

Die Anwendung des MBSE-Ansatzes kann sich über alle Phasen des Produktentstehungsprozesses erstrecken. Ziel ist es, ein ganzheitliches Verständnis des Systems zu fördern und dadurch die Effizienz in den verschiedenen Phasen der Produktentstehung zu verbessern. [WRF+15]

Strukturelle Komplexität

Mit der strukturellen Komplexität lässt sich die Architektur eines technischen Systems charakterisieren, indem die Anzahl, Art und Anordnung von Elementen und Interaktionen zwischen den Elementen untersucht werden [Dor02]. Obwohl es viele Metriken zur Bestimmung der strukturellen Komplexität gibt, erfüllt insbesondere die Metrik nach [SW13] alle neun Kriterien nach [Wey88] für eine valide Komplexitätsmetrik. Diese topologische Komplexitätsmetrik besteht aus drei Termen C1, C2 und C3, siehe (1).

$$C = C_1 + C_2 C_3 = \sum_{i=1}^n \alpha_i + \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{i,j} A_{i,j} \right) \gamma E(A) \quad (1)$$

Der erste Term C1 repräsentiert die Summer der Komplexitäten von einzelnen Systemkomponenten. Mit C2 wird die Komplexität der Verbindungen zwischen den Komponenten und mit C3 die topologische Komplexität, die sich aus der Anordnung der Verbindungen ergibt, widerspiegelt.

Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA)

Der Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) ist eine MBSE-gestützte Methodik für ein umfassendes Änderungsmanagement. Diese Methodik baut auf dem aktivitätsbasierten IPEK-MBSE-Ansatz auf und erweitert ihn um die Dimension des Änderungsmanagements. AECIA umfasst spezifische Analyse- und Modellierungsaktivitäten, die flexibel iteriert und in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden können. Die zentralen Aktivitäten des AECIA-Frameworks unterstützen die Prüfung der Validität von Änderungsanfragen, die Analyse der Auswirkungen und Ausbreitung von Änderungen sowie die gezielte Kommunikation von änderungsrelevanten Informationen innerhalb einer agilen Entwicklungsumgebung (siehe Bild 2-68).

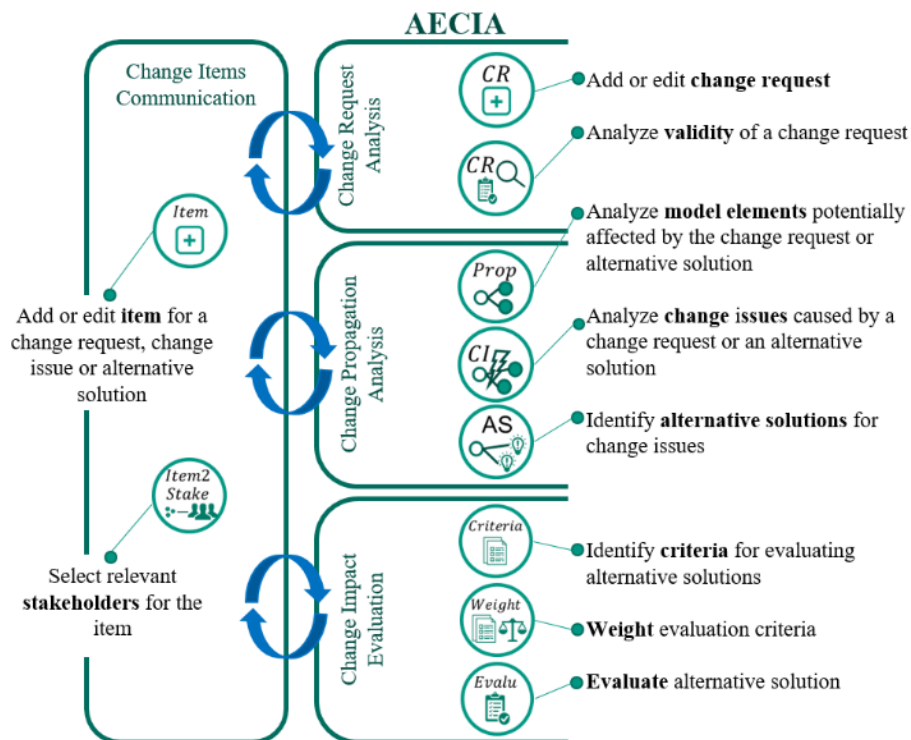


Bild 2-68: Das aktivitätenbasierte AECIA- Framework

Weitere Informationen:	Veröffentlichungen: [MKP+22] Martin, Alex; Kasper, Jerome; Pfeifer, Stefan; Mandel, Constantin; Rapp, Simon; Albers, Albert (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria. IEEE International Symposium on Systems Engineering; Institute of Electrical and Electronics Engineers; Systems Council; IEEE International Systems Engineering Symposium; ISSE. Piscataway: IEEE.

2.17.2.2. Ergebnisse

Um die identifizierten Lösungsalternativen bewerten zu können und eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die Auswahl einer passenden Lösung bereitzustellen, wird im Folgenden ein zweiteiliger Bewertungsansatz vorgestellt.

Der erste Teil der Evaluierung orientiert sich an der Pugh-Matrix [IN13]. Dabei werden die identifizierten Lösungsalternativen anhand frei definierbarer, änderungsfallspezifischer Bewertungskriterien bewertet. Die Bewertungskriterien werden gewichtet und als „Hard Binding“ oder „Soft Binding“ klassifiziert. „Hard Binding“-Kriterien dürfen keinesfalls über- oder unterschritten werden, wie zum Beispiel zeitliche Deadlines. Das Evaluationsergebnis einer Lösungsalternative ergibt sich aus der Summe der Produkte der Gewichtung der Bewertungskriterien und dem zugehörigen Evaluationswert der Lösungsalternative (siehe linke Seite Bild 2-69).

Im zweiten Teil der Evaluierung wird das Entwicklungsrisiko einer Lösungsalternative analysiert. Aufbauend auf der SGE-Risikomatrix [ARB+17], die das Risiko durch die Bestimmung des Neuheitsgrades eines Teilsystems und der Herkunft der Referenzsystemelemente ermittelt, wird die Dimension der Komplexität ergänzt (siehe rechte Seite von Bild 2-69). Zur Berechnung der Komplexität wird die topologische Komplexitätsmetrik herangezogen. Das Netzwerk aus Systemmodellelementen (SME),

das für die Berechnung der strukturalen Komplexität betrachtet wird, umfasst die SME, die direkt von der Lösungsalternative betroffen sind, sowie weitere SME, die direkt und implizit mit den direkt betroffenen SME vernetzt sind.

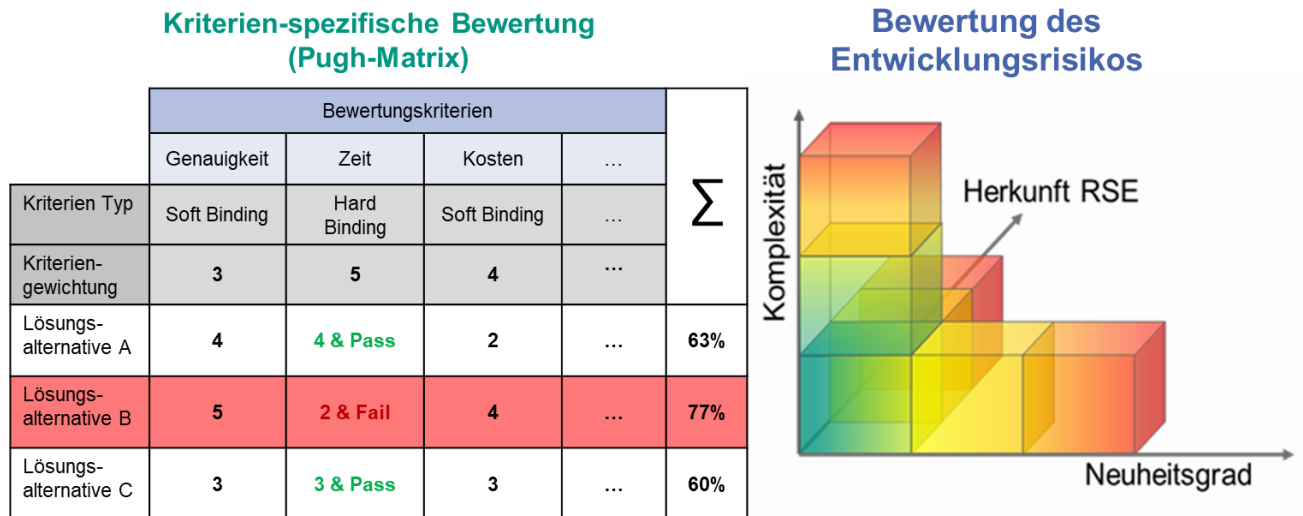


Bild 2-69: Zweiteilige Bewertung von Lösungsalternativen einer technischen Änderung

Die Bewertung der Lösungsalternativen erfolgt in sechs iterativen Aktivitäten. Zunächst werden relevante Bewertungskriterien identifiziert oder aus früheren Änderungsfällen wiederverwendet. Danach werden die Bewertungskriterien im Zusammenhang mit den Lösungsalternativen und der Änderungsanfrage typisiert und gewichtet (siehe Bild 2-70 (a) und (b)). Im nächsten Schritt werden die vorgeschlagenen Lösungsalternativen anhand der Bewertungskriterien evaluiert (siehe Bild 2-70 (c)). Bei Hard-Binding-Kriterien muss zusätzlich angegeben werden, ob die Mindestanforderungen erfüllt werden. Für jede Bewertung kann eine kurze Begründung hinterlegt werden, um die Nachvollziehbarkeit zu verbessern. Anschließend wird das Entwicklungsrisiko evaluiert, indem die Variationsart und die Herkunft des Referenzelementes für die Lösungsalternative bestimmt werden (siehe Bild 2-70 (d)). Die Berechnung der strukturellen Komplexität erfolgt automatisch anhand der mit der Lösungsalternative verknüpften Systemmodellelemente. Abschließend werden die Ergebnisse der kriterien-spezifischen Bewertung und der Bewertung des Entwicklungsrisikos analysiert (siehe Bild 2-70 (e)).

Bei der Lösungsalternative, die die Integration eines Kamerasystems an Station B vorschlägt, wurde das höchste Entwicklungsrisiko berechnet. Gleichzeitig erzielte diese Lösung die beste kriterien-spezifische Bewertung. In der unten abgebildeten Fallstudie entschied man sich bewusst für diese Lösung und nahm das höhere Entwicklungsrisiko in Kauf.

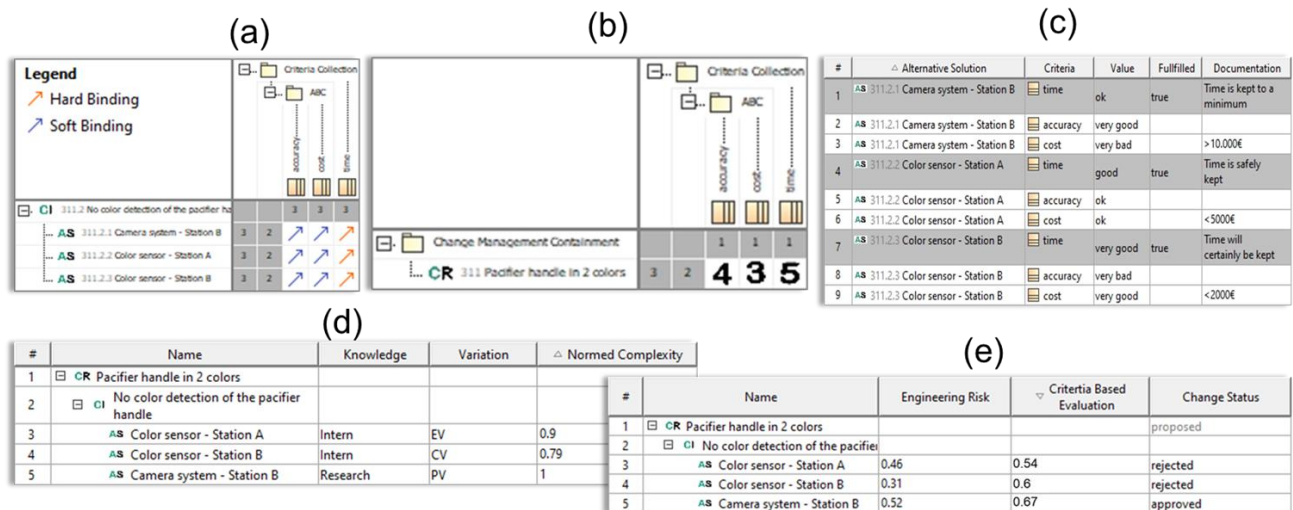


Bild 2-70: Sichten zur Durchführung der Bewertung von Lösungsalternativen

Weitere Informationen:	Digitaler Anhang: XTS Assembly Line AECIA Rebuild.mdzip Philips Zahnbürsten Testsystem V7 MS.mdzip PPCD SYSCON AECIA.mdzip Veröffentlichungen: [MKP+22] Martin, Alex; Kasper, Jerome; Pfeifer, Stefan; Mandel, Constantin; Rapp, Simon; Albers, Albert (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria. IEEE International Symposium on Systems Engineering; Institute of Electrical and Electronics Engineers; Systems Council; IEEE International Systems Engineering Symposium; ISSE. Piscataway: IEEE. [MWG+23] Martin, Alex; Weidinger, Felicia; Greinert, Matthias; Wagenmann, Steffen; Albers, Albert; Ilmenau Scientific Colloquium. Technische Universität Ilmenau et al. (2023): Enhancement of an MBSE-supported methodology for managing engineering changes using the example of a machine tool. In: <i>Engineering for a changing world: Proceedings : 60th ISC, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 04-08, 2023</i>. DOI: 10.22032/dbt.58663.

2.17.3. Diskussion und Ausblick

Das vorgestellte Vorgehen kann als Grundlage zur Bewertung von Alternativlösungen für technische Änderungen verwendet und in verschiedenen Modellierungsumgebungen implementiert werden. Mit diesem Ansatz werden Entscheidungsgrundlagen objektiv und nachvollziehbar erfasst, indem relevante Kriterien bewertet und das Entwicklungsrisiko analysiert werden.

Die erarbeiteten Ergebnisse basieren auf dem Input einzelner Personen der Anwenderunternehmen. Daher ist die Gültigkeit der Ergebnisse auf die jeweiligen Unternehmen bzw. Abteilungen innerhalb der Unternehmen beschränkt. Nächste Schritte wären die Anwendung der Ergebnisse auf weitere Unternehmen, insbesondere aus anderen Branchen.

Literaturverzeichnis

- [ARB+17] Albers, Albert; Rapp, Simon; Birk, Clemens; Bursać, Nikola (2017): Die „Frühe Phase“ der PGE - Produktge-nerationsentwicklung. In: Unknown (:Unkn) (Hg.): Stuttgarter Symposium für Produktentwick-lung SSP 2017 : Stuttgart, 29. Juni 2017, Wissenschaftliche Konferenz. Unter Mitarbeit von Universität Stuttgart, H. Binz, Bernd Bertsche, Wilhelm Bauer, Dieter Spath und Daniel Roth. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- [Dor02] Dori, D. (2002): Object-Process Methodology: A Holistic Systems Paradigm ; with CD-ROM: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <https://books.google.bf/books?id=x1oL0vq1yr4C>.
- [IN13] Ishizaka, Alessio; Nemery, Philippe (2013): Multi-criteria decision analysis. Methods and software. Chichester: Wiley.
- [SW13] Sinha, Kaushik; Weck, Olivier de (2013): A network-based structural complexity metric for engineered com-plex systems. In:, S. 426–430.
- [WRF+15] Walden, David D.; Roedler, Gary J.; Forsberg, Kevin; Hamelin, R. Douglas; Shortell, Thomas M.; International Council on Systems Engineering (Hg.) (2015): Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities ; INCOSE-TP-2003-002-04, 2015. 4. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley.
- [Weil06] Weilkiens, Tim (2006): SystemsEngineering mit SysML/UML Modellierung, Analyse, Design. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH.
- [Wey88] Weyuker, E. J. (1988): Evaluating software complexity measures. In: IEEE Transactions on Software Engineer-ing 14 (9), S. 1357–1365. DOI: 10.1109/32.6178.

2.18.2. Hauptteil

2.18.2.1. Definitionen

MBSE

Der Ansatz des Model-Based Systems Engineering (MBSE) beinhaltet die systematische und formalisierte Anwendung von Modellierungstechniken zur Unterstützung von Aktivitäten in den Bereichen Anforderungsmanagement, Designprozess, Analyse sowie Verifikations- und Validierungsprozesse [WRF+15]. Im Gegensatz zum dokumentenbasierten Systems Engineering wird beim modellbasierten Ansatz ein zentrales Systemmodell verwendet, das relevante Informationen aus dem Produktentstehungsprozess disziplinübergreifend vernetzt und durch bedarfsgerechte Sichten zur Verfügung stellt [Wei06].

Die Anwendung des MBSE-Ansatzes kann sich über alle Phasen des Produktentstehungsprozesses erstrecken. Ziel ist es, ein ganzheitliches Verständnis des Systems zu fördern und dadurch die Effizienz in den verschiedenen Phasen der Produktentstehung zu verbessern. [WRF+15]

Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA)

Der Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) ist eine MBSE-gestützte Methodik für ein umfassendes Änderungsmanagement. Diese Methodik baut auf dem aktivitätsbasierten IPEK-MBSE-Ansatz auf und erweitert ihn um die Dimension des Änderungsmanagements. AECIA umfasst spezifische Analyse- und Modellierungsaktivitäten, die flexibel iteriert und in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden können. Die zentralen Aktivitäten des AECIA-Frameworks unterstützen die Prüfung der Validität von Änderungsanfragen, die Analyse der Auswirkungen und Ausbreitung von Änderungen sowie die gezielte Kommunikation von änderungsrelevanten Informationen innerhalb einer agilen Entwicklungsumgebung (siehe Bild 2-72).

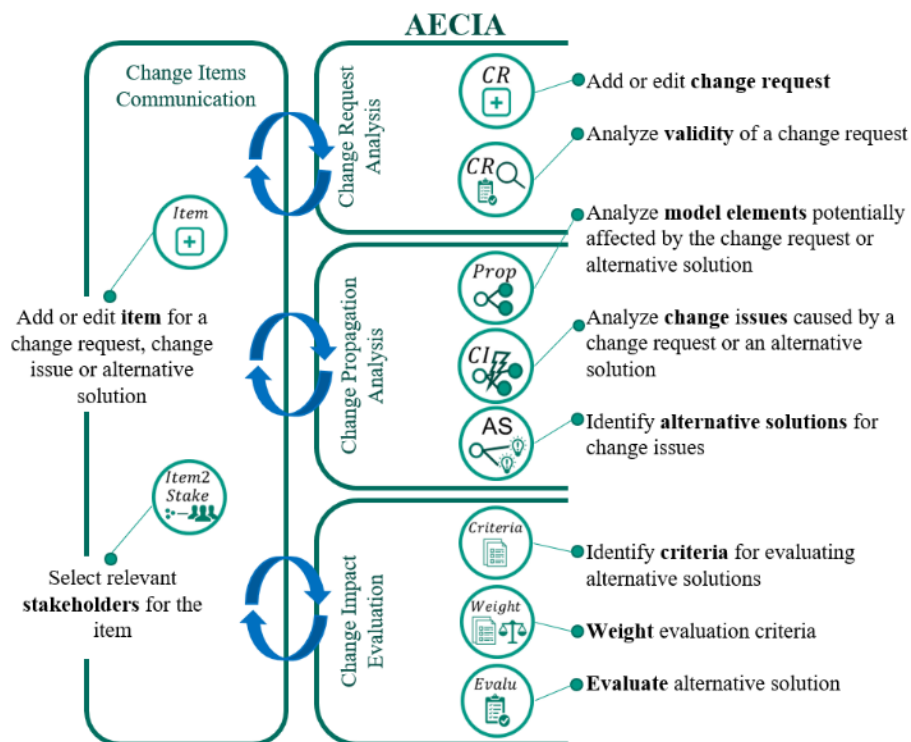


Bild 2-72: Das aktivitätenbasierte AECIA- Framework

Agile System Design (ASD)

Agile Ansätze, ursprünglich aus der Software-Entwicklung [FH01], zielen auf flexible, inkrementelle Projektabwicklung und schnelle Anpassung an Änderungen, wie bei SCRUM [SS13]. Albers et al. übertragen diese Ansätze auf die mechatronische Produktentwicklung [AHS+19]. Mit Agile Systems Design (ASD) präsentieren sie eine Methode zur agilen Entwicklung und Validierung mechatronischer Systeme. ASD kombiniert flexible und strukturierende Prozesselemente, basierend auf neun Grundprinzipien, um Entwickelnde im Produktentstehungsprozess zu unterstützen.

Weitere Informationen:	Veröffentlichungen: [MKP+22] Martin, Alex; Kasper, Jerome; Pfeifer, Stefan; Mandel, Constantin; Rapp, Simon; Albers, Albert (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria. IEEE International Symposium on Systems Engineering; Institute of Electrical and Electronics Engineers; Systems Council; IEEE International Systems Engineering Symposium; ISSE. Piscataway: IEEE.

2.18.2.2. Ergebnisse

Die AECIA Hauptaktivität „Change Items Communication“ beinhaltet Aktivitäten zum Erstellen und Vernetzen von Trigger Items. Damit können anstehende Aufgaben/Aktivitäten im Modell erfasst werden und mit den dazugehörigen Elementen aus dem Technischen Änderungsmanagement verknüpft werden, siehe Bild 2-73. Diese Änderungsmanagement-Elemente sind wiederum mit Elementen des Systemmodells verknüpft (vgl. Kap. 2.16) und zeigen damit Elemente auf die für die Durchführung der Aktivität potentiell relevant sind. Zudem können Elemente des Systemmodells mit Stakeholdern verknüpft sein, die für die Umsetzung und Entwicklung dieses Elements verantwortlich sind. Damit können Ansprechpartner für ein Trigger Item schnell gefunden werden.

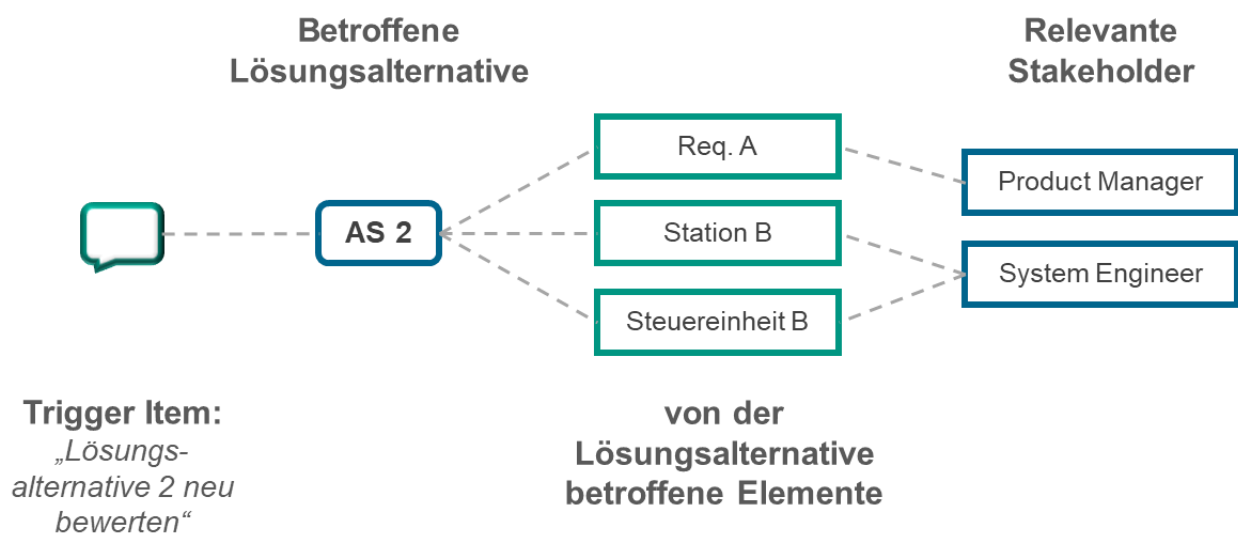


Bild 2-73: Verknüpfung zwischen Trigger Item und dem Restmodell

Bei der Implementierung in einem Modellierungstool werden die Aktivitäten zur Erstellung, Vernetzung und Verwaltung von Trigger Items sowie von Stakeholder für die Durchführung von Aktivitäten mit Hilfe von zwei Prozessabläufen durchgeführt (siehe Bild 2-74).

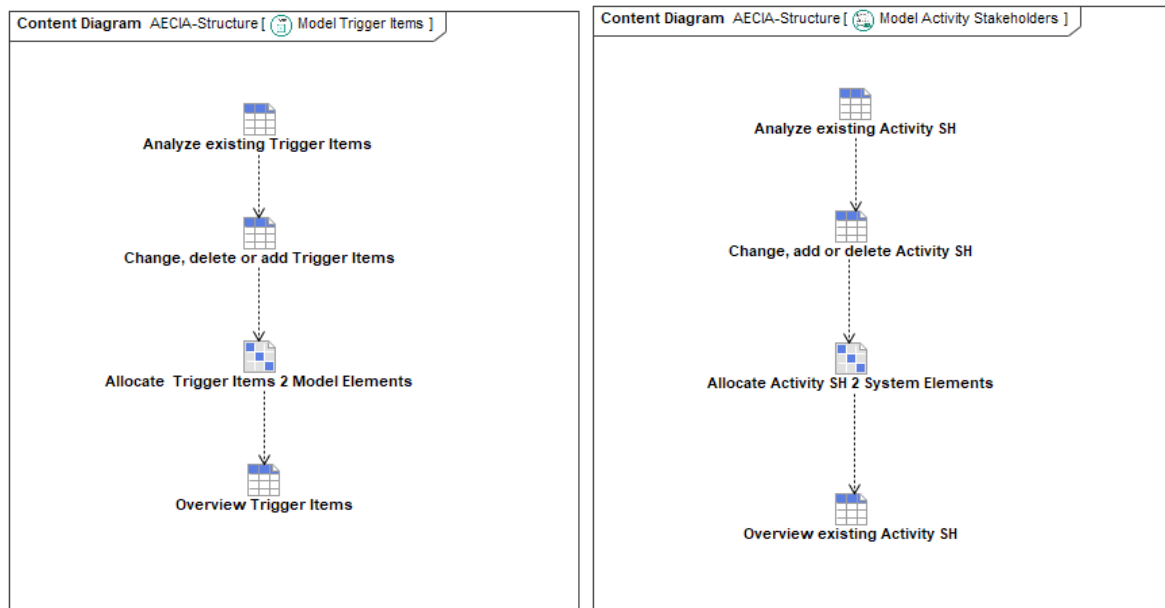


Bild 2-74: Prozessabläufe zur Erstellung, Vernetzung und Verwaltung von Trigger Items & Stakeholder

Trigger Items können in einer Tabelle übersichtlich erstellt und verwaltet werden. Mithilfe einer Matrix können Trigger items mit relevanten Änderungsmanagement Elementen verknüpft werden. Eine Matachain zeigt mit dem Änderungsmanagement verknüpfte Systemmodellelemente sowie relevante Stakeholder auf (siehe Bild 2-75). Zudem können die Trigger Items mit einem Projektmanagement-Tool verknüpft und damit einen Status erhalten (siehe Bild 2-76). Zu Beginn sind alle Trigger items im Sprint Backlog, je nach Priorisierung im printplaning werden bestimmte Trigger items in progress verschoben und damit gezielt Aktivitäten im Systemmodell ausgelöst.

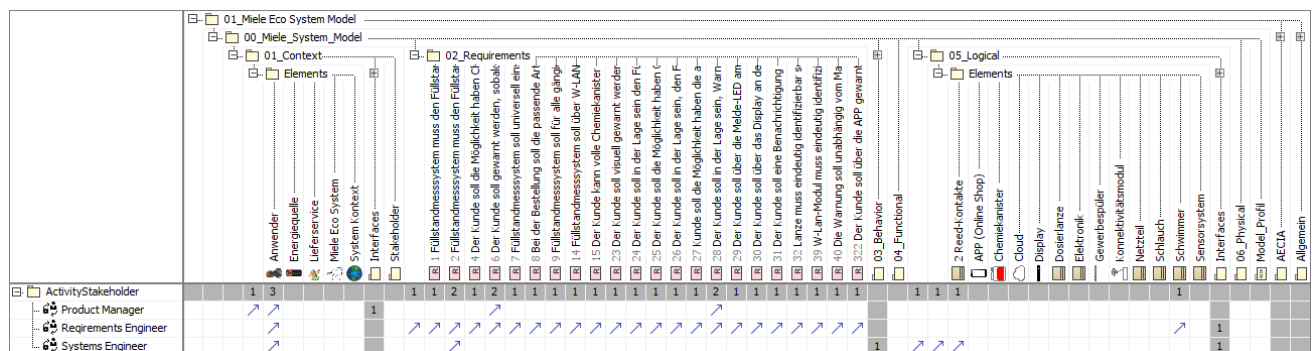


Bild 2-75: Implementierte Sicht zur Verknüpfung von Stakeholder und relevanten Systemmodellelementen

#	Name	Verknüpfte Change Elemente	Betroffene Systemmodell Elemente	Pot. relevante Stakeholder	Status	Active Hyperlink
1	Weitere Alternative Lösungen finden	AS 330.1.1 AS1 AS 330.1.2 AS2 AS 330.1.3 AS3	R 28 Der Kunde soll in der Lage sein, die Genauigkeit der Messung zu erhöhen. R 31 Der Kunde soll eine Benachrichtigung über den Status der Messung erhalten. R 40 Die Warnung soll unabhängig von der Messung auslösbar sein.	Product Manager Requirements Engineer	03_In_Progress	
2	Prüfe auf mögliche weitere Change Issues	CI 330.1 Welche Technologie?	Schwimmer 2 Reed-Kontakte	Requirements Engineer Systems Engineer	01_Backlog	http://Analyze existing...

Bild 2-76: Übersicht von erstellten Trigger Items, den verknüpften Change Elementen, betroffenen Systemelementen und dem Status

Für die Evaluierung des Kommunikationskonzeptes wurden das Konzept implementiert und beispielhaft an einem Änderungsfall angewandt und Miele Mitarbeitende vorgestellt. Anschließend wurde das Konzept auf Grundlage der identifizierten Anforderungen und Ziele aus dem Wissensnugget „Grundlagen“ bewertet.

Tabelle 2-5: Übersicht der Bewertungskriterien zur Evaluation der AECIA-Methodik

Wie unterstützt die modellbasierte Methodik...	
BK1	die Wiederverwendung von Informationen aus vorangegangenen Produktgenerationen?
BK2	die Bewertung von Änderungen in Bezug auf verschiedene Kriterien wie Kosten, Zeit, Qualität, Entwicklungsrisiko usw.?
BK3	die systematische Identifizierung von potenziell von Änderungen betroffenen Elementen?
BK4	die Erfassung der Änderungshistorie?
BK5	die Modellierung von Problemen und Wissens- oder Definitionslücken, die durch eine Änderung verursacht werden?
BK6	die agile und iterative Durchführung von Analyse- und Syntheseaktivitäten?
BK7	die Modellierung einer Änderung, ob betroffene Modellelemente verändert, ersetzt, entfernt oder neu hinzugefügt werden sollen?
BK8	die Modellierung und Analyse von Änderungsfällen, ohne das Systemmodell vor der Freigabe einer Änderung zu verändern?
BK9	die parallele Analyse und Modellierung von mehreren bereichsübergreifenden Änderungen?
BK10	die Wiederverwendung von Bewertungskriterien aus anderen Änderungsfällen?
BK11	das Hinzufügen und Gewichten von Bewertungskriterien?
BK12	die systematische Modellierung von Ursachen und Folgeänderungen für eine klare Rückverfolgbarkeit von Änderungen?
BK13	bei der Kommunikation von Änderungsinformationen in einer agilen Entwicklungsumgebung?

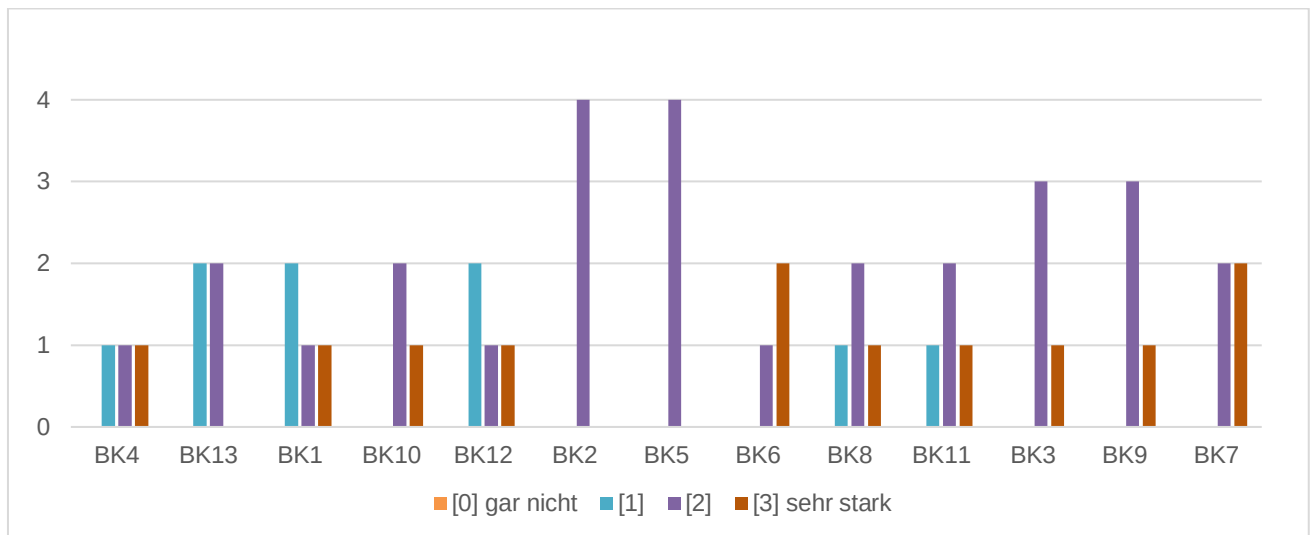


Bild 2-77: Übersicht der Ergebnisse der Evaluation der AECIA-Methodik

Die Evaluation zeigt auf, dass das vorgestellte Konzept im Hinblick auf alle Anforderungen mindestens eine geringe Unterstützung aufweist (siehe Bild 2-77). Beispielsweise wird das Konzept hinsichtlich der parallelen Analyse und Modellierung von mehreren bereichsübergreifenden Änderungen oder der agilen und iterativen Durchführung von Analyse- und Syntheseaktivitäten als unterstützend angesehen.

Weitere Informationen:	Digitaler Anhang: PPCD_SYSCON_AECIA.mdzip

2.18.3. Diskussion und Ausblick

Das vorgestellte Kommunikationskonzept kann als Grundlage zur Dokumentation und Kommunikation von Änderungsinformationen sowie zur gezielten Auswahl und Auslösen von Analyse- und Modellierungsaktivitäten im Technischen Änderungsmanagement verwendet werden und dabei in unterschiedlichen Modellierungsumgebungen implementiert werden. Mit diesem Vorgehen werden Entscheidungen und das Auslösen von Aktivitäten transparent und nachvollziehbar gesteuert und damit Änderungsabläufe gezielt durchgeführt.

Die erarbeiteten Ergebnisse basieren auf dem Input einzelner Personen der Anwenderunternehmen. Daher ist die Gültigkeit der Ergebnisse auf die jeweiligen Unternehmen bzw. Abteilungen innerhalb der Unternehmen beschränkt. Nächste Schritte wären die Anwendung der Ergebnisse auf weitere Unternehmen, insbesondere aus anderen Branchen.

Literaturverzeichnis

- [AHS+19] Albers, Albert; Heimicke, Jonas; Spadinger, Markus; Reiss, Nicolas; Breitschuh, Jan; Richter, Thilo et al. (2019): A systematic approach to situation-adequate mechatronic system development by ASD - Agile Systems Design. In: Procedia CIRP 84, S. 1015–1022. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.312.
- [FH01] Fowler, M.; Highsmith, J. (2001): The Agile Manifesto. In: Software Development 9 (8), S. 28–35.
- [SS13] Schwaber, K.; Sutherland, J. (2013): The Scrum Guide.

- [WRF+15] Walden, David D.; Roedler, Gary J.; Forsberg, Kevin; Hamelin, R. Douglas; Shortell, Thomas M.; International Council on Systems Engineering (Hg.) (2015): Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities ; INCOSE-TP-2003-002-04, 2015. 4. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley.
- [Wei06] Weikiens, Tim (2006): SystemsEngineering mit SysML/UML Modellierung, Analyse, Design. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH.

2.19. Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement

2.19.1. Einleitung

2.19.1.1. Zielsetzung

Das Rahmenwerk für ein musterbasiertes Architekturmanagement verfolgt das Ziel, die Architekturentwicklung von komplexen System of Systems zu unterstützen. Es stellt eine nahtlose Ergänzung zum Entwicklungsprozess dar und greift auf etablierte Ansätze sowie neu entwickelte Ansätze aus den Arbeiten von MoSyS zurück. Hierzu stellt es dem Anwender unterschiedliche Hilfsmittel bereit, um eine effiziente modellbasierte Entwicklung von Architekturen zu unterstützen und bedarfsgerecht einzusetzen. Vorlagen wie Modellierungstemplates, Lösungsmuster oder Referenzkriterien geben Anwendern Anhaltspunkte, wie die unterschiedlichen Fragestellungen der Architekturentwicklung gelöst werden können.

2.19.1.2. Einordnung in MoSyS

Das Rahmenwerk stellt das zentrale Ergebnis von AP 4 dar, welches unterschiedliche Teilergebnisse integriert und miteinander in Beziehung setzt. Dabei wurde es eng mit der Referenzarchitektur aus AP 2 ausgearbeitet und nutzt diese als Ausgangsbasis sowohl für die modellbasierte Vorgehensweise als auch als Grundlage für die Beschreibung von Lösungsmuster. Bild 2-78 gibt einen Überblick über die zentralen Zusammenhänge, wenngleich weitere Arbeitsinhalte in enger Abstimmung erarbeitet wurden, wie bspw. das Änderungsmanagement aus AP 3.

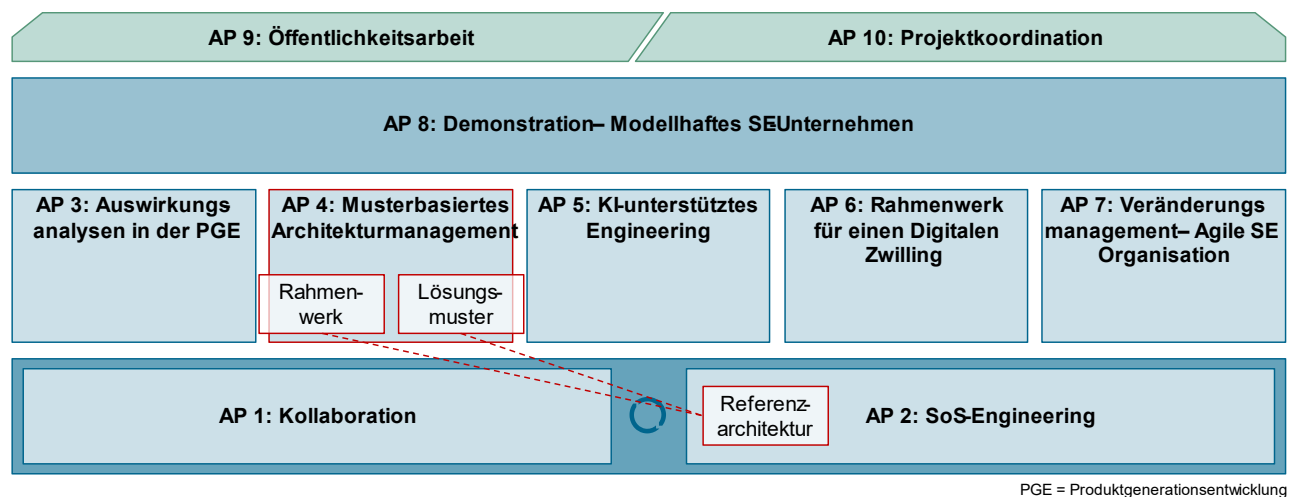


Bild 2-78: Einordnung des Wissensnuggets 2.19 in das MoSyS Projekt

2.19.1.3. Vorgehen

Das Rahmenwerk wurde innerhalb eines Projektteams aus vier Forschungsinstituten, acht Industrieunternehmen und zwei Befähigerunternehmen in verschiedenen Teilarbeitspaketen erarbeitet. Grundsätzlich orientiert sich das Vorgehen zur Erarbeitung des Rahmenwerks sowie der einzelnen Teilaspekte an der Action Design Research Methode nach SEIN et al. [SHP+11]. Diese beschreibt die Entwicklung von neuen Designartefakten anhand von vier Phasen: (1) Problemformulierung, (2) Aufbau, Intervention und Evaluation, (3) Reflexion und (4) Formalisierung. Dabei wird ein Designartefakt über mehrere Zyklen aufgebaut und bspw. durch Anwendung des Artefakts in Beispielen weiterentwickelt.

Die Arbeitsergebnisse bauen sowohl auf der Literatur als auch auf dem Wissen der einzelnen Partner auf. Auf Basis eines initialen Konzepts wurden die einzelnen Teilergebnisse sowohl durch die Reflexion im Rahmen von Beispielanwendungen als auch durch Workshops und Diskussionsrunden weiterentwickelt. Schließlich wurden die Teilergebnisse zu einem gesamten Rahmenwerk integriert und in Workshops und Diskussionsrunden reflektiert. Bild 2-79 fasst das Vorgehen zusammen.

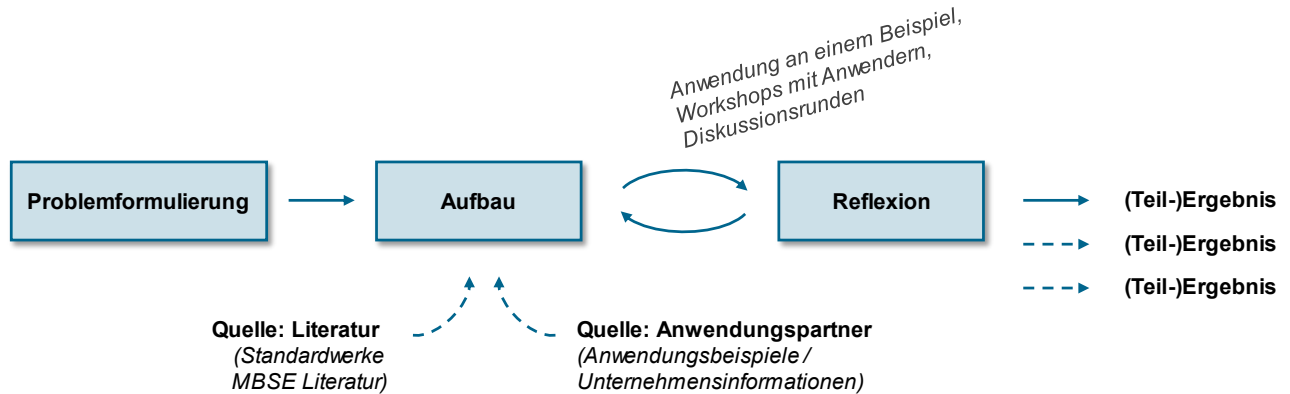


Bild 2-79: Vorgehen zur Entwicklung der (Teil-)Ergebnisse in Anlehnung an SEIN et al. [SHP+11]

2.19.2. Hauptteil

2.19.2.1. Definitionen

Architektur: Eine Architektur umfasst die grundlegenden Konzepte oder Eigenschaften eines Systems in seiner Umgebung, realisiert durch seine Elemente, Beziehungen und die Prinzipien seines Entwurfs und seiner Weiterentwicklung. (ISO 42010, Übersetzung nach GfSE Handbuch)

Architekturmanagement: Das Architekturmanagement umfasst den initialen Entwurf einer Architektur für eine spezifische Problemstellung als auch die Weiterentwicklung einer Architektur über Systemfamilien und -generationen hinaus. Dabei werden übergreifende Problemstellungen wie die Modularisierung von Systemen und Wiederverwendung von Konzepten oder Eigenschaften adressiert. Weitere Aktivitäten des Architekturmanagements sind: Unterstützung der Architekturentwicklung durch Methoden, Richtlinien und Rahmenwerke, Pflege der Bibliotheken der Architekturentwicklung, Pflege der Referenzarchitektur, Modularisierung und Standardisierung von Lösungen, Dokumentation von Architekturentscheidungen.

Lösungsmuster: Ein Muster beschreibt ein in unserer Umwelt immer wieder auftretendes Problem sowie den Kern der Lösung dieses Problems so, dass diese Lösung millionenfach angewendet werden kann, ohne sich jemals zu wiederholen. [AIS+77]

Weitere Informationen	Wiki: Definition Lösungsmuster (https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Definition_und_%C3%9Cbersicht_L%C3%B6sungsmuster) Definition Architektur (https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Definition_Architektur) Veröffentlichungen: [AGW+22] Anacker, H.; Guenther, M.; Wyrwich, F.; Dumitrescu, R.: Pattern based engineering of System of Systems - a systematic literature review: 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE). 07.06.2022 - 11.06.2022, Rochester, NY, USA, IEEE, 2022, S. 178–183

2.19.2.2. Ergebnisse

Das Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement umfasst mehrere Hilfsmittel und unterstützende Ansätze um Entwicklungsprojekte effizient und bedarfsgerecht durchzuführen. Diese gliedern sich in drei Phasen, die ein jedes Projekt durchläuft: Projektstart, Projektdurchführung und Projektabschluss. Insgesamt wurden neun Artefakte entwickelt, die diese Phasen unterstützen. Bild 2-80 gibt einen Überblick über das Rahmenwerk, in dem die Artefakte entsprechend der Projektphase angeordnet sind. Artefakte, die in einem logischen Zusammenhang stehen und teils zusammen als Teilergebnis erarbeitet wurden, sind durch eine gestrichelte Linie gekennzeichnet.

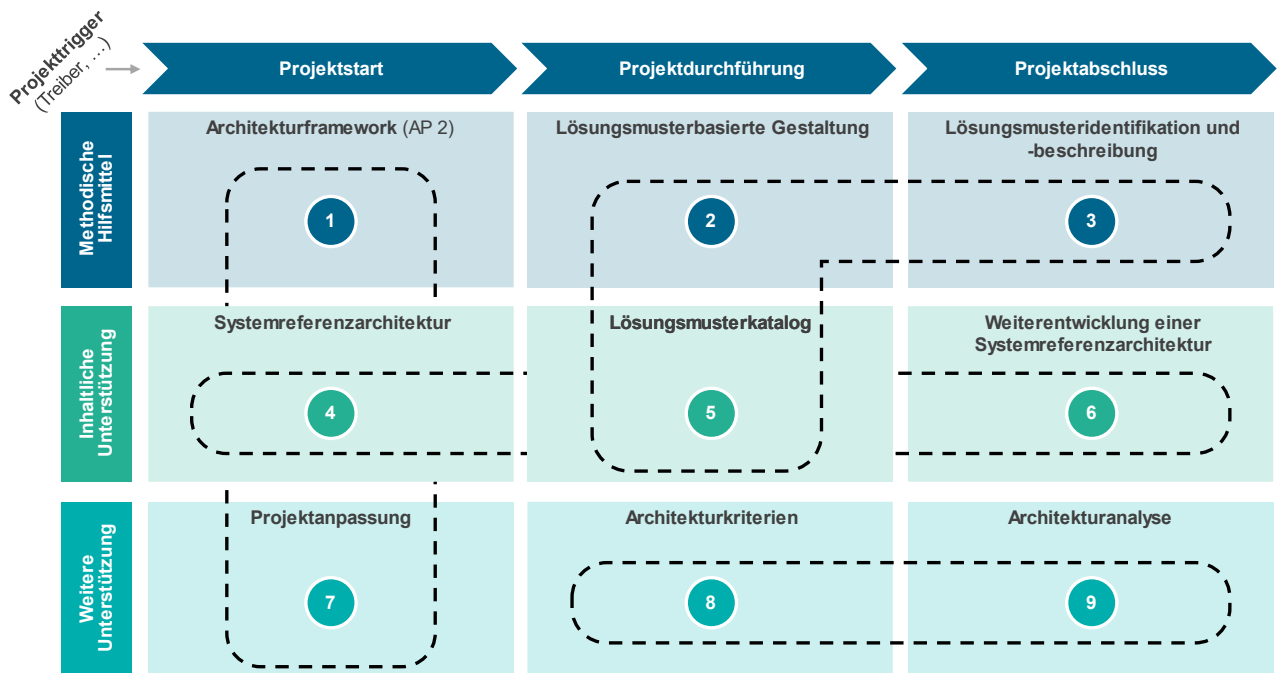


Bild 2-80: Übersicht Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement

Im Folgenden wird auf die vier übergeordneten Ergebnisse des Rahmenwerks eingegangen. Kapitel 2.19.2.2.1 fasst die Ergebnisse des Architekturframeworks und des Vorgehens zur Projektanpassung zusammen (Artefakt 1 und 7). In Kapitel 2.19.2.2.2 wird der Ansatz zur Etablierung und Nutzung einer Systemreferenzarchitektur als Ausgangsbasis für ein Projekt beschrieben. Kapitel 2.19.2.2.3 gibt einen Kurzüberblick zum Ansatz der Lösungsmuster und verweist auf weitere Dokumente, in denen das Ergebnis detailliert beschrieben wird. Schließlich wird in Kapitel 2.19.2.2.4 auf das Thema Architekturkriterien und die Analyse von Architekturen mithilfe eines Reifegradmodells eingegangen.

Weitere Informationen	Links: Codegenerierung aus MBSE-Modell – Musterbasiertes Architekturmanagement https://www.youtube.com/watch?v=7Lc_AYYZmo0 Musterbasiertes Architekturmanagement https://www.youtube.com/watch?v=R0qy1LErKzY

2.19.2.2.1. Architekturframework und Projektanpassung

Das Architekturframework wurde in enger Zusammenarbeit mit AP 2 und 3 erarbeitet. Es hat das Ziel, technische Systeme und deren Zusammenhänge zu beschreiben und somit die Entwicklung zu unterstützen. Dabei baut es auf den Ansätzen des modellbasierten Systems Engineering (MBSE) auf und stellt die Nutzung von Modellen in das Zentrum der Entwicklung.

Hierzu wurde ein Sprachkonzept (Ontologie) entwickelt, welches die notwendigen Beschreibungselemente zur Beschreibung von unterschiedlichen Aspekten technischer Systeme umfasst (Bild 2-81). Die Beschreibungselemente wurden sowohl in Cameo als auch iQuavis implementiert und stehen somit zur Modellierung von Zusammenhängen als Ausgangsbasis zur Verfügung. Insgesamt sieben Bereiche strukturieren die Elemente, die zur Beschreibung der Zusammenhänge der im Forschungsprojekt MoSyS analysierten Systeme notwendig sind:

1. Der **Problemraum** umfasst Beschreibungselemente, die die initiale Aufgabenstellung näher beschreiben und zur Analyse der Ausgangssituation genutzt werden. U.a. werden neben den Stakeholdern auch das Umfeld des Systems und die Anwendungsfälle analysiert.
2. Zur Beschreibung von SoS-spezifischen Aspekten, werden im **SoS 1-Bereich** unternehmensübergreifende Zusammenhänge beschrieben. Dabei wird nicht nur ein eigenständiges System betrachtet sondern der Fokus auf die Interaktion zwischen mehreren Systemen gelegt.
3. Der **SoS 2-Bereich** ermöglicht die Beschreibung von lösungsneutralen Zusammenhängen auf Systemverbundebene. Dazu werden Rollen, Fähigkeiten und Verträge als Beschreibungselemente zur Verfügung gestellt.
4. Produktionsspezifische Beschreibungselemente werden im Bereich **Produktion** gebündelt.
5. Der Bereich **Produkt** umfasst die Elemente zur Beschreibung von technischen Produkten.
6. Um Inhalte bezüglich der Verifikation und Validierung beschreiben zu können, wird im **V&V-Bereich** zusätzliche Beschreibungselemente, wie Testfall, Validierungsziel oder auch die Testumgebung zur Verfügung gestellt.
7. Als Ergänzung umfasst der Bereich **Übergreifend** Aspekte aus dem Ansatz des Änderungsmanagements, der schwerpunktmäßig in AP 3 betrachtet wird.

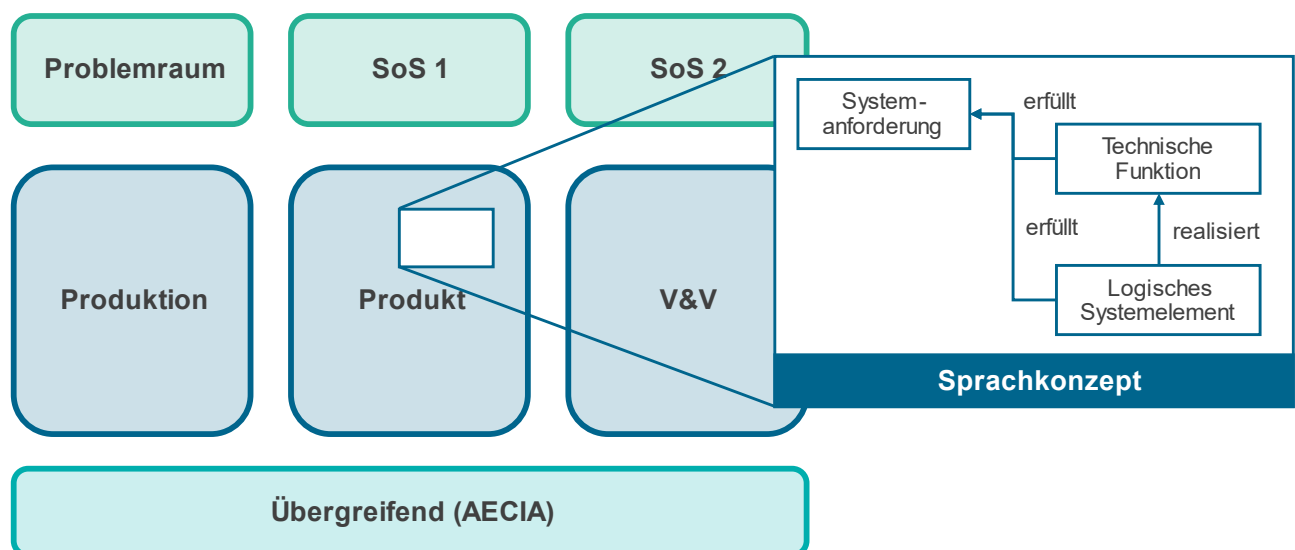


Bild 2-81: Überblick Architekturframework (AP 2)

Das Architekturframework bietet für sämtliche Anwendungsfälle, die in MoSyS analysiert wurden eine Ausgangsbasis zur Spezifikation der Architektur. Je nach Anwendungsfall und Modellierungsziel sind jedoch nicht sämtliche Beschreibungselemente notwendig. Daher findet zu Projektstart ein **Tailoring** auf die relevanten Aspekte statt. Dafür werden einzelne Bereiche ausgewählt, die zur Beschreibung der Zusammenhänge benötigt werden. Diese folgen folgender Logik:

- **Ziel 1 „Systemgestaltung“:** Problemraum, Produkt
- **Ziel 2 „Produkt-Produktions-CoDesign“:** Problemraum, Produkt, Produktionssystem
- **Ziel 3 „Produktionssystemgestaltung“:** Problemraum, Produktionssystem
- **Ziel 4 „Systemgestaltung mit V&V“:** Problemraum, Produkt, V&V
- **Ziel 5 „Unternehmensgetriebene SoS-Gestaltung“:** SoS 1
- **Ziel 6 „SoS-Gestaltung im SoS-Team“:** SoS 2

Die sechs Ziele stellen typische Nutzungsfälle des Architekturframeworks im Rahmen der Architekturentwicklung dar. Sie bieten somit eine gute Auswahlmöglichkeit zur Nutzung des Architekturframeworks aus AP 2 im Rahmen des musterbasierten Architekturmanagements. Die sechs Ziele schließen jedoch keine weitere Kombination von Bereichen aus, sondern geben einen ersten Anhaltspunkt. Je nach Bedarf, können weitere Bereiche zusätzlich hinzugenommen werden.

Weitere Informationen	Digitaler Anhang: • Ziel 14 SoS-Referenzarchitektur Veröffentlichungen: [MGM+22] Mandel, C.; Guenther, M.; Martin, A.; Windisch, E.; Bursac, N.; Rapp, S.; Anacker, H.; Albers, A.: Towards a System of Systems Engineering Architecture Framework: 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE). 07.06.2022 - 11.06.2022, Rochester, NY, USA, IEEE, 2022, S. 221–226 [SGM+23] Schäfer, L.; Günther, M.; Martin, A.; Lüpfer, M.; Mandel, C.; Rapp, S.; Lanza, G.; Anacker, H.; Albers, A.; Köchling, D.: Systematics for an Integrative Modelling of Product and Production System: 16th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering '22, 2023, S. 104–109 [WMG+24] Wiecher, C.; Mandel, C.; Günther, M.; Fischbach, J.; Greenyer, J.; Greinert, M.; Wolff, C.; Dumitrescu, R.; Mendez, D.; Albers, A.: VORLÄUFIG - Model-based Analysis and Specification of Functional Requirements and Tests for Complex Automotive Systems, 2024 [GGH+23] Günther, M.; Göllner, D.; Heihoff-Schwede, J.; Anacker, H.; Dumitrescu, R.: Engineering und Management von Systems of Systems – Gestaltungskonzepte im SoS-Engineering. In: Koch, W.; Wilke, D.; Dreiseitel, S.; Kaffenberger, R. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering, 2023, S. 137–143

2.19.2.2.2. Systemreferenzarchitektur

Die Ausarbeitung einer System-Referenzarchitektur bietet Unternehmen die Chance, die Effizienz und Einheitlichkeit ihrer Produktentwicklungsprozesse zu steigern. Dabei werden bestehende Architekturen und die zugrundeliegenden Ziele sorgfältig analysiert und zusammengeführt, um ein robustes Fundament für die Entwicklungsarbeit zu legen. Diese Architektur dient als Orientierungsrahmen und vereint die Stabilität bewährter Systeme mit der Dynamik organisatorischer Zielsetzungen, um eine zukunftsorientierte und flexible Architekturlösung zu gewährleisten. Hierbei sind Kompromisse

zwischen etablierten Strukturen und neuen strategischen Ausrichtungen unerlässlich, um eine Referenzarchitektur zu schaffen, die Beständigkeit und Innovation in Einklang bringt. Bild 2-82 visualisiert die Zusammenhänge zwischen den Einflussgrößen und der Systemreferenzarchitektur, die sich wechselseitig beeinflussen.

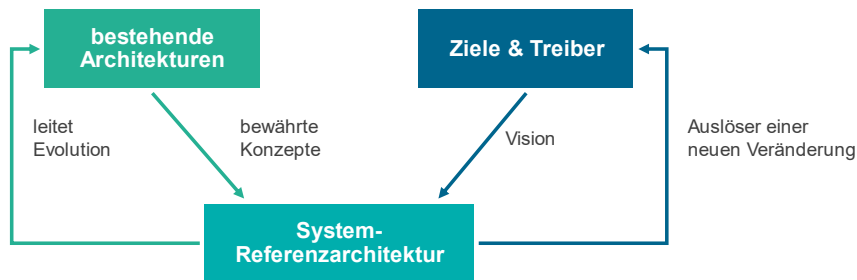


Bild 2-82: Zusammenhang zwischen Einflussgrößen und der System-Referenzarchitektur (in Anlehnung an [CMV+09])

Im Rahmen von MoSyS wurde ein generisches Vorgehen entwickelt, um System-Referenzarchitekturen zu entwickeln (Bild 2-83). Das Vorgehen berücksichtigt die verschiedenen Einflussgrößen und konsolidiert diese zu einer Systemreferenzarchitektur. Hierzu wurde ein fünfstufiges Vorgehen entwickelt. Zunächst werden in Schritt 1 die Ziele und Treiber der Systemreferenzarchitekturentwicklung analysiert. Diese werden im nächsten Schritt konkretisiert und weitere Kriterien erfasst. Schritt 3 berücksichtigt die Grundlagen und Rahmenbedingungen einer System-Referenzarchitektur, die durch bestehende Strukturen gegeben sind. Diese sind vielfältig und umfassen sowohl technische als auch organisatorische Strukturen, wie bspw. Abteilungsstrukturen. Hintergrund sind Wechselwirkungen zwischen technischen und organisatorischen Strukturen, wie sie u.a. durch Conway's Law beschrieben werden [Con68]. In Schritt 4 werden schließlich die Referenzelemente als bestmögliche Kompromisse zwischen den bestehenden Strukturen aus Schritt 3 und den in Schritt 1 und 2 identifizierten Zielen, Treibern und Kriterien definiert.

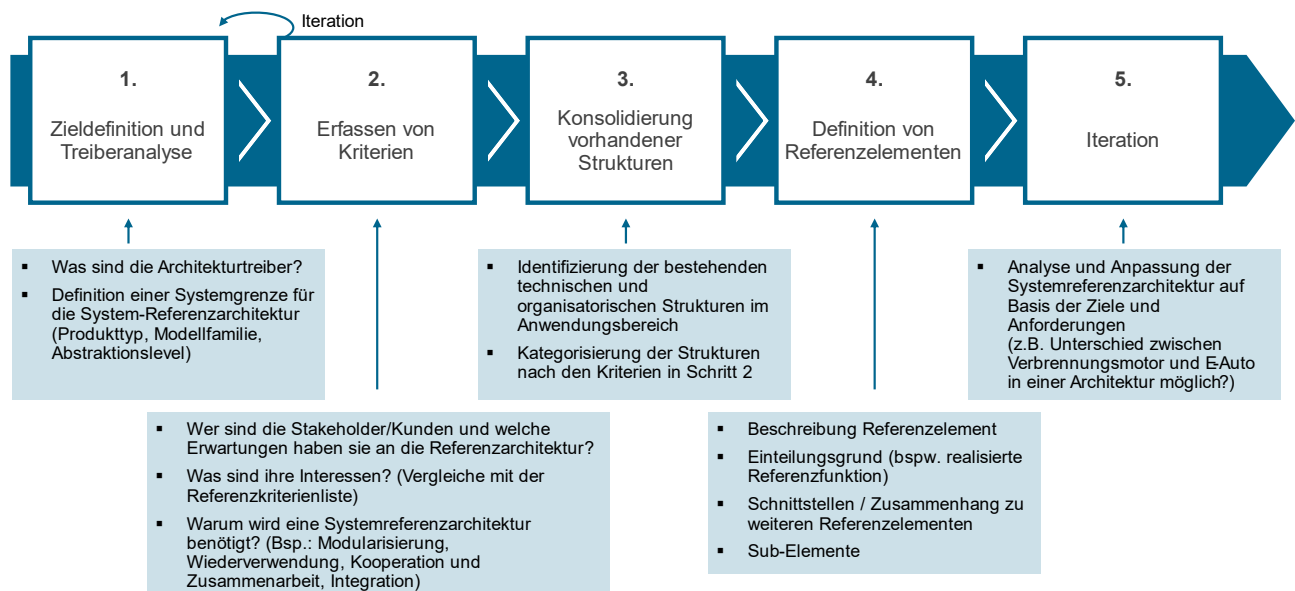


Bild 2-83: Vorgehen zur Entwicklung einer Systemreferenzarchitektur

Als ergänzendes Hilfsmittel für die Anwendung des Vorgehens wurde auf Basis der Anwendungsfälle sowie Literaturquellen eine Referenzkriterienliste entwickelt, die Anwender bei der Entwicklung von Systemreferenzarchitekturen unterstützen. Die Liste umfasst sieben Kriterien, die jeweils kurz beschrieben sind:

1. **Wiederverwendung:** Die Wiederverwendung zielt darauf ab, Aspekte der Architektur wiederzuverwenden. Dies können einzelne Entwicklungsumfänge, Lösungs-Know-how sowie ganze Modellinhalte oder Komponenten sein.
2. **Modularisierung:** Die Modularisierung zielt darauf ab, Funktionsumfänge in abgegrenzten Modulen zusammenzufassen. Ziel ist es, Abhängigkeiten von anderen Systemen zu verringern und Module austauschbar zu machen, ohne benachbarte Aspekte zu beeinträchtigen.
3. **Standardisierung:** Die Standardisierung zielt auf die Vereinheitlichung von Aspekten der Architektur über mindestens zwei Aspekte hinweg (Schnittstellen, Systeme, Verfahren, Funktionen, ...). Die Standardisierung sollte zwischen mindestens zwei Parteien vereinbart werden.
4. **Rahmenbedingungen für die Entwicklung:** Es definiert Einschränkungen für ein bestimmtes Systemelement, um die Konformität innerhalb des Gesamtsystems zu gewährleisten. Systemreferenzarchitekturen legen technologische und strategische Grenzen und Abhängigkeiten zwischen internen und externen Lieferanten offen.
5. **Harmonisierung der Systementwicklung:** Die Harmonisierung von Systementwicklungen zielt darauf ab, Konsistenz zwischen Entwicklungsteams, Entwicklungszyklen und einem klaren und überschaubaren Umfang zu gewährleisten.
6. **Harmonisierung des Produktportfolios:** Portfolioübersicht und Zuordnung von Überschneidungen/Abhängigkeiten einzelner Produktfamilien (innerhalb von Familien und über Portfolios hinweg).
7. **Schnittstellenmanagement:** Die Schnittstellenharmonisierung zielt darauf ab, klare Schnittstellen zu definieren, die von allen Beteiligten akzeptiert werden und stabil sind.

Die Systemreferenzarchitektur ist die Ausgangsbasis für spezifische Entwicklungsprojekte. Durch die Instanziierung der Systemreferenzarchitektur wird ein Projekt aufgesetzt und die entsprechenden Organisationseinheiten eingebunden. Jedes Projekt entwickelt neue Lösung und neues Wissen wird generiert. Hierdurch entwickelt sich auch die System-Referenzarchitektur stetig weiter. Entsprechend der in Bild 2-84 visualisierten Vorgehensweise, müssen neue Zusammenhänge und relevante Aspekte im Projektende wieder zurückgeführt werden. So stehen die Projekte und die System-Referenzarchitektur in kontinuierlichen Wechselwirkungen, wobei die Grundstrukturierung der Referenz eingehalten werden sollte.

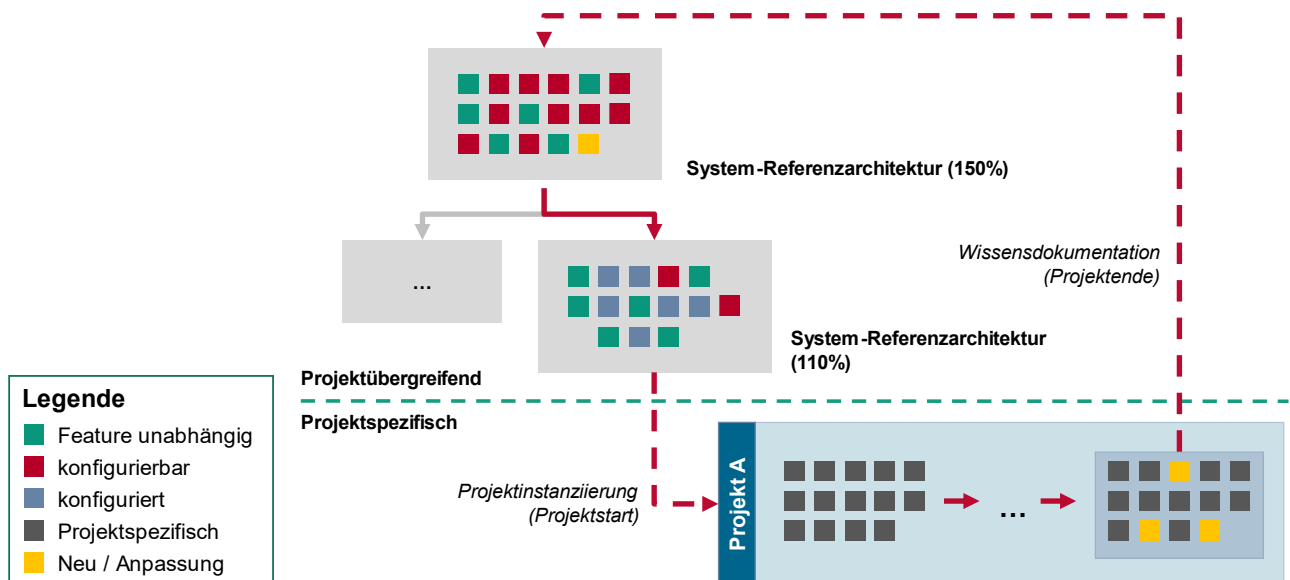


Bild 2-84: Nutzungskonzept der System-Referenzarchitektur

Weitere Informationen	Wiki: Definition von System-Referenzarchitekturen (https://websites.fraunhofer.de/mo-sys/index.php/Definition_von_System-Referenzarchitekturen)

Digitaler Anhang:

- [AP 4 - Systemreferenzarchitektur.pdf](#)

2.19.2.2.3. Lösungsmusterbasierte Gestaltung

Im Rahmen des musterbasierten Architekturmanagements wird der konsequente Einsatz von Lösungsmustern verfolgt. Hierzu wird eine Wissensbasis in Form eines initialen Lösungsmusterkatalogs zur Verfügung gestellt, der die Gestaltung von komplexen Systemen unterstützt. Lösungsmuster sind wiederkehrende Lösungen, die auf unterschiedliche Probleme anwendbar sind. Hierzu werden sie in einer einheitlichen und **generalisierten** Form aufbereitet, um einen breiten Nutzen zu erzielen.

Die entstandenen Lösungsmusterkataloge können zum einen als Inspiration für neue Entwicklungsvorgänge, als auch im Rahmen der eigentlichen Gestaltung genutzt werden. Dabei wird die Effizienz der Entwicklung durch die Wiederverwendung von Wissen erhöht und gleichzeitig die Innovationsfähigkeit durch die explizite Darstellung von alternativen Lösungsmustern gefördert. Diese geben Anwendern die Möglichkeit, etablierte Lösungen zu hinterfragen und Muster aus vergleichbaren Fragestellungen zu nutzen. Für eine ganzheitliche Etablierung des Musterkonzepts ist die kontinuierliche Aufbereitung von neuem Wissen in Form von Mustern essenziell. Bild 2-85 gibt einen Überblick über das Nutzungskonzept des Lösungsmusterkatalogs im Rahmen der Gestaltung. Detaillierte Informationen zu Lösungsmustern und den entstandenen Katalogen werden in separaten Dokumenten erläutert.



Bild 2-85: Lösungsmuster im Gestaltungsprozess

Weitere Informationen**Wissensnuggets:**

- [Lösungsmuster im Kontext SoS](#)
- [Lösungsmusterkatalog Smart Products, Produktion, V&V](#)

2.19.2.2.4. Architekturkriterien

Die Architekturentwicklung hat das Ziel ein optimales Konzept für die Bedarfe der Stakeholder zu entwickeln. Dabei werden an unterschiedlichen Stellen alternative Lösungswege identifiziert, die

durch Fortschritte in der Technologie immer vielfältiger werden. Architekturentwicklerinnen und -entwickler stehen vor der Herausforderung innerhalb der Projektrahmenbedingungen die optimale Alternative zu identifizieren und auszuwählen. Um diesen Prozess zu unterstützen, wurde eine Bewertungssystematik entwickelt, die an unterschiedlichen Stellen der Architekturentwicklung angewandt werden kann.

Die Bewertungssystematik für Architekturalternativen umfasst vier Schritte:

1. **Bedarf für Architekturalternativen erkennen:** Die Ziele und Anforderungen an eine Architektur sind nicht eindeutig oder es bestehen Zielkonflikte, sodass ein Bedarf zur Entwicklung unterschiedlicher Konzepte (Architekturalternativen) besteht.
2. **Abstimmung und Priorisierung einer bestimmten Anzahl von Architekturalternativen:** Die Entwicklung von Alternativen ist aufwändig. Es ist wichtig, die Anzahl an Alternativen frühzeitig einzugrenzen und sich auf die wichtigsten zu beschränken.
3. **Ausarbeitung der Architekturalternativen:** Die Ausarbeitung erfolgt anhand der etablierten Vorgehensweisen zur Entwicklung von Architekturen.
4. **Bewertung der Architekturalternativen anhand von Architekturkriterien:** Die entwickelten Architekturalternativen werden anhand von Architekturkriterien bspw. mithilfe einer Nutzwertanalyse bewertet. Die Alternativen mit dem höchsten Nutzwert bietet die erfolgversprechendste Alternative.

Zur Unterstützung der Alternativenentwicklung, wurde eine Referenzkriterienliste mit insgesamt 53 Architekturkriterien entwickelt. Diese kann als Ausgangsbasis für die Diskussion mit Stakeholdern genutzt werden, in dem die Bedarfe der Stakeholder in konkrete Kriterien überführt werden. Hierzu können Referenzkriterien ausgewählt und gemeinsam mit den Stakeholdern priorisiert werden.

Die Kriterien wurden in insgesamt sieben Cluster überführt, die die Identifizierung der Kriterien erleichtern. Zusätzlich kann die Priorisierung über ein zweistufiges Verfahren erfolgen. Dafür kann zunächst die übergeordneten Cluster priorisiert werden und anschließend die Feinpriorisierung der Kriterien durchgeführt werden. Dies erhöht den Nutzen der Referenzkriterienliste. Folgende Cluster wurden identifiziert:

1. Modularität (U.a. hohe Kohäsion, geringe Kopplung, Anzahl der Schnittstellen)
2. Sicherheit (Security, Safety)
3. Qualität (U.a. Wartbarkeit, Zuverlässigkeit, Robustheit)
4. Nachhaltigkeit (U.a. Zukunftsfähigkeit, Erweiterbarkeit, Nutzen)
5. Wiederverwendung (U.a. Variantenreduktion, Kompatibilität zu anderen Systemen, Verfügbarkeit)
6. Unternehmensziele (U.a. Make-or-Buy, Unterstützung der Unternehmensstrategie, Risiko)
7. Organisation (U.a. Organisationsfit, Vertriebsunterstützung, Portfoliomanagement)

Um darüber hinaus eine Hilfestellung hinsichtlich der Bewertung der Architekturentwicklung im Rahmen von Projekten zu geben, wurde ein Reifegradmodell entwickelt. Das Reifegradmodell ist als universelles Instrument konzipiert, das Projekten eine strukturierte Unterstützung bietet, ohne sich auf spezifische Designtechniken zu beschränken. Die Festlegung der anzustrebenden Reifegrade erfolgt individuell für jedes Projekt und dient als Orientierungsmaßstab für die Bewertung der projektspezifischen Architekturen. Es ist nicht erforderlich, dass ein Projekt in allen Ebenen die höchste Reifegradstufe erreicht; vielmehr sollten die Reifegrade in einem sinnvollen Verhältnis zueinander stehen und sich gegenseitig bedingen. Designtechniken können für verschiedene Bereiche definiert werden, um als Referenz für die einzelnen Reifestufen zu dienen und somit den Prozess der Architekturbewertung

zu erleichtern. Zur Nutzung des Reifegradmodell im Kontext von Architekturentwicklungsprojekten, wurde ein Vorgehen entwickelt (Bild 2-86).

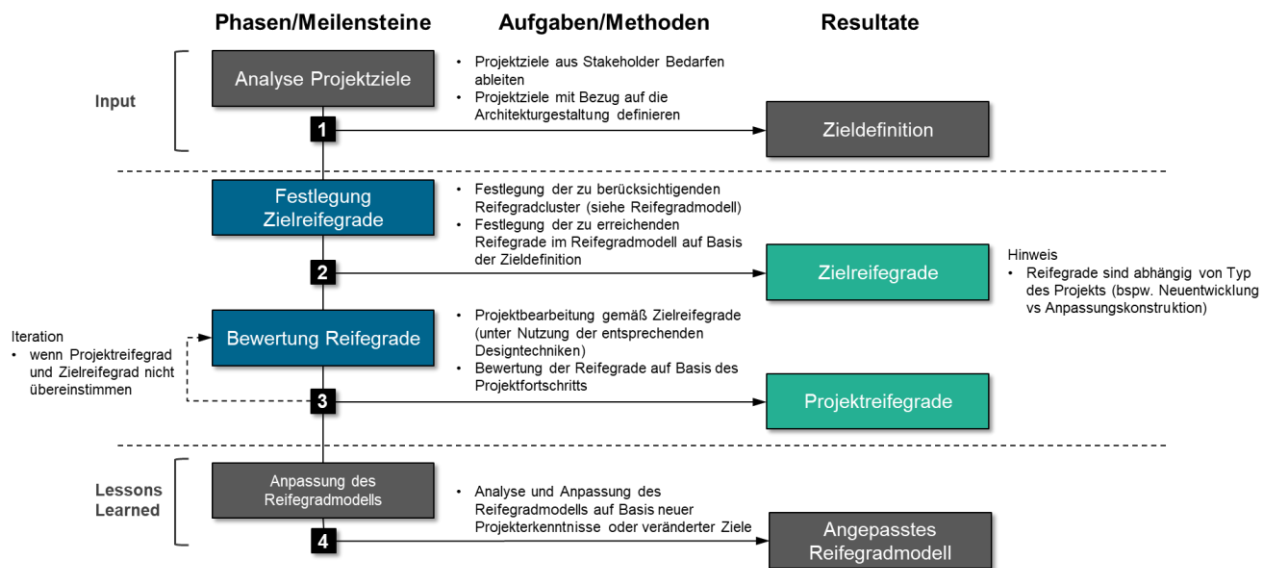


Bild 2-86: Vorgehensmodell zur Nutzung des Architektureifegradmodells zur Bewertung von Architekturen

Das Reifegradmodell selbst umfasst drei Kriteriencluster, die im Zusammenhang zu den in AP 2 erarbeiteten Architekturframeworks stehen. Ein Auszug ist in Bild 2-87 dargestellt.

Kriterien (Cluster)	0	1	2	3	4
Architekturprozess	Kein Architekturprozess vorhanden, Architekturprozess wird sporadisch und je nach Kenntnisstand des Mitarbeiters durchgeführt	Gemeinsame Vorstellung über den Architekturprozess für ein einzelnes Projekt (unterschiedlichen Umfangs)	Architekturprozess ist mit allen Stakeholdern besprochen, abgestimmt und formal definiert	Architekturprozess ist etabliert und wird von allen Beteiligten gelebt und weiterentwickelt	
Architekturframework (Ontologie, Viewpoints)	Keine Beschreibung / Vorgaben	Die Sichten einer Architektur sind definiert	Die Architektur folgt einem Sichtenkonzept mit zugehörigen Ontologeelementen	Die Architekturbeschreibung wird durch Tools und Templates unterstützt	Die Architektur vollständig an Frameworks : und kann tool simuliert/ ana werden
Standardisierung (Normen, Richtlinien)	Keine Betrachtung	Standards für Architekturprozess und -framework sind bekannt	Architekturprozess und -framework sind dokumentiert	Projektteilnehmer sind für Architekturprozess und -framework geschult	Standards für Architekturpro framework we angewandt

Bild 2-87: Auszug aus dem Reifegradmodell zur Bewertung von Architekturen

Weitere Informationen	Wiki: Bewertungskriterien und -systematik: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Bewertungskriterien_und_-systematik Digitaler Anhang: • AP4-4_Bewertungskriterien.pdf • AP4-4_Reifegradmodell.pdf

2.19.3. Diskussion und Ausblick

Das Rahmenwerk erweitert den klassischen Gedanken des Architekturmanagements um neue integrierte Ansätze, wie den Einsatz von Systemreferenzarchitekturen und Lösungsmuster. Die unterschiedlichen Hilfsmittel bieten Anwendern die Möglichkeit effiziente Prozesse zu etablieren. Als allgemeingültiger Ansatz stellt das vorgestellte Rahmenwerk eine gute Basis bereit, um das Architekturmanagement in Unternehmen weiterzuentwickeln. Hierzu muss es jedoch auf die spezifischen Rahmenbedingungen im Unternehmen adaptiert werden. Dabei können bspw. unternehmensspezifische Architekturkriterien oder Lösungsmuster in die Wissensbasis aufgenommen werden und somit die Anwendbarkeit und den Nutzen für das Architekturmanagement erhöhen.

Auch wenn einzelne Teile des Rahmenwerks in unterschiedlichen Beispielen prototypisch angewandt und getestet wurde, ist eine ganzheitliche Evaluation nicht erfolgt. Dies hängt mit der Vielzahl an einzelnen Maßnahmen zusammen, die unterschiedliche Bereiche in Unternehmen betreffen. Auch sollte bei der Einführung des Rahmenwerks in Unternehmen sukzessive einzelne der hier beschriebenen Ansätze eingeführt und etabliert werden.

Für zukünftige Forschungsvorhaben bieten sich zahlreiche Anknüpfungspunkte. Mit der Verbreitung der Modellierung und digitaler Daten stehen immer größere Datensätze zur Verfügung die die Mustererkennung durch Ansätze wie dem Data-Mining ermöglichen. Dies bietet sowohl für die Identifikation von Systemreferenzarchitekturen als auch von Lösungsmustern ein großes Potential.

Literaturverzeichnis

- [AIS+77] Alexander, C.; Ichikawa, S.; Silverstein, M.; Jacobson, M.; Fiksdahl-King, I.; Angel, S.: A pattern language – Towns, Buildings, Construction. 41st Edition, Oxford University Press; Oxford Univ. Press, Vol. 2 New York, NY, 1977
- [CMV+09] Cloutier, R.; Muller, G.; Verma, D.; Nilchiani, R.; Hole, E.; Bone, M.: The Concept of Reference Architectures. Systems Engineering, 2009, n/a-n/a
- [Con68] Conway, M. E.: How do committees invent? Datamation, 14(4), 1968 S. 28–31
- [SHP+11] Sein, M. K.; Henfridsson, O.; Purao, S.; Rossi, M.; Lindgren, R.: Action Design Research: MIS Quarterly, 2011

2.20. Lösungsmuster im Kontext SoS

2.20.1. Einleitung

2.20.1.1. Zielsetzung

Die Digitalisierung führt zu einem stetigen Anstieg der Informations- und Kommunikationstechnologie in technischen Systemen, was zu einer zunehmenden Komplexität führt. Durch den Einsatz leistungsstarker Hardware und Vernetzungstechnologien können diese Systeme mittlerweile (teilweise) autonom agieren und sich dynamisch in Systemverbünden vernetzen. Dadurch können Aufgaben gelöst werden, die ein einzelnes System nicht bewältigen kann. Diese Zusammenschlüsse unabhängiger Systeme, die zeit- und ortsabhängig zusammenarbeiten, werden als "System of Systems" bezeichnet. Das Engineering von SoS stellt Unternehmen vor zahlreiche Herausforderungen, da sie über ihre eigenen Grenzen hinaus zusammenarbeiten und Aufgaben lösen müssen. Hierzu wird Wissen zur Lösung dieser Aufgaben benötigt. Das Ziel ist daher, bereits etablierte und immer wiederkehrende Lösungen in Form von Lösungsmustern zu explizieren und für die Gestaltung von SoS zur Verfügung zu stellen.

2.20.1.2. Einordnung in MoSyS

Der Lösungsmusteransatz stellt eine zentrale Herangehensweise im AP 4 dar (siehe Bild 2-88). Erkenntnisse hinsichtlich der Lösungsmuster im Kontext von SoS werden daher insbesondere für das Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement und den Lösungsmusterkatalogen von Smart Products, Idustrrie 4.0 und V&V genutzt. Dabei werden die Erkenntnisse auch mit der Referenzarchitektur gespiegelt und fließen dort in die Strukturierung und Definition von Beschreibungselementen für SoS-spezifische Zusammenhänge mit ein.

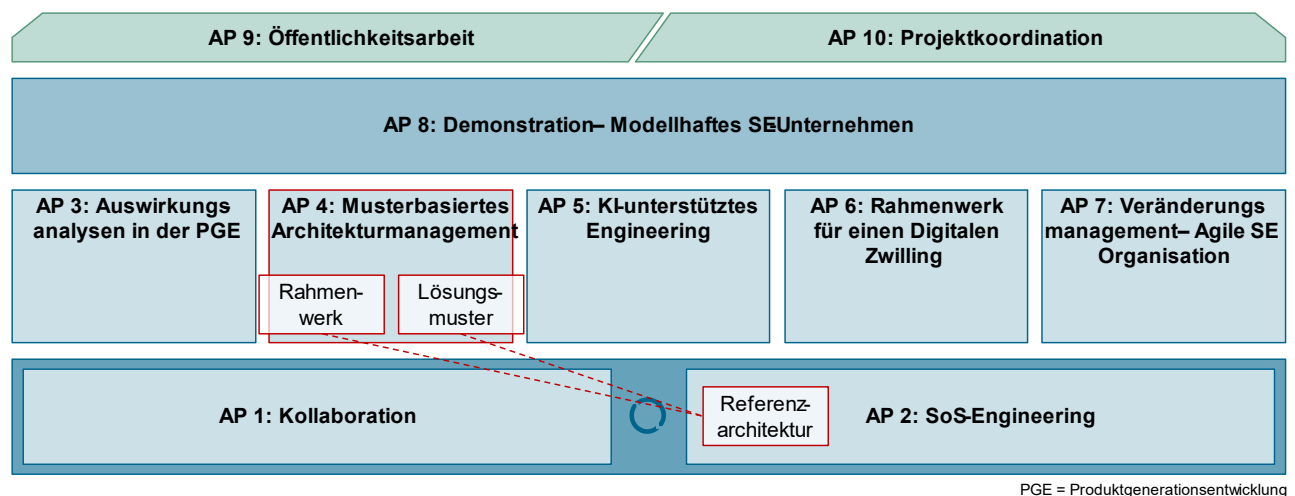


Bild 2-88: Einordnung des Wissensnuggets 2.20 in das MoSyS Projekt

2.20.1.3. Vorgehen

Die Ergebnisse basieren sowohl auf einer systematischen Literaturanalyse zum Thema *Lösungsmusterbasierter Entwurf von System of Systems* als auch auf der systematischen Analyse von Anwendungsfällen der Anwendungspartner. Im Rahmen der Projektlaufzeit wurden zahlreiche Diskussionsrunden und Workshops durchgeführt. Neben der Analyse der Ausgangsbasis wurden das Lösungsmusterkonzepte weiterentwickelt und für die spezifischen Bedarfe der Unternehmen angepasst. Im folgenden wird ein Überblick über System of Systems und den hierfür angepassten Lösungsmusteransatz gegeben.

2.20.2. Hauptteil

2.20.2.1. Definitionen

Lösungsmuster: Ein Muster beschreibt ein in unserer Umwelt immer wieder auftretendes Problem sowie den Kern der Lösung dieses Problems so, dass diese Lösung millionenfach angewendet werden kann, ohne sich jemals zu wiederholen. [AIS+95]

System of Systems: „Ein SoS ist ein Verbund aus mehreren Systemen oder Komponenten, die miteinander interagieren und kommunizieren, um eine übergeordnete Aufgabe zu erfüllen.“ [AGW+22, S. 180]

Weitere Informationen	Wiki: Definition Lösungsmuster: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Definition_und_%C3%9Cbersicht_L%C3%B6sungsmuster Veröffentlichungen: [AGW+22] Anacker, H.; Guenther, M.; Wyrwich, F.; Dumitrescu, R.: Pattern based engineering of System of Systems - a systematic literature review: 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE). 07.06.2022 - 11.06.2022, Rochester, NY, USA, IEEE, 2022, S. 178–183

2.20.2.2. Ergebnisse

Die folgenden Ergebnisse sind die Grundlagen für die Lösungsmusterbasierte Gestaltung von SoS. Sie gliedern sich in das Rahmenwerk musterbasierter Entwurf ein und fokussieren die einheitliche Strukturierung von Lösungsmuster sowie die Systematik zur Identifikation und Nutzung von Lösungsmustern (Bild 2-89).



Bild 2-89: Übersicht Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement

Weitere Informationen	Links: Codegenerierung aus MBSE-Modell – Musterbasiertes Architekturmanagement https://www.youtube.com/watch?v=7Lc_AYYZmo0 Musterbasiertes Architekturmanagement https://www.youtube.com/watch?v=R0qy1LErKzY System of Systems https://www.youtube.com/watch?v=NGd8M1pFwCw Merkmale von System of Systems https://www.youtube.com/watch?v=l5ilaTUGvRw

2.20.2.2.1. System of Systems

Ein System of Systems ist ein Verbund aus mehreren Systemen, die miteinander interagieren und kommunizieren. Sie unterscheiden sich von einem Einzelsystem in acht Merkmalen [AGW+22]:

- **Managementunabhängigkeit:** Die interagierenden Systeme verhalten sich nach eigenen Regeln, die von unabhängigen Managements gesetzt werden.
- **Operative Unabhängigkeit:** Die betriebliche Eigenständigkeit beschreibt die Möglichkeit, dass die interagierenden Systeme unabhängig von anderen Systemen einen Zweck oder eine Aufgabe erfüllen können, ohne von anderen Systemen beeinflusst zu werden
- **Verteilung:** Die (geografische) Verteilung beschreibt die räumliche Distanz zwischen interagierenden Systemen, welche im größtmöglichen Ausmaß eine ausschließlich auf Information basierten Interaktion über große Entfernungen darstellen kann.
- **Weiterentwicklung (Evolution):** Der Großteil der SoS ist langlebig und verändert sich im Laufe der Zeit. Zum einen können sich die Funktionalitäten und deren Qualität ändern, zum anderen ändert sich die Struktur und die Zusammensetzung eines SoS.
- **Dynamische Rekonfiguration:** Die dynamische Rekonfiguration beschreibt die Fähigkeit, die Struktur und die Zusammensetzung des SoS zu ändern, ohne jeglichen Eingriff von außen.
- **Emergentes Verhalten:** Im Zusammenhang mit SoS bezieht sich die Emergenz auf das Verhalten, das sich aus dem Zusammenwirken von interagierenden Systemen ergibt. Das resultierende Verhalten ermöglicht eine höhere Funktionalität als die interagierenden Systeme eigenständig bereitstellen können.
- **Interdependenz:** Die Interdependenz beschreibt die gegenseitige Abhängigkeit zwischen den interagierenden Systemen zur Erfüllung des Ziels des SoS. Weicht das individuelle Ziel der einzelnen Systeme vom Gesamtziel des SoS ab, so verzichten die interagierenden Systeme einen Teil ihres eigenen Verhaltens, um die Anforderungen des SoS zu erfüllen.
- **Interoperabilität:** Um einen Verbund von Systemen zu bilden, muss das SoS in der Lage sein, eine Auswahl heterogener Systeme einzubinden. Dazu gehören die Integration und Anpassung von Schnittstellen, Standards und Protokollen, um alte und neue Systeme zu verbinden [AGW+22].

Die Merkmale wurden im Rahmen von MoSyS durch die Analyse von Anwendungsbeispielen der Partnerunternehmen sowie Literaturbeispiele untersucht. Hierzu wurden die Beispiele in Form von Steckbriefen dokumentiert und die Merkmale bewertet (Bild 2-90).

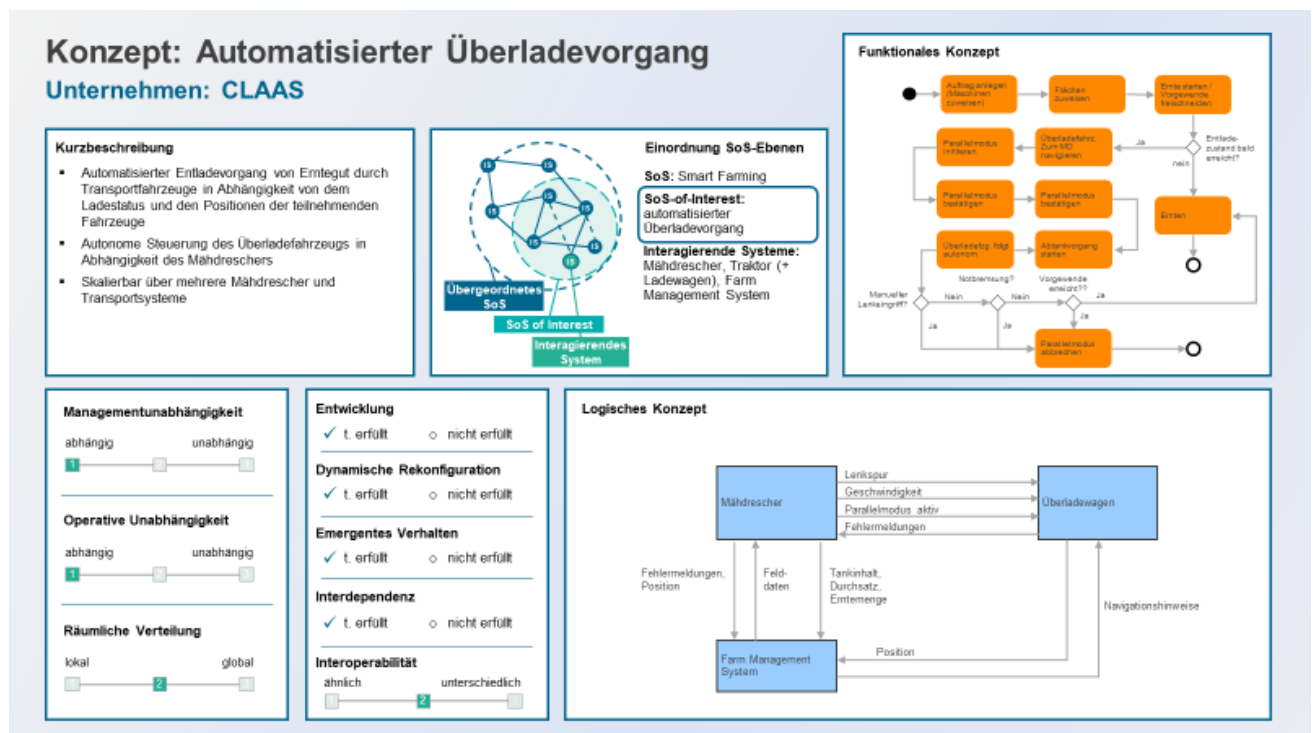


Bild 2-90: Übersicht SoS-Anwendungsfall

Die ausführliche Analyse der SoS-Beispiele zeigte, dass nicht alle Merkmale in allen Beispielen gleich stark ausgeprägt sind und die Vielfalt von SoS groß ist. Der Bedarf an fokussierten Hilfsmitteln für die unterschiedlichen Herausforderungen von SoS waren die Ausgangsbasis für die Strukturierung der Wissens Elemente im Rahmen der musterbasierten Architekturentwicklung. Im Folgenden wird auf die Grundlagen und Besonderheiten des Lösungsmusteransatzes im Kontext von SoS eingegangen.

Weitere Informationen	Digitaler Anhang: SoS-Beispiele Steckbriefe.pdf

2.20.2.2.2. Lösungsmuster für SoS

Wissen spielt eine entscheidende Rolle bei der Bewältigung von Aufgaben und der Lösung von Problemstellungen. Insbesondere in ingenieurtechnischen Bereichen ist die effiziente Nutzung von vorhandenem Wissen von großer Bedeutung. In der Literatur wird häufig der Einsatz von Mustern als Ansatz zur Operationalisierung von Wissensmanagement beschrieben. Diese Muster dienen als strukturierte Vorlagen oder Modelle, die bewährte Lösungsansätze für spezifische Probleme oder Aufgabenstellungen darstellen.

Im Rahmen von MoSyS baut das Verständnis von Lösungsmustern auf den Arbeiten nach Alexander et al. auf. Demnach sind Muster:

"...ein in unserer Umwelt immer wieder auftretendes Problem sowie den Kern der Lösung dieses Problems, und zwar so, dass man diese Lösung millionenfach anwenden kann, ohne sich je zu wiederholen" [AIS+95, S. 10]

Lösungsmuster bieten mehrere Vorteile für die Entwicklung von Systemen. Diese werden in unterschiedlichen Quellen thematisiert, u.a. von Rising, Sanz und Zalewski sowie Cloutier und Verma [Ris99], [Ris07], [SZ03], [CV06]. Vorteile sind demnach u.a.:

- Langfristige Dokumentation

- Übertragbarkeit
- Verbesserung der Kommunikation
- Verringerung der Komplexität
- Steigerung der Effizienz
- Förderung der Kreativität

Lösungsmuster sind ein Konzept, um Wissen zu dokumentieren und für Entwicklungstätigkeiten zugänglich zu machen. Um die Identifikation und den Nutzen von Lösungsmustern zu erhöhen, ist eine einheitliche Strukturierung essentiell. Grundlegende Bestandteile nach Alexander et al. sind ein Name, Kontext, das Problem und die Lösung [AIS+95]. Dieser Grundstruktur folgend wurde ein Lösungsmustertemplate für die Beschreibung von Lösungsmustern im Kontext von SoS definiert (Bild 2-91). Das **Problem-** und die **Lösungsbeschreibung** sind dabei entsprechend Entwicklungstätigkeiten zu befüllen. Im Kontext von Produktionsanlagen kann sich die Problemstellung bspw. auf einen Fertigungsprozess beziehen, welche durch das Lösungsmuster einer parallelen Bearbeitung gelöst werden kann. Im Kontext von Smart Products kann die Problemstellung aber auch eine bestimmte Funktionalität sein, die durch ein bestimmtes Wirkprinzip realisiert werden kann. Ein Hinweis auf die Problem-Lösungspaare bietet die Referenzarchitektur aus AP 2. Desweiteren umfasst das Template eine Kontextbeschreibung. In Anlehnung an die Herausforderungen von SoS, bietet sich hier die Möglichkeit, auf die charakteristischen Merkmale von SoS Bezug zu nehmen. Diese sind häufig ein Ausgangspunkt, warum eine bestimmte Problemstellung besteht.

Lösungsmuster							
Titel							
Merkmale <table border="1"> <tr> <td> Kontext <i>Bezug zu den acht charakteristischen Merkmalen von SoS: Managementunabhängigkeit, operative Unabhängigkeit, Emergenz, Interoperabilität, Räumliche Verteilung, Evolution, Dynamische Rekonfiguration, Interdependenz</i> </td> <td> Vorbedingungen </td> </tr> <tr> <td> Zusammenhängendes Muster <i>Gibt es Muster, die im Zusammenhang zu diesem Muster stehen?</i> </td> <td> Einordnung Wissensraum generisch Allgemein-gültig Projekt-spezifisch </td> </tr> <tr> <td> Alternatives Muster <i>Gibt es alternative Muster, die nicht gleichzeitig oder in Kombination angewendet werden können?</i> </td> <td></td> </tr> </table>		Kontext <i>Bezug zu den acht charakteristischen Merkmalen von SoS: Managementunabhängigkeit, operative Unabhängigkeit, Emergenz, Interoperabilität, Räumliche Verteilung, Evolution, Dynamische Rekonfiguration, Interdependenz</i>	Vorbedingungen	Zusammenhängendes Muster <i>Gibt es Muster, die im Zusammenhang zu diesem Muster stehen?</i>	Einordnung Wissensraum generisch Allgemein-gültig Projekt-spezifisch	Alternatives Muster <i>Gibt es alternative Muster, die nicht gleichzeitig oder in Kombination angewendet werden können?</i>	
Kontext <i>Bezug zu den acht charakteristischen Merkmalen von SoS: Managementunabhängigkeit, operative Unabhängigkeit, Emergenz, Interoperabilität, Räumliche Verteilung, Evolution, Dynamische Rekonfiguration, Interdependenz</i>	Vorbedingungen						
Zusammenhängendes Muster <i>Gibt es Muster, die im Zusammenhang zu diesem Muster stehen?</i>	Einordnung Wissensraum generisch Allgemein-gültig Projekt-spezifisch						
Alternatives Muster <i>Gibt es alternative Muster, die nicht gleichzeitig oder in Kombination angewendet werden können?</i>							
Problem <i>Welches Ziel, welche Aufgabe oder welche Funktionalität soll gelöst werden? (Bsp. Ziel, Anwendungsfall, Funktion, ...)</i>							
Lösung - Welches wiederkehrende Muster kann zur Lösung des Problems genutzt werden? (Bsp. funktionales oder logisches Konzept) (ggfs. inkl. Grafik)							

Bild 2-91: Lösungsmustertemplate

Die Identifikation und Dokumentation von Lösungsmustern in Unternehmen kann anhand von drei wesentlichen Schritten zu beschreiben:

1. Durchführung von Entwicklungstätigkeiten
2. Identifizierung von Problem-Lösungspaaren
3. Ableitung und Dokumentation von Lösungsmustern durch Analyse und Vergleich mit weiteren Entwicklungsprojekten oder Literaturbeispielen
(optional: erweitertes Wissen und Kontextinformationen ergänzen)

Die Nutzungsmöglichkeiten von Lösungsmustern sind vielfältig. Prinzipiell können überall wo Problemstellungen bestehen, Lösungsmuster gefunden werden. Je mehr Lösungsmuster dokumentiert sind, desto größer ist die Möglichkeit, ein passendes Muster zu finden. Ausgangspunkt ist die Problemstellung, die gelöst werden muss. Um eine passende Lösung zu finden, kann ein Lösungsmuster eingesetzt werden. Dieses kann adaptiert oder auch mit einem anderen Lösungsmuster kombiniert werden, um die entsprechende Lösung zu definieren (Bild 2-92).

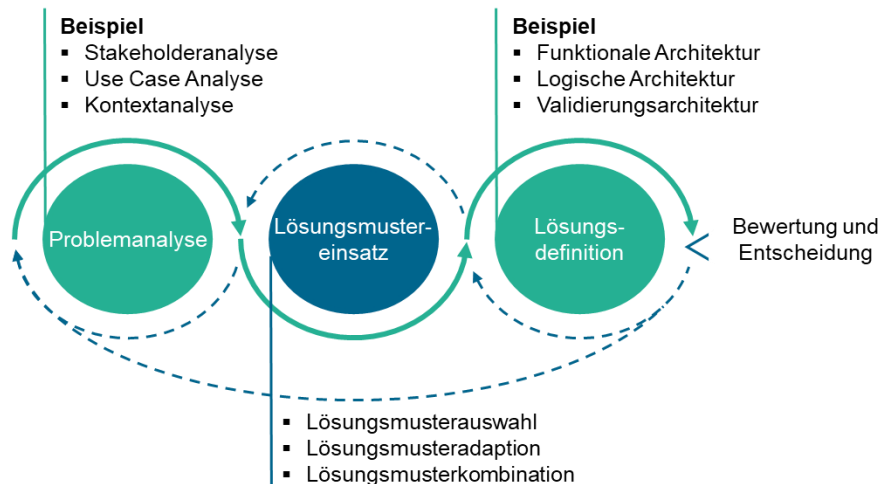


Bild 2-92: Prinzipdarstellung für den Einsatz von Lösungsmustern

Weitere Informationen	Veröffentlichungen: [AGW+22] Anacker, H.; Guenther, M.; Wyrwich, F.; Dumitrescu, R.: Pattern based engineering of System of Systems - a systematic literature review: 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE). 07.06.2022 - 11.06.2022, Rochester, NY, USA, IEEE, 2022, S. 178–183

2.20.3. Diskussion und Ausblick

Das prinzipielle Vorgehen zum Einsatz von Lösungsmustern ist für Unternehmen und deren spezifische Bedarfe übertragbar. Unternehmensspezifische Lösungsmuster können anhand des vorgestellten Templates strukturiert und dokumentiert werden. Insbesondere die Betrachtung der Herausforderungen im Kontext von SoS bietet Unternehmen wichtige Anhaltspunkte, welche Probleme es zu lösen gilt. Lösungsmuster und insbesondere die in den Lösungsmusterkatalogen festgehaltenen wiederkehrenden Lösungen sind erste Ansätze, die Unternehmen anwenden können.

Im Rahmen von weiteren Forschungsarbeiten gilt es die Herausforderungen von SoS weiter zu erforschen und weitere Ansätze zu entwickeln, die u.a. auf die Herausforderungen der Emergenz einzahlen. Emergentes Verhalten entwickelt sich durch die dynamische Interaktion von Systemen in Systemverbünden und kann nicht vollständig vorhergesagt werden. Hier können bspw. Datenanalysen von etablierten System of Systems zur Entstehung von Emergenzeffekten Hinweise liefern, wie diese entstanden sind und welche Maßnahmen im Engineering zu treffen sind, um diese zu verhindern.

Literaturverzeichnis

- [AGW+22] Anacker, H.; Guenther, M.; Wyrwich, F.; Dumitrescu, R.: Pattern based engineering of System of Systems - a systematic literature review: 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE). 07.06.2022 - 11.06.2022, Rochester, NY, USA, IEEE, 2022, S. 178–183
- [AIS+95] Alexander, C.; Ishikawa, S.; Silverstein, M.; Jacobson, M.; King, I. F.; Angel, S.: Eine Muster-Sprache – Städte, Gebäude, Konstruktion. Löcker, Wien, 1995

- [CV06] Cloutier, R. J.; Verma, D.: Applying the Concept of Patterns to Systems Architecture, 2006
- [Ris99] Rising, L.: Patterns: A Way to Reuse Expertise. IEEE Communications Magazine, 4, 1999, S. 34–36
- [Ris07] Rising, L.: Understanding the Power of Abstraction in Patterns: IEEE Software, 2007
- [SZ03] Sanz, R.; Zalewski, J.: Pattern-based control systems engineering. IEEE Control Systems, (23)3, 2003, S. 43–60

2.21. Lösungsmusterkatalog Smart Products, Produktion, V&V

2.21.1. Einleitung

2.21.1.1. Zielsetzung

Wissen wird benötigt, um Aufgaben zu lösen. Je komplexer die Aufgaben, desto mehr Wissen und Unterstützung wird benötigt. Hinzukommt, dass in Unternehmen Wissen häufig in Form von impliziten Wissen in den Köpfen von Mitarbeiter*innen steckt. Daher wird das Ziel verfolgt dieses Wissen zu explizieren und nachhaltig im Rahmen von Lösungsmusterkatalogen nutzbar zu machen.

2.21.1.2. Einordnung in MoSyS

Die Lösungsmusterkataloge wurden als Teilergebnisse in AP 4 erarbeitet. Zur Beschreibung der in den Katalogen enthaltenen Lösungsmuster wird auf der Referenzarchitektur aus AP 2 aufgebaut und die dort enthaltenen Beschreibungselemente zur Beschreibung und Modellierung der Lösungsmuster genutzt (Bild 2-93). Gleichzeitig wurden Erkenntnisse durch die Analyse der Anwendungsbeispiele und Beschreibung der Lösungsmuster gesammelt und zur Weiterentwicklung der Referenzarchitektur in AP 2 genutzt.

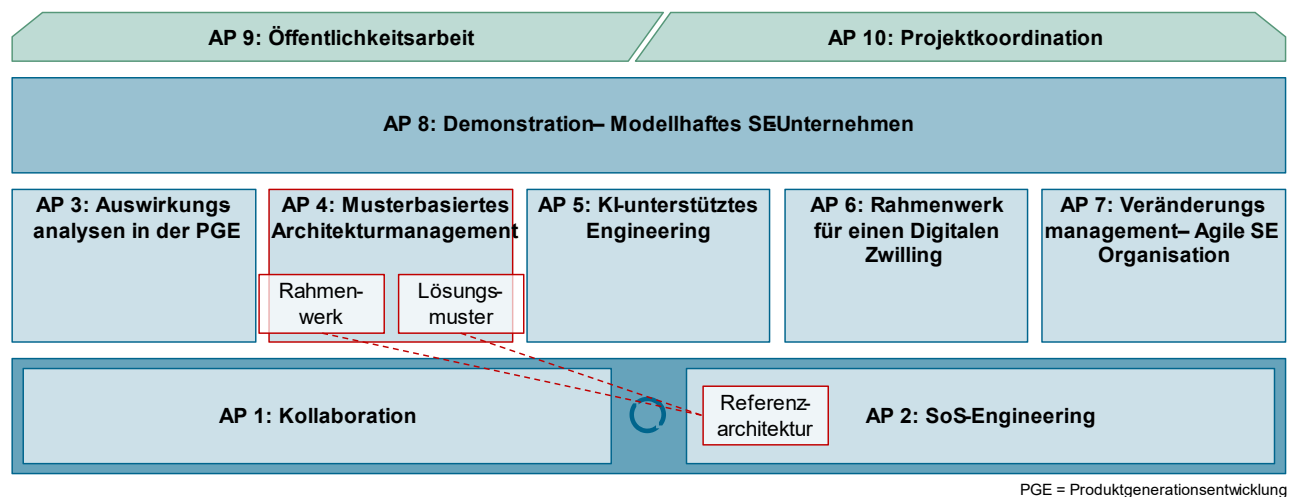


Bild 2-93: Einordnung des Wissensnuggets 2.22 in das MoSyS Projekt

2.21.1.3. Vorgehen

Die Lösungsmuster wurden in einem mehrstufigen Vorgehen identifiziert und dokumentiert (Bild 2-94). Zunächst wurden geeignete Lösungsmusterkandidaten sowohl auf Basis von Literaturquellen als auch auf Basis von Anwendungsbeispielen identifiziert. Im weiteren Verlauf wurden diese anhand von Beispielanwendungen analysiert und auf Relevanz geprüft. Ist diese gegeben, wurden die Lösungsmuster entsprechend dem allgemeinen Lösungsmustertemplates aufbereitet und in den Musterkatalog übertragen. Nach und nach sind Lösungsmusterkataloge im Kontext von Smart Products, Industrie 4.0 und V&V entstanden, die entsprechend dem Vorgehen weiter befüllt werden können.

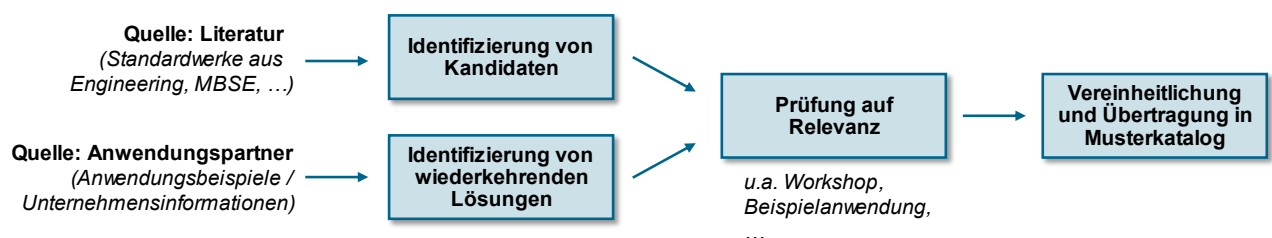


Bild 2-94: Vorgehen zur Übertragung von Lösungsmustern in Lösungsmusterkataloge

2.21.2. Hauptteil

2.21.2.1. Definitionen

Lösungsmuster: Ein Muster beschreibt ein in unserer Umwelt immer wieder auftretendes Problem sowie den Kern der Lösung dieses Problems so, dass diese Lösung millionenfach angewendet werden kann, ohne sich jemals zu wiederholen. [AIS+77]

Lösungsmusterkatalog: Ein Lösungsmusterkatalog ist eine lose Sammlung von thematisch zusammengehörenden Lösungsmustern. [Ams16]

Weitere Informationen	Wiki: Definition Lösungsmuster: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Definition_und_%C3%9Cbersicht_L%C3%B6sungsmuster Veröffentlichungen: [AGW+22] Anacker, H.; Guenther, M.; Wyrwich, F.; Dumitrescu, R.: Pattern based engineering of System of Systems - a systematic literature review: 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE). 07.06.2022 - 11.06.2022, Rochester, NY, USA, IEEE, 2022, S. 178–183

2.21.2.2. Ergebnisse

Die konsequente Nutzung von Lösungsmustern im Rahmen der Architekturentwicklung stellt einen wesentlichen Teil des Rahmenwerks zum musterbasierten Architekturmanagement dar (Bild 2-95). Es umfasst die methodische Unterstützung zum Einsatz von Lösungsmustern in Entwicklungsvorgängen als auch die inhaltliche Basis in Form von Katalogen. Im Folgenden wird näher auf die inhaltliche Basis in Form von Katalogen für Smart Products, Industrie 4.0 Anwendungen und V&V eingegangen (5). Die Grundlagen und methodische Unterstützung (2 und 3) wird in einem weiteren Dokument vorgestellt.

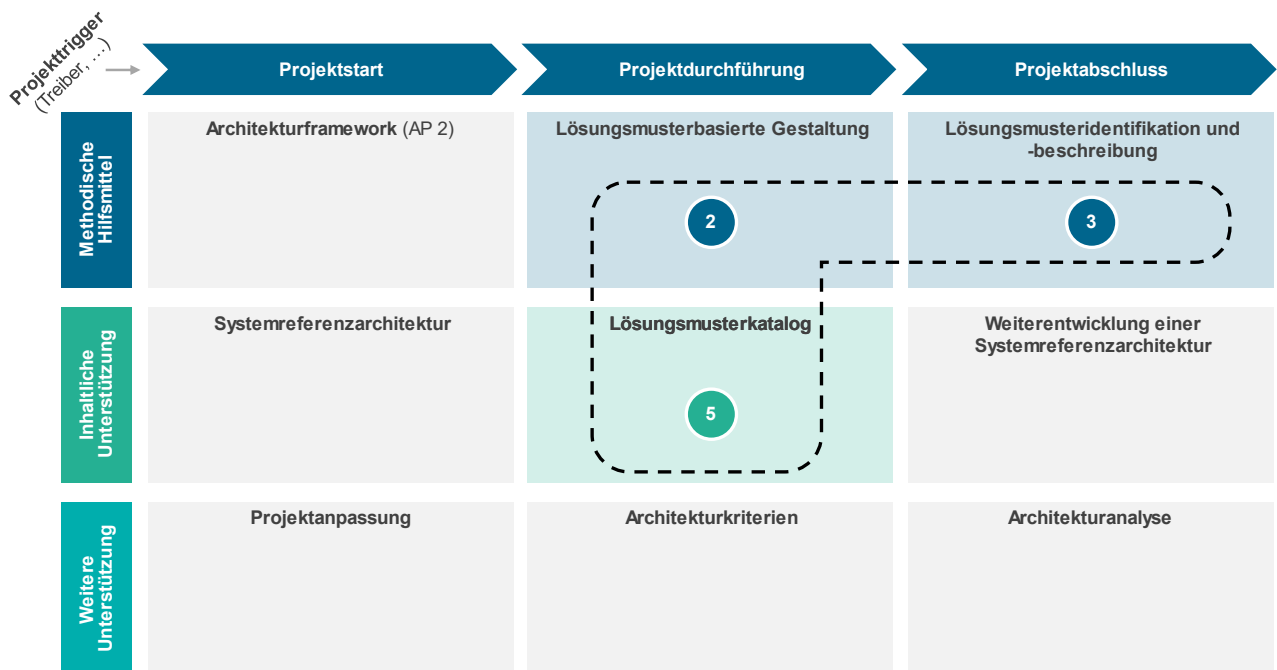


Bild 2-95: Einordnung im Rahmenwerk musterbasiertes Architekturmanagement

- [Lösungsmuster im Kontext SoS](#)

2.21.2.2.1. Überblick Lösungsmusterkatalog

Es gibt verschiedene Muster, die sich in ihrer Granularität und Abstraktion voneinander unterscheiden. Um die Anwendbarkeit und den Nutzen von Mustern zu erhöhen haben GAMMA et al. eine Sammlung von 23 Softwaremustern erstellt, die in einem strukturierten Katalog beschrieben werden [GHJ+93]. Der Katalog von GAMMA et al. ist nach den Kriterien Charakterisierung und Zuständigkeit strukturiert und umfasst neun Kategorien. Dies erleichtert die Identifizierung und den Vergleich von Lösungsmustern sowie die Erhöhung ihrer Nutzung. In den Katalog werden die Lösungsmuster aus dem Bereich der objektorientierten Softwareentwicklung eingeordnet. Der Katalog kann sukzessive erweitert werden, um das Wissen auf diesem Gebiet zu sammeln.

Entsprechend dem Ansatz nach GAMMA et al. ist das Ziel der Lösungsmusterkataloge in MoSyS das Wissen für die Entwicklung von Advanced Systems zu strukturieren. Die Lösungsmusterkataloge umfassen somit expliziertes Wissen, welches für die Gestaltung innerhalb des Themengebiets der komplexen technischen Systeme benötigt wird. Auf Basis der Problemstellung und Bedarfe der Anwendungspartner wurden drei Bereiche identifiziert, die zur Strukturierung der Lösungsmusterkataloge genutzt werden. Diese folgen der Strukturierung der Referenzarchitektur aus AP 2 (Bild 2-96).

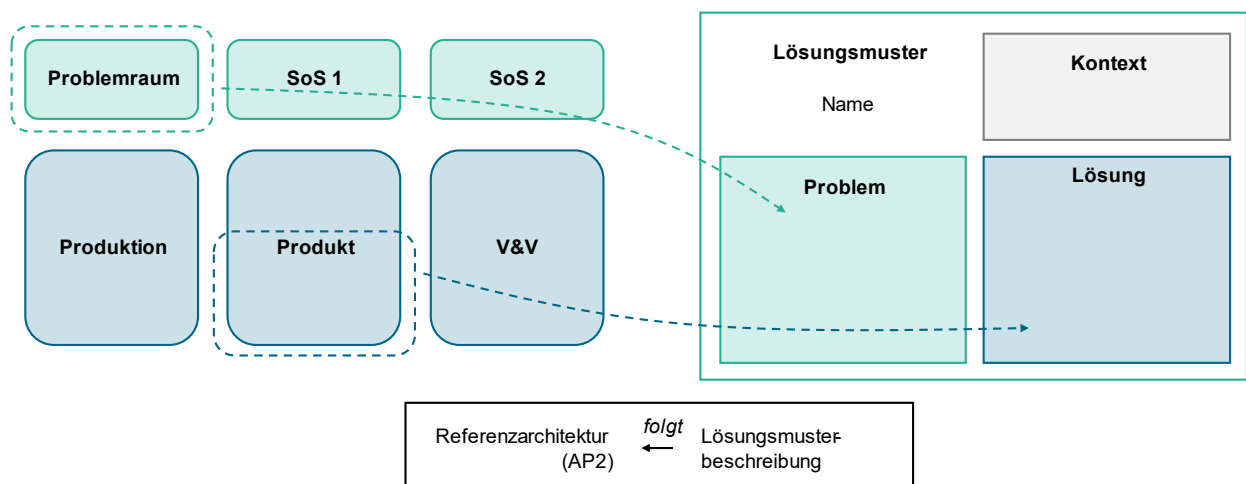


Bild 2-96: Lösungsmusterbeschreibung auf Basis der Referenzarchitektur

Die Lösungsmuster wurden aus unterschiedliche Quellen aufbereitet. Neben dem Wissen der Experten, wurden Lösungsmuster auch auf Basis von Anwendungsprojekten als auch auf Basis der Literatur und Normen identifiziert und in die Kataloge überführt. Bild 2-97 gibt einen Überblick der in MoSyS genutzten Quellen zur Identifikation von Lösungsmustern für die jeweiligen Kataloge.

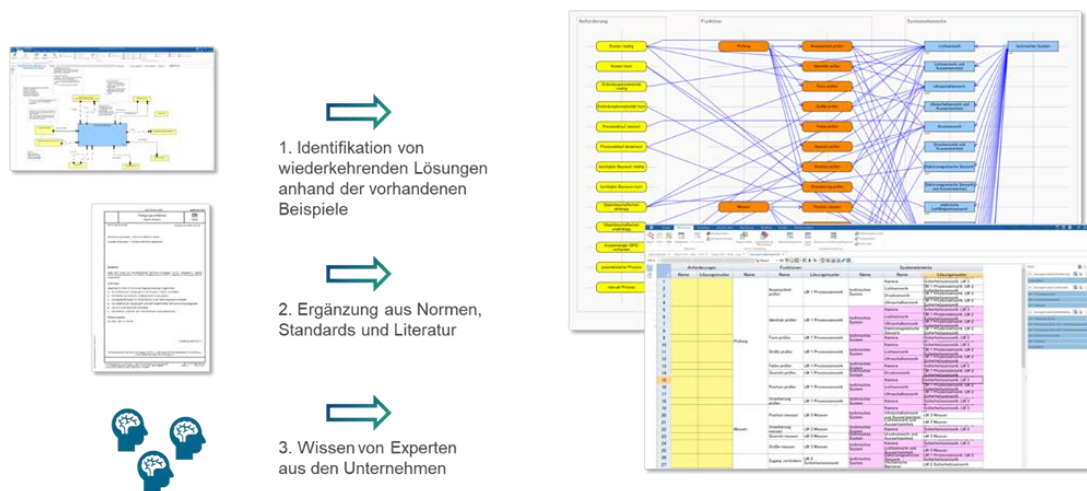


Bild 2-97: Übersicht der unterschiedlichen Quellen für Lösungsmuster

2.21.2.2.2. Lösungsmusterkatalog Smart Products

Mit den Fortschritten in der Kommunikations- und Informationstechnologie, insbesondere dem Aufkommen des Internets der Dinge, haben sich technische Systeme zunehmend zu intelligenten technischen Systemen (ITS) entwickelt. Diese Systeme sind flexibler, interaktiver und vernetzter geworden, was zu einer gesteigerten Kognition, Kommunikation und Vernetzung führt. Solche intelligenten Systeme (Smart Products) stellen die Entwicklung vor zahlreiche Herausforderungen, die mit interdisziplinären Ansätzen des Systems Engineerings adressiert werden.

Lösungsmusterkataloge unterstützen in diesem Handlungsfeld durch die Bereitstellung von Wissen zur Lösung einzelner Problemstellungen. Der Lösungsmusterkatalog für Smart Products stellt explizites Wissen bereit, welches auf Problemstellungen von intelligenten Systemen u.a. hinsichtlich der Vernetzung, Interaktion oder auch Informationsverarbeitung einzahlt.

Ein Beispiel ist das Muster „Zentrale Architektur“ (Bild 2-98). Das Grundprinzip der zentralen Architektur ist die Bündelung von Funktionen in einem zentralen System um die Interaktion mehrerer Systeme zu steuern. Dieses zentrale System agiert als zentraler Knotenpunkt und sammelt sämtliche Informationen in einem Verbund, wertet sie aus und gibt entsprechende Vorgaben an die beteiligten Systeme weiter. Der grundsätzliche Lösungsansatz ist bereits in einer Vielzahl an Anwendungen in unterschiedlichen Branchen zum Einsatz gekommen. Zentrale Steuereinheiten kommen sowohl in Landwirtschaftsmaschinen als auch in der Energiebranche mit zentralen vor. Das Muster kann also für unterschiedliche Anwendungen auf unterschiedliche Art und Weise für konkrete Anwendungen adaptiert werden.

Lösungsmuster Smart Product

Zentrale Architektur

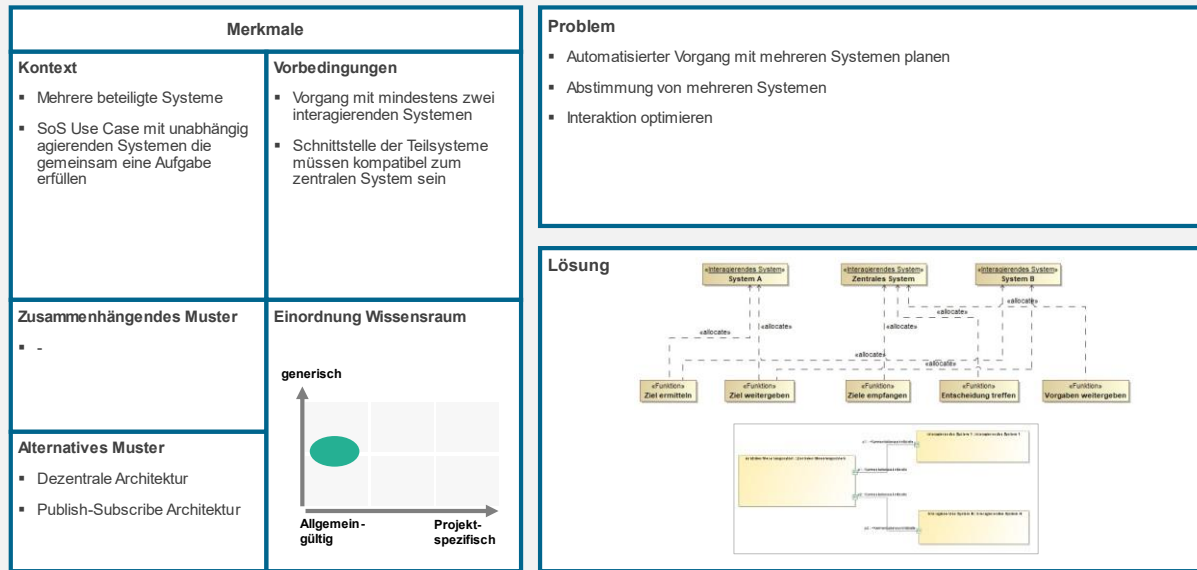


Bild 2-98: Smart Product Lösungsmuster „Zentrale Architektur“

Die gesammelten Lösungsmuster wurden als Lösungsmusterkatalog in einem Modellierungstool aufbereitet (Bild 2-99). Entsprechend der Referenzarchitektur (AP 2) wurden zur Modellierung der Lösungsmuster die entsprechenden Beschreibungselemente genutzt und die generalisierten Zusammenhänge in einzelnen Packages modelliert.

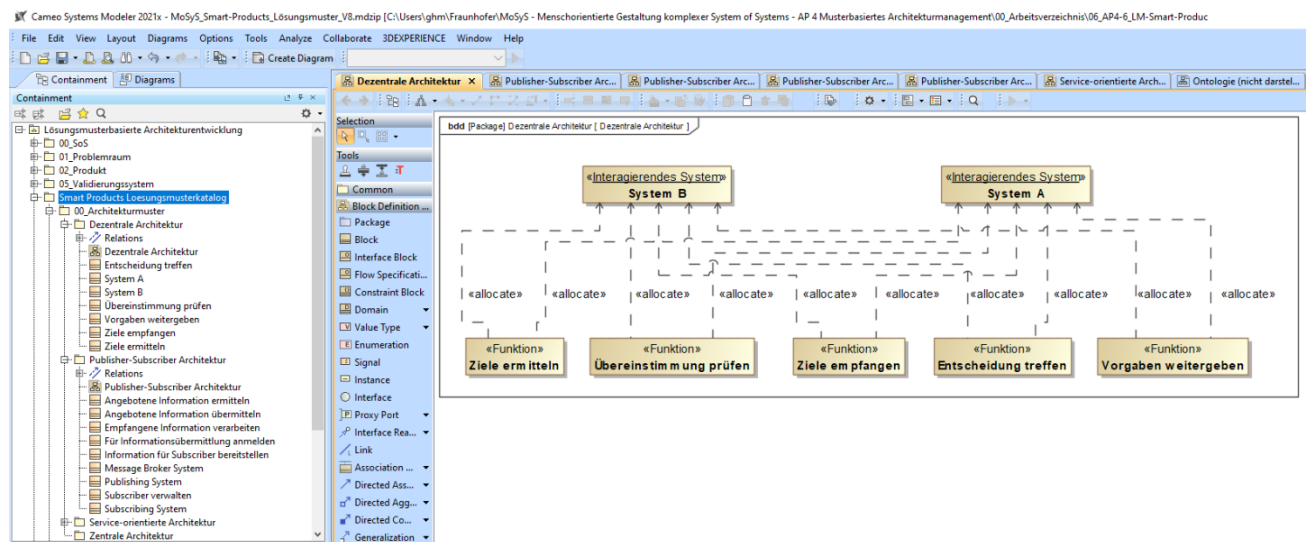


Bild 2-99: Auszug Lösungsmusterkatalog Smart Products in Cameo

Das Package „Smart Products Lösungsmusterkatalog“ kann über verschiedene Mechanismen in konkrete Projekte eingebunden werden. Zwei Beispiele im Rahmen der Anwendung mit Cameo sind *Copy&Paste* oder *Project Usages*. Um per Copy&Paste den Lösungsmusterkatalog einzubinden muss das Ursprungsprojekt des Katalogs geöffnet sein und das entsprechende Package oder auch einzelne Elemente des Lösungsmusters markiert und kopiert werden. In dem konkreten Entwicklungsprojekt können nun einzelne Elemente reinkopiert werden und stehen als Modellelemente zur Verfügung, die gegebenenfalls adaptiert werden. Wird der Lösungsmusterkatalog als externes Projekt

per Project Usages in dem konkreten Projekt eingebunden, stehen sämtliche Informationen aus dem Lösungsmusterkatalog-Modell zunächst lesend zur Verfügung. Werden einzelne Muster und Elemente benötigt, müssen diese innerhalb des Modells kopiert und eingefügt werden. Die jeweiligen Kopien stehen nun zur Verfügung. Die Einbindung über Project Usages bietet den Vorteil, dass Veränderungen im Ursprungsprojekt des Lösungsmusterkatalog auch im konkreten Entwicklungsprojekt angezeigt werden. Dies setzt jedoch die Nutzung der Cameo Teamwork Cloud voraus.

Weitere Informationen

Digitaler Anhang:

- [MoSyS_Smart-Products_Lösungsmusterkatalog.mdzip](#)
- [Lösungsmuster_Smart-Products.pdf](#)

2.21.2.2.3. Lösungsmusterkatalog Produktion

Eine zentrale Herausforderung bei der Dokumentation von Lösungsmustern für die Produktion ist die große Vielfalt an eingesetzten Softwaretools in der Produktionssystemplanung. In einem frühen Workshop im Rahmen des Projekts MoSyS konnte bereits identifiziert werden, dass bei den beteiligten Unternehmen dann ein großer Mehrwert entsteht, wenn nicht nur eine Dokumentation bspw. von Wirkstruktur und Verhalten eines Lösungsmusters sondern auch *plug & play* einsatzfähige Lösungselemente für die verwendeten Spezialwerkzeuge entstehen. Aus diesem Grund wurde ein zentrales Framework für die Dokumentation von Lösungsmustern in der Produktion erstellt, welches inklusive einiger Umsetzungsbeispiele in Bild 2-100 dargestellt ist und in der Fachzeitschrift wt-online veröffentlicht ist. Die Darstellung zeigt die Vielzahl der beteiligten Domänen, da die Produktionssystemplanung eine Aktivität an der Schnittstelle zur Produktentwicklung ist und immer integrierter betrachtet wird. Aus diesem Grund haben sich die beteiligten Partner gemeinsam dafür entschieden eine standardisierte Struktur der Lösungsmuster durchgängig und fachdisziplinübergreifend in einem formalen Systemmodell im Sinne des Model-Based Systems Engineering (MBSE) abzubilden. Im Folgenden wird anhand einzelner Beispiele auf die 5 Bestandteile des Frameworks zur Dokumentation von Lösungsmustern in der Produktion eingegangen.

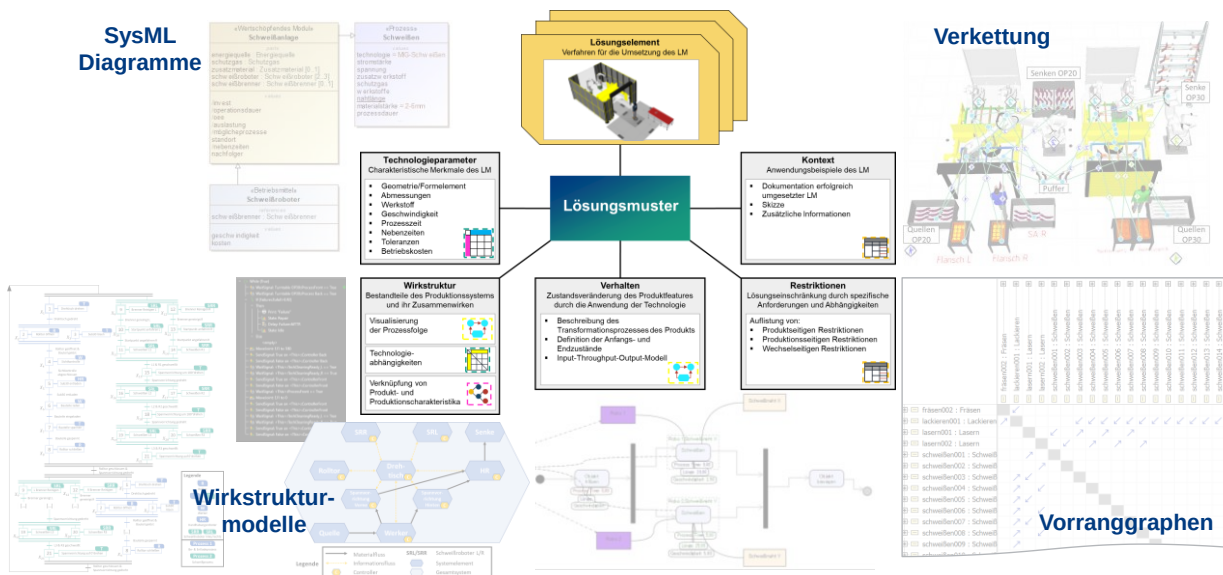


Bild 2-100: Framework zur Dokumentation von Lösungsmustern in der Produktion

Die **zentralen Technologieparameter** eines Lösungsmusters sind in standardisierten SysML-Diagrammen festgehalten. Durch die Parameter lassen sich die zu fertigenden Produkte, die notwendigen Produktionsprozesse und das Produktionssystem (auf Ebene der Anlage und des Gesamtsys-

tems) standardisiert beschreiben. Weiter sind Zusammenhänge zwischen den Attributen der Systemelemente hinterlegt. Diese Wechselwirkungen sind vor allem in Produkt-Produktions-Systemen von zentraler Bedeutung. Da diese Schnittstelle im aktuellen Stand der Forschung nicht ausreichend abgebildet war, wurde in enger Zusammenarbeit mit den Arbeitspaketen 2 und 3 eine Ontologie (siehe Bild 2-101) speziell für die Schnittstelle zwischen Produkt und Produktionssystem entwickelt und bei der CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering 2022 veröffentlicht wurde.

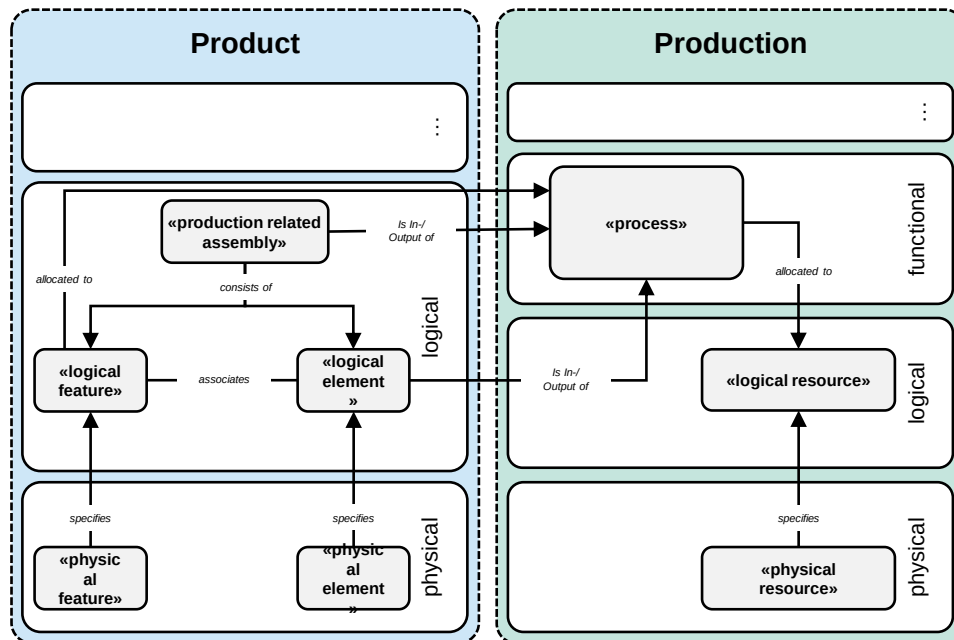


Bild 2-101: Ontologie für Produkt-Produktions-Systeme

Die Ontologie erlaubt ein konsistentes Modellieren von Produkt und Produktionssystem und ist in den Tools Cameo und iQUAVIS umgesetzt. Ein jeweils einfaches Beispiel für die Modellierung der Schnittstelle und die Zusammenhänge zwischen Systemelementen und -parametern kann Bild 2-102 entnommen werden.

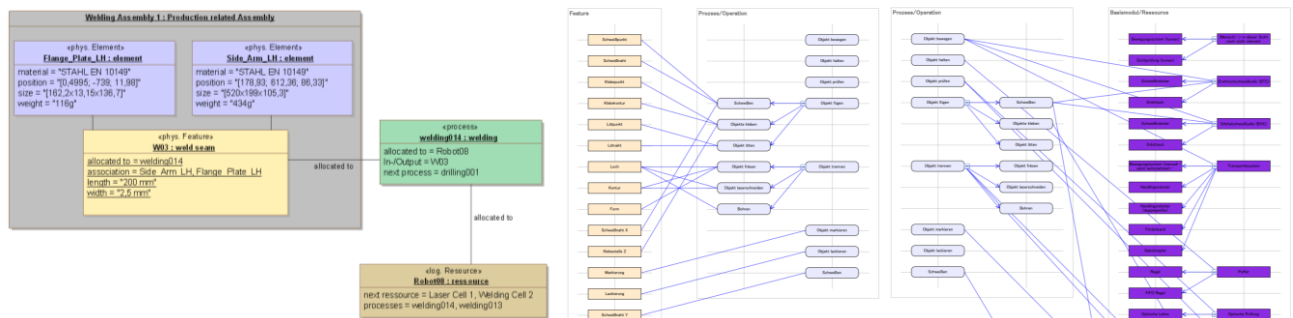


Bild 2-102: Zusammenhang zwischen Produkt und Produktion in Cameo (links) und iQUAVIS (rechts)

Bei der Abbildung der **Wirkstruktur** der Produktionsanlagen und -systeme spielt die Modularität eine zentrale Rolle. Hintergrund ist die einfache Erweiterbar- und Anwendbarkeit. Es wurden im Projekt verschiedene Anlagentypen abstrahiert und deren Wirkstrukturmodelle z. B. in modularen GRAFCET Plänen abgebildet. Diese Strukturen sind ebenso in der Programmierung der Steuerungslogik z. B. in Visual Components umgesetzt. Das ermöglicht, dass Lösungselemente *plug & play* eingesetzt werden können und sich bspw. die Bearbeitungszeiten einer Station bei der Zuordnung eines Produkts zur Fertigung auf dieser Station abhängig von der modellierten Wirkstruktur automatisiert initialisieren. Das veranschaulicht auch das **Verhalten** des Lösungsmusters: Die einfache Unterscheidung der

Lösungsmuster sequentielle, parallele und gekoppelte Fertigung (siehe Bild 2-103) sind in iQUAVIS implementiert und ermöglichen bspw. bei einer Taktzeitberechnung, dass bei der Anpassung des Anlagenverhaltens direkt die davon abhängigen Prozesszeiten mitangepasst werden. Die Lösungsmuster sind dabei in einem Katalog verfügbar und können per *copy & paste* genutzt werden.

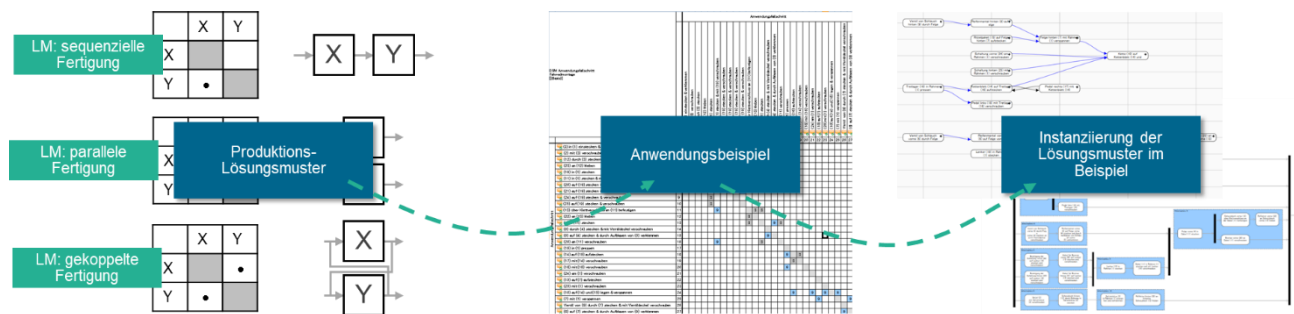


Bild 2-103: Anlagenverhalten (sequenziell vs. parallel) in iQUAVIS

Die **Restriktionen** sind im Kontext der Aktivitäten der Produktionssystemplanung besonders relevant. Hierbei gelten sowohl produkt-, produktions- und wechselseitige Restriktionen. Ein zentrales Beispiel sind die Wechselwirkungen in Form von bspw. Abfolgerestriktionen zwischen Produktionsprozessen und -anlagen. Entlang der Verkettung von Produkt, Prozess und Produktionssystem ermöglichen die in CAMEO und iQUAVIS implementierten Lösungsmuster die Abbildung von Vorrangbeziehungen zwischen Prozessen. Das kann Bild 2-104 entnommen werden. Entlang dieser Verkettung können ein paar konkrete Beispiele für die Anwendung von Lösungsmustern bei BENTELER gemacht werden:

- Bauteil – Feature: Bei Variante 3 Federteller existiert keine Schweißverbindung zum Torsionsprofil
- Feature – Prozess: Bei Torsionsrohr (Hohlkörper) ist Prozess „Dichtigkeitsprüfung“ notwendig
- Prozess – Prozess: Hohe Lagetoleranz-anforderungen später schweißen
- Prozess – Ressource: Parallelisierung der Bearbeitung durch zwei modulare Schweißroboter

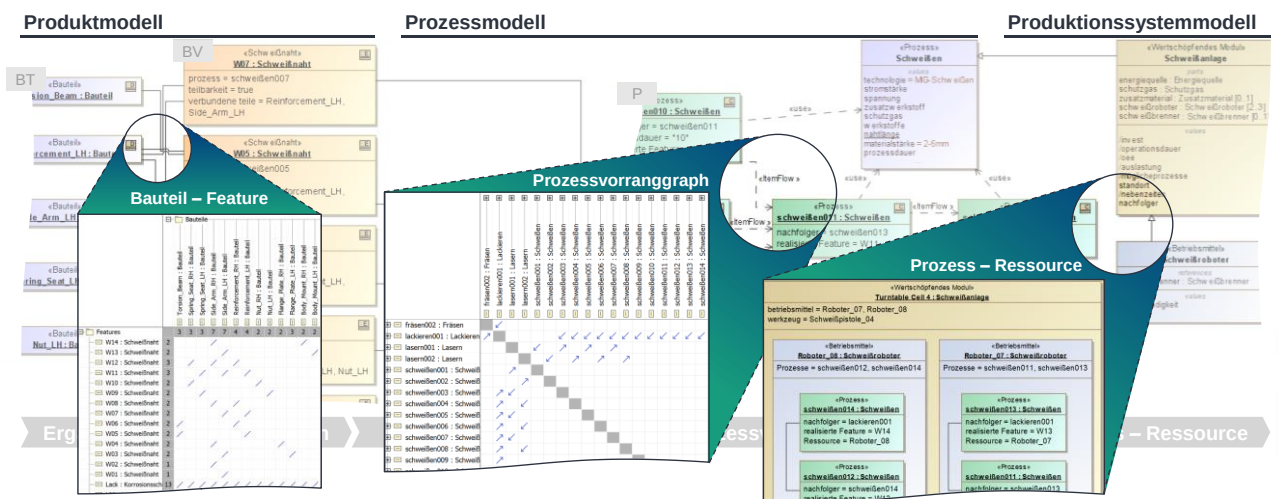


Bild 2-104: SysML Diagramm zur Verknüpfung von Produkt, Prozess und Produktionssystem und Beispiele für implementierte Lösungsmuster in CAMEO

Zuletzt gibt der **Kontext** Informationen über ähnliche, erfolgreich umgesetzte Lösungsmuster und die Schnittstelle zu anderen Lösungsmustern. Ein praktisches Beispiel, das hier gemacht werden kann ist die Verkettung mehrerer Lösungselemente. So ist es bspw. möglich, dass per drag & drop einzelne Lösungselemente in Visual Components miteinander verknüpft werden können. Das ermöglicht die zu Beginn des Forschungsprojekts von den Unternehmen geforderte, einfache Einbindung in das

Daily Business. Die verketteten Anlagen initialisieren sich über die einmalig modular programmierten Schnittstellen automatisch (siehe Bild 2-105) So lassen sich einfach und schnell komplette Produktionssysteme basierend auf dem zur Verfügung stehenden Lösungsmusterkatalog planen.

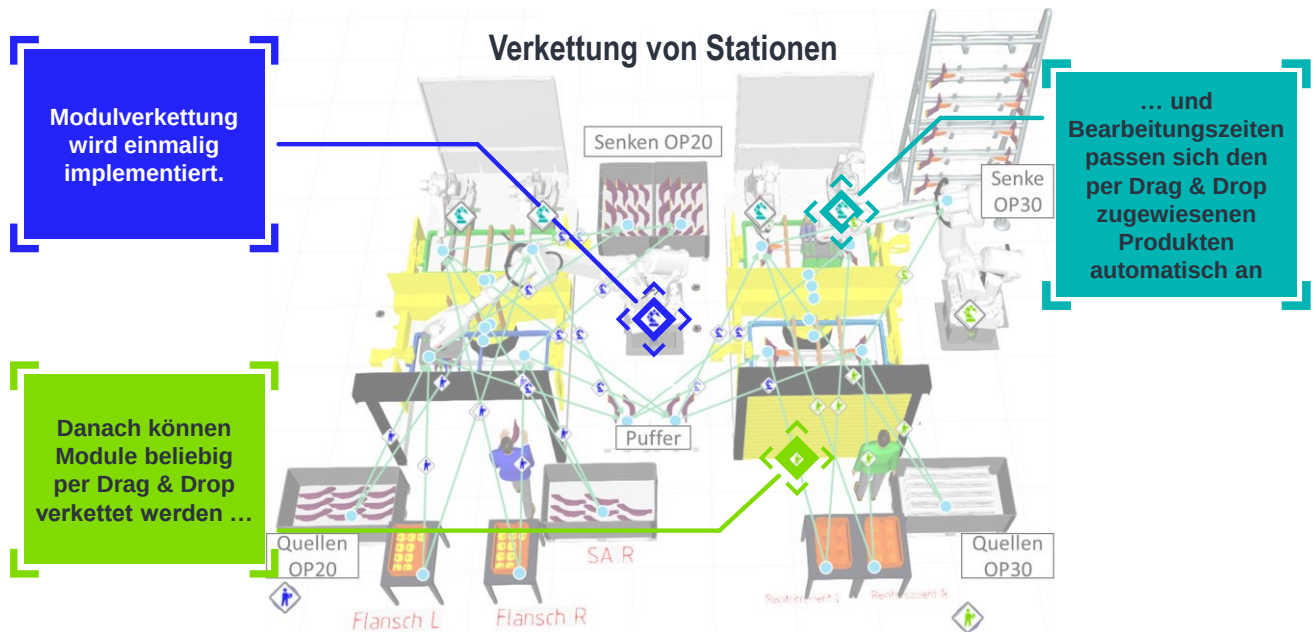


Bild 2-105: Verkettung von Lösungselementen in Visual Components

Weitere Informationen	Digitaler Anhang: • AP4 Anwendung LM Benteler.pdf • iQUAVIS-Modell Lösungsmusterkatalog Produktionsanlagen • iQUAVIS-Modell Lösungsmusterkatalog Produktionssystem • CAMEO-Modell Lösungsmusterkatalog Produkt-Produktions-System • Visual-Components Lösungsmusterkatalog Video Veröffentlichungen: [SBK+21] Schäfer, L.; Burkhardt, L.; Kuhnle, A.; Lanza, G. 2021. Integriertes Produkt-Produktions-Codesign: Ganzheitliche Auswirkungsanalysen von Änderungsfällen und Identifikation von Lösungsmustern. wt Werkstattstechnik online, 111 (4), 201–205. doi:10.37544/1436-4980-2021-04-23 [ALK+22] Albers, A.; Lanza, G.; Klippert, M.; Schäfer, L.; Frey, A.; Hellweg, F.; Müller-Welt, P.; Schöck, M.; Krahe, C.; Nowoseltschenko, K.; Rapp, S. 2022. Product-Production-CoDesign: An Approach on Integrated Product and Production Engineering Across Generations and Life Cycles. 32nd CIRP Design Conference (CIRP Design 2022) - Design in a changing world. Ed.: N. Anwer, 167–172, Elsevier. doi:10.1016/j.procir.2022.05.231 [SFM+22] Schäfer, L.; Frank, A.; May, M. C.; Lanza, G. 2022. Automated Derivation of Optimal Production Sequences from Product Data. Procedia CIRP, 107, 469–474. doi:10.1016/j.procir.2022.05.010 [SRL22] Schäfer, L.; Reichardt, A.-K.; Lanza, G. 2022. Lösungsmuster zur Produktionssystemplanung : Entwicklung eines integrierten Rahmenmodells und exemplarische Anwendung. wt Werkstattstechnik online, 112 (04), 243–247. doi:10.37544/1436-4980-2022-04-43 [ARK+22] Albers, A.; Rapp, S.; Klippert, M.; Lanza, G.; Schäfer, L. 2022. Produkt-Produktions-CoDesign: Ein Ansatz zur integrierten Produkt- und Pro-

		duktionssystementwicklung über Generationen und Lebenszyklen hinweg. News / Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung, Wi-GeP, Berliner Kreis & WGMK, (1), 3
	[STM+23]	Schäfer, L.; Treml, N.; May, M. C.; Lanza, G. 2023. Classifying Parts using Feature Extraction and Similarity Assessment. <i>Procedia CIRP</i> , 119, 822–827. doi:10.1016/j.procir.2023.03.127
	[MSF+23]	May, M. C.; Schäfer, L.; Frey, A.; Krahe, C.; Lanza, G. 2023. Towards Product-Production-CoDesign for the Production of the Future. <i>Procedia CIRP</i> , 119, 944–949. doi:10.1016/j.procir.2023.02.172
	[SGM+23]	Schäfer, L.; Günther, M.; Martin, A.; Lüpfer, M.; Mandel, C.; Rapp, S.; Lanza, G.; Anacker, H.; Albers, A.; Köchling, D. 2023. Systematics for an Integrative Modelling of Product and Production System. 16th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (CIRP ICME 2023), 118, 104–109. doi:10.1016/j.procir.2023.06.019
	[SKM+23]	Schäfer, L.; Kochendörfer, P.; May, M.C.; Lanza, G. 2023. Planning and Multi-Objective Optimization of Production Systems by means of Assembly Line Balancing. <i>Procedia CIRP</i> , 120, 1125-1130. doi:10.1016/j.procir.2023.09.136

2.21.2.2.4. Lösungsmusterkatalog V&V

Der Lösungsmusterkatalog V&V basiert auf der im MoSyS Projekt entwickelten SoS Referenzarchitektur. Ein fundamentales Element ist die entwickelte Ontologie (AP2), die eine integrative Architekturbeschreibung des Produkt- und Validierungssystems ermöglicht. Ausgehend von dieser Ontologie wurde eine Systematik zur integrativen Anforderungsanalyse und Testspezifikation entwickelt (s. Veröffentlichungen unten). Der im Folgenden beschriebene Lösungsmusterkatalog V&V ist Teil dieser Systematik und unterstützt Systemarchitekten und Test-Designer bei der systematischen Aufbereitung und Wiederverwendung von Lösungswissen für die Testspezifikation.

Zusammen mit den Projektpartnern wurden die V&V Lösungsmuster modellbasiert in Form eines digitalen Musterkatalogs erstellt. Wie in Bild 2-106 dargestellt, umfasst dieser Musterkatalog unterschiedliche Ausprägungen der V&V Muster, beschrieben durch **Basismuster** und **Strategiemuster**, die mit **projektspezifischen Anwendungen** der Muster vernetzt sind. Die Basismuster wurden aus der Literatur abgeleitet und orientieren sich im Wesentlichen an den Verifikationsmustern nach *Salado & Kannan* [SK19]. Durch die Basismuster sind elementare Bausteine beschrieben, die für die Ausgestaltung der Strategiemuster dienen. Strategiemuster können somit als konkrete Lösung für ein V&V Problem verstanden werden, wobei ein Strategiemuster aus einem Basismuster oder mehreren Basismustern zusammengesetzt werden kann. Um die Wiederverwendung von Lösungswissen zu fördern und eine systematische Anwendung des Katalogs zu unterstützen, sind die einzelnen Muster innerhalb des Systemmodells miteinander vernetzt.

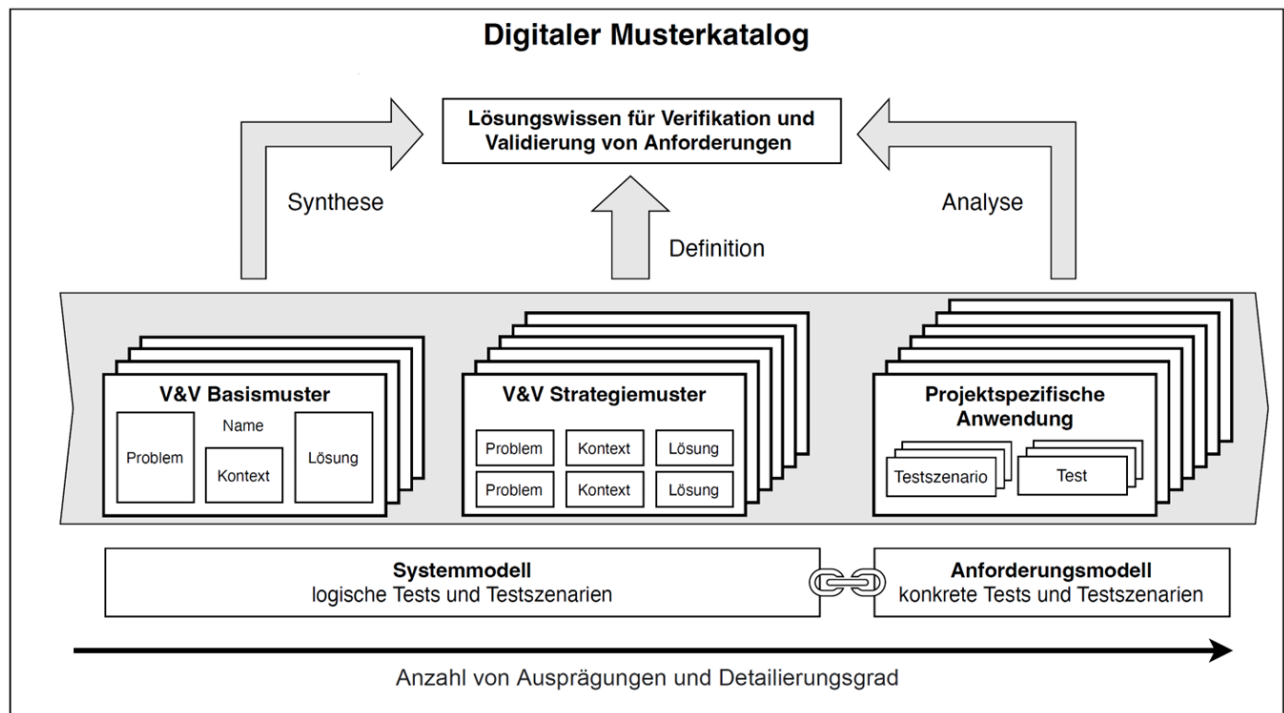


Bild 2-106: Übersicht Lösungsmusterkatalog V&V

Ausgehend von der entwickelten Ontologie wird für die Lösungsmuster V&V zwischen **Verifikationsmuster** und **Validierungsmuster** unterschieden. Bild 2-107 und Bild 2-108 verdeutlichen den Aufbau dieser Mustertypen entsprechend der oben beschriebenen Aufteilung in Problem-Lösungs-Paaren. Zur Beschreibung des Problems innerhalb eines Verifikationsmusters dient das Ontologie-Element *Stakeholder Anforderung*. Zur Beschreibung der Lösung dient das Ontologie-Element *Test*. Zusammen mit weiteren vernetzten Ontologie-Elementen wird innerhalb des Systemmodells eine umfassende Beschreibung von geeigneten Tests möglich.

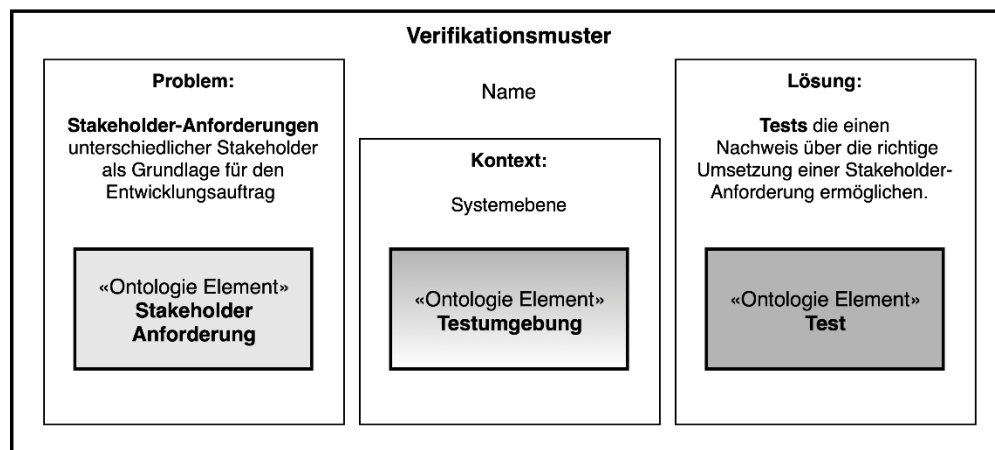


Bild 2-107: Verifikationsmuster

Der Fokus der Verifikationsmuster liegt auf dem anforderungsbasierten Testen, wobei die modellierten Tests einen Nachweis über die richtige Umsetzung einer Stakeholder-Anforderung ermöglichen. Ziel der Validierungsmuster ist hingegen, einen bestmöglichen Nachweis über das Erreichen von Validierungszielen zu erreichen. Hierzu ist ein Problem-Lösungs-Paar aus den Ontologie-Elementen *Validierungsziel* und *Testszenario* beschrieben.

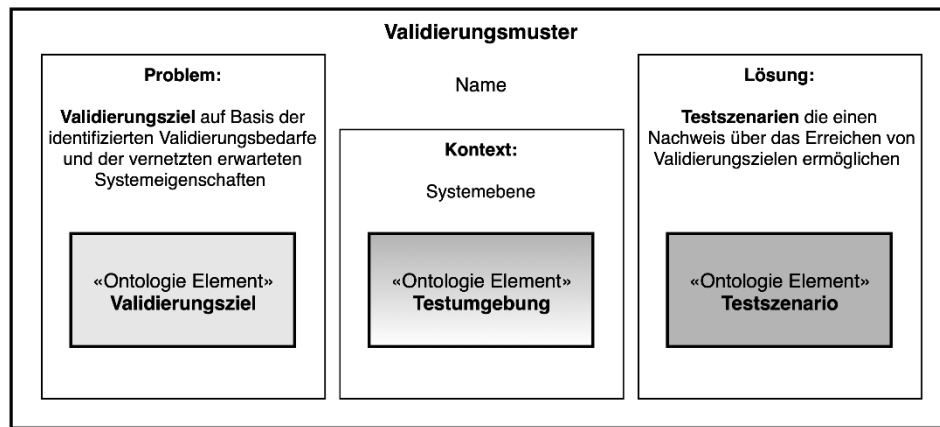


Bild 2-108: Validierungsmuster

Um die systematische Anwendung des Musterkatalogs zu ermöglichen, wurde zusätzlich zum eigentlichen Musterkatalog eine Methode entwickelt, die in die übergeordneten Methoden zur Systemmodellierung innerhalb des MoSyS Projekts integriert ist. Bild 2-109 skizziert das grundsätzliche Vorgehen zur Aufbereitung und Wiederverwendung von Lösungswissen für die V&V. Die grau hinterlegten Aktivitäten sind Teil der übergeordneten Systemmodellierung. Zur Durchführung dieser Aktivitäten unterstützt die Aktivität *Identifikation und Kombination von Basismustern*, wobei ausgehend von einer Stakeholder-Anforderung (Verifikationsmuster) oder eines Validierungsziels (Validierungsmuster) geeignete Problem-Lösungs-Paare ausgewählt werden können. Ebenso wird die Kontextmodellierung unterstützt. Durch die projektspezifische Anwendung entsteht dabei neues Lösungswissen, welches durch die Aktivität *Aufbereitung des Musterkatalogs* in das zentrale Systemmodell zurückgeführt werden kann. Durch die Vernetzung der Muster auf den unterschiedlichen Ebenen (Basismuster, Strategiemuster, Anwendung) und durch ein methodisch unterstütztes, stark iteratives Vorgehen, wird die kontinuierliche Aufbereitung des Musterkatalogs sichergestellt. Lösungswissen kann somit anwendungsorientiert gesichert und wiederverwendet werden.

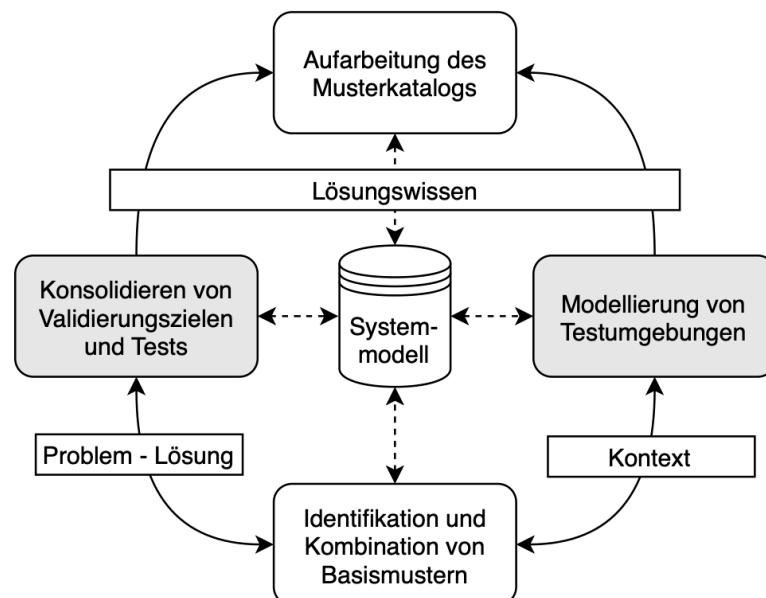


Bild 2-109: Vorgehen zur Dokumentation und Wiederverwendung von Lösungswissen für die V&V

Die Evaluierung des entwickelten Musterkatalogs wurde gemeinschaftlich mit dem Industriepartner Kostal und TwoPillars durchgeführt. Ein umfassendes Beispiel ist in den unten angegebenen Veröffentlichungen beschrieben. Seitens Kostal wurden Funktionsbeschreibungen eines On-Board-Chargers

(OBC) für Batterieelektrische Fahrzeuge und reale Validierungsumgebungen bereitgestellt. Two Pillars haben die Umsetzung des Lösungsmusterkatalogs V&V mit dem MBSE Tool iQUAVIS ermöglicht (s. Bild 2-110).

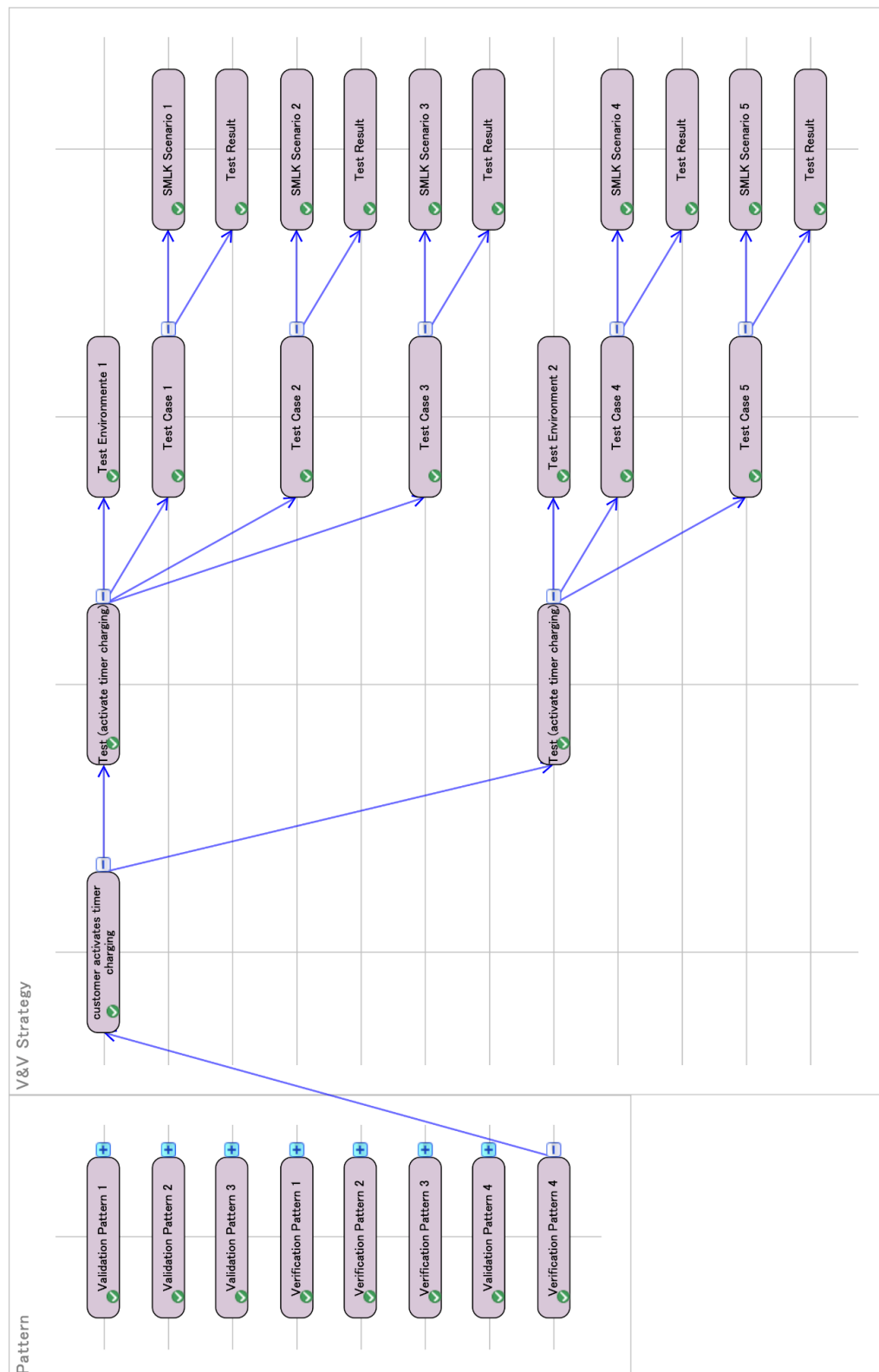


Bild 2-110: Umsetzung V&V Lösungsmuster in iQuavis

Ein Beispiel aus der Evaluierung ist das in Bild 2-111 modellierte Verifikationsmuster. Hier ist eine Stakeholder-Anforderung einer Timer-Charging Funktion beschrieben. Diese Funktion ermöglicht die

Konfiguration eines zeitgesteuerten Ladens von Elektrofahrzeugen. In der ausgewählten Anforderung ist beschrieben, dass der Kunde die Funktion aktivieren, sowie die gewünschte Abfahrtszeit und den gewünschten Ladezustand konfigurieren kann. Die Analyse der Anforderung führt zu dem Ergebnis, dass diese durch zwei voneinander abhängige Tests umfassend verifiziert werden kann. Wie in der Darstellung deutlich wird, ist das Muster auf einer logischen Ebene innerhalb des Systemmodells beschrieben, wodurch eine projektübergreifende Wiederverwendung von Lösungswissen gefördert wird. Der jeweilige Kontext, beschrieben durch die Testumgebung beinhaltet dabei die Ressourcen, wie Debug-Interfaces und weiterer Test-Hardware, die zur Ausführung von Testfällen nötig sind. Einerseits wird so durch die logische Beschreibung und Vernetzung dieser Ontologie-Elemente die Beschreibung von Verifikationsstrategien möglich, andererseits entsteht durch die Vernetzung mit den realen Elementen des Validierungssystems in der projektspezifischen Anwendung ein wichtiger Informationsfluss. Ein Beispiel ist, dass die zwei im Bild dargestellten Tests unterschiedliche Debug-Interfaces benötigen, die wiederum nur in unterschiedlichen Abteilungen zur Verfügung stehen. Der Test *The data is transmitted to the application* ist bspw. nur mit Zugriff auf den internen Speicher des OBCs möglich. Mit Hilfe des ausgewählten Basismusters und der daraus abgeleiteten Verifikationsstrategie kann somit deutlich gemacht werden, dass diese Anforderung aufgrund der Abhängigkeiten in zwei unterschiedlichen Abteilungen zu verifizieren ist. Gleichzeitig ist jedoch ein Austausch der Testergebnisse notwendig, um die korrekte Umsetzung der Anforderung bewerten zu können. Das ausgewählte Basismuster mit der Abhängigkeit zwischen den beiden Tests bringt dies zum Ausdruck.

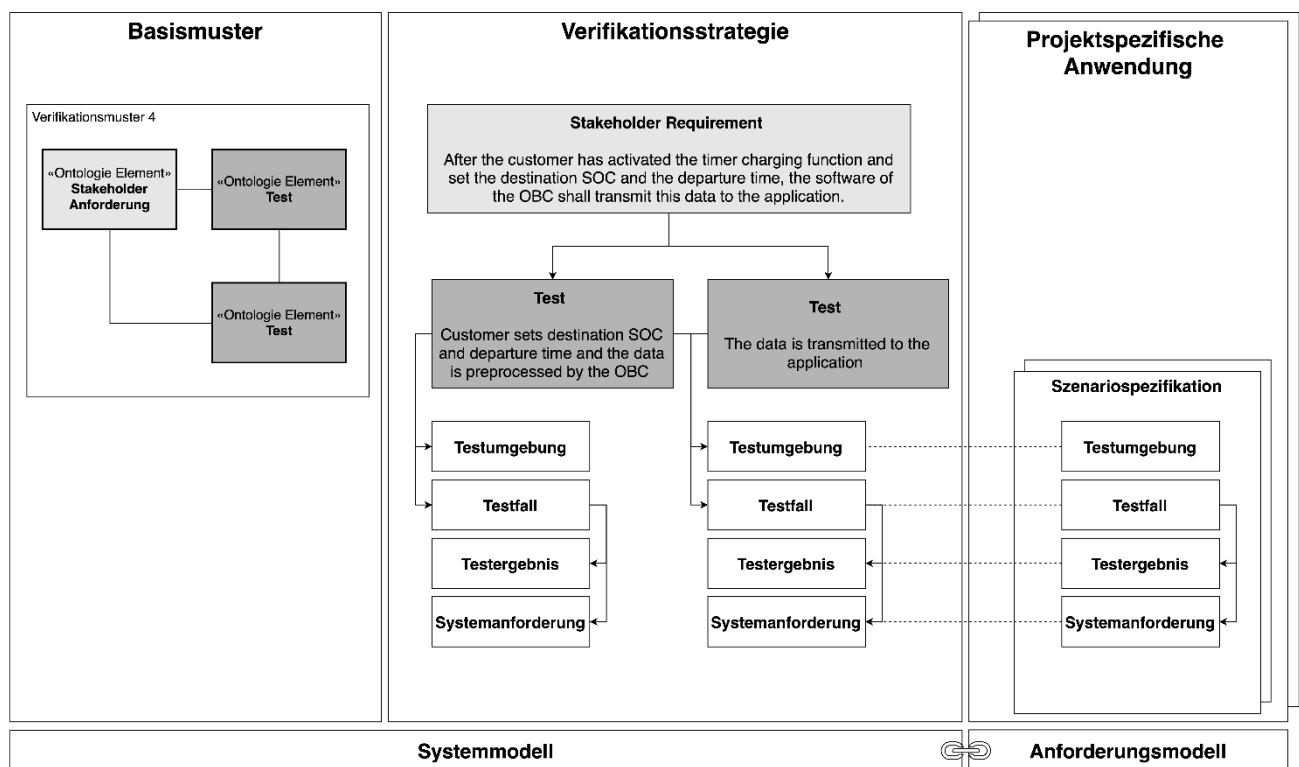


Bild 2-111: Anwendungsbeispiel Lösungsmuster in der Verifikation

Weitere Informationen	Veröffentlichungen: [WMG+24] Wiecher, C.; Mandel, C.; Günther, M.; Fischbach, J.; Greenyer, J.; Greinert, M.; Wolff, C.; Dumitrescu, R.; Mendes, D.; Albers, A.: Model-based Analysis and Specification of Functional Requirements and Tests for Complex Automotive Systems, Systems Engineering Journal, Wiley, 2024 [Wie24] Wiecher, C: Systematik zur integrativen Anforderungsanalyse und Testspezifikation für die Entwicklung von Systemen im Automobilbereich, Dissertation, Universität Paderborn, 2024

2.21.3. Diskussion und Ausblick

Lösungsmusterkataloge sammeln Wissen innerhalb eines Wissensgebiet. Auch wenn die Lösungsmusterkataloge in MoSyS eine erste gute Ausgangsbasis bieten, werden je nach Unternehmen weitere Lösungsmuster benötigt, die spezifischer auf die Problemstellungen in dem jeweiligen Anwendungsgebiet eingehen. Daher ist es wichtig, den grundsätzlichen Ansatz innerhalb der Unternehmen weiterzuführen und weitere Lösungsmuster zu ergänzen. Dies erhöht den Nutzen und ermöglicht die kontinuierliche Dokumentation von Wissen, welches implizit in den Köpfen einzelner Mitarbeiter entsteht.

Insbesondere für unternehmensübergreifende Entwicklungsaufgaben im Kontext von System of Systems ist die Etablierung einer öffentlich zugänglichen Datenbank für Lösungsmuster sinnvoll. Hierbei sind jedoch zahlreiche Fragestellungen zu klären, bspw. wer übernimmt die Pflege der Datenbank, wie wird es finanziert und wie stellt man eine Interaktion von Unternehmen auf der Plattform sicher. Denkbar sind auch verteilte Lösungsmusterkataloge die bspw. von einzelnen Gremien gemanagt werden.

Literaturverzeichnis

- [AIS+77] Alexander, C.; Ichikawa, S.; Silverstein, M.; Jacobson, M.; Fiksdahl-King, I.; Angel, S.: A pattern language – Towns, Buildings, Construction. 41st Edition, Oxford University Press; Oxford Univ. Press, Vol. 2 New York, NY, 1977
- [Ams16] Amshoff, B.: Systematik zur musterbasierten Entwicklung technologie-induzierter Geschäftsmodelle. Dissertation, 2016
- [GHJ+93] Gamma, E.; Helm, R.; Johnson, R.; Vlissides, J.: Design Patterns: Abstraction and Reuse of Object-Oriented Design, 1993
- [SK19] Salado, A.; Kannan, H.: Elemental patterns of verification strategies, Systems Engineering, Wiley, 2019

2.22. Schnittstelle Mensch/KI

2.22.1. Einleitung

2.22.1.1. Zielsetzung

Ziel des Wissensnuggets ist die Definition und Findung essenzieller Begriffe und Potentiale sowie Grenzen für den Einsatz von Künstliche Intelligenz (KI) im Engineering anhand von Experteneinschätzungen.

Die Einschätzung der Experten hilft bei der Evaluation, welche Begriffe im Zusammenhang der menschorientierten Gestaltung von Künstlicher Intelligenz eine zentrale Rolle einnehmen. Diese Begriffe sind anschließend tiefergehend definiert und erweitert worden, um so das Verständnis des Begriffs selbst und die Bedeutung dahinter für KI-Entwicklung zu verbinden.

2.22.1.2. Einordnung in MoSyS

Das Wissensnugget bietet die Grundlage, auf der weiterführende Forschung aufbauen kann, da die relevanten Begrifflichkeiten, die besonders im Fokus bei der Einbindung von KI stehen sollten, definiert werden. Außerdem wird deutlich, welche Aspekte in Bezug auf KI von den beschäftigten Experten als relevant erachtet werden. Durch die Expertenbefragungen entsteht ferner ein Bezug zu den Ergebnissen aus dem Arbeitspaket 1.

Das zuvor erarbeitete Wissen um System of System wird nun in den Kontext von Künstlicher Intelligenz gesetzt. Die Betonung der Begriffe durch Experten und die damit verbundenen Aspekte der Künstlichen Intelligenz bilden die Grundlage, um sie mit der menschenzentrierten Gestaltung in Beziehung zu setzen. Abgesehen davon bieten die Begriffe selbst Ausgangspunkte für weitere Forschung für die Beschäftigtenperspektive auf KI-Technologien. Mit den Begriffen als roten Faden, entsteht eine Verknüpfung zu weiteren Wissensnuggets aus den Arbeitspaketen 5.2, 5.3, 5.4 und 5.5.

2.22.1.3. Vorgehen

Es wurden sowohl eine Literaturrecherche als auch Interviews durchgeführt. Die Ergebnisse wurden durch Experten validiert.

Das Ergebnis, ein umfangreiches Glossar mit wichtigen KI-Begriffen, wurde durch eine eingehende Literaturrecherche, sowie einen Expertenworkshop erarbeitet. Diese Teilergebnisse wurden gegeneinander validiert, wobei dieser Prozess weitgehend parallel verlief (siehe Bild 2-112).

Zuerst wurde eine Recherche zur Erhebung der Begrifflichkeiten veranlasst. Diese bildet die Grundlage, um den Stand der Forschung und Anwendung von KI einschätzen zu können. Die daraus resultierenden Quellen wurden gruppiert und anschließend gefiltert. Die so gewonnenen Erkenntnisse wurden durch die Experteninterviews ergänzt und bewertet, und in einem Glossar gesammelt.

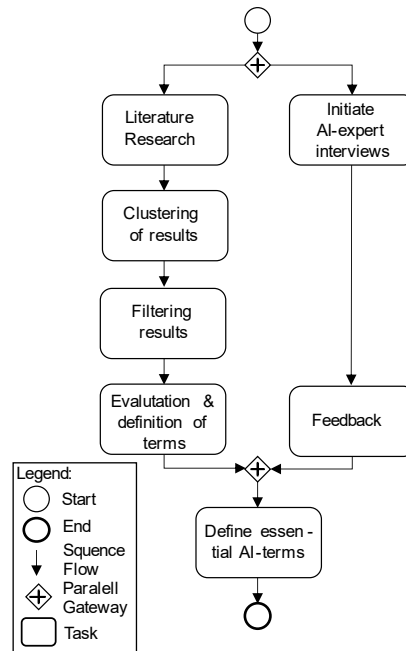


Bild 2-112: Erstellungsprozess des Glossars

2.22.2. Hauptteil

2.22.2.1. Definitionen

„Künstliche Intelligenz“: Zentral ist zunächst der umfangreiche Begriff „Künstliche Intelligenz“ selbst. Aufgrund der zahlreichen Einblicke ist die Definition ebenso umfassend und die Definition ist Teil des Ergebnisses (siehe Kap. 2.22.2.2).

„Anwendungsfall“: Ein Anwendungsfall beschreibt eine Menge von Aktionen eines Systems, die zu einem beobachtbaren Ergebnis führen, das typischerweise für die Akteure oder Stakeholder einen Wert hat. Im Rahmen dieses Arbeitspakets stehen die Anwendungsmöglichkeiten, in den KI einen umsetzbaren Nutzen erzielen kann, im Fokus.

„Menschenzentriert“: Eine mögliche Sichtweise auf KI, die sich auf menschenzentrierte Aspekte konzentriert, insbesondere im Hinblick auf die Zusammenarbeit zwischen Menschen und KI, ist die menschenzentrierte Sichtweise.

„Nutzerzentriertes Design“: Dieser Begriff schlägt in eine ähnliche Kerbe wie der Vorherige. Hier sind aber visuelle Aspekte und das Design eines interaktiven Systems hervorzuheben.

„Stakeholder“: Wörtlich übersetzt bedeutet dieser Begriff „Interessensgruppe“. Stakeholder sind somit die Personen, die an der Anwendung beteiligt sind und vom Erfolg dieser abhängig sind.

2.22.2.2. Ergebnisse

Aus dem Projekt heraus und den befragten Experten sind drei verschiedene Sichtweisen auf KI entstanden:

1. Expertensicht:

Künstliche Intelligenz wird als multidisziplinäres Gebiet definiert, eine einheitliche Definition ist jedoch aufgrund der Vielfalt der Techniken, Werkzeuge und des individuellen Verständnisses je nach spezifischem Kontext nahezu unmöglich. Künstliche Intelligenz wird als Oberbegriff verwendet und muss je nach Anwendung, Zweck, Verständnis und Kontext definiert werden.

2. die technische Sicht:

Auch hier gilt die multidisziplinäre Anwendung, jedoch ist eine einheitliche Definition aus technischer Sicht nicht möglich. Die Definition gliedert sich in 4 Kategorien, die in ihrer Gesamtheit die Definition von KI ermöglichen (siehe Bild 2-113).

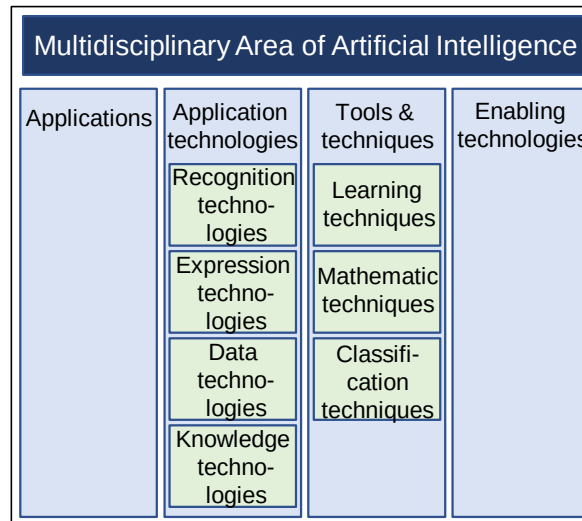


Bild 2-113: Klassifikation der Definition der technischen Sicht

- i. Applikationen enthalten Konzepte der KI-Anwendung, wie vorausschauende Wartung, Assistenzsysteme, Mensch-Maschinen-Interaktion.
- ii. Anwendungstechnologien lassen sich ebenfalls in Cluster teilen, die benennen welche Technologien die KI für ihre Anwendung nutzt (Recognition, Expression, Data und Knowledge Technologie).
- iii. Werkzeuge und Techniken decken die drei Herangehensweisen ab, mit denen KI arbeiten kann (Learning, Mathematic, Classification Techniken).
- iv. Die Enabling Technologien umfassen Terme wie Algorithmus oder Big Data, Technologien, die zugrunde der KI liegen und ihr die Funktion ermöglichen.

3. Die menschenzentrierte Sicht:

KI ist ein multidisziplinäres Gebiet, das darauf abzielt, Aufgaben zu automatisieren, die menschliche Intelligenz erfordern. Aus diesem Ziel ergeben sich die prioritären Aspekte einer Vision: der Nachahmung des menschlichen Verhaltens.

Insbesondere die technische Sicht auf KI ermöglichte es, die von den Experten hervorgehobenen Begriffe zu klassifizieren. Die Begriffe werden definiert und in die entsprechende Kategorie eingeordnet. Im Kontext der Fragestellung wurde besonders auf das humanorientierte Potenzial der Begriffe geachtet. Das Ergebnis ist ein umfangreiches Glossar, das als Grundlage für weitere Untersuchungen genutzt werden kann und Basiswissen vermittelt.

Die Experteninterviews ermöglichten einen Einblick in den aktuellen Stand der KI-Anwendungen. Dabei konnten verschiedene Tendenzen der Integration von KI in die Arbeitswelt identifiziert werden: positiv, negativ, ambivalent. Diese Haltungen basieren auf Erwartungen an den Nutzen, die Qualität der geleisteten Arbeit und ethische Aspekte von KI-Anwendungen.

Darüber hinaus wurden von den Expertinnen und Experten mögliche Einsatzfelder von KI im Bereich des Engineerings aufgezeigt. Insbesondere Aufgaben wie Automatisierung und Standardisierung, bei denen große Datenmengen zum Training und zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stehen, sind vielversprechend für KI-Anwendungen. Forschungsbedarf wird hingegen im Bereich des Sondermaschinenbaus gesehen. In Bereichen wie dem Projektmanagement gibt es eine starke Nachfrage nach

KI-Anwendungen, die unterstützende Aufgaben übernehmen können. Häufig fehlt jedoch die notwendige Datenmenge oder die Datenqualität ist zu gering, um den Aufwand zu rechtfertigen.

Weitere Informationen	Wiki: Definition System of Systems: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Glossar:System_of_Systems ASE-Glossar: https://wiki.advanced-systems-engineering.de/index.php/Category:ASE-Glossar Definition Anwendungsfall: https://websites.fraunhofer.de/mosys/index.php/Glossar:Anwendungsfall System of Systems: Digitaler Anhang: • KI-Begriffe • Sichtweisen auf KI Link: Schnittstelle Mensch-KI: https://www.youtube.com/watch?v=8nXyug9oe38 Veröffentlichung: [HTW+23] Humpert, L., Tihlarik, A., Wäschle, M., Anacker, H., Dumitrescu, R., Albers, A., Albert, B., Röbenack, S., Pfeiffer, S., "Investigating the potential of artificial intelligence for the employee from the perspective of AI-experts."

2.22.3. Diskussion und Ausblick

Das Glossar bietet eine Grundlage für das Verständnis von KI-Begriffen, die im Rahmen der menschenzentrierten Entwicklung von besonderer Bedeutung sind. Damit verbunden sind Konzepte und Zukunftsvisionen der verschiedenen KI-Experten, die weiter untersucht werden können.

Zum einen ist die Forschung und Entwicklung von KI auch in den Bereichen, in denen sie bereits eingesetzt wird, noch nicht abgeschlossen. Zum anderen gibt es noch einige Bereiche (z.B. im Projektmanagement), in denen KI ein hohes Potential besitzt. Hier besteht besonderer Forschungsbedarf.

Literaturverzeichnis

- [HTW+23] Humpert, L., Tihlarik, A., Wäschle, M., Anacker, H., Dumitrescu, R., Albers, A., Albert, B., Röbenack, S., Pfeiffer, S., "Investigating the potential of artificial intelligence for the employee from the perspective of AI-experts."

2.23. Menschorientierte Entwicklung von KI-Anwendungen

2.23.1. Einleitung

2.23.1.1. Zielsetzung

Ziel ist es, eine Vorgehensweise zur Identifikation, Bewertung und Entwicklung von Potenzialen bzw. Anwendungsfällen der Künstlichen Intelligenz (KI) zu erarbeiten und KMU zu befähigen, diese menschenorientiert umzusetzen. Das Ergebnis soll Klarheit über die Anwendung dieses Vorgehens schaffen.

Es zeigt die grundlegenden Schritte auf, die notwendig sind, um KI-Potenziale zu identifizieren und wie dieser Ansatz kontextabhängig detailliert werden kann. Dieser Ansatz stellt sicher, dass die menschliche Perspektive im gesamten Entwicklungsprozess von KI-Anwendungen innerhalb von SoS eine zentrale Rolle spielt.

2.23.1.2. Einordnung in MoSyS

Die Ergebnisse aus den Arbeitspaketen AP1 und AP5.1 fließen in die arbeitssoziologischen Auswertungen der KI-Potenziale mit ein. Zentrale KI-Begriffe aus AP 5.1. legen den Grundstein für das Verständnis und die Kommunikation. Aus AP2 wird das Architekturframework verwendet, um die KI-Anwendungsfälle zu modellieren. Darüber hinaus sind die gewonnenen Erkenntnisse in der Anwendung der Kriterien der menschengerechten Gestaltung für die weitere Forschung und die Validierung der bisherigen Ergebnisse essenziell. Anschließend wird der Ansatz in den Leitfaden von AP 7 integriert und die Ergebnisse im Demonstrator von AP 8 verwendet.

2.23.1.3. Vorgehen

Ausgehend von der Fragestellung, wie man KI-Anwendungen in den Produktentwicklungsprozess implementieren und auswählen kann, wurde ein zweistufiger Analyseprozess erstellt. Dieser hilft bei der menschenorientierten Identifikation und Auswahl. Erarbeitet und validiert wurde dieser Analyseprozess in Zusammenarbeit mit HARTING Applied Technologies.

Als erstes erfolgte eine allgemeine Potenzialanalyse im bestehenden Produktentwicklungsprozess (siehe Bild 2-114).

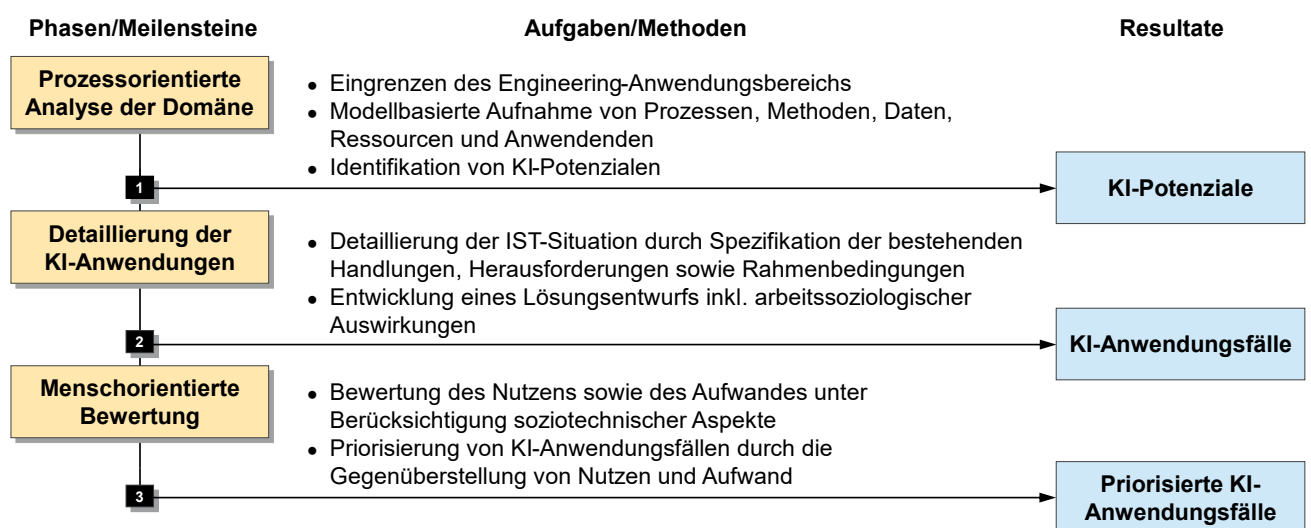


Bild 2-114: Prozess der Potenzialanalyse

Die priorisierten KI-Anwendungsfälle wurden im zweiten Schritt mit dem Prozess zur Planung und Selektion genauer spezifiziert und anschließend auf Basis der Kriterien einer menschenorientierten Entwicklung bewertet (siehe Bild 2-115).

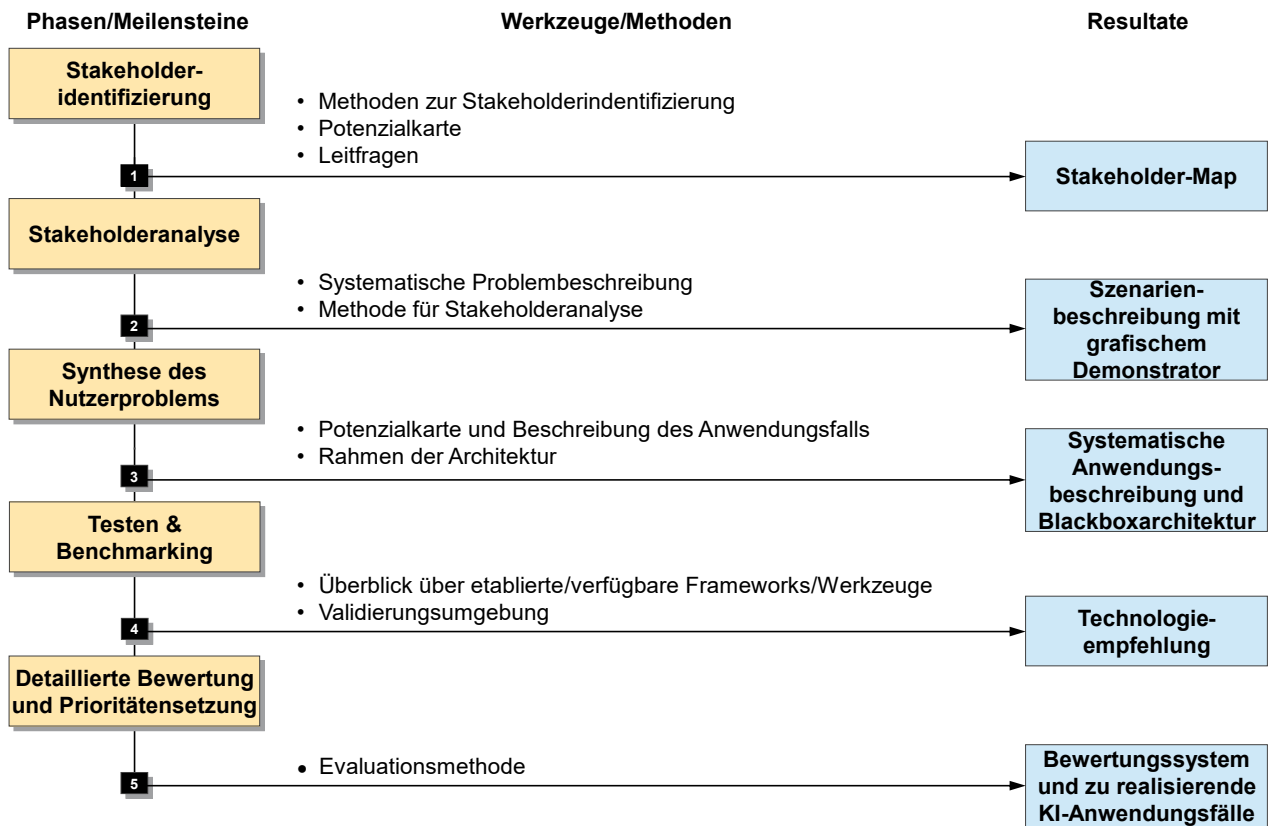


Bild 2-115: Planung und Selektion der KI-Anwendungsfälle

Die Bewertung als Endergebnis zeigt auf, welche Anwendungsfälle technisch realisierbar sind, Unterstützung für den Menschen bieten und dadurch das Unternehmen befähigen die Entscheidungsfindung zu verbessern und eine Unterstützung durch die Nutzung fortschrittlicher KI-Technologien zu erlangen.

2.23.2. Hauptteil

2.23.2.1. Definitionen

„Assistenzsysteme“: KI-Systeme, die eine Zusammenarbeit mit natürlicher Intelligenz benötigen, somit bei einer Aufgabe assistieren, werden Assistenzsysteme genannt.

„Anwendungspotenziale“: Dieser Begriff beschreibt die Möglichkeit eine Anwendung zu finden, die einen Arbeitsschritt mit KI erweitern kann.

„System of Systems“: Ein „System of Systems“ ist eine Menge an interagierenden Systemen, von denen jedes einzelne System in sich selbst als System betrachtet werden kann, wobei jedes System unabhängig agieren kann und einen eigenen Zweck besitzt. ... die individuellen Systeme der Menge unabhängig organisiert werden, um ihre Zwecke zu erfüllen. ... die Systemkombination Ergebnisse liefert, die von einzelnen Systemen nicht erreicht werden können.

2.23.2.2. Ergebnisse

Das Ergebnis ist der zweistufiger Analyseprozess (siehe Kap. 2.23.1.3), der Potenziale zur Anwendung von KI in Unternehmen aufzeigen soll. Aus diesem resultieren anhand des Beispiels von Harting

AT folgende Ergebnisse. Durch die Analyse der VDI 2221 wurde transparent, dass die Konstruktion und Dokumentation eine mögliche Phase zum Einsatz von KI repräsentiert. Das Beispiel in Bild 2-115 stellt die Phase der Konstruktion dar. Durch eine Analyse der Konstruktionsphase wurden die konkreten KI-Potenziale identifiziert (siehe Bild 2-116).

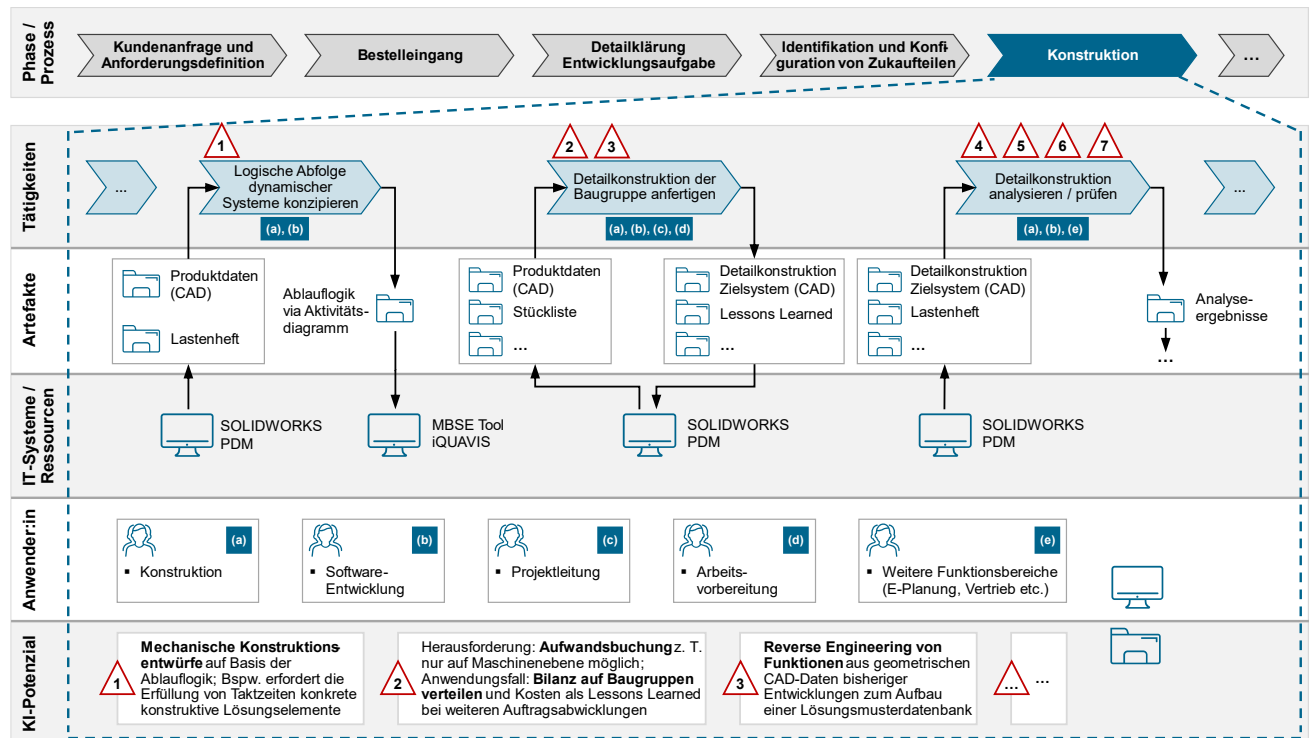


Bild 2-116: Prozessmodellierung am Beispiel der Phase Konstruktion

Die Detaillierung der KI-Potenziale erfolgte in Steckbriefen. Dazu wurde die aktuelle Situation beurteilt. Mit der Entwicklung eines Lösungsentwurf, der auch die arbeitssoziologischen Auswirkungen berücksichtigt, ergaben sich konkrete KI-Anwendungsfälle. Ein Beispiel ist in Bild 2-117 dargestellt.

Konstruktion – Reverse Engineering von Funktionen			
Aktuelle Situation	Beschreibung Um die steigende Produktkomplexität auch weiterhin zu beherrschen, hat sich HARTING Applied Technologies das Zielbild gesetzt, die frühe ganzheitliche Systemkonzipierung auf Basis lösungsneutraler Funktionen zu optimieren. Die durchgängige Vernetzung von Funktionen zu bestehenden domänenspezifischen Modellen (insb. Konstruktionsdaten) gestaltet sich als herausfordernd. Eine Zuweisung von Anforderungen auf lösende Systeme erfolgt bisher auf Lastenheft-Ebene.		
	Rahmenbedingungen - Historisch gewachsene Datenbank - Einsatz von SOLIDWORKS PDM - Einführung Systems Engineering	Prozess und Artefakte - Prozess: Konstruktion - Tätigkeit: Detailkonstrukt. d. Baugruppe anfertigen - Input/ Output: ...	Anwender:in - Konstruktion - Indirekte Bereiche: Software Engineering, Systementwurf, ...
Lösungsentwurf	Zielbild Zielstellung ist die KI-gestützte Ableitung von Funktionen sowie ggf. weiteren erfüllten Anforderungen auf Basis von geometrischen Daten, verknüpften Lastenheften sowie weiteren Meta-Informationen. Das langfristige Ziel ist es, eine Lösungsmusterdatenbank aufzubauen, welche durch die Selektion von geforderten Funktionen und ggf. weiteren Anforderungen passende Systemelemente vorschlägt.	Arbeitssoziologische Auswirkungen - Change Management: Berücksichtigung der individuellen Zeit für den Anlernprozess - Wissensgefälle: Umgang mit Expertisenverlust und Hierarchien - Fehlerkultur: Klärung der Verantwortlichkeiten, Entscheidungsträger und Zielparame-ter	

Bild 2-117: Steckbrief eines KI-Potenzials Reverse Engineering von Funktionen

Anschließend fand eine Bewertung der Anwendungsfälle statt. Bild 2-118 stellt eine Übersicht über die Anwendungsfälle und deren Bewertung dar.

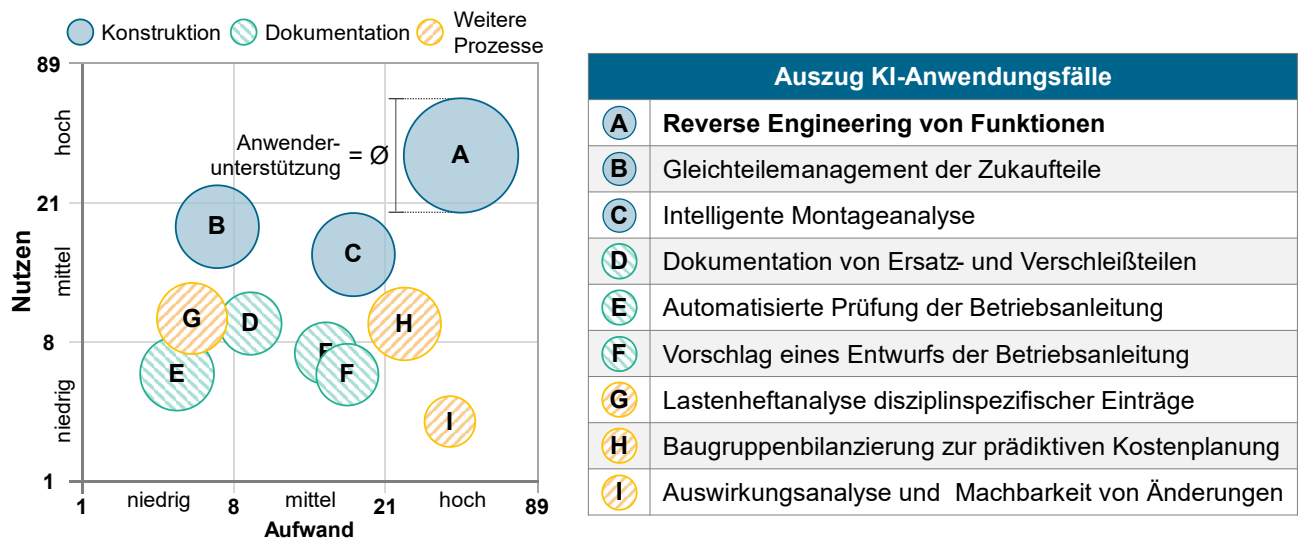


Bild 2-118: Bewertung der KI-Anwendungsfälle

Um zu ermitteln, welche Anwendungsfälle tatsächlich umgesetzt werden können, ist der zweite Analyseprozess von entscheidender Bedeutung. Dieser fokussiert die ersten drei Anwendungsfälle (A, B, C, siehe Bild 2-117). Zunächst ist es essenziell, die Stakeholder der KI-Anwendungsfälle in einer Stakeholder-Map (Bild 2-119) zu identifizieren. Darauf aufbauend führt die Stakeholderanalyse zu detaillierten Szenarienbeschreibungen in Form von erweiterten Steckbriefen und graphischen Demonstratoren. Ergänzend dazu beinhaltet der erweiterte Steckbrief auch einen Ausschnitt aus dem Aufbau der Systemarchitektur der KI-Anwendung in iQUAVIS. Durch anschließende Tests wird ein umfassender Überblick über die verfügbaren Werkzeuge und Technologien gewonnen. Auf der Grundlage dieser Einsichten lassen sich technologische Empfehlungen aussprechen. Unter Berücksichtigung aller vorangegangenen Informationen wird abschließend eine Bewertung vorgenommen.

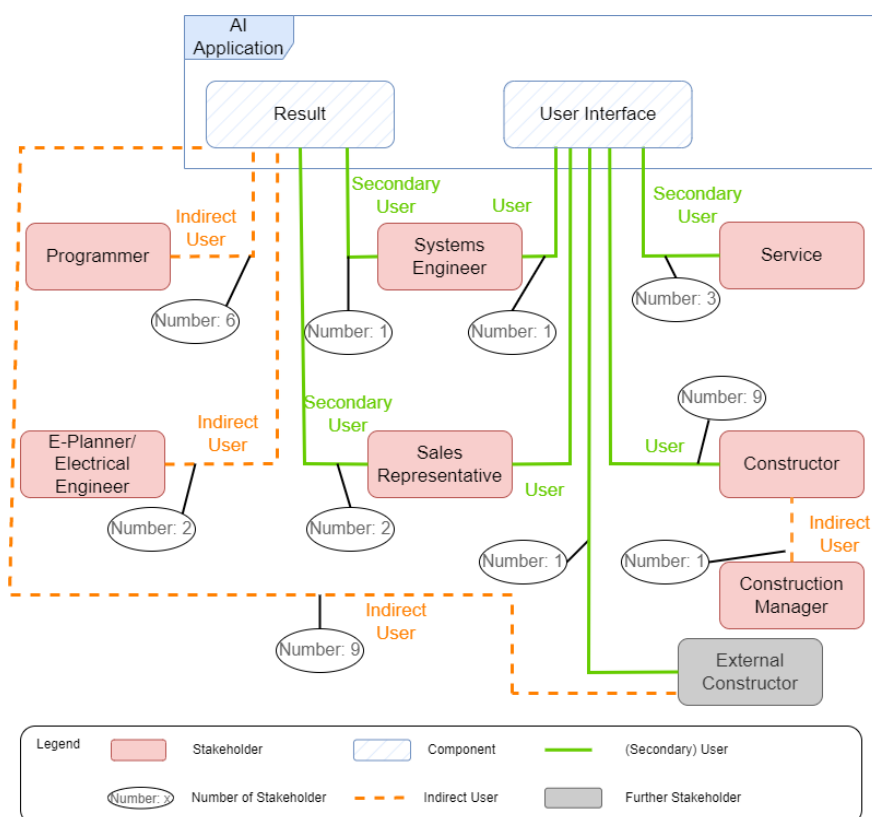


Bild 2-119: Stakeholder-Map

Das Ergebnis ist eine Priorisierung der drei Anwendungsfälle, wie in Bild 2-120 dargestellt. Bei HARTING AT waren es die folgenden Anwendungsfälle: Reverse Engineering von Funktionen, Gleichteilemanagement von Zukaufteilen, intelligente Montageanalyse.

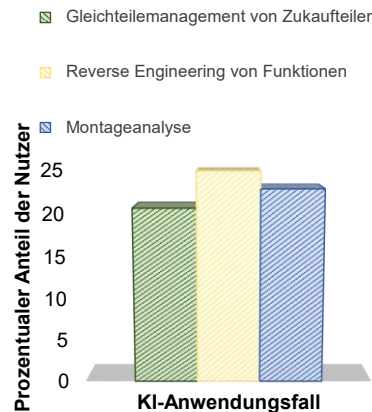


Bild 2-120: Bewertung der KI-Anwendungsfälle

Das Reverse Engineering von Funktionen zielt darauf ab, Systemelemente auf Basis von Daten, wie der Funktion, aus dem PDM vorzuschlagen. Die Funktion des Anwendungsfalles Montageanalyse ist es eine fehlerfreie Montage zu ermöglichen. Dies soll durch eine Kollisionskontrolle im CAD System erfolgen. Das Filtern, Sortieren und Darstellen von zugekauften Teilen, die anhand der Ähnlichkeit verglichen werden können, ist das Ziel des Anwendungsfalles Gleichteilemanagement. Dieser wird im Folgenden realisiert (siehe Kap. 2.25)

Weitere Informationen	Wiki: Assistenzsysteme: https://wiki.advanced-systems-engineering.de/index.php/Assistenzsystem System of Systems: https://wiki.advanced-systems-engineering.de/index.php/Systems-of-Systems Digitaler Anhang: • Konstruktion • Dokumentation • Bewertung Veröffentlichung: [KHA+22] Kharatyan, A.; Humpert, L.; Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Wäschle, M.; Alber, A.; Horstmeyer, S.: Künstliche Intelligenz im Engineering - Menschorientierte Analyse von Potenzialen am Beispiel vom Sondermaschinenbau. DE GRUYTER 117, 6, S. 1-5, 2022. [HWH+23] Humpert, L.; Wäschle, M.; Horstmeyer, S.; Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Albers, A.: Stakeholder-oriented Elaboration of Artificial Intelligence use cases using the example of Special-Purpose engineering. CIRP conference, 2023

2.23.3. Diskussion und Ausblick

Es ist ein Prozess für KMU entstanden, der dabei hilft KI-Potenziale in den verschiedenen Bereichen im Unternehmen zu identifizieren, menschenorientiert zu entwickeln und die notwendige technische Einschätzung zu treffen. So können Unternehmen bei der Digitalisierung und dem Entwicklungsprozess komplexer Produkte durch KI unterstützt werden.

Die zukünftige Forschung sollte sich darauf konzentrieren, die Methodik auf Systemen SoS zu übertragen.

Literaturverzeichnis

- [KHA+22] KHARATYAN, A.; HUMPERT, L.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.; WÄSCHLE, M.; ALBER, A.; HORSTMAYER, S.: Künstliche Intelligenz im Engineering - Menschenorientierte Analyse von Potenzialen am Beispiel vom Sondermaschinenbau. DE GRUYTER 117, 6, S. 1-5, 2022.
- [HWH+23] HUMPERT, L.; WÄSCHLE, M.; HORSTMAYER, S.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.; ALBERS, A.: Stakeholder-oriented Elaboration of Artificial Intelligence use cases using the example of Special-Purpose engineering. CIRP conference. 2023.

2.24. Entwurf KI-gestützte Anwendung

2.24.1. Einleitung

2.24.1.1. Zielsetzung

Die „Rule of Ten“ zeigt, dass Fehler, die sich früh in der Produktion einstellen, mit jedem weiteren Schritt um den Faktor 10 zunehmen. Ziel ist es daher, die Bedeutung einer frühen Validierung im Rahmen des Systems Engineering zu vermitteln und die KI-Anwendung detailliert zu konzipieren. Dabei muss der Mensch kontinuierlich in die Entwicklung der KI-Anwendung einbezogen werden, um eine erfolgreiche Umsetzung zu gewährleisten.

Für die Entwicklung einer KI-Anwendung wurde ein menschenzentrierter Ansatz entwickelt. Dieser beschreibt eine nutzerorientierte Validierung mithilfe der Systemarchitektur und Mock-Ups. Auf Basis der Informationen aus der Systemarchitektur kann eine Umsetzung der Anwendung erfolgen und in Form von iterativen Schleifen in Bezug auf die Validierungsergebnisse kontinuierlich verbessert werden.

2.24.1.2. Einordnung in MoSyS

Aus AP2 wurde ein Framework zur Erstellung einer menschenorientierten Architektur für ein SoS verwendet. Die Entwicklung und Validierung einer KI-Anwendung erfolgte in Anlehnung an die Ergebnisse aus AP5.2 und AP5.3 am Beispiel eines konkreten Anwendungsfalls. Dies entstand parallel zur Entwicklung von SoS und einem modellhaften SE-Unternehmen in AP7 und AP8. Die Informationen sind kontinuierlich in diese Arbeitspakete eingeflossen. Die technische Realisierung ist in einem weiteren Wissensnugget ausführlich beschrieben.

2.24.1.3. Vorgehen

Das menschenorientierte Vorgehen wurde durch die Entwicklung einer KI-Anwendung und Nutzung des Vorgehens in weiteren Projekten erarbeitet. Dadurch entsteht ein Ablauf zur Validierung in drei Phasen. Die Evaluierung erfolgte anhand eines priorisierten KI-Anwendungsfalls beim Unternehmen HARTING AT.

Daraus wurde die Idee abgeleitet, die Validierung deutlich früher einzusetzen und entwicklungsbegleitend durchzuführen. Es wird untersucht, welche Validierungsmethoden nach dem Stand der Technik üblich sind, welche zusätzlich die Systemarchitektur berücksichtigen und welche Modellierungssprachen zur Verfügung stehen. Der Ablauf der Validierung wird erarbeitet und anhand eines Diagramms erläutert und abschließend am Beispiel einer KI-Anwendung untersucht.

2.24.2. Hauptteil

2.24.2.1. Definitionen

Validierung - Validierung meint ursprünglich die Gültigkeitsprüfung einer Messmethode in der empirischen Sozialforschung, das heißt inwieweit die Testresultate tatsächlich das erfassen, was durch den Test bestimmt werden soll. Übertragen auf technische Systeme ist hierunter die Prüfung zu verstehen, ob das Produkt für seinen Einsatzzweck geeignet ist bzw. den gewünschten Wert erzielt.

Hier geht die Erwartungshaltung des Fachexperten und des Anwenders ein. Die Validierung beinhaltet z.B. die Prüfung, ob die Beschreibung eines Algorithmus mit dem zu lösenden Problem übereinstimmt. Sie ist im Allgemeinen nicht formal durchzuführen. Umgangssprachlich ist die Validierung die Beantwortung der Frage: Wird das richtige Produkt entwickelt?" (VDI 2206)

2.24.2.2. Ergebnisse

Das erarbeitete Validierungsmodell teilt sich in drei Phasen, mit jeweils mehreren Schritten und Zwischenergebnissen auf. Diese Phasen und Schritte können iterativ durchgeführt werden. So wird die Fortführung eines Fehlers und die damit einhergehende Kostensteigerung reduziert.

Die erste Phase (Planung der Validierung) arbeitet auf die Erstellung der Systemarchitektur hin. Dafür müssen Stakeholder identifiziert werden, die passende Validierungsmethode gewählt werden und Designentscheidungen hinsichtlich der Modellierungssprache getroffen werden.

In der zweiten Phase, der Validierung, wird die Methode angepasst und die relevanten Stakeholder werden kontaktiert. Eine abschließende Demonstration der Ergebnisse führt zu einem validierten System.

Nach dem Management der Validierungsergebnisse (Phase 3), das die Dokumentation der Ergebnisse und der notwendigen Änderungen umfasst, entsteht ein rückverfolgbares System.

Insgesamt konnte somit ein Validierungsprozess entwickelt werden, welcher die Validierung parallel zur Entwicklung ermöglicht und eine Orientierung für die KMUs zur Verbesserung des Entwicklungsprozesses geben soll. Der Prozess ist in Bild 2-121 dargestellt.

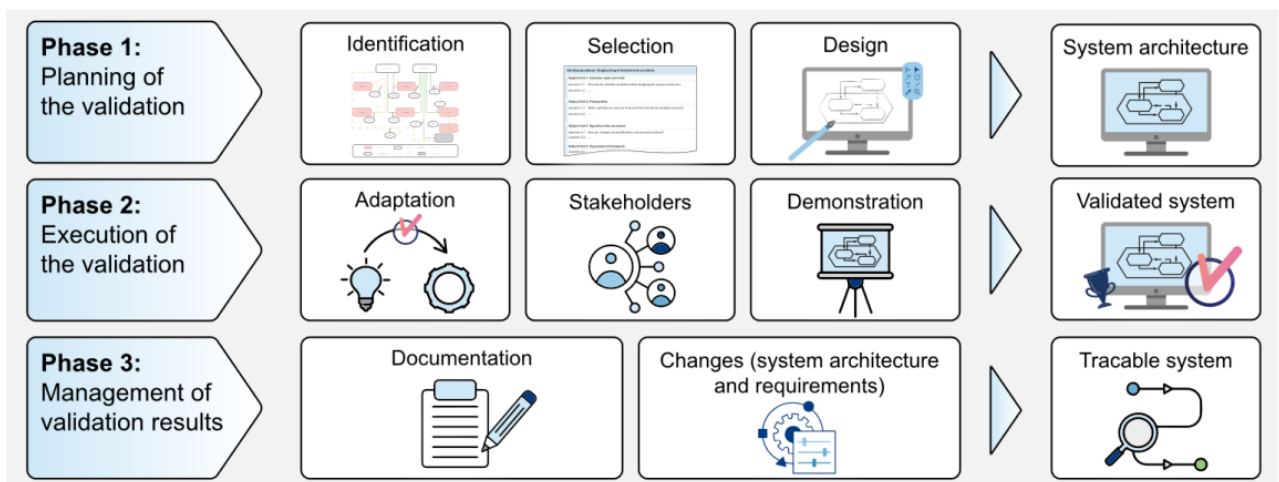


Bild 2-121: Ansatz zur Validierung eines KI-Anwendungsfalls in den frühen Phasen

Das beschriebene Validierungsmodell wurde bei der Entwicklung einer konkreten KI-Anwendung bei HARTING Applied Technologies angewendet. Dabei wurde das Gleichteilemanagement von Zukaufteilen als eine Anwendung realisiert, um Konstrukteure bei der Entwicklung einer Sondermaschine zu unterstützen und kontinuierlich über den Entwicklungsprozess durch geeignete Stakeholder validiert. Zu den Stakeholdern in Phase 2 gehörten fünf Nutzer (Konstrukteure) der KI-Anwendung und das entsprechende Management. Nach Prüfung verschiedener Methoden und einem direkten Austausch mit einem soziologischen Institut wurde die Gruppendiskussion in Form eines Treffens als Validierungsmethode und der Einbindung der wichtigsten Stakeholder in den Entwicklungsprozess gewählt. Die Gruppendiskussion erfordert zwar eine gute Zeitplanung und aktive Moderation, fördert aber die Dynamik und ermöglicht einen direkten Austausch zwischen den beteiligten Stakeholdern. Um die Effektivität des Ansatzes bewerten zu können, wurden in diesem Testfall in dieser Entwicklungsphase Änderungen der Anforderungen festgestellt, die 30 % der Anforderungen betrafen. Nach der Entwicklung der Anwendung anhand von Mock-ups und eines Prototyps wurde die Anwendung implementiert. Mit Hilfe von Nutzertests wurde die KI-Anwendung auf ihre Benutzerfreundlichkeit geprüft. Anschließend wurde ein SUS- und SUMI-Fragebogen zur Bewertung eingesetzt, der zeigte, dass die Anwendung in diesen Aspekten sehr gut abschnitt. Dies zeigt eine erste Wirksamkeit des Ansatzes.

Weitere Informationen	Wiki: Definition Validierung: https://wiki.advanced-systems-engineering.de/index.php/Validierung Digitaler Anhang: • Mock-Ups • Entwicklung einer KI-Anwendung Link: KI-Anwendung auswählen: https://www.youtube.com/watch?v=xtGw7KYgKbk Veröffentlichung: [HWH+23] Humpert, L.; Wäschle, M.; Horstmeyer, S.; Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Albers, A.: Stakeholder-oriented Elaboration of Artificial Intelligence use cases using the example of Special-Purpose engineering. CIRP conference. 2023 [HWB+24] Humpert, L.; Wilke, D.; Brüggemann, S.; S.; Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Utilization of the system architecture in the context of validation in the Business-to-Business (B2B) sector. DESIGN conference. 2024

2.24.3. Diskussion und Ausblick

Der Prozess kann für Unternehmen im B2B-Bereich verwendet werden. Es wird aufgezeigt, warum die Validierung in den frühen Phasen mit Systemmodellen relevant ist. Dies bedeutet, dass die Entwicklung in der erwarteten Richtung verläuft. Der Ansatz mit den verschiedenen Methoden (Validierungsmodell) ermöglicht die Auswahl und Durchführung der Validierung. Die Einteilung in Phasen und Schritte ist dabei besonders anwenderfreundlich und bietet eine Orientierungshilfe. Durch diese zielgerichtete Entwicklung können Kosten und Ressourcen gespart werden.

Für die weitere Forschung ist es wichtig zu überlegen, wie die Systemarchitektur unter dem Gesichtspunkt der Benutzerfreundlichkeit dargestellt werden sollte. Darüber hinaus ist es wichtig zu überlegen, ob in diesem Stadium 3D-Modelle zur Validierung mit begrenzten Ressourcen für die Kommunikation mit dem Kunden bereitgestellt werden können und wie diese mit der Systemarchitektur verknüpft werden könnten. Zu diesem Zweck sind 3D-Prototypen und andere derartige Ansätze in Betracht zu ziehen. Es ist auch zu klären, wie viele Ressourcen mit diesem Ansatz eingespart werden können.

Literaturverzeichnis

- [VDI 2206] Verein deutscher Ingenieure; VDI 2206 - Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. VDI 2206 ; VDI-Richtlinien. Düsseldorf (Beuth).
- [HWB+24] Humpert L., Wilke, D, Brueggemann S., Anacker, H., Dumitrescu, R.: Utilization of the system architecture in the context of validation in the Business-to-Business (B2B) sector. International Design Conference – Design 2024, 2023
- [HWH+23] Humpert, L.; Wäschle, M.; Horstmeyer, S.; Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Albers, A.: Stakeholder-oriented Elaboration of Artificial Intelligence use cases using the example of Special-Purpose engineering. CIRP conference, 2023

2.25. Technische Weiterentwicklung der KI-Anwendung

2.25.1. Einleitung

2.25.1.1. Zielsetzung

Ziel ist die Umsetzung des Anwendungsfalls Gleichteilemanagement. Dazu wurde der Steckbrief aus AP5.3. aus technischer Sicht umgesetzt. Dabei dient die Architektur mit den Anforderungen als Entwicklungsgrundlage.

In diesem Beitrag wird ein nutzerzentrierter Ansatz für die Formulierung von Gestaltungsabsichten bei der Suche nach Gleichteilen vorgestellt. Der Benutzer kann durch eine textuelle und filterbasierte Suchanfragen mit der KI-Anwendung interagieren. Die Anwendung verwendet hierarchische vektorbasierte Formsignaturen, die mit effizienten Indexierungsstrukturen gespeichert werden, um eine Suche in Echtzeit und eine fließende Interaktion zwischen Benutzer und System zu ermöglichen. Für die Formsignaturen werden selbstüberwachte Lerntechniken, die semantische und geometrische Merkmale auf globaler Ebene dicht kodieren, mit klassischen Merkmalen kombiniert.

2.25.1.2. Einordnung in MoSyS

Aus AP2 wurde ein Framework zur Erstellung einer menschenorientierten Architektur für ein SoS verwendet. Die Entwicklung und Validierung einer KI-Anwendung erfolgte in Anlehnung an die Ergebnisse aus AP5.2 und AP5.3 am Beispiel eines konkreten Anwendungsfalls. Die Anwendung und das Beispiel werden in AP8 wiederverwendet. Die Informationen sind kontinuierlich in dieses Arbeitspaket eingeflossen.

2.25.1.3. Vorgehen

Auf Basis der identifizierten Problemstellung wurde die prototypische Lösung in einem nutzerzentrierten, iterativen Prozess entwickelt. Dazu wurden die in dem Projekt entwickelten Methoden wie beispielsweise der “AI-assisted Engineering Canvas” eingesetzt.

Ein wesentliches Element war dabei die Erstellung und die Iteration eines Mockups des Systems (Bild 2-121). Bei der konkreten Softwareentwicklung wurde der Prototyp in einer agilen Arbeitsmethode umgesetzt.

2.25.2. Hauptteil

2.25.2.1. Definitionen

Design reuse ist ein Prozess, bei dem bereits vorhandene Designs, Konzepte oder Teile in neuen Kontexten oder Projekten erneut verwendet werden. Konkret bedeutet dies im Maschinenbau, dass mechanische Komponenten wiederverwendet werden. Dies hilft, Zeit und Ressourcen zu sparen, und fördert auch die Konsistenz und die Einhaltung von Standards.

3D shape retrieval bezeichnet die Suche und Identifikation von 3D-Objekten basierend auf ihrer Form oder anderen geometrischen Eigenschaften in einer Datenbank oder einem Datensatz. Ziel ist es, Benutzern das Auffinden von Modellen zu erleichtern, die ihren Suchkriterien entsprechen, ohne dass textuelle Beschreibungen erforderlich sind.

User-guided search beschreibt einen Suchprozess, bei dem der Benutzer interaktiv Einfluss auf die Suchergebnisse nehmen kann, indem er Präferenzen angibt, Filter anwendet oder Suchkriterien verfeinert. Diese Art der Suche ermöglicht eine genauere und relevantere Ergebnisfindung, da sie auf den individuellen Bedürfnissen und dem Feedback des Benutzers basiert. Konkret ermöglicht es dieser Prozess die relevanten Eigenschaften eines mechanischen Bauteils effizient festzulegen.

Interactive exploration ist ein Ansatz in verschiedenen Domänen wie Datenanalyse, Visualisierung und Lernumgebungen, bei dem Benutzer direkt mit den Daten oder dem Lernmaterial interagieren, um Muster, Beziehungen oder Wissen zu entdecken.

Self-supervised representation learning bezeichnet einen Ansatz im maschinellen Lernen, bei dem Modelle lernen, nützliche Repräsentationen von Daten zu generieren, indem sie mit den Daten selbst als ihr eigenes Überwachungssignal trainieren. Dieser Prozess minimiert die Notwendigkeit von manuell annotierten Trainingsdaten, indem er die Struktur oder inhärente Eigenschaften der Daten ausnutzt. Selbstüberwachtes Lernen ermöglicht es Maschinen, komplexe Muster und Merkmale in großen, ungelabelten Datensätzen zu erkennen und zu verstehen, was zu effizienteren und skalierbaren Lernprozessen führt.

2.25.2.2. Ergebnisse

Wie in den Arbeitspaketen AP5.2, 3 und 4 beschrieben wurde menschenorientiert ein erstes Mock-up entwickelt. Dieses ist in Bild 2-122 dargestellt. Auf Basis dieses Mock-Ups und den erarbeiteten Ergebnissen im Systemmodell wurde die KI-Anwendung bestehend aus einer webbasierten Benutzeroberfläche (Frontend) und dem Backend entwickelt.

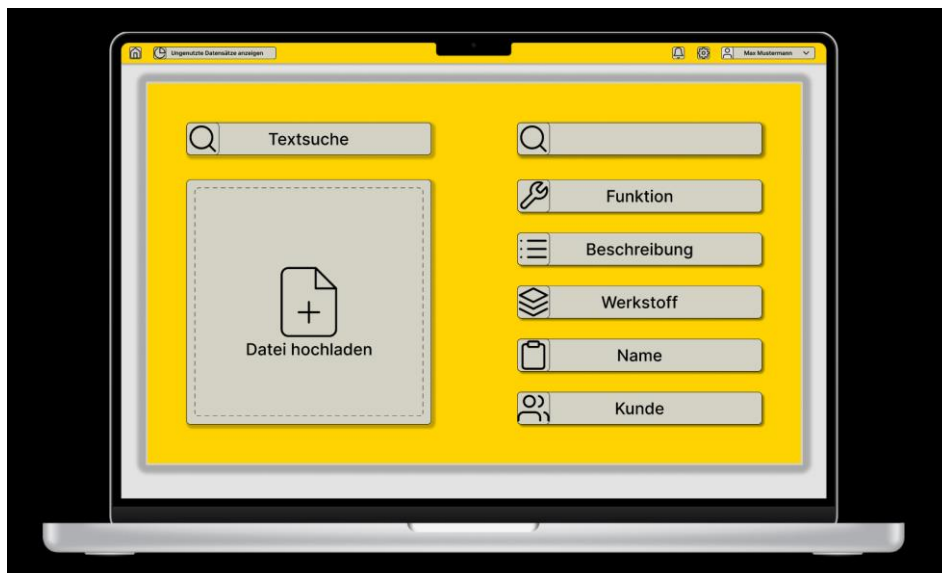


Bild 2-122: Mock-up Gleichteilemanagement

Die Umsetzung der KI-Anwendung erfolgte anhand eines sorgfältig durchgeführten Prozesses, der sich über zwei iterative Phasen erstreckte. Dabei wurden die Anwender und Nutzer der KI-Anwendung als priorisierte Stakeholder kontinuierlich in den Umsetzungsprozess eingebunden. Das Feedback der Anwender wurde in den nächsten Umsetzungsschritt eingebracht und zur Dokumentation in die modellbasierte Systemarchitektur überführt.

Die Benutzeroberfläche hat durch den iterativen Umsetzungsprozess die finale Ausgestaltung in Bild 2-123 erreicht.

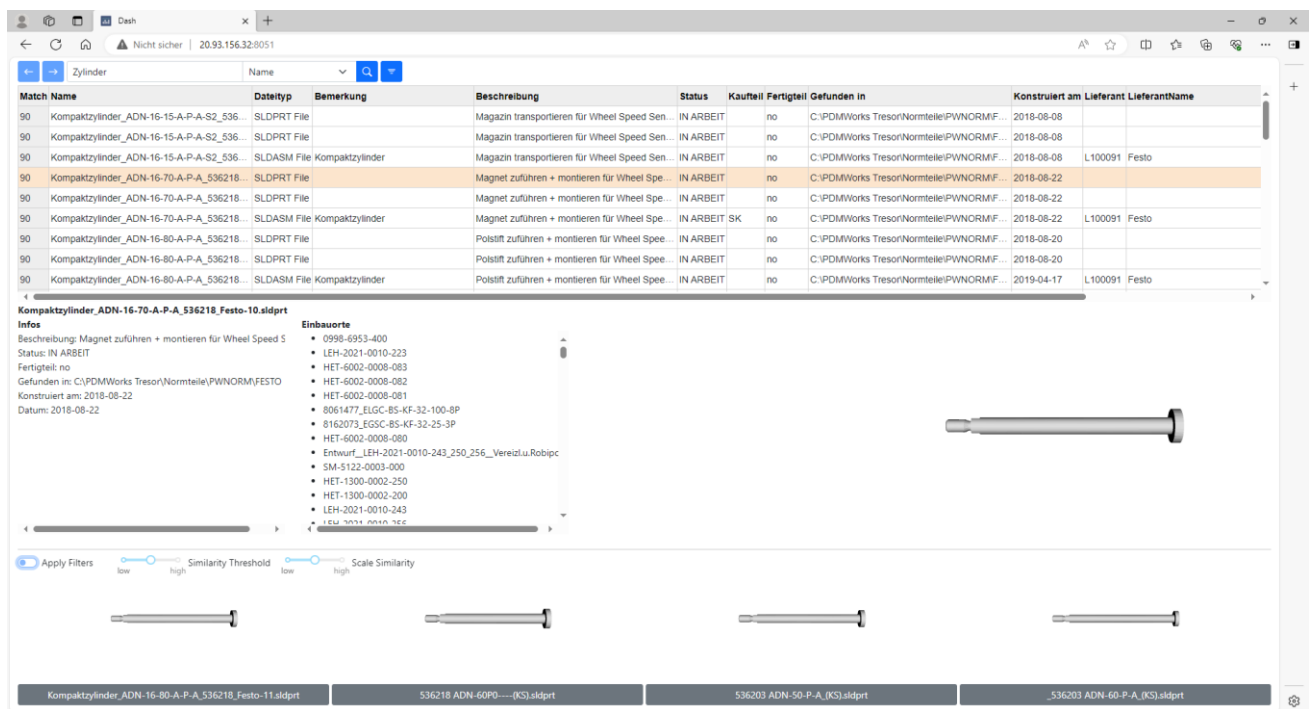


Bild 2-123: Benutzeroberfläche Gleichteilemanagement

Dabei ist die Benutzeroberfläche in drei Bereiche aufgeteilt: eine textuelle Suche mit Filterung anhand einer Benutzereingabe mit der tabellarischen Auflistung von vorgeschlagenen Geometrien als Suchergebnisse, ein Informationsbereich zu einer konkret ausgewählten Geometrie aus der Tabelle und ein Bereich mit dem Vorschlag von geometrisch ähnlichen Teilen (siehe Bild 2-124).

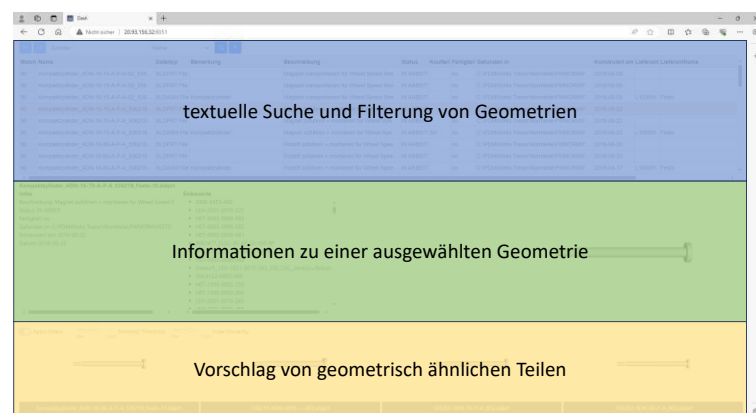


Bild 2-124: Funktionscluster der Benutzeroberfläche

Dabei sind folgende Funktionen abgebildet worden:

- Textuelle Suche und Filterung von Geometrien (1)
 - Auswahl anhand welchen Attributs im PDM-System gesucht werden soll – auch eine Suche über alle Attribute möglich
 - Durch den Einsatz von Fuzzy-Search Methoden ist das Finden von Inhalten trotz Rechtschreibfehlern möglich
 - Übergreifendes Finden von Inhalten in deutscher und englischer Sprache
 - Kennzeichnung von festen und zusammengehörigen Bestandteilen innerhalb des eingegebenen Suchtextes möglich
 - Zusätzliche Filterung in Bezug auf ausgewählte Attribute des PDM-Systems (zum Beispiel Dateityp, Status der Datei)
- Informationen zu einer ausgewählten Geometrie (2)
 - Interaktive 3D-Visualisierung der STEP-Datei

- Darstellung von Informationen aus dem PDM-System zu dieser Geometrie (wie zum Beispiel Status der Datei, eine Beschreibung, das Datum der Konstruktion)
- Auflistung der Projekte als Einbauorte, in denen diese Geometrie verwendet wurde
- Anzeige und direkte Verlinkung zu den eingesetzten Komponenten, falls die ausgewählte Datei eine Baugruppe darstellt
- Vorschlag von geometrisch ähnlichen Teilen (3)
 - Interaktive 3D-Visualisierung von bis zu vier ähnlichen Geometrien
 - Slider zur Übernahme von den eingestellten Filter in (1) – dabei wird jedoch nicht die textuelle Suche beim Vorschlag der ähnlichen Teile übernommen, sondern nur die zusätzlichen Filter
 - Slider zum Einstellen der erwarteten Ähnlichkeit in vier Stufen – Slider hat Auswirkungen auf die als ähnlich vorgeschlagenen Geometrien
 - Slider zum Einstellen der zu berücksichtigenden Größe der Geometrien in vier Stufen – Slider hat Auswirkungen auf die als ähnlich vorgeschlagenen Geometrien

Die KI-Anwendung ermöglicht den Nutzern, nach Teilen von Entwürfen zu suchen, indem sie textuelle Suchkriterien eingeben. Aufgrund der erweiterten Suchfunktionalität sind dabei keine festen Vorschriften und eingeschränkte Suchbereiche erforderlich. Dadurch ist es leichter entsprechende Inhalte im PDM-System zu finden, ohne dass die exakten Werte von Attributen im PDM-System gekannt werden müssen. Nutzer können die Suche in Echtzeit anpassen, während sie die Ergebnisse und die dazugehörigen Visualisierungen direkt sehen. Das System basiert auf einer Methode, bei der nur mit Daten gearbeitet wird, die in Vektorform vorliegen, was die Suche nach ähnlichen Teilen erleichtert. Die Motivation für diesen Ansatz liegt in den neuesten Entwicklungen von Bibliotheken zur Ähnlichkeitssuche, die sehr schnell arbeiten und es ermöglichen, in riesigen Mengen von Daten effizient zu suchen. Die Leistungsfähigkeit des benutzergeführten Abfragesystems im Vergleich zur globalen Formsuche wird an drei Datensätzen mechanischer Bauteile wiederholt und zeigt weitere qualitative Vorteile der interaktiven, benutzergeführten Suche. Die drei Datensätze wurden aus dem PDM-System von HARTING ausgeleitet. Diese Funktionen wurden ebenfalls in einem Video dargestellt.

Um herauszufinden, wie gut der Ansatz funktioniert und eine Validierung mit dem Nutzer durchzuführen sind zunächst Szenarien (Scenario 1: Zylinder suchen und Scenario 2: Schraube suchen) definiert worden. Mithilfe von Nutzertests wurde geprüft, wie benutzerfreundlich die KI-Anwendung ist. Danach wurde die Anwendung mit Hilfe von Fragebögen (SUS und SUMI) bewertet. Der SUS ("System Usability Scale"), ist dabei ein einfacher, aber zuverlässiger Fragebogen zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit eines Systems. Er besteht aus zehn Fragen, mit denen die allgemeine Zufriedenheit der Benutzer mit der Interaktion mit dem System erfasst wird. Der SUMI ("Software Usability Measurement Inventory") ist ein standardisiertes Verfahren zur Messung der Benutzerfreundlichkeit von Software. Es bietet detailliertere Einblicke, die verschiedene Aspekte der Software-Ergonomie und Benutzerzufriedenheit abdecken. Das Ergebnis zeigt, dass der Ansatz wirksam ist und dass die Anwendung in diesen Bereichen sehr gut abschnitt. Die Auswertung der Tests SUMI und SUS sind in Bild 2-125 und 2-126 dargestellt.

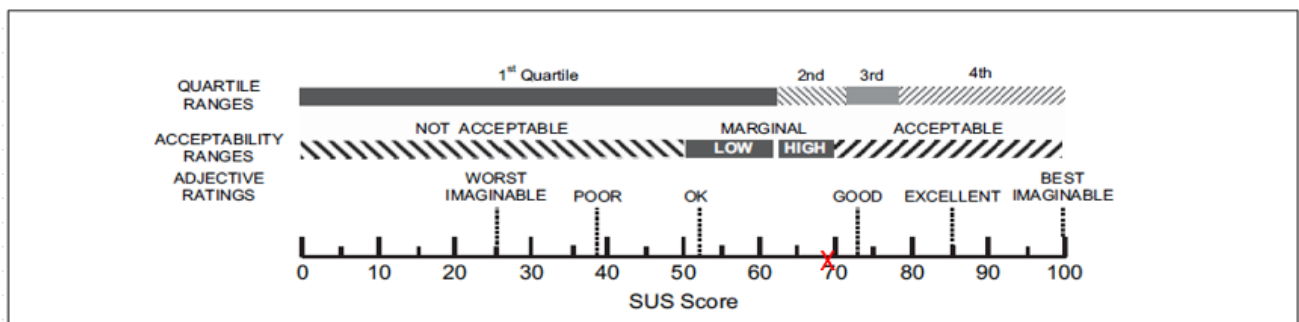


Bild 2-125: Testauswertung SUS

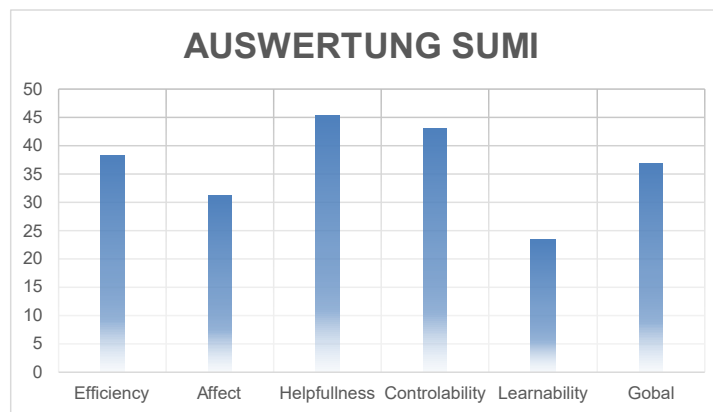


Bild 2-126: Testauswertung SUMI

Im Rahmen der Nutzungstests konnten weitere Anforderungen und verbessernde Funktionen identifiziert werden. Diese wurden als weitere Iterationsschleife in die bestehende Anwendung eingearbeitet und die Benutzeroberfläche um die entsprechenden Funktionalitäten erweitert. Somit konnte insgesamt das beschriebene Ergebnis der KI-Anwendung mit der Benutzeroberfläche und den genannten Funktionen realisiert werden.

Weitere Informationen	Digitaler Anhang: • Suche nach Gleichteilen • SUS • SUMI Veröffentlichung: [HS23] Herzog, V.; Suwelack, S.: Bridging the Gap between Geometry and User Intent: Retrieval of CAD Models via Regions of Interest. Computer-Aided Design, (163), 2023, S. 103573

2.25.3. Diskussion und Ausblick

Durch den menschenorientierten Prozess und die Artefakte, wie den Steckbrief, wurde ein Grundstein gelegt, um die KI-Anwendung zu entwickeln. Es wird eine neue Perspektive für die interaktive Suche nach Formen in heterogenen CAD-Modellsammlungen dargestellt, um einen mehrdeutigen Begriff von Designähnlichkeit in Bezug auf Designabsicht und Kontext zu unterstützen. Die KI-Anwendung verwendet selbstüberwachte Lerntechniken, um nuancierte semantische Formbeziehungen zu erfassen. Es wird ein vektorbasierter Ansatz verwendet, der effiziente Ähnlichkeitssuchstrukturen für einen skalierbaren Teil-zu-Teil-Abgleich in Echtzeit nutzt.

Es wird diskutiert, dass die Schwächen von aktuellen Methoden zur Überprüfung der Ähnlichkeit verschiedener Entwürfe verbessert werden müssen. Dafür wurden neue, detailliertere Aufgaben entwickelt, um dies an zwei Beispielen besser zu testen. Es wird in Betracht gezogen, in Zukunft weitere Informationen wie Beschreibungen und Strukturdaten in ein umfassendes System zum Finden von ähnlichen Entwürfen zu integrieren. Das System ist in der Lage, verschiedene Arten von Informationen zu verarbeiten und zu vereinen. Die momentane Umsetzung vernachlässigt jedoch die Berücksichtigung der räumlichen und hierarchischen Anordnung der Teile innerhalb eines Entwurfs. Die Erforschung der Einbindung dieser Beziehungen, unter Beibehaltung einer effizienten Datenstruktur, stellt eine interessante wissenschaftliche Richtung dar. Auch die Benutzeroberfläche kann durch weitere Usability-Tests und Expertenbewertungen noch verbessert werden.

Literaturverzeichnis

- [HS23] Herzog, V.; Suwelack, S.: Bridging the Gap between Geometry and User Intent: Retrieval of CAD Models via Regions of Interest. Computer-Aided Design, (163), 2023, S. 103573

2.26. Anforderungserhebung für einen Digitalen Zwilling

2.26.1. Einleitung

2.26.1.1. Zielsetzung

Um ein besseres Verständnis der immer komplexer werdenden Systeme zu erlangen und ihre Leistung vorhersagen und optimieren zu können, werden zunehmend digitale Zwillinge eingesetzt. Die virtuelle Repräsentation eines physikalischen Objektes oder Systems setzt sich hierbei grundlegend aus drei Komponenten zusammen: einem Datenmodell, Algorithmen und Wissen. Zur adäquaten Adressierung dieser Aspekte wird ein Rahmenwerk benötigt, welches den Entwicklungsprozess Digitaler Zwillinge ganzheitlich beschreibt. Die Aufstellung entsprechender Anforderungen an ein Rahmenwerk für Digitale Zwillinge sind essenziell, um sowohl die jeweiligen Perspektiven der beteiligten Interessensgruppen zu berücksichtigen als auch die Ergebnisse der Forschungsarbeiten zu bewerten und zu validieren. Anforderungen an ein solches Rahmenwerk beschreiben folglich sowohl inhaltliche als auch gestaltungstechnische Erwartungen, Forderungen und Wünsche zur systematischen Konzeptionierung, Entwicklung, Implementierung und Evaluierung von Digitalen Zwillingen. Des Weiteren werden Anwendungsfälle für einen digitalen Zwilling mit den Partnern des AP 6 erarbeitet. Diese werden in Form eines Steckbriefs detailliert beschrieben und nach Aktivität und Lebenszyklus geclustert.

2.26.1.2. Einordnung in MoSyS

Die Anforderungen an einen digitalen Zwilling wurden als Teilergebnisse in AP 6 erarbeitet. Die Anforderungen an die Inhalte des Frameworks, an den zu erstellenden Leitfaden, an die notwendige Modellierungssprache und das Modellierungswerkzeug sowie an die Referenzarchitektur bilden die Grundlage für die allgemeinen und unternehmensspezifischen Ergebnisse in AP 6 (siehe Bild 2-127). Die Anforderungserhebung erfordert erste Erkenntnisse über eine Referenzarchitektur eines System of Systems. So werden die Anforderungen für die Entwicklung eines Informationsmodells von digitalen Zwillingen genutzt und auch im Leitfaden zur modellbasierten Entwicklung von digitalen Zwillingen berücksichtigt. Darüber hinaus werden sie in AP 8 aufgegriffen, um die Anforderungen an ein modellbasiertes SE-Unternehmen zu modellieren.

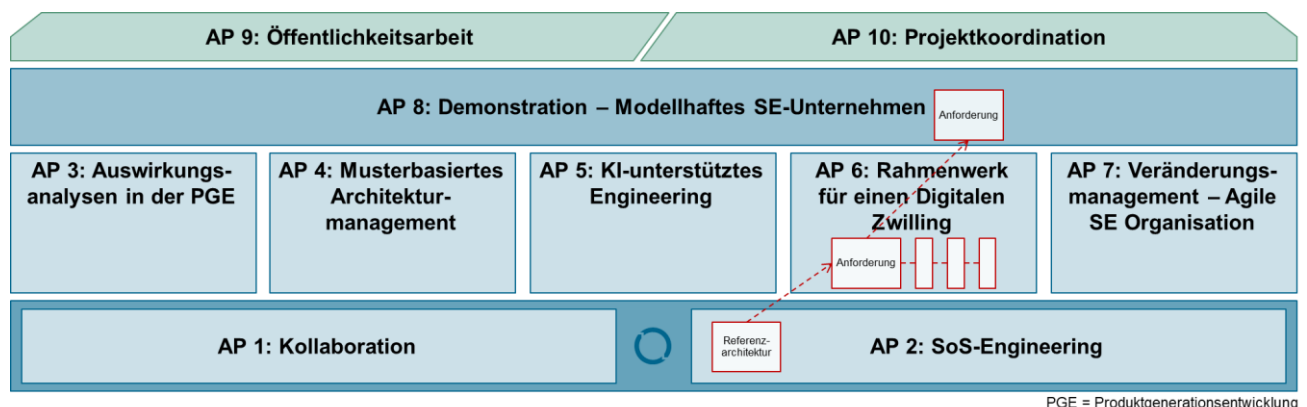


Bild 2-127: Einordnung des Wissensnuggets 2.26 in das MoSyS Projekt

2.26.1.3. Vorgehen

Im Rahmen von AP6 wurde zu Beginn eine Definition des Begriffs Digitaler Zwilling erarbeitet (siehe 2.28.2.1), die als Grundlage für ein gemeinsames Verständnis und die Anforderungserhebung diente.

Ergänzend wurden von allen Unternehmenspartnern Anwendungsfälle in Form von Steckbriefen gesammelt. Diese Anwendungsfälle wurden mit Hilfe von Systemmodellen detailliert. Auf Basis der Systemmodelle wurden die Anforderungen abgeleitet, geclustert und in eine Anforderungsliste überführt.

2.26.2. Hauptteil

2.26.2.1. Definitionen

Digitaler Zwilling: Ein digitaler Zwilling ist eine digitale Repräsentation eines technischen Systems oder Prozesses, der ausgewählte Informationen über verschiedene Lebenszyklusphasen für unterschiedliche Anwendungsfälle erfasst, verarbeitet und verknüpft, mit der physischen Entität synchronisiert und bei Bedarf für externe Systeme verfügbar macht.

Weitere Informationen	Links: Digital Twin Framework Website: https://www.digital-twin-framework.com/definition.php Digitaler Zwilling: https://youtu.be/QWg0s5Xidyc Digitaler Zwilling bei Philips: https://www.youtube.com/watch?v=QWg0s5Xidyc Digitaler Schatten bei Philips: https://www.youtube.com/watch?v=UI_jlKdyW2c%20 Veröffentlichung: [RGB+21] Rasor, R.; Göllner, D.; Bernijazov, R.; Kaiser, L.; Dumitrescu, R.: Towards collaborative life cycle specification of digital twins in manufacturing value chains, 2021.

2.26.2.2. Ergebnisse

Die Inhalte des Rahmenwerks sind wesentlich für dessen Form und Ausgestaltung. Anforderungen an die Inhalte werden deshalb zuallererst als verpflichtende Hauptanforderungen an das Rahmenwerk gestellt. Sie resultieren aus dessen Hauptaufgaben und Zweck die Konzeptionierung, Entwicklung, Implementierung und Evaluierung von Digitalen Zwillingen zu unterstützen:

- Das Rahmenwerk soll als Basis eines gemeinsamen Verständnisses eine **Definition des Digitalen Zwillings** und weiterer Begriffe im Kontext Digitaler Zwilling beinhalten.
- Das Rahmenwerk soll einen **Leitfaden** beinhalten, der Methoden zur Konzeptionierung, Entwicklung, Implementierung und Evaluierung von Digitalen Zwillingen beschreibt.
- Das Rahmenwerk soll **Modellierungssprachen und -werkzeuge** zur Abbildung von Digitalen Zwillingen beschreiben. Eine Benennung von empfohlenen Sprachen und Werkzeugen als Referenz ist wünschenswert.
- Im Rahmenwerk soll eine **Referenzarchitektur** für einen Digitalen Zwilling vorliegen. Die Referenzarchitektur soll Anforderungen, Use Cases, Kontextbeschreibung im System oder System-of-System, Datenflüsse sowie eine funktionale und logische Architektur eines generischen Digitalen Zwillings aufführen.

Bild 2-128 zeigt schematisch die Struktur eines Rahmenwerks inkl. dessen geforderten Inhalten.

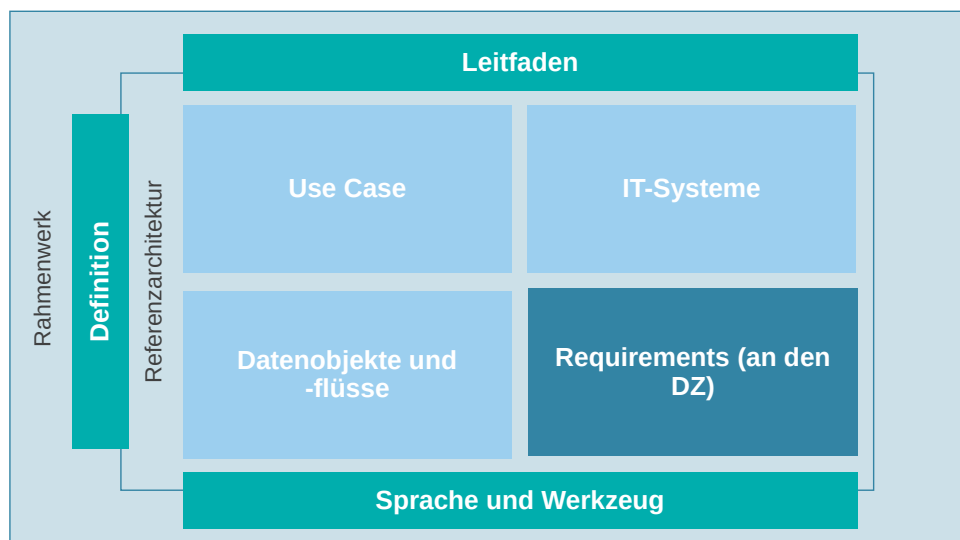


Bild 2-128: Schematische Übersicht des Rahmenwerks

2.26.2.2.1. Anforderungen an einen Leitfaden

Der Leitfaden im Rahmenwerk ist die zentrale methodische Wissensbasis. Hier werden die im Forschungsprojekt erarbeiteten Ergebnisse zu Methoden, Prozesse und anderen Informationen, inklusive Empfehlungen und Referenzen für die Konzeptionierung, Entwicklung, Implementierung und Evaluierung von Digitalen Zwillingen dokumentiert. Der Leitfaden soll in der praktischen Arbeit mit Digitalen Zwillingen von verschiedenen Anwendern zur Unterstützung genutzt werden können. In der Diskussion mit den Partnern des Forschungskonsortiums wurden folgende Anforderungen an einen Leitfaden (Identifikation L) identifiziert und festgelegt:

Tabelle 2-6: Anforderungsübersicht an einen Leitfaden

ID	Name	Text	Kategorie
L001	Beispiel	Der Leitfaden soll ein durchgängiges Beispiel zur Veranschaulichung der Methoden beinhalten.	Pflicht
L002	Verschiedene Beispiele	Im Leitfaden sind mehrere Beispiele für Digitale Zwillinge in verschiedenen Szenarien (z.B. Produktion, Entwicklung) wünschenswert.	Wunsch
L003	Implementierungshilfe	Der Leitfaden soll Implementierungshilfen für Digitale Zwillinge beinhalten.	Pflicht
L004	Datenmodelle	Im Leitfaden sollen Zusammenhänge zwischen Informationen oder Daten in Form von Datenmodellen dargestellt werden.	Pflicht
L005	Datenmodell-sichten	Unterschiedliche Sichten auf die Datenmodelle für Lebenszyklusphasen sind wünschenswert.	Wunsch
L006	Einführung	Der Leitfaden soll ein Vorgehensmodell zur Einführung beinhalten.	Pflicht

L007	Prozesse	Der Leitfaden soll Referenzprozesse für das Arbeiten mit Digitalen Zwillingen beinhalten.	Pflicht
L008	Rollen	Der Leitfaden soll Rollen für das Arbeiten mit Digitalen Zwillingen beinhalten.	Pflicht
L009	Strukturierung	Der Leitfaden soll eine Strukturierung verschiedener Arten von Digitalen Zwillingen ermöglichen.	Pflicht
L010	Ist-Analyse	Eine Methode zur Ist-Analyse im Kontext des Digitalen Zwilling in einem Unternehmen im Leitfaden ist wünschenswert.	Wunsch
L011	Reifegradmodell	Ein Reifegradmodell im Kontext des Digitalen Zwilling in einem Unternehmen im Leitfaden ist wünschenswert.	Wunsch
L012	Interaktion	Der Leitfaden soll interaktiv sein.	Pflicht
L013	Navigation	Der Leitfaden soll navigierbar sein.	Pflicht
L014	Übersicht	Der Leitfaden soll eine Übersicht (z.B. in Form einer Abbildung) über dessen Inhalte und Struktur beinhalten.	Pflicht
L015	Standards	Der Leitfaden soll auf relevante Standards im Kontext Digitaler Zwilling referenzieren.	Pflicht
L016	Zugriff	Ein Online-Zugriff auf den Leitfaden ist wünschenswert.	Wunsch
L017	Dokument	Der Leitfaden soll zusätzlich als Dokument (z.B. im PDF-Format) vorliegen.	Wunsch
L018	Betrachtungs-perspektiven	Es ist wünschenswert, dass der Leitfaden verschiedene Betrachtungsperspektiven ermöglicht (beispielsweise durch Rollen-abhängiges Filtern der Inhalte).	Wunsch
L019	Identifikation	Der Leitfaden soll eine Methode beinhalten, relevante Produkte und Anwendungsfälle für den Digitalen Zwilling zu identifizieren.	Wunsch

2.26.2.2.2. Anforderungen an die Modellierungssprache und -werkzeug

Ein wesentliches Merkmal eines Digitalen Zwillings ist, dass dieser rein virtuell bzw. digital existiert. Zur Entwicklung, Implementierung und Nutzung des Digitalen Zwillings muss deshalb zwangsläufig festgelegt werden, wie dieser digital abgebildet und bearbeitbar ist. Für das Rahmenwerk werden hierfür die Begriffe Modellierungssprache und Modellierungswerkzeug verwendet, angelehnt an die Methoden des Model-Based (Systems) Engineering.

Die Modellierungssprache definiert hierbei die Syntax und Semantik zur Beschreibung und damit zur virtuellen Abbildung des Digitalen Zwillings. Modellierungswerkzeuge als Bestandteil einer integrierten Entwicklungsumgebung oder als reine stand-alone Software ermöglichen darauf aufbauend mit-

hilfe ihrer meist graphischen Modellierungstechniken die Abbildung, Analyse und Simulation der funktionalen und logischen Systemarchitektur sowie deren Verknüpfung zum Requirements Engineering. Ungeachtet der

- Sicherstellung einer interdisziplinären Kollaborationsfähigkeit
- Nutzung von formalisierten Sprachen (wie z.B. UML, SysML, etc.)
- Import- / Exportfähigkeit von gängigen Datenformaten
- Ermöglichung typischer Analysen (Nachverfolgbarkeits- und Auswirkungsanalysen, etc.)
- Unterstützung eines Variantenmanagement
- Unterstützung eines Konfigurations- / Versionsmanagement

können folgende weitere Anforderungen speziell an das Modellierungswerkzeug (Identifikation W) des Digitalen Zwillings gestellt werden. Die Anforderungen an das Modellierungswerkzeug sind der Tabelle 2-7 zu entnehmen.

Tabelle 2-7: Anforderungen das das Modellierungswerkzeug eines digitalen Zwillings

ID	Name	Text	Kategorie
W001	Lizenzierung	Das Modellierungswerkzeug soll unter einem gängigen Betriebssystem laufen und wünschenswerterweise über ein Floating-Lizenzmanagement verfügen.	Pflicht
W002	Sprachunterstützung	Das Modellierungswerkzeug soll formalisierte Sprachen (wie z.B. UML, SysML, etc.) zwecks interdisziplinärer Kollaborationsmöglichkeiten nutzen.	Pflicht
W003	Standardisierung	Das Modellierungswerkzeug soll eine Konformität zu Standards und Normen im jeweiligen Anwendungsfall ermöglichen.	Pflicht
W004	Repository	Im Modellierungswerkzeug soll ein Repository vorliegen, welches ggf. editierbar ist.	Pflicht
W005	Interoperabilität	Das Modellierungswerkzeug soll eine Interoperabilität zu anderen, gleichgesinnten Modellierungswerkzeugen oder Add-Ons ermöglichen.	Wunsch
W006	Schnittstellen	Das Modellierungswerkzeug soll Schnittstellen zu anderen IT-Systemen (u.a. ein PLM-System) und Tools (z.B. Simulationswerkzeuge wie MATLAB/Simulink sowie FEM-Softwares) aufweisen, die idealerweise einen bidirektionalen Datenaustausch ermöglichen (z.B. via OSLC-Integration).	Wunsch
W007	Code-Generierung	Das Modellierungswerkzeug soll wünschenswerterweise eine Code-Generierung (z.B. in C/C++, Java, Python, etc.) ermöglichen, die die Programmierung spezifischer	Wunsch

		Auswertungen oder die Abbildung partieller Funktionalitäten des DZ (z.B., Controller, Calculator, etc.) zulässt.	
W008	Re-Use	Das Modellierungswerkzeug soll die Wiederverwendung von Modellelementen unterstützen, wobei die Nutzung von unternehmensspezifischen Bibliotheken ein Teilbestand zur Abbildung unterschiedlicher Ausführungen und Varianten des Digitalen Zwillings sein kann.	Pflicht
W009	Varianten-management	Das Modellierungswerkzeug soll ein Produktlinien-Engineering oder Varianten-Management unterstützen können (z.B. durch die Erstellung sogenannter 150%-Modelle).	Wunsch
W010	Simulationsfähigkeit	Im Modellierungswerkzeug ist eine integrierte Simulationmöglichkeit angesichts der detaillierteren Verhaltensvorhersage des realen Zwillings (z.B. Zustandsbeobachtung, Predictive Maintenance, etc.) wünschenswert, wobei Anforderungen an konkrete Toolschnittstellen (z.B. MATLAB/Simulink) sowie Simulationsfähigkeiten (z.B. Echtzeitfähigkeit und 1D-Simulation) abhängig von konkreten Anwendungsfällen und unternehmensspezifischen IT-Landschaften unterschiedlich definiert sein können.	Wunsch
W011	Agile Prozessfähigkeit	Die Implementierung einer agilen Systementwicklung ist wünschenswert, sodass im Modellierungswerkzeug eine adäquate Sprint- und Projektplanung aktiv einbezogen werden kann. (Dazu ist auch eine Kopplung zu typischen agilen Werkzeugen (z.B. JIRA) denkbar.)	Wunsch
W012	Versionsmanagement	Das Modellierungswerkzeug soll ein Konfigurations-/ Versionsmanagement (z.B. mit Baselines, diff&merge, Revisionen, etc.) bieten.	Pflicht
W013	Kollaboration	Das Modellierungswerkzeug soll eine Kollaboration bzw. Multi-User Fähigkeit ermöglichen, was idealerweise in Form eines vollständigen „Parallel Development“ in Erscheinung tritt.	Pflicht
W014	Rollen	Das Modellierungswerkzeug soll in Bezug auf eine adäquate Kollaboration auch die Möglichkeit bieten unterschiedliche Rollen zu definieren, die die Bearbeitung der Modelle einschränken.	Wunsch
W015	Rechtemanagement	Das Modellierungswerkzeug soll durch ein Rechtemanagement auch den generellen Zugriff auf einzelne Modelle und Modellelemente einschränken können.	Wunsch

W016	Import / Export	Das Modellierungswerkzeug soll einen Import/Export von gängigen Datenformaten (z.B. XML/XMI, Excel/CSV, etc.) ermöglichen.	Pflicht
W017	Modell-Review	Das Modellierungswerkzeug soll die Möglichkeit bieten eine vom eigentlichen Modellierungswerkzeug losgelöste Modellanzeige mit unterstützter Kommentierungsfunktion bereitzustellen.	Wunsch
W018	Berichterstellung	Das Modellierungswerkzeug soll Möglichkeiten zur Dokumentationserstellung / Reportgenerierung bieten, wobei idealerweise auch Templates genutzt werden können, um entsprechende Dokumente automatisiert auszuleiten.	Pflicht
W019	Stereotypisierung	Das Modellierungswerkzeug soll die Realisierung einer Domain Specific Language (DSL) ermöglichen, z.B. durch die Definition eigener Profile (d.h. die Anlegung eigener Stereotypen und Attribute) oder operativer Modellierungsregeln.	Pflicht
W020	Sichten	Das Modellierungswerkzeug soll unterschiedliche Sichten (individuell anpassbare Diagramme, Matrizen, Tabellen) auf bestimmte Modellinhalte ermöglichen.	Pflicht
W021	Methodische Vorgehensweise	Das Modellierungswerkzeug soll die Möglichkeit bieten eigene Modellierungsprozesse oder -methoden hinterlegen zu können.	Wunsch
W022	Traceability	Das Modellierungswerkzeug soll die Abbildung unterschiedlicher Beziehungen im Sinne einer Rückverfolgbarkeit / Traceability ermöglichen.	Pflicht
W023	Auswirkungsanalyse	Das Modellierungswerkzeug soll die Auswirkungen von Änderungen im Sinne einer Impact Analysis übersichtlich herausgestellt aufführen können.	Wunsch
W024	Modell-Validierung	Das Modellierungswerkzeug soll eine integrierte Modellüberprüfung / Model Checking enthalten.	Pflicht
W025	Anforderungsmanagement	Das Modellierungswerkzeug soll Anforderungen modellieren und organisieren können, wobei eine bidirektionale Ankoppelbarkeit mit dedizierten Anforderungssoftwares wünschenswert ist.	Pflicht
W026	Informationsverknüpfung	Das Modellierungswerkzeug soll eine Verknüpfung von Anforderungen, Funktionen und Systemelementen unterstützen.	Pflicht

W027	Systemhierarchie	Das Modellierungswerkzeug soll eine Dekomposition bzw. Aufgliederung einzelner Anforderungen, Funktionen und Systemelemente unterstützen.	Pflicht
W028	Evaluations-fähigkeit	Das Modellierungswerkzeug soll wünschenswerterweise auch Designalternativen vergleichen können.	Wunsch
W029	Risikomanagement	Das Modellierungswerkzeug soll wünschenswerterweise auch Methoden zur funktionalen Sicherheit (z.B. FMEA, FMECA, DRBFM, etc.) integrieren können.	Wunsch
W030	Usability	Das Modellierungswerkzeug soll zwecks besser Visualisierung gewisser Modellierungszusammenhänge wünschenswerterweise auch Bilder in Diagramme integrieren können.	Wunsch

Analog zu den Anforderungen an das Modellierungswerkzeug des Digitalen Zwillings können – verwiesen auf W002 – ebenso dedizierte Anforderungen an die Modellierungssprache (Identifikation S) aufgestellt werden, welche in Tabelle 2-8 aufgelistet sind.

Tabelle 2-8: Anforderung an die Modellierungssprache des digitalen Zwillings

ID	Name	Text	Kategorie
S001	Grafische Unterstützung	Die Modellierungssprache soll die Autoren, Anwender und Modelladressaten mithilfe von Farben, Formen, Icons unterstützen.	
S002	Sprachumfang	Die Modellierungssprache soll einen dem Anwender angepassten Umfang an Modellierungselementen, Beziehungen und Diagramme bieten.	
S003	Sichten / Viewpoints	Die Modellierungssprache soll verschiedene, benutzerabhängige Sichten bieten.	
S004	Detaillierungsgrad	Die Modellierungssprache soll eine hierarchische Beziehung ermöglichen, um Subelemente zu ergänzen und detailliertere Diagramme für Elemente zu erstellen.	
S005	Erweiterbarkeit	Die Modellierungssprache soll um eigene Elemente und Profile erweiterbar sein, um eine domänenspezifische Sprache auszuprägen.	
S006	Modularität	Die Modellierungssprache soll das Wiederverwenden von Elementen ohne großen Aufwand ermöglichen (z.B. durch Repositories).	

S007	Anwendungsbezug: Firmware	Die Modellierungssprache muss anwendbar für die Modellierung von Firmware sein.	
S008	Anwendungsbezug: techn. System	Die Modellierungssprache muss anwendbar für die Modellierung von technischen Systemen sein.	
S009	Anwendungsbezug: EAM	Die Modellierungssprache muss anwendbar für die Modellierung von Unternehmensarchitekturen sein.	
S010	Standardisierung	Die Modellierungssprache soll einem standardisierten Metamodell folgen, um die Wiederverwendung zu gewährleisten.	
S011	Abstrakte Syntax	Die Modellierungssprache folgt definierten Regeln, nach denen die Sprachkonstrukte und Darstellungsform gebildet werden.	
S012	Semantik	Zu der Modellierungssprache liegt eine Beschreibung der inhaltlichen Bedeutung der Symbole und Struktur in natürlicher Sprache vor.	

2.26.2.2.3. Anforderungen an die Referenzarchitektur und Referenzanforderungen an einen generischen Digitalen Zwilling

Die Referenzarchitektur beschreibt die generische Architektur eines Digitalen Zwillings, d.h. sie kann als Referenz für einen konkreten Digitalen Zwilling beispielsweise zu dessen Entwicklung oder Evaluierung genutzt werden.

Anforderungen in der Referenzarchitektur (vgl. Tabelle 2-9) beinhalten dementsprechend nicht nur Anforderungen an das Rahmenwerk im Ganzen, sondern auch Anforderungen an einen generischen Digitalen Zwilling selbst. Diese Anforderungen sind einerseits unterschiedlichsten wissenschaftlichen Veröffentlichung entnommen und andererseits aus Use Cases für den Digitalen Zwilling von Anwenderunternehmen des Forschungskonsortiums identifiziert und verallgemeinert. Ziel ist es generische Anforderungen als Referenz für konkrete zu entwickelnde Digitale Zwillinge (Identifikation D) zu formulieren. Mittels dieser Liste von Referenzanforderungen lässt sich beispielsweise die Vollständigkeit von konkreten Anforderungen überprüfen.

Tabelle 2-9: Anforderungen an die Referenzarchitektur eines digitalen Zwillings

ID	Name	Text	Kategorie
D001	Anforderungen	Der Digitale Zwilling soll Anforderungen an den Physikalischen Zwilling abbilden können.	
D002	Logische Architektur	Der Digitale Zwilling soll die logische Architektur des Physikalischen Zwillings abbilden können.	

D003	Domänenbezug	Es ist wünschenswert, die logischen und technischen Elemente der Architektur einer Domäne (Mechanik, Elektronik, Software) zuzuordnen.	
D004	V&V	Der Digitale Zwilling soll die Themen Verifikation und Validierung (z.B. durch Abbildung von Testfällen, -ergebnissen und Fehlern) unterstützen können.	
D005	Produktionsumgebung	Der Digitale Zwilling soll Daten über Produktionsprozesse abbilden können.	
D006	Vertriebsumgebung	Der Digitale Zwilling soll Daten über Bestellprozesse abbilden können.	
D007	Zustandserfassung	Der Digitale Zwilling soll Informationen über den Zustand des Physikalischen Zwillings abbilden können.	
D008	Simulationsfähigkeit	Zur Verhaltensbeschreibung des Physikalischen Zwillings soll der Digitale Zwilling simulationsfähig sein oder eine Schnittstelle zu einer Simulationsumgebung besitzen.	
D009	Usability	Der Digitale Zwilling soll von einem Anwender einsehbar und bedienbar sein.	
D010	Schnittstellen	Der Digitale Zwilling soll Daten mit dem Physikalischen Zwilling austauschen können.	
D011	Modularität und Abgrenzung	Die Komponenten des Digitalen Zwillings sollen modular sein; Grenzen und Beziehung zum zugehörigen Physischen Zwilling sind klar definiert.	
D012	Verwendung digitaler Modelle	Digitale Zwillinge sollen Modelle nutzen, um Aspekte einer Instanz, eines Prozesses, einem System oder Produkt zu repräsentieren.	
D013	Recheneinheit	Der Digitale Zwilling soll über eine Form von Recheneinheit verfügen, über welche die Modelle erzeugt und dem Anwender zu Verfügung gestellt werden.	
D014	Zweckgebundene AI	Der Digitale Zwilling soll über eine Form zweckgebundener Intelligenz verfügen, welche es ihm erlaubt seine Fähigkeiten in der jeweiligen, spezifischen Domäne anzuwenden.	
D015	Integration in das SME	Der Digitale Zwilling soll Data Analytics und das Smart Manufacturing Eco-System (SME) verbinden, um intelligente Lösungen zu fördern.	

D016	Messbarkeit des Outputs	Der Output des Digitalen Zwillings soll messbar in einer oder mehreren quantifizierbaren Kenngrößen sein.	
D017	Genauigkeit der Kenngrößen	Die Genauigkeit dieser Kenngrößen des Digitalen Zwillings soll quantifiziert und zugeordnet werden können.	
D018	Quantifizierbarkeit des Nutzens	Der Digitale Zwilling soll durch seine Leistung innerhalb seiner Umgebung einen quantifizierbaren Nutzen stiften.	
D019	Portabilität und Wiederverwendbarkeit	Der Digitale Zwilling soll portabel, wiederverwendbar und skalierbar sein.	
D020	Interoperabilität von Instanzen	Mehrere Instanzen einer Klasse eines Digitalen Zwillings sollen miteinander interagieren können.	
D021	Interoperabilität von Klassen	Die Integration von und Koordination zwischen verschiedenen Klassen eines Digitalen Zwillings soll unterstützt werden.	
D022	Interoperabilität	Die Integration von und Koordination zwischen Komponenten von Digitalen Zwillingen und Physischen Zwillingen soll unterstützt werden.	
D023	Austauschbarkeit von Instanzen	Die Austauschbarkeit von Instanzen derselben Klasse eines Digitalen Zwillings soll unterstützt werden.	
D024	Identifikation von Wartungsbedarfen	Die Mindestanforderung an die Output-Qualität des Digitalen Zwillings soll quantifiziert sein. Die Diagnosefähigkeit, ob eine Unterschreitung dieser Qualitätsansprüche detektiert werden kann, soll zeitkritisch identifiziert werden können.	
D025	Wartung per Update	Der Digitale Zwilling soll bei Feststellung unzureichender Output-Qualität durch Updates wartbar sein.	
D026	Automatisierte Optimierung	Die Optimierung des Digitalen Zwillings soll durch den zunehmend automatisierten Ausbau oder das Ersetzen der verwendeten Modelle erfolgen.	
D027	Einsatz von Data Analytics	Digitale Zwillinge sollen in der Lage sein bereits existierende sowie neuartige Ansätze der Datenanalyse einzusetzen.	
D028	Integrationsfähigkeit	Digitale Zwillinge sollen die strukturierte und automatisierte Integration von Informationen aus Datenanalyse und Domänen-Expertenwissen unterstützen.	

D029	Analyse historischer Daten	Neben Echtzeit-Daten sollen im Digitalen Zwilling auch historische Daten analysiert und genutzt werden, um die Vergangenheit abzubilden und die Zukunft zu simulieren.	
D030	Konsistenz verwendeter Modelle	Die Konsistenz der dem Digitalen Zwilling zugrundeliegenden Modelle soll sichergestellt werden.	
D031	Informationen über gesamten Lebenszyklus	Der Digitale Zwilling soll Informationen über verschiedene Lebenszyklusphasen des technischen Systems oder Prozesses liefern.	
D032	Funktionalitäten	Der Digitale Zwilling soll verschiedene Funktionalitäten z.B. zur Erfassung, Verarbeitung, Vernetzung oder Synchronisation von Informationen zwischen dem Digitalen Zwilling selbst und des technischen Systems bieten.	
D033	Ausprägungen der Modelle	Die verwendeten Modelle des Digitalen Zwillings sollen sich in "Looks like" und "Behaves like"-Modelle gliedern lassen.	
D034	Produkttyp und -instanz	Informationen des Digitalen Zwillings sollen sich sowohl auf den Produkttyp als auch explizite Instanzen des Produktes beziehen.	
D035	Klassifikation	Der geleistete Funktionsumfang des Digitalen Zwillings soll sich klassifizieren und nach Anwendungsfall strukturieren lassen.	
D036	Produktentwicklung	Der Digitale Zwilling soll bereits vor dem physischen Gegenstück existieren und Informationen sowie Modelle zur Produktentwicklung umfassen und bereitstellen.	

2.26.2.2.4. Anwendungsfälle für den Digitalen Zwilling

Zu Beginn ist es wichtig zu verstehen, was digitale Zwillinge leisten können und welcher Anwendungsfall der Richtige für die Bedürfnisse eines Unternehmens ist. Hierfür eignet sich die erarbeitete "Digital Twin Use Case Matrix", welche in Bild 2-129 dargestellt ist. Diese ermöglicht es den Unternehmen, identifizierte Anwendungsfälle nach der Aktivität des digitalen Zwillings und nach dem Einsatz in einer bestimmten Lebenszyklusphase zu clustern. Diese Matrix ist ein wertvolles Instrument, um verschiedene Anwendungsfälle für digitale Zwillinge zu identifizieren, zu organisieren und zu kategorisieren. Sie bietet eine benutzerfreundliche, visuelle Darstellung, wie digitale Zwillinge während des gesamten Lebenszyklus eines physischen Systems verwendet werden können, von der Planungs- und Konstruktionsphase bis zum Ende der Lebensdauer, Recycling und Wiederaufbereitung. Die Matrix zeigt nicht nur den Lebenszyklus eines physischen Systems, sondern veranschaulicht auch die verschiedenen Aktivitäten, die digitale Zwillinge durchführen können, wie z. B. Visualisierung, Überwachung und Datenaustausch. Anhand dieser Matrix können Sie schnell erkennen, welcher Anwendungsfall für Ihre spezifischen Bedürfnisse geeignet ist, und das gesamte Potenzial digitaler Zwillinge verstehen.

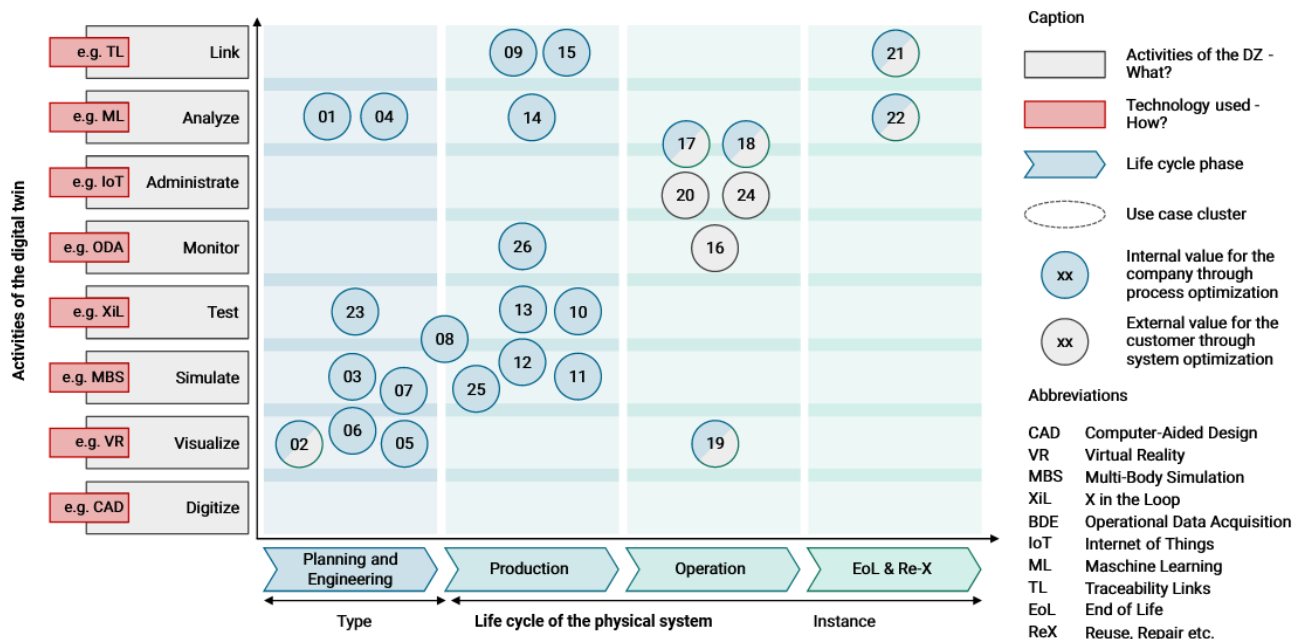


Bild 2-129: Digitaler Zwilling Use Case Matrix

Tabelle 2-10: Identifizierte Anwendungsfälle eines digitalen Zwillings

1 - Datengesteuerte Planung 2 - Virtuelle Produktpräsentationen 3 - Simulation, Modellierung und Optimierung 4 - Datengesteuerte Konstruktion 5 - Entwurfsprüfung 6 - Kundenintegration 7 - 3D-Konfigurationen 8 - Entwurf für Produktion und Montage 9 - Verwaltung von Daten 10 - Geometrieprüfung 11 - Rekonfiguration 12 - CAD/CAM-Schnittstelle 13 - Virtuelle Inbetriebnahme 14 - Rückverfolgbarkeit	15 - Verbindung zwischen Produkt und Produktionszwilling 16 - Zustands- und Leistungsüberwachung 17 - Diagnose- oder Vorhersagefähigkeit 18 - Lernen und Anpassen im laufenden Betrieb 19 - Virtuelle Unterstützung 20 - Erweiterung des Dienstleistungsportfolios 21 - Recycling 22 - Wiederaufbereitung 23 - Automatisierung von Tests 24 - OTA-Firmware-Aktualisierungen 25 - (Echtzeit-)Simulation und Optimierung von Produktionsprozessen 26 - Management und Interaktion in einem Systemverbund

In Zusammenarbeit mit den AP-Partnern wurden 26 Anwendungsfälle (Tabelle 2-10) identifiziert. Die unternehmensspezifischen Anwendungsfälle werden zudem in definierten Steckbriefen detailliert betrachtet, welcher in Bild 2-130 abgebildet ist. Neben einer kurzen Beschreibung des Anwendungsfall werden relevanter Stakeholder adressiert und der Nutzen des digitalen Zwillings herausgearbeitet. Zusätzlich sollen Treiber und Probleme bei der Umsetzung und Nutzung des digitalen Zwillings frühzeitig berücksichtigt werden. Parallel hierzu werden Erfolgskriterien und Vorteile durch den Nutzen des digitalen Zwillings herausgearbeitet.

Nr	Titel	
Kurzbeschreibung:		
 Stakeholder mit erwartetem Nutzen	 Weitere Betroffene Stakeholder	 Nutzen ☐ Interner Nutzen für das Unternehmen durch Prozessverbesserung ☐ Externer Nutzen für den Kunden durch Systemverbesserung
 Treiber / Problem in der Ist-Situation	 Erfolgskriterien nach Abschluss	 Motivation / Benefit
Lebenszyklusphase ☐ Planung und Entwicklung ☐ Produktion ☐ Betrieb ☐ End of Life und ReX		
Aktivität ☐ Digitalisieren ☐ Visualisieren ☐ Simulieren ☐ Testen ☐ Monitoren ☐ Administrieren ☐ Analysieren ☐ Vernetzen		

Bild 2-130: Steckbrief für eine detaillierte Betrachtung von Anwendungsfällen eines digitalen Zwillings

Weitere Informationen	Links: Digital Twin Framework Website: https://www.digital-twin-framework.com/definition.php Digitaler Zwilling: https://youtu.be/QWg0s5Xidyc Digitaler Zwilling bei Philips: https://www.youtube.com/watch?v=QWg0s5Xidyc Digitaler Schatten bei Philips: https://www.youtube.com/watch?v=Ul_jlKdyW2c%20 Veröffentlichung: [GKR+22] Göllner, D.; Klausmann, T.; Rasor, R.; Dumitrescu, R.: use case driven digital twin generation, 2022.

2.26.3. Diskussion und Ausblick

Nachdem sowohl die Struktur eines Frameworks für den Digitalen Zwilling als auch dessen erforderliche Inhalte vorgestellt wurden, ist im nächsten Schritt die weitere Ausarbeitung des Informationsmodells zur durchgängigen Verknüpfung von Daten und Modellen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen und aus verschiedenen Lebenszyklusphasen erforderlich. Die konkrete Ausformulierung eines Leitfadens zur Implementierung des digitalen Zwillings stellt dann sicher, dass das konzipierte Informationsmodell im Kontext unterschiedlicher Branchen und Anwendungsszenarien mit gleicher Erfolgswahrscheinlichkeit angewendet werden kann. Eine technologische und arbeitsorganisatorische Evaluation der Implementierung eines Digitalen Zwillings stellt sicher, dass die hier formulierten Anforderungen an das Rahmenwerk eines Digitalen Zwillings umgesetzt wurden und zum Erfolg geführt haben.

Literaturverzeichnis

- [RGB+21] Rasor, R.; Göllner, D.; Bernijazov, R.; Kaiser, L.; Dumitrescu R.: Towards collaborative life cycle specification of digital twins in manufacturing value chains.Procedia CIRP 98, S. 229-234. 2021.
- [GKR+22] Göllner, D.; Klausmann, T.; Rasor, R.; Dumitrescu R.: Use Case driven digital twin generation, IEEE 5th International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems, 2022.

2.27. Informationsmodell für einen Digitalen Zwilling

2.27.1. Einleitung

2.27.1.1. Zielsetzung

Ziel des Informationsmodells ist die durchgängige Verknüpfung von Daten und Modellen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen und aus unterschiedlichen Lebenszyklusphasen. Dies erfordert einen kontinuierlichen Austausch mit den relevanten Stakeholdern im Unternehmen, um die Akzeptanz und Nutzbarkeit des Informationsmodells durch die Menschen (Anwender, Kunden, Entwickler etc.) zu überprüfen. Da im Rahmen des Forschungsvorhabens der Lebenszyklus eines komplexen technischen Systems nicht abgebildet werden kann, erfolgt die Überprüfung der Akzeptanz und Nutzbarkeit anhand einer simulierten Abfolge einzelner Lebenszyklusphasen.

2.27.1.2. Einordnung in MoSyS

Für ein einheitliches Verständnis eines digitalen Zwillings wird ein Informationsmodell für digitale Zwillinge auf Basis der zuvor definierten Anforderungen und der SoS-Referenzarchitektur entwickelt. Das Informationsmodell wird mit den Anwendungsfällen der Partnerunternehmen abgeglichen, um alle relevanten Informationen und Elemente zu berücksichtigen (Bild 2-131).

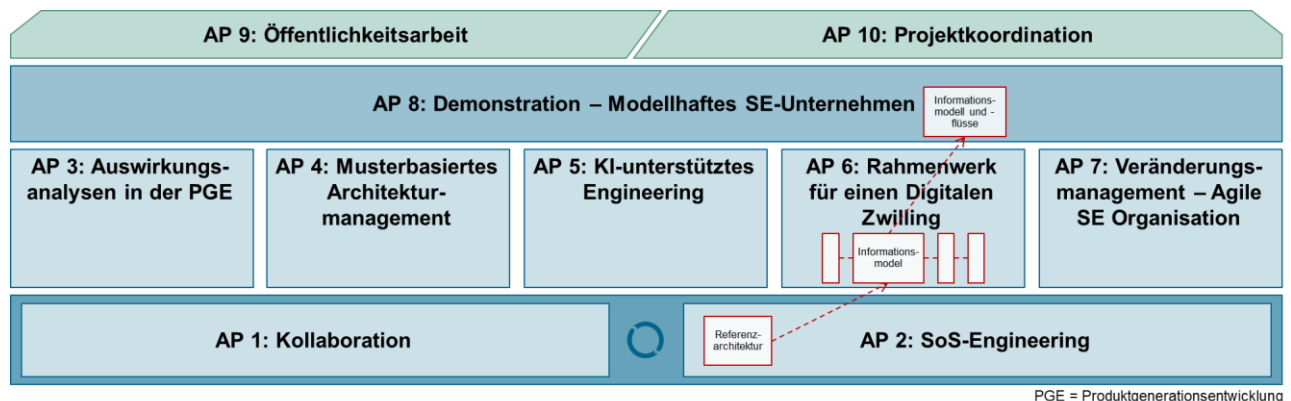


Bild 2-131: Einordnung des Wissensnuggets 2.29 in das MoSyS Projekt

2.27.1.3. Vorgehen

Unter Berücksichtigung der Anforderungen und Anwendungsfälle wird ein geeignetes Informationsmodell entworfen. Dieses Informationsmodell adaptiert bestehende Vorarbeiten (z.B. Digitale Verwaltungsschale der Plattform Industrie 4.0). Die Eignung der Vorarbeiten wird u.a. durch eine Gegenüberstellung, Bewertung und Synergieanalyse von SysML-Systemmodellen (MBSE) und digitalen Verwaltungsschalen (AAS) untersucht. Das Informationsmodell beschreibt dabei einen integrativen Ansatz zur Sichtung, Beschreibung und Verknüpfung von Informationen und Ressourcen im Kontext des Digitalen Zwillings. In mehreren Workshops wird die heterogene Modell- und Datenlandschaft der einzelnen Partner analysiert, um redundante oder fehlende Informationen zu identifizieren. Informationen über ein System sind in der Regel über mehrere Informationsquellen (z.B. Simulationsmodelle) verstreut, die von unterschiedlichen Organisationen entwickelt und gepflegt werden. Dazu wird eine geeignete Methode zur abstrakten Beschreibung und Modellierung von (Simulations-)Modellen und Engineering-Autorenwerkzeugen entwickelt. Darauf aufbauend werden die erforderlichen Datenstrukturen, Programmierschnittstellen und IT-Infrastrukturen aus Sicht der Produktentwicklung, der Produktionssystementwicklung und des Dienstleistungsdesigns spezifiziert. Abschließend wird unter Be-

rücksichtigung der Vorarbeiten, der Ist- und Soll-Analyse der Modell- und Datenlandschaft ein ganzheitliches Informationsmodell für den Digitalen Zwilling definiert. Das Informationsmodell hat den Anspruch, eine unternehmensübergreifende Nutzung des digitalen Zwillings zu ermöglichen.

2.27.2. Hauptteil

2.27.2.1. Definitionen

Digitaler Zwilling: Ein digitaler Zwilling ist eine digitale Repräsentation eines technischen Systems oder Prozesses, der ausgewählte Informationen über verschiedene Lebenszyklusphasen für unterschiedliche Anwendungsfälle erfasst, verarbeitet und verknüpft, mit der physischen Entität synchronisiert und bei Bedarf für externe Systeme verfügbar macht.

Weitere Informationen	Links: Digital Twin Framework Website: https://www.digital-twin-framework.com/definition.php Digitaler Zwilling: https://youtu.be/QWg0s5Xidyc Digitaler Zwilling bei Philips: https://www.youtube.com/watch?v=QWg0s5Xidyc Digitaler Schatten bei Philips: https://www.youtube.com/watch?v=UI_jlKdyW2c%20 Veröffentlichung: [RGB+21] Rasor, R.; Göllner, D.; Bernijazov, R.; Kaiser, L.; Dumitrescu. R.: Towards collaborative life cycle specification of digital twins in manufacturing value chains, 2021.

2.27.2.2. Ergebnisse

Zu Beginn der Untersuchungen wurde eine Gegenüberstellung, Bewertung und Synergieanalyse von SysML-Systemmodellen (MBSE) und digitalen Verwaltungsschalen (AAS) für den digitalen Zwilling durchgeführt.

Die Informationsquelle von MBSE basiert auf Annahmen oder vorherigem Wissen über das Zielsystem. Im Gegensatz dazu stützt sich der Digital Twin auf beobachtete Daten, die von Sensoren des fortgeschrittenen Systems gesammelt werden. Der MBSE-Ansatz nutzt Modelle zur Abstraktion und Vorhersage. Ein Spezifikationsmodell wird verwendet, um die Systemvorhersage zu unterstützen. Im Gegensatz dazu basiert der Digital Twin auf der kontinuierlichen Interaktion zwischen dem physischen System und seinem digitalen Abbild, wobei Daten gesammelt und zur Modellanpassung genutzt werden. MBSE zielt auf die Kommunikation von Mensch zu Mensch ab. Das MBSE-Systemmodell wird verwendet, um sich mit den Stakeholdern im Entwicklungsprozess abzustimmen. Dagegen erfolgt beim Digital Twin die Kommunikation von Maschine zu Maschine. Der Digital Twin sendet seine Informationen in der Regel vom Steuergerät an ein IoT-Softwaresystem zurück. Die Vollständigkeit und Genauigkeit der Informationen im MBSE hängen stark vom Systemverständnis und dem kontextuellen Wissen ab und erfordern umfassendes physisches und analytisches Know-how. Bei Digital Twins hängt die Informationsqualität hingegen stark von der Datenmenge ab. Wenn genügend Informationen verfügbar sind, ist die Korrelation ausreichend, um robuste und genaue Vorhersagen zu treffen. Die Informationsinhalte von MBSE umfassen Struktur, Verhalten und Anforderungen des Systems. Im Gegensatz dazu sind die Informationen bei Digital Twins stark heterogen. Sie bestehen

hauptsächlich aus Metadaten und Informationen über das inhärente Systemverhalten, die Systemumgebung und den Benutzer, die durch (virtuelle) Sensoren gesammelt werden können.

MBSE nutzt spezielle Modellierungstools wie Catia Magic und Integrity Modeler. Auf der anderen Seite verwenden Digital Twins Internet-of-Things-Plattformen wie Microsoft Azure und AWS. Die Standardisierung im MBSE ist gut etabliert und umfasst Standards wie SysML, UML und ArchiMate. Im Bereich der Digital Twins ist die Standardisierung jedoch weniger etabliert und umfasst Ansätze wie die Asset Administration Shell und die Digital Twin Definition Language. Die Informationserstellung und -nutzung im MBSE erfolgt hauptsächlich in der Planungs- und Entwicklungsphase, wobei die Nutzung im Lebenszyklus abnimmt. Im Gegensatz dazu erfolgt die Informationserstellung bei Digital Twins kontinuierlich, mit zunehmender Nutzung während des gesamten Lebenszyklus des Produkts, besonders in der Betriebs- und End-of-Life-Phase, wie in Bild 2-132 dargestellt ist. Die Wertschöpfung der Information im MBSE umfasst die frühzeitige Fehlererkennung, die Vermeidung physischer Prototypen und Effizienzsteigerungen durch Koordination. Digital Twins hingegen erschließen neue Geschäftsmodelle und ergänzende Dienstleistungen wie vorausschauende Wartung und erhöhen das System- und Kontextverständnis.

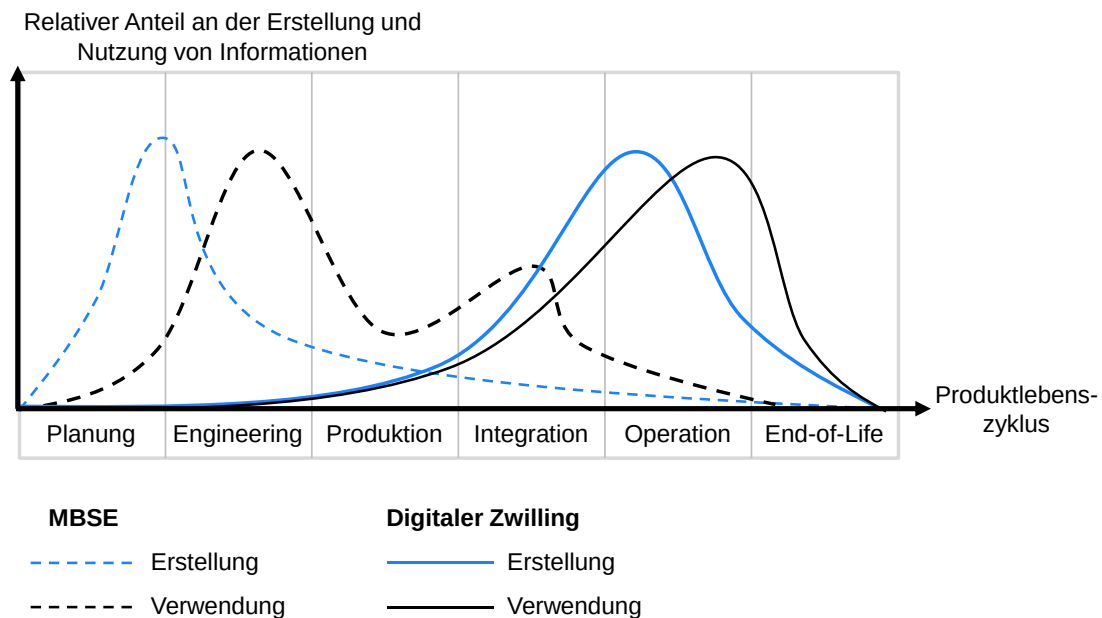


Bild 2-132: Erstellung und Nutzung von Informationen in Bezug auf den Lebenszyklus

Ein bestehender Ansatz für digitale Zwillinge ist die Verwaltungsschale (engl. Asset Administration Shell). Die Asset Administration Shell (AAS) ist das zentrale Konzept der Plattform Industrie 4.0, um Interoperabilität zu ermöglichen (vgl. Bild 2-133). Sie dient als digitales Abbild eines physischen oder virtuellen Assets und stellt alle relevanten Informationen und Funktionalitäten des Assets in standardisierter Form zur Verfügung. [BMW20]

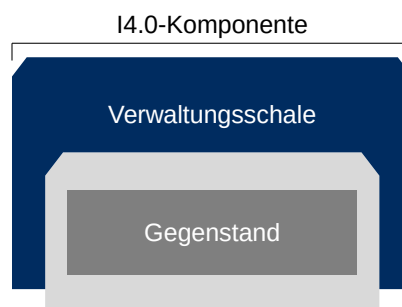


Bild 2-133: Beispielhafte Darstellung des Konzepts der Verwaltungsschale

Systemmodelle können hybride Modelle sein, die sowohl deskriptiv als auch analytisch sind. Sie umfassen oft mehrere Modellierungsdomänen, die integriert werden müssen, um eine konsistente und kohärente Systemdarstellung zu gewährleisten. Daher muss das Systemmodell sowohl allgemeine Systemkonstrukte als auch domänenspezifische Konstrukte enthalten, die in allen Modellierungsdomänen verwendet werden. [SEB18]

Beide Ansätze, das Systemmodell und die Verwaltungsschale, basieren auf einem Metamodell mit Submodellen. Das Systemmodell bezieht sich zusätzlich auf kohärente Teilmodelle, während sich die Verwaltungsschale primär auf die Verwendung von Teilmodellen konzentriert. Das Systemmodell findet Anwendung bei der Entwicklung komplexer Systeme, interdisziplinärer Zusammenarbeit und Simulationen. Die Verwaltungsschale hingegen wird in Smart Factory-Umgebungen, in der Produktentwicklung, bei der Bereitstellung von Dienstleistungen und ebenfalls bei Simulationen eingesetzt. Für die Sprache und Standardisierung verwendet das Systemmodell SysML (Systems Modeling Language). Die Verwaltungsschale basiert auf UML (Unified Modeling Language) und AutomationML (Automation Markup Language), was eine breitere Anwendbarkeit in industriellen Automatisierungsprozessen ermöglicht. Die Modelltypen im Systemmodell umfassen Struktur, Verhalten/Funktion und Anforderungen. Die Verwaltungsschale hingegen enthält sowohl anlagenspezifische als auch anlagenunabhängige Modelle, wie sie im BMW20-Standard beschrieben sind. Das Systemmodell berücksichtigt das Umgebungsmodell und das technische System. Die Verwaltungsschale erweitert diesen Betrachtungshorizont um das technische System und die zu integrierenden Industrie 4.0-Komponenten. Für die Umsetzung des Systemmodells gibt es verschiedene Toolanbieter wie NoMagic, IBM und Cameo. Die Verwaltungsschale nutzt spezialisierte Werkzeuge wie den AASX Package Explorer und BaSyX 4.0. Informationsquellen im Systemmodell sind andere Teilmodelle und Domänenexperten. In der Verwaltungsschale werden die Informationen direkt aus der Produktinstanz abgeleitet. Basierend auf den Erkenntnissen wurde ein Informationsmodell für digitale Zwillinge modelliert.

Das Informationsmodell, das in Bild 2-134 dargestellt ist, beschreibt dabei einen integrativen Ansatz zur Sichtung, Beschreibung und Verknüpfung von Informationen und Ressourcen im Kontext des Digitalen Zwillings. Diese Referenzarchitektur dient zur Planung der unternehmensspezifischen Implementierung. Ziel des Informationsmodells ist eine durchgängige Kombination von Daten und Modellen auf verschiedenen Abstraktionshöhen und aus verschiedenen Lebenszyklusphasen. Dies erfordert einen kontinuierlichen Austausch mit relevanten Stakeholdern im Unternehmen, um die Akzeptanz und Nutzbarkeit des Informationsmodells durch die Menschen (Anwender, Kunde, Entwickler, etc.) zu prüfen.

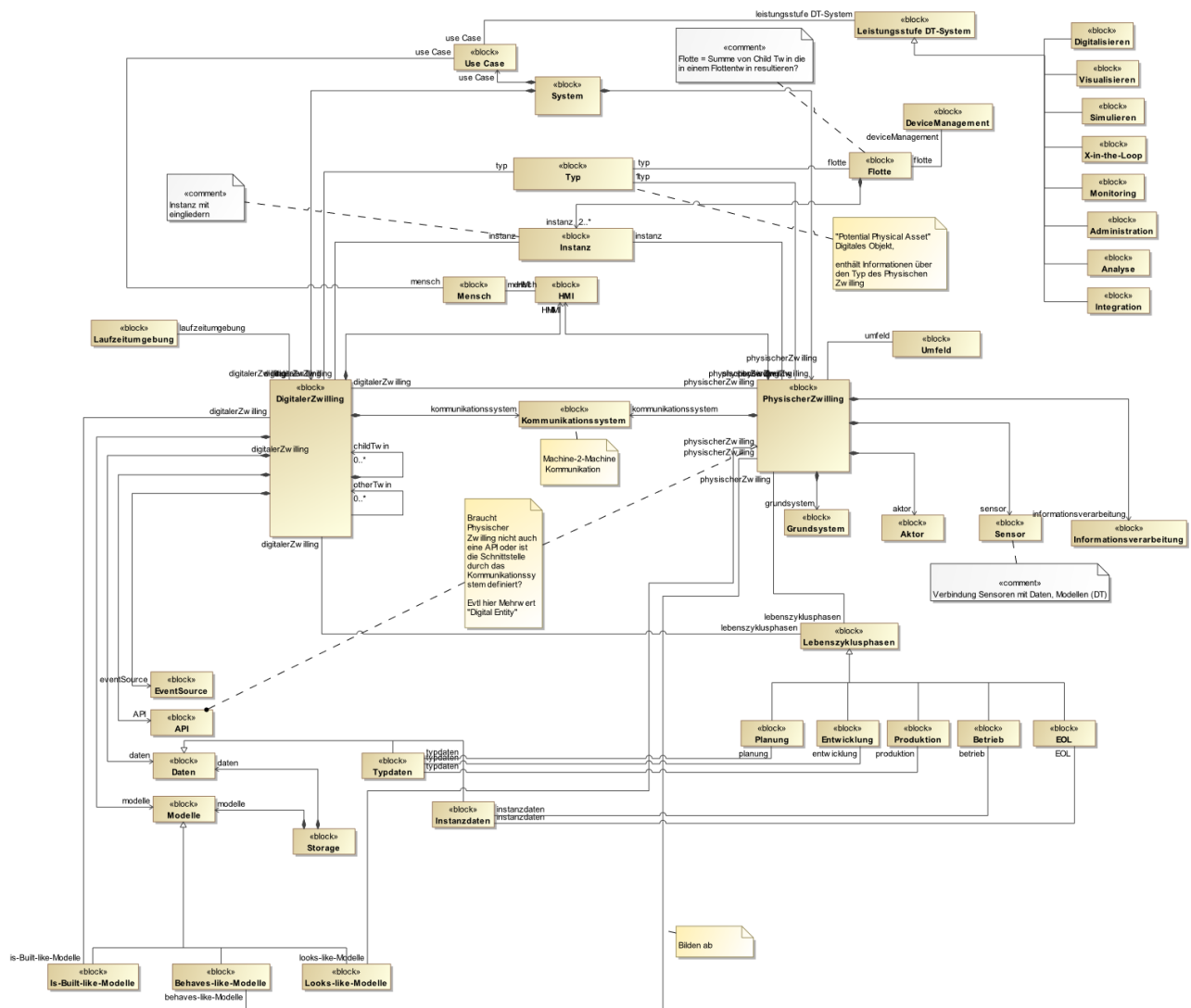


Bild 2-134: Informationsmodell für den digitalen Zwilling

2.27.3. Diskussion und Ausblick

Das erarbeitete Informationsmodell ermöglicht ein verbessertes Verständnis eines digitalen Zwillings. Unternehmen aus der Industrie und Forschung können diesen Ansatz nutzen, um ein verbessertes Verständnis aufzubauen und erste digitale Zwillinge zu erstellen. Weiterhin dient das Informationsmodell als Input für die Erstellung des Leitfadens für modellbasierte Entwicklung digitaler Zwillinge.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Untersuchung, wie heterogene Datenquellen und -formate effektiv und unternehmensübergreifend integriert werden können. Insbesondere für eine Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen müssen bestehende Standards und Protokolle für die Vernetzung von Daten untersucht und bewertet werden. In Bezug auf das Informationsmodell muss eine unternehmensspezifische Implementierung erfolgen und somit validiert werden. Hierbei müssen Fragestellungen geklärt werden, ob das Informationsmodell die Modellierung und das Verständnis von digitalen Zwillingen auf der SoS-Ebene unterstützt und wie das Informationsmodell unternehmensübergreifend für einen kollaborativen, digitalen Zwilling unterstützen kann.

Literaturverzeichnis

- [BMW20] Verwaltungsschale in der Praxis. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2020.

- [RGB+21] Rasor, R.; Göllner, D.; Bernijazov, R.; Kaiser, L.; Dumitrescu, R.: Towards collaborative life cycle specification of digital twins in manufacturing value chains, 2021.
- [SEB18] Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK). [https://www.sebok-wiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_\(SEBoK\)](https://www.sebok-wiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_(SEBoK)) [online].

2.28. Leitfaden zur Implementierung des Digitalen Zwillings

2.28.1. Einleitung

2.28.1.1. Zielsetzung

Ein Leitfaden zur Implementierung des digitalen Zwillings gewährleistet, dass das konzipierte Informationsmodells im Kontext verschiedener Branchen und Anwendungsszenarien mit einer gleich hohen Erfolgswahrscheinlichkeit angewendet werden kann. Hierzu werden auf Basis der identifizierten Anwendungsfälle und Anforderungen, Methoden und Best Practices zur bedarfsgerechten Einführung und Implementierung (spezifischer Elemente) des Informationsmodells in einem Leitfaden konsolidiert.

2.28.1.2. Einordnung in MoSyS

Basierend auf den Anforderungen an einen digitalen Zwilling, welche im AP6 erarbeitet wurden, und der Referenzarchitektur mitsamt den der Struktur wird ein strukturiertes Vorgehen für die Erstellung von digitalem Zwilling erarbeitet. Die einzelnen Schritte und die identifizierten Personas, welche bei der Erstellung und die Nutzung eines digitalen Zwillings relevant sind, berücksichtigen die zuvor definierten Anforderungen. Weiterhin wird der Leitfaden anhand von unternehmensspezifischen Anwendungsfällen der Partnerunternehmen evaluiert (siehe Bild 2-135).

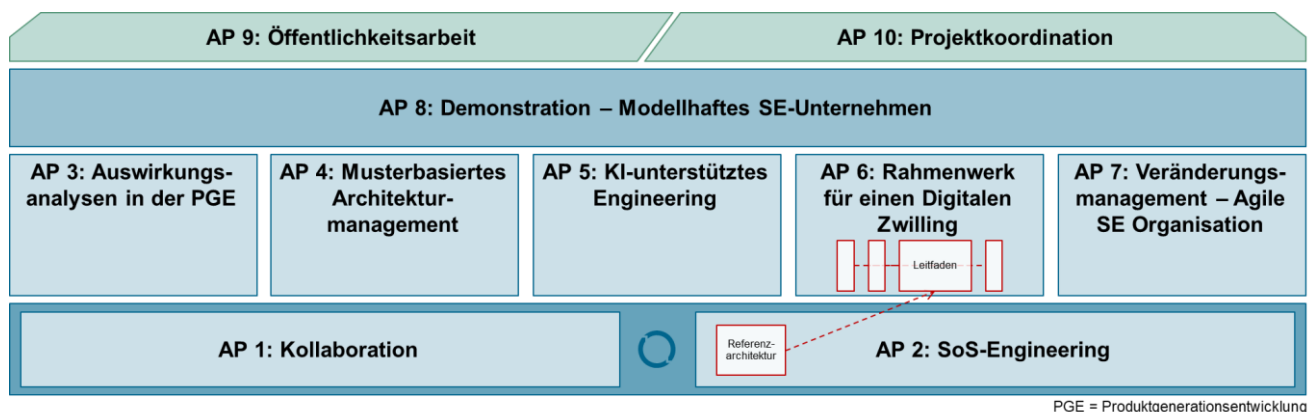


Bild 2-135: Einordnung des Wissensnuggets 2.28 in das MoSyS Projekt

2.28.1.3. Vorgehen

Die Einführung des digitalen Zwillings folgt einem strukturierten Vorgehen. Anhand der Anwendungsfälle werden spezifische Aspekte des Informationsmodells implementiert. Die Pilotierung erfolgt fall-spezifisch in der IT-Systemlandschaft der Unternehmen. Nach einer Stabilisierung der Lösung erfolgt eine schrittweise Erweiterung und eine Erprobung der unternehmensübergreifenden Nutzung der digitalen Zwillinge. Die dabei identifizierten, bewährten Vorgehensweisen oder Methode werden systematisch nachbereitet und in einen Leitfaden integriert. Parallel zur Umsetzung erfolgt die Überprüfung, ob das Informationsmodell bei der Implementierung den folgenden Kriterien genügt: Zuverlässigkeit, Erweiterbarkeit, Interoperabilität, Skalierbarkeit.

2.28.2. Hauptteil

2.28.2.1. Definitionen

Digitaler Zwilling: Ein digitaler Zwilling ist eine digitale Repräsentation eines technischen Systems oder Prozesses, der ausgewählte Informationen über verschiedene Lebenszyklusphasen für unterschiedliche Anwendungsfälle erfasst, verarbeitet und verknüpft, mit der physischen Entität synchronisiert und bei Bedarf für externe Systeme verfügbar macht.

Weitere Informationen	Links: Digital Twin Framework Website: https://www.digital-twin-framework.com/definition.php Digitaler Zwilling: https://youtu.be/QWg0s5Xidyc Digitaler Zwilling bei Philips: https://www.youtube.com/watch?v=QWg0s5Xidyc Digitaler Schatten bei Philips: https://www.youtube.com/watch?v=UI_jlKdyW2c%20 Veröffentlichung: [RGB+21] Rasor, R.; Göllner, D.; Bernijazov, R.; Kaiser, L.; Dumitrescu. R.: Towards collaborative life cycle specification of digital twins in manufacturing value chains, 2021.

2.28.2.2. Ergebnisse

Der Leitfaden für die modellbasierte Entwicklung von digitalen Zwillingen beinhaltet die Erstellung relevanter Personas und die Dokumentation relevanter Aktivitäten für die Entwicklung von digitalen Zwillingen. Die Personas wurden genutzt, um verschiedene Arten von Nutzern zu repräsentieren, die mit dem digitalen Zwilling interagieren könnten, wie z. B. Ingenieure, Entwickler oder Kunden. Hierdurch wird ein klares Verständnis für die Schritte und Prozesse bei der Entwicklung und Nutzung von digitalen Zwillingen geschaffen.

Die Betrachtung der beteiligten Rollen trägt dazu bei, dass Klarheit über die Verantwortlichkeiten geschaffen wird. Die Verantwortlichkeiten und Erwartungen jedes Teammitglieds müssen klar definiert und sichergestellt werden, dass alle Beteiligten auf derselben Seite stehen. Ein weiterer Aspekt ist die Effektive Kommunikation. Die Kenntnis der beteiligten Rollen erleichtert auch die effektive Kommunikation zwischen den Teammitgliedern und hilft, Missverständnisse und Verwirrung zu vermeiden. Zusätzlich ermöglichen die Rollen eine Optimierung der Nutzung von Ressourcen. Wenn die beteiligten Rollen bekannt sind, können Ressourcen effizient zuweisen werden und sicherstellen, dass das richtige Fachwissen für die richtigen Aufgaben eingesetzt wird, was zu besseren Ergebnissen führt. Des Weiteren fördert dies eine verbesserte Zusammenarbeit.

2.28.2.2.1. Persona im Digital Twin Engineering-Prozess

Das Verständnis der am Digital Twin Engineering-Prozess beteiligten Rollen kann auch zu einer verbesserten Zusammenarbeit zwischen den Teammitgliedern führen. Für eine detaillierte Betrachtung der Personas wurde ein Steckbrief erarbeitet. Personas bieten eine visuelle Darstellung der beteiligten Rollen und helfen dabei, Verantwortlichkeiten und Erwartungen zu klären. Insgesamt wurden neun Persona identifiziert, die bei der Erstellung von digitalen Zwillingen relevant sind:

1. Produktmanager*in
2. Data Scientist

3. Hardwareentwickler*in
4. Softwareentwickler*in
5. Simulationsexperte
6. Anforderungsmanager
7. Validierungsingenieur
8. Systemingenieur
9. PLM- und EA-Koordinator

Im Folgenden werden die einzelnen Rollen detailliert beschrieben und der Bezug zum DZ aufgezeigt.

Produktmanager*in	☒ intern ☐ extern	Auftragsabwicklung ☒ MTS ☒ CTO ☒ CTO+ ☒ ETO

Name Julia Li Rolle Produktmanager*in Kurzbeschreibung Erarbeitung von strategischer Maßnahmen auf Basis von Markt- und Trendanalysen. Begleitung des Produktes über gesamten Lebenszyklus. Initiierung von Maßnahmen der in der Produkt- und Portfolioentwicklung. Toolbox PLM, ERP, Confluence, Jira	

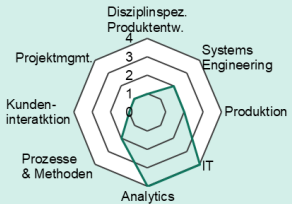
Motivation und Bedarf „Mit der Bereitstellung eines Digitalen Zwillings als Teil des Produktumfangs können wir dem Kunden einen Smarten Service (z.B. Prädiktive Instandhaltung) anbieten. Daher koordiniere ich die Erstellung des DZ im Rahmen eines Projekts.“	Aufgabe ☒ Erstellt den Digitalen Zwilling und dessen Softwaresystem ☒ Erstellt das physische System oder die Inhalte des Digitalen Zwillings ☐ Implementiert die Schnittstelle zu bestehenden IT-Systemen ☒ Nutzt den Digitalen Zwilling	In welcher Aktivität erfolgen die Aufgaben • In der Projektplanung • In der (Folge-)Produktplanung

MTS: Make-to-Stock CTO: Configure-to-Order CTO+: Configure-to-Order Plus ETO: Engineer-to-Order

Bild 2-136: Persona-Steckbrief eines Produktmanagers

Der Produktmanager ist eine interne Rolle und verantwortet die Erarbeitung von strategischen Maßnahmen auf Basis von Markt- und Trendanalysen, begleitet die Produkte über den gesamten Lebenszyklus und initiiert Maßnahmen in der Produkt- und Portfolioentwicklung (siehe Bild 2-136). Die Erstellung eines digitalen Zwillings als Teil des Produktumfangs kann dabei unterstützen, dem Kunden eine digitale Dienstleistung anzubieten, bspw. eine prädiktive Instandhaltung. Dies ist ein Grund, warum der Produktmanager die Erstellung eines digitalen Zwillings in einem Projekt koordiniert. Mit der Bereitstellung eines Digitalen Zwillings als Teil des Produktumfangs kann dem Kunden ein Smarten Service (z.B. Prädiktive Instandhaltung) anbieten. Daher koordiniert der Produktmanager die Erstellung des DZ im Rahmen eines Projekts, erstellt das physische System und somit die Inhalte eines digitalen Zwillings und nutzt den digitalen Zwilling während der Betriebsphase des physischen Systems.

Data Scientist	☒ intern ☐ extern	Auftragsabwicklung ☒ MTS ☒ CTO ☒ CTO+ ☒ ETO

 Name Michael Maier Rolle Data Scientist Kurzbeschreibung Stellt in beratender und ausführender Funktion Services (Datenbanken, Dashboards, Algorithmen) und IT Lösungen zur Verarbeitung und Nutzung von Daten und Algorithmen für die anderen Abteilungen bereit. Toolbox Visual Studio, Jupyter Hub, Datenbanken, SAP, Kubernetes, Docker	

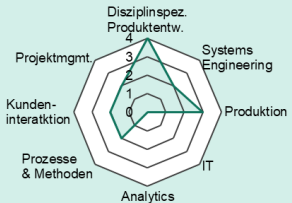
Motivation und Bedarf „Die Durchgängige Datenerfassung mithilfe des Digitalen Zwillings erlaubt es mir viele neue Algorithmen zur Analyse zu entwickeln und neue Zusammenhänge zu erkennen.“	Aufgabe ☒ Erstellt den Digitalen Zwilling und dessen Softwaresystem ☐ Erstellt das physische System oder die Inhalte des Digitalen Zwillings ☒ Implementiert die Schnittstelle zu bestehenden IT-Systemen ☒ Nutzt den Digitalen Zwilling	In welcher Aktivität erfolgen die Aufgaben • In der Projektplanung • Cloud-Management • Entwicklung von Algorithmen zur Analyse

MTS: Make-to-Stock CTO: Configure-to-Order CTO+: Configure-to-Order Plus ETO: Engineer-to-Order

Bild 2-137: Persona-Steckbrief eines Data Scientist

Der Data Scientist ist eine interne Rolle und stellt in beratender und ausführender Funktion Services (Datenbanken, Dashboards, Algorithmen) und IT-Lösungen zur Verarbeitung und Nutzung von Daten und Algorithmen für die anderen Abteilungen bereit (siehe Bild 2-137). Der DZ hilft dem Data Scientist bei der Bereitstellung und Analyse von Daten, welche in der Betriebsphase eines physischen Systems aufkommen. Die durchgängige Datenerfassung mithilfe digitaler Zwillinge hilft bei der Entwicklung neuer Algorithmen zur Analyse und der Erkennung neuer Zusammenhänge. Somit ist der Data Scientist sowohl bei der Erstellung von digitalen Zwillingen und dessen Softwaresystem involviert als auch bei der Implementierung notwendiger Schnittstellen zu bereits bestehenden IT-Systemen in einem Unternehmen. Des Weiteren nutzt der Data Scientist den DZ aktiv.

Hardware Entwickler*in	☒ intern ☐ extern	Auftragsabwicklung ☒ MTS ☒ CTO ☒ CTO+ ☒ ETO

 Name Karl-Heinz Kemnsen Rolle Hardware Entwickler Kurzbeschreibung Erstellung der Hardware-Konstruktion (Bauteile, Baugruppen, technische Zeichnungen) in der disziplinspezifischen Mechanik oder E/E-Entwicklung Toolbox 3D-M/E-CAD, Simulationswerkzeuge	

Motivation und Bedarf „Ich kenne die Mehrwerte des Digitalen Zwillings gar nicht so genau. Es gibt aber seit einiger Zeit erhöhte Anforderungen an CAD Modelle und Produktdaten. Diese muss ich jetzt in höherer Qualität erstellen und pflegen.“	Aufgabe ☐ Erstellt den Digitalen Zwilling und dessen Softwaresystem ☒ Erstellt das physische System oder die Inhalte des Digitalen Zwillings ☐ Implementiert die Schnittstelle zu bestehenden IT-Systemen ☒ Nutzt den Digitalen Zwilling	In welcher Aktivität erfolgen die Aufgaben • Konstruktion • Produktentwicklung

MTS: Make-to-Stock CTO: Configure-to-Order CTO+: Configure-to-Order Plus ETO: Engineer-to-Order

Bild 2-138: Persona-Steckbrief eines Hardwareentwicklers

Der Hardwareentwickler ist eine interne Rolle im Unternehmen und erstellt Hardware-Konstruktionen, wie Bauteile, Baugruppen, technische Zeichnungen in der disziplinspezifischen Mechanik oder E/E-Entwicklung (siehe Bild 2-138). Der Hardwareentwickler ist maßgeblich für die Erstellung des physischen Systems verantwortlich und somit auch für die Inhalte des DZ. Weiterhin nutzt dies Persona

DZ im Rahmen der Entwicklungsarbeiten von neuen physischen Systemen. Durch die erhöhten Anforderungen an CAD-Modelle und Produktdaten, kann der DZ einen Mehrwert liefern.

Software Entwickler*in		☒ intern ☐ extern	Auftragsabwicklung ☒ MTS ☒ CTO ☒ CTO+ ☒ ETO	

 Name Rolf Raute Rolle Software Entwickler Kurzbeschreibung Planung, Entwicklung und Ausführung von Software, welche die Funktionalität des Produkts bestimmt. Anwendungsberatung und Erarbeitung kundenspezifischer Lösungen. Toolbox Programmiersoftware für Steuergeräte, Visual Studio	

Motivation und Bedarf „Ein Digitaler Zwilling hilft mir die Software schon vor bau der Maschine zu testen und im Betrieb Änderungen zu testen ohne die Anlage zu stoppen.“	Aufgabe ☐ Erstellt den Digitalen Zwilling und dessen Softwaresystem ☒ Erstellt das physische System oder die Inhalte des Digitalen Zwillings ☐ Implementiert die Schnittstelle zu bestehenden IT-Systemen ☒ Nutzt den Digitalen Zwilling	In welcher Aktivität erfolgen die Aufgaben • Software Entwicklung • Inbetriebnahme • Service

MTS: Make-to-Stock CTO: Configure-to-Order CTO+: Configure-to-Order Plus ETO: Engineer-to-Order

Bild 2-139: Persona-Steckbrief eines Softwareentwicklers

Der Softwareentwickler ist eine interne Rolle (siehe Bild 2-139). Diese Persona ist verantwortlich für die Planung, Entwicklung und Ausführung von Software, welche die Funktionalität des Systems bestimmt. Weiterhin liegt in seinem Aufgabenbereich die Anwendungsberatung von existierenden Softwarelösungen und die Erarbeitung kundenspezifischer Lösungen. Der Softwareentwickler ist für die Erstellung des physischen Systems und den Inhalten des DZ verantwortlich und nutzt den DZ. Insbesondere unterstützt der DT bei der Entwicklung von Softwarelösungen, indem bereits vor Bau der Maschine getestet werden kann und Änderungen in der Betriebsphase des physischen Systems testen kann, ohne die Anlage oder das Produkt zu stoppen.

Simulationsexperte*in		☒ intern ☐ extern	Auftragsabwicklung ☒ MTS ☒ CTO ☒ CTO+ ☒ ETO	

 Name Carla Weber Rolle Simulationsexperte*in Kurzbeschreibung Unterstützung der Entwicklung durch Anfertigung von Simulationen (Ablauf, Materialfluss, Roboterprogrammierung) und beratende Funktion. Vorbereitung und Durchführung von virtuellen Tests an Produkten und Produktionsprozessen zur Absicherung von Varianten. Toolbox IDEs für z.B. Python, CAD, Simulationssoftware (Visual Components, Plant Simulation, Roboterprogrammierung)	

Motivation und Bedarf „In meiner Täglichen Arbeit stehe ich immer wieder vor neuen Fragestellungen bezüglich der Auslegung neuer Produktionslinien. Ich verspreche mir von der Nutzung des Zwillings einen höheren Grad an Wiederverwendung bereits funktionierender Konzepte.“	Aufgabe ☒ Erstellt den Digitalen Zwilling und dessen Softwaresystem ☒ Erstellt das physische System oder die Inhalte des Digitalen Zwillings ☒ Implementiert die Schnittstelle zu bestehenden IT-Systemen ☐ Nutzt den Digitalen Zwilling	In welcher Aktivität erfolgen die Aufgaben • Produktentwicklung insb. virtuelle Absicherung • Produktionssystemoptimierung • Beratung in Technologiefragen • Umsetzung von Realisierungsaktivitäten (Robotik) • Modellbildung

MTS: Make-to-Stock CTO: Configure-to-Order CTO+: Configure-to-Order Plus ETO: Engineer-to-Order

Bild 2-140: Persona-Steckbrief eines Simulationsexperten

Der Simulationsexperte ist eine interne Rolle und unterstützt die Entwicklung neuer Systeme durch die Anfertigung von Simulationen (Ablauf, Materialfluss, Roboterprogrammierung), der Beratung in

diesem Themenfeld, die Vorbereitung und Durchführung von Simulationen, bspw. in Form von virtuellen Tests an Produktsystemen und Produktionsprozessen zur Absicherung von Varianten (siehe Bild 2-140). Der Simulationsexperte erstellt den DZ, wirkt bei der Erstellung des physischen Systems und den Inhalten des DZ mit und implementiert Schnittstellen zu bestehenden IT-Systemen.

Anforderungsmanager*in	☒ intern ☐ extern	Auftragsabwicklung ☒ MTS ☒ CTO ☒ CTO+ ☒ ETO

 Name Achim Blume Rolle Anforderungsmanager*in Kurzbeschreibung Verantwortlich für die Anforderungsdokumentation und Pflege. Hat den Überblick über alle Stakeholder und deren Anforderungen. Ist in der Lage die Zusammenhänge und Impact Analysen von Anforderungsänderungen zu erkennen. Toolbox Anforderungs-Werkzeuge z. B. DOORS, RV&S, MBSE-Werkzeuge, PLM	

Motivation und Bedarf „Durch den digitalen Zwilling, wird es ermöglicht, die Anforderungen und deren Zusammenhänge für alle Kollegen und Kolleginnen bereit zu stellen. Der Informationsaustausch ist effizienter und das Know-how digitalisiert.“	Aufgabe ☐ Erstellt den Digitalen Zwilling und dessen Softwaresystem ☒ Erstellt das physische System oder die Inhalte des Digitalen Zwillings ☐ Implementiert die Schnittstelle zu bestehenden IT-Systemen ☒ Nutzt den Digitalen Zwilling	In welcher Aktivität erfolgen die Aufgaben - Anforderungserhebung - Unterstützung und Beratung - Mitarbeit in diversen Gremien und Clustern

MTS: Make-to-Stock CTO: Configure-to-Order CTO+: Configure-to-Order Plus ETO: Engineer-to-Order

Bild 2-141: Persona-Steckbrief eines Anforderungsmanager

Der Anforderungsmanager ist eine interne Rolle und ist für die Anforderungserstellung und -dokumentation und Pflege der Anforderungen verantwortlich (siehe Bild 2-141). Dieser hat die Übersicht über alle beteiligten Stakeholder und deren Anforderungen und den verbundenen Zusammenhängen. Weiterhin ist der Anforderungsmanager in der Lage, Impact-Analysen von Anforderungsänderungen durchzuführen. Der Anforderungsmanager ist an der Erstellung des physischen Systems beteiligt und somit auch an den Inhalten des DZ. Dieser nutzt DZ für die erwähnten Analysen, wodurch der Informationsaustausch effizienter wird, und das Know-how digitalisiert wird.

Validierungsingenieur*in	☒ intern ☐ extern	Auftragsabwicklung ☒ MTS ☒ CTO ☒ CTO+ ☒ ETO

 Name Maike Johnsen Rolle Validierungsingenieur*in Kurzbeschreibung Verantwortlich für die Erstellung von Prozessen, Methoden und Vorlagen für die Qualitätssicherung und zur Validierung der Systeme. Unterstützende Funktion bei Entwicklungsprojekten durch Erstellung, Prüfung und Freigabe von Meilensteinen. Toolbox CAQ-Systeme zur automatisierten Verwaltung und Steuerung der Validierungs- und Verifizierungsaktivitäten	

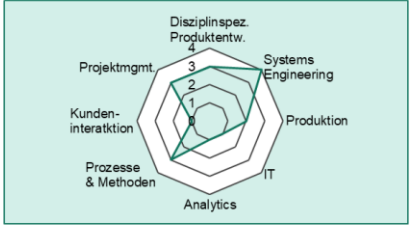
Motivation und Bedarf „Ich verwende digitale Zwillinge, um QA- und Validierungsprozesse zu optimieren, Entwicklungsprojekte zu unterstützen und höchste Systemqualität zu gewährleisten. Eine virtuelle Repräsentation ermöglicht mir die frühzeitige Erkennung von Problemen, die Verbesserung von Test-Prozessen und die Überprüfung von Meilensteinen.“	Aufgabe ☐ Erstellt den Digitalen Zwilling und dessen Softwaresystem ☒ Erstellt das physische System oder die Inhalte des Digitalen Zwillings ☐ Implementiert die Schnittstelle zu bestehenden IT-Systemen ☒ Nutzt den Digitalen Zwilling	In welcher Aktivität erfolgen die Aufgaben - Test - Systemintegration - V&V

MTS: Make-to-Stock CTO: Configure-to-Order CTO+: Configure-to-Order Plus ETO: Engineer-to-Order

Bild 2-142: Persona-Steckbrief eines Validierungsingenieurs

Der Validierungsingenieur ist eine interne Rolle und verantwortet die Erstellung von Prozessen, Methoden und Vorlagen für die Qualitätssicherung und zur Validierung der Systeme (siehe Bild 2-142).

Zusätzlich hat die Rolle eine unterstützende Funktion bei Entwicklungsprojekten durch Erstellung, Prüfung und Freigabe von Meilensteinen. Somit ist der Validierungsingenieur an der Erstellung des physischen Systems und den Inhalten für den DZ beteiligt und nutzt den DZ für Validierungszwecke. Typische Anwendungsfälle eines DZ für den Validierungsingenieur ist die Optimierung von QA- und Validierungsprozessen, die Unterstützung in Entwicklungsprojekten und die Gewährleistung von höchster Systemqualität. Eine virtuelle Repräsentation des Systems ermöglicht eine frühzeitige Erkennung von Problemen, die Verbesserung von Test-Prozessen und eine Überprüfung von Meilensteinen.

Systemarchitekt*in		☒ intern ☐ extern	Auftragsabwicklung ☒ MTS ☒ CTO ☒ CTO+ ☒ ETO
	Name	Peter Kerger	
	Rolle	Systemarchitekt*in	
	Kurzbeschreibung	Koordination und Entscheidung über Design und Realisierung komplexer Systeme. Die logische Dekomposition und Definition von Subsystemen. Anforderungsmanagement und Architekturgestaltung.	
	Toolbox	MBSE-Werkzeuge, PDM, ERP, Jira	
			
	Motivation und Bedarf		Aufgabe
„Digitale Zwillinge ermöglichen eine Transformation der technischen Systeme im Betrieb. Zusätzlich sind Sie eine Technologie, welche die zunehmend Vernetzung forciert. Diese Aspekte muss ich zukünftig in der Systemarchitektur berücksichtigen.“		☐ Erstellt den Digitalen Zwilling und dessen Softwaresystem ☒ Erstellt das physische System oder die Inhalte des Digitalen Zwillings ☐ Implementiert die Schnittstelle zu bestehenden IT-Systemen ☒ Nutzt den Digitalen Zwilling	
			
		In welcher Aktivität erfolgen die Aufgaben • Portfoliomanagement • Produkt-Spezifikation • Architekturmodellierung	

MTS: Make-to-Stock CTO: Configure-to-Order CTO+: Configure-to-Order Plus ETO: Engineer-to-Order

Bild 2-143: Persona-Steckbrief eines Systemarchitekt

Der Systemarchitekt ist eine interne Rolle und koordiniert und entscheidet über das Design und die Realisierung von komplexen Systemen (siehe Bild 2-143). Die logische Dekomposition und Definition von Subsystemen, das Managen von Anforderungen und Architekturen gehören in dessen Aufgabenbereich. Der Systemarchitekt ist somit an der Erstellung des physischen Systems und den Inhalten eines DZ beteiligt und nutzt den DZ. Der DZ ermöglicht eine Transformation technischer Systeme im Betrieb. Weiterhin muss die Technologie des DZ bereits frühzeitig in der Systemarchitektur berücksichtigt werden.

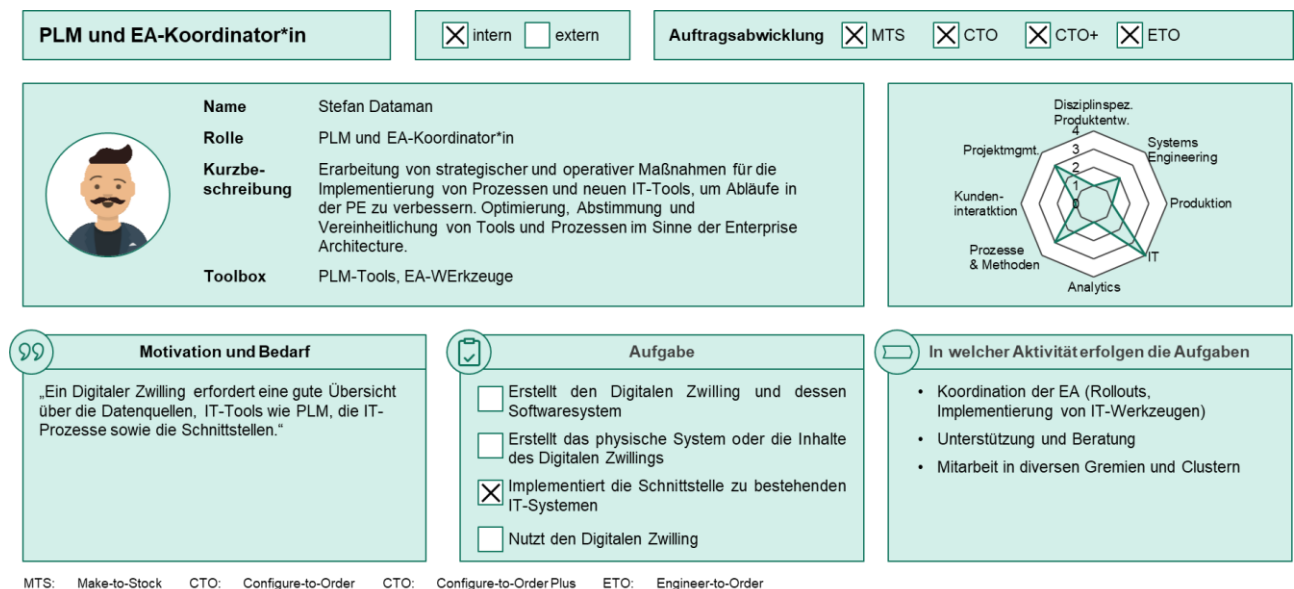


Bild 2-144: Persona-Steckbrief eines PLM- und EA-Koordinators

Der PLM- und EA-Koordinator ist eine interne Rolle und bearbeitet strategische und operative Maßnahmen für die Implementierung von Prozessen und neuen IT-Tools, um Abläufe in der Produktentwicklung zu verbessern (siehe Bild 2-144). Hierzu gehört die Optimierung, Abstimmung und Vereinheitlichung von Tools und Prozessen im Sinne der Enterprise Architecture. Somit verantwortet der PLM- und EA-Koordinator die Implementierung und Pflege von bestehenden und neuen IT-Schnittstellen. Der DZ erfordert eine gute Übersicht über die Datenquellen, IT-Tools und IT-Prozesse, um vollumfänglich eingesetzt werden zu können.

Weitere Informationen	Link: Digital Twin Framework Website: https://www.digital-twin-framework.com/definition.php

2.28.2.2.2. Leitfaden für die Erstellung von digitalen Zwillingen

Der Leitfaden für die Erstellung von digitalen Zwillingen bietet ein Schritt-für-Schritt-Prozess für Unternehmen. Das rollenbasierte Prozessmodell trägt zu einem verbesserten Verständnis von Aufgaben und Verantwortlichkeiten bei. Durch die Verwendung des Leitfadens können Unternehmen ihre Geschäftsprozesse straffen und die Effizienz bei der Implementierung von digitalen Zwillingen verbessern. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte des Leitfadens beschrieben.

Der Leitfaden unterteilt sich in 3 Ebenen. Die erste Ebene, welche in Bild 2-145 dargestellt ist, umfasst drei Schritte.

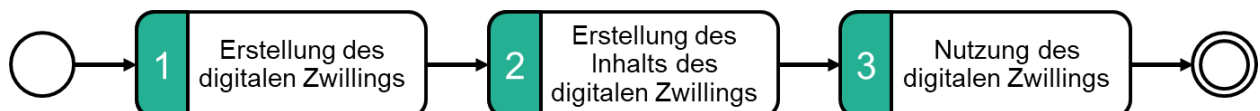


Bild 2-145: Leitfaden für die Erstellung von DZ

Zu Beginn muss der DZ erstellt werden. Ziel der Erstellung eines digitalen Zwillings ist es, ein virtuelles Modell eines physischen Systems oder Objekts zu erstellen, das zur Simulation, Analyse und Optimierung der Leistung des Systems während seiner Lebensdauer verwendet werden kann. Diese Simulation kann dazu beitragen, das Design zu optimieren, Kosten zu senken und die Effizienz zu verbessern. Im zweiten Schritt wird der Inhalt des DZ erarbeitet. Ziel dieser Aktivität ist die Entwicklung einer umfassenden digitalen Darstellung eines physischen Objekts, Systems oder Prozesses

durch Simulation oder Datenerfassung. Dazu gehört die Erfassung von Datenpunkten wie Parametern, Leistung und Verhalten, um ein genaues digitales Abbild zu erstellen. Der dritte und letzte Schritt ist die Nutzung des DZ. Das Ziel ist es, ein physisches System in einer virtuellen Umgebung zu simulieren, um Erkenntnisse zu gewinnen, Ideen zu testen und die Leistung zu optimieren. Eine genaue Beschreibung, inklusive der Inputs und Outputs und relevanter Referenzen kann der Tabelle 2-11 entnommen werden.

Tabelle 2-11: Detaillierte Beschreibung der übergeordneten Schritte des Leitfadens

Schritt 1: Erstellung eines digitalen Zwillings			
Ziel	Ziel der Erstellung eines digitalen Zwillings ist es, ein virtuelles Modell eines physischen Systems oder Objekts zu erstellen, das zur Simulation, Analyse und Optimierung der Leistung des Systems während seiner Lebensdauer verwendet werden kann. Diese Simulation kann dazu beitragen, das Design zu optimieren, Kosten zu senken und die Effizienz zu verbessern.		
Beschreibung	Die Erstellung eines digitalen Zwillings ist der Prozess der virtuellen Darstellung eines physischen Objekts. Dies geschieht in der Regel durch den Einsatz von 3D-Modellierungssoftware und Scan-Hardware. Der Prozess beginnt mit der Erfassung der Geometrie des zu modellierenden Objekts, die in der Regel durch Laserscanning, CT-Scanning oder Fotogrammetrie erfolgt. Anhand dieser Daten wird dann ein 3D-Modell des Objekts erstellt, das wiederum zur Erzeugung eines digitalen Zwillings verwendet wird. Sobald der digitale Zwilling erstellt ist, kann er verwendet werden, um zu simulieren, wie sich das Objekt in verschiedenen Szenarien verhalten würde, z. B. wie es auf eine sich verändernde Umgebung reagiert oder wie es bestimmten Kräften oder Belastungen standhalten kann. Dies ermöglicht es Ingenieuren und Designern, verschiedene Entwürfe für ein Objekt schnell zu testen und zu bewerten, ohne physische Prototypen bauen zu müssen. Der digitale Zwilling kann auch dazu verwendet werden, die Leistung des Objekts während seiner Lebensdauer zu überwachen, was wertvolle Einblicke in seine Leistung und sein Verhalten liefert.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Daten, Dokumente, Zeichnungen, physikalische Parameter, Messungen, Leistungsmetriken, Entwürfe, externe Systeme, Prozessbeschreibungen, Betriebsgeschichte, Sensorinformationen, Simulationsmodelle, Algorithmen.	3D-Modell, CAD-Zeichnungen, technische Spezifikationen, Komponentenliste, Montageanleitung, Leistungsdaten der Komponenten, Sensordaten, Zuverlässigkeitsdaten, Simulationsergebnisse, Kundenfeedbackdaten.	Siemens Teamcenter, PTC ThingWorx, Autodesk Fusion 360, SAP Leonardo IoT, GE Predix, Siemens NX, Microsoft Azure Digital Twins, Siemens MindSphere, Oracle IoT Cloud, AWS IoT Core, IBM Watson IoT Platform.
Schritt 2: Erstellung des Inhalts des digitalen Zwillings			
Ziel	Ziel dieser Aktivität ist die Entwicklung einer umfassenden digitalen Darstellung eines physischen Objekts, Systems oder Prozesses durch Simulation oder Datenerfassung. Dazu gehört die Erfassung von Datenpunkten wie Parametern, Leistung und Verhalten, um ein genaues digitales Abbild zu erstellen.		
Beschreibung	Die Erstellung des Inhalts eines digitalen Zwillings beinhaltet die Sammlung von Daten aus verschiedenen Quellen und deren Kombination zu einer einzigen digitalen Darstellung eines physischen Objekts oder Systems. Dies geschieht		

	durch die Erfassung von Daten von Sensoren, die Analyse der Daten zur Bestimmung der Eigenschaften des physischen Objekts und die anschließende Kombination der Daten zu einem digitalen Zwilling. Dazu gehört die Erfassung von Daten über den physischen Zustand des Objekts, wie z. B. seine Temperatur, seinen Druck und seine Temperatur, sowie sein Verhalten und seine Leistung. Darüber hinaus kann der digitale Zwilling Informationen über die Umgebung erfassen, in der sich das physische Objekt befindet, wie z. B. die Luftqualität in der Umgebung, die Beleuchtung und andere Faktoren, die die Leistung des Objekts möglicherweise beeinträchtigen könnten. Sobald diese verschiedenen Daten gesammelt wurden, werden sie zu einer einzigen digitalen Darstellung des physischen Objekts kombiniert. Dieser digitale Zwilling kann dann verwendet werden, um die Leistung des Objekts zu analysieren, sein zukünftiges Verhalten vorherzusagen und potenzielle Probleme zu erkennen, bevor sie auftreten. Durch die Erstellung eines digitalen Zwillings können Ingenieure und Designer ein besseres Verständnis ihrer Entwürfe gewinnen und fundiertere Entscheidungen über deren Verbesserung treffen.		
	Inputs Datenquellen, 3D-Modelle, Konstruktionsspezifikationen, CAD-Konstruktionen, technische Zeichnungen, technische Dokumente, Produktleistungsberichte, Sensormesswerte, Simulationen, Analyseergebnisse, KI-Modelle, Benutzerfeedback, Kundenfeedback.	Outputs Datensätze, Modelle, Berichte, Dokumente, Simulationen, Visualisierungen, Analysen, Dashboards, Schaltpläne, Blaupausen, Diagramme, Karten, Zeitleisten, Bilder, Audio und Video.	Referenzen CAD/CAM-Software, 3D-Modellierungssoftware, Datenvisualisierungssoftware, Simulationssoftware, IoT-Plattformen, Cyber-Physical Systems, Lösungen für maschinelles Lernen, Cloud-Computing-Plattformen, Augmented-Reality-Tools, Plattformen für künstliche Intelligenz.
Schritt 3: Nutzung des digitalen Zwillings			
Ziel	Das Ziel des digitalen Zwillings ist es, ein physisches System in einer virtuellen Umgebung zu simulieren, um Erkenntnisse zu gewinnen, Ideen zu testen und die Leistung zu optimieren.		
Beschreibung	Bei der Verwendung des digitalen Zwillings wird ein virtuelles Abbild eines physischen Vermögenswerts, z. B. einer Maschine, eines Gebäudes oder eines Produkts, erstellt. Diese Nachbildung wird mit einer Kombination aus Datenerfassung, Datenanalyse und Visualisierungstechnologien erstellt. Dieser digitale Zwilling kann verwendet werden, um das Verhalten des physischen Objekts in einer virtuellen Umgebung genau nachzubilden. Der digitale Zwilling erfasst die mit dem physischen Objekt verbundenen Daten und zeigt diese Daten in einer Vielzahl von Formaten an, z. B. in Form von Grafiken, Diagrammen und Tabellen. Anhand der gesammelten Informationen ist es möglich, die Leistung der Anlage zu analysieren, potenzielle Probleme zu erkennen und Lösungen vorzuschlagen. Darüber hinaus kann der digitale Zwilling dazu verwendet werden, verschiedene Szenarien zu simulieren, um die beste Vorgehensweise für die physische Anlage zu bestimmen. Die Verwendung des digitalen Zwillings gibt den Benutzern die Möglichkeit, schnell und präzise fundierte Entscheidungen zu treffen. Außerdem können die Benutzer die Leistung des physischen Objekts mit seinem virtuellen Zwilling vergleichen, was wertvolle Einblicke in die Leistung des physischen Objekts liefern kann. Durch die Verwendung des digitalen Zwillings können die Benutzer potenzielle Probleme erkennen und Änderungen		

	vornehmen, die die Effizienz und Langlebigkeit der physischen Anlage verbessern können.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Daten, Modelle, Dokumente, Ressourcen	3D-Modelle, Simulationen, Analysen, Berichte, Vorhersagemodelle, Datensätze, Visualisierungen, virtuelle Umgebungen, Dashboards, Optimierungsmodelle, Algorithmen, Simulationen, Parameter	3D-Modellierungssoftware, Simulationssoftware, Software für computergestütztes Design, Augmented-Reality-Software, Virtual-Reality-Software, Datenvisualisierungssoftware, Automatisierungssoftware, IoT-Plattformen, Software für künstliche Intelligenz, Software für maschinelles Lernen

Der erste Teil des Leitfadens wird in fünf Schritte unterteilt (siehe Bild 2-146). Im ersten Schritt wird die Architektur eines DZ erstellt, worauf hin eine erste Implementierung des DZ erfolgt. Der existierende DZ muss im nächsten Schritt in die IT-Architektur des Unternehmens integriert werden und im Unternehmen vorgestellt und eingeführt werden. Der fünfte Schritt befasst sich mit der Verstetigung des DZ im Unternehmen. Eine detaillierte Beschreibung kann der Tabelle 2-12 entnommen werden.

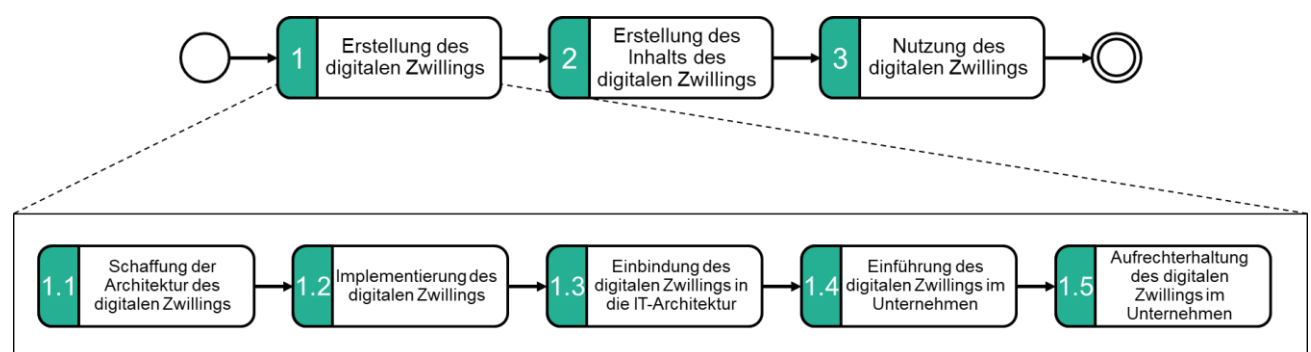


Bild 2-146: Schritt 1 - Aktivitäten für die Erstellung eines digitalen Zwillings

Tabelle 2-12: Detaillierte Beschreibung der Schritte für die Erstellung eines digitalen Zwillings

Schritt 1.1: Schaffung der Architektur des digitalen Zwillings	
Ziel	Ziel der Entwicklung der Architektur des digitalen Zwillings ist es, ein virtuelles Abbild eines realen Objekts oder Systems zu entwerfen, mit dem dessen Zustand und Verhalten in Echtzeit überwacht und analysiert werden kann. Dies wird eine bessere Entscheidungsfindung und eine höhere Leistung ermöglichen.
	Bei der Erstellung der Architektur eines digitalen Zwillings geht es darum, eine Grundlage für seine Entwicklung zu schaffen. Sie beginnt mit der Darstellung der physischen Umgebung, in der der digitale Zwillings existieren wird, einschließlich aller zugehörigen Komponenten wie Sensoren, Netzwerke und anderer Werkzeuge. Diese Blaupause sollte alle Datenpunkte der physischen Umgebung und die Art und Weise, wie diese Datenpunkte gesammelt werden, enthalten. Der nächste Schritt ist die Entwicklung einer Datenstrategie, die beschreibt, wie die Daten gesammelt, gefiltert und zur Erstellung des digitalen Zwillings verwendet werden. Dazu gehört die Erstellung von Datenmodellen zur

	Darstellung der physischen Umgebung und der zugehörigen Komponenten. Dazu gehört auch die Definition der Datenformate und -standards, die für eine nahtlose Integration verwendet werden sollen. Sobald die Datenstrategie feststeht, kann mit der Entwicklung des digitalen Zwillings begonnen werden. Dazu gehört der Entwurf der Komponenten, aus denen der digitale Zwilling bestehen wird, einschließlich der Benutzeroberfläche, der Anwendungsprogrammierschnittstelle (API) und der zugrunde liegenden Regeln und Algorithmen. Die Komponenten sollten so gestaltet sein, dass der digitale Zwilling die physische Umgebung genau abbilden kann. Schließlich sollte die Architektur des digitalen Zwillings getestet werden, um sicherzustellen, dass sie korrekt funktioniert. Dazu gehört die Validierung der Datenmodelle, der API und der zugrunde liegenden Regeln und Algorithmen. Sobald die Architektur validiert ist, kann der digitale Zwilling in Betrieb genommen und zur Überwachung und Verwaltung der physischen Umgebung verwendet werden.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Ressourcen, Dokumente, Daten, Modelle, Systeminformationen, Software, Hardware, Nutzerbedürfnisse, Nutzerpräferenzen, IoT-Geräte, Sensoren, Datenbanken, Benutzeroberfläche, Analysetools, KI/ML-Algorithmen, Visualisierungstools, Kommunikationsprotokolle, Cloud-Dienste.	Modelle, Architekturdigramme, Datenanforderungen, Softwarespezifikationen, Datenanalyse, Datenbankdesign, Hardwareanforderungen, Ressourcenzuweisungspläne, Entwicklungszeitplan, Budgetplan, Testprotokolle, Benutzergeschichten, Schnittstellendesigns, Benutzerfeedback, Systemleistungsmetriken.	3D-Modellierungssoftware, CAD-Software, BIM-Software, GIS-Software, Software für Gebäudedatenmodellierung, Visualisierungssoftware, Software für KI und maschinelles Lernen, Cloud-Computing-Plattformen, IoT-Plattformen, Datenanalyse-Software.
Schritt 1.2: Implementierung des digitalen Zwillings			
Ziel	Ziel der Implementierung des digitalen Zwillings ist es, ein virtuelles Abbild eines physischen Objekts oder Systems zu schaffen, das zur Analyse und Simulation seiner Leistung sowie zur Optimierung seines Designs und Betriebs verwendet werden kann.		
Beschreibung	Die Implementierung eines digitalen Zwillings ist eine effektive Methode zur Erstellung einer digitalen Darstellung eines physischen Objekts, Systems oder Prozesses. Diese Darstellung wird durch das Sammeln von Daten aus der physischen Welt erstellt, die dann zum Aufbau eines virtuellen Modells des Objekts, Systems oder Prozesses verwendet werden. Der digitale Zwilling wird dann verwendet, um zu simulieren, wie sich das physische Objekt, System oder der Prozess in verschiedenen Szenarien verhalten wird. Der digitale Zwilling kann zur Visualisierung komplexer Systeme und Prozesse verwendet werden, so dass die Benutzer ein besseres Verständnis für das Verhalten des physischen Objekts, Systems oder Prozesses erhalten. Dieses Verständnis kann zur Überwachung, Vorhersage und Optimierung des Betriebs des physischen Systems oder Prozesses genutzt werden. Digitale Zwillinge können auch verwendet werden, um potenzielle Designprobleme zu erkennen, bevor sie in der realen Welt zu einem Problem werden. Die Implementierung eines digitalen Zwillings umfasst die Erfassung von Daten aus der physischen Welt, z. B. von Sensoren, und die anschließende Erstellung eines virtuellen Modells des Objekts, Systems oder Prozesses. Dieses		

	Modell wird dann verwendet, um zu simulieren, wie sich das physische Objekt, System oder der Prozess in verschiedenen Szenarien verhalten wird. Die Ergebnisse der Simulationen werden dann verwendet, um Entscheidungen über das physische System oder den Prozess zu treffen. Der digitale Zwilling kann auch zur Erstellung virtueller Simulationen verwendet werden, mit denen verschiedene Szenarien getestet werden können, bevor sie in der realen Welt umgesetzt werden. Dies kann dazu beitragen, das Risiko potenzieller Probleme zu verringern und sicherzustellen, dass das physische System oder der Prozess für maximale Leistung optimiert wird.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Datenquellen, 3D-Modelle, Softwaremodelle, Sensoren, Datenbanken, Echtzeitdaten, Analysetools, KI/ML-Modelle, Bibliotheken, Anwendungsprogrammierschnittstellen (APIs), Serverinfrastruktur, Cloud-Speicher, IoT-Plattformen, CAD-Modelle, Produktdesigns, Prozesslandkarten, Nutzerfeedback, Kundenanforderungen.	Datenmodelle, 3D-Modelle, Softwaresimulationen, Analysen, Berichte, Dashboards, Visualisierungen, Vorhersagemodelle, Modelle für maschinelles Lernen, Simulationen, Benutzeroberflächen, Datenbanken, Hardware-schnittstellen.	IoT-Plattformen, 3D-Modellierungssoftware, ML/AI-Software, Analysesoftware, Cloud-Infrastrukturen, Simulationssoftware, Visualisierungssoftware, Anwendungsprogrammierschnittstellen (APIs), Big-Data-Software, Product-Lifecycle-Management-Software (PLM).
Schritt 1.3: Einbindung des digitalen Zwillings in die IT-Architektur			
Ziel	Diese Aktivität zielt darauf ab, den digitalen Zwilling mit der bestehenden IT-Architektur zu verbinden, um den Datenaustausch zu ermöglichen und digitale Zwillinge besser nutzbar und zugänglich zu machen. Ziel ist es, ein einheitliches System zu schaffen, mit dem Daten sowohl aus dem physischen als auch aus dem digitalen Modell analysiert werden können.		
Beschreibung	Die Integration des digitalen Zwillings in eine IT-Architektur ist ein wichtiger Schritt bei der digitalen Transformation eines Unternehmens. Der digitale Zwilling ist eine virtuelle Darstellung eines physischen Objekts, Systems oder Prozesses, die es Unternehmen ermöglicht, das Objekt, System oder den Prozess in einer virtuellen Umgebung zu visualisieren. Auf diese Weise erhalten Unternehmen ein besseres Verständnis ihrer Abläufe und können fundierte Entscheidungen treffen, die die Effizienz und Effektivität ihrer Abläufe verbessern. Bei der Integration des digitalen Zwillings in die IT-Architektur muss die Organisation zunächst die Gesamtarchitektur definieren. Dazu gehört die Festlegung der Komponenten der Architektur, wie z. B. der Datenquellen, der Datenspeicherung, der Datenverarbeitungsplattformen, der Datenvisualisierungstools und der Zugriffskontrolle. Sobald diese Komponenten vorhanden sind, kann das Unternehmen den digitalen Zwilling in die Architektur integrieren. Dies beinhaltet die Zuordnung des physischen Objekts, Systems oder Prozesses zu den Komponenten der IT-Architektur und die Sicherstellung, dass es mit den richtigen Datenquellen und Datenverarbeitungsplattformen verbunden ist. Sobald die Integration abgeschlossen ist, kann das Unternehmen mit der Nutzung des digitalen Zwillings beginnen. Dabei kann simuliert werden, wie das physische Objekt, das System		

	oder der Prozess in einer virtuellen Umgebung funktionieren wird, und es kann sichergestellt werden, dass die Daten korrekt und aktuell sind. Die Organisation kann dann die Informationen aus der Simulation nutzen, um fundierte Entscheidungen über ihre Abläufe zu treffen und Bereiche mit Verbesserungsbedarf zu ermitteln. Durch die Integration des digitalen Zwillings in ihre IT-Architektur können Unternehmen ein besseres Verständnis ihrer Abläufe gewinnen und bessere Entscheidungen treffen, die ihre Effizienz und Effektivität steigern. So können sie in der digitalen Welt wettbewerbsfähig bleiben und langfristig erfolgreich sein.		
	Inputs Datenquellen, Systemanforderungen, High-Level-Architektur, IT-Infrastruktur, IoT-Geräte, Algorithmen der künstlichen Intelligenz, Software-Entwicklungswerkzeuge, Cloud-Computing-Plattformen, Kommunikationsprotokolle, Sicherheitsprotokolle, Leistungsmetriken, Analysemodelle.	Outputs Anforderungsdokumentation, Designentwurf, Modellierungsdaten, Integrationssoftware, Systemarchitekturdiagramm, Simulationsergebnisse, Risikobewertungsbericht, Testszenarien, Benutzerschnittstellen, Konfigurationsspezifikationen, Validierungsbericht.	Referenzen Software-Werkzeuge: Cloud Computing, Datenanalyse, Unternehmensarchitektur, Big Data, KI/ML-Plattformen, IoT-Plattformen, Anwendungsintegration, DevOps-Tools, Systemintegration, ERP/CRM-Lösungen.
Schritt 1.4: Einführung des digitalen Zwillings im Unternehmen			
Ziel	Das Ziel dieser Aktivität ist es, das Konzept des digitalen Zwillings im Unternehmen einzuführen und die Vorteile zu erläutern, die sie in Bezug auf Technologie, Datenmanagement und Automatisierung mit sich bringen. Außerdem soll sie veranschaulichen, wie der digitale Zwilling zur Optimierung von Geschäftsprozessen und zur Verbesserung der Kundenerfahrung eingesetzt werden kann.		
Beschreibung	Die Einführung des digitalen Zwillings im Unternehmen ist ein leistungsfähiges Instrument, das die Arbeitsweise der Organisation revolutionieren kann. Ein digitaler Zwilling ist eine virtuelle Darstellung eines physischen Objekts oder einer Umgebung, die für Tests und Simulationen verwendet wird. Durch die Erstellung eines digitalen Zwillings des Unternehmens ist es möglich, die Lücke zwischen der physischen und der digitalen Welt zu schließen. Dies ermöglicht eine Datenanalyse in Echtzeit und tiefere Einblicke in die Arbeitsweise des Unternehmens. Mit dem digitalen Zwilling lässt sich das Verhalten eines Unternehmens in verschiedenen Szenarien simulieren. Dies kann helfen, potenzielle Probleme zu erkennen und den Betrieb zu optimieren. Er kann auch dazu verwendet werden, neue Strategien und Prozesse zu testen, bevor sie eingeführt werden. Dies kann zu Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen führen. Der digitale Zwilling kann auch zur Verbesserung der Kundenerfahrung eingesetzt werden. Durch die Analyse des Kundenverhaltens kann der digitale Zwilling dazu beitragen, Bereiche zu identifizieren, in denen das Kundenerlebnis verbessert werden kann. Dies kann dazu beitragen, die Kundenerfahrung nahtloser und angenehmer zu gestalten. Insgesamt ist die Einführung des digitalen Zwillings im Unternehmen eine gute Möglichkeit, der Konkurrenz voraus zu sein und das Beste aus der Technologie herauszuholen. Er bietet ein leistungsfähiges Instrument zur		

	Optimierung der Abläufe und zur Verbesserung der Kundenerfahrung. Er kann auch dazu verwendet werden, verschiedene Szenarien zu testen und zu simulieren, was eine bessere Entscheidungsfindung und einen effizienteren Arbeitsablauf ermöglicht.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Datenquellen, 3D-Modelle, digitale Zwillinge, CAD-Zeichnungen, technische Spezifikationen, Kundenfeedback, Cloud-Computing-Plattformen, Analysetools, Simulationssoftware, Visualisierungen, Technologien der künstlichen Intelligenz, Sensoren, IoT-Geräte, Gestaltung von Benutzeroberflächen, Virtual-Reality-Technologie.	Weißbuch, Schulungsunterlagen, Projektpläne, Benutzerhandbücher, Datenmodelle, Risikobewertungsdokumente, Implementierungspläne, Entwürfe von Benutzerschnittstellen, technische Diagramme, Implementierungsrichtlinien, Systemarchitekturdiagramme, Kostenanalyseunterlagen.	IoT-Plattformen, Cloud-Computing-Plattformen, Datenanalyseplattformen, CAD/CAM-Software, Modellierungsssoftware, Simulationssoftware, Visualisierungssoftware, Automatisierungssoftware, Software für maschinelles Lernen.
Schritt 1.5: Aufrechterhaltung des digitalen Zwillings im Unternehmen			
Ziel	Das Ziel des digitalen Zwillings im Unternehmen besteht darin, eine nahtlose Integration zwischen den physischen und digitalen Abläufen zu gewährleisten und so eine effiziente und effektive Verwaltung von Daten und Ressourcen zu ermöglichen. Dies wird es dem Unternehmen ermöglichen, fundierte Entscheidungen zu treffen und für die Zukunft zu planen.		
Beschreibung	Die Aufrechterhaltung des digitalen Zwillings im Unternehmen ist der Prozess der Schaffung eines virtuellen Abbilds der physischen Vermögenswerte eines Unternehmens, wie z. B. Ausrüstung, Anlagen und Prozesse. Diese digitale Darstellung ermöglicht es dem Unternehmen, die Leistung seiner Anlagen in Echtzeit zu verwalten und zu überwachen, potenzielle Probleme vorherzusagen und zu verhindern und seine Abläufe zu verbessern. Der digitale Zwilling wird durch die Kombination einer Reihe von Datenquellen und Technologien wie Sensoren, Bildgebung und Analyseverfahren erstellt. Auf diese Weise kann das Unternehmen Daten aus verschiedenen Quellen erfassen und ein umfassendes Modell seiner physischen Anlagen erstellen. Anhand dieses Modells lässt sich die Leistung der Anlage simulieren, wodurch sich Verbesserungsmöglichkeiten ermitteln lassen. Nach der Erstellung des digitalen Zwillings ist es wichtig, ihn im Laufe der Zeit zu erhalten. Dies geschieht durch die kontinuierliche Erfassung von Daten aus der Anlage, die Verfolgung von Leistungsänderungen und die Aktualisierung des digitalen Zwillingsmodells, um alle Änderungen zu berücksichtigen. Dadurch wird sichergestellt, dass der digitale Zwilling genau und aktuell bleibt. Schließlich kann der digitale Zwilling als Entscheidungshilfe für die Anlage und ihre Leistung dienen. Mit Hilfe des digitalen Zwillings lassen sich Verbesserungsmöglichkeiten erkennen und potenzielle Probleme vorhersagen, bevor sie Realität werden. Dies hilft dem Unternehmen, Kosten zu senken, die Sicherheit zu verbessern und die Effizienz zu steigern.		
	Inputs	Outputs	Referenzen

	Ressourcen, Dokumente, Daten, Modelle, Hardware-Komponenten, Software-Komponenten, Netzwerkkonfigurationen, Mitarbeiter-Know-how, Kunden-Feedback, Finanzinformationen, Analysen, KI-Algorithmen, Simulationsergebnisse, Produktdesigns, Fertigungsprozesse, Lieferanteninformationen, gesetzliche Richtlinien, Markttrends.	Datenmodelle, technische Diagramme, Systemdiagramme, Datenbanken, technische Zeichnungen, CAD-Modelle, Simulationsmodelle, Steuerungssysteme, Softwareprogramme, Algorithmen, Automatisierungsskripte, Analyseberichte, Konstruktionsunterlagen, Testpläne, Leistungskennzahlen.	ERP-Software (Enterprise Resource Planning), BI-Tools (Business Intelligence), CRM-Software (Customer Relationship Management), DMP-Plattformen (Data Management Platforms), CAD-Software (Computer Aided Design), Tools für die Zusammenarbeit, Projektmanagement-Software, Datenvisualisierungssoftware, Simulationssoftware, Cloud-Computing-Technologien.

Im zweiten Teil des Leitfadens erfolgt die Erstellung der Inhalte des digitalen Zwillings.

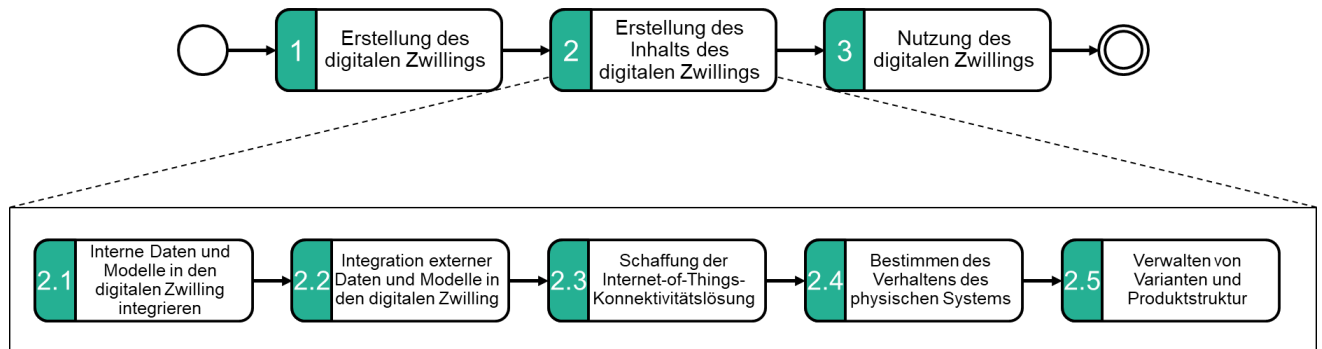


Bild 2-147: Schritt 2 - Aktivitäten für die Erstellung des Inhalts eines digitalen Zwillings

Tabelle 2-13: Detaillierte Beschreibung der Schritte für die Erstellung des Inhalts eines digitalen Zwillings

Schritt 2.1: Interne Daten und Modelle in den digitalen Zwilling integrieren	
Ziel	Ziel dieser Aktivität ist die Erstellung einer exakten digitalen Darstellung eines physischen Systems durch die Kombination interner Daten und Modelle. Dieser digitale Zwilling wird zur Überwachung und Vorhersage der Leistung des physischen Systems in Echtzeit verwendet.
Beschreibung	Die Integration interner Daten und Modelle in den digitalen Zwilling ist ein Prozess, bei dem Daten aus verschiedenen Quellen kombiniert werden, um eine einheitliche digitale Darstellung einer physischen Anlage zu erstellen. Dieser Prozess umfasst die Extraktion von Daten aus verschiedenen Quellen, wie z. B. Sensoren, Steuerungssystemen und Unternehmenssystemen, und deren Kombination mit 3D-Modellen, Simulationen und Analysen. Diese Daten werden dann verwendet, um eine virtuelle Darstellung der physischen Anlage zu erstellen, die zur Simulation, Vorhersage und Optimierung der Leistung der Anlage verwendet werden kann. Der digitale Zwilling ist ein leistungsfähiges Werkzeug, das es Unternehmen ermöglicht, die Leistung von Anlagen in Echtzeit zu überwachen und zu optimieren, potenzielle Probleme zu erkennen, bevor sie auftreten, und Entscheidungen schnell und präzise zu treffen. Durch die Kombination

	interner Daten und Modelle können Unternehmen ein umfassendes Verständnis der Anlagenleistung erlangen, das es ihnen ermöglicht, fundierte Entscheidungen zu treffen und ihren Betrieb zu verbessern.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Datenquellen, Informationsmodelle, Analysemodelle, Datenvisualisierungstools, Berichtstools, Dashboards, Benutzeroberfläche, Datenformate, Datenpunkte, Datenmetriken, Kommunikationsprotokolle, Softwarearchitektur, Integrationsplattformen, Datenbanken, APIs, Algorithmen.	Daten, Modelle, Dokumente, Berichte, Analysen, Simulationen, Visualisierungen, Einblicke, Erkenntnisse, Empfehlungen, Pläne, Strategien.	SAP, IBM WebSphere, Oracle Integration Cloud, Informatica PowerCenter, Microsoft Dynamics, IBM DataStage, Talend, MuleSoft Anypoint, K2, Azure Logic Apps.
Schritt 2.2: Integration externer Daten und Modelle in den digitalen Zwilling			
Ziel	Ziel dieser Aktivität ist es, externe Daten und Modelle in den digitalen Zwilling zu integrieren, was eine umfassendere Analyse und einen besseren Einblick in das modellierte physische System ermöglicht. Diese Integration externer Quellen wird dazu beitragen, die Genauigkeit und Detailgenauigkeit des digitalen Zwillings zu verbessern.		
Beschreibung	Bei der Integration externer Daten und Modelle in den digitalen Zwilling werden physische und virtuelle Komponenten kombiniert, um eine einzige, umfassende Sicht auf das System zu erhalten. Dazu werden in der Regel Daten aus verschiedenen Quellen gesammelt, darunter Sensoren, externe Datenbanken und Simulationen, und zu einem einzigen Modell kombiniert, das über eine einzige Plattform zugänglich ist. Dieser Integrationsprozess ermöglicht die Analyse des physischen Systems in Echtzeit und ermöglicht bessere Vorhersagen und genauere Entscheidungen. Durch diese Integration können die Benutzer Trends, Muster und Anomalien in den Daten leichter erkennen. Außerdem ermöglicht sie ein besseres Verständnis des Systemverhaltens und versetzt die Benutzer in die Lage, fundiertere Entscheidungen zu treffen. Darüber hinaus ermöglicht die Integration externer Daten und Modelle in den digitalen Zwilling den Nutzern einen besseren Einblick in das System und gibt ihnen die Möglichkeit, ein vollständiges Bild des Systems zu erhalten. Diese Integration ermöglicht letztlich eine bessere Entscheidungsfindung und bessere Ergebnisse.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Datenquellen, Datensätze, Analysemodelle, Simulationstools, Softwareanwendungen, externe Systeme, Sensordaten, Big Data, IoT-Daten, KI, ML-Algorithmen, Cloud-Compu-	Datenmodelle, Dokumente, Datensätze, Integrationsergebnisse, aktualisierte digitale Zwillinge, Berichte, Analysen, Visualisierungen, interaktive Dashboards, Erkenntnisse.	Datenintegrationstools, Modellierungstools, ETL-Tools (Extrahieren, Transformieren und Laden), Data Warehousing-Tools, Business Intelligence-Tools, Datenbankmanagementsysteme, Plattformen für maschinelles

	ting-Dienste, Altsysteme, Datenbanken, Metriken, Analysetools.		Lernen, KI-Plattformen, DevOps-Tools.
Schritt 2.3: Schaffung der Internet-of-Things-Konnektivitätslösung			
Ziel	Ziel dieser Aktivität ist es, ein System zu entwickeln, das verschiedene Geräte mit dem Internet verbindet, so dass sie kommunizieren und Daten austauschen können. Dadurch können die Nutzer ihre Geräte aus der Ferne steuern und überwachen.		
Beschreibung	Beim Aufbau einer Internet-of-Things (IoT)-Konnektivitätslösung werden physische Geräte wie Sensoren, Geräte und Maschinen mit dem Internet verbunden, damit sie miteinander und mit externen Systemen kommunizieren können. Dieser Prozess umfasst in der Regel den Entwurf der Gesamtarchitektur der IoT-Lösung, die Auswahl der geeigneten Hardware und die Einrichtung der Kommunikationsprotokolle. Der erste Schritt besteht darin, den Umfang der IoT-Konnektivitätslösung zu bestimmen. Dazu gehört die Ermittlung der anzuschließenden Geräte und der zu erfassenden und zu übertragenden Daten. Sobald der Anwendungsbereich definiert ist, muss im nächsten Schritt die beste Methode zur Verbindung der Geräte bestimmt werden. Dies kann die Wahl des am besten geeigneten Kommunikationsprotokolls, wie Bluetooth, Wi-Fi oder Mobilfunk, und die Auswahl der geeigneten Hardware beinhalten. Der nächste Schritt besteht darin, die Geräte so zu konfigurieren, dass sie miteinander und mit externen Systemen kommunizieren können. Dies kann die Einrichtung der Kommunikationsprotokolle, die Konfiguration des Netzwerks und die Einrichtung der Sicherheitsprotokolle umfassen. Sobald die Geräte konfiguriert sind, besteht der nächste Schritt darin, die Software zu entwickeln, die es den Geräten ermöglicht, miteinander und mit externen Systemen zu interagieren. Dazu gehört in der Regel das Schreiben von Code, damit die Geräte Daten senden und empfangen und sich gegenseitig steuern können. Schließlich muss die IoT-Konnektivitätslösung getestet werden, um sicherzustellen, dass sie ordnungsgemäß funktioniert und dass alle Geräte korrekt miteinander kommunizieren. Sobald die Lösung getestet und verifiziert wurde, kann sie eingesetzt und in Betrieb genommen werden.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Sensoren, Mikrocontroller, Netzwerkhardware, Cloud-basierte Dienste, Datenspeicherung, Softwareentwicklungswerkzeuge, IoT-Protokolle, Netzwerksicherheit, Integrationsprotokolle, Entwurf von Benutzeroberflächen, Stromquellen, Verkabelungssysteme, Schaltpläne, Testwerkzeuge, Analysesoftware, Konfigurationsmanagement.	Prototyp des Geräts, Dokument mit technischen Spezifikationen, Benutzerhandbuch, Diagramm der Systemarchitektur, Stückliste, Testpläne, Testergebnisse, Leistungsberichte, Kostenanalysebericht, Installationsanweisungen, Umfrage zum Benutzerfeedback, Produktdesign-Dateien.	MQTT, HTTP, CoAP, XMPP, Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi, LoRa, 6LowPAN, DDS, NFC, RFID

Schritt 2.4: Bestimmen des Verhaltens des physischen Systems

Ziel	Ziel dieser Aktivität ist es, das Verhalten eines physikalischen Systems zu beobachten und zu analysieren, um ein besseres Verständnis seiner Eigenschaften und Funktionen zu erlangen.		
Beschreibung	Um das Verhalten eines physikalischen Systems zu bestimmen, müssen mehrere Schritte unternommen werden. Zunächst muss das physikalische System analysiert werden, um festzustellen, woraus es besteht und wie es funktioniert. Dazu müssen die Komponenten des Systems, die Wechselwirkungen zwischen diesen Komponenten und die Gesamtdynamik des Systems untersucht werden. Sobald das physikalische System analysiert wurde, kann sein Verhalten bestimmt werden, indem die Reaktion des Systems auf verschiedene Reize untersucht wird. Dabei wird untersucht, wie das System auf Änderungen des Inputs, z. B. eine Kraft, oder auf Änderungen in der Umgebung, z. B. die Temperatur, reagiert. Durch die Beobachtung der Reaktion des Systems können Wissenschaftler einen Einblick in seine Funktionsweise und sein Verhalten in verschiedenen Situationen gewinnen. Sobald das Verhalten des physikalischen Systems bestimmt wurde, können die Ergebnisse verwendet werden, um Vorhersagen darüber zu machen, wie sich das System in Zukunft verhalten wird. Dies kann die Vorhersage der Reaktion des Systems auf Veränderungen in seiner Umgebung oder auf Veränderungen seiner Eingaben beinhalten. In einigen Fällen kann das Verhalten des Systems mit Hilfe von mathematischen Gleichungen modelliert werden, so dass Wissenschaftler sein Verhalten in einer Vielzahl von Szenarien vorhersagen können. Durch sorgfältige Analyse und Beobachtung können Wissenschaftler das Verhalten eines physikalischen Systems verstehen und dieses Wissen nutzen, um Vorhersagen zu treffen und Modelle zu erstellen.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Daten über das physikalische System, mathematische Modelle, Gleichungen und Messungen, frühere Experimente und Ergebnisse, Simulationssoftware, Quellcode und Algorithmen, physikalische Gesetze und Prinzipien.	Simulationsmodelle, mathematische Gleichungen, Datensätze, Grafiken, Diagramme, Berichte, Präsentationen, Tabellen, Diagramme, Berechnungen.	Simulink, MATLAB, LabVIEW, COMSOL Multiphysics, ANSYS, NI Multisim, MapleSim, Wolfram SystemModeler, Adams, PSpice, Dymola, Modelica, Proteus, OpenModelica.
Schritt 2.5: Verwalten von Varianten und Produktstruktur			
Ziel	Das Ziel der Verwaltung von Varianten und der Produktstruktur ist es, sicherzustellen, dass die Produkte korrekt dargestellt und kategorisiert werden und dass die zugehörigen Informationen organisiert und aktuell sind. Dies trägt dazu bei, dass die Kunden die richtigen Produkte schnell und einfach finden können.		
Beschreibung	Die Verwaltung von Varianten und Produktstrukturen ist der Prozess der Organisation und Verwaltung des Designs und der Komponenten eines Produkts, um sicherzustellen, dass es die Bedürfnisse des Kunden erfüllt. Dazu		

	gehören die Erstellung einer leicht verständlichen Produkthierarchie, die Organisation von Produktfamilien und Produktvarianten sowie die Festlegung von Beziehungen zwischen Produktoptionen und Komponenten. Der erste Schritt bei der Verwaltung von Varianten und der Produktstruktur besteht darin, eine Produkthierarchie zu erstellen. Dabei handelt es sich um eine visuelle Darstellung der Produktkomponenten und der Beziehungen zwischen ihnen. Sie kann verwendet werden, um Produktoptionen leicht zu identifizieren und Beziehungen zwischen ihnen herzustellen. Sie ist auch nützlich, um die Produktoptionen zu verstehen, Kundenbestellungen anzupassen und Änderungen an der Produktgestaltung vorzunehmen. Der nächste Schritt ist die Organisation von Produktfamilien und Produktvarianten. Produktfamilien sind Gruppen von Produkten mit ähnlichen Merkmalen. Produktvarianten sind einzelne Produkte innerhalb einer Produktfamilie. Durch die Organisation von Produktfamilien und Produktvarianten lassen sich Abweichungen bei Kundenaufträgen und Produktmerkmalen leichter verwalten. Der letzte Schritt besteht darin, Beziehungen zwischen Produktoptionen und Komponenten herzustellen. Dies geschieht durch die Abbildung der Beziehungen zwischen den Produktoptionen und Komponenten. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Kundenaufträge korrekt erfüllt werden und das Produktdesign den Kundenanforderungen entspricht. Die Verwaltung von Varianten und der Produktstruktur ist wichtig, um Kundenzufriedenheit und Produktqualität zu gewährleisten. Durch die richtige Organisation und Verwaltung des Produktdesigns und der Komponenten ist es einfacher, die Bedürfnisse des Kunden zu verstehen und entsprechende Änderungen am Produktdesign vorzunehmen.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Dokumente, Daten, Modelle, Produktspezifikationen, technische Zeichnungen, technische Informationen, CAD-Dateien, Lieferanteninformationen, Herstellungsverfahren, Kosteninformationen, Lagerbestände, Kundenfeedback, Qualitätssicherungsberichte, Produktleistungsdaten, gesetzliche Anforderungen.	Produktspezifikationen, Stücklisten, technische Zeichnungen, CAD-Dateien, Arbeitsanweisungen für die Fertigung, Prozessabläufe, Kostenmodelle, Bestandsaufzeichnungen, Qualitätssicherungsprotokolle, Produktidentifizierungscodes, Montagezeitpläne, Prüfergebnisse, Produktkonformitätszertifikate.	Product Lifecycle Management (PLM), Enterprise Resource Planning (ERP), Computer-Aided Design (CAD), Variant Configuration (VC), Product Data Management (PDM), Bill of Materials (BOM), Manufacturing Resource Planning (MRP), Product Configurator.

Der dritte und letzte Schritt ist die Nutzung des digitalen Zwillings, welcher in vier Unterschritte unterteilt ist (siehe Bild 2-148). Die Nutzung des DZ ist anwendungsspezifisch und wurde im Rahmen des Projekts anhand von Unternehmensbeispielen umgesetzt. Der digitale Zwilling wird eingesetzt, um eine virtuelle Absicherung zu unterstützen, Smart Quality zu ermöglichen, Betriebsdaten für Smart Services zu erfassen und eine digitale Durchgängigkeit zu unterstützen.

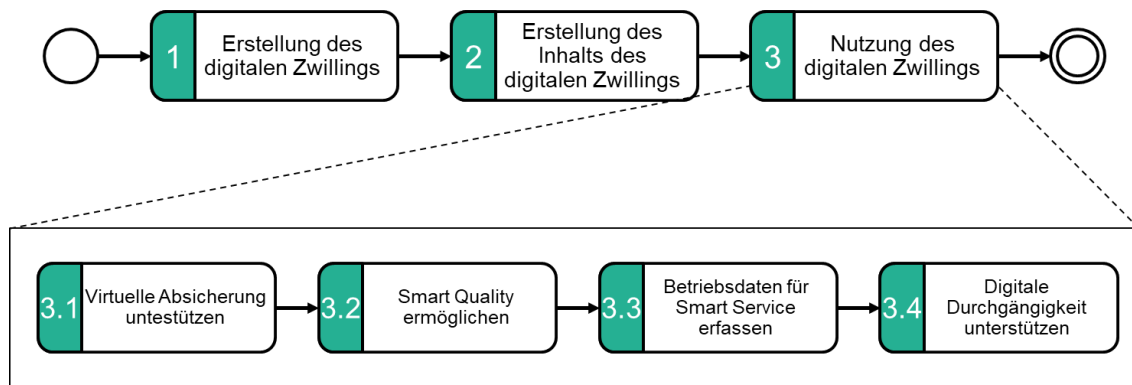


Bild 2-148: Schritt 3 - Aktivitäten für die Nutzung eines digitalen Zwillings

Tabelle 2-14: Detaillierte Beschreibung der Schritte für die Nutzung eines digitalen Zwillings

Schritt 3.1: Virtuelle Absicherung unterstützen			
Ziel	Die Unterstützung der virtuellen Absicherung durch DU zielt darauf ab, die Funktionalität, Zuverlässigkeit und Sicherheit eines Produkts oder einer Anlage durch Simulationen und virtuelle Tests zu gewährleisten.		
Beschreibung	Die virtuelle Absicherung mittels Digitaler Zwillinge ist ein zentrales Element der modernen Produktentwicklung und -wartung, das es Unternehmen ermöglicht, Produkte und Systeme bereits vor ihrer physischen Existenz umfassend zu testen und während ihrer gesamten Lebensdauer kontinuierlich zu überwachen und zu optimieren. Der Prozess beginnt mit der Erstellung eines detaillierten digitalen Modells des Produkts oder Systems, das CAD-Modelle, Materialeigenschaften, physikalische Parameter und Konstruktionsdaten umfasst. Echtzeitdaten und historische Daten von Sensoren im realen Produkt werden integriert, um den digitalen Zwillings mit aktuellen Informationen zu versorgen. Anschließend werden verschiedene Szenarien und Betriebsbedingungen simuliert, um die Funktionalität und Leistung des Produkts zu überprüfen. Dabei werden sowohl normale Betriebszustände als auch außergewöhnliche Bedingungen wie extreme Temperaturen, Lastspitzen oder Störungen getestet. Langzeittests prognostizieren die Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Produkts, indem sie simulieren, wie es auf Verschleiß, Ermüdung und andere Alterungsprozesse reagiert. Ein weiterer wichtiger Aspekt der virtuellen Absicherung ist die Sicherheitsanalyse. Potenzielle Sicherheitsrisiken werden analysiert, indem gefährliche Zustände und mögliche Fehlfunktionen simuliert werden. Basierend auf den Simulationsergebnissen werden Maßnahmen entwickelt, um die Sicherheit zu erhöhen und Risiken zu minimieren. Dies können Konstruktionsänderungen, zusätzliche Schutzmechanismen oder verbesserte Instandhaltungsstrategien sein. Die Simulationsergebnisse werden genutzt, um das Produktdesign zu optimieren. Die Änderungen werden im digitalen Modell umgesetzt und erneut getestet, bis die gewünschten Leistungs- und Sicherheitsziele erreicht sind. Dabei wird auch nach Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz, zur Verringerung des Materialverbrauchs und zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit gesucht.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Konstruktionsdaten, Materialdaten, Sensor- und Betriebsdaten, Umge-	Simulationsergebnisse, Fehlerprognosen, Optimierungsvorschläge,	Ansys, Siemens, Dassault Systèmes, PTC, Autodesk ISO10303, ISO26262

	bungsbedingungen, Nutzerverhalten, Softwaremodelle	Anomalie-Erkennung, Betriebsempfehlungen	
Schritt 3.2: Smart Quality ermöglichen			
Ziel	Ziel der Aktivität ist die kontinuierliche Überwachung und Verbesserung der Produkt- und Prozessqualität. Dies wird durch die Echtzeitanalyse von Betriebsdaten erreicht, um potenzielle Qualitätsprobleme frühzeitig zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. Smart Quality zielt darauf ab, die Produktleistung zu optimieren, Fehler und Abweichungen zu minimieren und die Kundenzufriedenheit zu erhöhen.		
Beschreibung	Vorrangiges Ziel ist es, die Qualität der Produkte und Prozesse kontinuierlich zu überwachen und zu verbessern. Dazu werden Betriebsdaten in Echtzeit analysiert, um potenzielle Qualitätsprobleme frühzeitig zu erkennen und entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Smart Quality zielt darauf ab, die Produktleistung zu optimieren, Fehler und Abweichungen zu minimieren und die Kundenzufriedenheit zu erhöhen. Der digitale Zwilling sammelt kontinuierlich Daten aus verschiedenen Quellen, darunter Sensoren, Produktionssysteme und Benutzerfeedback. Diese Daten umfassen Echtzeitinformationen über den aktuellen Zustand und die Leistung des Produkts, historische Betriebs- und Leistungsdaten, Produktionsbedingungen sowie Ergebnisse von Qualitätskontrollen und Tests. Zusätzlich werden die Umgebungsbedingungen, unter denen das Produkt betrieben wird, berücksichtigt. Diese umfassende Datensammlung ermöglicht eine detaillierte und präzise Analyse. Durch die kontinuierliche Auswertung der gesammelten Daten überwacht der digitale Zwilling in Echtzeit den aktuellen Qualitätszustand des Produkts. Abweichungen von definierten Qualitätsstandards und -parametern werden sofort erkannt. Mit Hilfe von Algorithmen und maschinellem Lernen erkennt der digitale Zwilling ungewöhnliche Muster und Anomalien, die auf potenzielle Qualitätsprobleme hinweisen können. Prognosen über zukünftige Fehler werden erstellt, um proaktive Maßnahmen zu ermöglichen.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Sensor- und Betriebsdaten, Historische Daten, Produktionsdaten, Qualitätsdaten, Nutzerfeedback, Umgebungsbedingungen	Qualitätsberichte, Echtzeit-Benachrichtigung, Fehlerprognosen, Optimierungsvorschläge, Korrekturmaßnahmen, Berichte über Kundenzufriedenheit	Siemens, IBM, PTC, Dassault Systèmes, Microsoft Azure, Amazon Web Services IoT ISO9001, ISO13485
Schritt 3.3: Betriebsdaten für Smart Service erfassen			
Ziel	Ziel ist es, Betriebsdaten in Echtzeit zu erfassen und zu analysieren, um intelligente Dienstleistungen anzubieten. Diese Dienste können Wartungsvorhersagen, Betriebsoptimierung, Zustandsüberwachung und andere datengestützte Dienste umfassen. Durch die kontinuierliche Erfassung und Analyse dieser Daten können Unternehmen die Effizienz und Zuverlässigkeit ihrer Produkte und Systeme verbessern, die Lebensdauer verlängern und die Betriebskosten senken.		
Beschreibung	Die Aktivität beginnt mit der Installation und Konfiguration von Sensoren und Kommunikationsmodulen an den jeweiligen Produkten oder Systemen.		

	Diese Sensoren sammeln kontinuierlich Daten über verschiedene Betriebsparameter und senden diese Daten über ein Netzwerk an eine zentrale Plattform zur Verarbeitung und Analyse. Auf der zentralen Plattform werden die gesammelten Daten in Echtzeit überwacht und analysiert. Dabei kommen fortschrittliche Analysealgorithmen und maschinelles Lernen zum Einsatz, um Muster und Trends in den Daten zu erkennen. Diese Analysen ermöglichen die Erstellung von Echtzeit-Überwachungsberichten, die den aktuellen Zustand und die Leistung der Produkte darstellen. Die Erfassung und Analyse von Betriebsdaten ermöglicht auch die Identifizierung von Fehlern und Anomalien. Durch die frühzeitige Erkennung von Abweichungen können potenzielle Probleme schnell behoben werden, bevor sie zu größeren Störungen führen. Die daraus resultierenden Berichte über die Nutzung und Leistung der Produkte geben wertvolle Einblicke in die tatsächliche Nutzung und helfen, die Smart Services kontinuierlich zu verbessern.		
	Inputs	Outputs	Referenzen
	Sensor- und Betriebsdaten, Netzwerk- und Kommunikationsdaten, Umgebungsdaten, Nutzungs- und Bedienungsdaten, Wartungs- und Inspektionsdaten	Echtzeit-Überwachungsberichte, Wartungsvorhersagen, Betriebsoptimierungen, Fehler- und Anomalieerkennung, Berichte über Nutzung und Leistung, Kundenspezifische Serviceangebote	Siemens, PTC, Microsoft Azure Amazon Webservice IoT, MQTT, OPC UA
Schritt 3.4: Digitale Durchgängigkeit unterstützen			
Ziel	Ziel ist die nahtlose Integration und Kontinuität von Daten, Informationen und Prozessen über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder Systems.		
Beschreibung	Die Aktivität beginnt mit der Sammlung und Integration von Daten aus den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus. In der Entwicklungs- und Konstruktionsphase werden technische Daten und CAD-Modelle erstellt, die die Grundlage für die nachfolgenden Phasen bilden. Diese Daten werden in einer zentralen Datenplattform gespeichert, die als Single Source of Truth dient. In der Produktionsphase werden Daten über Fertigungsprozesse, verwendete Materialien und Produktionsparameter hinzugefügt. Diese Daten helfen, die Herstellung des Produkts zu dokumentieren und ermöglichen eine genaue Rückverfolgbarkeit der Produktionsschritte. In der Nutzungsphase sammeln Sensoren Echtzeitdaten über Leistung, Zustand und Umwelteinflüsse des Produkts. Diese Daten werden kontinuierlich an die zentrale Datenplattform übermittelt und stehen für Analysen und Entscheidungen zur Verfügung. Wartungs- und Reparaturdaten ergänzen diese Informationen und geben Einblick in die Historie und den aktuellen Zustand des Produkts. Nutzungs- und Betriebsdaten geben Aufschluss darüber, wie das Produkt tatsächlich genutzt wird. Diese Informationen sind wertvoll für die Produktentwicklung und die Optimierung zukünftiger Produktgenerationen. Eine wichtige Komponente der digitalen Durchgängigkeit ist die IT-Infrastruktur und die Kommunikationsprotokolle, die die Integration und den Austausch von Daten zwischen den verschiedenen Systemen und Phasen ermöglichen. Dabei spielen Standards wie OPC UA, MQTT und Industrie 4.0-kompatible Protokolle eine wichtige Rolle.		
	Inputs	Outputs	Referenzen

	Produktdaten, CAD-Modelle, Produktionsdaten, Sensor- und Betriebsdaten, Wartungs- und Reparaturdaten, Nutzungs- und Bediengungsdaten, IT-Infrastruktur	Kontinuierlicher Datenfluss, Transparenz, Rückverfolgbarkeit, Optimierungen, Verbesserte Entscheidungsfindung	PLM-Systeme (Siemens, Dassault Systèmes, PTC) IoT-Plattformen (Siemens, Microsoft Azure), ERP-Systeme (SAP, Oracle)

Der Leitfaden wurde in einem interaktiven Tool umgesetzt, wodurch Unternehmen, spezifisch für die Branche und den Anwendungsfall bei der Erstellung von digitalen Zwillingen durch einen maßgeschneiderten Prozess unterstützt werden. Neben den einzelnen Prozessschritten bietet der Leitfaden durch das interaktive Design der App eine einfache und grafische Unterstützung für die Umsetzung von digitalen Zwillingen.

Weitere Informationen	Link: Digital Twin Framework Website: https://www.digital-twin-framework.com/definition.php

2.28.3. Diskussion und Ausblick

Die Einführung digitaler Zwillinge in der Industrie bietet erhebliche Vorteile in Bezug auf Effizienz, Produktqualität und Wartung. Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Abbild eines physischen Objekts oder Systems, das Daten in Echtzeit sammelt und analysiert. Die Erstellung und Implementierung eines digitalen Zwillings erfordert jedoch eine sorgfältige Planung und einen strukturierten Ansatz. Ein Leitfaden für die Entwicklung digitaler Zwillinge kann Unternehmen dabei helfen, diese Technologie effektiv zu nutzen. Ziel eines solchen Leitfadens ist es, Unternehmen dabei zu unterstützen, die Grundlagen und Vorteile von digitalen Zwillingen zu verstehen, einen strukturierten Ansatz für deren Entwicklung und Implementierung zu entwickeln sowie die notwendigen technischen und organisatorischen Voraussetzungen zu identifizieren und umzusetzen. Darüber hinaus soll der Leitfaden Best Practices und Standards berücksichtigen, um die Effizienz und Qualität der digitalen Zwillinge zu maximieren.

Darüber hinaus soll untersucht werden, inwieweit der Leitfaden in den einzelnen Branchen eingesetzt werden kann und einen erfolgreichen Einsatz von digitalen Zwillingen ermöglicht. Darüber hinaus ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis von digitalen Zwillingen für die Industrie schwer zu kalkulieren, insbesondere zu Beginn der Entwicklung von digitalen Zwillingen. Dieser Aspekt wird im Leitfaden nicht behandelt und bedarf weiterer Untersuchungen.

Literaturverzeichnis

- [RGB+21] Rasor, R.; Göllner, D.; Bernijazov, R.; Kaiser, L.; Dumitrescu, R.: Towards collaborative life cycle specification of digital twins in manufacturing value chains, 2021.

2.29. Prozessmodell zur Definition von Inkrementumfängen

2.29.1. Einleitung

2.29.1.1. Zielsetzung

Die agile Entwicklung hat sich auch im Kontext der Mechatroniksystementwicklung immer weiter etabliert, nachdem sie sich besonders seit der Veröffentlichung des agilen Manifests im Jahr 2001 in der Softwareentwicklung als vorherrschende Denk- und Handlungsweise etabliert hatte. Wie aus den Daten der Erhebung aus AP1 abgeleitet werden kann, ist eines der verbreitetsten Frameworks Scrum. Dabei wird iterativ in kurzzyklischen Sprints basierend auf einer gemeinsamen Liste an Aufgaben, dem sogenannten Backlog ein Produkt inkrementell entwickelt. Dazu werden alle zu erfüllenden Anforderungen als Aufgaben beschrieben und im Product Backlog gesammelt. Vor jedem neuen Sprint entscheidet dann das Team zusammen mit dem Product Owner, welcher für die Pflege des Backlogs verantwortlich ist, welche Aufgaben im nächsten Sprint abgearbeitet werden sollen. Je besser die ausgewählten Aufgaben zur theoretischen Kapazität des Teams passen, desto effizienter kann im Sprint entwickelt werden. Dabei beruht die Auswahl der Aufgaben aber fast ausschließlich auf der Erfahrung des Product Owners. Der hier erarbeitete Prozess soll den Anwender dabei unterstützen, die passenden Inkrementumfänge basierend auf Daten zu identifizieren und festzulegen. So kann der Umfang der Inkremente passgenauer festgelegt werden und so die Entwicklungseffizienz gesteigert werden.

2.29.1.2. Einordnung in MoSyS

Zur Erstellung des Prozesses wurde der Status Quo Agilität, der in AP1 erfasst wurde zugrunde gelegt (siehe Bild 2-149). So konnten die dominierenden Randbedingungen und Herausforderungen identifiziert und so Anforderungen an den zu erstellenden Prozess abgeleitet werden. Zusätzlich konnte auf methodische Elemente zurückgegriffen werden, die in AP4 erstellt wurden. Hier wurde eine Systematik entwickelt, mit deren Hilfe sich der Umfang einzelner Backlog-Items quantifizieren lässt.

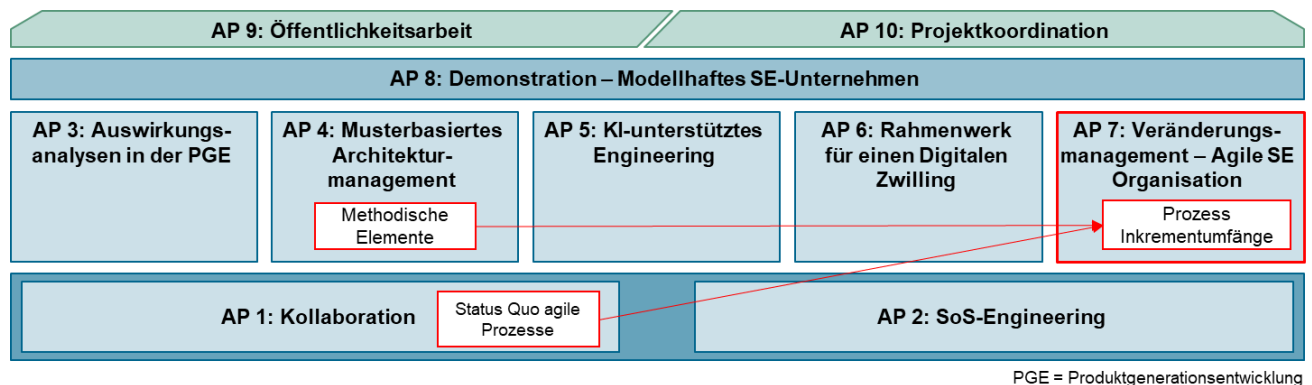


Bild 2-149: Einordnung des Wissensnuggets 2.29 in das MoSyS Projekt

2.29.1.3. Vorgehen

Im ersten Schritt wurde der Status Quo in der Planung von Inkrementumfängen erarbeitet. Hierzu wurden die Ergebnisse aus der in AP1 durchgeführten Erhebung genutzt sowie ein Workshop im Rahmen des AP7 Regeltermins mit den beteiligten Partnern durchgeführt. Der Fokus wurde anschließend auf das Unternehmen Trumpf gelegt, bei welchem der Prozess initial erarbeitet und angewendet werden sollte. Dazu wurde der bestehende Trumpf-interne Prozess abgebildet und mögliche Schnittstellen identifiziert. Im Anschluss wurde basierend auf Anforderungen, dem bestehenden Prozess und den Randbedingungen der erweiterte Prozess zur Definition von Inkrementumfängen definiert. Dieser wurde anschließend bei Trumpf angewendet, validiert und entsprechend weiterentwickelt.

2.29.2. Hauptteil

2.29.2.1. Definitionen

Die Entwicklung erfolgt schrittweise und iterativ.

Die Entwicklung basiert auf einem langfristigen Plan (Backlog), der alle Ansprüche der Stakeholder sowie festgelegte Anforderungen an das Produkt enthält. Zusätzlich gibt es einen kurzfristigen Plan (Sprint Backlog), welcher einen Teil der Aufgaben und Anforderungen auf dem Backlog beinhaltet.

In jeder neuen Iteration (Sprint) wird der Sprint Backlog innerhalb einer gewissen Zeit abgearbeitet. Eine solche Iteration dauert in der Regel zwei bis vier Wochen. Am Ende eines Sprints ist ein Teil des finalen Produkts entwickelt, das sogenannte Inkrement. Sind alle Inkremente entwickelt, ist damit auch das Endprodukt entwickelt.

Das fertige Inkrement wird anschließend einer umfassenden Validierung unterzogen, um einen Abgleich zwischen Soll-Zustand und Ist-Zustand zu erreichen. Damit können mögliche Probleme identifiziert werden.

Durch die kontinuierliche Generierung von Wissen aus der Validierung erfolgt eine fortlaufende Anpassung des Backlogs. Dies ermöglicht eine schnelle Integration von geänderten Anforderungen in die Entwicklung und verhindert, dass am Ende ein Produkt entsteht, welches nicht den Anforderungen entspricht.

„Gemäß dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS kann die Entwicklung jedes neuen Systems als Produktgenerationsentwicklung verstanden werden [...]. Das Modell der PGE beschreibt die Entwicklung neuer Systeme durch zwei grundlegende Hypothesen: Jede Entwicklung eines neuen Systems basiert auf einem Referenzsystem: „Das Referenzsystem für die Entwicklung einer neuen Produktgeneration ist ein System, dessen Elemente bereits existierenden oder bereits geplanten sozio-technischen Systemen und der zugehörigen Dokumentation entstammen und Grundlage und Ausgangspunkt der Entwicklung der neuen Produktgeneration sind.“ Die Teilsysteme des neuen Systems werden, ausgehend von den Teilsystemen des Referenzsystems, im Einzelnen jeweils durch eine und zusammen durch eine Kombination aus drei Variationsarten entwickelt: Übernahme-, Ausprägungs- und Prinzipvariation. Bei mechatronischen Systemen wird die Ausprägungsvariation auch als Gestaltvariation bezeichnet“ [AER+20].

2.29.2.2. Ergebnisse

Das Ergebnis besteht aus einem generischen Prozessmodell zur Definition von Inkrementumfängen (siehe Bild 2-150). Dabei wird der Anwendende durch Leitfragen und unterstützende Frameworks dabei unterstützt, einzuschätzen welchen Umfang einzelne Backlog Items haben und wie stark diese mit weiteren Items verknüpft sind.

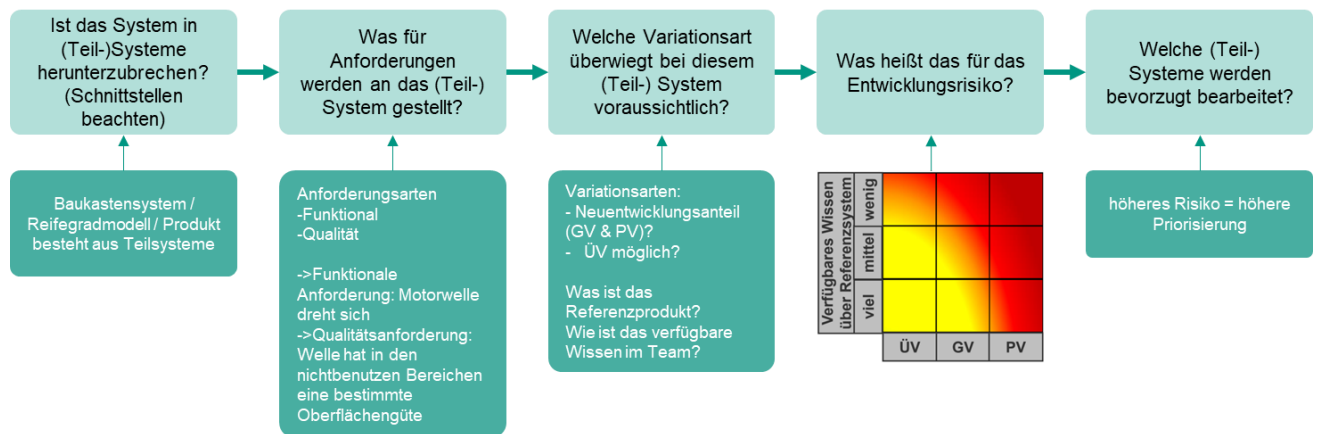


Bild 2-150: Generischer Prozess zur Definition von Inkrementumfängen

Im ersten Schritt wird das entwickelnde System auf so viele Subsysteme wie möglich heruntergebrochen werden, so kann sichergestellt werden, dass sich die Abhängigkeit zwischen den zu entwickelnden (Teil-)Systemen möglichst auf die Schnittstellen beziehen. So können zu starke Abhängigkeiten vermieden werden.

Anschließend muss betrachtet werden welche Anforderungen an das (Teil-)System gestellt werden und aus welcher Quelle diese Anforderungen stammen. So kann eingeschätzt werden, welche Anforderungen die höchste Priorität besitzen und welche (Teil-)System priorisiert werden müssen.

Im nächsten Schritt geht es darum die technische Umsetzung abzuschätzen. Hierbei wird betrachtet, wie hoch der Anteil der zuvor beschriebenen Variationsarten ausfällt. Je größer der Anteil an Gestalt- und Prinzipvariation, desto höher das technische Risiko bei der Umsetzung. Unterstützt wird der Anwender dabei durch das PGE-Risikoportfolio. Hier wird zusätzlich zur Art der Variation betrachtet, wie groß das Verfügbare Wissen zu den betreffenden Referenzsystemelementen ist. So kann das Risiko über eine Einordnung in die entsprechende Matrix abgeschätzt werden. Je höher das Risiko, desto unsicherer ist der Umfang der zu leistenden Entwicklungsarbeit. Bei diesen Items muss also ein entsprechender Puffer in der Abschätzung eingeplant werden. Zusätzlich sollten (Teil-)System mit einem höheren Risiko früher in der Entwicklung fokussiert werden, um die Anzahl möglicher Validierungszyklen zu maximieren.

Durch diese Abfolge von Prozessschritten gekoppelt mit den entsprechenden Leitfragen kann besser eingeschätzt werden, welche Items priorisiert und mit welchem zeitlichen Puffer eingeplant werden sollten. So wird der Inkrementumfang sicherer abgeschätzt und die Entwicklung stabiler und damit effizienter und effektiver.

2.29.3. Diskussion und Ausblick

Der Prozess wurde vor allem gemeinsam mit dem Unternehmen Trumpf entwickelt und umgesetzt, welches bereits starke Grundlagen und Fähigkeiten im Bereich des agilen Entwickelns über die letzten Jahre gesammelt hat. Es wäre daher notwendig den Prozess auch bei Unternehmen mit weniger Vorkenntnisse anzuwenden und zu validieren.

Literaturverzeichnis

- [AER+20] Albers, Albert; Ebertz, Jona; Rapp, Simon; Heimicke, Jonas; Kürten, Claas; Zimmermann, Valentin et al. (2020): Produktgeneration 1 im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung. Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung. Karlsruhe (KIT Scientific Working Papers, 149).

2.30. Methodendatenbank zu Methoden des agilen Systems Engineerings

2.30.1. Einleitung

2.30.1.1. Zielsetzung

Ziel der Methodendatenbank ist es, Methoden des agilen Systems Engineerings in einer einheitlichen Darstellung aufzubereiten und zu Sammeln. So kann eine Übersicht über die bestehenden und neuen Methoden geschaffen werden, die die Unternehmen bei ihrem individuellen Veränderungsprozess hin zur agilen Systems Engineering Organisation unterstützen können. Durch die einheitliche Aufbereitung wird eine Vergleichbarkeit der Methoden ermöglicht. Die Methodendatenbank ist ein elementarer Bestandteil des Leitfadens, über welchen auf die Methoden zugegriffen werden kann.

2.30.1.2. Einordnung in MoSyS

In der Methodendatenbank werden Methoden aus möglichst vielen unterschiedlichen Quellen gesammelt (siehe Bild 2-151). So wurden auch die in AP2, AP3, AP4, AP5 und AP6 erarbeiteten Methoden in das Entwickelte Template überführt und so in aufbereiteter Form dem Nutzenden zur Verfügung gestellt. Zusätzlich haben die Beteiligten Partnerunternehmen aus AP7, nämlich Philips, Trumpf, Kostal und Harting Methoden aus ihrem Unternehmen für die Datenbank aufbereitet und bereitgestellt.

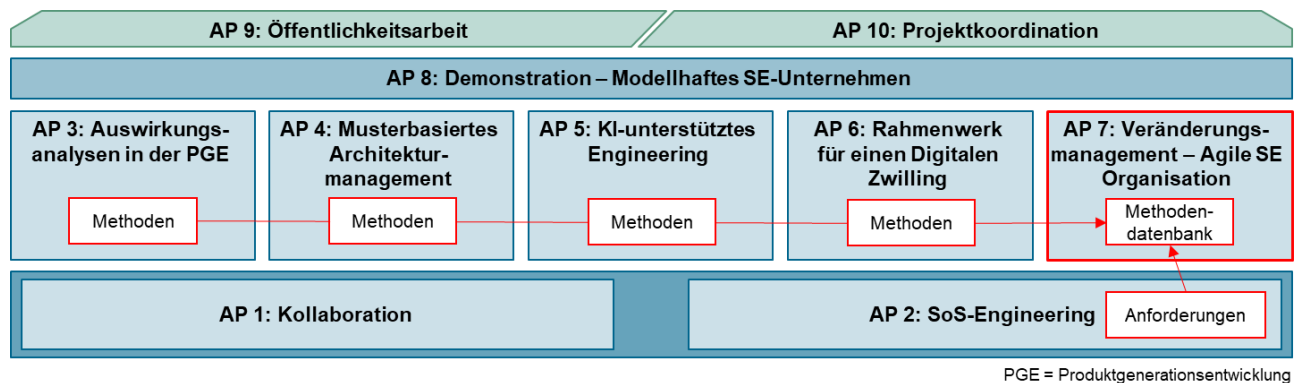


Bild 2-151: Einordnung des Wissensnuggets 2.30 in das MoSyS Projekt

Darüber hinaus wurden aus dem AdWiSE-Konsortium Methoden aus anderen Verbundprojekten für die MoSyS-Datenbank übernommen. Ein enger Austausch fand hier mit RePASE und AMeLie statt.

2.30.1.3. Vorgehen

Grundlage der Methodendatenbank ist der Methodensteckbrief, der es ermöglicht die Methoden einheitlich und vergleichbar darzustellen. Dieser wurde im ersten Schritt gemeinsam mit den Partnern basierend auf den gesammelten Anforderungen aus AP2 und AP7 und Referenzen erstellt. Dabei konnte auf bestehende Forschung am IPEK zurückgegriffen werden. Im Rahmen des öffentlich geförderten Projekts IN² wurde ein vereinfachter Methodensteckbrief erstellt [ARB+15]. Im nächsten Schritt wurden entsprechend Methoden identifiziert und gesammelt, die im Kontext des Advanced Systems Engineering die Weiterentwicklung von Unternehmen unterstützen kann. Wie in 1.2 beschrieben wurde dabei auf Partner innerhalb des APs, des Verbundprojekts und der Begleitforschung zurückgegriffen die selbstständig den Methodensteckbrief ausfüllen könnten. Dazu wurde ein Template erstellt, welches den Anwendenden beim Eintragen der Methode in den Steckbrief unterstützt (Siehe Bild 2-152 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Nach einer Review-Schleife durch die AP7 Leitung wurden die Methoden anschließend in die finale Datenbank überführt. Diese wurde dabei über die gesamte Projektlaufzeit kontinuierlich vergrößert.

2.30.2. Hauptteil

2.30.2.1. Definitionen

Zum Verständnis der Methodendatenbank ist es wichtig zu verstehen, was eine Methode ist. Für AP7 wurde dabei folgende Definition als Grundlage genutzt:

„Methoden beschreiben ein zielgerichtetes Vorgehen. Sie haben einen deskriptiven Charakter und bilden das verallgemeinerte Wissen zu bestimmten Anwendungsfällen ab. Sie sollen dem Anwender als Hilfestellung zur Erreichung eines Ziels dienen. Der Ausgang der Anwendung einer Methode ist offen. [Oer09]“

2.30.2.2. Ergebnisse

Zentrales Ergebnis ist die Methodendatenbank: Eine Sammlung aus in einem einheitlichen Steckbrief aufbereiteten Methoden (Die ausgefüllten Methodensteckbriefe lassen sich im AP7 Leitfaden <https://bmbfmosys.ipek.kit.edu/allMethods> und in der MoSyS-Wiki sichten). Dabei beinhaltet der Methodensteckbrief folgende Inhalte (siehe Bild 2-152 bis Bild 2-158) [AIM+23]:

Methodenübersicht: Diese Übersicht zeigt den einmaligen und kontinuierlichen Zeitaufwand, die benötigten Personen, Werkzeuge und Tools sowie entscheidende Voraussetzungen für die Durchführung der Methode. Eine Kurzbeschreibung des Nutzens und der Umsetzung der Methode, sowie mögliche KPIs und Verbesserungspotenziale

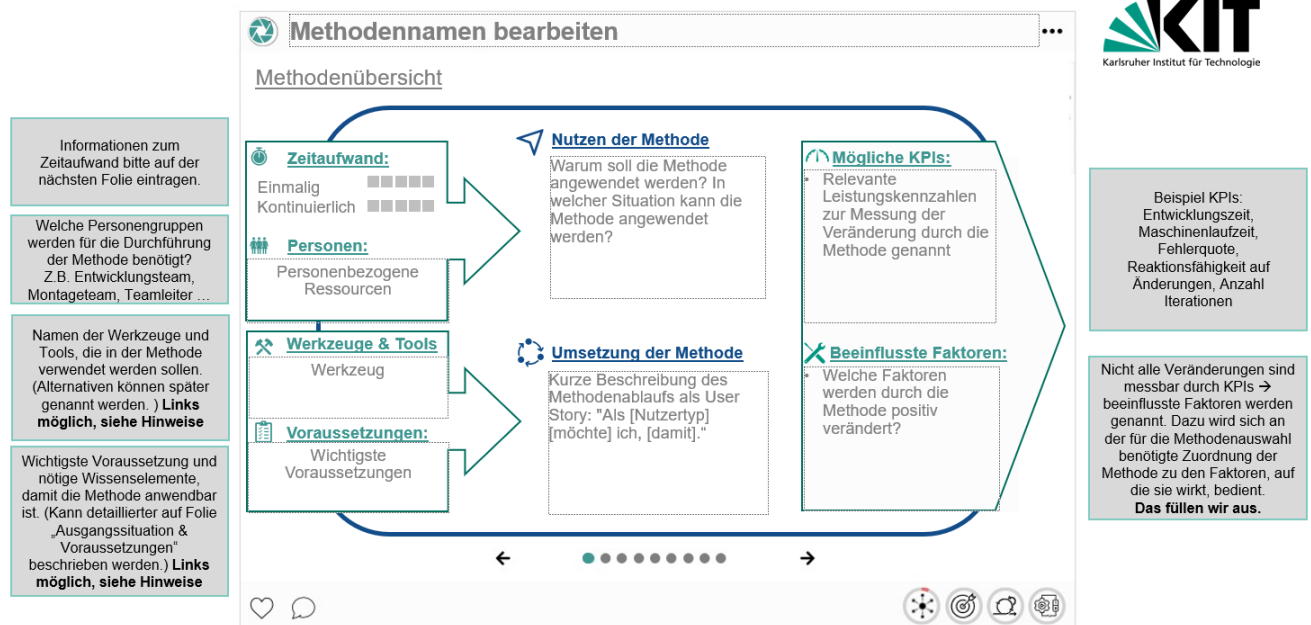


Bild 2-152: Übersichtsseite Methodensteckbrief

Ausgangssituation: Wie kann/muss die aktuell vorliegende Situation aussehen, um die Methode Sinnvoll einsetzen zu können.

Hier bitte möglichst detailliert darauf eingehen, in welcher Ausgangssituation (Problem) man sich befindet, damit die Anwendung der Methode sinnvoll ist.

Voraussetzungen und Rahmenbedingungen, die gegeben sein müssen, beschreiben.

Falls die Methode nur in bestimmten Situationen, Projektphasen oder bei Prototypen/Produkten anwendbar ist bitte nennen. Links möglich, siehe Hinweise

Methodennamen bearbeiten

Ausgangssituation & Voraussetzungen

Ausgangssituation, Voraussetzungen, geeignete Situation und Prototyp typ beschreiben.

[Bildbeschreibung hinzufügen]

← →

♡ 💬

🔍 🎯 🔄 🛠️

Liste mit bis zu 2 Unterlisten möglich

Gerne ein Bild oder eine Grafik einfügen, die das Problem in der Ausgangssituation adressiert. (Grafik bitte in maximaler Auflösung einfügen)

Bild 2-153: Ausgangssituation

Prozessverbesserung: Wie kann die Prozessverbesserung durch die Methode konkret aussehen. Diese ist als User Story formuliert.

Methodennamen bearbeiten

Prozessverbesserung

User-Story Prozessverbesserung:

Prozessverbesserung in Form einer User Story beschreiben.
"Als [Nutzertyp] möchte ich/wir [Funktionalität], damit [Zweck]."

Relevante Themenfelder:

Themen-/Handlungsfelder hinzufügen

Verantwortlichkeiten:

Benötigte Verantwortlichkeiten hinzufügen

Optimierungsgrößen:

Optimierungsgrößen hinzufügen

Ablauf & Nutzen:

- Bullet Points zum Lösungsansatz – noch kein Vorgehen- → Grobe Übersicht über den Ablauf und den Nutzen der Aktivitäten.

← →

♡ 💬

🔍 🎯 🔄 🛠️

In welchen Themen- oder Handlungsfeldern wirkt die Methode?

Welche Verantwortlichkeiten, Rollen, Kompetenzen werden für die Methode gebraucht?

Welche Parameter des Themenfeldes werden durch die Prozessveränderung zentral verbessert?

Liste mit bis zu 2 Unterlisten möglich

Bild 2-154: Prozessverbesserung

Einführung der Methode: Welche Schritte sind notwendig um die Methode nachhaltig, d.h. mit langfristiger Etablierung und Erfolg zu implementieren.



Bild 2-155: Einführung der Methode

Durchführung der Methode: Welche Aktivitäten sind bei der Durchführung der Methode zu nutzen.

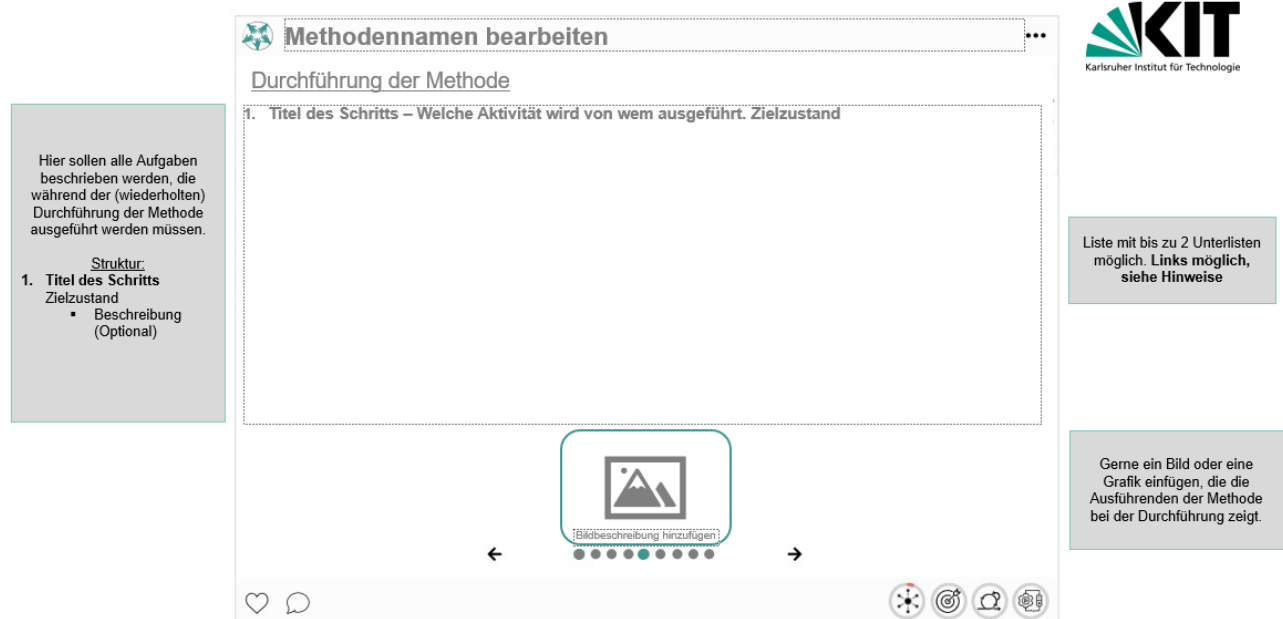


Bild 2-156: Durchführung der Methode

2.30.3. Diskussion und Ausblick

Im aktuellen Stand enthält die Methodendatenbank vor allem Methoden mit dem Ziel eine Organisation weiterzuentwickeln, der Fokus liegt also auf der Ebene der Weiterentwicklung des Entwicklungsprozesses in seiner Gesamtheit. In weiteren Aktivitäten können Methoden mit Fokus auf Unterstützung konkreter Aktivitäten im Produktentwicklungsprozess in die Methodendatenbank integriert werden. Das hinzufügen von zusätzlichen Methoden muss allerdings mit einem Reviewprozess verbunden bleiben, um sicherzustellen, dass die Qualität der Methoden gleichbleibend hoch ist. Nur so kann sichergestellt werden, dass der Leitfaden die nötige Akzeptanz in der Anwendung im Industrie-kontext erhält.

Literaturverzeichnis

- [ARB+15] Albers, Albert; Reiß, Nicolas; Bursac, Nikola; Walter, Benjamin; Gladysz, Bartosz (2015): InnoFox. Situations-spezifische Methodenempfehlung im Produktentstehungsprozess. In: Beiträge zum 3. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP). Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP). Stuttgart, 19. Juni 2015. Fraunhofer IAO.
- [AIM+23] Ammersdörfer, Theresa; Inkermann, David; Müller, Johannes; Mandel, Constantin; Albers, Albert; Teka, Julian et al. (2023): SUPPORTING SYSTEMS ENGINEERING ACTIVITIES BY ARTIFACT-ORIENTED DESCRIPTION AND SELECTION OF METHODS. In: Proc. Des. Soc. 3, S. 3245–3254. DOI: 10.1017/pds.2023.325.
- [Oer09] Oerding, Jochen (2009): Ein Beitrag zum Modellverständnis der Produktentstehung – Strukturierung von Ziel-systemen mittels C&CM. Dissertation. In: Albert Albers (Hg.): Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. ISSN: 1615-8113, Bd. 37. Karlsruhe.

2.31. Synergien und Potenziale von agilem Systems Engineering Einleitung

2.31.1.1. Zielsetzung

Ziel dieses Ergebnisses ist es aufzuzeigen, welcher Mechanismus aus Agilität und Systems Engineering zu einem Konflikt/einer Synergie führt, um potenzielle Probleme zu erkennen und einen Anreiz zu bieten diese zu lösen. Dazu werden insgesamt 228 Faktoren in den Clustern Unternehmen, Leitung, Projekt und Individuum betrachtet, um die Möglichen Konflikte und Synergien zu identifizieren und mögliche Potenziale für das agile SoS-Engineering abzuleiten.

2.31.1.2. Einordnung in MoSyS

Um die Synergien und Konflikte zu identifizieren, wurden die zuvor gewählten 228 Faktoren jeweils in der Dimension Agilität und Systems Engineering ausgeprägt. Dazu wurden die Ergebnisse aus den jeweiligen Arbeitspaketen AP1 und AP2 zugrunde gelegt, um die Ausprägungen zu benennen (siehe Bild 2-159). Anschließend wurden die Erkenntnisse über möglichen Synergien und Konflikte und die daraus entstehenden Potenziale genutzt um mithilfe des AP7 Leitfadens Unternehmen basierend auf ihren Anwendungsfällen und Randbedingungen besonders im Bezug auf ihre bestehenden Fähigkeiten im Agilen Arbeiten und der Verankerung des Systems Engineering in den Prozessen die passenden Lösungsbausteine vorschlagen zu können.

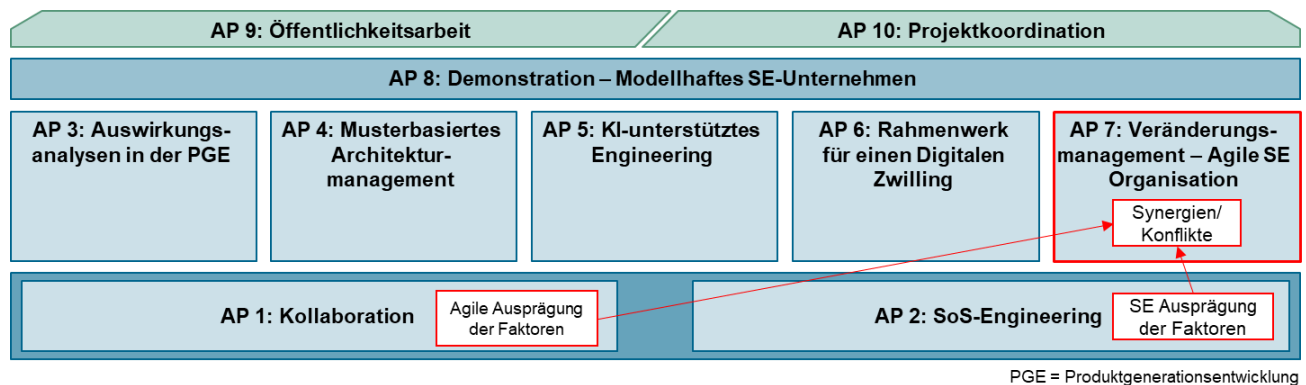


Bild 2-159: Einordnung des Wissensnuggets 2.31 in das MoSyS Projekt

2.31.1.3. Vorgehen

Im ersten Schritt wurden wie beschrieben 228 Faktoren in den Dimensionen Agilität und Systems Engineering ausgeprägt. Über die Ausprägung konnte im Anschluss identifiziert werden, ob eine Synergie, ein Konflikt oder keine Wechselwirkung besteht (siehe Bild 2-160).

	<u>Agilität</u>			<u>Systems Engineering</u>		
	Förderlich	Neutral	Hinderlich	Förderlich	Neutral	Hinderlich
Länge der Entscheidungswege	klar & kurz	transparent	unklar, lang, träge und zeitintensiv	klar & kurz	transparent	unklar, lang, träge und zeitintensiv
Häufigkeit von Planungstreffen	regelmäßig; eher selten	unflexible Termine	zu oft	häufig	mittel	selten

Bild 2-160: Ausprägung der Faktoren

2.31.2. Hauptteil

2.31.2.1. Definitionen

Bei diesem Ergebnis werden zwei Arten der Wechselwirkung fokussiert betrachtet:

Ein Konflikt herrscht, wenn zwei Parteien gegensätzliche Interessen verfolgen, die miteinander unvereinbar sind oder scheinen und diese Konfliktparteien aufeinandertreffen.

Synergien beschreiben das Zusammenwirken verschiedener Parteien zu einer Gesamtleistung, welche höher zu bewerten ist als die Summe der Einzelleistungen. Es entsteht ein gemeinsamer Nutzen für die beteiligten Parteien.

2.31.2.2. Ergebnisse

Zu Beginn wird ein gemeinsames Verständnis von Wechselwirkungen im Allgemeinen, besonders aber Konflikte und Synergien innerhalb des APs gebildet. Dabei können die in Bild 2-161 dargestellten Wechselwirkungen über verallgemeinerte Charakteristika vermittelt werden:

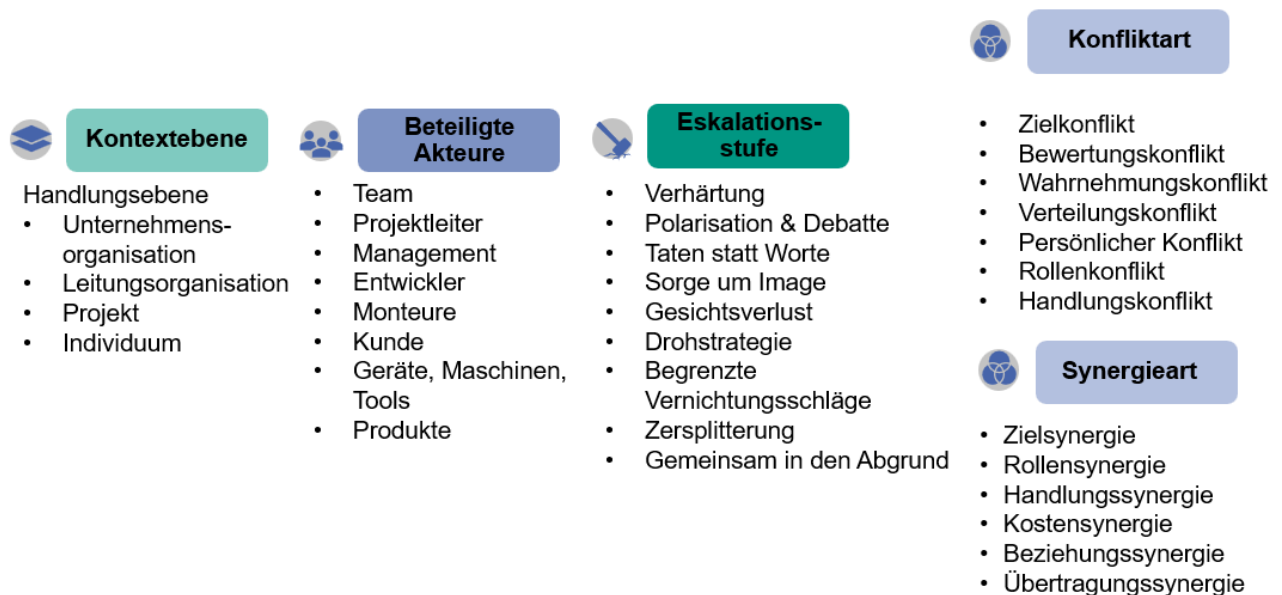


Bild 2-161: Charakteristika zur Vermittlung von Wechselwirkungen

Anschließend wurde ein Steckbrief erstellt, mit dessen Hilfe die Wechselwirkungen beschrieben werden können. Dabei existieren zwei verschiedene Steckbriefe, jeweils für eine Synergie und einen Konflikt (siehe Bild 2-162 und Bild 2-163). So werden die durch die Ausprägung der Faktoren identifizierten Konflikte und Synergien einheitlich aufgearbeitet und mögliche Lösungsansätze für die Konflikte, sowie zur Nutzung der Synergie abgeleitet. So kann dieses Ergebnis dabei helfen, den größtmöglichen Nutzen aus der Kombination aus Agilität und Systems Engineering zu ziehen.

Beispielhaft für einen Konflikt ist im Folgenden der Faktor Dokumentation dargestellt. Im agilen Kontext wird das nutzbare Produkt immer über Dokumentation priorisiert, das Systems Engineering hingegen lebt besonders beim Model Based Systems Engineering von einer ausführlichen Dokumentation.

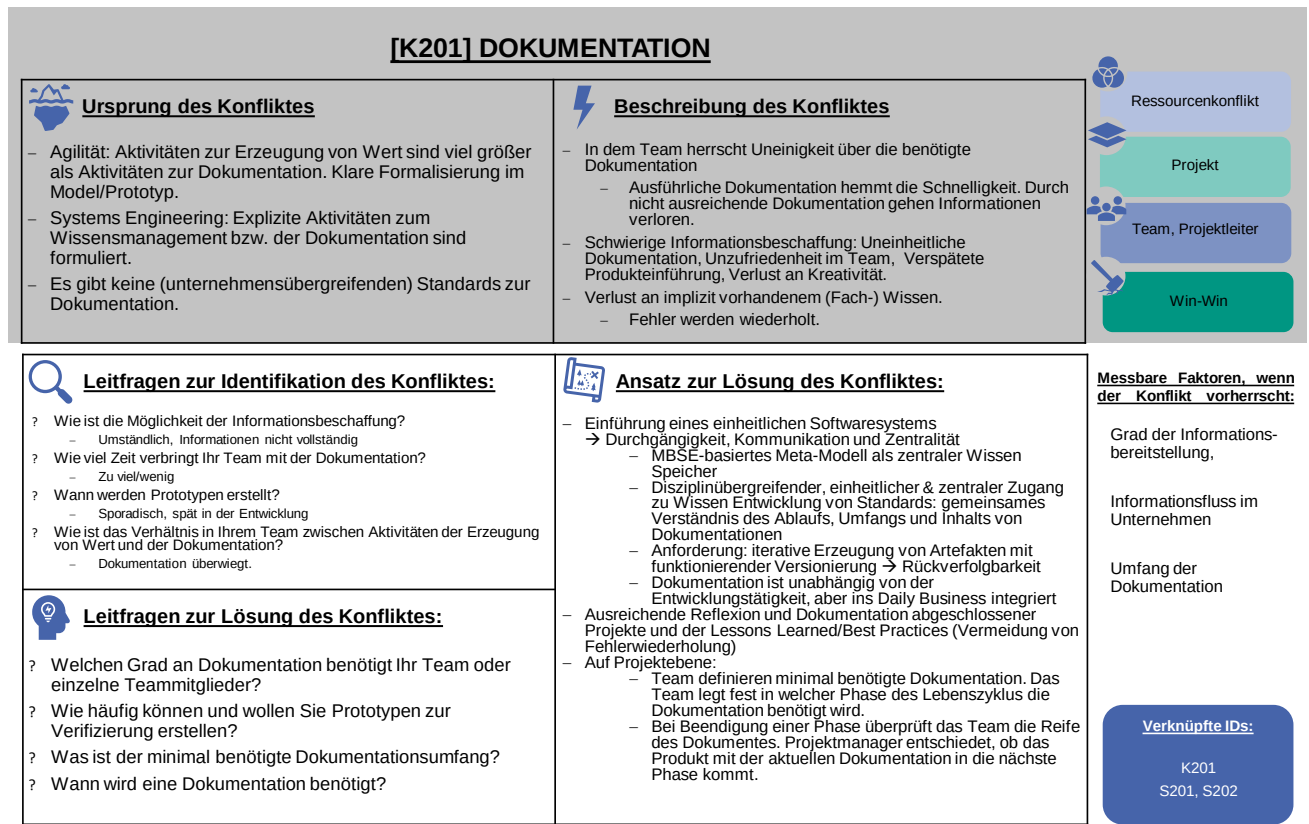


Bild 2-162: Beispielhafter Konflikt

Als Beispiel für eine vorliegende Synergie wird hier beispielhaft die Nutzung von unterschiedlichen Typenprofilen im Team betrachtet. Sowohl im agilen Kontext als auch im Kontext des Systems Engineering ist es von Vorteil, unterschiedliche Typenprofile im Team zu haben.

[S606] Nutzung unterschiedlicher Typenprofile im Team**Ursprung der Synergie**

- Durch eine Kombination unterschiedlicher Typenprofile (Kompetenzen, Verantwortlichkeiten, Interessen) im Projektteam wird ein breites und hohes Problemlösungspotential gewährleistet.
- Team sollten zwischen 5 und 7 Personen umfassen.
 - Durch diese Teamgröße ist es möglich alle relevanten Kompetenzen und Verantwortlichkeiten zu vertreten.
- Jedem Teammitglied wird eine Verantwortung zugewiesen, für die dieses qualifiziert ist/wird.

**Beschreibung der Synergie**

- Jede Aufgabe des Projektes wird ordnungsgemäß bearbeitet.
 - Jede Rolle, Verantwortlichkeit, Aufgabe und Kompetenz im Team wird von jemanden, der dafür qualifiziert ist, wahrgenommen.
 - Die zugewiesene Person hat optimaler Weise Spaß an dieser Rolle (lehnt diese nicht ab) und repräsentiert diese nach innen und außen gut.
- Hoher Wissensaustausch, wenig Wissenslücken
- Es wird zusammen am Ergebnis/Projekt gearbeitet. Beim Erfolg wird dieser im Team gefeiert. Hohes Commitment der Mitarbeiter.



Rollensynergie



Team



Team, Teamleiter



Win-Win

**Leitfragen zur Identifikation der Synergie:**

- ? Arbeiten die Teammitglieder an Themen, zu denen sie ein persönliches Interesse haben?
 - Ja. Größtenteils. Zumindest passend zu ihren Kompetenzen.
- ? Ist jede Verantwortung im Team und Projekt durch eine Mitarbeiter, mit passender Spezialisierung, besetzt?
 - Ja

**Leitfragen zur Nutzung der Synergie:**

- ? Welche Kompetenzen und Verantwortlichkeiten werden im Team und Projekt benötigt?
- ? Welche Mitarbeiter können für das Projekt eingesetzt werden und welche passen zu den benötigten Kompetenzen?
- ? Werden Schulungen oder Weiterbildungen benötigt?

**Ansatz zur Nutzung der Synergie**

- Erstellung einer Übersicht der im Projekt und Team benötigten Verantwortlichkeiten.
- Überprüfung ob für alle identifizierten Verantwortlichkeiten ein geeigneter Mitarbeiter oder Teammitglied vorhanden ist.
 - Rolle, Verantwortlichkeit, Aufgabe und Kompetenz werden kontinuierlich getauscht oder geschaffen (durch Schulungen, Weiterbildungen, Workshops).
 - Organisation von Weiterbildungen. Akquise neuer Mitarbeiter.
- Bildung eines Team, sodass alle benötigten Typenprofile vertreten sind. Zuweisung der Rollen, Verantwortlichkeiten, Aufgaben und Kompetenzen an das passende Mitglied.
 - Das Team kann (temporär) um Personen ergänzt werden oder sich von Personen trennen, je nach aktuell benötigten Verantwortlichkeiten.
- Förderung des Austauschs der Teammitglieder.
 - Auch mit anderen Abteilungen und Typenprofilen im Kontext des Projektes.

Messbare Faktoren, wenn die Synergie wirkt:

Rollenverteilung im Team

Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter

Sozialkompetenz

Anpassung des Teams

Umgang mit Teamerfolg und persönlichem Interessen

Verknüpfte IDs:K307, K604, K605
S315, S318, S320, S510,
S513, S515

Faktorenausprägung - Nutzung unterschiedlicher Typenprofile im Team

**Bild 2-163: Beispielhafte Synergie**

Insgesamt wurden innerhalb der 228 Faktoren 57 signifikante Wechselwirkungen identifiziert (siehe Bild 2-164) und beispielhaft für mehrere der Wechselwirkungen die entsprechenden Steckbriefe ausgefüllt.

	Agilität			Systems Engineering			
	Förderlich	Neutral	Hinderlich	Förderlich	Neutral	Hinderlich	
Synergie Gleichheit	=	=	=	=	=	=	23
Synergie Grundlage	≈	=	=	≈	=	=	4
Synergie Kombination	≈	≈	=	≈	≈	=	6
Synergie Relevanz				/	/	/	8
Konflikt Gegensatz	≠	=	≠	≠	=	≠	17

Bild 2-164: Übersicht der Wechselwirkungen

2.31.3. Diskussion und Ausblick

Die Übersicht über die bestehenden Wechselwirkungen zwischen agilen Arbeitsweisen und dem Verständnis des Systems Engineering kann der Grundstein für eine engere Verzahnung der beiden Denk- und Handlungsweisen sein und so einen fundamentalen Beitrag für die Weiterentwicklung des Advanced Systems Engineering leisten. Beide Ansätze sind für den zukünftigen Erfolg von Unternehmen entscheidend und durch die geschaffene Übersicht können Prozesse zielgerichtet gestaltet werden.

Die Analyse der Wechselwirkungen hat dabei auf einen festen Satz aus Faktoren basiert, der sich gemeinsam mit der Entwicklung der Methoden, Prozesse und Tools allerdings in Zukunft verändern kann. So können zusätzliche Wechselwirkungen identifiziert werden.

Zusätzlich besteht der Bedarf den Steckbrief praxisnah weiterzuentwickeln, um noch stärker auf die Möglichen Chancen und Risiken der Wechselwirkungen im Industriekontext Bezug zu nehmen. Hier besteht auch noch viel Potenzial für weitere Forschung, die sich mit den Auswirkungen der Ergebnisse auf bestehende Entwicklungsprozesse auseinandersetzen kann.

2.32. Leitfaden zur Umsetzung eines Individuellen Veränderungsprozesses hin zu agilem Systems Engineering

2.32.1. Einleitung

2.32.1.1. Zielsetzung

Um den Veränderungsprozess von Unternehmen hin zur agilen Systems Engineering Organisation zu unterstützen, gibt es eine ganze Fülle an Methoden, Prozessen und Tools aus dem Stand der Forschung, dem industriellen Alltag und in MoSyS und im AdWISE Kontext erarbeitet. Der hier entwickelte Leitfaden soll den Anwendenden dabei unterstützen, die für ihn passendste Methode zu identifizieren, diese zu implementieren und den Erfolg der Einführung zu überprüfen, um so eine nachhaltige Einführung und damit auch Weiterentwicklung der Organisation zu unterstützen. Der Leitfaden unterstützt dabei, spezifische verbesserungspotenziale innerhalb bestehender Kompetenzen einer Organisation zu identifizieren. Dazu stehen eine hohe Intuitivität und Nutzbarkeit des Leitfadens im Fokus, zusätzlich sollen sowohl Nutzende angesprochen werden, die wenig Vorwissen in den Bereichen Agilität und Systems Engineering besitzen sowie auch Anwendende, die in diesem Bereich bereits fortschrittliche Kenntnisse besitzen. Der Fokus des Leitfadens liegt dabei auf Methoden, die zur Weiterentwicklung der Organisation genutzt werden können und weniger auf Methoden, die zur Unterstützung bei konkreten Aktivitäten des Produktentstehungsprozesses genutzt werden können.

2.32.1.2. Einordnung in MoSyS

Der Leitfaden basiert auf dem Grundlegenden Verständnis von Agilität und Systems Engineering aus den Arbeitspaketen 1 sowie 2 (siehe Bild 2-165). Dabei werden die Ergebnisse der Erhebung aus AP1 genutzt, um den Status Quo Agilität aufzugreifen und entsprechend darauf basierende Verbesserungspotenziale abzuleiten. Die in AP2 gemeinsam mit den Partnern identifizierten Problem Statements wurden genutzt, um mögliche Ziele von Unternehmen beim Einsatz von agilem Systems Engineering abzuleiten. Zusätzlich basiert der Algorithmus zum Methodenvorschlag in seinen Grundlagen auf der Referenzsystemarchitektur aus AP2. Wie bereits im Kontext der Methodendatenbank beschrieben wurden die entwickelten Methoden aus AP3, AP4, die Potenzialanalyse sowie 3 spezifische Anwendungsfälle von KI aus AP5 sowie der Leitfaden zur Erstellung von digitalen Zwillingen in den Leitfaden integriert, um so die Implementierung der entwickelten Methoden bei Industriepartnern zu unterstützen.

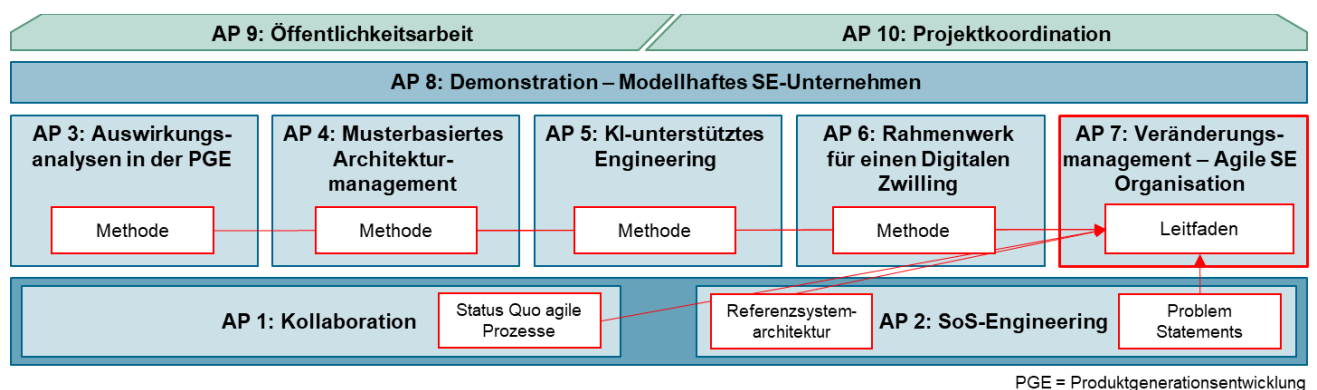


Bild 2-165: Einordnung des Wissensnuggets 2.32 in das MoSyS Projekt

Über MoSyS hinaus würde der Leitfaden mit Inhalten aus den Verbundprojekten RePASE und AMe-Lie ergänzt und war Grundlage verschiedener Diskussionen in der AdWISE übergreifenden AG Entwicklungsmethoden.

2.32.1.3. Vorgehen

Der Leitfaden selbst wurde in einem agilen Vorgehen mithilfe der in AP7 beteiligten Partner erstellt und validiert. Dazu fand alle 7 Wochen ein sogenanntes Sprint-Planning mit allen Stakeholdern des Arbeitspaketes statt, in dem der aktuelle Stand des Leitfadens präsentiert, Workshops zur Weiterentwicklung durchgeführt und nächste Schritte und Arbeitspakete abgeleitet und definiert wurden. Dazu wurden entsprechende Backlog Items erstellt, Review Aufgaben vergeben und bei Bedarf Informationen eingefordert. Die inhaltliche Arbeit fand in themenspezifischen Kleingruppen statt. So wurde beispielsweise die Erstellung der Fragebaumlogik im engen Austausch mit den Soziologen aus AP1 statt. Inhaltlich wurde die Entwicklung durch Abschlussarbeitende und HiWis unterstützt. Der Leitfaden wurde dabei als Datenbankbasierter Web-Leitfaden umgesetzt, welcher durch ein U-ser-System Zugangsbeschränkt ist. So kann die Methodendatenbank über die Projektlaufzeit hinweg kontinuierlich erweitert werden, ohne den Leitfaden anpassen zu müssen.

2.32.2. Hauptteil

2.32.2.1. Definitionen

Der SPALTEN Prozess beschreibt einen möglichen Prozess zur systematischen Problemlösung. Dieser Problemlösungsprozess liegt auch dem generischen Implementierungskonzept und dem Methodensteckbrief zugrunde. Dabei steht SPALTEN als Akronym für folgende Schritte [ABM+05]:

Situationsanalyse: In der Situationsanalyse werden alle relevanten Informationen gesammelt, die nötig sind um die Situation zu beschreiben. Dazu zählen Randbedingungen, Wechselwirkung, Stakeholder, etc. Das Wissen über die Situation kann im nächsten Schritt genutzt werden, um das Problem besser einzugrenzen.

Problemeingrenzung: Im nächsten Schritt wird mit dem Wissen aus der Situationsanalyse das vorliegende Problem eingegrenzt. Nur wer sich das Problem wirklich klar macht, kann auch die richtigen Lösungen identifizieren.

Alternative Lösungen: In diesem Schritt werden mögliche Lösungen für das Problem erarbeitet. Wichtig ist dabei, sich nicht auf eine mögliche Lösung zu fokussieren, sondern den Lösungsraum möglichst offen zu gestalten.

Lösungsauswahl: Während der Lösungsauswahl wird, wie der Name schon sagt die bestmögliche Lösung aus dem zuvor generierten Lösungsraum ausgewählt. Dies wird dadurch erreicht, dass die Lösungen verglichen und anhand von Festgelegten Kriterien z.B. durch eine Nutzwertanalyse bewertet werden.

Tragweitenanalyse: In der Tragweitenanalyse werden die Chancen und Risiken der Lösung durch entsprechende Methoden bewertet und anschließend die folgenden Maßnahmen abgeleitet. Hierbei ist zu beachten, dass Schritte immer wieder wiederholt werden können. Kommt die Tragweitenanalyse zum Schluss, dass die Umsetzung der Lösung einen zu negativen Einfluss hat, kann der Anwende zu den Schritten Alternative Lösungen und Lösungsauswahl zurückkehren.

Entscheiden und Umsetzen: In diesem Schritt wird die erarbeitete Lösung konkret umgesetzt und in das Handlungssystem eingeführt. Die Projektierung der Einführung basiert dabei auf den in den Schritten zuvor gesammelten Informationen, um mögliche Risiken zu minimieren.

Nachbereiten und Lernen: Der letzte Schritt der Methode soll dazu dienen, das in der Problemlösung generierte Wissen zu speichern. Durch einen Rückblick auf das Problem und den Prozess können wichtige Learnings für zukünftige Herausforderungen gewonnen werden und das Handlungssystem

auch nachhaltig weiterentwickelt. Zusätzlich kann so identifiziert werden, ob noch zusätzliche Probleme während des Prozesses erkannt wurden die wiederum mithilfe der SPALTEN-Methode gelöst werden können.

2.32.2.2. Ergebnisse

Der erste Schritt des Leitfadens dient der Erfassung der Ausgangssituation und der Zielsetzung (siehe Bild 2-166). Dabei wird mit Hilfe von vorformulierten Fragen und basierend auf deren Beantwortung durch den Anwendenden identifiziert, welche Fähigkeiten sein Handlungssystem bereits besitzt, und welche Fähigkeiten noch ausbaufähig sind. In der ersten Version des Leitfadens wurden dabei jedem Anwendenden dieselben Fragen in derselben Reihenfolge gestellt. Dabei musste der Anwendende alle Fragen beantworten, um zum nächsten Schritt zu gelangen.

Im ersten Abschnitt wurden die Unternehmensfakten des Anwendenden abgefragt. Dabei lag der Fokus auf der Anzahl der Mitarbeitenden, der Größe des Engineering-Bereichs und der Organisationsstruktur. So ließ sich eine erste Einschätzung über die Grundbedingungen des Unternehmens vornehmen. Abschließend wurde der Soft-/Hardwareanteil am einzelnen Produkt abgefragt, da dieser entscheiden für die nötigen Fähigkeiten des Handlungssystems ist [DAR+21].

Im nächsten Abschnitt des Fragenkatalogs wird nach der Zielsetzung der Organisation gefragt. Dabei hat der Anwendende eine Auswahl zwischen generellen Zielen, wie z.B. der Verbesserung der Kundenintegration und einer Auswahl an Zielsetzungen des agilen Arbeitens, wie z.B. eine Frühzeitige und kontinuierliche Validierung der Ergebnisse oder einer vorbildlichen Teambildung und Organisation.

Bild 2-166: Zielauswahl im Web-Leitfaden

Nachdem die Unternehmensfakten und die Zielsetzung des Anwendenden geklärt ist wird in den nächsten Schritten die Kompetenz im Bereich Agilität und Systems Engineering abgefragt. So soll ermöglicht werden, dass der Nutzer Methoden vorgeschlagen bekommt, die zu seinem agilen und

SE-Fähigkeitslevel passen. So macht es beispielsweise keinen Sinn einem Nutzer, der keinerlei Erfahrung mit Agilen Denk- und Handlungsweisen hat den Einsatz von Backloggrooming zu empfehlen. Die Fragen im Bereich Agilität sind dabei in die Kategorien Ressourcenverfügbarkeit, Balance, Methodische Kompetenz, Teamkultur, Kunde, Organisationale Einbettung und Governance und Führungsstrukturen unterteilt. Im Bereich Systems Engineering wird abgefragt, mit welchen Tools der Anwendende Bereits Erfahrung gemacht hat.

Im letzten Abschnitt kann der Nutzer angeben, welche die unternehmensspezifischen Stellgrößen sind, die zur Einführung des agilen Systems Engineering genutzt werden können. Dabei orientieren sich die Stellgrößen an den ASE Kontextebenen und Handlungsfeldern.

Die Kontextebene beschreibt dabei, ob die Änderung beispielsweise nur auf Projektebene oder sogar Unternehmensweit umgesetzt wird. Durch die Handlungsfelder wird angegeben, wo im Bereich Unternehmen, Abteilung, Projekt und Individuum die Änderung implementiert wird. So kann identifiziert werden, welche Methoden für die vorgegebene Situation in Frage kommen.

Basierend auf diesen Informationen folgt die Überleitung in Schritt 2 des Leitfadens: Vorschlag geeigneter Methoden zur Weiterentwicklung der Kompetenz in agilem Systems Engineering.

In diesem Schritt schlägt der Leitfaden dem Anwendenden basierend auf seinen Eingaben einen Satz an passenden Methoden vor.

Dazu sind in der Datenbank des Leitfadens 228 Faktoren hinterlegt, die in den beiden Dimensionen Agilität und Systems Engineering jeweils niedrig, mittel und hoch ausgeprägt werden können. Jedes Ziel, welches der Nutzende über den Fragebaum auswählen kann, ist dabei, wie in Bild 2-167 dargestellt, mit Faktoren verknüpft, welche zur Erreichung des Ziels beitragen können bzw. hilfreich sind. Im nächsten Schritt wird für eben diese Auswahl an Faktoren die Ausprägung abgefragt. Dies geschieht durch als Fragen formulierte Kriterien, welche der Nutzer innerhalb des Leitfadens beantworten muss. Basierend auf diesen Ausprägungen kann der Algorithmus nun feststellen, welche Faktoren noch niedrig ausgeprägt sind und somit das größte Potenzial für eine Verbesserung der Organisation für das zuvor ausgewählte Ziel bieten. Auch alle Methoden sind mit einem Satz an Faktoren verknüpft. Hier ist hinterlegt, welche Faktoren die Methode positiv beeinflussen kann. Der Algorithmus gleicht anschließend ab, welche Methode am besten zu den noch niedrig ausgewählten Faktoren passt und schlägt basierend darauf die Methoden mit der besten Abdeckung vor. Dabei gibt es nicht die eine passende Methode, sondern mehrere Methoden, welche sich eignen können. Diese werden basierend auf ihrer Passung in Reihenfolge vorgeschlagen.

Schritt 1: Ausgangssituation erfassen

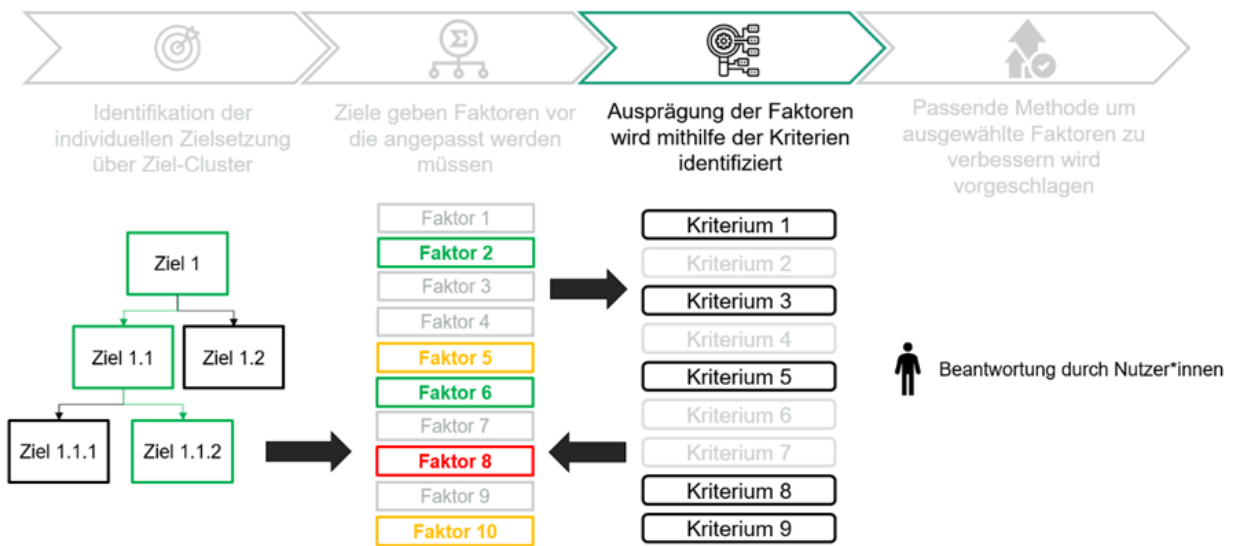


Bild 2-167: Logik zur Auswahl passender Methoden

Um den zweiten Schritt abzuschließen, wählt der Nutzer eine der vorgeschlagenen Methoden aus (siehe Bild 2-168). Die Entscheidungsgrundlage dafür, erhält der Nutzer durch die in den Methodensteckbriefen gesammelten Informationen, wie z.B. Zeitaufwand, Werkzeuge und Tools sowie Mögliche KPIs, anhand deren er einen ersten Überblick über die Auswirkung der Methode erhalten kann. Dabei wurde der Methodensteckbrief im Laufe der Projektlaufzeit stetig weiterentwickelt.

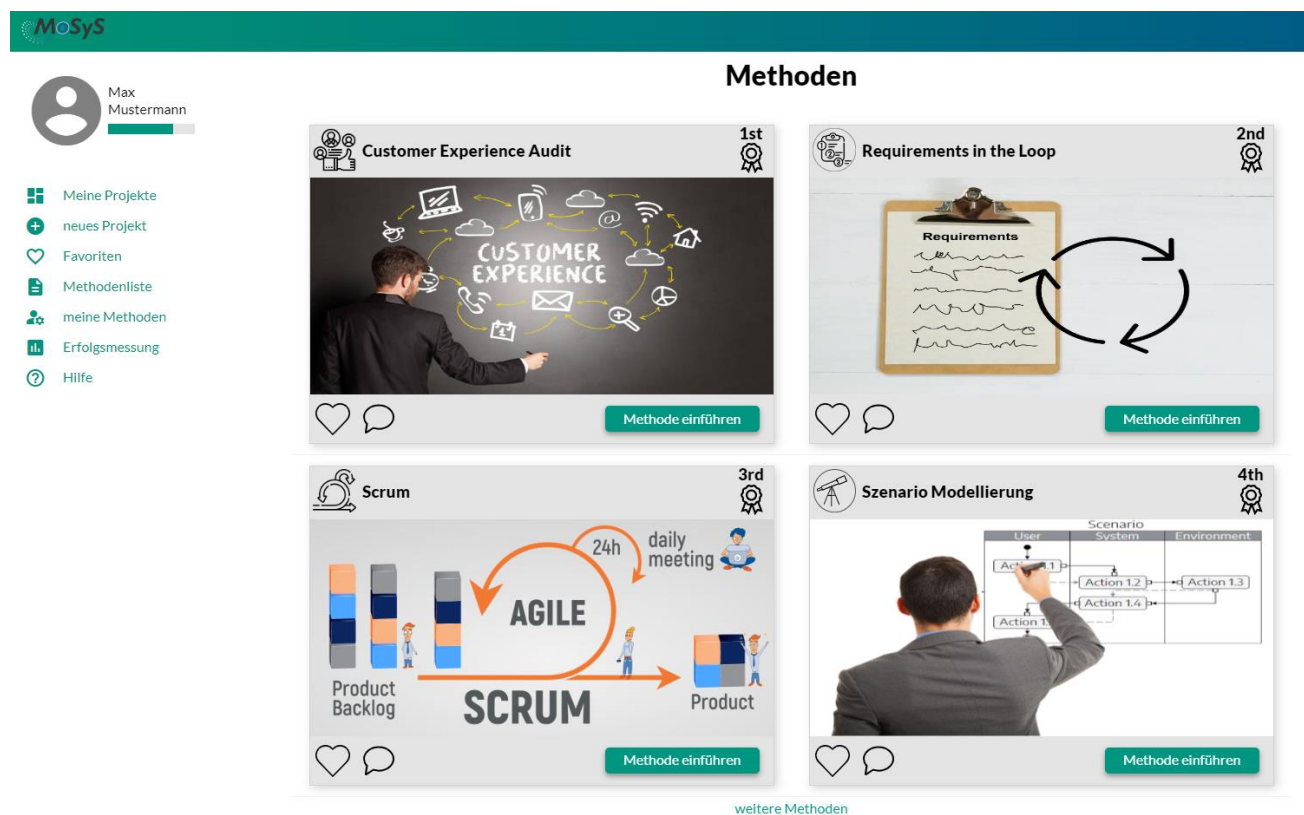


Bild 2-168: Methodenvorschlag im Leitfaden

Der Methodensteckbrief besteht dabei aus der initialen, in Bild 2-165 gezeigten Übersicht. Darauf folgende erhält der Nutzer Informationen über die Ausgangssituation, die vor der Einführung der Methode vorliegen sollte, der angestrebten Prozessverbesserung durch die Methode und eine Zusammenfassung über die nötigen Schritte zur Einführung der Methode (Gesamter Steckbrief im Anhang unter: Darstellung des Methodensteckbriefs am Beispiel Verbesserung standortverteilter Events zu finden). Hierbei ist zu beachten, dass die Informationen nur dazu dienen einen Überblick über die Methode und deren Einführung zu erlangen. Der Anwendende ist mit diesen Informationen in der Regel noch nicht in der Lage die Methode erfolgreich in seine Organisation einzuführen. Hierfür folgt in Schritt 3 des Leitfadens ein eigens dafür entwickelter Einführungsprozess. In der nächsten Seite des Methodensteckbriefs erhält der Nutzende Informationen zu den Schritten während der Methodendurchführung und anschließend eine Vorgabe, wie der Erfolg der Methode gemessen werden kann. Auf der letzten Seite der Methodendarstellung findet sich die Sammlung wichtiger zusätzlicher Informationen, wie z.B. nötige Hilfsmittel, Kontaktdaten von Experten und Beratern und zusätzliche Literatur zur angezeigten Methode.

In Schritt 3 des Leitfadens wird die ausgewählte Methode anschließend über einen im Leitfaden enthaltenen Einführungsprozess in die Organisation eingeführt. Dies ist wichtig, da die Einführung einer neuen Methode immer auch ein Problemlösungsprozess ist, der mit entsprechenden Problemlösungstechniken, wie z.B. SPALTEN gelöst werden kann. Der in den Leitfaden integrierte Einführungsprozess basiert dabei auf der bereits beschriebenen Problemlösungstechnik SPALTEN.

Im ersten Schritt des Einführungsprozesses führt der Nutzer eine Umfeldanalyse durch und dokumentiert dadurch den Zustand vor Einführung der Methode. Dadurch macht sich der Nutzende sein Umfeld noch einmal explizit bewusst und ist anschließend in der Lage, den Erfolg der Methode zu bestimmen. Dabei wird der Nutzende durch das Tool dabei unterstützt soziale und sachliche Umfeldfaktoren zu bestimmen, die Einfluss auf die vorliegende Situation haben. Zusätzlich kann der Nutzende dabei in interne und externe Einflussfaktoren unterscheiden. Anschließend beschreibt der Nutzende Kennzahlen, die beschreiben, in welchem Bereich des Handlungssystems Verbesserungen erreicht werden sollen. Beim oben gezeigten Beispiel: Verbesserung Standortverteilter Events wären dies z.B. Lacher pro Meeting, Zeit, bis der erste im Meeting etwas sagt, usw. Dabei schlägt der Einführungsprozess bereits automatisch zur Methode passende Kennzahlen vor, die bei Bedarf ergänzt werden können. Zusätzlich werden in diesem Schritt die Verantwortlichen für die Einführung der Methode benannt und eine Situationsbeschreibung durchgeführt. So wird sichergestellt, dass der Nutzende sich mit der aktuellen Situation befasst.

Im nächsten Schritt führt der Nutzende die Problemdefinition durch. Dabei wird die Problemstellung beschrieben und die zuvor bestimmten Kennzahlen mit IST-Werten belegt, anhand denen man im Nachgang überprüfen kann, ob der Wert gesteigert, die Einführung also ein Erfolg war. Um diesen Vorgang zu konkretisieren wird der Nutzende zusätzlich darum gebeten SOLL-Werte für die Kennzahlen einzutragen, die er hofft zu erreichen. Im letzten Abschnitt dieses Schritts bestimmt der Verantwortlicher, wie viele Ressourcen, also z.B. Budget, Personal und Zeit für die Einführung aufgewendet wird.

Mithilfe eines morphologischen Kastens werden anschließend verschiedene Lösungsmöglichkeiten für die vorliegende Problemstellung entwickelt. Als Hilfestellung stellt das Tool dafür basierend auf der ausgewählten Methode Kategorien und Ausprägungen zu Verfügung, aus denen sich der Nutzende Lösungsmöglichkeiten Zusammenstellen kann.

Diese werden im nächsten Schritt einer Nutzwertanalyse unterzogen, um die passendste Lösung zu identifizieren und anschließend anzuwenden.

Im letzten Schritt des Einführungsprozesses wird für die ausgewählte Lösung eine Tragweiteanalyse durchgeführt. Dazu stellt der Leitfaden eine Vorlage einer SWOT-Analyse zur Verfügung, die der Nutzende befüllen kann.

Abschließend stellt der Leitfaden einen Onepager als PDF zur Verfügung, in dem alle durch den Nutzenden eingegebene Informationen gesammelt werden. Dieser kann zur Dokumentation, aber auch zum Informieren weiterer Teile der Organisation genutzt werden. Zusätzlich schlägt der Leitfaden dem Nutzer einen Termin, für ein erstes Nachbereiten der Methode vor. SO soll sichergestellt werden, dass die Erfolgsmessung regelmäßig und basierend auf den zuvor definierten Kennzahlen und SOLL-Werten durchgeführt wird.

Schritt 4 des Leitfadens behandelt das Nachbereiten der Methodeneinführung ausführlich. Der Nutzende wird durch den Leitfaden automatisiert daran erinnert werden, dass ein Nachbereiten der Methodeneinführung ansteht. Dabei soll der Fokus auf dem Nutzen der Methode liegen: Wie sieht das Delta der zuvor bestimmten Kennzahlen aus, konnten die SOLL-Werte erreicht werden, und wenn nicht wieso? Stimmt das Nutzen Aufwand Verhältnis zwischen der Methode und den erzielten Verbesserungen?

Zusätzlich soll über den Leitfaden subjektives Feedback zum Anwenden der Methode gesammelt werden. So kann anschließend überprüft werden, ob die objektiv gemessenen Veränderungen mit der subjektiven Wahrnehmung übereinstimmen. Basierend auf diesen Erkenntnissen kann abgeleitet werden, welche Schritte der Methodendurchführung beibehalten werden können und welche Schritte noch angepasst werden müssen. Diese Beschlüsse werden gesammelt und bilden die Grundlage für die nächste Retro, die zu einem festgelegten Zeitpunkt folgt.

2.32.3. Diskussion und Ausblick

Der Leitfaden trägt dazu bei, Methoden in die Unternehmen zu tragen, da er diese situations- und bedarfsgerecht vorschlagen kann, während er bestehende Kompetenzen und Randbedingungen betrachtet. Der Leitfaden wurde im Rahmen des Projekts von mehreren Unternehmen angewendet und getestet und basierend auf dem Feedback weiterentwickelt. Dabei fanden mehrere vollständige Durchführungen des Leitfadens beim Co-AP Partner Trumpf statt. Wie bereits zu Anfang beschrieben, fokussiert sich der Leitfaden auf Methoden zur Weiterentwicklung von Organisationen. In weiteren Schritten könnte zudem ein Methodenvorschlag für konkrete Aktivitäten im Produktentstehungsprozess hinzugefügt werden.

Um den Fortbestand des Leitfadens über die Projektlaufzeit hinaus zu gewährleisten Bedarf es Ressourcen sowohl finanzieller als auch personeller Natur. Neu hinzugefügte Methoden müssen gesichtet werden, um den Qualitätsanspruch des Leitfadens sicherzustellen, zusätzlich muss die Möglichkeit bestehen neue Ziele zu implementieren, wenn sich die Anforderungen an Entwicklungsprozesse weiter verändern. Zusätzlich wird Infrastruktur benötigt, um die Website des Leitfadens und die Datenbank zu hosten. Um dem zu entsprechen, muss für den Leitfaden ein Verwertungskonzept entwickelt werden. Folgende Möglichkeiten wurden dabei bereits initial skizziert: Kostenpflichtige Mitgliedschaft, um auf den vollständigen Methodenkatalog zuzugreifen. Generierung von Vermittlungsgebühren: Partner wie z.B. Beratungsunternehmen stellen ihre Methoden bis zu einem gewissen Grad zur Verfügung. Möchte der Anwendende die vollständige Methode oder Unterstützung bei der Anwendung wendet er sich über den Leitfaden an den entsprechenden Anbieter. Es können aber auch noch weitere Möglichkeiten betrachtet werden.

Literaturverzeichnis

- [ABM+05] Albers, Albert; Burkardt, Norbert; Meboldt, Mirko; Saak, Marcus (2005): SPALTEN problem solving methodology in the product development. In: A. Samuel und W. Lewis (Hg.): 15th International Conference on Engineering Design (ICED05). Melbourne, Australia.
- [DAR+21] Dumitrescu, Roman; Albers, Albert; Riedel, Oliver; Stark, Rainer; Gausemeier, Jürgen (2021): Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft. Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. Paderborn.

2.33. Anforderungen & Konzept SE-Unternehmen

2.33.1. Einleitung

2.33.1.1. Zielsetzung

Basierend auf bestehenden Vorarbeiten der jeweiligen Arbeitspakete wurden Anforderung an ein modellhaftes SE-Unternehmen abgeleitet. Im Vorfeld erfolgt die Definition des betrachteten Modellunternehmens (Aufbau-, Ablauforganisation etc.). Für eine ganzheitliche Betrachtung des MoSyS-Projekts ist das Ziel von AP 8 eine übergreifende Einbeziehung sämtlicher Teilergebnisse anhand einer repräsentativen Vorstellung eines SE-Unternehmens. Dazu müssen der Aufbau und die Abläufe des Handlungssystems im SoS-Kontext (Agilität und Kollaboration) in den Anforderungen berücksichtigt werden. Weiterhin müssen erarbeitete Leitfähden, Methoden sowie Lösungsmuster mit einbezogen werden und Anforderungen an die erforderliche IT-Architektur (Daten, Modelle, Softwaresysteme) erarbeitet werden.

2.33.1.2. Einordnung in MoSyS

Die Anforderungen für das SE-Unternehmen wurden als Ergebnis in AP 8 erarbeitet. Hierzu wurden die Teilergebnisse der Arbeitspakete 1-7 gesichtet und in Anforderungen an das SE-Unternehmen dokumentiert (siehe Bild 2-169). Basierend auf den ermittelten Anforderungen wird ein Konzept für die Erstellung eines modellhaften SE-Unternehmen definiert.

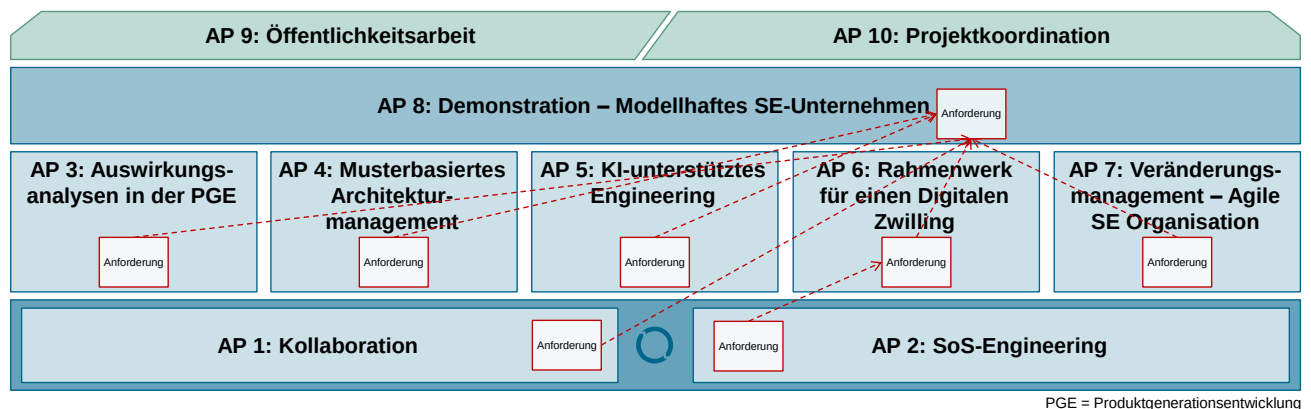


Bild 2-169: Einordnung des Wissensnuggets 2.33 in das MoSyS Projekt

2.33.1.3. Vorgehen

In Absprache mit den AP-Verantwortlichen werden die einzelnen Ergebnisse gesichtet und Anforderungen an das SE-Unternehmen abgeleitet. Die ermittelten Anforderungen werden im nächsten Schritt nach Relevanz für die einzelnen APs und Partnerunternehmen bewertet. Parallel dazu wird ein Konzept für die Darstellung des SE-Unternehmens erarbeitet und mit den Partnern validiert.

2.33.2. Hauptteil

2.33.2.1. Definitionen

SE-Unternehmen: Das modellhafte SE-Unternehmen dient als Instrument für die Demonstration der Teilergebnisse von MoSyS. Dieser beinhaltet die Betrachtung der IT-Architektur, die Abbildung von Methoden und Leitfähden und innovativer Ansätze wie Agilität und Kollaboration.

2.33.2.2. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Anforderungserhebung und das Konzept für die Erstellung eines modellhaftes SE-Unternehmen vorgestellt.

2.33.2.2.1. Anforderungen an das modellhafte SE-Unternehmen

Zu Beginn der Anforderungserhebung wurden Cluster gebildet, welche die identifizierten Anforderungen strukturieren. Eine Analyse bestehender Abbildungsmöglichkeiten hat zu dem Themenkomplex Enterprise Architecture Management (EAM) geführt. In den nächsten Schritten wurden die dazustellenden Aspekte abgegrenzt. Die erhobenen Anforderungen wurden anhand der EAM-Ebenen geclustert. Die gebildeten Cluster können der Bild 2-170 entnommen werden.



Bild 2-170: Darstellung der gebildeten Cluster für die Anforderungserhebung

Das Cluster „**Aufbauorganisation**“ bezieht sich auf die hierarchische Struktur und die organisatorische Einteilung des Unternehmens. Sie umfasst Anforderungen an die Art und Weise, wie das Unternehmen in Abteilungen, Teams und Rollen gegliedert ist, und wie diese Einheiten zusammenarbeiten. In Tabelle 2-15 sind die Anforderungen an die Aufbauorganisation des SE-Unternehmens abgebildet.

Tabelle 2-15: Anforderungen an die Aufbauorganisation des modellhaften SE-Unternehmens

1.1	Das modellhafte SE Unternehmen bildet Rollen ab.
1.2	Das modellhafte SE Unternehmen bildet Abteilungen/Organisationseinheiten ab.
1.3	Das modellhafte SE Unternehmen berücksichtigt Kollaborationen / Kooperationen zwischen den Organisationseinheiten.
1.4	Das modellhafte SE Unternehmen berücksichtigt projektorientiertes Arbeiten bspw. durch die Abbildung von Projektteams.
1.5	Das modellhafte SE Unternehmen bildet Schnittstellen zu externen Organisationseinheiten bspw. Zulieferer oder Kunden ab.
1.6	Das modellhafte SE Unternehmen einen Änderungsprozess ab und ist in der Lage Lösungsalternativen aufzuzeigen.

Zunächst definiert das Unternehmen spezifische Rollen, um klare Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten innerhalb der Organisation zu gewährleisten. Dies erleichtert die Zuweisung von Aufgaben und die effiziente Nutzung von Ressourcen. Darüber hinaus organisiert sich das SE-Unternehmen in

verschiedenen Abteilungen oder Organisationseinheiten, die jeweils auf unterschiedliche Funktionen und Fachgebiete spezialisiert sind. Dies ermöglicht eine zielgerichtete und effektive Bearbeitung der vielfältigen Aufgaben, die im Systems Engineering anfallen. Ein weiterer Aspekt ist die Berücksichtigung der Zusammenarbeit und Kooperation zwischen den Organisationseinheiten. Durch die Förderung der Zusammenarbeit und des Informationsaustausches zwischen den Abteilungen wird sichergestellt, dass komplexe Projekte ganzheitlich und effizient umgesetzt werden können. Das SE-Unternehmen muss projektorientiertes Arbeiten ermöglichen. Erreicht wird dies durch die Abbildung von Projektteams, die flexibel und bedarfsorientiert zusammengestellt werden können, um spezifische Projekte zu realisieren. Diese Teams setzen sich häufig aus Experten verschiedener Fachbereiche zusammen, was die interdisziplinäre Zusammenarbeit fördert, und die Innovationsfähigkeit erhöht. Die Schnittstellen zu externen Organisationseinheiten wie Lieferanten oder Kunden werden im SE-Unternehmen sorgfältig abgebildet. Dadurch wird sichergestellt, dass externe Partner effektiv in die Geschäftsprozesse integriert werden und eine reibungslose Kommunikation und Zusammenarbeit gewährleistet ist. Schließlich beinhaltet die Aufbauorganisation eines modellhaften SE-Unternehmens einen Veränderungsprozess. Das Unternehmen ist in der Lage, auf Veränderungen zu reagieren und Lösungsalternativen aufzuzeigen.

Das Cluster „**Ablauforganisation**“ umfasst die Prozesse und Workflows, die innerhalb des modellhaften SE-Unternehmens ablaufen. Sie bezieht sich auf die Art und Weise, wie Aufgaben und Aktivitäten organisiert und durchgeführt werden, um die Geschäftsziele zu erreichen.

Tabelle 2-16: Anforderungen an die Ablauforganisation eines modellhaften SE-Unternehmen

2.1	Das modellhafte SE Unternehmen bildet Aspekte des Projektmanagements ab.
2.2	Das modellhafte SE Unternehmen berücksichtigt Aspekte der Produktkonzipierung.
2.2.3	Stakeholderanforderungen analysieren
2.2.5	Use Cases analysieren
2.2.6	System analysieren
2.2.7	Systemanforderungen ableiten
2.2.8	Funktionen spezifizieren
2.2.9	Systemarchitektur spezifizieren
2.2.10	Testspezifikation entwickeln
2.3	Das modellhafte SE Unternehmen berücksichtigt Aspekte der Entwurfs- und Ausarbeitungsphase von Mechanik, E/E und IT.
2.3.1	Verfeinerung der Mechanikanforderungen
2.3.2	Mechanik Konzept / Design spezifizieren
2.3.3	Prototyp entwickeln
2.3.4	Mechanik integrieren
2.3.5	Mechanikentwicklung verifizieren und validieren
2.3.6	Verfeinerung der Elektronikanforderungen
2.3.7	Elektronik Konzept / Design spezifizieren
2.3.8	Prototyp entwickeln
2.3.9	Elektronik integrieren
2.3.10	Elektronikentwicklung verifizieren und validieren
2.3.11	Verfeinerung der Softwareanforderungen

2.3.12	Softwarekonzept / Design spezifizieren
2.3.13	Software implementieren
2.3.14	Software integrieren
2.3.15	Softwareentwicklung verifizieren und validieren
2.4	Das modellhafte SE-Unternehmen bildet die Prozesse der Produktintegration ab.
2.4.1	Integration planen
2.4.2	Modell integrieren
2.4.3	Simulation durchführen
2.4.4	Produkt integrieren
2.4.5	Verifikation und Validierung
2.4.6	Produkt freigeben
2.5	Das modellhafte SE Unternehmen bildet die Prozesse der Produktionsmittelplanung ab.
2.5.1	Werkzeugauswahl
2.5.2	Fertigungsplanung
2.5.3	Nullserie
2.5.4	Serienanlauf
2.5.5	Fertigung, Montage und Endkontrolle
2.6	Das modellhafte SE Unternehmen bildet die Prozesse des Änderungsmanagements ab.
2.6.1	Change Request erstellen
2.6.2	Change Issue analysieren
2.6.3	Alternative Lösungen vorschlagen
2.6.4	Sprint planen
2.6.5	Index aktualisieren (wenn neues Teil hinzugefügt wird)

Das Cluster „**Daten**“ bezieht sich auf die Verwaltung und Nutzung von Daten innerhalb und außerhalb des Unternehmens. Die Anforderungen beziehen sich auf die Art der Daten, welche in einem modellhaften SE-Unternehmen wichtig sind. Diese Daten sind in Tabelle 2-17 aufgelistet.

Tabelle 2-17: Anforderungen an die Daten eines modellhaften SE-Unternehmen

3.1	3D-CAD (Mechanisch)
3.2	MBSE-Systemmodell
3.3	E-CAD
3.4	Tabellarische Potential- und Risikobewertung
3.5	Anforderungskatalog
3.6	Vertragsunterlagen
3.7	Tabelle
3.8	Textdokument
3.9	Simulationsdatei
3.10	Instanzdaten
3.11	Typdaten
3.12	FEM-Analyseergebnisse

3.13	Softwarecode
3.14	Testdaten
3.15	Sensordaten

Das Cluster „**Informationen**“ betrifft den Fluss, die Verwaltung und die Nutzung von Informationen innerhalb des Unternehmens. Sie umfasst Anforderungen an konkrete Artefakte, Informationen und Dokumente, welche zur Unterstützung der Geschäftsprozesse eines modellhaften SE-Unternehmens beitragen. Alle notwendigen Informationen, welche ein modellhaftes SE-Unternehmen benötigt, sind in Tabelle 2-18 aufgelistet.

Tabelle 2-18: Anforderungen an die Informationen eines modellhaften SE-Unternehmen

4.1	Geometrie
4.2	Systemfunktion
4.3	Potential- und Risikobewertung
4.4	Systemanforderungen
4.5	Entwicklungsauftrag
4.6	Lastenheft
4.7	Projektziele
4.8	Ablauforganisation
4.9	Meilensteinplan
4.10	Netzplan
4.11	Funktionshierarchie und -struktur
4.12	Verhaltensmodelle
4.13	FMEA-Analyse
4.14	FEM-Analyse
4.15	Testspezifikation
4.16	Testergebnisse
4.17	Bestückungsplan
4.18	Stakeholderliste
4.19	Pflichtenheft
4.20	Software
4.21	Betriebsdaten
4.22	Kundeninformationen
4.23	Schaltplan
4.24	Use Case
4.25	Stückliste
4.26	BOM
4.27	Referenzprozesse abbilden
4.28	Architekturen von Systemen/Modulen
4.29	Einzelartefakte
4.30	STL-Daten (STEP)

Das Cluster „**IT-Anwendung**“ umfasst Softwarelösungen und Anwendungen, die zur Unterstützung der Geschäftsprozesse des modellhaften SE-Unternehmens genutzt werden. Sie beinhaltet sowohl Standard- als auch maßgeschneiderte Anwendungen. Die relevanten Daten für ein modellhaftes SE-Unternehmen sind in Tabelle 2-19 aufgelistet.

Tabelle 2-19: Anforderungen an die IT-Anwendungen eines modellhaftes SE-Unternehmens

5.1	Das modellhafte SE-Unternehmen berücksichtigt eine Bebauung mit den notwendigen Enterprise IT-Systemen
5.1.2	ERP-System
5.1.3	MES-System
5.1.4	Office-Software
5.1.5	Textverarbeitungssoftware
5.1.6	Tabellenkalkulationssoftware
5.1.7	Mail-Software
5.1.8	Lieferantenmanagement-Software
5.1.9	Kollaborationsplattform (Sharepoint, MS Teams)
5.1.10	Projektmanagementsoftware
5.1.11	Datenbanksystem
5.2	Das modellhafte SE-Unternehmen berücksichtigt eine Bebauung mit den notwendigen Engineering IT-Systemen.
5.2.1	CAD-Software
5.2.2	MBSE-Tool
5.2.3	Requirement Management System
5.2.4	Simulationssoftware
5.2.5	Qualitätsmanagementsoftware
5.2.6	ECAD-Software
5.2.7	E/E Architektur Software
5.2.8	CAM-Software
5.2.9	FEM-Software
5.2.10	Bestückungssoftware
5.2.11	SW-Entwicklungsumgebungen
	Versionskontrollsystem
5.2.13	ECM-Software
5.2.14	Integrationssoftware
5.2.15	DMU-Software
5.2.16	Prozesssimulationssoftware
5.2.17	PLM-Software
5.3	Das modellhafte SE-Unternehmen berücksichtigt eine Bebauung mit den notwendigen externen IT-Systemen
5.3.1	Webshop
5.3.2	Kunden-Produktkonfigurator

5.4	Das modellhafte SE-Unternehmen berücksichtigt eine Bebauung mit den notwendigen embedded IT-Systemen
5.4.1	IoT-Plattform
5.4.2	Steuerungssoftware

Anschließend werden die ermittelten Anforderungen hinsichtlich der Relevanz für die einzelnen APs und den Partnerunternehmen bewertet. Auf Grundlage der Relevanz wird eine Priorisierung der Anforderungen für das modellhafte SE-Unternehmen abgeleitet.

2.33.2.2.2. Konzept für das modellhafte SE-Unternehmen

Das Konzept für das modellbasierte SE-Unternehmen besteht aus drei Teilen, welche die Ergebnisse der sieben Arbeitspakete beinhaltet. Der erste Teil des Konzepts besteht aus einer modellhaften Abbildung der Anforderungen und Architektur des modellhaften SE-Unternehmen „MoSyS GmbH“ mit dem Modellierungstool iQUAVIS. Hierbei werden die Ablauforganisation und die Aufbauorganisation detailliert modelliert. Die Modellierung der Aufbauorganisation (vgl. Bild 2-171) ermöglicht das Schaffen von klaren Strukturen und Verantwortlichkeiten. Rollen können klar festgelegt werden und Ressourcen und Kapazitäten gezielt und effizient eingesetzt werden. Die Modellierung klarer Strukturen erleichtert die Kommunikation und Zusammenarbeit. Durch die Modellierung der Ablauforganisation (vgl. Bild 2-172) können Prozesse effizienter gestaltet werden und die Einführung von standardisierten Prozessen unterstützt werden. Weiterhin schafft die Modellierung mehr Transparenz und eine verbesserte Kommunikation innerhalb der Organisation.

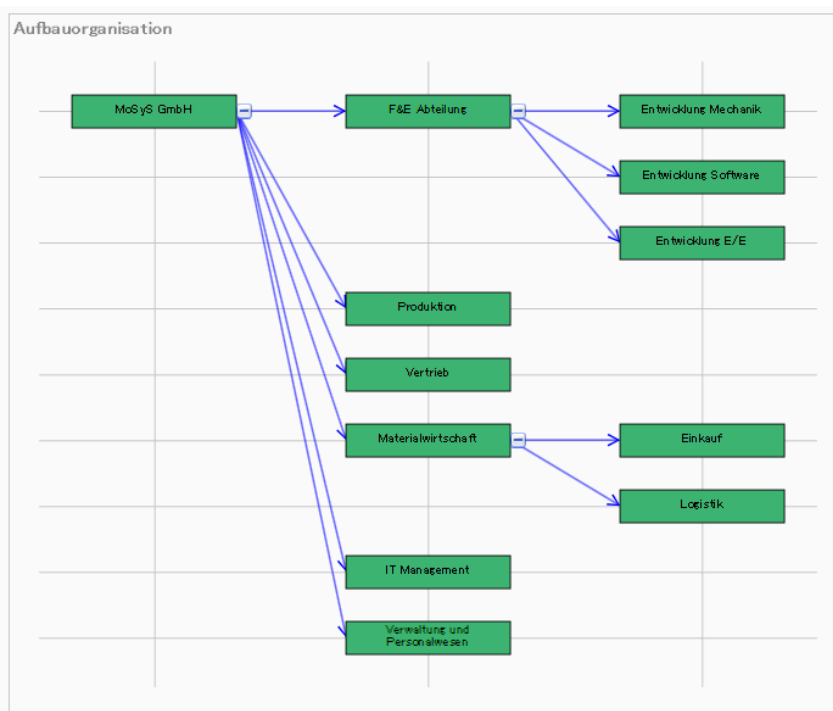


Bild 2-171: Modellierung der Aufbauorganisation im Modellierungstool iQUAVIS

Weitere Informationen	Link: Modellhaftes SE-Unternehmen: https://www.youtube.com/watch?v=ZeQYsC06pk8

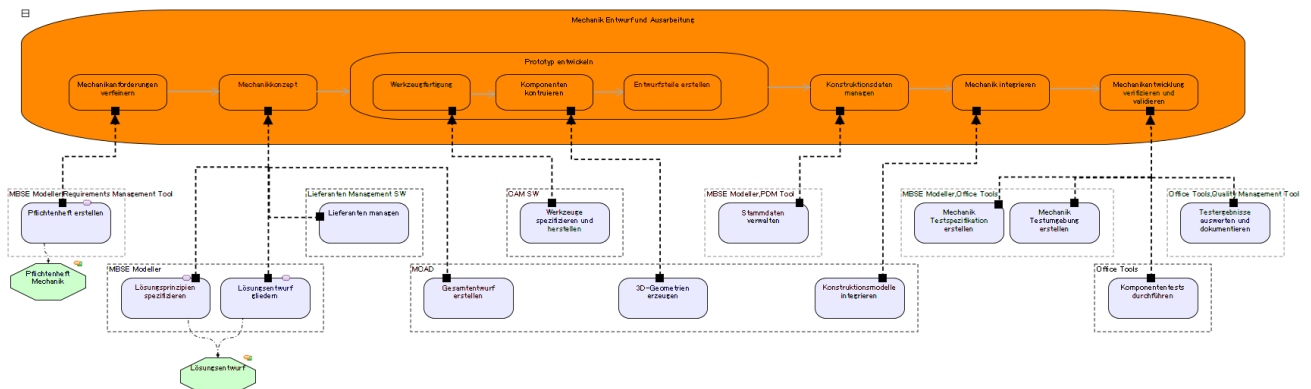


Bild 2-172: Modellierung der Ablauforganisation im Modellierungstool iQUAVIS

Der zweite Teil des Konzepts besteht aus einem Transferdemonstrator, welcher die wichtigsten Ergebnisse des MoSyS-Projekts aufzeigt, welche Inhalte im Projekt erarbeitet wurden und wie genau diese Inhalte umgesetzt wurden. Für ein verbessertes Verständnis von „System-of-Systems“ (SoS) wird ein Szenario eines solchen SoS mitsamt den Eigenschaften visualisiert (vgl. Bild 2-173). Zu den Eigenschaften gehören die Evolution von technischen Systemen, komplexe Systeme, dynamische Vernetzung, die unternehmensübergreifende Kommunikation und die Definition von Systemgrenzen. Zusätzlich wird aufgezeigt, wie die Themen des MoSyS-Projekts dazu beitragen, die Entwicklung, Produktion und Nutzung von SoS zu bewältigen.

Komplexe Systeme

Systeme, die Teil eines SoS sind, sind meistens komplexe, intelligente, vernetzte Produkte, Dienstleistungen oder Produktionssysteme, die auch interaktive soziotechnische Produkt-Service-Systeme bilden können. Das „modellbasierte Architekturmanagement“ ermöglicht Komplexitätsbeherrschung und Durchgängigkeit in der Systementwicklung. Das „Digital Engineering“ unterstützt die Systementwicklung mit KI-Anwendungen und der Einführung von digitalen Zwillingen.

Evolution

Der Großteil des SoS ist langlebig und verändert sich mit der Zeit. Zum einen können sich die Funktionalitäten und deren Qualität ändern, zum anderen ändert sich die Struktur und die Zusammensetzung eines SoS. „Agilität“ ermöglicht eine schnelle Anpassungsfähigkeit einer Organisation, um auf die Evolution eines SoS angemessen zu reagieren. „Modellbasierte Architekturentwicklung“ gewährleistet die Anpassungsfähigkeit durch Designprinzipien.

Dynamische Vernetzung

Die Systeme eines SoS sind dynamisch vernetzt. Dadurch kann sich die Struktur des SoS, ohne jeglichen Eingriff von außen ändern. Dazu gibt es eine gegenseitige Abhängigkeit der Systeme zur Erfüllung des SoS Ziels. Das „Digital Engineering“ unterstützt die Erfassung, Analyse und Auswertung systembezogener Daten zur Systemoptimierung über den gesamten Lebenszyklus mit Hilfe des Digitalen Zwillingen.

Unternehmensübergreifende Kommunikation

Ein SoS muss in der Lage sein, eine Auswahl heterogener Systeme zu integrieren. Dazu gehören Systeme verschiedener Unternehmen und unterschiedlicher Entwicklungsgenerationen. „Agilität“ fördert das interdisziplinäre Arbeiten zwischen verschiedenen Branchen und Unternehmen. „Modellbasiertes Architekturmanagement“ unterstützt die Kommunikation zwischen verschiedenen Disziplinen. Das „Digital Engineering“ schafft durch digitale Technologie eine einheitliche Kommunikationsgrundlage über den gesamten Systemlebenszyklus.

Dynamische Systemgrenzen

Die dynamische Vernetzung von Systemen und die stetige Evolution des SoS hat zur Folge, dass es keine klare Systemgrenze gibt. So können Systemverbünde sowohl Teil von mehreren SoS sein als auch Teile eines anderen SoS umfassen. „Modellbasiertes Architekturmanagement“ ermöglicht Komplexitäts-beherrschung während der Gestaltung von SoS. „Agilität“ bietet die Grundlage die Änderung der Systemgrenze schnell und effizient zu kommunizieren und darauf zu reagieren.

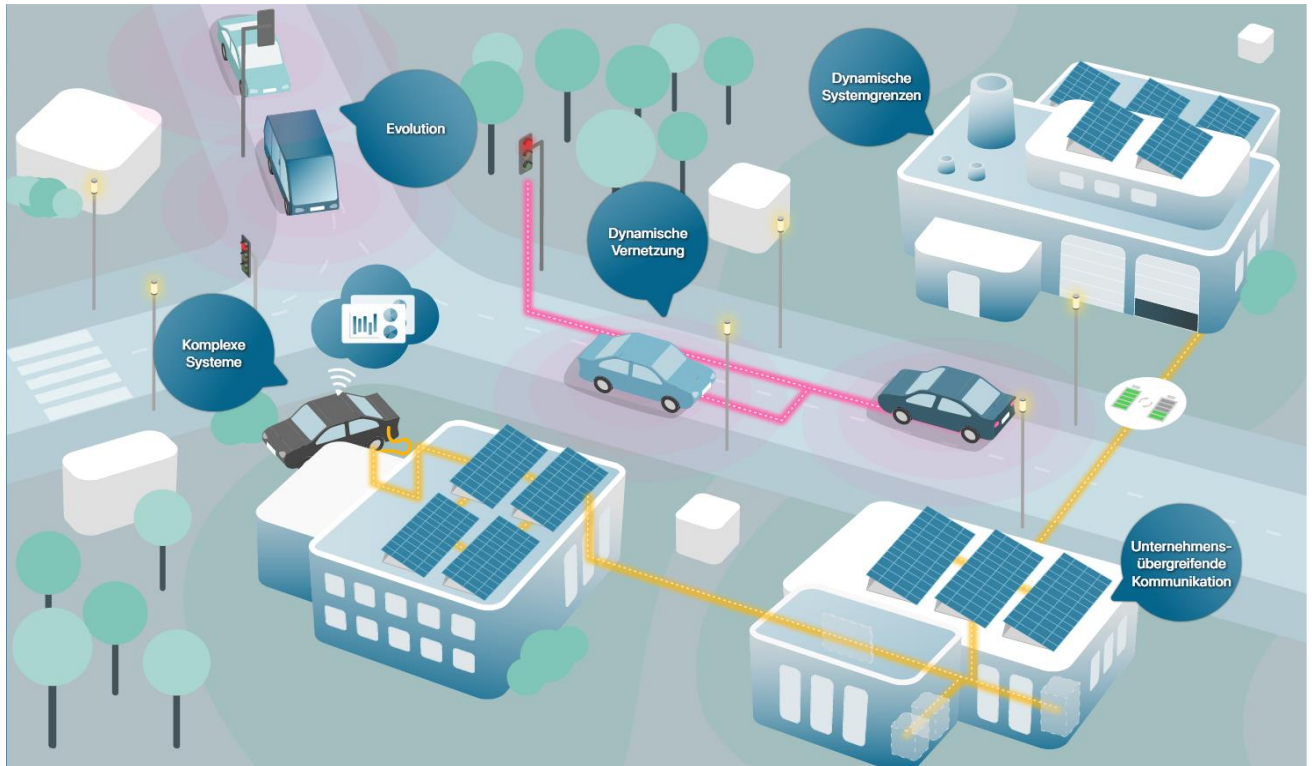


Bild 2-173: Bildhafte Darstellung eines SoS im Transferdemonstrator

Der dritte und letzte Teil des modellhaften SE-Unternehmens besteht in der Erarbeitung einer Architektur für die IT-Infrastruktur. Diese beinhaltet alle notwendigen Softwarelösungen entlang eines Lebenszyklus eines SoS, um die Entwicklung, die Produktion, aber auch die Betriebsphasen von SoS zu ermöglichen. Um die technischen (Ontologie, Backend etc.) und organisatorischen Kernaspekte (agile Unternehmensstruktur etc.) im z. T. integrativen Zusammenspiel zu implementieren, wird eine geeignete Engineering- IT-Bebauung realisiert (vgl. Bild 2-174).

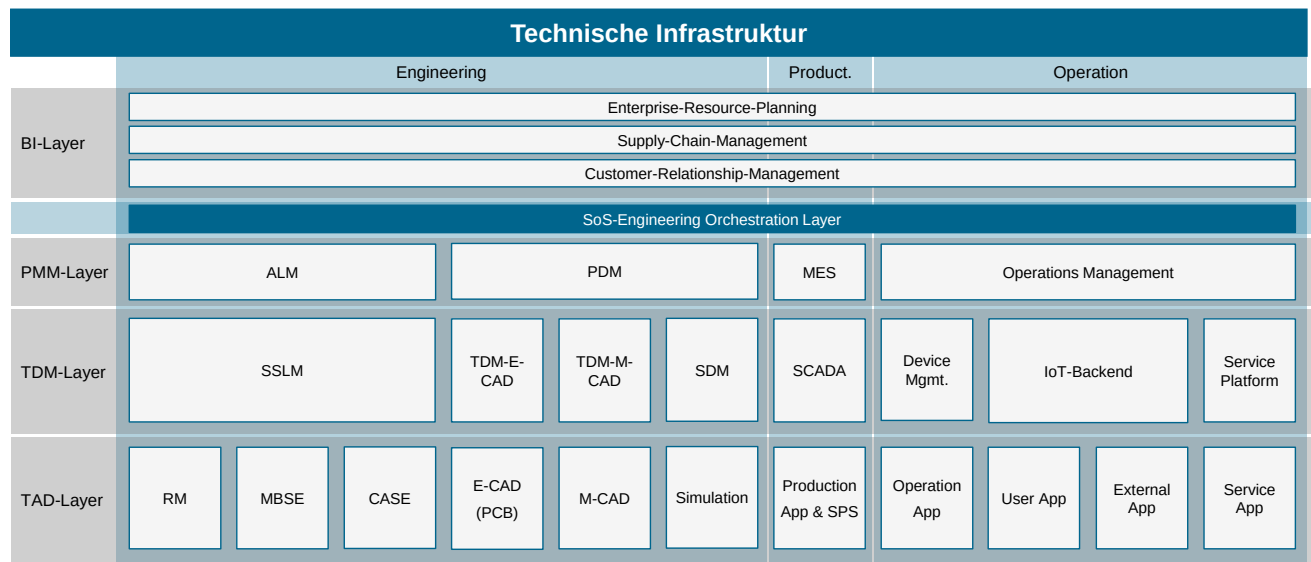


Bild 2-174: IT-Architektur für das modellhafte SE-Unternehmen

2.33.3. Diskussion und Ausblick

Die Definition von Anforderungen und die Erarbeitung eines Konzepts für ein Systems Engineering (SE) Modellunternehmen bieten sowohl für die Industrie als auch für die Forschung zahlreiche wertvolle Verwertungsmöglichkeiten. In der Industrie können diese Erkenntnisse zur Optimierung von Geschäftsprozessen beitragen. Unternehmen können die definierten Anforderungen und Konzepte nutzen, um ihre eigenen Prozesse zu analysieren und zu optimieren, was zu einer höheren Effizienz und Effektivität führt. Durch die Implementierung von Best Practices und Standards aus dem SE-Modellunternehmen kann die Qualität der Produkte und Dienstleistungen deutlich verbessert werden. Darüber hinaus unterstützen diese Konzepte die strategische Planung und das Management. Eine klar definierte Organisationsstruktur und definierte Prozesse helfen Unternehmen, ihre Geschäftsziele besser zu erreichen und Risiken frühzeitig zu erkennen und abzufedern. Durch ein robustes Veränderungsmanagement können Unternehmen flexibel auf Marktveränderungen reagieren, innovative Produkte schneller auf den Markt bringen und sich so Wettbewerbsvorteile verschaffen. Höhere Kundenzufriedenheit und stärkere Kundenbindung sind die Folge höherer Qualität und besserer Prozesse. Auch für die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bieten die Konzepte eines modellhaften SE-Unternehmens wichtige Grundlagen. Sie können als Grundlage für Aus- und Weiterbildungsprogramme dienen. Best Practices können identifiziert und umgesetzt werden, um die Fähigkeiten und das Wissen der Mitarbeiter kontinuierlich zu verbessern. In der Forschung dienen die Konzepte des SE-Modellunternehmens als Grundlage für die theoretische Weiterentwicklung. Neue Theorien und Modelle im Bereich Systems Engineering können ebenso entwickelt werden wie neue Methoden und Werkzeuge, um die definierten Anforderungen noch effizienter umzusetzen. Die Konzepte fördern zudem die interdisziplinäre Zusammenarbeit in Forschungsprojekten, in denen Experten aus verschiedenen Disziplinen gemeinsam an der Lösung komplexer Probleme arbeiten. Der Technologietransfer wird erleichtert, da Forschungsergebnisse direkt in die industrielle Praxis umgesetzt werden können.

2.34. Datenmodelle & Informationsflüsse

2.34.1. Einleitung

2.34.1.1. Zielsetzung

Für die Entwicklung komplexer System of Systems kommen eine Vielzahl von IT-Werkzeugen zum Einsatz, um Daten und Informationen zu verwalten und zu nutzen. Um die erforderlichen IT-Werkzeuge für den modellhaften Anwendungsfall festzulegen, werden in diesem Arbeitspaket die erforderlichen Datenmodelle und Informationsflüsse (bspw. CAD-Daten in Form von STEP-Dateien) modelliert.

2.34.1.2. Einordnung in MoSyS

Auf Basis der zuvor definierten Anforderungen werden Datenmodelle und Informationsflüsse spezifiziert (siehe Bild 2-175). Diese Datenmodelle und Informationsflüsse berücksichtigt das konzipierte Informationsmodell für einen digitalen Zwilling und dient als Grundlage für den Aufbau einer ganzheitlichen Engineering-IT-Bebauung.

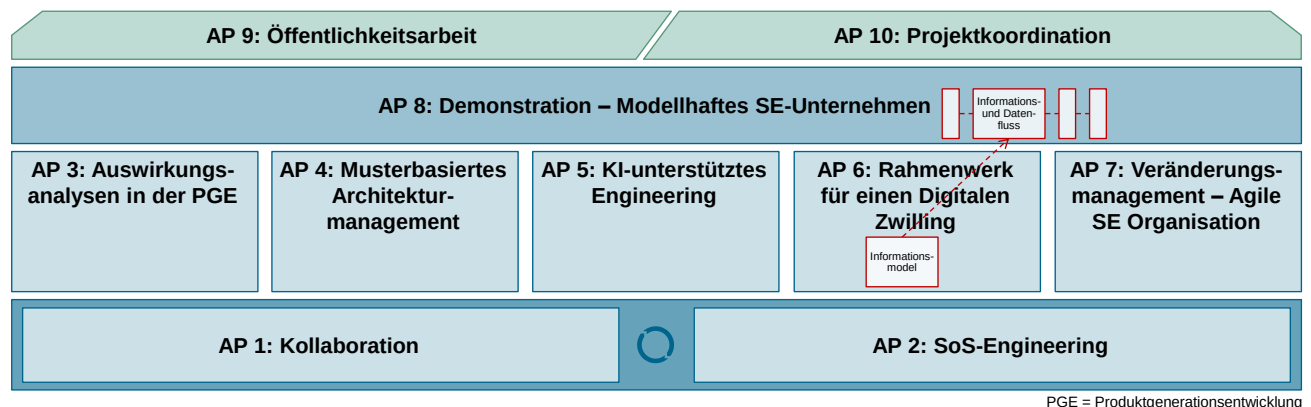


Bild 2-175: Einordnung des Wissensnuggets 2.34 in das MoSyS Projekt

2.34.1.3. Vorgehen

Basierend auf den Anforderungen hinsichtlich der Daten und Informationen für das modellhafte SE-Unternehmen werden Datenmodelle erstellt und der Informationsfluss zwischen den relevanten IT-Tools analysiert. Im nächsten Schritt erfolgt eine Modellierung der Datenmodelle und Informationsflüsse mithilfe des Modellierungstools iQUAVIS. iQUAVIS ist eine Softwareplattform zur Unterstützung der modellbasierten Systementwicklung. Die Software ermöglicht die Erstellung von detaillierten Modellen, die sowohl technische Komponenten als auch deren Interaktionen und Abhängigkeiten darstellen. Die Modelle können verschiedene Ebenen der Systemarchitektur abdecken, von einzelnen Komponenten bis hin zu kompletten Systemen.

2.34.2. Hauptteil

2.34.2.1. Definitionen

SE-Unternehmen: Das modellhafte SE-Unternehmen dient als Instrument für die Demonstration der Teilergebnisse von MoSyS. Dieser beinhaltet die Betrachtung der IT-Architektur, die Abbildung von Methoden und Leitfäden und innovativer Ansätze wie Agilität und Kollaboration.

2.34.2.2. Ergebnisse

Zu Beginn wurden die IT-Werkzeuge, welche für die Entwicklung von SoS relevant sind, identifiziert und in iQUAVIS modelliert. In Bild 2-176 wird dies beispielhaft dargestellt. Mithilfe der Modellierung der Abläufe des Entwicklungsprozesses der Mechanik wurden die notwendigen IT-Werkzeuge angeordnet und der Informationsfluss modelliert. Die modellhafte Darstellung hilft dem Unternehmen und den Entwicklern zu verstehen, welche Schnittstellen zwischen den IT-Werkzeugen notwendig sind und implementiert werden müssen. Das aufgezeigte Datenmodell bildet die Grundlage für die nächsten Schritte.

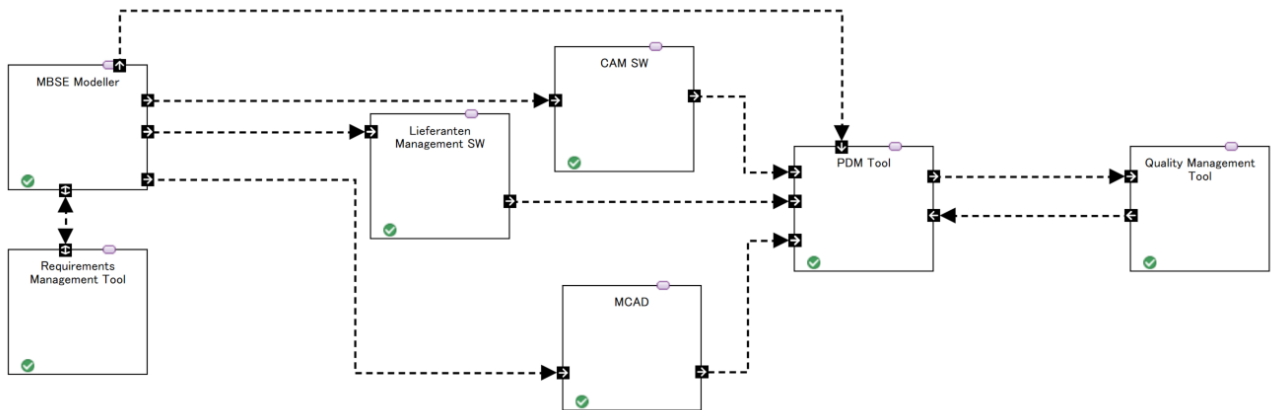


Bild 2-176: Modellierung von Softwarewerkzeugen und dessen Zusammenwirkungen

Im nächsten Schritt werden die Informationsflüsse modelliert. Die Modellierung trägt zur Optimierung von Geschäftsprozessen bei, verbessert die Effizienz und Sicherheit der IT-Infrastruktur und fördert die Zusammenarbeit innerhalb eines Unternehmens. Weiterhin kann der Ursprung der Informationen und die In- und Outputs eines IT-Werkzeugs dargestellt werden und hilft bei der durchgängigen Betrachtung des Engineeringprozesses, wie in Bild 2-177 abgebildet. Die in Bild 2-178 dargestellte Tabelle zeigt eine Zuordnung der relevanten IT-Werkzeuge im Engineeringprozess mit den In- und Outputs der jeweiligen Daten und beschreibt das Zieltool der einzelnen Daten.

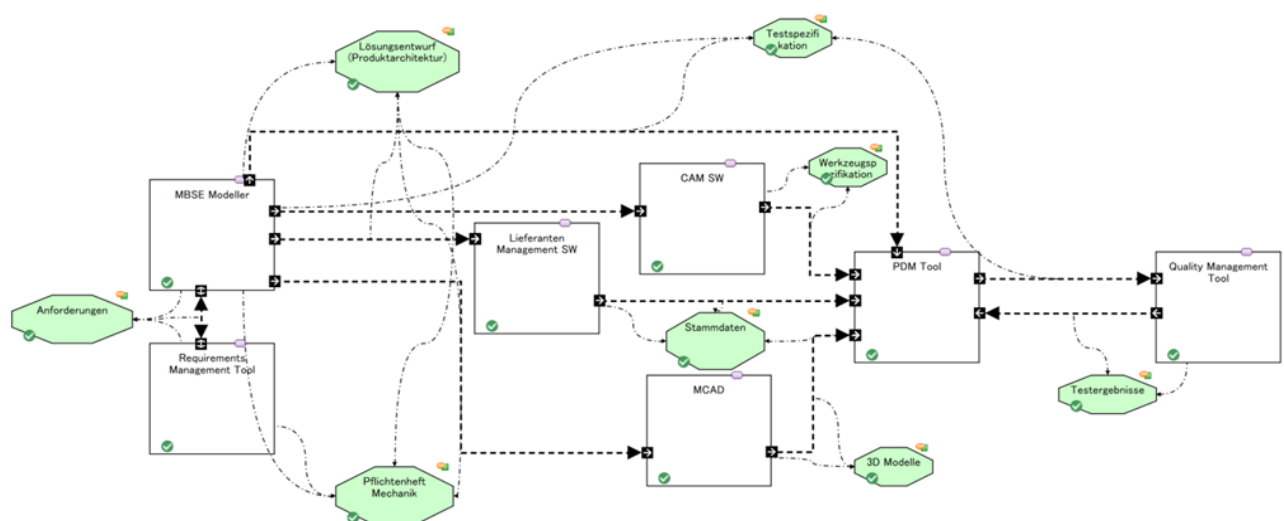


Bild 2-177: Modellierung des Informationsfluss während eines Entwicklungsprozess

	Tools	Richtung	Daten	Zieltool
1	Requirements Management Tool	IN/OUT	Anforderungen	MBSE Modeller
2	MBSE Modeller	OUT	Lösungsentwurf (Produktarchitektur)	Lieferanten Management SW
3		IN/OUT	Anforderungen	Requirements Management Tool
4		OUT	Pflichtenheft Mechanik	MCAD
5			Lösungsentwurf (Produktarchitektur)	
6		OUT	Pflichtenheft Mechanik	CAM SW
7			Lösungsentwurf (Produktarchitektur)	
8			Testspezifikation	PDM Tool
9		IN	Lösungsentwurf (Produktarchitektur)	MBSE Modeller
10	Lieferanten Management SW	OUT	Stammdaten	PDM Tool
11	MCAD	IN	Pflichtenheft Mechanik	MBSE Modeller
12			Lösungsentwurf (Produktarchitektur)	
13		OUT	3D Modelle	PDM Tool
14	CAM SW	IN	Pflichtenheft Mechanik	MBSE Modeller
15			Lösungsentwurf (Produktarchitektur)	
16		OUT	Werkzeugspezifikation	PDM Tool
17	PDM Tool	IN	Stammdaten	Lieferanten Management SW
18		IN	3D Modelle	MCAD
19		IN	Werkzeugspezifikation	CAM SW
20		IN	Testspezifikation	MBSE Modeller
21		OUT	Testspezifikation	Quality Management Tool
22		IN	Testergebnisse	Quality Management Tool
23	Quality Management Tool	IN	Testspezifikation	PDM Tool
24		OUT	Testergebnisse	PDM Tool

Bild 2-178: Darstellung der notwendigen Informationen und des entsprechenden Zielwerkzeugs

2.34.3. Diskussion und Ausblick

Die Modellierung von Datenmodellen und Informationsflüssen hilft, ein besseres Verständnis dafür zu erlangen, welche Inputs und Outputs ein IT-Werkzeug benötigt bzw. erzeugt. Durch die visuelle Darstellung der Informationswege wird die Komplexität der internen Abläufe reduziert und das Prozessverständnis erhöht. Dadurch können die Informationswege im Unternehmen besser nachvollzogen und mögliche Engpässe oder Schwachstellen identifiziert werden. Darüber hinaus trägt die Modellierung zur Prozessoptimierung bei, indem ineffiziente Abläufe erkannt und verbessert werden können. Dies führt zu einer besseren Nutzung von Ressourcen, da redundante oder unnötige Informationsflüsse eliminiert werden. Ein weiterer wesentlicher Vorteil liegt in der Verbesserung der Prozessqualität. Durch klar definierte Informationswege und Verantwortlichkeiten werden Fehler reduziert und einheitliche Standards und Vorgehensweisen im Umgang mit Informationen geschaffen. Dies erleichtert die datengestützte Entscheidungsfindung, da ein klarer Überblick über die vorhandenen Informationen und Informationsflüsse besteht. Darüber hinaus unterstützt die Modellierung die Einhaltung gesetzlicher und regulatorischer Anforderungen, indem dokumentierte und nachvollziehbare Informationsflüsse geschaffen werden. Kritische Informationswege können identifiziert und vor unberechtigtem Zugriff oder Verlust geschützt werden.

Ein zukünftiges Forschungsthema ist die Entwicklung und Optimierung von Modellierungsmethoden und -werkzeugen, die sowohl präzise als auch flexibel genug sind, um den dynamischen Veränderungen in modernen Geschäftsprozessen gerecht zu werden. Es müssen Ansätze entwickelt werden, die eine schnellere und effizientere Aktualisierung von Modellen ermöglichen, um stets aktuelle und korrekte Informationen zu gewährleisten. Ein weiteres Forschungsgebiet ist die Beherrschung der Komplexität und des Detaillierungsgrades von Modellen. Es werden neue Methoden und Algorithmen benötigt, um den richtigen Detaillierungsgrad zu finden, damit die Modelle sowohl praktisch nutzbar als auch verständlich bleiben. Dazu gehört auch die Erforschung von Techniken zur Reduzierung der Modellkomplexität, ohne dass wesentliche Informationen verloren gehen. Darüber hinaus unterscheiden sich Unternehmensprozesse. Hier ist zu untersuchen, inwieweit die Modellierungsmethoden die spezifischen Unternehmensprozesse abbilden können.

Literaturverzeichnis

- [ABK+18] Albers, A. A.; Bernijazov, R.; Kaiser, L.; Dumitrescu R.: Internet of Things Canvas for Ideation in Model-Based Product Generation Planning. IEEE – 13th System of Systems Engineering Conference. SoSE 2018. Sorbonne Universités. Paris, France, June 19th-22nd, 2018

2.35. Engineering-IT-Bebauung

2.35.1. Einleitung

2.35.1.1. Zielsetzung

Das Ziel ist die Schaffung eines Ansatzes für eine ganzheitliche SoS-Engineering-IT-Bebauung. Hierzu zählen alle notwendigen IT-Systeme, welche für eine Entwicklung komplexer Systeme notwendig sind. Die IT-Bebauung soll weitere Ergebnisse wie Leitfäden, Methoden sowie Lösungsmuster berücksichtigen und ermöglichen.

2.35.1.2. Einordnung in MoSyS

Für ein ganzheitliches SoS-Engineering bedarf es einer Vielzahl an IT-Systemen. Basierend auf den vorangegangenen Ergebnissen wird eine Engineering-IT-Bebauung erarbeitet. Diese umfasst sowohl die Anforderungen an ein modellhaftes SE-Unternehmen als auch die notwendigen Informationsflüsse und weitere Ergebnisse wie die Referenzarchitektur für ein SoS-Engineering (siehe Bild 2-179).

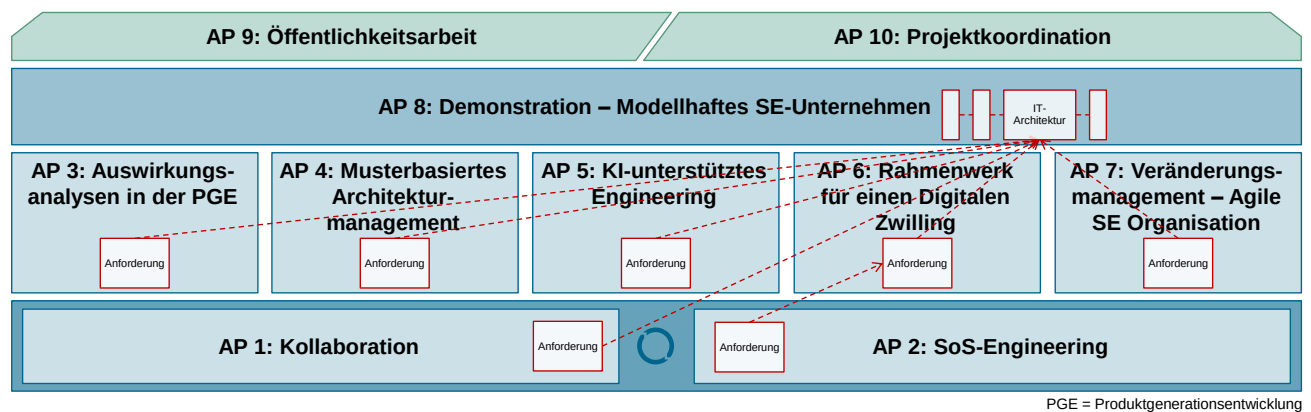


Bild 2-179: Einordnung des Wissensnuggets 2.35 in das MoSyS Projekt

2.35.1.3. Vorgehen

Für die Engineering-IT-Bebauung für ein ganzheitliches SoS-Engineering wird eine IT-Architektur mit allen relevanten IT-Systeme erarbeitet. Dazu erfolgt im ersten Schritt eine Zuordnung der erforderlichen IT-Systeme in drei Ebenen. Anschließend werden die Ebenen näher spezifiziert und die relevanten IT-Systeme definiert.

2.35.2. Hauptteil

2.35.2.1. Definitionen

SE-Unternehmen: Das modellhafte SE-Unternehmen dient als Instrument für die Demonstration der Teilergebnisse von MoSyS. Dieser beinhaltet die Betrachtung der IT-Architektur, die Abbildung von Methoden und Leitfäden und innovativer Ansätze wie Agilität und Kollaboration

2.35.2.2. Ergebnisse

Das Ergebnis ist eine IT-Architektur mit allen notwendigen IT-Werkzeugen für ein ganzheitliches SoS-Engineering. Die IT-Architektur wird in Bild 2-180 abgebildet. Der SoS-Engineering-Layer besteht auf drei Ebenen. Auf der unteren Ebene stehen die datenerzeugenden Autorensysteme (MBSE, M-CAD, E-CAD, etc.). Die darüber liegende Ebene bildet nahe an die Autorensysteme gekoppelte Datenmanagementsysteme, welche die in proprietären Datenformaten gespeicherten virtuellen Modelle aus den Autorensystemen verwalten. Die dritte Ebene ist der sogenannte PLM-Backbone, über

den der Datenaustausch zwischen den Systemen der darunterliegenden Ebenen organisiert wird. Für die Rückführung von Betriebsdaten in den Entwicklungsprozess wird der PLM-Backbone um ein Internet-of-Things-Plattform ergänzt. Weiterhin wird in der IT-Architektur zwischen dem Engineering, der Produktion und der Betriebsphase von SoS unterschieden.

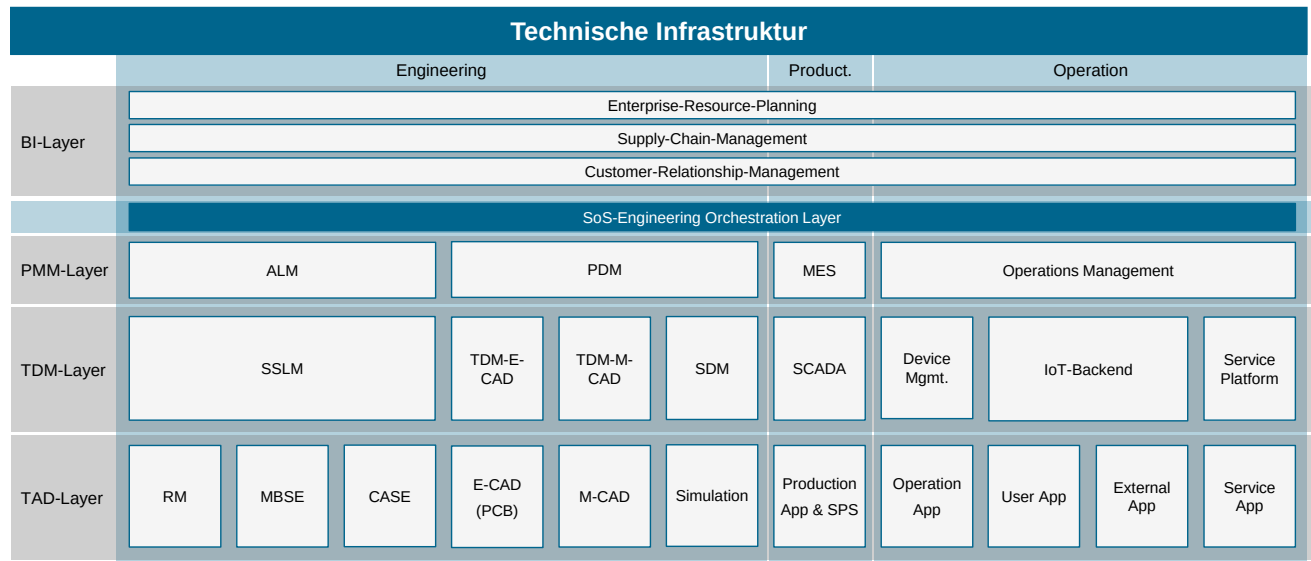


Bild 2-180: IT-Architektur für das modellhafte SE-Unternehmen

Die Autorensysteme bilden die Grundlage für die Engineering-IT-Bebauung. Autorenwerkzeuge sind Softwareprogramme oder Anwendungen, die dazu verwendet werden, Inhalte zu erstellen, zu bearbeiten und zu veröffentlichen. Diese Werkzeuge kommen in verschiedenen Kontexten zum Einsatz, darunter das Verwalten und Erstellen von Anforderungen, die Modellierung von Systemarchitekturen, der Modellierung von 3D-Modellen und der Durchführung von Simulationen.

Insbesondere im Engineering sind Autorenwerkzeuge für ein durchgängiges Engineering von großer Bedeutung. **Requirements Engineering** Tools sind spezialisierte Softwarelösungen, die den Prozess des Erfassens, Dokumentierens, Analysierens, Verifizierens und Verwaltens von Anforderungen in einem Projekt unterstützen. Diese Anforderungen beziehen sich typischerweise auf die Funktionen, Eigenschaften und Einschränkungen eines zu entwickelnden Systems, Produkts oder einer Software. Aber auch Stakeholder-Anforderungen können damit verwaltet werden. **MBSE**-Tools (Model-Based Systems Engineering) sind Software-Werkzeuge, die in der modellbasierten Systementwicklung eingesetzt werden. MBSE ist ein Ansatz, bei dem formale Modelle als zentrale Artefakte für die Spezifikation, die Analyse, den Entwurf, die Validierung und die Verifikation komplexer Systeme verwendet werden. Anstatt nur textbasierte Dokumentationen zu erstellen, verwenden Ingenieure Modelle, um die verschiedenen Aspekte eines Systems darzustellen, zu simulieren und zu analysieren. **CASE**-Tools (Computer-Aided Software Engineering Tools) sind Werkzeuge, die den gesamten Softwareentwicklungsprozess unterstützen. Sie werden in verschiedenen Phasen des Software-Lebenszyklus eingesetzt, von der Anforderungsanalyse über das Design und die Implementierung bis hin zum Test. CASE-Tools helfen bei der Systemmodellierung, der Erstellung von Diagrammen wie UML (Unified Modeling Language), der Codegenerierung, der Dokumentation und dem Projektmanagement. Durch die Automatisierung vieler Entwicklungsaufgaben tragen sie zur Effizienzsteigerung, Fehlerreduktion und besseren Nachvollziehbarkeit des Softwareentwicklungsprozesses bei. Sie sind besonders nützlich für die Strukturierung komplexer Projekte und die Zusammenarbeit in Entwicklerteams.

E-CAD-Tools (Electronic Computer-Aided Design Tools) sind Software-Werkzeuge für die Entwicklung, Planung und Simulation elektronischer Schaltungen und Systeme. Mit diesen Werkzeugen können Ingenieure Schaltpläne erstellen, Leiterplatten entwerfen, elektrische Signale simulieren und das Layout elektronischer Komponenten optimieren. E-CAD-Werkzeuge unterstützen den gesamten Entwicklungsprozess von der Konzeptphase bis zur Produktion, indem sie komplexe Entwürfe visualisieren, Fehler frühzeitig erkennen und die Zusammenarbeit verschiedener Teams erleichtern. Sie sind in der Elektronikindustrie unverzichtbar, um Effizienz und Präzision bei der Entwicklung moderner elektronischer Geräte zu gewährleisten. **M-CAD-Tools** (Mechanical Computer-Aided Design Tools) sind computergestützte Werkzeuge für die Konstruktion, Modellierung und Simulation mechanischer Systeme und Komponenten. Mit diesen Werkzeugen können Ingenieure 3D-Modelle von mechanischen Komponenten erstellen, Bewegungen und Belastungen simulieren sowie Kollisionen und Interferenzen analysieren. M-CAD-Werkzeuge unterstützen den gesamten Entwicklungsprozess von der Konzeptphase über die Detailkonstruktion bis hin zur Fertigungsplanung. Sie ermöglichen eine präzise Visualisierung und Optimierung von Konstruktionen, was die Effizienz und Qualität der Produktentwicklung deutlich steigert. Solche Werkzeuge sind in der Maschinen-, Automobil- und Luftfahrtindustrie unverzichtbar. **Simulationswerkzeuge** unterstützen die Nachbildung und Analyse realer Prozesse, Systeme oder Phänomene in einer virtuellen Umgebung. Mit diesen Werkzeugen können Ingenieure, Wissenschaftler und Entwickler komplexe Szenarien simulieren, um das Verhalten von Systemen unter verschiedenen Bedingungen zu verstehen, Risiken zu minimieren und Designentscheidungen zu optimieren. Simulationswerkzeuge werden in so unterschiedlichen Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie, dem Finanzwesen und der Medizin eingesetzt. Sie ermöglichen die Durchführung von Experimenten und die Gewinnung von Erkenntnissen ohne den Bau physischer Prototypen, was Zeit und Kosten spart und die Innovationsfähigkeit erhöht.

Die darüber liegenden Ebenen bilden nahe an die Autorensysteme gekoppelte Datenmanagementsysteme, welche die in proprietären Datenformaten gespeicherten virtuellen Modelle aus den Autorensystemen verwalten. **Product Lifecycle Management (PLM)** ist ein strategischer Ansatz zur Verwaltung des gesamten Lebenszyklus eines Produkts, von der ersten Idee und Entwicklung über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung oder Wiederverwertung. PLM umfasst die Integration von Daten, Prozessen, Geschäftssystemen und Menschen, die an der Entstehung und Entwicklung eines Produkts beteiligt sind. Ziel ist es, die Effizienz zu steigern, Innovationen zu fördern, Kosten zu senken und die Produktqualität zu verbessern. Durch PLM können Unternehmen eine durchgängige Transparenz über alle Phasen des Produktlebenszyklus gewährleisten, was eine bessere Entscheidungsfindung und eine schnellere Markteinführung ermöglicht. **ALM (Application Lifecycle Management)** bezeichnet den Gesamtprozess der Verwaltung eines Softwareprojekts während seines gesamten Lebenszyklus, von der Planung und Entwicklung über das Testen und die Bereitstellung bis hin zu Wartung und Support. ALM integriert Werkzeuge, Prozesse und Menschen, um die Qualität und Effizienz der Softwareentwicklung zu verbessern. Es umfasst nicht nur die Verwaltung von Quellcode und Versionen, sondern auch die Nachverfolgbarkeit von Anforderungen, die Koordination von Teams und die Automatisierung von Test- und Deployment-Prozessen. Durch ALM können Unternehmen sicherstellen, dass Softwareprojekte strukturiert und kontrolliert ablaufen, wodurch Risiken minimiert und die Markteinführungszeit verkürzt werden. **PDM (Product Data Management)** ist ein System zur zentralen Verwaltung und Organisation aller produktbezogenen Daten und Dokumente während des gesamten Lebenszyklus eines Produkts. Es ermöglicht Unternehmen, Informationen wie CAD-Modelle, Stücklisten, Spezifikationen und Änderungen in einer einheitlichen Datenbank zu speichern, zu verwalten und mit relevanten Stakeholdern zu teilen. PDM sorgt für Konsistenz und Genauigkeit der Produktdaten, verbessert die Zusammenarbeit zwischen Teams und erleichtert die Rückverfolgbarkeit von Änderungen. Durch den Einsatz von PDM können Unternehmen die Effizienz

in der Produktentwicklung steigern, Fehler reduzieren und eine bessere Kontrolle über den Produktentstehungsprozess gewährleisten.

In der Produktionsphase unterstützen **Manufacturing Execution Systems (MES)**. MES-Systeme sind Softwarewerkzeuge, die zur Überwachung, Steuerung und Optimierung von Fertigungsprozessen in Echtzeit eingesetzt werden. Sie fungieren als Bindeglied zwischen der Produktionsplanungsebene (z. B. ERP-Systeme) und der Produktionssteuerungsebene, indem sie Daten von Maschinen, Anlagen und Arbeitsabläufen sammeln und auswerten. MES-Systeme ermöglichen es, den Produktionsfortschritt zu verfolgen, die Qualität zu kontrollieren, Ressourcen effizient einzusetzen und die Transparenz über den gesamten Produktionsprozess zu erhöhen. Durch den Einsatz von MES-Systemen können Unternehmen ihre Produktionsprozesse optimieren, die Reaktionsfähigkeit auf Veränderungen verbessern und die Gesamteffizienz der Produktion steigern. Ebenfalls bedarf es in der Betriebsphase von SoS IT-Systeme, um bspw. über eine User Applikation eine direkte Schnittstelle zum Anwender zu schaffen. Eine **Benutzeranwendung** (engl. User App) ist eine Softwareanwendung, die speziell für Endbenutzer entwickelt wurde und auf verschiedenen Geräten wie Smartphones, Tablets oder Computern läuft. Diese Anwendungen bieten den Nutzern spezifische Funktionen oder Dienste, die von alltäglichen Aufgaben wie Kommunikation und Unterhaltung bis hin zu spezialisierten Anwendungen für Arbeit, Bildung oder Gesundheit reichen. User Apps sind in der Regel benutzerfreundlich gestaltet, um eine intuitive Interaktion zu ermöglichen, und können als eigenständige Anwendungen oder als Teil einer größeren Softwarelösung existieren. Sie sind aus dem digitalen Alltag nicht mehr wegzudenken und tragen zur Vernetzung und Effizienzsteigerung im privaten und beruflichen Umfeld bei. Darüber hinaus müssen Daten, die während der Betriebsphase durch Sensoren erfasst werden, vernetzt und verarbeitet werden. **IoT-Systeme** (Internet der Dinge) beziehen sich auf Netzwerke physischer Geräte, Fahrzeuge, Maschinen und anderer Objekte, die mit Sensoren, Software und Konnektivität ausgestattet sind, um Daten zu sammeln, auszutauschen und zu verarbeiten. Diese vernetzten Geräte können in Echtzeit miteinander kommunizieren, Entscheidungen treffen und Aktionen ausführen, häufig ohne menschliches Eingreifen. IoT-Systeme werden in vielen Bereichen eingesetzt, z. B. in intelligenten Häusern, in der Industrieautomatisierung, im Gesundheitswesen und in der Stadtplanung. Durch die nahtlose Integration der physischen und der digitalen Welt können Prozesse effizienter gestaltet, Ressourcen geschont und neue Dienstleistungen entwickelt werden.

2.35.3. Diskussion und Ausblick

Die definierte Engineering-IT-Bebauung für ein ganzheitliches SoS-Engineering zeigt relevante IT-Systeme entlang des Produktlebenszyklus auf. In diesem Kontext besteht weiterhin ein Forschungsbedarf in der Betrachtung der Schnittstellen zwischen den einzelnen IT-Systemen und der Schaffung von standardisierten Austauschformaten für eine effizientere Entwicklung. Insbesondere die Rückführung von Daten aus der Betriebsphase muss in den Fokus genommen werden, um verschiedenste Anwendungsfälle und Herausforderungen zu meistern. Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Integration und Interoperabilität der beiden Ansätze PLM und ALM. Während sich ALM auf den Lebenszyklus von Softwareanwendungen konzentriert und PLM auf den gesamten Lebenszyklus physischer Produkte, wird die zunehmende Verschmelzung von Software und Hardware in modernen Produkten immer relevanter. Forschungsbedarf besteht bei der Entwicklung von Methoden und Werkzeugen, die eine nahtlose Zusammenarbeit zwischen ALM und PLM ermöglichen, insbesondere in Bereichen wie Versionskontrolle, Änderungsmanagement und Qualitätssicherung. Darüber hinaus muss untersucht werden, wie digitale Zwillinge und das Internet der Dinge (IoT) in diese integrierten Systeme integriert werden können, um Datenfeedback in Echtzeit zu ermöglichen und so die Effizienz und Innovation in der Produktentwicklung weiter zu steigern.

2.36. Umsetzung der Engineering-IT

2.36.1. Einleitung

2.36.1.1. Zielsetzung

Für die Umsetzung der Engineering-IT werden zwei konzeptionelle Ansätze verfolgt: der integrative und föderative Ansatz. Beide Ansätze haben Vor- und Nachteile, die im Rahmen dieses Projekts bewertet werden. Insbesondere für die Entwicklung, Produktion und die Nutzung von SoS sind IT-Systeme von hoher Bedeutung, um die Komplexität zu managen und die Entwicklung effizient zu gestalten.

2.36.1.2. Einordnung in MoSyS

Die erarbeitete Engineering-IT-Bebauung umfasst alle IT-Systeme, welche für ein ganzheitliches SoS-Engineering relevant sind. Für eine Validierung der IT-Infrastruktur wird der Racecar-Demonstrator des Fraunhofer IEM genutzt, um die Ergebnisse aus den jeweiligen Arbeitspaketen zu validieren (siehe Bild 2-181).

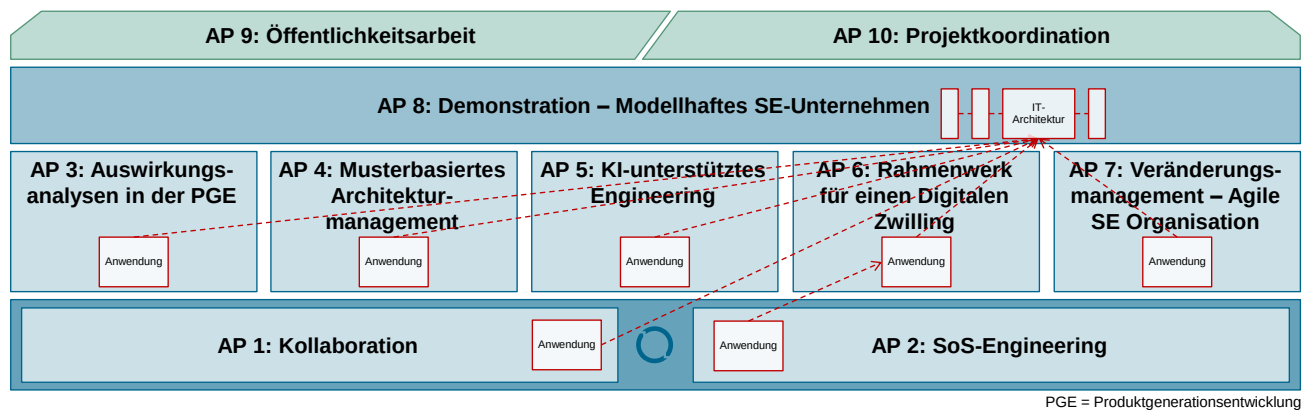


Bild 2-181: Einordnung des Wissensnuggets 2.36 in das MoSyS Projekt

2.36.1.3. Vorgehen

Der integrative Ansatz realisiert eine tiefe datentechnische Integration der beteiligten IT-Systeme und bietet damit eine inhärente Konsistenz der Engineering-IT. Üblicherweise kommen in diesem Fall IT-Systeme eines einzigen oder nur sehr weniger Tool-Vendoren zu Einsatz. Dieser wird mithilfe des Werkzeugs 3DEXPERIENCE umgesetzt. Der föderative Ansatz verwendet IT-Systeme zahlreicher Tool-Vendoren und integriert diese über Neutralformate und standardisierte Datenschnittstellen. Für beide Ansätze wird der Racecar-Demonstrator des Fraunhofer IEM verwendet.

2.36.2. Hauptteil

2.36.2.1. Definitionen

SE-Unternehmen: Das modellhafte SE-Unternehmen dient als Instrument für die Demonstration der Teilergebnisse von MoSyS. Dieser beinhaltet die Betrachtung der IT-Architektur, die Abbildung von Methoden und Leitfäden und innovativer Ansätze wie Agilität und Kollaboration.

2.36.2.2. Ergebnisse

2.36.2.2.1. Der integrative Ansatz

Der integrative Ansatz wird mit dem Werkzeug 3DEXPERIENCE der Fa. Dassault Systèmes realisiert werden. Diese IT-Lösung enthält alle erforderlichen Autoren- und Datenmanagementwerkzeuge in

einer integrierten Plattform. Für den Racecar-Demonstrator wird der Entwicklungsprozess mit den relevanten Modellen modelliert.

Der Prozess beginnt mit der Erfassung und Modellierung der Stakeholder-Anforderungen. In dieser Phase werden die Bedürfnisse und Erwartungen aller beteiligten Stakeholder wie Ingenieure, Designer und Sponsoren systematisch gesammelt. Diese Anforderungen bilden die Grundlage für alle weiteren Entwicklungsschritte und müssen daher genau dokumentiert und modelliert werden, um sicherzustellen, dass das Endprodukt den Erwartungen entspricht und sind in Bild 2-182 dargestellt.

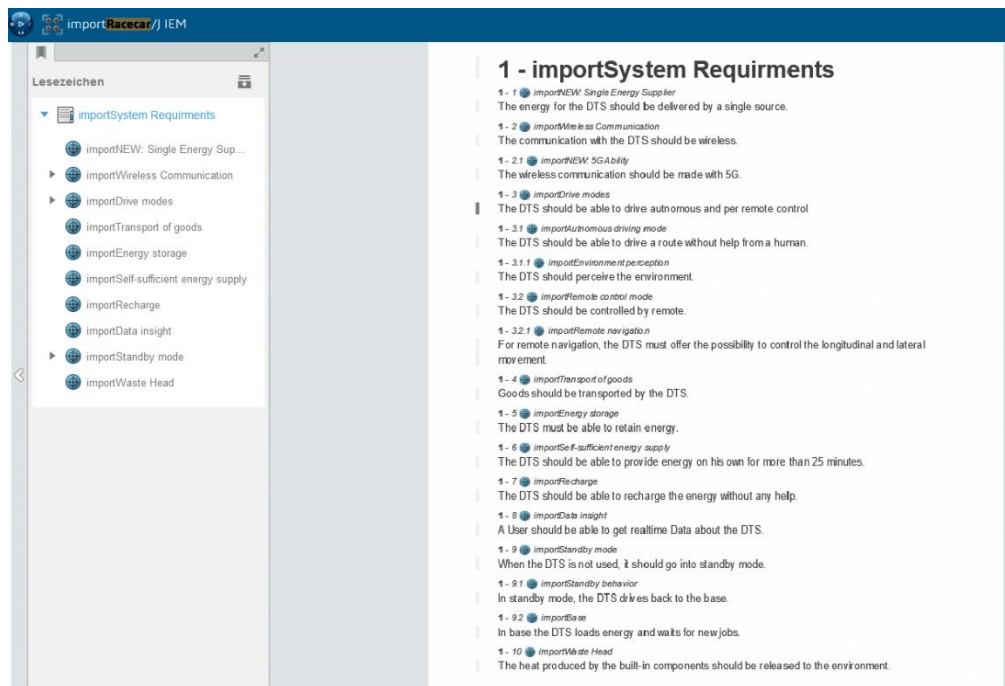


Bild 2-182: Modellierung der Systemanforderungen des Racecar-Demonstrator

Basierend auf diesen Anforderungen wird im nächsten Schritt die funktionale und logische Architektur des Rennwagen-Demonstrators entwickelt. Die funktionale Architektur beschreibt die wesentlichen Funktionen und Abläufe des Systems, indem das Gesamtsystem in einzelne funktionale Einheiten zerlegt wird. Diese Einheiten werden so organisiert, dass sie gemeinsam die geforderte Leistung erbringen. Anschließend wird die logische Architektur erstellt, die zeigt, wie diese Funktionen strukturiert und miteinander verknüpft in das System integriert werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die einzelnen Komponenten effizient zusammenarbeiten. Die funktionale und logische Architektur ist in Bild 2-183 dargestellt.

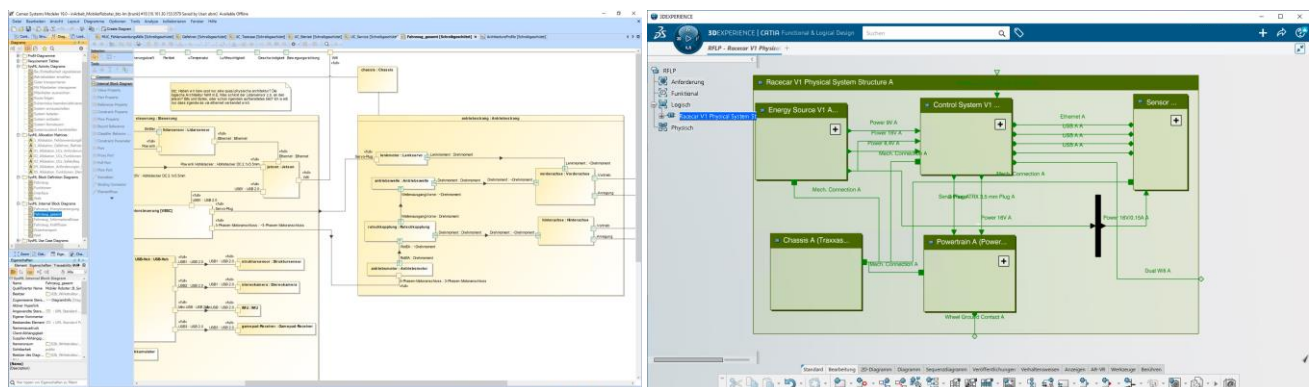


Bild 2-183: Modellierung der funktionalen und logischen Architektur des Racecar-Demonstrator

Darauf aufbauend erfolgt die 3D-Modellierung der mechanischen Komponenten des Demonstrators (vgl. Bild 2-184). In diesem Schritt werden die physischen Komponenten in einem CAD-System detailliert entworfen. Das 3D-Modell dient nicht nur der Visualisierung des Designs, sondern auch der Validierung der mechanischen Eigenschaften und der räumlichen Anordnung der Komponenten. So können potenzielle Konstruktionsfehler frühzeitig erkannt und Anpassungen vorgenommen werden, bevor das Projekt in die Produktionsphase übergeht.



Bild 2-184: 3D-Modell des Racecar-Demonstrator

Auf Basis des 3D-Modells wird schließlich die Produktionsplanung durchgeführt. In dieser Phase werden die notwendigen Fertigungsprozesse, Materialien und Ressourcen definiert. Die Produktionsplanung umfasst die Erstellung detaillierter Fertigungspläne, die Auswahl geeigneter Werkzeuge und Maschinen sowie die Festlegung von Montageabläufen. Durch die enge Verknüpfung mit dem 3D-Modell wird sichergestellt, dass die Produktion effizient und kostengünstig abläuft und gleichzeitig hohe Qualitätsstandards eingehalten werden. Die Produktionsstruktur ist in Bild 2-185 abgebildet.



Bild 2-185: Modell für die Produktionsplanung des Racecar-Demonstrator

Ein Single-Vendor-Ansatz bietet viele Vorteile für Unternehmen, die eine kohärente und effiziente Lösung anstreben. Einer der wichtigsten Vorteile ist die nahtlose Integration der verschiedenen Produkte oder Dienstleistungen, die aus einer Hand kommen und somit optimal aufeinander abgestimmt sind. Dies führt zu einer höheren Kompatibilität und Effizienz innerhalb der gesamten IT-Infrastruktur. Ein Nachteil des Single-Vendor-Ansatzes liegt in der Abhängigkeit, die ein Unternehmen von einem einzigen Anbieter entwickelt. Diese Abhängigkeit kann problematisch werden, wenn der Anbieter Preiserhöhungen durchsetzt, die Qualität seiner Produkte oder Dienstleistungen nachlässt oder der Anbieter Schwierigkeiten hat, mit der technologischen Entwicklung und den spezifischen Anforderungen des Unternehmens Schritt zu halten.

2.36.2.2.2. Der föderative Ansatz

Der föderative Ansatz verwendet IT-Systeme zahlreicher Tool-Vendoren und integriert diese über Neutralformate und standardisierte Datenschnittstellen (ReqIF, STEP, JT, FMI/FMU, REST, OSLC, XML, etc.). Der Integrationsaufwand ist beim föderativen Ansatz erheblich größer, der Vorteil liegt in einer wesentlich höheren Flexibilität. Der Schwerpunkt der Arbeiten besteht in der Spezifikation, Implementierung und Pflege der Integrationsschnittstellen.

Das Vorgehen und die aufgebauten Modelle sind die gleichen wie im integrativen Ansatz, der Unterschied beläuft sich auf die verwendeten IT-Systeme. Auch hier wurden zu Beginn die Stakeholder Needs und die darauffolgenden Anforderungen mittels Codebeamer modelliert (vgl. Bild 2-186). Zusätzlich wurde der Kontext des Racecar-Demonstrators mithilfe von iQUAVIS modelliert (vgl. Bild 2-187). Anschließend erfolgt die Erstellung der funktionalen und logischen Architektur mit dem CATIA Magic. Die Erstellung des 3D-Modells des Racecar-Demonstrators erfolgt ebenfalls mit CATIA (vgl. Bild 2-184).

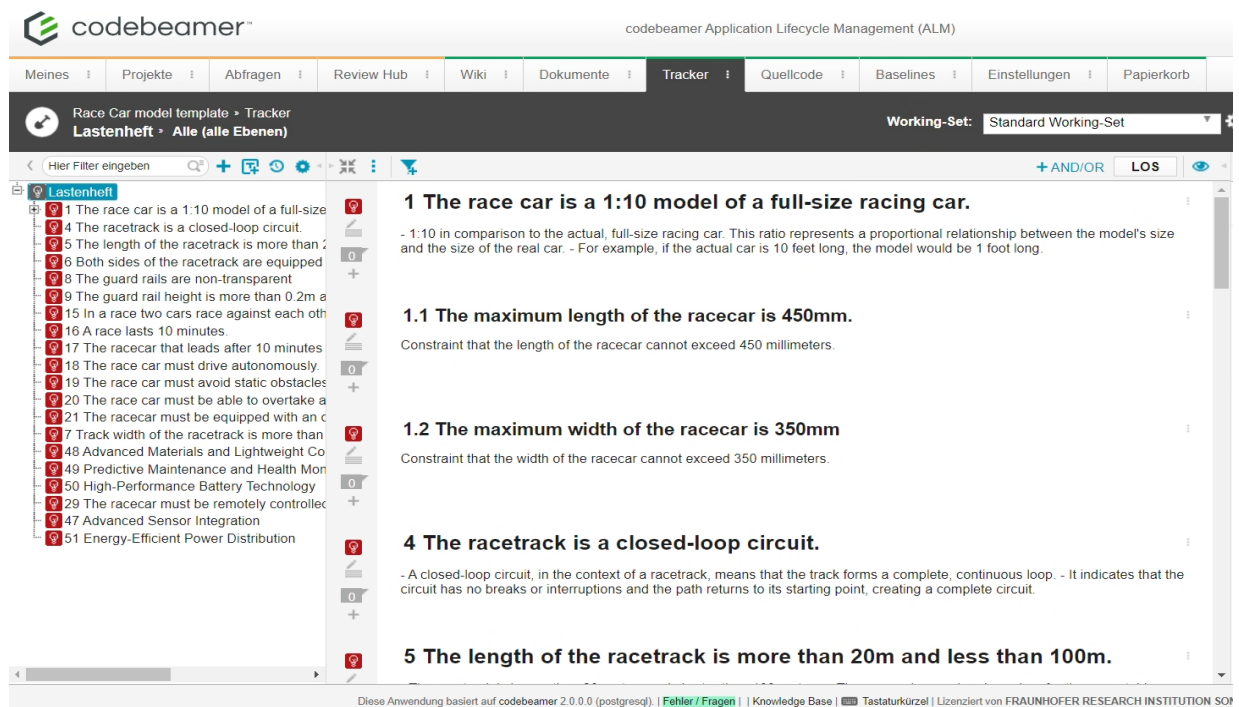


Bild 2-186: Modellierung der Anforderungen des Racecar-Demonstrators mittels Codebeamer

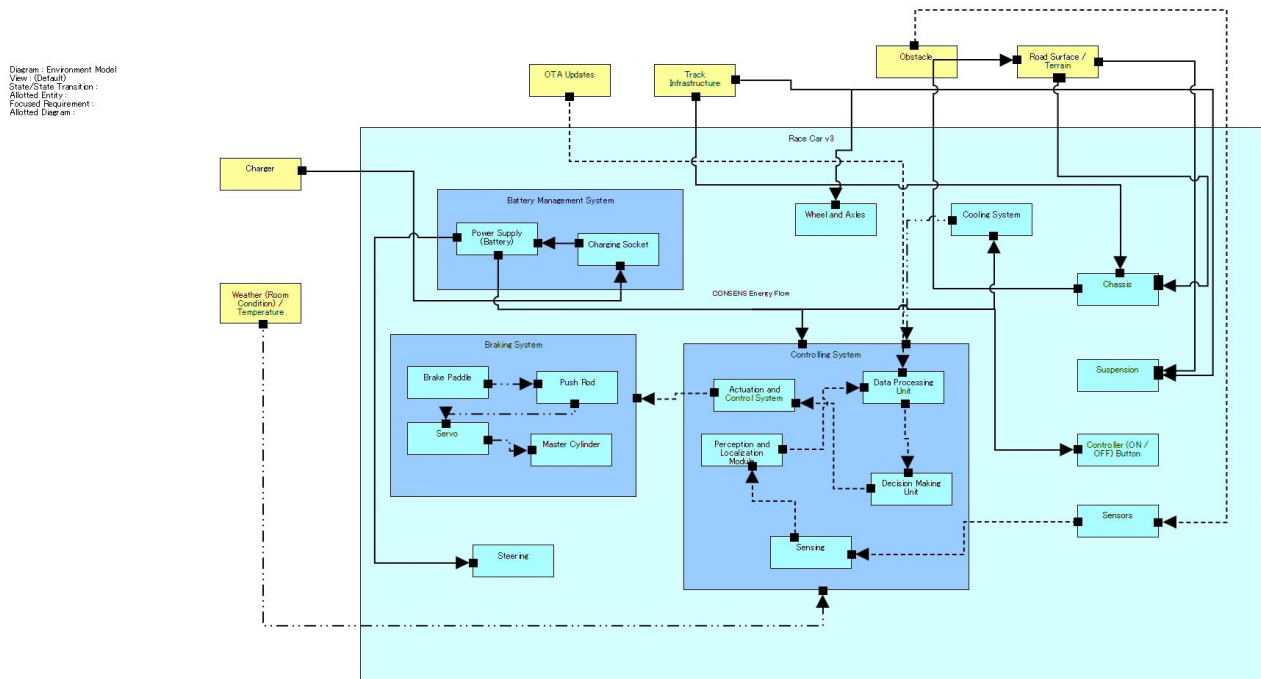


Bild 2-187: Modellierung des Kontexts des Racecar-Demonstrators

Ein Vorteil des Multi-Vendor-Ansatzes liegt in der Flexibilität und Unabhängigkeit, die ein Unternehmen dadurch gewinnt. Durch die Zusammenarbeit mit mehreren Anbietern kann ein Unternehmen die besten Lösungen auswählen und sicherstellen, dass es die fortschrittlichsten und am besten geeigneten Technologien einsetzt. Der Nachteil des Multi-Vendor-Ansatzes ist die erhöhte Komplexität bei der Verwaltung und Integration der verschiedenen Produkte und Dienstleistungen. Wenn ein Unternehmen mit mehreren Anbietern zusammenarbeitet, besteht die Herausforderung darin, sicherzustellen, dass die verschiedenen Systeme und Lösungen nahtlos zusammenarbeiten. Diese Interoperabilität ist oft schwer zu gewährleisten und kann zu Kompatibilitätsproblemen führen, die wiederum den Geschäftsbetrieb beeinträchtigen können. Darüber hinaus erfordert die Koordination mehrerer Anbieter einen erheblich höheren Verwaltungsaufwand, da das Unternehmen mit mehreren Ansprechpartnern kommunizieren und verschiedene Support-Teams koordinieren muss.

2.36.3. Diskussion und Ausblick

Die Umsetzung der Engineering-IT erfolgte anhand des Racecar-Demonstrators des Fraunhofer IEM. Die Vielzahl an IT-Systemen, die für die Entwicklung, Produktion und Nutzung komplexer SoS eingesetzt werden können, stellt Unternehmen vor die Herausforderung, die richtigen IT-Systeme auszuwählen. Darüber hinaus bieten der föderative und der integrative Ansatz den Unternehmen Vor- und Nachteile bei der Auswahl und Nutzung der IT-Systeme. Insbesondere das Kosten-Nutzen-Verhältnis beider Ansätze ist zu untersuchen. Darüber hinaus besteht Forschungsbedarf bei der Entwicklung und Etablierung standardisierter Schnittstellen zwischen den relevanten IT-Systemen, um den Datenaustausch einheitlich und effizient zu gestalten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass IT-Infrastrukturen immer unternehmensspezifisch sind und unterschiedliche Anforderungen an ein IT-System stellen.

interagierenden Systemen, die gemeinsam eine Aufgabe erfüllen. Die Hauptmerkmale von SoS sind ihre Heterogenität, Managementunabhängigkeit und Dynamik.

Unternehmensübergreifende Kommunikation

In einem SoS interagieren unterschiedliche Systeme, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Dabei müssen Systeme unterschiedlicher Hersteller zusammenarbeiten, die über die klassischen Unternehmenskooperationen hinaus gehen. Das modellbasierte Architekturmanagement ermöglicht die Komplexitätsbeherrschung und bietet eine Grundlage für die Kommunikation über Unternehmensgrenzen hinweg. Agilität bietet die Grundlage für die Änderungen der Systemgrenze und effizient zu kommunizieren und darauf zu reagieren (vgl. Bild 2-189).

Dynamische Systemgrenzen

Die dynamische Vernetzung von Systemen und die stetige Evolution des SoS hat zur Folge, dass es keine klaren Systemgrenzen gibt. So können Systemverbünde sowohl Teil von mehreren SoS sein als auch Teile eines anderen SoS umfassen. Modellbasiertes Architekturmanagement ermöglicht Komplexitätsbeherrschung während der Gestaltung von SoS. Agilität bietet die Grundlage die Änderungen der Systemgrenze schnell und effizient zu kommunizieren und darauf zu reagieren.

Dynamische Vernetzung

Die Systeme eines SoS sind dynamisch vernetzt. Dadurch kann sich die Struktur des SoS, ohne jeglichen Eingriff von außen ändern. Dazu gibt es eine gegenseitige Anhängigkeit der Systeme zu Erfüllung des SoS Ziels. Das digitale Engineering unterstützt die Erfassung, Analyse und Auswertung systembezogener Daten zur Systemoptimierung über den gesamten Lebenszyklus mit Hilfe des digitalen Zwillings.

Komplexe Systeme

Systeme, die Teil eines SoS sind, sind meistens komplexe, intelligente Produkte, Dienstleistungen oder Produktionssysteme, die sich mit weiteren Systemen vernetzen und auch interaktive soziotechnische Produkt-Service-Systeme bilden können. Das modellbasierte Architekturmanagement ermöglicht Komplexitätsbeherrschung und Durchgängigkeit in der Systementwicklung. Das digitale Engineering unterstützt die Systementwicklung mit KI-Anwendungen und der Einführung von digitalen Zwillingen.

Evolution

SoS sind langlebig und verändern sich mit der Zeit. Zum einen können sich die Funktionalitäten und Qualität ändern, zum anderen kann sich die Struktur und Zusammensetzung des SoS ändern. Agilität ermöglicht eine schnelle Anpassung einer Organisation, um auf die Evolution eines SoS angemessen zu reagieren. Modellbasiertes Architekturmanagement gewährleistet die Anpassungsfähigkeit durch Designprinzipien und die Analysefähigkeit des Umfelds.

Weitere Informationen	Link: Modellhaftes SE-Unternehmen: https://www.youtube.com/watch?v=ZeQYsC06pk8

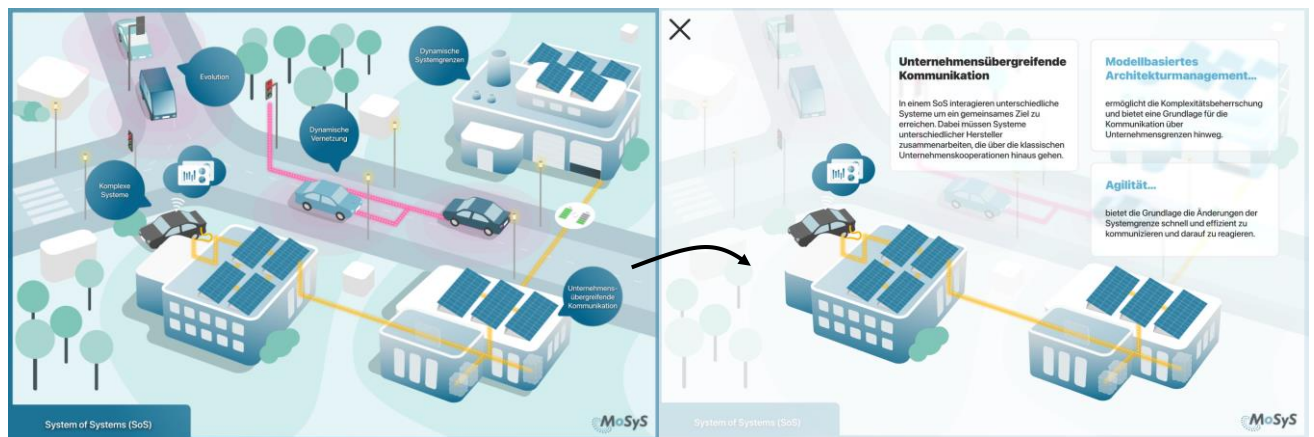


Bild 2-189: Visualisierung der Eigenschaften eines SoS anhand der unternehmensübergreifenden Kommunikation

Auf der zweiten Ebene werden die Forschungsfragen der drei Themencluster Agilität, modellbasiertes Architekturmanagement und Digital Engineering dargestellt. Diese werden anschließend visualisiert und durch die Ergebnisse der Arbeitspakete beantwortet. Eine beispielhafte Darstellung des Transfer-Demonstrators anhand des modellbasierten Architekturmanagements ist in Bild 2-190 dargestellt. Die Forschungsfrage „Wie kann vorhandenes Lösungswissen generationsübergreifend bei der Produktentstehung nutzbar gemacht werden?“ wird durch die Erarbeitung einer Vorgehensweise zur Entwicklung einer Systemreferenzarchitektur und eines definierten Lösungskatalogs beantwortet.



Bild 2-190: Darstellung der Forschungsfragen und der folgenden Ergebnisse anhand des modellbasierten Architekturmanagements

Weitere Informationen	Link: Transfer-Demonstrator: https://xd.adobe.com/view/99d3ac56-0cd9-4908-a4bc-2d4fdf481103-cc80/

2.37.3. Diskussion und Ausblick

Der Transfer-Demonstrator unterstützt den Wissenstransfer der Ergebnisse des MoSyS-Projekts. Auf einer abstrakten Ebene werden die erzielten Ergebnisse dargestellt. Das interaktive Format des Transfer-Demonstrators ermöglicht es den Nutzern, die Ergebnisse zu visualisieren und sich einen guten Überblick über die Projektinhalte zu verschaffen. Für eine Erweiterung des Demonstrators ist die Integration von unternehmensspezifischen Best Practices sinnvoll. Darüber hinaus kann die In-

tegration von Links und erstellten Modellen einen hohen Mehrwert für den Transferdemonstrator bieten. Der Demonstrator soll zukünftig dazu dienen, die drei großen Themenfelder des MoSyS-Projekts verständlich zu vermitteln und auf Basis der Ergebnisse weiteren Forschungsbedarf zu identifizieren.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Das Forschungsprojekt MoSyS hat durch die Entwicklung und Implementierung umfassender Methoden und Werkzeuge zur Gestaltung komplexer System of Systems (SoS) wesentliche Fortschritte in der modellbasierten Systementwicklung erzielt. Im Mittelpunkt stand dabei die menschenorientierte Gestaltung, die Agilität und Kollaboration in den Entwicklungsprozessen, das modellbasierte System-of-Systems Architekturmanagement, sowie das Digital Engineering. Die im Rahmen des Projekts entwickelten MoSyS Wissensnuggets bieten eine wertvolle Sammlung praxisorientierter Leitfäden und Methoden, die direkt in der Industrie Anwendung finden können.

Diese Wissensnuggets umfassen eine breite Palette an Themen, darunter die Operationalisierung von Agilität, die Entwicklung eines agilen Kommunikationskonzepts, die Gestaltung eines umfassenden Architekturmanagements und die Erarbeitung eines Rahmenwerks für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Systementwicklung. Ebenso wurden fundierte Konzepte für die Implementierung von Digitalen Zwillingen und die Gestaltung agiler Systeme entwickelt.

Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass durch eine konsequente Integration von Agilität und modellbasiertem Systems Engineering (MBSE) nicht nur technologische Innovationen gefördert, sondern auch die Zusammenarbeit und Entscheidungsfindung innerhalb von Entwicklungsprojekten signifikant verbessert werden können. Die erarbeiteten Methoden und Werkzeuge ermöglichen es Unternehmen, schneller auf Veränderungen zu reagieren und komplexe Systeme effizienter zu gestalten.

Aufbauend auf den Ergebnissen von MoSyS ergeben sich vielfältige Ansätze für zukünftige Forschungsvorhaben. Eine zentrale Fragestellung wird sein, wie die entwickelten Methoden zur Agilität und Kollaboration noch weiter optimiert und auf andere Anwendungsbereiche übertragen werden können. Insbesondere die Schnittstelle zwischen Menschen und KI bietet großes Potenzial für weitere Untersuchungen. Hier könnte in Zukunft der Fokus darauf liegen, wie KI-gestützte Anwendungen noch stärker in den Entwicklungsprozess integriert werden können, um sowohl Routineaufgaben zu automatisieren als auch kreative Prozesse zu unterstützen.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt könnte die Weiterentwicklung des Digitalen Zwillings sein. Hier gilt es, die entwickelten Informationsmodelle und Leitfäden weiter zu verfeinern und ihre Anwendung in realen Unternehmensumgebungen zu evaluieren. Darüber hinaus könnten zukünftige Projekte untersuchen, wie die Synergien zwischen den verschiedenen Wissensnuggets, wie z.B. dem musterbasierten Architekturmanagement und dem agilen Systems Engineering, noch effektiver genutzt werden können.

Langfristig könnte es auch darum gehen, ein umfassendes, branchenübergreifendes Referenzmodell für das Engineering komplexer SoS zu entwickeln, das Unternehmen jeglicher Größe dabei unterstützt, die Herausforderungen der Digitalisierung und zunehmenden Systemkomplexität zu bewältigen.

Die im Projekt erarbeiteten Grundlagen legen somit den Grundstein für weitere innovative Ansätze im Bereich der Systementwicklung und bieten eine solide Basis für zukünftige Forschungsvorhaben, die die Transformation der Industrie hin zu agilen, digitalen und menschenorientierten Prozessen weiter vorantreiben.

4. Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei allen Beteiligten, die zum Erfolg des Forschungsprojekts MoSyS beigetragen haben. Unser besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Unterstützung und die Möglichkeit, dieses zukunftsweisende Projekt im Rahmen der Fördermaßnahme "Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme" durchführen zu können.

Ebenso danken wir allen Partnern des Projektkonsortiums, deren Engagement und Expertise maßgeblich zum Gelingen von MoSyS beigetragen haben. Ihr unermüdlicher Einsatz in den verschiedenen Phasen des Projekts, von der Konzeption bis zur Implementierung, war von unschätzbarem Wert.

Ein besonderer Dank gilt auch dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die hervorragende Unterstützung und Betreuung während der gesamten Projektlaufzeit. Durch ihre kontinuierliche Beratung und Begleitung haben sie maßgeblich dazu beigetragen, dass das Projekt zielgerichtet und erfolgreich durchgeführt werden konnte.

Wir möchten auch den assoziierten Partnern und externen Beratern danken, die durch ihre konstruktive Kritik und wertvollen Anregungen die Qualität unserer Arbeit entscheidend mitgeprägt haben. Ihre Praxisorientierung und Einblicke in unterschiedliche Branchenperspektiven haben uns geholfen, unsere Forschungsansätze zu verfeinern und praxisnahe Lösungen zu entwickeln.

Nicht zuletzt möchten wir uns bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der beteiligten Institute und Unternehmen bedanken. Ihr Engagement, ihre Kreativität und ihr Durchhaltevermögen haben dieses Projekt erst möglich gemacht. Ohne ihre tatkräftige Unterstützung wäre MoSyS nicht das erfolgreiche Projekt geworden, das es heute ist.

Wir sind stolz auf das Erreichte und sehen die Ergebnisse von MoSyS als wertvollen Beitrag zur Weiterentwicklung des Systems Engineerings und zur Gestaltung zukunftsfähiger, menschenorientierter Technologien.