

Niklas Nösel

Prozesse unter der Lupe

**Best Practices zur datengestützten Analyse und Optimierung
der Prüfung zur Technischen Sauberkeit im Automobilbau**



Vorwort zur Nachveröffentlichung

Die vorliegende Publikation basiert auf einer im April 2025 an der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) eingereichten Masterarbeit zur Erlangung des Grades Master of Engineering (M.Eng.) im Studiengang Produktionsoptimierung. Die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit erfolgte durch Prof. Dr.-Ing. Torsten Merkel und Prof. Dr. rer. pol. Christoph Laroque.

Die Arbeit entstand im Rahmen einer Kooperation mit der LINAMAR Antriebstechnik GmbH (LAT) und befasste sich mit der Prozessanalyse und -optimierung der Prüfung zur Technischen Sauberkeit (TechSa). Im Mittelpunkt standen dabei die Prozessmodellierung mittels erweiterter ereignisgesteuerter Prozessketten (eEPK) und Swimlane-Diagrammen, die Methoden des Arbeitsstudiums (REFA-Methodenlehre) sowie die Entwicklung statistischer Prognosemodelle zur Kapazitätsplanung.

Die Entscheidung für eine Nachveröffentlichung auf dem Publikationsserver LIBDOC resultiert aus der anhaltenden Praxisrelevanz der Thematik: Die Technische Sauberkeit gewinnt im Zuge der Elektromobilitätswende – insbesondere durch die gestiegenen Reinheitsanforderungen an Bauteile elektrischer Antriebssysteme – weiter an strategischer Bedeutung. Gleichzeitig mangelt es in der Fachliteratur an praxisnahen, methodisch strukturierten Leitfäden, die den gesamten Analyseprozess von der Prozessaufnahme bis zur Prognosemodellierung abbilden.

Die Originalfassung der Masterarbeit unterliegt einem Sperrvermerk, da sie betriebsinterne Prozess- und Kapazitätsdaten enthält. Für die vorliegende Veröffentlichungsfassung wurden in enger Abstimmung mit dem ehemaligen Auftraggeber, LAT (vertreten durch den Quality Manager), gezielte Anonymisierungs- und Abstraktionsmaßnahmen vorgenommen. Diese umfassen die Entfernung aller konkreten Zeitdaten, Prognoseformeln, Prozessmodelle und Klarnamen sowie die Abstraktion betriebspezifischer Schwachstellenanalysen. Die Grundlage hierfür bildet eine schriftliche Freigabegenehmigung des Auftraggebers, die dieser Publikation als Anhang ([Anl. 1](#)) beigelegt ist. Der Sperrvermerk gilt ausschließlich für die Originalfassung und wird durch diese Veröffentlichung nicht aufgehoben.

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, die erarbeitete Methodik als „*Methodischen Leitfaden für TechSa-Prüfprozessanalysen*“ einem breiteren Fachpublikum aus Wissenschaft und Praxis zugänglich zu machen. Der Fokus liegt dabei bewusst auf der theoretischen Konzeption und der schrittweisen, reproduzierbaren Anwendung der Methodik im Automotive-Umfeld – im Sinne von Best Practices – und nicht auf der Darstellung unternehmensspezifischer Ergebnisse. Durch die Vergabe einer DOI wird die Arbeit dauerhaft zitierfähig.

Im Anhang dieser Publikation findet sich darüber hinaus ein Evaluationsbogen, der dem ehemaligen Auftraggeber im Nachgang der Masterarbeit zur Bewertung der umgesetzten Maßnahmen und der angewandten Methodik übergeben wurde ([Anl. 7](#)). Dieser Bogen ist kein Bestandteil der ursprünglichen Masterarbeit und wurde nachträglich im Rahmen der Aufbereitung für diese Veröffentlichung ergänzt. Er dient der Dokumentation einer praxisseitigen Rückmeldung und hat keinen Einfluss auf die Bewertung der wissenschaftlichen Arbeit. Eine kritische Würdigung der Evaluationsergebnisse ist der Arbeit ebenso angehängen ([Anl. 8](#)).

Es folgt daher eine überarbeitete Version der Masterarbeit mit dem Titel:

*„Prozessanalyse und -optimierung der Prüfung Technischer Sauberkeit im Automobilbau mittels Prozessmodellierung, Arbeitsstudium und Datenanalyse: Eine Fallstudie im Restschmutzlabor der LINAMAR Antriebstechnik GmbH“.*¹

Zwickau, den 27. Juni 2026

Niklas Nösel

www.doi.org/10.34806/whz-0087

¹ Der Arbeitstitel wurde im Zuge formaler Belange später eingekürzt zu „Optimierung des Prüfprozesses zur Technischen Sauberkeit in einem Unternehmen der Automobilbranche“.

**Prozessanalyse und -optimierung
der Prüfung Technischer Sauberkeit im
Automobilbau mittels Prozessmodellierung,
Arbeitsstudium und Datenanalyse:**

**Eine Fallstudie im Restschmutzlabor
der LINAMAR Antriebstechnik GmbH**

Niklas Nösel
04416 Markkleeberg
20. April 2025

Westsächsische Hochschule Zwickau
Fakultät für Automobil- und Maschinenbau
Institut für Produktionstechnik

Abstract zur öffentlich zugänglichen Fassung der Masterarbeit:

„Prozessanalyse und -optimierung der Prüfung Technischer Sauberkeit im Automobilbau mittels Prozessmodellierung, Arbeitsstudium und Datenanalyse:
Eine Fallstudie im Restschmutzlabor der LINAMAR Antriebstechnik GmbH“

Abstract (deutsch)

Die Prüfung der Technischen Sauberkeit stellt in der Automobilindustrie einen wesentlichen Bestandteil der Qualitätssicherung dar. Gleichzeitig sind die zugehörigen Prüfprozesse häufig durch hohe manuelle Aufwände, komplexe Abläufe und unzureichend standardisierte Planungsgrundlagen gekennzeichnet. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines methodischen Leitfadens zur systematischen Analyse, Bewertung und Optimierung industrieller Prüfprozesse zur Technischen Sauberkeit.

Hierzu werden Methoden des Qualitätsmanagements, Prozessmanagements und der Arbeitswissenschaft zu einem ganzheitlichen Vorgehensmodell kombiniert. Der Leitfaden umfasst die strukturierte Erfassung und Modellierung bestehender Prozesse mittels geeigneter Methoden der Prozessmodellierung (z. B. ereignisgesteuerte Prozessketten und Swimlane-Darstellungen), die Durchführung eines REFA-basierten Arbeitsstudiums zur Ermittlung von Zeitanteilen und Vorgabezeiten sowie die Analyse von Störgrößen, Stillstandszeiten und weiteren nicht wertschöpfenden Prozessbestandteilen. Ergänzend werden Risiken hinsichtlich der Belastbarkeit von Planungsdaten bewertet und Optimierungspotentiale systematisch identifiziert.

Die Anwendbarkeit des entwickelten Vorgehens wird anhand eines industriellen Prüfprozesses im Umfeld der Technischen Sauberkeit exemplarisch demonstriert. Dabei werden betriebliche Besonderheiten einer durchgeführten Fallstudie bei der LINAMAR Antriebstechnik GmbH abstrahiert und die gewonnenen Erkenntnisse in allgemein gültige Handlungsempfehlungen überführt. Das Ergebnis ist ein praxisorientierter Best-Practice-Leitfaden, der Unternehmen bei der Standardisierung, Bewertung und kontinuierlichen Verbesserung von Prüfprozessen unterstützt.

Die Arbeit leistet einen Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung der Prozessanalyse im industriellen Qualitätswesen und schafft eine Grundlage für effizientere und besser planbare Prüfprozesse im Bereich der Technischen Sauberkeit.

Schlagwörter:

Qualitätsmanagement, Technische Sauberkeit,
Prozessmanagement, Prozessmodellierung, Prozessoptimierung,
Arbeitsstudium, Zeitstudie, REFA-Methodenlehre

Abstract (English)

Technical cleanliness inspection represents a key component of quality assurance in the automotive industry. At the same time, related inspection processes are often characterized by high levels of manual effort, complex workflows, and insufficiently standardized planning foundations. The objective of this work is the development of a methodological guideline for the systematic analysis, evaluation, and optimization of industrial technical cleanliness checks.

To this end, methods from quality management, process management, and industrial engineering are combined into an integrated methodological framework. The guideline includes the structured capture and modelling of existing processes using suitable process modelling techniques (e.g. event-driven process chains and swimlane diagrams), the application of a REFA-based work study for the determination of time shares and standard times, as well as the analysis of non-value-adding elements such as disturbances, idle times, and other inefficiencies. In addition, risks related to the reliability of planning data are assessed and optimization potentials are systematically identified.

The applicability of the developed approach is demonstrated using an industrial inspection process in the field of technical cleanliness. In doing so, organizational specifics of a case study conducted at LINAMAR Antriebstechnik GmbH are abstracted and the findings are translated into generally applicable best-practice recommendations. The result is a practice-oriented guideline that supports companies in the standardization, evaluation, and continuous improvement of inspection processes.

This work contributes to the methodological advancement of process analysis in industrial quality management and provides a basis for more efficient and better-planned inspection processes in the field of technical cleanliness.

Keywords:

Quality Management, Technical Cleanliness,
Process Management, Business Process Modeling, Process Optimization,
Work Study, Time Study, REFA Methodology

Anmerkung zur aktuellen Sprachdebatte

Die aktuell vorherrschende Sprach- bzw. Genderdebatte bezieht sich auf die Diskussionen und Auseinandersetzungen um Geschlechtergerechtigkeit und Vielfalt in der Gesellschaft. Ziel ist es, Menschen gleiche Rechte und Chancen einräumen zu können, ganz unabhängig von Geschlecht und sexueller Orientierung.

Um niemanden in der Genderdebatte zu vernachlässigen, wurde sich mit dem Thema auseinandergesetzt und bemüht, alle Geschlechter und sexuellen Identitäten angemessen zu berücksichtigen.

In dieser Arbeit wird jedoch, aus Gründen der besseren Lesbarkeit, das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mit gemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	X
Formelverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 Thematische Einordnung	1
1.2 Ausgangssituation und Problemstellung	2
1.3 Zielstellung	2
1.4 Motivation	4
1.5 Vorgehensweise und Aufbau	5
2 Theoretische Grundlagen	8
2.1 Relevanz theoretischer Grundlagen.....	8
2.2 Qualitätsmanagement	8
2.2.1 Qualitätsmanagement im Kontext dieser Arbeit	8
2.2.2 Grundlagen des Qualitätsmanagements	8
2.2.2.1 Begriffliche Definition von Qualitätsmanagement	8
2.2.2.2 Ziele und Bedeutung von Qualitätsmanagement	11
2.2.2.3 Teilbereiche von Qualitätsmanagement	11
2.2.3 Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie.....	13
2.2.3.1 Spezifische Anforderungen in der Automobilindustrie	13
2.2.3.2 Methodenlehre in der Automobilindustrie	15
2.2.3.3 Standards und Normen in der Automobilindustrie	17
2.2.4 Prüfung der Technischen Sauberkeit (TechSa)	18
2.2.4.1 Begriffliche Herkunft von TechSa	18
2.2.4.2 Ziele und Bedeutung von TechSa	19
2.2.4.3 Standardprozedur und Ergebnisgrößen von TechSa	20
2.3 Prozessmanagement	22
2.3.1 Prozessmanagement im Kontext dieser Arbeit	22
2.3.2 Grundlagen des Prozessmanagements	22
2.3.2.1 Historische Entwicklung von Prozessmanagement	22
2.3.2.2 Grundbegriffe im Prozessmanagement	24
2.3.2.3 Ziele und Teilbereiche von Prozessmanagement	27
2.3.3 Abgrenzung – Management, Modellierung und Optimierung	28
2.3.4 Methoden der Prozessmodellierung	29

2.3.4.1	Grundsätze der Prozessmodellierung	29
2.3.4.2	Arten von Prozessmodellierungskonzepten	30
2.3.4.3	Prozessmodellierungsverfahren	33
2.3.5	Prozessoptimierungsmethoden	36
2.3.5.1	Optimierung als Teilbereich von Prozessmanagement	36
2.3.5.2	Ziele der Prozessoptimierung	37
2.3.5.3	Business Process Reengineering und Kaizen	39
2.3.5.4	Grundlegende Ansätze der Prozessoptimierung	40
2.4	Arbeitswissenschaft	42
2.4.1	Arbeitswissenschaft im Kontext dieser Arbeit	42
2.4.2	Einführung in die Arbeitswissenschaft	43
2.4.2.1	Historische Entwicklung von Arbeitswissenschaft	43
2.4.2.2	Grundbegriffe der Arbeitswissenschaft	44
2.4.2.3	Ziele und Teilbereiche der Arbeitswissenschaft	46
2.4.3	Arbeitsökonomie	50
2.4.3.1	Arbeitsökonomie im Kontext dieser Arbeit	50
2.4.3.2	Prinzipien der Arbeitsökonomie	51
2.4.3.3	Bedeutung und Aufgaben der Zeitwirtschaft	52
2.4.4	Arbeitsstudium	53
2.4.4.1	Inhaltlicher Rahmen des Arbeitsstudiums	53
2.4.4.2	Verwendungsbereiche von Zeitdaten	54
2.4.4.3	Methoden der Zeitdatenermittlung	55
2.5	Zusammenfassung der Erkenntnisse	58
3	Untersuchungsgegenstand	60
3.1	Inhalte des Untersuchungsgegenstandes	60
3.2	Betriebliches Umfeld	60
3.2.1	LINAMAR Corporation	60
3.2.2	LINAMAR Antriebstechnik GmbH	61
3.3	TechSa-Prüfprozess in der Praxis	62
3.3.1	Normativer Rahmen und mitgeltende Vorschriften	62
3.3.2	Arbeitsgrundlagen	62
3.3.2.1	Arbeitsort	63
3.3.2.2	Arbeitsmittel	63
3.4	Projektmanagement des Vorhabens	65
3.4.1	Projektlebenszyklus	66
3.4.2	Geltungsbereich	67

4	Prozessmodellierung.....	70
4.1	Vorgehensweise zur Prozessmodellierung	70
4.2	Prozessbeschreibung.....	71
4.2.1	Prozesseigner.....	71
4.2.2	Ausgangsbedingungen.....	71
4.2.3	Gesamtablauf in der Phasenbetrachtung.....	72
4.2.3.1	Beprobungsvorbereitung	72
4.2.3.2	Sonderprüfungen	73
4.2.3.3	Prüfteilvorbereitung.....	74
4.2.3.4	Beprobung	74
4.2.3.5	Prüfteilnachbereitung	75
4.2.3.6	Analyse	76
4.2.4	Differenzierung von Betrachtungsebenen	77
4.2.4.1	Zweck der Differenzierung von Betrachtungsebenen.....	77
4.2.4.2	Definition von Betrachtungsebenen.....	77
4.2.4.3	Zuordnung von Ablaufabschnitten	78
4.3	Auswahl eines Modellierungsverfahrens.....	80
4.3.1	Wesentliche Prozesscharakteristik.....	80
4.3.2	Bestimmung von Prozessmodellierungsverfahren	80
4.4	Prozessmodellierung.....	83
4.4.1	EEPK-Modellierung von Teilabläufen.....	83
4.4.2	Swimlane-Modellierung von Ablaufstufen	84
4.5	Definition von Start- und Endzeitpunkten.....	86
5	Arbeitsstudium.....	88
5.1	Vorgehensweise beim Arbeitsstudium	88
5.2	Anforderungsrahmen.....	88
5.3	Auswahl eines Zeitdatenerhebungsverfahrens	90
5.3.1	Wesentliche Entscheidungskriterien	90
5.3.2	Bestimmung von Zeitdatenerhebungsverfahren	91
5.4	Zeitdatenerhebung	99
5.4.1	Vorgehensweise zur Zeitdatenerhebung.....	99
5.4.2	Zeitstudie vorbereiten	100
5.4.2.1	Offene Punkte zur Vorbereitung der REFA-Zeitstudie	100
5.4.2.2	Beteiligte informieren	101
5.4.2.3	Messpunkte und Zeitmessmethode festlegen	101
5.4.2.4	Bezugsmengen und Einflussgrößen erfassen	104

5.4.2.5	Umfang und zeitliche Lage der Zeitstudie festlegen.....	105
5.4.2.6	Zeitmessgerät auswählen.....	107
5.4.2.7	Datendokumentation vorbereiten.....	111
5.4.3	Zeitstudie durchführen.....	119
5.5	Zeitdatenanalyse	121
5.5.1	Bestimmung einer konkreten Datenanalyselogik	121
5.5.2	Clusterauswertung.....	123
5.5.2.1	Auswertung von Einzelaufnahmen	123
5.5.2.2	Auswertung von Störeinflüssen nach Cluster	124
5.5.2.3	Statistische Sicherheit einzelner Cluster	125
5.5.2.4	Auswertung der Tätigkeitsstruktur einzelner Cluster	131
5.5.2.5	Ableitung regelbasierter Plankapazitäten einzelner Cluster	133
5.5.3	Gesamtauswertung	134
5.5.3.1	Soll-Zeiten-Definition in der Gesamtauswertung	134
5.5.3.2	Statistische Sicherheit in der Gesamtauswertung	137
5.5.3.3	Regressionsanalyse zur Kalkulation von Neuprojekten	145
5.5.3.4	Aufstellen von Prognosemodellen	150
5.5.3.5	Analyse von Stillstandszeiten	152
5.5.3.6	Ableitung von REFA-Planzeitbausteinen.....	154
5.5.3.7	Auswertung von Störeinflüssen in der Gesamtauswertung.....	157
5.5.3.8	Handlungsempfehlungen zur Prozessoptimierung.....	163
6	Fazit	165
6.1	Zusammenfassung der Erkenntnisse.....	165
6.2	Zielerreichung und Hypothesenbewertung	166
6.2.1	Meilensteinbetrachtung	166
6.2.2	Bewertung von Hypothese 1	169
6.2.3	Bewertung von Hypothese 2	169
6.2.4	Bewertung von Hypothese 3	170
6.3	Ausblick	171
6.3.1	Weiterer Umgang mit den Arbeitsergebnissen.....	171
6.3.2	Weitere Perspektive der Prozessplanung im Qualitätswesen.....	171
6.4	Danksagung	175
	Literaturverzeichnis	176
	Anlagenverzeichnis.....	189
	Autorenbiografie.....	226

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Megatrends der Zukunft.....	1
Abbildung 2	Methodische Struktur dieser Arbeit.....	7
Abbildung 3	Veranschaulichung des Fachbegriffs Qualität als Ermittlungsergebnis.....	9
Abbildung 4	Magisches Dreieck.....	11
Abbildung 5	Zehnerregel der Fehlerkosten nach Daimler Benz.....	14
Abbildung 6	Gegenüberstellung der Qualitätskostenmodelle.....	15
Abbildung 7	Entwicklung branchenspezifischer QMS-Normen im Automobilbau.....	18
Abbildung 8	TechSa-Prüfprozedur und Ergebnisgrößen nach VDA 19.1.....	21
Abbildung 9	Entwicklungsphasen des Prozessmanagements.....	23
Abbildung 10	Einordnung der Begrifflichkeit „Geschäftsprozess“.....	25
Abbildung 11	Ziele und Ebenen von Prozessmanagement (Teilbereiche).....	28
Abbildung 12	Einteilung von Prozessmodellierungsverfahren.....	33
Abbildung 13	Auswahl an Prozessmodellierungsmethoden.....	35
Abbildung 14	Vorgehensweise zur Geschäftsprozessoptimierung (nach Schwab).....	37
Abbildung 15	Minimal- und Maximalprinzip.....	37
Abbildung 16	Ansätze zur Prozessoptimierung in der industriellen Produktion.....	38
Abbildung 17	Business Process Reengineering und Kaizen.....	40
Abbildung 18	Grundlegende Ansätze der Prozessoptimierung.....	41
Abbildung 19	Nutz-, Stütz-, Blind- und Fehlprozess in der Prozessoptimierung.....	42
Abbildung 20	Entwicklungsphasen der Arbeitswissenschaft.....	44
Abbildung 21	MTO-Konzept nach Strohm und Ulich.....	47
Abbildung 22	Arbeitssystem nach Schlick, Bruder und Luczak.....	47
Abbildung 23	Betrachtungsebenen der Arbeitswissenschaft (angepasst).....	48
Abbildung 24	Verortung der vorliegenden Arbeit in der Arbeitswissenschaft.....	53
Abbildung 25	Inhaltliche Schwerpunkte des Arbeitsstudium.....	54
Abbildung 26	Methoden der Zeitdatenermittlung (nach REFA).....	58
Abbildung 27	Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen dieser Arbeit.....	59
Abbildung 28	LINAMAR Produktionsnetzwerk weltweit (Stand: 02/2024).....	61
Abbildung 29	Arbeitsgrundlagen zur Durchführung einer RSA mit Flüssigextraktion.....	65
Abbildung 30	Projektphasen nach DIN 69901.....	66
Abbildung 31	Exemplarische Logik zur Definition eines Geltungsbereichs.....	69
Abbildung 32	Standardvorgehensweise zur Prozessmodellierung.....	71
Abbildung 33	Referenz Tätigkeiten bei der Beprobungsvorbereitung.....	72
Abbildung 34	Referenz Tätigkeiten zu Sonderprüfungen.....	73
Abbildung 35	Referenz Tätigkeiten bei der Prüfteilvorbereitung.....	74
Abbildung 36	Referenz Tätigkeiten bei der Flüssigbeprobung.....	75
Abbildung 37	Referenz Tätigkeiten bei der Analyse.....	76
Abbildung 38	Betrachtungsebenen von Prozessen nach REFA.....	77
Abbildung 39	Ergebnis der Verfahrensauswahl zur Prozessmodellierung.....	82
Abbildung 40	EEPK-Modellierung von Teilabläufen.....	83
Abbildung 41	Swimlane-Modellierung.....	84
Abbildung 42	Beprobung und Analyse als Swimlane-Modellierung.....	85
Abbildung 43	Zielkonflikt des Detaillierungsgrades bei Prozessbetrachtungen.....	87
Abbildung 44	Vorgehensweise beim Arbeitsstudium in dieser Arbeit.....	88
Abbildung 45	Methoden der Ist-Zeiten-Erhebung.....	92

Abbildung 46	Methoden der Soll-Zeiten-Definition.....	94
Abbildung 47	Grundphilosophien Prozessbetrachtung	95
Abbildung 48	Methoden der Stichprobennahme und -auswertung.....	96
Abbildung 49	Ablauf der REFA-Standard-Zeitstudie.....	100
Abbildung 50	Messpunkte in der REFA-Zeitstudie.....	102
Abbildung 51	Messpunkte in der REFA-Zeitstudie.....	105
Abbildung 52	Stoppuhr-Interface „WebUhr.de“.....	108
Abbildung 53	REFA-Leistungsgrad und -beurteilung.....	115
Abbildung 54	Zusammenhang der REFA-Zeitarten.....	117
Abbildung 55	Individuelles Aufnahmeprotokoll.....	118
Abbildung 56	Fortschrittsüberwachung der Datenerhebung.....	120
Abbildung 57	Referenz-Analyselogik zum Arbeitsstudium.....	123
Abbildung 58	Ergebnisübersicht zur Auswertung von Einzelaufnahmen.....	124
Abbildung 59	Tätigkeitsstrukturdiagramm zur Auswertung von Einzelaufnahmen.....	124
Abbildung 60	Ishikawa-Diagramm zur Störgrößenauswertung nach Cluster.....	125
Abbildung 61	Darstellung der statistischen Aussagekraft einer Stichprobe.....	129
Abbildung 62	Korrelationsanalyse zur Arbeit mit korrigierten Daten.....	131
Abbildung 63	Tätigkeitsstrukturdiagramm zur Clusterauswertung.....	132
Abbildung 64	Tätigkeitsstrukturkomposition zur Clusterauswertung.....	133
Abbildung 65	Darstellung regelbasierter Plankapazitäten.....	134
Abbildung 66	Soll-Zeiten-Definition in der Gesamtauswertung.....	137
Abbildung 67	Rohdatenaufbereitung zur Plandatenbewertung.....	141
Abbildung 68	Datengrundlage zur Plandatenbewertung.....	142
Abbildung 69	Lagebewertung zur Plandatenbewertung.....	143
Abbildung 70	Streubewertung zur Plandatenbewertung.....	144
Abbildung 71	Kombinierte Indexbewertung zur Plandatensicherheit.....	145
Abbildung 72	Ausreißeridentifikation per IQR-Methode zur Regressionsanalyse.....	148
Abbildung 73	Ergebnisse der Regressionsanalyse.....	149
Abbildung 74	Prognosemodellierung als Swimlane.....	151
Abbildung 75	Datenaufbereitung zur Prognosemodellierung als Liniendiagramm.....	151
Abbildung 76	Prognosemodellierung als Liniendiagramm.....	152
Abbildung 77	Tätigkeitsstrukturkomposition über alle erhobenen Daten.....	153
Abbildung 78	Absolute Wartezeitenanalyse.....	154
Abbildung 79	REFA-Planzeitenbausteine für Ablaufstufen (t_t).....	155
Abbildung 80	REFA-Planzeitenbausteine für Teilabläufe (t_g).....	156
Abbildung 81	Übertrag erfasster Störungen aus Cluster- in Gesamtauswertung.....	157
Abbildung 82	Kategorisierung erfasster Störungen in der Gesamtauswertung.....	158
Abbildung 83	Relative Häufigkeit von Störungen in der Gesamtauswertung.....	159
Abbildung 84	Störungen und relative Häufigkeiten im Arbeitsstudium (Ishikawa).....	160
Abbildung 85	Relative Häufigkeit von Störungen in der Gesamtauswertung.....	161
Abbildung 86	Rangfolge der Störungen nach Risikoprioritätszahl.....	162
Abbildung 87	Kurzübersicht der wesentlichen Erkenntnisse dieses Arbeitsstudiums.....	163
Abbildung 88	Katalog an Handlungsempfehlungen zur Prozessoptimierung.....	163
Abbildung 89	Priorisierung der abgeleiteten Handlungsempfehlungen.....	164
Abbildung 90	Konzept-Framework.....	174

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Meilensteinplan dieser Arbeit.....	3
Tabelle 2	Teilbereiche von Qualitätsmanagement.....	12
Tabelle 3	Automotive Core Tools.....	16
Tabelle 4	Steuerungs-, Kern- und Unterstützungsprozesse mit Hierarchisierung.....	26
Tabelle 5	Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung (GoM).....	29
Tabelle 6	Teilbereiche der Arbeitswissenschaft.....	48
Tabelle 7	Acht Prinzipien der Arbeitsökonomie nach Hinrichsen.....	51
Tabelle 8	Vier Anwendungsbereiche von Zeitdaten.....	55
Tabelle 9	Exemplarischer Geltungsbereich nach Bauteilcluster.....	68
Tabelle 10	Prinzip der Prüfraumdefinition.....	75
Tabelle 11	Vereinfachte Prozessmatrix.....	79
Tabelle 12	Definition von Start- und Endzeitpunkten.....	87
Tabelle 13	Zielgrößen des Anforderungsrahmens für das Arbeitsstudium.....	90
Tabelle 14	Bestimmung von Zeitdatenerhebungsverfahren.....	97
Tabelle 15	Teilaspekte zur Vorbereitung einer REFA-Zeitstudie.....	100
Tabelle 16	Einzelzeitmessung und Fortschrittszeitmessung.....	103
Tabelle 17	Auswahl statistischer Anforderungen bezüglich Stichprobenumfang.....	106
Tabelle 18	Konformitätsprüfung der REFA-Anforderungen für Zeitmessgeräte.....	108
Tabelle 19	Relevante REFA-Zeitarten im Rahmen dieser Arbeit.....	116
Tabelle 20	Logik des individuellen Aufnahmebogens.....	118
Tabelle 21	Standardnormalverteilung und t-Verteilung nach Student.....	126
Tabelle 22	Statistische Größen zur Sicherheitsbewertung der Projektauswertung.....	127
Tabelle 23	Methodik zur Bewertung der statistischen Sicherheit von Plandaten.....	137
Tabelle 24	Gegenüberstellung von Meilensteinen und Ergebnissen dieser Arbeit.....	166

Formelverzeichnis

Formel 1	Partikelgewicht.....	64
Formel 2	Mittelwert.....	127
Formel 3	Standardabweichung.....	127
Formel 4	Standardfehler.....	128
Formel 5	Konfidenzintervall (t-Verteilung).....	128
Formel 6	Konfidenzintervall (Normalverteilung).....	128
Formel 7	Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson.....	130
Formel 8	Rundungsregeln der Plankapazitäten (t_i) in der Clusterauswertung.....	133
Formel 9	Variationskoeffizient.....	135
Formel 10	Absolut gewichtete Streuung.....	139
Formel 11	Indexbewertung der Plandatsicherheit.....	140
Formel 12	Zielform der linearen Regression.....	146
Formel 13	Regressionskonstante.....	146
Formel 14	Regressionsfaktor.....	146
Formel 15	Bestimmtheitsmaß.....	147
Formel 16	Quadratische Abweichungen vom Mittelwert.....	147
Formel 17	Quadratische Abweichungen von den Regressionsgraden.....	147
Formel 18	Erstes Quartil.....	148
Formel 19	Drittes Quartil.....	148
Formel 20	Interquartilsabstand.....	148
Formel 21	Untere Ausreißergrenze (IQR).....	148
Formel 22	Obere Ausreißergrenze (IQR).....	148
Formel 23	Regressionsmodellbildung mit Sicherheitsfaktor.....	150
Formel 24	Median.....	152
Formel 25	Störungshäufigkeit nach Prüfzyklus.....	158
Formel 26	Störungshäufigkeit im Arbeitsstudium.....	158
Formel 27	Risikoprioritätszahl (Standard).....	160
Formel 28	Risikoprioritätszahl (Adaption).....	160
Formel 29	Prioritätszahl (Handlungsempfehlungen).....	164

Abkürzungsverzeichnis

8D	Eight disciplines problem solving (dt. <i>Acht Disziplinen der Problemlösung</i>)
A	Auftretenswahrscheinlichkeit
a.a.O.	Am angegebenen Ort
ABM	Agent-based Modeling (dt. <i>Agentenbasierte Modellierung</i>)
Abs.	Abschnitt
AIAG	Automotive Industry Action Group
Anl.	Anlage
AODV	Aktionsorientierten Datenverarbeitung
APQP	Advanced Product Quality Planning
ArbZG	Arbeitszeitgesetz
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
B	Bedeutung
BMC	Business Model Canvas
BPMN	Business Process Model and Notation
BPR	Business Process Reengineering
BR	Betriebsrat
CAD	Computer-Aided-Design (dt. <i>Computergestütztes Zeichnen und Konstruieren</i>)
CI	Continuous Improvement (dt. <i>Kontinuierlicher Verbesserungsprozess</i>)
COPQ	Cost of Poor Quality (dt. <i>Kosten schlechter Qualität</i>)
CP	Control Plan (dt. <i>Produktionslenkungsplan</i>)
CSR	Customer Specific Requirements (dt. <i>Kundenspezifische Forderungen</i>)
CT	Computertomografie
CV_{gew}	Absolut gewichtete Streuung
DES	Discrete Event Simulation (dt. <i>Ereignisdiskrete Simulation</i>)
df	Degrees of Freedom (dt. <i>Freiheitsgrade</i>)
DFD	Datenflussdiagramm
DIN	Deutsches Institut für Normung
E	Entdeckungswahrscheinlichkeit
EB	Erhebungsbeauftragter
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EDX	Energiedispersive Röntgenspektroskopie
eEPK	Erweiterte ereignisgesteuerte Prozesskette
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERP	Enterprise-Resource-Planning
EZP	Endzeitpunkt

ε	Relativer Vertrauensbereich
F	Fortschrittszeit
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (<i>dt. Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse</i>)
GfA	Gesellschaft für Arbeitswissenschaft
GoB	Grundsätze ordnungsgemäßer Buchführung
GoM	Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung
GPT	Generative Pre-trained Transformer
HM	Hundertstelminute (<i>auch: Industrieminute</i>)
IATF	International Automotive Task Force
IP	Internetprotokoll
IQA	Interquartilsabstand
IR	Infrarot
IRIS	International Railway Industry Standard
ISO	International Organization for Standardization (<i>dt. Internationale Organisation für Normung</i>)
IT	Informationstechnologie
JIS	Just-in-Sequence-Lieferung
JIT	Just-in-Time-Lieferung
KI	Konfidenzintervall
KI	Künstliche Intelligenz
KLAR	Kosten- und Leistungsrechnung
KPI	Key Performance Indicator (<i>dt. Leistungskennzahl</i>)
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
L	Leistungsgrad
LAM	Lastaufnahmemittel
LAT	LINAMAR Antriebstechnik GmbH
LIBS	Laserinduzierte Plasmaspektroskopie
LLM	Large Language Model (<i>dt. wortwörtlich „Großes Sprachmodell“</i>)
MES	Manufacturing Execution System (<i>dt. Fertigungssteuerungssystem</i>)
MFS	Materialflusssimulation
MMA	Multimomentaufnahme (<i>auch: MMH</i>)
MMH	Multimomenthäufigkeits-Studie (<i>auch: MMA</i>)
MTM	Methods-Time Measurement
MTO	Mensch, Technik, Organisation
n	Stichprobenumfang
N	Grundgesamtheit
OEE	Overall Equipment Effectiveness (<i>dt. Gesamtanlageneffektivität</i>)
OEM	Original Equipment Manufacturer (<i>dt. Erstausrüster</i>)

PLP	Produktionslenkungsplan
PMB	Prüfmittelbeauftragter
PPAP	Production Part Approval Process (dt. <i>Produktionsteil-Abnahmeverfahren</i>)
PPF	Produktionsprozess- und Produktfreigabe
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PROMET	Prozess Methode
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
QM	Qualitätsmanagement
QMS	Qualitätsmanagementsystem
R²	Bestimmtheitsmaß (auch: <i>Determinationskoeffizient</i>)
Raman	Raman-Spektroskopie
RASCI	Responsible, Accountable, Support, Consulted, Informed (dt. <i>verantwortlich, rechenschaftspflichtig, unterstützend, zu konsultieren, zu informieren</i>)
REM	Rasterelektronenmikroskopie
REM	Rasterelektronenmikroskopie
RGA	Reifegradabsicherung
RPA	Robotic Process Automation
RSA	Restschmutzanalyse
SE	Standard Error (dt. <i>Standardfehler</i>)
SF	Sicherheitsfaktor
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customer (dt. <i>Lieferant, Eingang, Prozess, Ausbringung, Kunde</i>)
SOM	Semantisches Objektmodell
SPC	Statistical Process Control (dt. <i>Statistische Prozessüberwachung/-kontrolle</i>)
Std Dev	Standard Deviation (dt. <i>Standardabweichung</i>)
STS	Soziotechnisches System
SVZ	Systeme vorbestimmter Zeiten
SZP	Startzeitpunkt
t_e	Zeit je Einheit
TechSa	Technische Sauberkeit (auch: <i>TecSa</i>)
t_{er}	Erholungszeit
t_g	Grundzeit
t_i	Einzelzeit
t_{MH}	Haupttätigkeitszeit
t_{MN}	Nebentätigkeitszeit
T_P	Prozesszeit
t_p	Persönliche Verteilzeit
t_s	Sachliche Verteilzeit
TSA	Tätigkeitsstrukturanalyse
t_t	Tätigkeitszeit

t_v	Verteilzeit
t_w	Wartezeit
UML	Unified Modeling Language (dt. <i>vereinheitlichte Modellierungssprache</i>)
VDA	Verband der Automobilindustrie
WE/WA	Wareneingang / Warenausgang
WFM	Workflowmanagement
WFMS	Workflow-Managementsystem
WSA	Wertstromanalyse
$\tilde{x}$	Median
$\bar{x}$	Mittelwert

1 Einleitung

1.1 Thematische Einordnung

Die heutige Welt wird von vielen verschiedenen Megatrends erfasst ([Abb. 1](#)). Dabei handelt es sich um langfristige Entwicklungen, welche über mehrere Jahrzehnte stark auf alle Regionen der Erde einwirken (vgl. [Helmold 2022](#), S. 165). Die Auswirkungen erstrecken sich dabei über gesamtgesellschaftliche Themen bis hinein in Wirtschaft und Industrie. Deutsche Unternehmen werden dabei durch den Megatrend der Globalisierung zunehmend in einen intensiven internationalen Wettbewerb gestellt. Hinzukommen zusätzliche Herausforderungen durch den demografischen Wandel. Eine alternde Bevölkerung kann die Bedarfe des Arbeitsmarktes vor Ort nicht mehr befriedigen. Im resultierenden Arbeitnehmermarkt ² sind ein Mangel an Fachkräften, sowie ein steigendes Lohnniveau die Folge (vgl. [Statistisches Bundesamt 2024a, 2024b](#)). In Kombination ergibt sich ein Standortnachteil gegenüber aktuellen Niedriglohnländern wie etwa China oder Indien (vgl. [Menkhoff, Wagner 2023](#)).

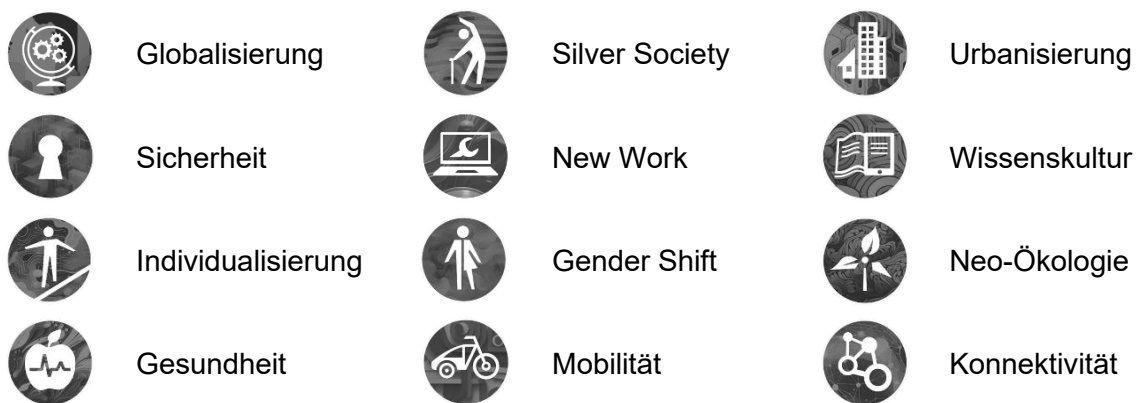


Abbildung 1 Megatrends der Zukunft

(In Anlehnung an: [Zukunftsinstitut 2023](#))

Vor diesen Hintergründen sind entsprechende Maßnahmen erforderlich, um die Wettbewerbsfähigkeit operativer Geschäfte in Deutschland perspektivisch abzusichern. Die höheren Kosten am Endprodukt sind dem Kunden gegenüber oft nur durch eine ebenso erhöhte Qualität zu legitimieren (vgl. [Kormann 2022](#), S. 107 ff.). Ergänzt wird dieser Ansatz durch die Notwendigkeit des Fokus‘ auf Kostensenkung und ressourcenschonendes Arbeiten. Dies ist hierbei als weiterer wesentlicher Erfolgsfaktor anzusehen, um mit Akteuren außerhalb des heimischen Binnenmarktes zu konkurrieren (vgl. [Kormann 2022](#), S. 85 ff., 103 f.; vgl. [Breyer-Mayländer 2022](#), S. 13 ff.). In diesem Kontext wird die Bedeutung von Prozessoptimierung – und somit der Effizienz und Kenntnis eigener Prozesse – als Schlüssel für den Umgang mit dem globalisierten Kostendruck ersichtlich.

² Nachfrageüberhang an verfügbaren Arbeitskräften mit entsprechender Qualifikation.

Ein effektives Prozessmanagement trägt dazu bei, dass die Abläufe einer Organisation im Detail verstanden werden können. Eine systematische Analyse ist dabei die Basis, um Schwachstellen in Prozesse zu identifizieren und Optimierungspotentiale zu erschließen. Eine gründliche Analyse stellt daher nicht nur eine kurzfristige Maßnahme zur Kostensenkung dar, sondern bietet die Prozesskenntnis, um Ineffizienzen langfristig abzustellen und zukunftsfähig zu bleiben. Die vorliegende Arbeit wird in diesem Sinne einen Beitrag zur wissenschaftlichen Diskussion um technisches Prozessmanagement und angewandte Arbeitswissenschaft leisten.

1.2 Ausgangssituation und Problemstellung

Die *Technische Sauberkeit* (TechSa, oder TecSa) ³ von Bauteilen ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal in der Fertigung von Komponenten für die Automobilindustrie. Insbesondere im Bereich der Antriebstechnik können Verunreinigungen zu Funktionsstörungen und verkürzter Lebensdauer von Antriebssträngen führen. Die Prüfung der TechSa, welche im Kontext der Arbeit auch als „Restschmutzanalyse“ (RSA) bezeichnet wird, setzt sich aus diesen Gründen mit der Einhaltung von Partikelgrenzwerten auseinander und ist fester Bestandteil qualitätssichernder Maßnahmen im Automotive-Sektor.

Als Automobilzulieferer muss die *LINAMAR Antriebstechnik GmbH* (LAT) ⁴ entsprechende Standards ebenso überprüfen und aufrechterhalten. Zu diesem Zweck wird die Restschmutzanalyse in einem explizit dazu ausgewiesenen Labor durchgeführt. Der Prüfprozess zur Kontrolle der TechSa erstreckt sich hierbei über mehrere Projekte und variiert hinsichtlich seiner Komplexität aufgrund verschiedenartiger Produkttypen mit unterschiedlichen Bauteilgeometrien und -spezifika. Die Abläufe basieren auf standardisierten Arbeitsanweisungen und sind zeitintensiv. Um diese Komplexität im Rahmen einer fundierten Kapazitätsplanung systematisch handhaben zu können, ergibt sich der Bedarf der Untersuchung des RSA-Prozesses.

1.3 Zielstellung

Die Zielstellung der vorliegenden Arbeit knüpft an die eben beschriebenen Bedarfe an ([Abs. 1.2](#)). Übergeordnet soll daher der TechSa-Prüfprozess am Standort LAT analysiert werden. Dabei sollen Optimierungspotentiale aufgezeigt werden, indem die *Effizienz*, die *Mitarbeiterauslastung* sowie die *Richtigkeit* des Gesamtablaufs auf Störeinflüsse und Schwachstellen untersucht wird. Wurden diese identifiziert, sind entsprechende Maßnahmen zur Abstellung von Störungen und langfristigen Optimierung des Prozesses zu formulieren.

³ Großschreibung eines Eigennamens.

⁴ <https://www.linamar.com/de/>.

Konkret sind hierzu eingangs alle zugehörigen TechSa-Prüfprozesse über rein deskriptiven Arbeitsanweisungen hinaus zu modellieren. Dadurch wird eine Struktur zur systematischen Bewertung der Abläufe geschaffen. Hierzu soll die Gesamtheit an notwendigen Handlungen in sich wiederholende Prozessabschnitte („Prozessbausteine“) gegliedert werden. Dies stellt die Grundlage der weiterführenden Detailanalyse dar. In diesem Kontext ist eine zeitliche Analyse der Prozessabschnitte vorzunehmen. Dabei soll die Struktur der Abschnitte auf ihre Tätigkeitsbestandteile untersucht werden, um Verschwendung und Schwachstellen im Ablauf zu identifizieren. Zudem ist die Konformität der Handhabung in der betrieblichen Praxis mit dem vorab definierten Soll-Prozess (Prozessmodelle) zu prüfen. Mit Hilfe der zeitlichen Analyse sollen abschließend Planzahlen für eine künftige Personaleinsatzplanung im Prüflabor der Restschmutzanalyse festgesetzt werden. Mögliche Optimierungen sind in Form von konkreten Handlungsempfehlungen auszugeben.⁵

Wesentliche Instrumente der Projektplanung im Vorhaben waren zudem *Meilensteine* und *Hypothesen*. Diese sollten eine nachträgliche Bewertung des Erfolgs des Vorhabens sowie der Ergebnisse an sich ermöglichen. Die Meilensteine und Hypothesen wurden direkt aus der Originalfassung (Masterarbeit) übernommen. Sie können als Referenz für eigene Ableitungen bei ähnlichen Projekten genutzt oder gar unverändert übernommen werden, insofern der Anwendungsfall dies zulässt.

Die Zielstellung der Arbeit lässt sich über vier wesentliche *Meilensteine* einordnen, welche in der nachfolgenden Übersicht beschrieben sind (Tab. 1). Diese dienen primär dazu, den Projekterfolg zu bewerten.

Tabelle 1 Meilensteinplan dieser Arbeit
(Eigene Darstellung)

Pos.	Meilenstein
M1	Der Prüfprozess der Technischen Sauberkeit („Restschmutzanalyse“) ist mit seinen relevanten Tätigkeitsbestandteilen modelliert.
M2	Zur Schaffung einer Kapazitätsplanungsgrundlage wurden sämtliche Prüfprozesse der Technischen Sauberkeit („Restschmutzanalyse“) zeitlich analysiert und quantitativ auf ihre Tätigkeitsbestandteile untersucht.
M3	Der Gesamtprüfprozess der Technischen Sauberkeit („Restschmutzanalyse“) wurde auf Aspekte der Verschwendung und Schwachstellen untersucht.
M4	Optimierungspotentiale für den Gesamtprüfprozess der Technischen Sauberkeit („Restschmutzanalyse“) wurden geprüft und bei Vorhandensein in Form von Handlungsempfehlungen schriftlich festgesetzt.

⁵ Ergebnisse der Zielsetzung im Rahmen dieser Nachveröffentlichung anonymisiert (siehe Vorwort).

Neben der abschließenden Bewertung des Projekterfolgs ist zudem eine abschließende Einordnung der Ergebnisse vorzunehmen. Dazu werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit folgende Hypothesen aufgestellt, welche abschließend ([Abs. 6.2](#)) zur Diskussion gestellt werden:

- **Hypothese 1:** Der Standardisierungsgrad des bestehenden Prüfprozesses der Technischen Sauberkeit („Restschmutzanalyse“) ist hoch genug, um eine Prozessmodellierung und zeitliche Kapazitätsplanung über Vorgabezeiten zu ermöglichen.
- **Hypothese 2:** Der bestehende Prüfprozess der Technischen Sauberkeit („Restschmutzanalyse“) erfüllt gängige Industriestandards in Bezug auf die Effizienz als menschlicher Arbeitsablauf.
- **Hypothese 3:** Der bestehende Prüfprozess der Technischen Sauberkeit („Restschmutzanalyse“) unterliegt Störeinflüssen, die durch eine Optimierung reduziert oder gänzlich eliminiert werden können.

1.4 Motivation

Die Motivation für die vorliegende Arbeit und das Erreichen der eben beschriebenen Ziele begründet sich vorwiegend aus der eingangs beschriebenen Bedeutung der Effizienzsteigerung durch eine kontinuierliche Prozessentwicklung ([Abs. 1.1](#)). Insbesondere in der Hochlohnregion Deutschland sind Optimierungsprojekte, wie das im Rahmen der Arbeit angestrebte Vorhaben, maßgeblich entscheidend für das langfristige Bestehen an globalisierten Märkten. Effiziente Prüfstrategien tragen hier zur Kostensenkung im Rahmen der Etablierung hoher Qualitätsstandards bei. Das Durchführen von fundierten Prozessanalysen und Zeitstudien bietet Unternehmen dabei die Möglichkeit, eventuelle Reserven an Effizienz nutzbar zu machen und künftige genauere Personaleinsatzplanungen vorzunehmen.

Der Beitrag der ursprünglichen Arbeit⁶ richtete sich primär an die LAT als Stakeholder. Über die Schaffung einer Planungsgrundlage für am Standort, kann die Maßnahme zudem Referenzszenario („*Benchmarking*“⁷) für andere Standorte des Konzerns dienen. Diese Form der Nachveröffentlichung macht die im Vorhaben angewandte Methodik zudem für organisationsfremde Akteure verfügbar, sodass diese auf weitere ähnliche Prozesslandschaften angewandt werden kann. Darüber hinaus kann die wissenschaftliche Diskussion zu Themen des Prozessmanagements und der Arbeitswissenschaft um eine neue Perspektive ergänzt werden.

⁶ Masterarbeit vom 20. April 2025.

⁷ Vergleichende Analyse von Ergebnissen/Prozessen mit festgelegtem Bezugswert/-prozess.

1.5 Vorgehensweise und Aufbau

Die aufbaugebende Vorgehensweise zum Erreichen der gesetzten Ziele ([Abs. 1.3](#)) soll nun als abschließendes Element der Einleitung vorgestellt werden. Die vorliegende Arbeit wird inhaltlich fünf übergeordnete Abschnitte aufweisen.

Die Einführung wird über die *theoretischen Grundlagen* vorgenommen ([Abs. 2](#)). Hierbei wird die fachliche Basis erörtert, welche notwendig ist, um die weiteren Ausführungen und spätere Analysen der Arbeit nachvollziehen zu können. Innerhalb dieses Abschnittes werden die Begriffe der „Technischen Sauberkeit“, der „Prozessmodellierung“ und der „Zeitlichen Tätigkeitsanalysen“ in ihre fachlich übergeordneten Strukturen eingeordnet – das *Qualitätsmanagement*, das *Prozessmanagement* sowie den Bereich der *Arbeitswissenschaft*. Neben der Zuordnung der Teilaspekte zu ihren übergeordneten Fachbereichen, wird hierbei auch der aktuelle Stand der Forschung auf diesem Gebiet betrachtet sein.

An die Theorie knüpft dann die thematische Überführung in die *betriebliche Praxis* an ([Abs. 3](#)). In diesem Kontext wird der Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit konkretisiert. Hierzu werden die ursprünglichen Ausführungen der Arbeit zum konkreten Umfeld am Standort LAT für diese Nachveröffentlichung in Abstraktionen überführt. Diese sollen es ermöglichen, wesentliche Vorbetrachtungen zur Umsetzung der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen nachvollziehen zu können. Gleichzeitig soll ein Konflikt mit dem für diese Veröffentlichung erhaltenen Freigaberahmens ([Anl. 1](#)) vermieden werden.

Darauffolgend wird sich thematisch mit der *Prozessmodellierung* auseinandergesetzt ([Abs. 4](#)). Eingeleitet wird dies über die Auswahl einer geeigneten Modellierungsform. Hierzu wird sich auf die vorab bereitgestellten theoretischen Grundlagen ([Abs. 2](#)) bezogen werden. Nach der Auswahl der Modellierungsmethoden erfolgte in der ursprünglichen Veröffentlichung eine Realisierung für die Prozesslandschaft um die TechSa-Prüfungen am Standort LAT. Die dabei hervorgegangenen Prozessmodelle werden hier auf die *Standardprozedur* für TechSa-Prüfungen nach der VDA 19.1 reduziert sein, um betriebliche Spezifika unter Verschluss zu halten. Das Vorgehen nach VDA 19.1 wird im Rahmen der theoretischen Grundlagen vorab konkret eingeordnet ([Abs. 2.2.4](#)). Ziel ist es, die Zerlegung komplexer Prozesslandschaften in hierarchisierte Elemente aufzuzeigen. Ein übergeordneter Prozess – wie auch seine Teilprozesse und -bestandteile – werden modelliert und Prozessabschnitte („*Prozessbausteine*“) untergliedert. Die Umsetzung dieser Schritte ist Bedingung für das Erreichen des ersten Meilensteins der Zielstellung ([Abs. 1.3](#), [Tab. 1](#), M1).

Diese Untergliederung wird dann wiederum die Grundlage für den nächsten Abschnitt der vorliegenden Arbeit darstellen: die Prozessanalyse in Form einer *zeitlichen Tätigkeitsuntersuchung* (Abs. 5). Dieser lehnt sich im Wesentlichen an die vorherige Struktur an. So wird auch hierbei eingangs auf die theoretischen Grundlagen (Abs. 2) zurückgegriffen werden, um eine fundierte Auswahl einer anzuwendenden Methode vorzunehmen. Ist dies geschehen, erfolgt im nächsten Schritt die Realisierung – analog zum Vorgehen bei der Prozessmodellierung. Durch das Erheben von Prozessdaten dient auch dieser Abschnitt als inhaltliche Grundlage für weiteres Handeln.

So soll sich daran die abschließende Auswertung der Ergebnisse („*Zeitdatenanalyse*“, Abs. 5.5) angliedern. Mithilfe der entstandenen Prozessmodelle und -daten sollen schließlich Plan-, bzw. Normzeiten für im TechSa-Prüfprozess inbegriffene Abläufe definiert werden. Die Umsetzung dessen dient dem übergeordneten Ziel der Kapazitätsplanung – Meilenstein 2 (Abs. 1.3, Tab. 1, M2). Die anschließende Identifikation von Verschwendung und Schwachstellen im Prozess anhand der vorliegenden Prozessdaten führt zudem zur Erreichung von Meilenstein 3 (Abs. 1.3, Tab. 1, M3). Letztlich werden dann Handlungsempfehlungen aus den Ergebnissen abgeleitet. Dies dient dann der Erreichung des letzten Meilensteins (Abs. 1.3, Tab. 1, M4).

Für diesen Abschnitt werden ebenso Maßnahmen zur Einhaltung des Freigaberahmens (Anl. 1) umgesetzt. Da in der Originalfassung (Masterarbeit) hier tiefgehend mit unternehmensspezifischen Daten gearbeitet wurde, sind umfangreiche Kürzungen und Anonymisierungen vorzunehmen. Entsprechend wird sich auf die Methodik reduziert, um der Geheimhaltungspflicht nachzukommen.

An diese Form der Auswertung schloss sich in der Originalfassung (Masterarbeit) eine Abschlussdiskussion an. Dort wurden, wie zuvor geschildert (Abs. 1.3), der Projekterfolg und die Datenlage diskutiert. Im Rahmen der Nachveröffentlichung wird diese Passage abgewandelt, um Betriebsgeheimnisse zu schützen. Gegenübergestellt werden Meilensteine und Hypothesen (Abs. 1.3) mit möglichen Ausgängen. Somit soll als *Fazit* (Abs. 5) eine Referenz zum Soll-Ist-Vergleich im vorliegenden Anwendungsfall geschaffen werden.

Zum Zweck des besseren Verständnisses ist die eben dargelegte Vorgehensweise zur Abhandlung des angestrebten Vorhabens nachfolgend schematisch abstrahiert dargestellt (Abb. 2).

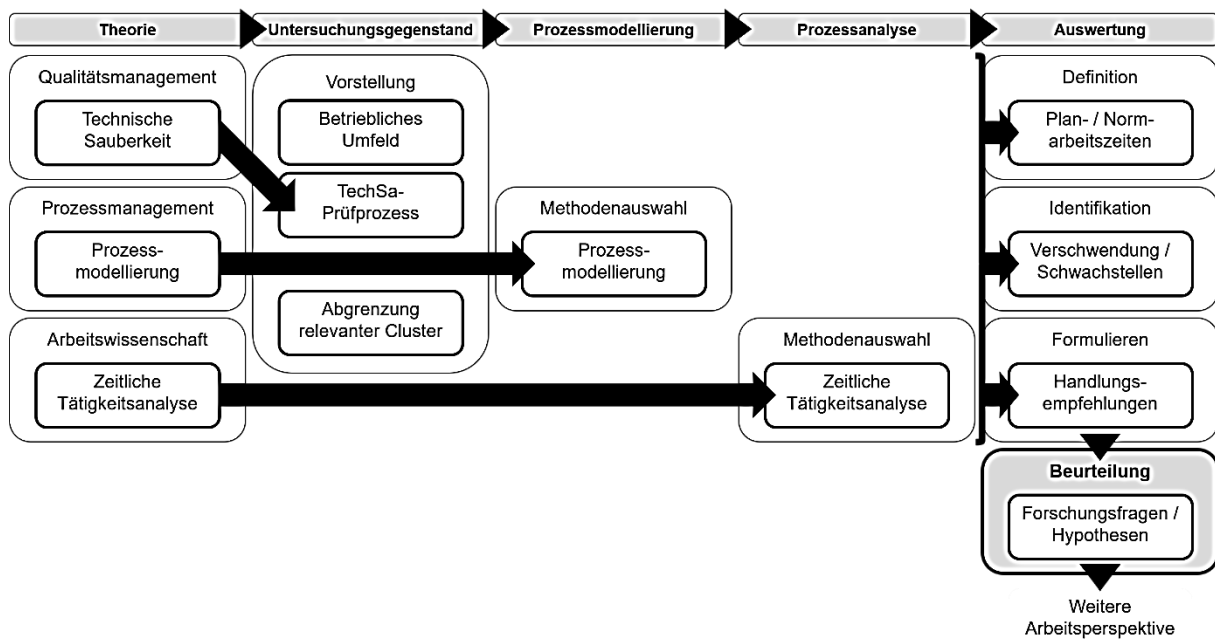


Abbildung 2 Methodische Struktur dieser Arbeit
(Eigene Darstellung)

Im Rahmen der Transparenz in Bezug auf die Vorgehensweise soll an dieser Stelle erwähnt sein, dass Large Language Modelle (LLM) zur Bearbeitung des Projektes als Produktivtool eingesetzt werden. Hauptsächlich zur Anwendung kommt in diesem Sinne ChatGPT-4o („*Generative Pre-trained Transformer*“) des US-amerikanischen Softwareunternehmens OpenAI.⁸

Das Modell wird dabei beispielsweise im Rahmen des Diskutierens von Ideen in der Konzipierungsphase verwendet. Das Tool wird aktiv in Produktivmethoden wie das Brainstorming⁹ und das Entwerfen von Strukturen eingebunden. Bei vorab durchzuführenden Literaturrecherchen, welche im Rahmen der theoretischen Vorbetrachtung (Abs. 2) erfolgen, wird die Applikation zudem zur Unterstützung hinzugezogen. Somit kann die Literaturbasis um weitere wertvolle Eindrücke ergänzt werden. Ein weiteres Beispiel findet sich in der Aufstellung von Tabellen, Listen und Zusammenfassungen – etwa zur Terminplanung und Fortschrittskontrolle.

Nicht eingesetzt werden LLMs zur Formulierung der Volltextpassagen. Die übergeordnete Intention der Anwendung von generativer künstlicher Intelligenz (KI) besteht dementsprechend in der Erhöhung der Produktivität. Dies ist als eine der zentralen Chancen dieser Technologie zu sehen (vgl. [Helmsold 2024](#), S. 197 ff.). Die Bearbeitung soll beschleunigt werden, während die generelle Qualität gleichzeitig, durch Unterstützung bei beispielsweise Planung und Strukturierung, erhöht wird.

⁸ <https://chatgpt.com/>.

⁹ Kreative Denkmethode, um auf neue Ideen zu kommen und Probleme zu lösen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Relevanz theoretischer Grundlagen

Wie eingangs im Kontext der Vorgehensweise dieser Arbeit ([Abs. 1.5](#)) erwähnt, soll der erste inhaltliche Kernpunkt der Arbeit im Aufgreifen theoretischer Grundlagen bestehen. Das Ziel ist dabei die Einordnung und Kontextualisierung des Themas. Relevante Begriffe und Konzepte sollen definiert werden, um ein fundiertes Basiswissen für spätere Analysen aufzubauen. Somit soll sichergestellt werden, dass die Diskussionen der vorliegenden Arbeit auf etablierten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruht. Neben der Abgrenzung des Vorhabens auf die konkrete Fragestellungen ([Abs. 1.3](#)) dieser Arbeit, soll somit ein Verständnis für Leser gegeben werden. Dies dient der Gewährleistung des Nachvollzugs der Abhandlung, unabhängig vom Vorwissen. In diesem Sinne werden die übergeordneten Bereiche des Qualitätsmanagements ([Abs. 2.2](#)), des Prozessmanagements ([Abs. 2.3](#)) und der Arbeitswissenschaft ([Abs. 2.4](#)) als theoretische Grundlagen nachfolgend eingeordnet.

2.2 Qualitätsmanagement

2.2.1 Qualitätsmanagement im Kontext dieser Arbeit

Als erster Teilbereich dieser Arbeit ist, wie eben erwähnt ([Abs. 2.1](#)), das *Qualitätsmanagement* (QM) konkreter einzuordnen. Hintergrund dessen ist die Zuordnung der Prüfung Technischer Sauberkeit als qualitätssichernde Maßnahme. Als Qualitätskontrolle zur Fehlervermeidung wird der normative Rahmen der TechSa-Prüfungen über Anforderungen des branchenspezifischen Qualitätsmanagements bestimmt. Entsprechend sind die zugehörigen Begrifflichkeiten und Konzepte an dieser Stelle in ihrer theoretischen Grundlage zu erörtern.

2.2.2 Grundlagen des Qualitätsmanagements

2.2.2.1 Begriffliche Definition von Qualitätsmanagement

In erster Instanz besteht der Begriff des Qualitätsmanagements aus den zwei Teilen „Qualität“ und „Management“. Im fachlichen Umfeld sind die Begriffe über das Normenwerk der „DIN EN ISO 9000:2015 Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe“ geregelt. Fachlich ist der Begriff der Qualität dort als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“ definiert ([DIN EN ISO 9000:2015](#), S. 39). Ein Objekt ist dabei etwas Wahrnehmbares oder Vorstellbares, wie etwa ein Produkt, eine Dienstleistung, ein Prozess, eine Person oder ein ganzes System (vgl. [a.a.O.](#), S. 38). Diesem Objekt innewohnend (inhärent) ist dann wiederum eine kennzeichnende Eigenschaft (Merkmal), welche gegenüber einem vorab festgelegten Erfordernis (Anforderung) konform sein soll (vgl. [a.a.O.](#), S. 38 f., 52).

Überführt in eine leichter verständliche, zweckmäßigere Definition des Fachbegriffs Qualität, könnte diese als „*Verhältnis zwischen realisierter Beschaffenheit gegenüber der geforderten Beschaffenheit*“ bezeichnet werden (vgl. Geiger, Kotte 2008, S. 68). Während Qualität im allgemeinsprachlichen Gebrauch häufig unterschiedlich definiert wird, ist eine klare, fachliche Definition im technischen Umfeld essenziell. So beginnt die Arbeit im Qualitätsmanagement mit gedanklichen Modellen, welche das Vorgehen beim weiterführenden Handeln maßgeblich beeinträchtigen. Daher ist eine einheitliche, standardisierte Definition unabdingbar, um die Handhabung konsistenter und fachlich fundierter Konzepte im QM-Umfeld zu ermöglichen (vgl. a.a.O., S. 70). Das prinzipielle Konzept des Begriffs „Qualität“, bzw. der Ermittlung der Qualität, ist nachfolgend als Schema dargestellt (Abb. 3).

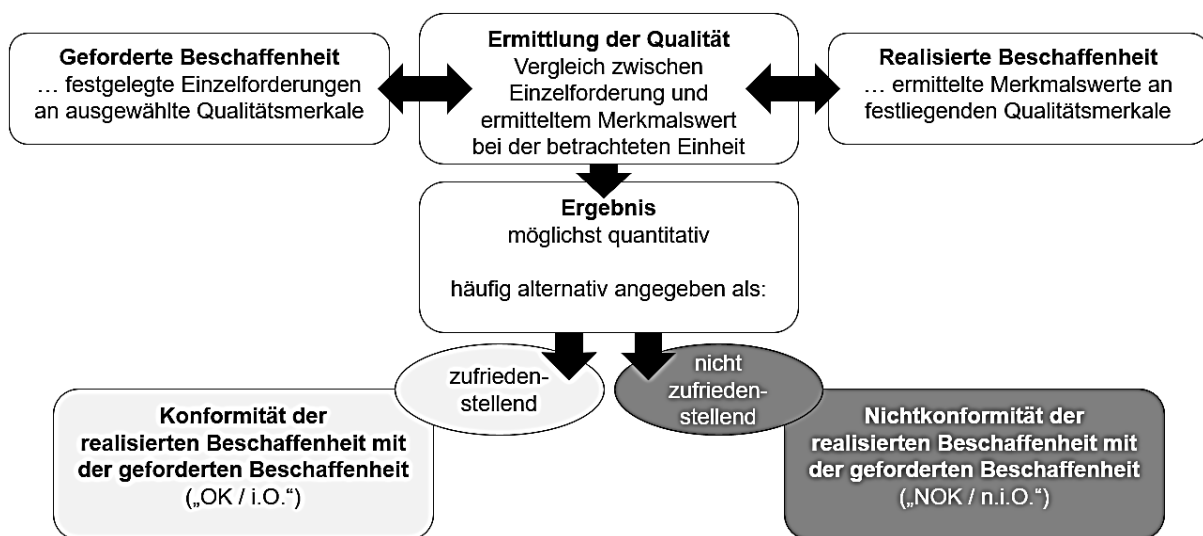


Abbildung 3 Veranschaulichung des Fachbegriffs Qualität als Ermittlungsergebnis
(In Anlehnung an: Geiger, Kotte 2008, S. 82)

Der Begriff des in vielen Sprachen gleich lautenden Wortes „Management“ wird allgemein als Homonym¹⁰ verwendet. Überschneidung der Begriffsinhalte bestehen in:

- Jeglichem Tun ohne Berücksichtigung einer Hierarchie,
- Führungstätigkeiten in einer Organisation,
- Führungspersonen in einer Organisation (vgl. a.a.O., S. 7).

Das Gabler Wirtschaftslexikon differenziert Management als Begriff in seiner inhaltlichen Verwendung als „*Institution*“ und „*Funktion*“. Zu diesen Aspekten hinzu kommt die separate Betrachtung von „*Managementmethoden*“ und „*Internationalem Management*“ (vgl. Alisch, Arentzen, Winter 2004, S. 1964).

¹⁰ Gleichlautend, den gleichen Wortkörper haben, jedoch in der Bedeutung verschieden.

Management als Institution umfasst dabei den Personenkreis, welcher mit leitenden Aufgaben die Interessen des Arbeitgebers vertreten. Die funktionsbezogene Begriffsbetrachtung betrifft alle Bereiche des Unternehmens. Hierbei sind Aufgaben mit Leitungsfunktion in den drei Hauptphasen Planung, Realisierung und Kontrolle inbegriffen. Die Methoden des Managements, auch Management-Techniken, umfassen dann wiederum auch Methoden zur Entwicklung von Führungskräften. In diesem Kontext sind insbesondere die „*Management by...*“ Konzepte von Relevanz. Diese legen den Fokus beispielsweise auf Zielvorgaben („*by Objective*“), Abweichungskontrolle und Eingriff nur im Ausnahmefall („*by Exception*“) oder übertragen und delegieren von Verantwortungen („*by Delegation*“) (vgl. [Thommen et al. 2023](#), S. 588). Bezogen wird sich dabei auf das strategische Management, welches Entwicklung, Planung und Umsetzung inhaltlicher Ziele und Ausrichtungen von Organisationen beschäftigt. In Verbindung des Projektvorhabens der vorliegenden Arbeit spielt dies lediglich eine untergeordnete Rolle. Der letzte Punkt besteht im Internationalen Management. Hierbei stehen Anpassungen von globalen und interkulturellen Aspekten im Fokus der Betrachtungen. Dieser Teilbereich ist im Kontext dieser Arbeit ebenso zu vernachlässigen (vgl. [Alisch, Arentzen, Winter 2004](#), S. 1964).

Die zuvor bereits erwähnte Qualitätsmanagementnorm DIN EN ISO 9000 beschreibt Management im Allgemeinen als „*aufeinander abgestimmte Tätigkeiten zum Führen und Steuern einer Organisation*“ ([DIN EN ISO 9000:2015](#), S. 31). In der Norm wird der Begriff ebenso in die Tätigkeit an sich, wie auch in die alternative Verwendung zur Beschreibung einer Person, bzw. eines Personenkreises mit Führungsverantwortung aufgegliedert. Das Qualitätsmanagement ist in der Norm entsprechend als das Management bezüglich Qualität definiert (vgl. [a.a.O.](#)). Generell lässt sich Management in die Teilbereiche des *aufgabenspezifischen*, *bereichsspezifischen* und *projektspezifischen* Managements unterteilen. Unterschieden wird dabei nach Herkunft der Forderungen an das Management. Das Qualitätsmanagement ist dabei dem aufgabenspezifischen Management zuzuordnen, welchem die Forderung an die Beschaffenheit der betrachteten Einheiten (Begriff Qualität) übergeordnet zugrunde liegt. Weitere Beispiele ergeben sich im Termin-, Kosten-, Umwelt- oder Arbeitsschutzmanagement. Bereichsspezifisches Management ist z. B. das Outsourcingmanagement, oder das Vertriebsstellenmanagement, bei denen auszugliedernde Aufgabenbereiche oder Vertriebsstellen der Organisation als Bereich geleitet werden. Zum Teil werden auch Überschneidungen ausgewiesen, wie etwa beim Personalmanagement, welches allgemein den Bereich sämtlicher Mitarbeiter verwaltet, aber auch als aufgabenspezifisch angesehen werden kann. Im projektspezifischen Management (Projektmanagement) kann beispielsweise das Behälter-, oder Reklamationsmanagement für ein konkretes Projekt benannt werden (vgl. [Geiger, Kotte 2008](#), S. 8 f.).

2.2.2.2 Ziele und Bedeutung von Qualitätsmanagement

Das übergeordnete Ziel des Qualitätsmanagements ist die Durchführung aller aufeinander abgestimmten Tätigkeiten zum qualitätsbezogenen Leiten und Lenken einer Organisation (vgl. Geiger, Kotte 2008, S. 23). Allgemeiner formuliert steht dies für das Gewährleisten der Kosteneffizienz durch eine fehlerfreie Produktion. Die Norm für die Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme (QMS) – DIN EN ISO 9001 – formuliert dazu die Forderung der Bekanntmachung einer *Qualitätspolitik*. Diese muss als dokumentierte Information verfügbar, bekannt und für alle relevanten Parteien zugänglich gemacht werden. In der Qualitätspolitik müssen dann wiederum Ziele formuliert sein, welche als messbare Überwachungsgrundlage der relevanten Anforderungen dienen (vgl. DIN EN ISO 9001:2015, S. 20–25).

Die Etablierung eines effektiven QMS steht, neben der reinen Fehlerkostenvermeidung, somit für die Gewährleistung der Kundenzufriedenheit. Die Einhaltung von Normen und Standards im jeweiligen Umfeld qualifiziert für weitere Aufträge und sichert somit auch ein fortwährendes Bestehen am Markt. Ein funktionales Qualitätsmanagement gewährleistet zudem die Vereinbarung von Kosten-, Leistungs- und Terminzielen („*Magisches Dreieck*“, Abb. 4) und wirkt bei der kontinuierlichen Prozessverbesserung (KVP) mit. Somit ist die Gesamtheit des Fachbereichs als Grundlage der Wettbewerbsfähigkeit einer Organisation zu sehen (vgl. Geiger, Kotte 2008, S. 23 ff., vgl. Hehenberger 2020, S. 200 ff.).



Abbildung 4 Magisches Dreieck
(In Anlehnung an: GPM 2020, S. 12)

2.2.2.3 Teilbereiche von Qualitätsmanagement

Zur Erreichung der eben beschriebenen Ziele (Abs. 2.2.2.2), wird der Fachbereich des Qualitätsmanagements nach QMS-Norm in seinen Aufgaben häufig in verschiedene Teilbereiche untergliedert: die *Qualitätsplanung*, *Qualitätslenkung*, *Qualitätssicherung* und *Qualitätsverbesserung* (vgl. DIN EN ISO 9000:2015, S. 31; vgl. Geiger, Kotte 2008, S. 11).

Die *Qualitätsplanung* setzt sich vorwiegend mit der Festlegung von Qualitätszielen und den hierzu notwendigen Prozessen auseinander. Dazu werden entsprechende Anforderungen definiert, sowie Ressourcen und Aktivitäten abgestimmt (vgl. a.a.O.).

In der *Qualitätslenkung* sind alle Maßnahmen enthalten, die zur Erfüllung der vorab definierten Qualitätsanforderungen (Planung) in der operativen Umsetzung dienen. Zugehörig sind hier beispielsweise die Überwachung und Steuerung von Prozessen zur Gewährleistung der angestrebten Ergebnisse. Die *Qualitätssicherung* stellt Vertrauen in die Einhaltung der Qualitätsanforderungen bezüglich Produkten oder Prozessen her. Das kann beispielsweise durch die Implementierung von Prüfungen oder regelmäßigen Audits geschehen. Die *Qualitätsverbesserung* soll die Eignung von Produkten, Prozessen oder ganzen Systemen erhöhen, um die Qualitätsanforderungen langfristig zu erfüllen. Die Effizienz und Effektivität des QMS soll durch das gezielte Identifizieren und Realisieren von Verbesserungspotentialen gesteigert werden. Die beschriebenen Teilbereiche von Qualitätsmanagement sind im Sinne des besseren Verständnisses nachfolgend anhand von praktischen Beispielen näher eingeordnet (Tab. 2) (vgl. DIN EN ISO 9000:2015, S. 31; vgl. Geiger, Kotte 2008, S. 11).

Tabelle 2 Teilbereiche von Qualitätsmanagement

(In Anlehnung an: DIN EN ISO 9000:2015, S. 31; Geiger, Kotte 2008, S. 11 ff.)

Teilbereich	Beispiele
Qualitätsplanung = Festlegung von Ziele, Prozesse und Ressourcen	• Definition von Produkt-/Prozessspezifikationen, Produktionslenkungsplanung • Entwerfen von Prüfstrategien für Neuprojekte • Lieferantenmanagement
Qualitätslenkung = Direktes Bezwecken der Erfüllung von Qualitätsanforderungen	• Neueinführung von Fertigungskontrollen • Statistische Prozessüberwachung (SPC) • Einrichtung von Vier-Augen-Kontrollen oder Stopp-Maßnahmen bei Fehlproduktionen
Qualitätssicherung = Herstellen von Vertrauen in die Qualitätsfähigkeit	• Durchführung von Wareneingangskontrollen bei Rohteilen oder -stoffen • Endkontrolle der Produkte vor dem Versand • Maschinenwartung und Kalibrierung
Qualitätsverbesserung = Langfristige Erhöhung der Qualitätsfähigkeit	• Analyse von Kundenfeedback • Implementierung von Lean-Methoden zur Prozessoptimierung, z. B. Gemba Walk ¹¹ • Abhalten von Mitarbeiterschulungen für Qualitätsbewusstsein und Fertigungskompetenzen

¹¹ Arbeitsplatzbegehung und Mitarbeiterbefragung zur Optimierung von Produktivität und Qualität.

2.2.3 Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie

2.2.3.1 Spezifische Anforderungen in der Automobilindustrie

Das Vorhaben dieser Arbeit ist im branchenspezifischen Umfeld der Automobil-, bzw. konkret der *Automobilzuliefererindustrie* zu verorten. Für das Qualitätsmanagement in diesem Bereich gelten dabei spezifische Anforderungen, welche es zu beachten gilt. Das Nichtentdecken von Fehlern in der Produktion kann zu *Feldausfällen* führen. Der Begriff bezieht sich in diesem Kontext auf fehlerhafte Fahrzeuge, welche in Umlauf gebracht wurden. Die Folge ist ein Funktionsausfall während der Nutzung durch den Endkunden. Im Segment der Automobilwirtschaft können derartige Vorfälle nicht nur zu kommerziellen Schäden in Millionenhöhe führen, sondern auch die körperliche Unversehrtheit der Fahrzeugführer gefährden (vgl. [Brüggemann, Bremer 2020](#), S. 204). Diese Sachverhalte sind Hintergrund dafür, dass der Automobilbau als Teilbereich des produzierenden Gewerbes besonders hohen Anforderungen unterliegt.

Im Zuge der industriellen Revolution etablierte der US-amerikanische Ingenieur Frederick Winslow Taylor Anfang des 20. Jahrhunderts die Maximierung der Produktionsmenge („*Taylorismus*“). Übergeordnetes Ziel war die Kostensenkung durch Standardisierung und Arbeitsteilung. Die Kritik am Prinzip besteht u. a. in der Vernachlässigung von Qualität, da der Fokus hier primär auf der Maximierung von Ausbringungsmengen lag. Fehler wurden in Kauf genommen oder aussortiert und nachträglich korrigiert (Nacharbeit). Durch die hohe Relevanz von Sicherheit und Zuverlässigkeit in der Automobilindustrie war ein Umdenken der bisherigen Qualitätsphilosophie gefragt (vgl. [Bergmann, Garrecht 2021](#), S. 144 ff.; vgl. [REFA 2024a](#)).

Das *traditionelle Qualitätskostenmodell* gliederte qualitätsbezogene Kosten in Fehlerverhütungskosten, Prüfkosten und Fehlerkosten. Somit bestand eine tätigkeitsorientierte Betrachtung von Qualitätskosten. Die Optimierung erfolgte bisher unter Übereinbringen von Fehlerverhütung- und Prüfkosten mit den damit entstehenden Fehlerkosten. Das Kostenoptimum des traditionellen Modells war hierbei durchaus oft bei Inkaufnahme eines bestimmten Fehleranteils erreicht. In Industrien wie der Automobilindustrie, bei der die Produkte sicherheitskritische Merkmale ¹² ausweisen, ist dieses Denken aber überholt. Zurück geht der Ansatz auf den US-amerikanischen Manager Philip B. Crosby. In den 1960er Jahren etablierte er die *Null-Fehler-Strategie*. Diese neue Denkweise sah das fehlerfreie Fertigen als Standard vor. Hierbei wird Qualität als Übereinstimmung mit den Anforderungen definiert (gemäß [Abb. 3](#)) und als Grundprinzip ihrer Erzeugung wird die Fehlervorbeugung (Prävention) angenommen (vgl. [Brüggemann, Bremer 2020](#), S. 8; vgl. [REFA 2024b](#)).

¹² Qualitätsmerkmale deren unentdeckte Nichteinhaltung zu Personenschäden und hohen Kosten führt.

Der neue Maßstab für Qualitätskosten wird zudem nun vorwiegend über die Nichterfüllung von Anforderungen bemessen. In diesem Kontext etablierte sich in der Automobilindustrie die *Zehner-Regel* (engl. „Rule of Ten“), welche besagt, dass das Nichtentdecken eines Fehlers umso teurer wird, je später dieser erkannt wird. Dabei wird die grobe Annahme getroffen, dass für das Übertragen eines Fehlers in die nächste Phase des Produktlebenszyklus eine Kostensteigerung um den Faktor zehn einhergeht (Abb. 5). Somit ergibt sich in der Logik das Anstreben eines präventiven QMs unter Verfolgung der vorher beschriebenen Null-Fehler-Strategie nach Crosby (vgl. Brüggemann, Bremer 2020, S. 29; vgl. REFA 2024b).

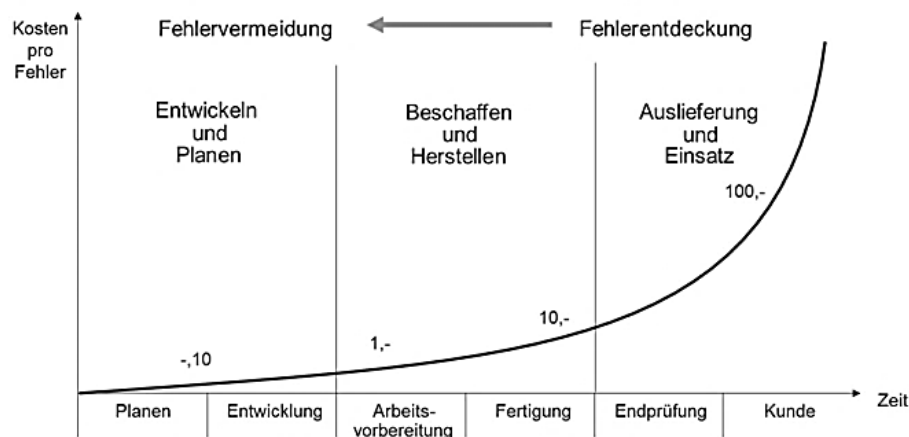


Abbildung 5 Zehnerregel der Fehlerkosten nach Daimler Benz

(Quelle: Brüggemann, Bremer 2020, S. 29)

Modernes Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie ist entsprechend nach einem neuen *modernen Kostenmodell* ausgerichtet. Dieses beschreibt die Optimierung der qualitätsbezogenen Kosten über eine zweigeteilte Betrachtung von Konformitäts- und Nichtkonformitätskosten. Durch das neue kundenorientierte Verständnis des Begriffs der Qualität wird die Minimierung von Kosten durch Abweichungen mit der Gesamtkostenminimierung (Optimierung) gleichgesetzt. Das neue übergeordnete Ziel ist hierbei also nun das konsequente Umsetzen von Maßnahmen zur Fehlerprävention. Diese reichen vom Verfahren des Kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP, eng. auch „Continuous Improvement“, CI), über statistische Überwachung von Systemen und Prozessen bis hin zur strategischen Qualitätsplanung entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Die beiden Qualitätskostenmodelle sind in der nachfolgenden Übersicht gegenübergestellt (Abb. 6). Links befindet sich dabei die traditionelle Herangehensweise aus dem Taylorismus. Rechts zu finden ist das moderne Modell, welches häufig in den Zusammenhang mit *Lean Management*¹³ Ansätzen gebracht wird (vgl. Brüggemann, Bremer 2020, S. 204–216; vgl. Hennecke, Skrotzki 2022, S. 882).

¹³ Denkprinzipien zur effizienten Gestaltung der gesamten Wertschöpfungskette industrieller Güter.

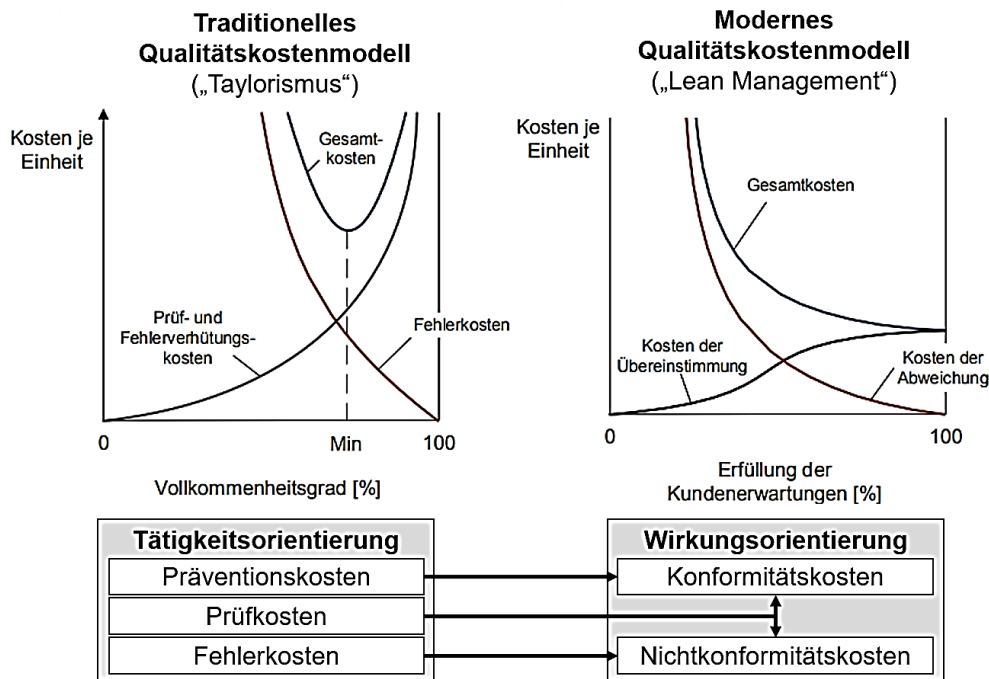


Abbildung 6 Gegenüberstellung der Qualitätskostenmodelle
(In Anlehnung an: Brüggemann, Bremer 2020, S. 205, 215)

2.2.3.2 Methodenlehre in der Automobilindustrie

Über die allgemeinen kostenorientierten Ansätze des QM hinaus bestehen weitere branchentypische Spezifikationen, wie beispielsweise gesonderte Anforderungen an die *Rückverfolgbarkeit* (engl. „Traceability“) von Bauteilen. So müssen diese über die gesamte Produktions- und Lieferkette lückenlos rückverfolgbar sein. Hinzukommen oftmals hohe Anforderungen an Liefertermintreue und Flexibilität – z. B. in Kunden-Lieferanten-Beziehungen mit Just-in-Time- (JIT) ¹⁴ und Just-in-Sequence- (JIS) ¹⁵ Lieferungen. Ein ganzheitliches *Lieferantenmanagement* entlang der ausgeprägten Netzwerke wird entsprechend benötigt. Zudem unterliegt die gesamte Fertigung neben den bereits angesprochenen, hohen Sicherheitsstandards, ebenso strengen *Umwelt-* und *Datensicherheitsstandards*. An dieser Stelle seien die detaillierten Anforderungen im Sinne des Umfangs dieser Arbeit nicht weiter konkretisiert (vgl. Brüggemann, Bremer 2020, S. 29 f.; vgl. Hennecke, Skrotzki 2022, S. 4 ff., 803 ff.).

Aufgrund der komplexen branchenspezifischen Anforderungen wurde eine Sammlung von einheitlichen Qualitätsmethoden geschaffen, welche zur Absicherung und Weiterentwicklung der Produkt- und Prozessqualität dient. Die als *Automotive Core Tools* ¹⁶ bezeichneten Werkzeuge wurden speziell für die Automobilindustrie entwickelt (vgl. AIAG 2024a).

¹⁴ Dezentrales Steuerungskonzept, mit abgestimmter Lieferung nach Stückzahl und Zeitpunkt.

¹⁵ Weiterentwicklung von JIT mit Lieferung gemäß variantenbezogenem Bedarf.

¹⁶ Wird z.T. auch als Automotive Quality Core Tools, Quality Core Tools oder nur Core Tools bezeichnet.

Zurück gehen diese Methoden auf die Automotive Industry Action Group (AIAG). Dabei handelt es sich um eine gemeinnützige Organisation, auf die die Entwicklung von Standards und Best Practices ¹⁷ für den Automobilbau zurückgeht. 1982 wurde die Organisation in den USA durch dort führende Hersteller wie GM, Ford und Chrysler gegründet. Heute sind Automobilhersteller, Zulieferer und Dienstleister auf globaler Ebene Mitglieder und wirken bei der Standardisierung und Harmonisierung mit. Als wesentlichste Erfolge gelten Veröffentlichungen wie die Automotive Core Tools, aber auch Standards für beispielsweise Datenaustausch und Nachhaltigkeit. Die Core Tools gelten heute als einheitliche Methodenlehre der Automobilindustrie, wenngleich je nach Automobilhersteller regional geringfügige Abwandlungen bestehen können – wie etwa im deutschsprachigen Umfeld durch den Verband der Automobilindustrie (VDA). Die wesentlichen Instrumente der Automotive Core Tools sind nachfolgend kurz eingeordnet (Tab. 3) (vgl. AIAG 2024b; vgl. TÜV 2024).

Tabelle 3 Automotive Core Tools ¹⁸
(In Anlehnung an: AIAG 2024a; TÜV 2024)

Core Tool	Beschreibung	Nutzen
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning:</i> Planung des Produktentstehungsprozesses, um sicherzustellen, dass alle Anforderungen frühzeitig berücksichtigt werden → nach VDA: Reifegradabsicherung (RGA)	Reduziert Risiken bei der Einführung neuer Produkte
PPAP	<i>Production Part Approval Process:</i> Freigabeverfahren zur Bestätigung, dass ein Lieferant die Produktionsanforderungen erfüllt → nach VDA: Produktionsprozess- und Produktfreigabe (PPF)	Stellt sicher, dass Serienprodukte den Anforderungen entsprechen
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis:</i> Systematische Risikoanalyse zur Identifikation und Bewertung potentieller Fehler in Produkten oder Prozessen → dt.: Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse	Verhindert Fehler und minimiert deren Auswirkungen
8D-Report	<i>Eight disciplines problem solving:</i> Strukturiertes Verfahren zur Problemlösung und Analyse bei Qualitätsabweichungen → dt.: Acht Disziplinen der Problemlösung	Erlaubt eine systematische Fehlerbeseitigung und Nachverfolgung

¹⁷ Betriebswirtschaftlicher Begriff für optimale Methoden im Unternehmen, dt. auch „Erfolgsmethode“.

¹⁸ Je nach Kontext der Organisation kann der Umfang der Methoden variieren.

SPC	<i>Statistical Process Control:</i> Statistische Prozessüberwachung zur Sicherstellung einer stabilen und fähigen Produktion mit Hilfe von Maschinen- und Prozessfähigkeitsuntersuchungen (MFU/PFU) → dt.: Statistische Prozessregelung / -kontrolle	Erhöht die Prozesssicherheit und Produktqualität
MSA	<i>Measurement System Analysis:</i> Analyse und Bewertung von Messsystemen zur Sicherstellung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Messungen → dt.: Messsystemanalyse	Sichert die Zuverlässigkeit von Prüfprozessen
Control Plan	<i>Control Plan:</i> Dokument zur Überwachung und Kontrolle kritischer Prozess- und Produktmerkmale im Fertigungsprozess → dt.: Produktionslenkungsplan (PLP)	Identifiziert Prozessabweichungen und hilft Korrekturmaßnahmen umzusetzen

2.2.3.3 Standards und Normen in der Automobilindustrie

Eingangs, im Kontext der Begriffserklärungen ([Abs. 2.2.2](#)), wurde bereits die Norm für Qualitätsmanagementsysteme – DIN EN ISO 9000:2015 – erwähnt. Im ergänzenden Abschnitt DIN EN ISO 9001:2015 sind zudem die spezifische Anforderung an ein QMS beschrieben. Besonders konkret fällt diese Norm allerdings nicht aus, wodurch sich in manchen Branchen ergänzende Standards über die ISO 9001 hinaus etabliert haben. Im Bereich der Schienenfahrzeugindustrie ist dies beispielsweise der International Railway Industry Standard (IRIS). Die Automobilindustrie weist dabei sogar mehrere branchenspezifische Normenwerke auf (vgl. [Brüggemann, Bremer 2020](#), S. 144 ff.).

Nach der offiziellen Einführung der allgemeinen ISO 9001 in den späten 1980er Jahren, führten die US-Automobilhersteller GM, Ford und Chrysler (damals „*Big Three*“) den QS-9000-Standard ein. Kombiniert wurden dabei die allgemeinen Anforderungen der ISO 9001 mit spezifischen Anforderungen der US-Hersteller. Inbegriffen waren an dieser Stelle die zuvor beschriebenen Core Tools ([Abs. 2.2.3.2](#)), welche durch die bereits zuvor existierende AIAG etabliert wurden. Die QS-9000 wurde zu einer verbindlichen Zertifizierung für Zulieferer der „*Big Three*“ und gilt bis heute als ein großer Schritt der Harmonisierung von Qualitätsanforderungen in der Automobilindustrie (vgl. [a.a.O.](#)).

Ebenfalls in den 1990er Jahren entwickelte sich in Deutschland ein branchenspezifischer Qualitätsstandard des Verbandes der Automobilindustrie (VDA). Dieser wurde in den sogenannten „VDA-Bänden“ festgehalten. Im Bereich des QM sind hier beispielsweise die VDA-Bände VDA 6.1 (QMS) und VDA 6.3 (Prozessaudits) relevant. Später im selben Jahrzehnt wurde die *International Automotive Task Force* (IATF) von mehreren großen, weltweit agierenden Automobilherstellern und Branchenverbänden gegründet. Über die IATF wurde 1999 schließlich die ISO/TS 16949 eingeführt, welche fortan als globaler Standard der Automobilindustrie galt. Hierin vereint wurden der US-amerikanische Standard der QS-9000, die deutschen VDA-Bände und weitere branchenspezifische Standards, wie die AIAG Core Tools. Im Jahr 2016 veröffentlichte dieselbe Institution die IATF 16949 als eigenständigen Standard außerhalb der ISO-Spezifikation. Die IATF 16949 setzt die ISO 9001 als Basis voraus, erweitert diese allerdings um spezifische Anforderungen des Automobilsektors. Seither wird sie als zentrale Norm für QMS in der Branche anerkannt. Einige Automobilhersteller nutzen in vereinzelt Bereichen entlang des Produktlebenszyklus allerdings noch immer spezifische Einzelwerke – so auch die deutschen Hersteller, welche sich zum Teil noch immer auf die ursprünglichen VDA-Bände beziehen. Im Rahmen des wirtschaftlichen Aufstrebens der *Regionen China und Indien* ist derzeit davon auszugehen, dass sich die Standards auf globaler Ebene demnächst erneut verstärkt weiterentwickeln werden (vgl. [Freimuth, Kaiser, Schädler 2022](#), S. 207 ff.) Im Sinne des besseren Verständnisses ist die Entwicklung der automobilbauspezifischen Normenwerke nachfolgend dargestellt ([Abb. 7](#)) (vgl. [Brüggemann, Bremer 2020](#), S. 144 ff.; vgl. [Töpfer 2004](#), S. 259 ff.; vgl. [IATF 2024](#)).

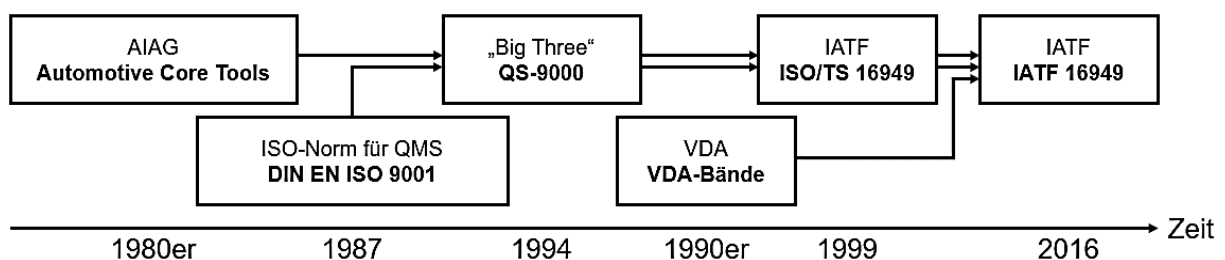


Abbildung 7 Entwicklung branchenspezifischer QMS-Normen im Automobilbau
(In Anlehnung an: [Brüggemann, Bremer 2020](#), S. 144 ff.; [Töpfer 2004](#), S. 259 ff.; [IATF 2024](#))

2.2.4 Prüfung der Technischen Sauberkeit (TechSa)

2.2.4.1 Begriffliche Herkunft von TechSa

Im Kontext der theoretischen Grundlagen zum Qualitätsmanagement soll nun noch die Begrifflichkeit der *Technischen Sauberkeit* (TechSa) eingeordnet sein. Der Begriff beschreibt die Anforderungen an die Sauberkeit von Bauteilen (vgl. [VDA 19.1-2015](#), S. 10 ff.).

Dies ist insbesondere beim Fertigen von sensiblen Komponenten wie hydraulischen Systemen oder mechanischer Antriebstechnik von Relevanz. Ende der 1990er Jahren wurde die Notwendigkeit erkannt, Verunreinigungen an Bauteilen zu reduzieren, um daraus resultierende Abweichungen und Schäden zu minimieren (vgl. [VDA 19.1-2015](#), S. 10 ff.; vgl. [Benazir 2023](#), S. 36 ff.)

Über die Zeit wurden hierzu branchenspezifische Standards und Methoden entwickelt, welche durch die Anforderungen großer Automobilhersteller und ihrer Zulieferer vorangetrieben wurden. Allen voran waren hier deutsche Vertreter über den Verband der Automobilindustrie (VDA, [Abs. 2.2.3.3](#)) beteiligt. In den VDA-Bänden wurde 2004 mit Band 19 ein standardisiertes Regelwerk geschaffen. Dieses wurde über die Zeit immer weiter modifiziert und erweitert, sodass es heute zwei Teile des Bandes gibt: „VDA 19.1 Prüfung der Technischen Sauberkeit“ und „VDA 19.2 Technische Sauberkeit in der Montage“. Der erste Teil des Bandes bezieht sich dabei auf den Prüfprozess an sich, während der zweite Teil eher den Erhalt der Sauberkeit für Arbeitsplätze und dort befindliche Bauteile regelt. International wurde der VDA-Standard 2007 zur *ISO 16232* (aktuelle Version: 2018) weiterentwickelt. Die Norm beschreibt Anforderungen an Partikelanalysen und Sauberheitskontrollen auf globaler Ebene. Die ebenso bereits erwähnte International Automotive Taskforce (IATF) stellt in der IATF 16949 ([Abb. 7](#)) ebenso Anforderungen an die Technische Sauberkeit im Rahmen eines umfassenden Qualitätsmanagements (vgl. [VDA 19.1-2015](#), S. 10 ff.; vgl. [ISO 16232-1:2007](#), S. 1 ff.)

2.2.4.2 Ziele und Bedeutung von TechSa

Das Gewährleisten von Technischer Sauberkeit (TechSa) im Herstellungsprozess folgt dabei den allgemeinen Zielen von Qualitätsmanagement ([Abs. 2.2.2.2](#)). So sollen Qualität und Funktionalität der Erzeugnisse sichergestellt werden. Da *Partikelverunreinigungen* an Bauteilen und -gruppen zu Defekten, Fehlfunktionen und vorzeitigem Verschleiß im funktionalen System des Endproduktes führen können, geht ein erhöhter Verunreinigungsgrad mit einem erhöhten Ausfallrisiko (Feldausfälle) einher. Die Prüfung und Einhaltung von TechSa ist somit entscheidend, um die Nutzbarkeit von Bauteilen und Baugruppen, z. B. in Kraftfahrzeugen, über die vorgesehene Lebensdauer hinweg zu gewährleisten. Wie zuvor bereits erwähnt ([Abs. 2.2.3.1](#)), geht die Einhaltung der Spezifikationen im Automobilbau zum Teil über wirtschaftliche Interessen hinaus. So können funktionale Ausfälle durch Verunreinigung etwa der Antriebs- und Getriebetechnik im Betrieb die körperliche Unversehrtheit der Endkunden gefährden. Über die reine Reduktion von Kosten schlechter Qualität (engl. „*Cost of Poor Quality*“, COPQ) hinaus, ist der Erhalt der Technischen Sauberkeit, besonders bei modernen, hochkomplexen Baugruppen – wie Einspritzsystemen, ABS- oder Getriebekomponenten – auf eventuelle Sicherheitskritikalität (z. B. per FMEA-Verfahren, [Tab. 3](#)) zu prüfen (vgl. [Benazir 2023](#), S. 36 ff.; vgl. [Jomesa 2024](#)).

Weitere Aspekte der Bedeutsamkeit könnten für Lieferanten zudem in der Sicherstellung der *Wettbewerbsfähigkeit* beschrieben sein. So ist die Erfüllung von TechSa-Sauberkeitsanforderungen eine Bedingung vieler Erstausrüster (OEMs), welche sich über die Weitergabe dieser Anforderungen rechtlich absichern. Zudem senkt ein sauberer Herstellungsprozess den Materialeinsatz durch Beiträge zur Produktqualität und Langlebigkeit. Somit sind zusätzliche Aspekte der Nachhaltigkeit („Neo-Ökologie“, Abb. 1) mit in die Bedeutsamkeit Technischer Sauberkeit einzupreisen (vgl. Benazir 2023, S. 36 ff.; vgl. Gail, Gommel 2018, S. 815 ff.; vgl. Jomesa 2024).

2.2.4.3 Standardprozedur und Ergebnisgrößen von TechSa

Da die vorliegende Arbeit sich zu einem späteren Zeitpunkt vorrangig der Untersuchung des TechSa-Prüfprozesses in der betrieblichen Praxis widmen wird (gemäß Abs. 1.3), soll die *Standardprozedur* und die *Ergebnisse* des Verfahrens an dieser Stelle kurz eingeordnet sein. Die Ausführungen komplettieren somit die QM-bezogenen theoretischen Grundlagen dieser Ausarbeitung. Wie zuvor bereits erwähnt (Abs. 2.2.4.1), bezieht sich der TechSa-Prüfprozess auf die Normenwerke des VDA-Bandes 19 bzw. die ISO 16323:2018. Beide Standards beschreiben dabei im Volltext eine Standardprozedur. Die ISO 16323 ist dabei stark an die Ausführungen des ersten Teils der VDA 19 angelehnt, weshalb diese nachfolgend als Referenz vorgestellt wird (vgl. VDA 19.1-2015, S. 83 f.; vgl. ISO 16232-2:2007, S. 3 ff.).

Als übergeordneten Zweck der Prüfung gibt die VDA 19.1 die „*Erfassung von Partikelverunreinigungen an relevanten Bearbeitungsflächen*“ an. Zudem werden bestehende Besonderheiten gegenüber anderen Prüfverfahren, wie etwa optische oder taktile (berührende) Methoden herausgestellt. Bei der TechSa-Prüfung handelt es sich um eine *indirekte Prüfung*, da hier eine Probenahme (Extraktion) erforderlich ist. Inne liegende und schwer zugängliche Flächen wie Bohrungen können nur auf diese Art und Weise geprüft werden. Funktionskritische Bereiche sind mit herkömmlichen Mitteln (optisch, taktil) oft nicht zerstörungsfrei überprüfbar. Direkt zugängliche Oberflächen eignen sich zudem aufgrund von Material, Rauheit oder Kontrast meist ebenso wenig für eine direkte Inspektion (vgl. VDA 19.1-2015, S. 15 ff.).

Der Ablauf der Extraktion lässt sich abstrahiert herunterbrechen auf das Reinigen des Prüfteils, die Filtration des Extraktionsmediums sowie die Abscheidung von Partikeln auf einen Analysefilter. Zu beachten ist, dass das Sauberkeitsmerkmal durch die Durchführung der Prüfung (Extraktion) verändert wird, wodurch eine Wiederholungsprüfung unmöglich ist. Es gibt verschiedene Extraktionsmethoden, welche für das jeweilige Prüfobjekt qualifiziert werden müssen. Die entsprechenden Qualifizierungskriterien und Extraktionsparameter sind dazu ebenso in den VDA-Richtlinien dokumentiert. Zusätzlich ist ein Blindwert („*Leerbeprobung*“) zu nehmen, welcher ebenso vorab Anforderungen erfüllen muss (vgl. VDA 19.1-2015, S. 15 ff.; 54 ff.).

Die Standardanalyse sieht für einen qualifizierten Prüfprozess nach erfolgter Extraktion eine Filtration über ein Filtersystem vor. Hierbei werden Partikel ab einer Größe von 50 µm hinsichtlich Länge und/oder Breite untersucht – ebenso wie zum Teil auf Faserform und metallischen Glanz (Partikelgrößenanalyse, „*Granulometrie*“). Des Weiteren ist die Gesamtmasse aller Partikel zu analysieren, die aus dem Bauteil extrahiert wurden und auf einen Analysefilter abgeschieden sind („*Gravimetrie*“¹⁹). Dies kann beispielsweise über eine Differenzmessung (Vorher-Nachher-Vergleich) der eingesetzten Analysefilter geschehen. Die Standardanalyse sieht zur Auswertung der Granulometrie die Verwendung eines Lichtmikroskops vor. Je nach Ziel der Analyse kann der Umfang des Verfahrens auch erweitert („Weitergehende Analysen“) oder eingeschränkt („Verkürzte Analysen“) werden. Die Prozedur der TechSa-Prüfung ist mit ihren Ergebnisgrößen nachfolgend dargestellt (Abb. 8) (vgl. VDA 19.1-2015, S. 17, 42 ff.)

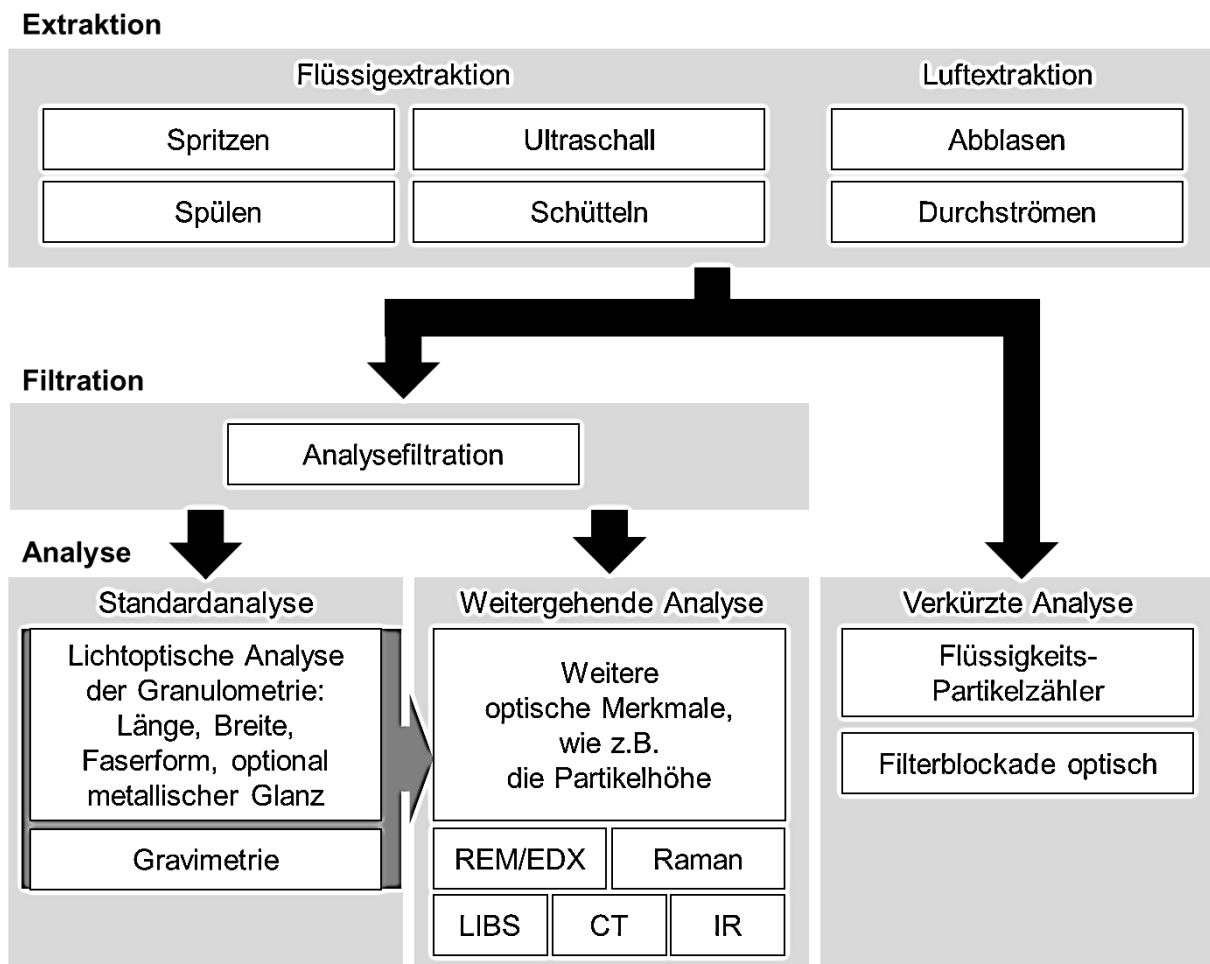


Abbildung 8 TechSa-Prüfprozedur und Ergebnisgrößen nach VDA 19.1

(In Anlehnung an: VDA 19.1-2015, S. 17, 42 ff.)

¹⁹ Methode zur Quantifizierung der Masse von Substanzen mittels Auswaage.

2.3 Prozessmanagement

2.3.1 Prozessmanagement im Kontext dieser Arbeit

Der fachlich zweite Teilbereich der vorliegenden Arbeit besteht im *Prozessmanagement*. Die Relevanz des Fachgebietes ergibt sich, wie schon beim vorher beschriebenen QM ([Abs. 2.2](#)), aus der Zielstellung dieser Arbeit ([Abs. 1.3](#)). In ihr sind diverse inhaltliche Auseinandersetzungen mit der Prüfung der Technischen Sauberkeit (TechSa) als Prüfprozess vorgesehen. Die Beschreibung des Ablaufes über Modelle ([Abs. 1.3](#), [Tab. 1](#), M1), wie auch die darüberhinausgehenden Analyseschritte ([Abs. 1.3](#), [Tab. 1](#), M2-M4) beziehen sich auf die TechSa-Prüfung als Prozess. Vor diesem Hintergrund soll der Fachbereich des Prozessmanagements nachfolgend als wesentliche theoretische Grundlage eingeordnet sein.

2.3.2 Grundlagen des Prozessmanagements

2.3.2.1 Historische Entwicklung von Prozessmanagement

In erster Instanz soll die Begrifflichkeit des Prozessmanagements auch hier wieder eingeordnet sein. Der Begriff geht historisch zurück auf den Beginn des 19. Jahrhunderts. Wie auch die Null-Fehler-Strategie, welche im Automobilbau von besonderer Bedeutung ist ([Abs. 2.2.3.1](#)), geht auch das Prozessmanagement aus den negativen Erscheinungen des *Taylorismus*²⁰ von F. W. Taylor hervor. Der Ansatz der Trennung von planenden und ausführenden Tätigkeiten, sowie der Aufbau- und Ablauforganisation setzte den Fokus auf Massenproduktion. Die Zersplitterung des Arbeitsablaufs, das Fördern von Abteilungsdenken und eine mangelnde Prozessübersicht waren Nachteile von Taylors Ansatz (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 2–5; vgl. [Schwab 2005](#), S. 18 ff.).

In den 1980er Jahren wurde schließlich die elektronische Datenverarbeitung (EDV) eingeführt. Inbegriffen sind dabei Erfassung, Bearbeitung, Transport, wie auch Aus- und Wiedergabe von Daten (vgl. [Franz 1991](#), S. 11 ff.). Diese wurden schließlich zur Steuerung arbeitsteiliger Abläufe verwendet. So wurden Aktionsdatenbanken und rudimentäre E-Mail-Systeme zur Prozesssteuerung entwickelt. Übergeordnetes Ziel war hierbei die Verkürzung von Durchlaufzeiten, die Ressourcenoptimierung in betrachteten Prozessen, sowie die allgemeine Papierreduktion im Bereich der Dokumentation. Über die Zeit etablierte sich für diese Phase der Begriff der *aktionsorientierten Datenverarbeitung* (AODV). Das Konzept scheiterte gegen Ende des Jahrzehnts allerdings an begrenzter Informationstechnik. Der zugrundeliegende Ansatz wurde erst später als „*Workflowmanagement*“ (WFM) umgesetzt, als leistungstärkere Rechentechnik verfügbar war (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 3 f.).

²⁰ Maximierung des Produktionsausstoßes durch Prozesssteuerung und Arbeitsstudien ([Abs. 2.2.3.1](#)).

In den sich anschließenden 1990er Jahren folgte die Phase der *Prozessorientierung*. In der Fachliteratur wird hierbei zum Teil auch von „exploitativem Prozessmanagement“ gesprochen. Angestoßen wurde die neue Bewegung durch eine Vielzahl an Veröffentlichungen durch Forscher und Praktiker. In den USA sind dabei insbesondere die Wirtschaftswissenschaftler Michael Hammer und James „Jim“ A. Champy als Pioniere anzusehen (vgl. [Berndt 1997](#), S. 3–17). Im deutschsprachigen Raum ist hierbei der Wirtschaftsinformatiker August-Wilhelm Scheer zu benennen (vgl. [Scheer 1990](#), S. 14 ff., 269–282). Errungenschaften dieser Zeit bestehen zum Beispiel in der Einbindung von IT-Strukturen zur Unterstützung prozessorientierter Abläufe. Konkret ist die Integration von *Enterprise-Resource-Planning* (ERP) Systemen zur Planung und Steuerung von Ressourcen anzuführen. Ein weiteres Beispiel besteht in der Anwendung von Methoden, wie der *Architektur integrierter Informationssysteme* (ARIS) von Scheer zur Modellierung von Geschäftsprozessen (vgl. [a.a.O.](#)). Der Fokus der Prozessorientierungsphase bestand im Verbessern bzw. Weiterentwickeln („exploitativer Ansatz“) bestehender Prozesse (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 4 f.).

Die vierte und jüngste Phase der Entwicklung im Prozessmanagement besteht in der *Digitalisierung* – bzw. im „explorativen Prozessmanagement“. Die Phase begründet sich in wesentlichen, weltweiten Entwicklungen – die einleitend erwähnten Megatrends ([Abs. 1.1](#)). Seit 2015 wird die digitale Transformation auch im Fachbereich des Prozessmanagements als „*Enabler*“ (dt. „Ermöglicher“) gesehen. Das Aufkommen neuer Konzepte, wie Big Data ²¹, Cloud Computing ²² oder generell die Industrie 4.0 ²³ beeinflusst die Arbeit an und mit Prozessen auf unterschiedliche Art und Weise. Der Fokus liegt nun auf der zukunftsorientierten Entwicklung neuer (datenbasierter) Geschäftsmodelle. Moderne Anwendungsgebiete ergeben sich beispielsweise in der Echtzeitanalyse von Maschinendaten oder der „aktiven Käufersteuerung“ ²⁴. Eine intensivere wissenschaftliche Erforschung im Bereich der neuen Möglichkeiten begann ab dem Jahr 2019 (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 5).

Die Entwicklungsphasen von Prozessmanagement sind in [Abbildung 9](#) dargestellt.

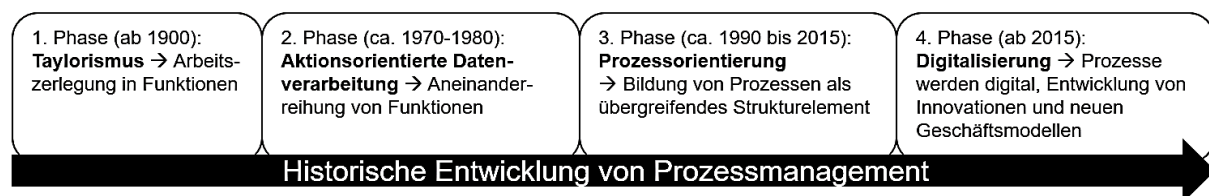


Abbildung 9 Entwicklungsphasen des Prozessmanagements

(In Anlehnung an: [Gadatsch 2023](#), S. 3)

²¹ Verarbeitung von großen, komplexen und sich schnell ändernden Datenmengen.

²² Verfügbarkeit von Rechenressourcen (z. B. Speicher, Infrastruktur) als Dienste über das Internet.

²³ Bezeichnung für Projekte zur umfassenden Digitalisierung der industriellen Produktion.

²⁴ Echtzeitanalyse von Abverkäufen und Vorhersage des aktuellen Kundenverhaltens.

2.3.2.2 Grundbegriffe im Prozessmanagement

Nach Klärung der Herkunft des Prozessmanagements ([Abs. 2.3.2.1](#)), sollen nun wesentliche Grundbegriffe im Zusammenhang mit dem Fachbereich geklärt sein. Als erstes ist einmal die Begrifflichkeit des „Prozesses“ an sich zu klären. Hier gibt es bereits unterschiedliche Varianten zur Eingrenzung und Definition. Die Wortherkunft liegt dabei im Lateinischen, in welchem „procedere“ für „vorwärts gehen“ steht. Allgemeinsprachlich wird unter einem Prozess ein Verlauf, eine Entwicklung oder auch ein ganzes System von Bewegungen verstanden (vgl. [DWDS 2024](#)). Der Begriff kann dabei in verschiedenen Kontexten angewandt werden. Ein Verfahren vor Gericht ist ein Prozess im rechtlichen Sinne. Das Vorgehen zur Entscheidungsfindung in politischen Institutionen wäre ein Beispiel im politischen Zusammenhang. Weiterhin ließen sich Prozesse auch im soziologischen (z. B. Urbanisierung), psychologischen (Ablauf im Denken) oder auch ökologischen Kontext (z. B. Stoffkreisläufe) finden (vgl. [Heghmans 2014](#), S. 7 ff.; vgl. [Bardt, Wentzel 2024](#), S. 153 ff.; [Alikhani 2021](#), S. 155–158; vgl. [Rieger, Müsseler 2024](#), S. 312 ff.; vgl. [Hilberg 2022](#), S. 215–239).

Der Prozessbegriff soll sich in der vorliegenden Arbeit aber im Wesentlichen auf eine geschäftliche Interpretation (als „Geschäftsprozess“) beschränken. Zuzuordnen sind hierbei alle Abfolgen von Tätigkeiten innerhalb einer Organisation, welche auf die Wertschöpfung abzielen. Dabei sind auch in dieser eingeschränkten Betrachtung des Prozessbegriffs unterschiedliche Definitionen möglich. Die wissenschaftliche Diskussion um Prozessmanagement bietet dabei ganze Studien zur Abgrenzung und Kontextualisierung des Prozessbegriffs (vgl. [Hilmer 2016](#), S. 5 ff.). Nachfolgend sollen daher nun einige etablierte Definitionsansätze vorgestellt sein. Eine der weltweit ersten Einordnungen erfolgte 1994 durch die US-amerikanischen Wirtschaftswissenschaftler Hammer und Champy. Diese beiden beschrieben die Geschäftsprozesse (wörtlich „Unternehmensprozesse“) als Aktivitäten, welche Inputs erfordern, um somit ein wertschöpfendes Ergebnis für den Kunden zu erzeugen. Charakteristisch ist dabei die Steuerung durch einen Verantwortlichen aus dem oberen Management (vgl. [Hammer, Champy 2002](#), S. 71 ff.). In der deutschen Wirtschaftswissenschaft prägten Scheer²⁵ und Jost im Jahr 1996 den Begriff des Geschäftsprozesses als modellhafte Beschreibung von Funktionen in ihrer inhaltlichen und zeitlichen Abhängigkeit. Der Geschäftsprozess ist hierbei von funktionsübergreifendem Charakter und umfasst mehrere Schritte. Entsprechend wird er dabei mit anderen Begrifflichkeiten, wie „Prozesskette“ und „Vorgangskette“ gleichgestellt (vgl. [Becker, Vossen 1996](#), S. 29–46). Eine weitere Interpretation aus dem deutschsprachigen Raum kam 1995 vom österreichischen Wirtschaftsinformatiker Österle (vgl. [Österle 1995](#), S. 35 ff.; vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 8 f.).

²⁵ Entwickler der Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS).

Dieser sieht in einem Geschäftsprozess ebenso eine Abfolge von Aufgaben. Hinzukommt, dass Österle diese Abfolge als Verteilung über mehrere Organisationseinheiten hinweg bezeichnet. Unterstützt wird der Geschäftsprozess nach Österle durch IT-Anwendungen und verknüpft somit, als Bindeglied, Strategie und Systementwicklung (vgl. [Österle 1995](#), S. 35 ff.). Die Ingenieurwissenschaften erschlossen das Prozessmanagement bereits lange vor der Entwicklung von betriebswirtschaftlichen Ansätzen. Das übergeordnete Ziel bestand hierbei in der Gewährleistung einer gleichbleibenden Qualität ([Abs. 2.2.2.1](#)) unter der Tätigkeit verschiedener Mitarbeiter. Neben der Betrachtung von klassisch betriebswirtschaftlichen (Geschäfts-) Prozessen, werden „technische Prozesse“ hier einer separaten, differenzierten Betrachtung unterzogen. Technische Prozesse sind beispielsweise das Fräsen eines Bauteils, während Geschäftsprozesse (ugs. auch „Büroprozesse“) etwa in der Kundenauftragsbearbeitung bestehen können. Der wesentliche Unterschied im Umgang zwischen technischen und betriebswirtschaftlichen Prozessen besteht dabei in der Formalisierung. So werden Geschäftsprozesse standardmäßig über Ablaufdiagramme dokumentiert, während technische Prozesse in der Regel über Stücklisten und Arbeitspläne abgebildet werden („Prozessmodellierung“, [Abs. 2.3.4](#)) (vgl. [Berkau 1998](#), S. 27–32; vgl. [Schnieder 1986](#), S. 19 ff.). Zusammenfassend lässt sich die Formulierung des deutschen Wirtschaftsinformatikers Gehring anwenden. Dieser beschrieb Geschäftsprozesse 1998 als zielgerichtete, zeitlich-logische Abfolge von Aufgaben, welche arbeitsteilig ausgeführt wird. Er ergänzte dabei ebenso die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie das Verfolgen vorgegebener Prozessziele, die wiederum aus der Unternehmensstrategie abgeleitet werden. Die Begrifflichkeit des „Geschäftsprozesses“ ist nachfolgenden schematisch eingeordnet ([Abb. 10](#)) (vgl. [Gehring, Gabriel 2022](#), S. 659 ff.; vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 8 f.).

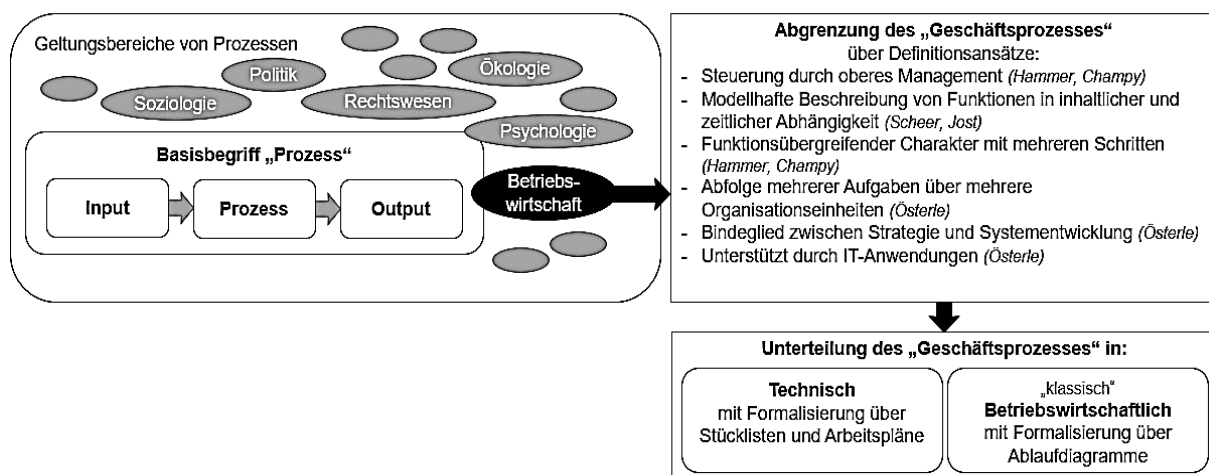


Abbildung 10 Einordnung der Begrifflichkeit „Geschäftsprozess“

(In Anlehnung an: vorherige Ausführungen und Literaturverweise)

Nach einer generellen Begriffseinordnung von „Geschäftsprozessen“, ist hierbei noch der Vermerk auf die *Hierarchisierung* und *Kategorisierung* von Geschäftsprozessen vorzunehmen. Die Hierarchisierung beschreibt dabei die Betrachtung der Prozesse auf verschiedenen Abstraktionsebenen. In der Regel findet das Top-Down-Prinzip ²⁶ dabei Anwendung. Somit beginnt die Hierarchisierung bei einem übergeordneten Geschäftsprozess und endet bei elementaren Prozessschritten. Die Kategorisierung erfolgt bei Geschäftsprozessen in den meisten Fällen über eine Unterteilung nach Steuerungs-, Kern- und Unterstützungsprozessen. Die Steuerungsprozesse – zum Teil auch als Management- oder Führungsprozesse bezeichnet – regeln das Zusammenspiel aller Geschäftsprozesse auf übergeordneter Ebene. Kernprozesse zeichnen sich durch ihren hohen Wertschöpfungsanteil und ihre wettbewerbskritische Bedeutung aus. Unterstützungsprozesse weisen hingegen kaum bis keinen Anteil an der Wertschöpfung aus. Sie bilden allerdings alle Querschnittsleistungen ab, welche die Durchführung von Kernprozessen überhaupt erst ermöglichen. Im nachfolgenden Schema werden Hierarchisierung und Kategorisierung von Geschäftsprozessen in kombinierter Form dargestellt (Tab. 4) (vgl. Gadatsch 2023, S. 10 ff.; vgl. GIZ 2015, S. 71 f.; vgl. Aschenbrenner et al. 2010, S. 71–73).

Tabelle 4 Steuerungs-, Kern- und Unterstützungsprozesse mit Hierarchisierung
(Eigene Darstellung, Bsp. anhand vorheriger Schilderungen – Produktionsbetrieb)

Geschäftsprozessstyp	Abstraktionsebene ²⁷	Beispiel
Steuerungsprozesse	Geschäftsprozess	Strategieentwicklung
	Geschäftsprozessschritt	Marktanalyse
	Elementarer Prozessschritt	Analyse von Wettbewerberdaten
Kernprozesse	Geschäftsprozess	Produktion
	Geschäftsprozessschritt	Montage der Produktkomponenten
	Elementarer Prozessschritt	Schrauben eines Bauteils an einer Montagestation
Unterstützungsprozesse	Geschäftsprozess	Personalverwaltung
	Geschäftsprozessschritt	Bearbeitung von Mitarbeiteranfragen
	Elementarer Prozessschritt	Erfassung eines Urlaubsantrags im Personalinformationssystem

²⁶ Prinzip der Annäherung vom Abstrakten hin zum Konkreten („Deduktion“).

²⁷ Beispielhafte Benennung; kann auch anderweitig beschrieben werden (z. B. 1, 2, 3, ...).

2.3.2.3 Ziele und Teilbereiche von Prozessmanagement

Das (Geschäfts-) Prozessmanagement im betriebswirtschaftlichen Kontext umfasst dabei verschiedene Teilbereiche mit unterschiedlichen Aufgabentypen. Je nach untersuchter Publikation oder praktischem Bezug sind teilweise abweichende Einordnungen möglich. Eine anwendbare Unterteilung ist in den drei Ebenen des *strategischen*, *fachlichen* und *technischen Prozessmanagements*. Diese bauen, ähnlich wie die Geschäftsprozessstypen ([Abs. 2.3.2.2](#), [Tab. 4](#)), aufeinander auf und sind somit hierarchisiert (top-down von strategischem zu technischem Prozessmanagement) (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 5 ff.).

Im *strategischen Prozessmanagement* (auch „Geschäftsmodellmanagement“), steht die Analyse und Gestaltung von ganzheitlichen Geschäftsmodellen sowie deren Strukturen im Vordergrund. Als Geschäftsmodell ist dabei eine „*modellhafte Repräsentation der logischen Zusammenhänge, wie eine Organisation bzw. Unternehmen Mehrwert für Kunden erzeugt und einen Ertrag für die Organisation sichern kann*“ zu verstehen ([Grösser 2018a](#)). Allgemeiner beschreiben Geschäftsmodelle also einen Unternehmenszweck und bestimmen wesentliche Aspekte, wie die Preis- und Absatzpolitik, die genutzten Vermarktungsmodelle oder auch generelle Verfahren zur Leistungserstellung. Auf dieser strategischen Ebene werden daher grundlegende Prozessstrukturen festgehalten. Ebenso relevant ist hier das Prozesscontrolling, welches Instrumente zur Überprüfung von Effektivität und Effizienz der definierten Geschäftsprozesse etabliert und anwendet (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 5 ff.).

Hierarchisch unterhalb des strategischen Prozessmanagements ist das *fachliche Prozessmanagement* (auch „operatives Prozessmanagement“) einzuordnen. Der Fokus liegt hierbei auf der Dokumentation, Analyse und Gestaltung von Prozessen. Entwickelt werden fachliche Prozessmodelle, welche die Unternehmensprozesse in ihrer logischen Ablaufstruktur auf operative Ebene abbilden. Je nach Detaillierungsgrad, können zu den fachlichen Prozessmodellen auch ergänzende Datenmodelle (z. B. für die Nutzung von ERP-Systemen) hinzugezogen werden. Somit ermöglicht das fachliche Prozessmanagement eine operative Prozesskontrolle mithilfe der Steuerung durch Kennzahlen (vgl. [a.a.O.](#)).

Die Ebene mit dem höchsten Detaillierungsgrad wird als *technisches Prozessmanagement* (engl. „Workflow-Management“) bezeichnet. Primärer Bestandteil ist hier die IT-Unterstützung für die Prozessausführung und -steuerung. Es sind dazu digitale Prozesse zu erstellen, welche dann über Workflow-Managementsysteme (WFMS), ERP-Systeme oder etwa Robotic-Process-Automation (RPA) ausgeführt werden. Angewandt wird neben der Modellierung hierbei auch häufig die Methode der Simulation (z. B. die Materialflusssimulation, MFS) (vgl. [a.a.O.](#)).

Die vorliegende Arbeit ist primär im Bereich des fachlichen Prozessmanagements zu verorten. Die soeben vorgestellten *drei Ebenen von Prozessmanagement* sind nachfolgend schematisch dargestellt (Abb. 11).

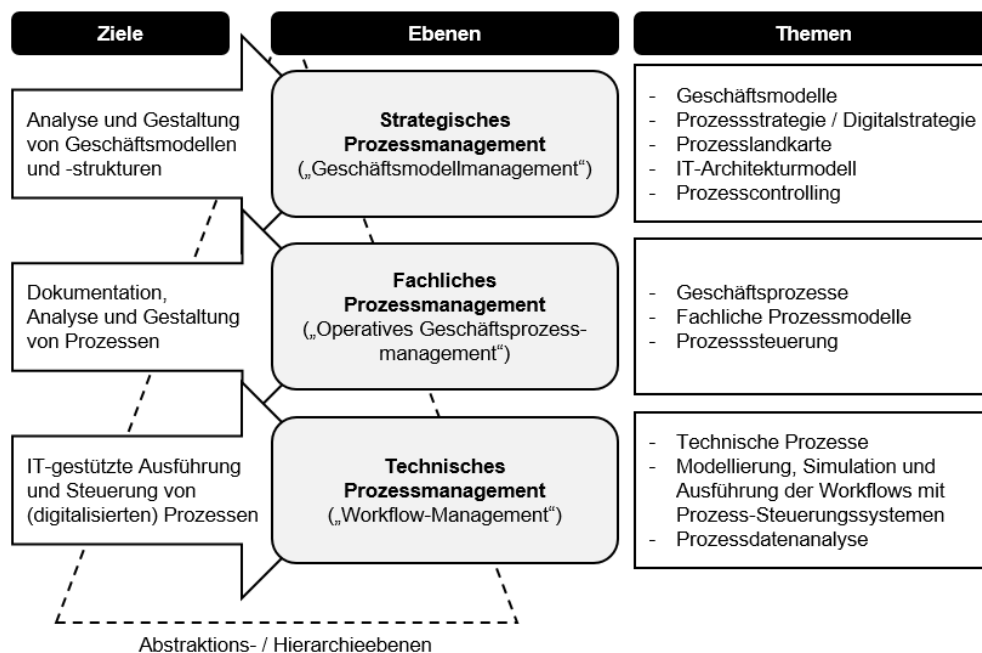


Abbildung 11 Ziele und Ebenen von Prozessmanagement (Teilbereiche)

(In Anlehnung an: Gadatsch 2023, S. 6)

2.3.3 Abgrenzung – Management, Modellierung und Optimierung

Nachdem nun die Grundlagen von Prozessmanagement beschrieben wurden, soll der aktuelle wissenschaftliche Stand um Methoden der Prozessmodellierung und -optimierung nachfolgend beschrieben sein. Vorab wird dazu allerdings noch eine zusammenfassende Abgrenzung der Begriffe „*Prozessmanagement*“, „*Prozessmodellierung*“ und „*Prozessoptimierung*“ vorgenommen sein. Gewährleistet werden soll somit die präzise Abgrenzung der unterschiedlichen Teilbereiche und ihrer inhaltlichen Schwerpunkte, um den Erwartungen wissenschaftlicher Standards gerecht zu werden.

Dem Begriff des „Prozessmanagements“ kann sich, wie beschrieben (Abs. 2.3.2.3), inhaltlich verschiedenartig angenähert werden. Prinzipiell lässt sich dabei allerdings festhalten, dass das Prozessmanagement einen übergeordneten Rahmen bildet, in welchem die Modellierung und Optimierung stattfinden kann. *Prozessmanagement* setzt den Fokus somit auf eine ganzheitliche Prozesssteuerung über die Nutzung übergeordneter (Prozess-) Frameworks ²⁸ (vgl. vom Brocke, Rosemann 2015, S. 37 ff.).

²⁸ Dt. sinnbildlich „Rahmenwerk“, oder „Gerüst“, als Fundament weiterer Entwicklungen.

Neben der Definition und Dokumentation beinhaltet das Prozessmanagement somit also auch die Überwachung der Prozessleistung. In aller Regel wird diese über Leistungskennzahlen (engl. „*Key Performance Indicators*“, KPI) abgebildet. Hinzu kommt die Verantwortung zur kontinuierlichen Verbesserung der Prozesslandschaft ²⁹ (vgl. vom Brocke, Rosemann 2015, S. 37 ff.; vgl. Gadatsch 2023, S. 83 ff.).

Die Prozessmodellierung stellt in Abgrenzung dazu lediglich eine Technik zur strukturierten Visualisierung von Prozessen dar. Die übergeordnete Fragestellung besteht hierbei also nicht in der generellen Steuerung von Prozessen, sondern im „Aussehen“ von Prozessen hinsichtlich ihrer logischen und ablaufbezogenen Struktur.

Die Prozessoptimierung knüpft schließlich an die Erkenntnisse aus der Modellierung an, um Verbesserungsmaßnahmen systematisch und gezielt umzusetzen. Die verfolgte Zielstellung besteht dabei in aller Regel in der Effizienzsteigerung des betrachteten Prozesses (z. B. durch die Reduktion von Durchlaufzeiten) (vgl. Werner et al. 2022, S. 51 ff.; vgl. Liebetruth 2024, S. 27 ff.; vgl. Gadatsch 2023, S. 103 ff.).

2.3.4 Methoden der Prozessmodellierung

2.3.4.1 Grundsätze der Prozessmodellierung

Nach Abgrenzung der Management-, Modellierungs- und Optimierungsbegrifflichkeiten (Abs. 2.3.3), soll nun der aktuelle wissenschaftliche Stand um die Methoden der Prozessmodellierung beschrieben werden. In erster Instanz ist dabei zu erwähnen, dass das Modellieren von Prozessen eine Vielzahl an Freiheitsgraden zulässt. Um die Qualität von Modellierungsvorhaben abzusichern, sind deshalb die Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung (GoM) entwickelt wurden. Sie knüpfen gedanklich an die Grundsätze ordnungsgemäßer Buchführung (GoB) ³⁰ an und dienen als Leitlinie zur Erstellung von Informations- und Prozessmodellen. Die GoM sind in der nachfolgenden Übersicht aufgeschlüsselt (Tab. 5) (vgl. Liebetruth 2024, S. 31 ff.; vgl. Becker, Kugeler, Rosemann 2012, S. 49 f.; vgl. Bayer, Kühn 2013, S. 76 ff.).

Tabelle 5 Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung (GoM)
(In Anlehnung an: Liebetruth 2024, S. 32 f.)

Nr.	Grundsatz ordnungsgemäßer Modellierung (GoM)
1	Grundsatz der Richtigkeit: Modelle müssen die Realität korrekt abbilden (semantische Richtigkeit)

²⁹ Gesamtheit aller Prozesse innerhalb einer Organisation.
³⁰ Regeln der Rechnungslegung zur Buchhaltung und handelsrechtlichen Bilanzierung.

	• Modellierungsregeln der Notation müssen eingehalten werden (syntaktische Richtigkeit) ³¹
2	Grundsatz der Relevanz: • Nur relevante Aspekte sollen modelliert werden, irrelevante Details sollen vermieden werden • Keine relevanten Informationen dürfen fehlen (z. B. für spezifische Zwecke wie Prozesskostenrechnung)
3	Grundsatz der Wirtschaftlichkeit: • Der Modellierungsaufwand muss im Verhältnis zum erbrachten Nutzen stehen • Der erbrachte Nutzen zeigt sich z. B. in Transparenz, Fehlervermeidung, Schwachstellenbeseitigung oder Automatisierungspotential
4	Grundsatz der Klarheit: • Prozessmodelle müssen für die Zielgruppen verständlich sein • Unterschiedliche Hintergründe der Zielgruppen müssen berücksichtigt werden
5	Grundsatz der Vergleichbarkeit: • Modelle sollen auf vergleichbaren Abstraktions- und Detaillierungsgraden basieren • Ziel: bessere Vergleichbarkeit, strukturiertes Clustern von Verbesserungsvorschlägen und konsistente Automatisierung
6	Grundsatz des systematischen Aufbaus: • Modelle müssen mit anderen Informationen konsistent sein (z. B. IT-Systeme, Datenmodelle) • Input-Daten und Fachbegriffe sind einheitlich und referenzierbar

2.3.4.2 Arten von Prozessmodellierungskonzepten

Generell lassen sich Prozessmodellierungskonzepte in verschiedene Arten einteilen. Alle Arten zielen dabei auf die Reduktion der Komplexität von Geschäftsprozessen ab und ermöglichen eine grundsätzliche Analyse sowie Gestaltung und Dokumentation (vgl. [Gadatsch 2017](#), S. 79 ff., 2022, S. 9 ff., 2023, S. 103 ff.). Je nach Veröffentlichung variiert der formale Rahmen der Einteilung an Methoden zur Prozessmodellierung. Aus diesem Grund wurden inhaltliche und logische Überschneidungen mehrerer Werke herausgearbeitet und nachfolgend zusammengefasst.

³¹ Beschreibt die Regeln des angewandten Modellierungsverfahrens.

Eine der allgemeinsten Einordnungen findet sich in der *Art der Darstellung*. So könnten Modellierungsverfahren beispielsweise in textbasierte, tabellarische, grafische oder mathematisch-formale Verfahren unterschieden werden (vgl. [Becker, Kugeler, Rosemann 2012](#), S. 54, 370 ff.; vgl. [Herrmann 2012](#), S. 147 ff.).

Bei *textbasierten Verfahren* werden Prozesse in klarer, struktureller Textform dargestellt. Der Vorteil besteht darin, dass diese Modelle einfach zu erstellen (geringer Aufwand) und gleichzeitig gut verständlich sind. Sie stellen eine kostengünstige Variante für niedrige Anforderungen an Software und Wissen dar. Ungeeignet ist dieser Ansatz hingegen bei komplexen Abläufen, da hier keine direkte Visualisierung vorgenommen wird und somit eine höhere Fehleranfälligkeit bei der Interpretation besteht. In der Fachdiskussion werden rein textbasierte Verfahren daher häufig aus dem Bereich der Modellierung ausgeschlossen (vgl. [Becker, Kugeler, Rosemann 2012](#), S. 54, 370 ff.; vgl. [Herrmann 2012](#), S. 147 ff.; vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 103 ff.).

Tabellarische Verfahren schließen sich direkt an die textbasierten Verfahren an, da diese die Textkomponente lediglich um die Einteilung in Zeilen und Spalten erweitern. Prozesse werden über Tabellen beschrieben, was ebenso eine klare Struktur für kleinere bis mittlere Prozesse geben kann. Vor- und Nachteile ergeben sich analog zu den textbasierten Verfahren. Dynamische Prozesseinflüsse können zudem meist nur mangelhaft abgebildet werden. Textbasierte und tabellarische Verfahren sind daher lediglich für das Schaffen eines Überblicks anwendbar, nicht aber für eine umfassende Prozessanalyse (vgl. [Gadatsch 2022](#), S. 20–23; vgl. [Kohl, Mertins, Seidel 2016](#), S. 65).

Die häufigste Anwendung im praktischen Prozessmanagement stellen *grafische Verfahren* dar. Über verschiedene Symbole, Pfeile und Flussstrukturen werden Prozesse hierbei visuell dargestellt. Somit ergeben sich anschauliche und intuitive Modelle, welche Kommunikation fördern und dabei auch für das Abbilden komplexer Prozesse geeignet sind. Nachteilig im Vergleich zu textbasierten und tabellarischen Verfahren ist, dass der damit verbundene Aufwand häufig höher ist und die Ersteller der Modelle Kenntnisse in den jeweiligen Notationen³² benötigen. Zudem ist das Risiko einer möglichen Übervisualisierung geboten (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 105 ff.).

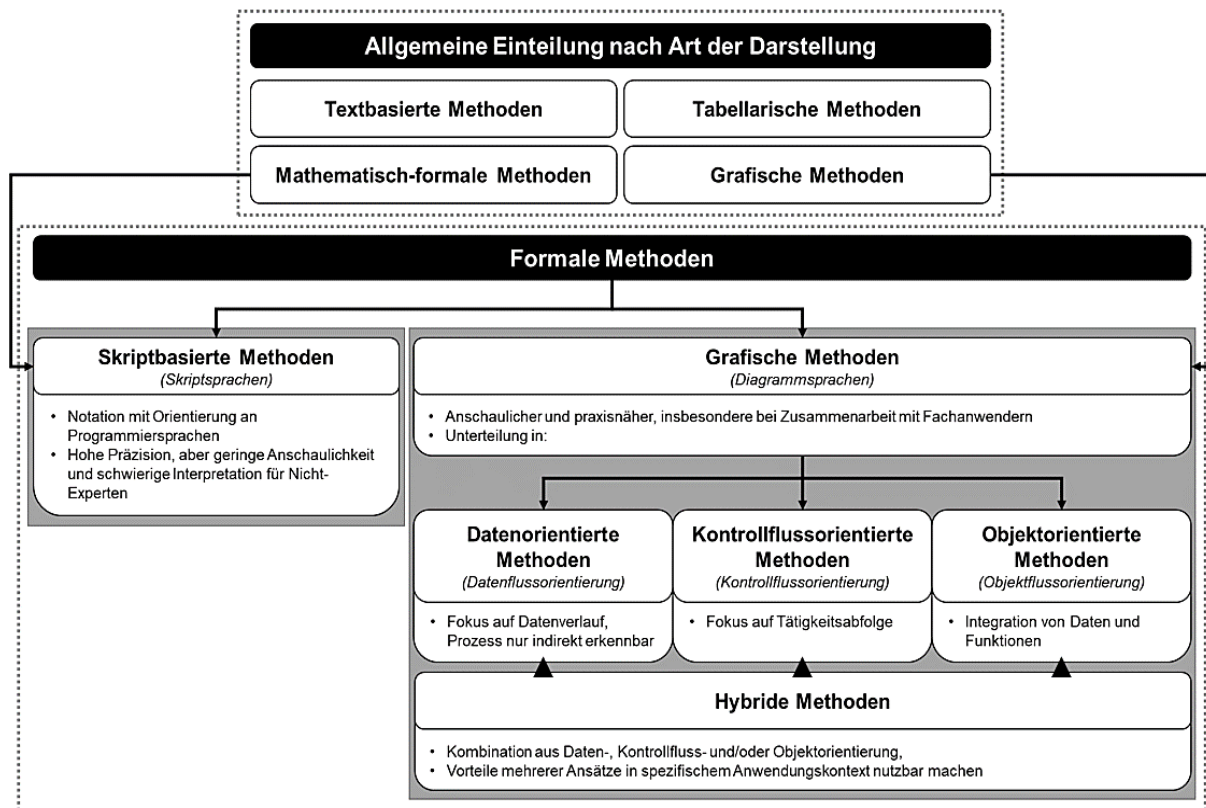
Als letzte Gruppe dieser Einteilung sind *mathematisch-formale Verfahren* zu beschreiben. Hierbei werden Prozesse mit Hilfe von Formeln, Algorithmen oder formalen Notationen modelliert. Diese Konzepte sind sehr präzise und ermöglichen meist auch das Durchführen von Simulation mit integrierten Optimierungsmaßnahmen. Zudem können solche Modelle auf Automatisierbarkeit ausgerichtet werden (vgl. [van der Aalst 2011](#), S. 29 ff.; vgl. [Reisig, Rozenberg 2005](#), S. 122 ff.; vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 170 ff.).

³² System von Zeichen oder Symbolen einer Metasprache (hier: Diagrammsprache).

Der Preis für all diese Vorzüge geht mit einer schweren Verständlichkeit für Laien einher. Gegenüber den anderen Verfahren kommt hier außerdem ein deutlich gesteigerter Arbeitsaufwand bei der Modellerstellung hinzu. Dies geht zurück auf die fundierten methodischen Kenntnisse, welche es sowohl zur Erstellung als auch bei der Auswertung bedarf (vgl. [van der Aalst 2011](#), S. 29 ff.; vgl. [Reisig, Rozenberg 2005](#), S. 122 ff.; vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 170 ff.).

Der wissenschaftliche Diskurs ist primär durch grafische und skriptbasierte („mathematisch-formale“) Verfahren geprägt. So werden *formale Modellierungsverfahren* in ihrer obersten Abstraktionsebene meist nur in diese beiden Varianten unterschieden. Skriptbasierte Methoden orientieren sich an Programmiersprachen und sind im Wesentlichen analog zu den vorherigen Ausführungen der mathematisch-formalen Verfahren zu sehen – ebenso in Bezug auf Vor- und Nachteile. Grafische Methoden werden hierbei nach Orientierung auf Datenfluss, Kontrollfluss oder Objekt unterteilt. Bei datenflussorientierten Methoden wird der Fokus durch den Datenverlauf innerhalb eines Prozesses bestimmt. Der Prozess „an sich“ ist hier nur indirekt erkennbar. Die reine Tätigkeitsabfolge des Prozesses ist wiederum zentrales Element kontrollflussorientierter Methoden. Objektorientierte Verfahren integrieren Daten und Funktionen. Dies bedeutet, dass ein Objekt als Einheit betrachtet wird, welches sowohl Daten (Attribute) als auch Funktionen (Methoden) umfasst. Ein Objekt „Auftrag“ könnte Attribute wie „Auftragsnummer“ sowie Methoden wie „Auftrag stornieren“ enthalten. Zu diesen Verfahren kommen in der Fachliteratur die hybriden Methoden dazu. Kombiniert werden verschiedene Elemente, um die Vorteile mehrerer Ansätze nutzbar zu machen. Sie sind auf spezifische Anwendungsfälle ausgerichtet, bei denen eine reine Daten-, Kontroll- oder Objektorientierung nicht vollständig ausreicht (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 105 ff.; vgl. [Borrmann et al. 2021](#), S. 77 f.).

Die soeben vorgenommene Einteilung ist nachfolgend dargestellt ([Abb. 12](#)).

**Abbildung 12** Einteilung von Prozessmodellierungsverfahren(In Anlehnung an: [Gadatsch 2023](#), S. 105 ff. und zuvor genannte Verweise)

2.3.4.3 Prozessmodellierungsverfahren

Der inhaltliche Abschluss der theoretischen Ausführungen zur Prozessmodellierung soll durch die Benennung konkreter Verfahren abgebildet sein. Die Auflistung von Beispielen wird sich dabei am zuvor beschriebenen Rahmen ([Abs. 2.3.4.2](#), [Abb. 12](#)) orientieren.

In allgemeiner Betrachtung sind den textbasierten Verfahren Ansätze, wie Checklisten, Arbeitsanweisungen oder Handbücher (ideal ISO-9001-konform, [Abs. 2.3.2](#)) zuzuordnen. In tabellarischer Form kann das Prinzip der tabellarischen Prozess-erhebung angewandt werden. Hierzu ist aber das Vorhandensein von speziellen Software-Werkzeugen erforderlich. Für die Abbildung von technischen Prozessen ([Abs. 2.3.2.2](#), [Abb. 10](#)) einer Organisation werden, wie zuvor ausgeführt, klassischerweise Stücklisten und Arbeitspläne angewandt. Stücklisten sind dabei in der Regel tabellarisch aufgebaut und listen Komponenten, Baugruppen und/oder Materialien auf, welche für ein Produkt benötigt werden. Zu beachten gilt, dass diese im Normalfall somit eher ein Erzeugnis beschreiben als den Prozess an sich. Somit sind Stücklisten hierbei nur als Adaption einzubeziehen (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 119–123; vgl. [Kropik 2021](#), S. 51 ff.; vgl. [Lukesch, Kellner 2024](#), S. 81 ff.; vgl. [Schönsleben 2024](#), S. 350 ff.; vgl. [SAP 2024](#); vgl. [Siemens 2024](#)).

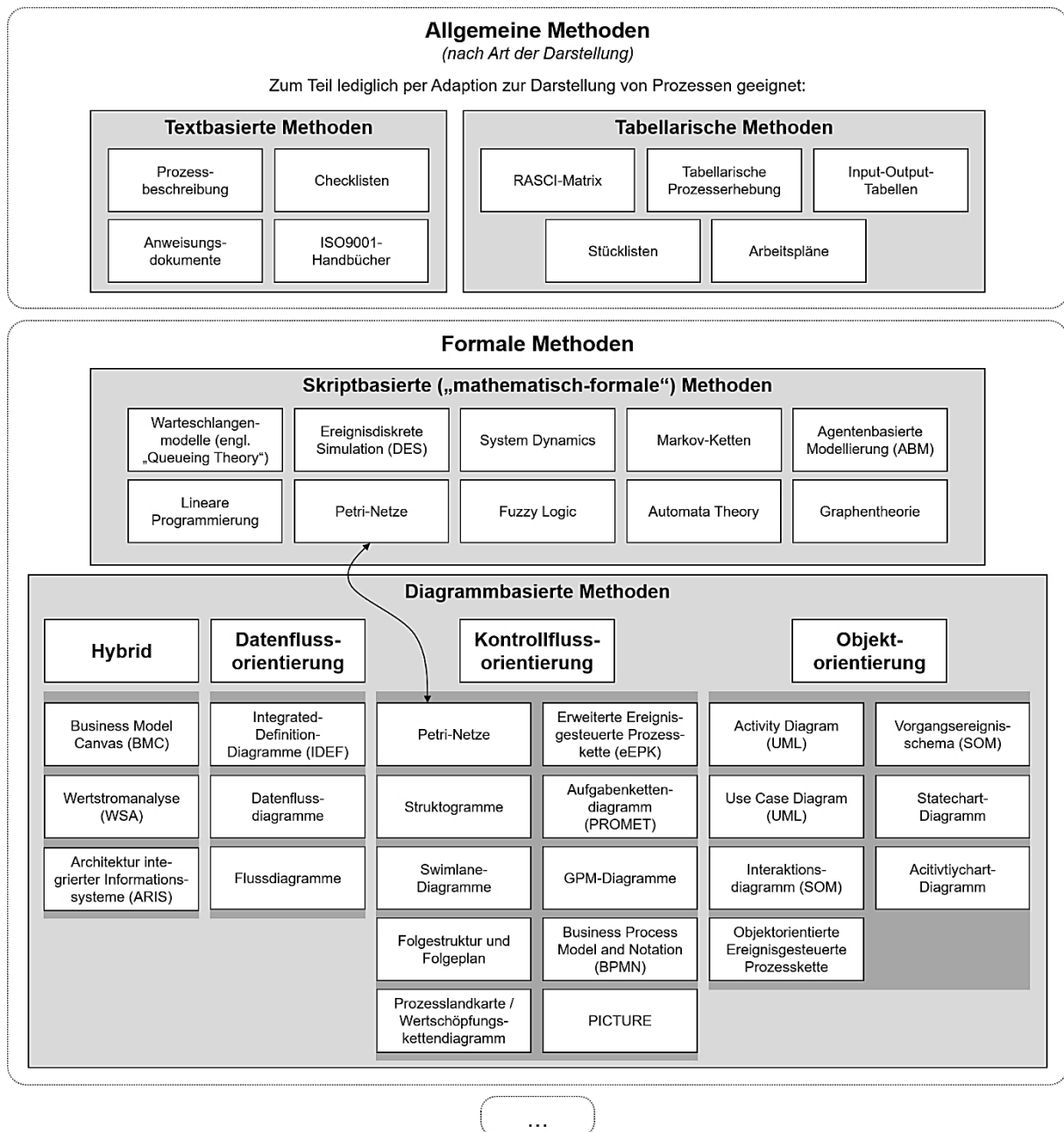
Arbeitspläne sind ebenso tabellarisch aufgebaut. Hierbei werden Arbeitsschritte und -zeiten sowie Daten der benötigten Werkzeuge, Maschinen, etc. niedergeschrieben. Es bestehen sowohl bei Stücklisten als auch bei Arbeitsplänen diverse Adaptionsmöglichkeiten. So bietet die Einbindung von CAD-Systemen ³³ Möglichkeiten zur grafischen Ergänzung. Arbeitspläne können ebenso mit Ablaufdiagrammen kombiniert werden und somit als hybride Variante auftreten. Stücklisten und Arbeitspläne werden zudem in vielen Organisationen in ERP- und/oder MES-Systeme ³⁴ eingebunden. Somit ergeben sich weitere Möglichkeiten für eine zentralisierte Datenverwaltung mit schnellerer Verfügbarkeit. Bei Bedarf kann also ein weiterer computergestützter Ansatz verfolgt werden („mathematisch-formal“) (vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 119–123; vgl. [Kropik 2021](#), S. 51 ff.; vgl. [Lukesch, Kellner 2024](#), S. 81 ff.; vgl. [Schönsleben 2024](#), S. 350 ff.; vgl. [SAP 2024](#); vgl. [Siemens 2024](#)).

Im Bereich der rein mathematisch-formalen Methoden können Petri-Netze erwähnt werden, welche eine Methode zur Modellierung von Prozessen mit Zuständen und Ereignissen darstellt. Petri-Netze sind eines der populärsten computergestützten Verfahren – gelten allerdings als formale, diagrammbasierte Methode. Weitere bekannte Methoden sind die Anwendung der ereignisdiskreten Simulation (z. B. bei der Simulation von Materialflüssen) oder der Fuzzylogik (Erkennen „unscharfer“ Parameter, wie etwa Abweichungen bei der Maschinenleistung oder in Qualitätsprüfungen). (vgl. [Koch, Reisig, Schreiber 2011](#), S. 37 ff.; vgl. [Wehking 2020](#), S. 134, 149 ff.).

Ein Überblick zu Beispielen aller zuvor beschriebenen allgemeinen, wie auch formalen Modellierungsarten ist nachfolgend als Klassifikationsschema gegeben ([Abb. 13](#)).

³³ Computer-Aided-Design, Technologie der computergestützten 2D- und 3D-Zeichnung/-Konstruktion.

³⁴ Computergestütztes System zur Steuerung der Umwandlung von Rohstoffen in Fertigerzeugnisse.

**Abbildung 13** Auswahl an Prozessmodellierungsmethoden

(In Anlehnung an: [Gadatsch 2023](#), S. 105 und Verweise aus [Abs. 2.3.4](#) und [Anl. 2](#))

Das Schema erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Weitere Beispiele für Modellierungsverfahren von Geschäftsprozessen ließen sich für verschiedene Fachbereiche finden. Die Einteilung orientiert sich ebenso am vorher beschriebenen Schema ([Abs. 2.3.4.2](#), [Abb. 12](#)). Anderweitige Klassifikationen sind, je nach Kontext, ebenso möglich. Im Anhang der Arbeit sind die Beispiele in einem Katalog näher beschrieben ([Anl. 2](#)). Im Sinne des formalen Umfangs der Arbeit, erfolgt diese Aufstellung lediglich als Ergänzung und außerhalb des Volltextes.

2.3.5 Prozessoptimierungsmethoden

2.3.5.1 Optimierung als Teilbereich von Prozessmanagement

Als letzter inhaltlicher Punkt im Kontext des Prozessmanagements soll abschließend die *Prozessoptimierung* (auch „Prozessverbesserung“) näher betrachtet werden. Hierzu wird die Optimierung als Teilbereich von Prozessmanagement im übergeordneten Konstrukt verortet werden. Eine Abgrenzung des Modellierungs-, Optimierungs- und Managementbegriffs wurde bereits vorgenommen ([Abs. 2.3.3](#)). Dabei wurde Modellierung als Methode zur Visualisierung logischer Prozessstrukturen identifiziert, welche als Grundlage für anschließende Verbesserungen dient (vgl. [Werner et al. 2022](#), S. 51 ff.; vgl. [Liebetruth 2024](#), S. 27 ff.; vgl. [Gadatsch 2023](#), S. 103 ff.). Nachfolgend sollen beide Aspekte präziser beschrieben und somit ein generelles „Standardvorgehen“ zur Prozessverbesserung erarbeitet werden. In der abstraktesten Ebene lässt sich Prozessmanagement in die drei Punkte der *Prozessanalyse*, der *Prozessoptimierung*, sowie des *Prozessmanagements* im eigentlichen Sinn unterscheiden (vgl. [Schwab 2005](#), S. 47 ff.; vgl. [Arndt 2021](#), S. 80–86; vgl. [Rogowski 2023](#), S. 69 ff.).

Die *Prozessanalyse* ist eine Beschreibung des Ist-Zustandes. Hierbei ist in erster Instanz ein Prozessmodell zu erarbeiten. Die Auswahl eines geeigneten Prozessmodellierungsverfahrens ([Abs. 2.3.4](#), [Anl. 2](#)) stellt dabei den ersten Schritt dar. Mithilfe des erarbeiteten Modells kann eine anschließende Prozessanalyse durchgeführt werden. Die primären Ziele bestehen dann wiederum darin Schwachstellen zu identifizieren, Kennzahlen zu ermitteln und Optimierungspotentiale festzustellen. Wurden Potentiale gefunden, sind neue Prozesse zu erarbeiten und einzuführen. Die Einführung muss dabei als Optimierungsprojekt überwacht werden. Änderungen müssen eine langfristige Begleitung und Konsolidierung durchlaufen. Erst danach ist von einer realisierten Prozessoptimierung zu sprechen. Hieran knüpft dann das tatsächliche „Managen“³⁵ der Prozesse an. Es müssen Prozessziele formuliert und Kennzahlen (KPI) ermittelt werden, um die Leistung des Prozesses fortan einer kontinuierlichen Messung zu unterziehen („Prozesscontrolling“). Je nach Ergebnis dieser Messungen, sowie einhergehender (Un-) Zufriedenheit, können weitere verbessernde Anpassungen am Prozess vorgenommen werden. Generell wird in modernen Industriekonzepten („Industrie 4.0“, „Lean Management“) eine stetige Weiterentwicklung angestrebt (Kontinuierlicher Verbesserungsprozess, KVP). In der Praxis ist dieser Gedanke allerdings mit den Kosten-, Leistungs- und Terminzielen („Magisches Dreieck“, [Abs. 2.2.2.2](#), [Abb. 4](#)) des umgebenden Systems übereinzubringen. Der eben beschriebene Ablauf ist nachfolgend schematisiert dargestellt ([Abb. 14](#)) (vgl. [a.a.O.](#)).

³⁵ Im Kontext des Prozessmanagements in Abgrenzung zur Analyse und Optimierung.

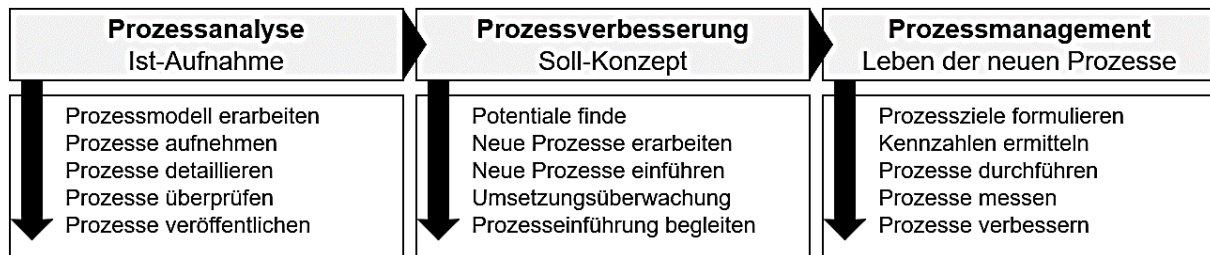


Abbildung 14 Vorgehensweise zur Geschäftsprozessoptimierung (nach Schwab)
 (In Anlehnung an: Schwab 2005, S. 47 ff.; Gäse 2024, S. 32)

2.3.5.2 Ziele der Prozessoptimierung

Generell zielt die Prozessoptimierung auf eine langfristige Steigerung der Produktivität ab. Dieses Vorhaben lässt sich im Sinne des Prozessbegriffs (Abs. 2.3.2.2, Abb. 10) über die Steigerung des Outputs (dt. „Ausbringung“) bei gleichbleibendem Input (dt. „Eingangsgrößen“) erzielen. Bei dem sich hier ergebendem *Maximalprinzip* verschiebt sich somit das Verhältnis zugunsten des Outputs. Den Gegensatz dazu stellt das *Minimalprinzip* dar, bei dem das Verhältnis durch Verringerung des Inputs verbessert wird. Es wird also ein konstanter Output bei reduziertem – idealerweise minimalem – Aufwand angestrebt. Je nach Perspektive stellt ein Produktivitätszuwachs in der Wachstumstheorie ³⁶ also die Maximierung eines übergeordneten Gesamtnutzens dar. Dieser ist in der Praxis häufig, aber nicht immer, kommerzieller Natur („Gewinnmaximierung“). Als übergeordnetes Ziel der Prozessoptimierung sind die beiden ökonomischen Prinzipien zur Produktivitätssteigerung ³⁷ nachfolgend dargestellt (Abb. 15) (vgl. REFA 2024d, 2024e; vgl. Hackfort, Schmitz 2019, S. 74; vgl. Schäfer 2018; vgl. Forner 2024, S. 47 f.).

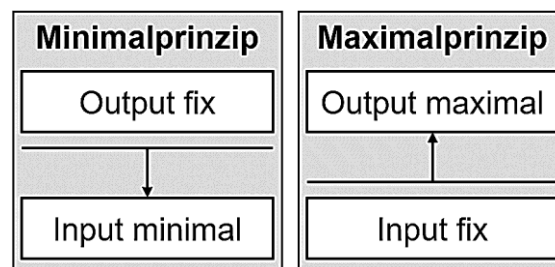


Abbildung 15 Minimal- und Maximalprinzip
 (In Anlehnung an: Forner 2024, S. 47 f.)

Zur Erreichung eines Produktivitätszuwachses können dann wiederum verschiedene Teilziele adressiert werden. Diese können allerdings je nach Branche variieren.

³⁶ Zweig der Volkswirtschaftslehre, der sich mit den Ursachen von Wirtschaftswachstum befasst.

³⁷ Im englischsprachigen Raum z.T. Unterscheidung in: Effizienz = Minimal, Produktivität = Maximal.

So können Adaptionen im Rahmen einer Prozessoptimierung im Gesundheits-, oder Bausektor anders ausgestaltet werden als dies beispielsweise im produzierenden Gewerbe der Fall wäre (vgl. REFA 2024d; vgl. Rogowski 2023, S. 69 ff.; vgl. Leimböck, Iding, Meinen 2024, S. 691 ff.). Da sich diese Arbeit allerdings konkret im Umfeld der industriellen Produktion verortet (Abs. 3.2), sollen nachfolgend lediglich Möglichkeiten aus diesem Bereich exemplarisch eingeordnet sein.

Im Produktionsbetrieb lassen sich beispielsweise Qualitätsverbesserungen durch die Reduktion von Ausschuss, nötigen Nacharbeiten und Verschwendungen erzielen. Dies beginnt zum Teil bereits präventiv durch aktive Fehlervermeidung („Poka Yoke“). Zudem können Durchlaufzeiten, beispielsweise über Warte- und Liegezeiten, verkürzt werden. Hierfür könnte beispielsweise eine Verbesserung des Layouts durch eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung und Rationalisierung unnötiger Transportwege dienlich sein. Optimierte Maschinenauslastungen („Gesamtanlageneffektivität“, OEE) und ein Fokus auf wertschöpfende Tätigkeiten kann beispielhaft ergänzt werden. Die Liste ließe sich beliebig fortsetzen. Grundsätzliche Ansätze im industriellen Umfeld (engl. „Industrial Engineering“) sind nachfolgend dargestellt (Abb. 16) (vgl. REFA 2024d, 2024e).

Produktivitätssteigerung		
• Kombination technischer und organisatorischer Maßnahmen (z. B. Poka Yoke, Automatisierung, Digitalisierung, Kanban) • Kosten-Nutzen-Abwägung bei technischen Maßnahmen erforderlich		
Qualitätsverbesserung	Verkürzung der Durchlaufzeiten	Reduktion des Ressourcenverbrauchs
• Verringerung von Ausschuss, Nachbearbeitung und Verschwendung • Einsatz von Methoden wie Six Sigma, KVP/Kaizen, Qualitätszirkel • Fehlervermeidung durch Gestaltung der Arbeitsmittel (z. B. Poka Yoke)	• Reduktion von Warte- und Liegezeiten (Milkrun, Shopfloor-Prinzip) • Arbeitsabläufe optimieren (Multimomentaufnahme, Wertstromanalyse)	• Einsparung von Material, Personal, Zeit und Geld sichtbar und messbar
Erhöhung der Auslastung	Verbesserung der Abläufe	Verbesserung des Layouts
• Minimierung von Stillständen (z. B. durch KI-gestützte Wartung) • Verkürzung der Rüstzeiten	• Fokus auf wertschöpfende Tätigkeiten und Optimierung von Schnittstellen • Anwendung der Wertstromanalyse	• Ergonomische Anordnung und Umstellung auf Fließfertigung reduzieren Wege und Durchlaufzeiten
Abbau von Kommunikationshemmnissen	Unfallvermeidung	Verkürzung der Wege
• Standardisierung und Visualisierung von Abläufen (z. B. Kanban, Andon-Boards)	• Ordnung und Sauberkeit fördern (5S-Methode) • Einsatz von Warnsystemen zur Reduktion von Stillstandszeiten	• Vermeidung unnötiger Transporte und nicht-ergonomischer Bewegungen
		Kostensenkung
		• Maßnahmen zur Optimierung erfordern Investitionen, führen langfristig zu Einsparungen

Abbildung 16 Ansätze zur Prozessoptimierung in der industriellen Produktion

(In Anlehnung an: REFA 2024d, 2024e)

Wie in der Übersicht (Abb. 16) bereits ersichtlich, gibt es für konkrete Anwendungsfälle spezifische Methoden zur Optimierung. Zur Begrenzung des Umfangs der vorliegenden Arbeit, soll an dieser Stelle auf die Beschreibung aller Verfahren verzichtet werden. Zu späterem Zeitpunkt werden relevante Methoden im Kontext der Arbeitswissenschaft (Abs. 2.4.4.3) eingeordnet.

2.3.5.3 Business Process Reengineering und Kaizen

Im Bereich der industriellen Prozessoptimierung haben sich allgemein zwei übergeordnete Ansätze etablieren können: das *Business Process Reengineering* (BPR) und *Kaizen*. Beide Konzepte zielen auf ein kritisches Hinterfragen und somit die Verbesserung von Unternehmensprozessen ab, unterscheiden sich in ihrer Systematik allerdings grundlegend (vgl. [Arndt 2021](#), S. 81 f.).

Der Ansatz des *Business Process Reengineering* beschreibt dabei die radikale Neugestaltung von Geschäftsprozessen. Zentrales Element ist zu hinterfragen, wie ein Prozess gestaltet werden würde, wenn die Prozessauslegung ganzheitlich neu begonnen werden könnte. Zurück geht dieser Gedankengang bis auf die beiden Pioniere der Prozessorientierung in den frühen 1990er Jahren: Hammer und Champy ([Abs. 2.3.2.1](#)). Der Fokus liegt hierbei in einer grundlegenden Neugestaltung, bei welcher keine Rücksicht auf bestehende Strukturen genommen wird. Somit können systematische Fehler eliminiert werden, welche sich im Laufe der Zeit als Pfadabhängigkeit etabliert haben (ugs. „historisch so gewachsen“). BPR-Projekte sind somit in der Regel top-down von der Geschäftsleitung initiiert und werden häufig durch die Beratung externer Spezialisten unterstützt. Für große, schnelle Veränderungen (z. B. Einführung neuer Aufbauorganisationen) eignet sich BPR gut. Die Risiken bei diesem Verfahren bestehen in potentiellen Widerständen der Mitarbeiter, einer hohen Komplexität und der Gefahr des Scheiterns bei fehlender Akzeptanz (vgl. [a.a.O.](#); vgl. [Gutmann, Wiegerling, Rathgeber 2024](#), S. 267 ff.).

Die zentrale Philosophie beim *Kaizen*-Ansatz besteht hingegen in der kontinuierlichen, schrittweisen Verbesserung im bestehenden Prozess. Zurück geht das Kaizen-Prinzip auf die japanische Nachkriegszeit nach dem Zweiten Weltkrieg. Lokale Automobilhersteller mussten ihre Produktion fortan ohne Gastarbeiter oder Minderheiten mit begrenzten Beschäftigungsmöglichkeiten umsetzen. Diese neuen Arbeitsmarktmerkmale schufen einen Fokus auf einheitliche Arbeitsbedingungen und starke Arbeitnehmerrechte. Es folgte die „*Toyota-Krise*“, bei welcher ein Viertel der Belegschaft entlassen wurde. Gewerkschaftliche Verhandlungen garantierten den verbleibenden Arbeitnehmern lebenslange Beschäftigungsverhältnisse, u. a. mit Entlohnung nach Betriebszugehörigkeit. Somit mussten Arbeitskräfte künftig als langfristige Fixkosten betrachtet werden. Die kontinuierliche Verbesserung der Fähigkeiten von Mitarbeitern wurde gefördert, um langfristig rentabel arbeiten zu können. Humankapital wurde über die Jahrzehnte als wertvolle Ressource genutzt. Kaizen setzt sich als Begriff aus *Kai* (jap. „Wandel“) und *Zen* (jap. „zum Besseren“) zusammen. Heute ist Kaizen als kontinuierliche Verbesserung in kleinen Schritten Kern der Philosophie im Lean Management (vgl. [Arndt 2021](#), S. 81 f.; vgl. [REFA 2024f](#); vgl. [Helmold 2021a](#), S. 1–14).

Vorschläge kommen beim Kaizen-Ansatz von den Mitarbeitern selbst („*bottom-up*“³⁸) und basieren somit auf deren vorhandener Praxiserfahrung. Zur effektiven Anwendung des Prinzips ist eine Unternehmenskultur notwendig, die Wandel als Chance versteht (vgl. [Arndt 2021](#), S. 81 f.; vgl. [REFA 2024f](#); vgl. [Helmold 2021a](#), S. 1 ff.).

Wichtig zu beachten ist, dass Kaizen für große organisatorische Veränderungen keine Ersatzstrategie gegenüber dem BPR-Ansatz darstellt. In der Praxis ist die Kombination beider Ansätze ein gängiges Mittel der Wahl. So wird BPR für einmalige, umfassende Veränderungen angewendet und Kaizen für die langfristige Konsolidierung und Optimierung nach einer entsprechenden Neustrukturierung. Das moderne *Change Management* macht es sich daher zur Aufgabe, sowohl Verbesserungen innerhalb bestehender Strukturen („*Wandel 1. Ordnung*“, Inkrementeller Wandel), als auch grundlegende Veränderungen der Organisation („*Wandel 2. Ordnung*“, Transformationaler Wandel) zu adressieren (vgl. [Eggers, Ahlers, Eichenberg 2011](#), S. 176 f.; vgl. [Reiss 2017](#), S. 49). Die Kombination beider Optimierungsansätze bezogen auf die chronologische Entwicklung der Prozessqualität ist nachfolgend dargestellt ([Abb. 17](#)) (vgl. [Arndt 2021](#), S. 81 f.).

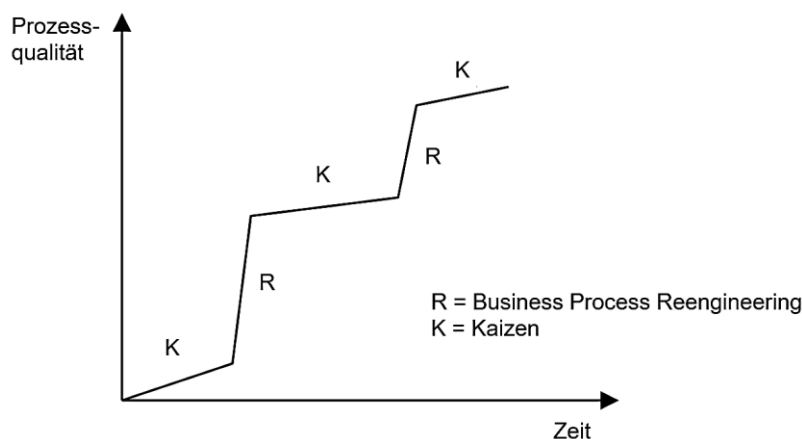


Abbildung 17 Business Process Reengineering und Kaizen

(Quelle: [Arndt 2021](#), S. 82)

2.3.5.4 Grundlegende Ansätze der Prozessoptimierung

Im inhaltlichen Zusammenhang mit den Zielen von Prozessoptimierung ([Abs. 2.3.5.2](#)) wurden bereits einige konkrete Ansätze im Umfeld der industriellen Produktion vorgestellt ([Abb. 16](#)). Die Methodenlehren um Business Process Reengineering (BPR) und Kaizen ([Abs. 2.3.5.3](#)) stellen im Gegensatz dazu eine sehr generelle Abstraktionsebene dar. Zwischen diesen beiden Stufen lassen sich als unkonkrete, grundlegende Ansätze der Prozessoptimierung die nachfolgend beschriebenen Vorgehensweisen einordnen ([Abb. 18](#)) (vgl. [Arndt 2021](#), S. 83 f.).

³⁸ Prinzip der Annäherung vom Konkreten hin zum Abstrakten („Induktion“); Gegenteil von „top-down“.

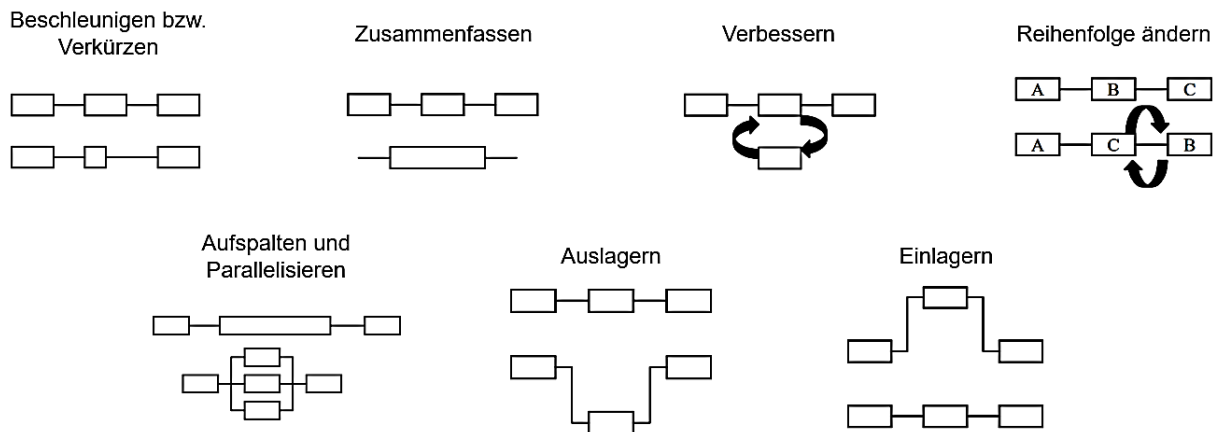


Abbildung 18 Grundlegende Ansätze der Prozessoptimierung

(In Anlehnung an: [Arndt 2021](#), S. 83 f.)

Anwendbar sind diese grundlegenden Ansätze auf alle Arten von Geschäftsprozessen. In der Praxis wird dazu häufig die „*Flaschenhals-Optimierung*“ angestrebt. Identifiziert werden dabei (Teil-) Prozesse, die den Gesamtprozess limitieren (engl. „Bottleneck“-Prozesse). Der Fokus der Optimierung wird dann auf diese Prozesse gelegt, da Nicht-Bottleneck-Prozesse weniger Einfluss auf die Durchlaufzeit³⁹ haben. In diesem Zusammenhang kann eine weitere Kategorisierung von Prozessen hilfreich sein, welche von der dreigliedrigen Grundeinteilung (Kern-, Lenkungs- und Unterstützungsprozesse, [Abs. 2.3.2.2](#), [Tab. 4](#)) abweicht: die Einteilung in Nutz-, Stütz-, Blind- und Fehlprozesse. *Nutzprozesse* leisten dabei einen direkten Beitrag zur Produkt- oder Dienstleistungserstellung. Ziel muss hierbei die Optimierung durch effizientere Verfahren sein. Die *Stützprozesse* leisten einen Beitrag zur Unterstützung der Nutzprozesse. Sie müssen dadurch zur Effizienzsteigerung in Aufkommen und Umfang auf ein Minimum reduziert werden. Nutz- und Stützprozesse sind in ihrer Beschaffenheit mit den Kern- und Unterstützungsprozessen der dreigliedrigen Grundeinteilung vergleichbar. Neu hinzukommen die Blind- und Fehlprozesse. *Blindprozesse* entstehen durch vorangegangene ineffiziente Nutz- oder Stützprozesse. Beispiele hierfür können in aufkommenden Rückfragen, Puffern oder dem Suchen von Material gefunden werden. *Fehlprozesse* resultieren aus Fehlern in Nutz- und Stützprozessen. In der Produktion könnte dies in etwa das Fertigen von Ausschuss, die Beschädigung von Bauteilen oder fehlerhaftes Prüfen sein. Blind- und Fehlprozesse sind prinzipiell zu eliminieren. Der Zusammenhang zwischen den eben eingeordneten Nutz-, Stütz-, Blind- und Fehlprozessen ist nachfolgend schematisch dargestellt ([Abb. 19](#)) (vgl. [Arndt 2021](#), S. 83–85).

³⁹ Zeitspanne, die ein Arbeits-, oder Informationsobjekt zum Durchlaufen eines Systems benötigt.

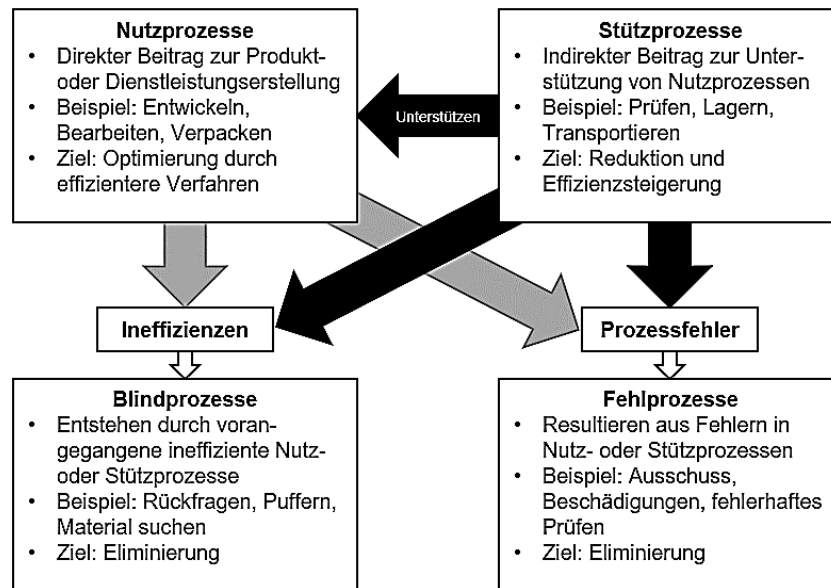


Abbildung 19 Nutz-, Stütz-, Blind- und Fehlprozess in der Prozessoptimierung

(In Anlehnung an: [Arndt 2021](#), S. 84 f.)

Die Aspekte des langfristigen Prozessmanagements über die Prozessoptimierung hinaus ([Abs. 2.3.5.1](#), [Abb. 14](#)) sollen an dieser Stelle nicht weiter als theoretische Grundlage eingeordnet werden. Grund dafür ist, dass die vorliegende Arbeit inhaltlich über die Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen zur Prozessoptimierung abgeschlossen sein soll ([Abs. 1.3](#), [Tab. 1](#), M4). Die langfristige Integration, Konsolidierung und Überprüfung von Optimierungsmaßnahmen ist somit außerhalb des vereinbarten Geltungsbereiches dieser Arbeit (engl. „out-of-scope“). Im Sinne des formalen Umfangs der Ausarbeitung wird somit auf weitere detaillierte Ausführungen diesbezüglich verzichtet.

2.4 Arbeitswissenschaft

2.4.1 Arbeitswissenschaft im Kontext dieser Arbeit

Die Prüfung der Technischen Sauberkeit als qualitätssichernde Maßnahme wurde bisher im QM verortet. Die Aufgabenstellung der Prozessmodellierung und -optimierung ([Abs. 1.3](#), [Tab. 1](#)) wurden als Teilbereiche des Prozessmanagements abgegrenzt. Letzter zentraler theoretischer Bestandteil dieser Arbeit ist der Bereich der *Arbeitswissenschaft*. Der Prüfprozess selbst gliedert sich als *Arbeitsprozess* mit Schnittstellen zwischen Mensch und Technik in die Prozesslandschaft der LAT ein. Untersucht werden bestehende Arbeitsprozesse mit dem Ziel der Plandatenerhebung sowie der Verbesserung von Effizienz und Arbeitszufriedenheit. Zur Datenerhebung und -auswertung wird dazu auf die Methoden der Arbeitswissenschaft zurückgegriffen werden. Daher wird diese – in Analogie zu den Ausführungen im Qualitäts- und Prozessmanagement – nachfolgend als theoretische Grundlage im Fachbereich eingeordnet.

2.4.2 Einführung in die Arbeitswissenschaft

2.4.2.1 Historische Entwicklung von Arbeitswissenschaft

Die Arbeitswissenschaft soll, wie auch schon das Prozessmanagement ([Abs. 2.3](#)), eingangs über die historische Entstehungsgeschichte beschrieben sein. Detailliertere Ausführungen zu den heute gängigen Grundbegriffen und Teilbereichen schließen sich an ([Abs. 2.4.2.2 ff.](#)).

Die Geschichte der *Arbeitswissenschaft* geht zurück bis in die Industrielle Revolution Ende des 18. Jahrhunderts. Dabei ist sie eng verknüpft mit den historischen Entwicklungen des Prozessmanagements ([Abs. 2.3.2.1](#)). In dieser Zeit kamen ersten Überlegungen zur Verbesserung von Arbeitsprozessen auf. Dieser Sachverhalt wurde bereits im Kontext des Prozessmanagements ausgeführt („*Taylorismus*“). Die ersten Ansätze beschränkten sich dabei auf die Maschinenbedienung zur Steigerung der Produktivität. Das durch Taylor entwickelte wissenschaftliche Management (engl. „*Scientific Management*“) setzte dabei zunehmend auf die systematische Analyse der Arbeitsprozesse. Zum Einsatz kamen *Zeit- und Bewegungsstudien* ⁴⁰, welche die Effizienz durch Standardisierung und Arbeitsteilung maximieren sollten. Mit dem später aufkommenden *Fordismus* ⁴¹ verschob sich im Rahmen der Einführung der Fließbandproduktion der Fokus auf Produktivität – oftmals zu Lasten des Menschen (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 2 ff.; vgl. [Bartscher 2018](#); vgl. [Neumair 2018a](#)).

Als Resultat entstand in den USA ab den 1930er Jahren die „*Human-Relations-Bewegung*“. In einer Studienreihe wurde der Nachweis erbracht, dass soziale und psychologische Faktoren die Produktivität bei der Arbeit maßgeblich beeinflussen. Die wesentliche Erkenntnis der Beobachtungsstudien war, dass unter gesteigerter Arbeitszufriedenheit die Leistung eines Individuums zunahm („*Hawthorne-Effekt*“). Unter diesen Gesichtspunkten wurde die Betrachtungsperspektive von Arbeitssystemen um die umgebende Gruppendynamik erweitert (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 716 ff.; vgl. [Bak 2024](#), S. 4 f.; vgl. [Bartscher 2018](#); vgl. [Neumair 2018b](#)).

Nach dem Zweiten Weltkrieg, in den 1950er Jahren, etablierte sich der Begriff der *Arbeitswissenschaft* schließlich als eigenständige akademische Disziplin. Die Einführung ergonomischer Konzepte mit einem Fokus auf die „*Mensch-Maschine-Schnittstelle*“ ging als erklärte Hauptabsicht hervor. Die Integration von Technik und Mensch gleichermaßen stellte somit einen neuen Ansatz bei der Arbeitsgestaltung dar (vgl. [Raehlmann 2005](#), S. 13 f., 192 f.).

⁴⁰ Als Methodenlehre zu späterem Zeitpunkt konkret eingeordnet ([Abs. 2.4.4](#)).

⁴¹ Durch Henry Ford eingeführtes Herstellungsprinzip der industriellen Warenproduktion (ab ca. 1910)

In den 1960er bis 1980er Jahren wurde schließlich eine weitere Ergänzung vorgenommen. Arbeit wurde folglich als Teil eines komplexen Systems betrachtet („Systemansatz“), bei welchem Aspekte der Automatisierung und Informationstechnologie (IT) mit einbezogen werden. Ziel ist seither die Entwicklung von Modellen zur menschengerechten Arbeit. In der Gegenwart hat sich der Fokus hin zu Wissensarbeit, Digitalisierung und Flexibilität verschoben. Die Einbindung von Aspekten moderner Trendbewegungen, wie New-Work und Nachhaltigkeit ([Abs. 1.1](#), [Abb. 1](#)) erfordern neue Arbeitsmethoden. Agile Arbeitsweisen, KI und Big Data bieten Chancen, wie auch Risiken, welche bei der Gestaltung einer effizienten, gesundheitsfördernden und anpassungsfähigen Arbeit „von morgen“ Gegenstand der heutigen Arbeitswissenschaft sind (vgl. [Bartscher 2018](#); vgl. [Zink, Schweres 2021](#), S.143–145).

Die Entwicklungsphasen der Arbeitswissenschaft sind in [Abbildung 20](#) dargestellt.

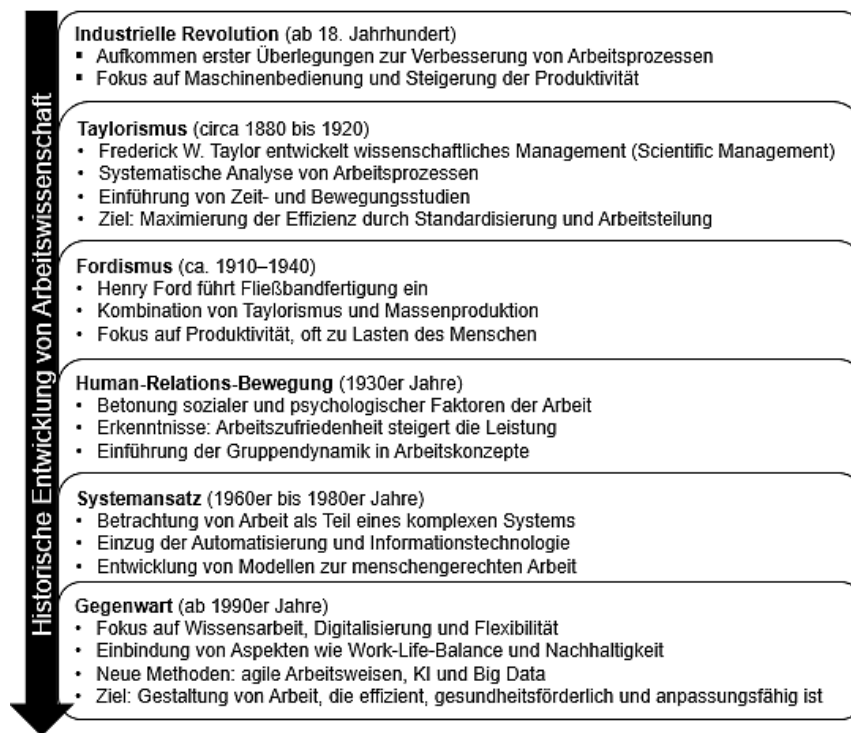


Abbildung 20 Entwicklungsphasen der Arbeitswissenschaft

(In Anlehnung an Verweise aus [Abs. 2.4.2.1](#))

2.4.2.2 Grundbegriffe der Arbeitswissenschaft

Nach einer historischen Herleitung der Entstehungsgeschichte des Fachbereiches, sollen nun die wesentlichen *Grundbegriffe* der Arbeitswissenschaft umrissen sein. Als erstes ist dabei eine Definition des Fachbereichs der Arbeitswissenschaft an sich zu finden. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Begriffsfindung eine bisher stetige Entwicklung darstellt. Dies ist auf die Historie ([Abs. 2.4.2.1](#)) zurückzuführen, in welcher sich der Fachbereich kontinuierlich weiterentwickelt hat und um neue Aspekte ergänzt wurde (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 5 f.).

Die deutsche Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA) definiert den Begriff heute wie folgt: „*Inhalt der Arbeitswissenschaft ist die Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen und Arbeitsmitteln, wobei der arbeitende Mensch in seinen individuellen und sozialen Beziehungen zu den übrigen Elementen des Arbeitssystems Ausgang und Ziel der Betrachtung ist.*“ (Böge, Böge 2021, S. 1613; vgl. GfA 2024) Arbeitswissenschaft beschäftigt sich dementsprechend primär mit menschlicher Arbeit als Zusammenwirken zwischen Menschen und Arbeitsmitteln. Weitere Inhalte sind die dazu notwendigen Voraussetzungen, die Auswirkungen auf den Menschen und die Faktoren, welche ein menschengerechtes Arbeiten ermöglichen. Aus dieser inhaltlichen Schnittmenge gilt es nun entsprechende Grundbegriffe abzuleiten und einzuordnen, welche im Rahmen der theoretischen Grundlagen dieser Arbeit von Relevanz sind (vgl. a.a.O.).

In erster und übergeordneter Instanz steht dabei der Begriff der *Arbeit* an sich. Diese kann als zielgerichtete, körperliche und/oder geistige Tätigkeit zur Befriedigung von Bedürfnissen verstanden werden. In der Brockhaus Enzyklopädie wird dieses Tätigsein allgemein dem Menschen zugeschrieben. In der wissenschaftlichen Diskussion um den Arbeitsbegriff unterscheidet dieser den Menschen dabei von anderen Lebewesen (Tieren). Hintergrund dafür ist das Stattfinden unter gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sowie die willentliche Steuerung. In der Arbeitswissenschaft findet bisher eine Abgrenzung der *Erwerbsarbeit* in Wirtschaftssektoren von *unbezahlter Arbeit* auf Basis von Solidarprinzipien (z. B. Haushaltsarbeit, „Care-Arbeit“⁴²) statt. Betrachtet wird primär Ersteres. Unter modernen Entwicklungen wie „Remote-Arbeit“ oder der Verzahnung von Arbeits- und Freizeit wird der Gegenstandsbereich (Megatrend „New-Work“, Abs. 1.1, Abb. 1) der Arbeitswissenschaft auch heute noch immer erweitert. Historisch und sprachlich geht der heutige deutsche Arbeitsbegriff aus dem Althochdeutschen „*arebeit*“ (Mühsal, Not) und „*Werk*“ (Produkt des Tätigseins) hervor. Im modernen Sprachgebrauch vereint „Arbeit“ beide Bedeutungen – das Tätigsein und das Ergebnis. In anderen Sprachen findet bis heute eine differenziertere Handhabung des Arbeitsbegriffs statt, welcher zwischen produkt- („Produktivitätsaspekt“) und menschbezogenen („Humanitätsaspekt“) Bestandteilen der Arbeit unterscheidet. Im Englischen werden hierfür „*work*“ (Produktivität) und „*labour*“ (Humanität) genutzt. Die Unterscheidung geht zurück auf die lateinische Sprache, in welcher „*opus*“ und „*labor*“ eine identische Differenzierung darstellten. Die Arbeitswissenschaft betrachtet in diesem Kontext beide Aspekte gleichermaßen – sowohl die objektiven (Effizienz) als auch die subjektiven (Mensch) Belange (vgl. Schlick, Bruder, Luczak 2018, S. 2–6; vgl. Böhle, Voß, Wachtler 2010, S. 151 ff.; vgl. Voigt 2018c).

⁴² Tätigkeiten der Fürsorge und des Pflegens (im Deutschen z.T. auch Pflege-/Sorgearbeit).

Ein *Arbeitsprozess* ist in diesem Zusammenhang als Ablaufstruktur von notwendigen Arbeitsschritten zur Erreichung eines definierten Ziels zu sehen. In der Arbeitswissenschaft werden dazu verschiedene Betrachtungsebenen von Arbeitsprozessen voneinander abgegrenzt. So erstrecken sich arbeitswissenschaftliche Betrachtungen von Prozessen autonomer Körperfunktionen über u. a. die Arbeitstätigkeit am Arbeitsplatz bis hin zur Arbeit in einem gesamtgesellschaftlichen Kontext. Im internationalen Sprachgebrauch (Englisch) wird somit zwischen den „*Micro-*“ und „*Macro-Ergonomics*“ unterschieden. Zudem ergeben sich hierüber verschiedene Teilbereiche der Arbeitswissenschaft, welche jeweils unterschiedliche Ziele verfolgen. Diese werden im Anschluss an die Klärung der Grundbegriffe eingeordnet sein ([Abs. 2.4.2.3](#)) (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), Luczak 2018, S. 17–19).

Die Arbeitsprozesse können, je nach Betrachtungsebene, an unterschiedlichen Stellen verortet werden. Der physische – im Kontext der Digitalisierung auch virtuelle – Ort, an dem Arbeit stattfindet, stellt dabei begrifflich den *Arbeitsplatz* dar. Die systematisch-logische Einheit aus Mensch, Technik und Organisation hingegen ist das *Arbeits-system*. Gegenstand der Arbeitswissenschaft ist dabei die Untersuchung von Faktoren, die die Ausführung der Arbeit beeinflussen. Einbezogen werden dabei unterschiedlichste Aspekte, welche u. a. wirtschaftliche, physische, soziale, rechtliche und organisatorische Schnittstellen aufweisen. All diese Faktoren werden als *Arbeitsbedingungen* bezeichnet. So finden sich je nach Betrachtungsansatz unterschiedliche Untersuchungsgegenstände und Zielstellungen. Diese werden nachfolgend über die Teilbereiche der Arbeitswissenschaft eingeordnet ([Abs. 2.4.2.3](#)) (vgl. [Böge, Böge 2021](#), S. 1620 ff.; vgl. [Helbing 2024](#), S. 242 ff., 597 ff.; vgl. [REFA 2024g](#)).

2.4.2.3 Ziele und Teilbereiche der Arbeitswissenschaft

Wie bereits angeschnitten, existieren mehrere Teilbereiche der Arbeitswissenschaft, die allesamt jeweils Schnittmengen mit anderen Wissenschaftsbereichen darstellen. Die generelle Zielstellung der Arbeitswissenschaft findet sich dabei bereichsübergreifend in der *Analyse* und *Gestaltung* von Arbeitssystemen. Beim Analysieren von Arbeitssystemen finden die bereits beschriebenen ([Abs. 2.4.2.2](#)) Betrachtungsebenen Anwendung. Unterschieden wird also zwischen Mikro- und Makrostruktur (engl. „*Micro-*“ / „*Macro-Ergonomics*“). Je nach gewählter Analyseebene werden schließlich verschiedene spezifische Instrumente und Werkzeuge zur Untersuchung genutzt. Ein grundlegender Analyseansatz der Arbeitswissenschaft ist im MTO-Konzept zu finden. Untersucht werden hierbei die Beziehungen zwischen den drei Aspekten Mensch, Technik und Organisation (namensgebend für das Akronym). Die einzelnen Bereiche, wie auch ihre Schnittmengen ergeben Handlungsspielräume zur Identifikation von Chancen und Herausforderungen. Das Modell ist nachfolgend dargestellt ([Abb. 21](#)) (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 19 f.).

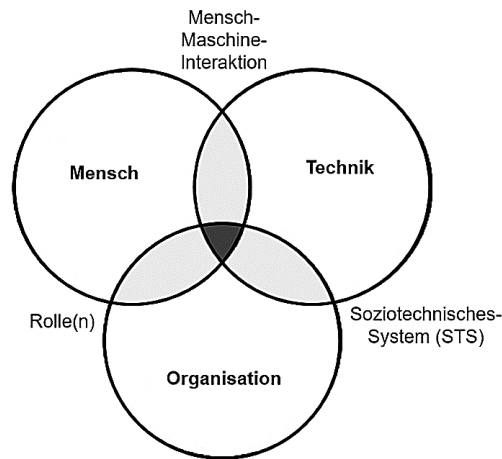


Abbildung 21 MTO-Konzept nach Strohm und Ulich
(In Anlehnung an: [Strohm, Ulich 1997](#), S. 259 ff.)

Im Anschluss an die Analyse der Arbeitssysteme sind entsprechende Gestaltungsziele zu definieren. Diese zielen auf die Verbesserung der Arbeitsbedingungen im Arbeitssystem ([Abs. 2.4.2.2](#)) hinsichtlich Person und Aufgabe ab. Im Gestaltungsprozess steht dazu die bewusste Veränderung der Elemente eines Arbeitssystems: Arbeitsmittel, -prozesse oder -objekte ([Abb. 22](#)). Zur Adaption und somit zum Abschluss der Arbeitssystemgestaltung, ist schließlich ein Maßnahmenplan zur Umsetzung zu entwickeln (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 19 f.).

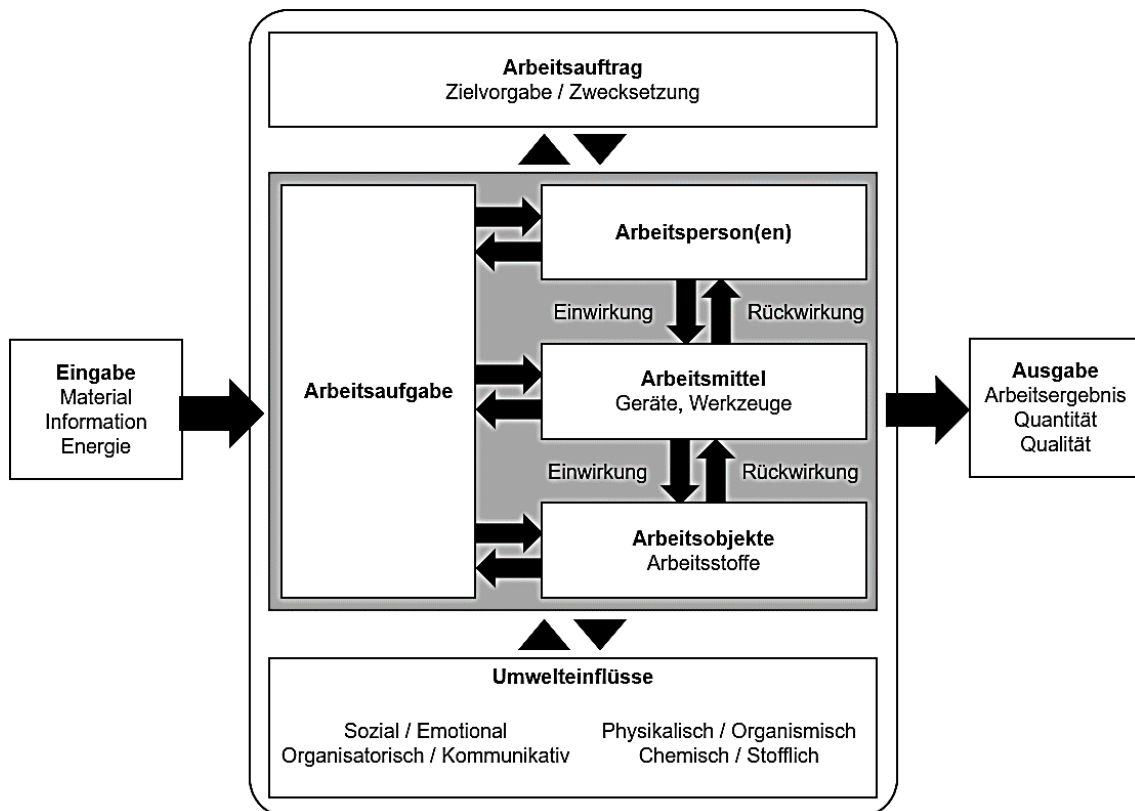


Abbildung 22 Arbeitssystem nach Schlick, Bruder und Luczak
(In Anlehnung an: [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 21)

Über den generellen Ansatz hinaus geht dann die Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen in den spezifischen Betrachtungsebenen. Hiermit verknüpft sind die Bereiche der Medizin-, Sozial-, Wirtschafts-, Ingenieur- und Rechtswissenschaften. Je nach Betrachtungs-, bzw. Analyseebene kommen dabei mehrere wissenschaftliche Disziplinen in Frage. Es folgt eine Darstellung der entsprechenden Verknüpfungen ([Abb. 23](#)) (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 17 ff.; vgl. [Böge, Böge 2021](#), S. 1613 f.).

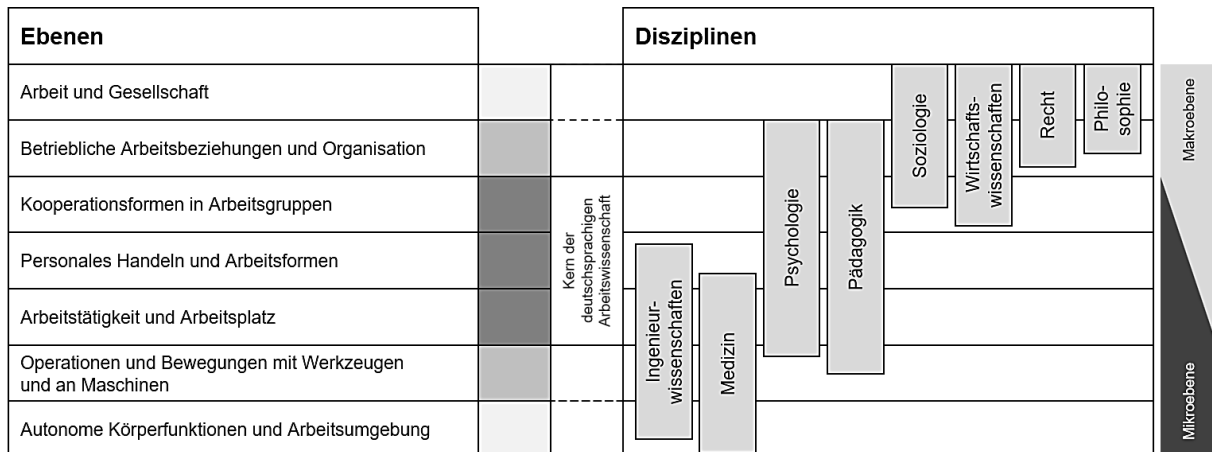


Abbildung 23 Betrachtungsebenen der Arbeitswissenschaft (angepasst)

(In Anlehnung an: [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 17 ff.; Schema erweitert um Ausführungen aus: [Böge, Böge 2021](#), S. 1614)

Werden die aufgezeigten Disziplinen ([Abb. 23](#)) im Bereich der Arbeitswissenschaft betrachtet, ergeben sich damit entsprechende fachliche Teilbereiche. Diese sind nachfolgend kurz eingeordnet ([Tab. 6](#)).

Tabelle 6 Teilbereiche der Arbeitswissenschaft

(In Anlehnung an: [Böge, Böge 2021](#), S. 1614 und separat angegebene Verweise)

Teilbereich	Einordnung
Arbeitstechnologie	• <i>Ziel:</i> Optimierung der technischen und ergonomischen Bedingungen • Gestaltung von Arbeitsmitteln und technischen Abläufen • Anpassungen der Ablauforganisation zur Steigerung der Effizienz über Methoden der Prozessoptimierung (bspw. Business Process Reengineering und Kaizen (Abs. 2.3.5.3)) (vgl. Schlick, Bruder, Luczak 2018, S. 660 f.)
Arbeitsmedizin	• <i>Ziel:</i> Gesundheitsschutz von Mitarbeitern • Identifikation von Gesundheitsgefahren und Vermeidung arbeitsbedingter Erkrankungen (Prävention)

	• Fokus auf den Mensch als Individuum im Gegensatz zum Ansatz der Arbeitssicherheit (vgl. Bergk 2024, S. 301 ff.)
Arbeitsphysiologie	• <i>Ziel:</i> Untersuchung der körperlichen Belastbarkeit • Analyse der Arbeitsleistung anhand der Aspekte von Arbeitsbelastung (Einflüsse auf Mitarbeiter) und Arbeitsbeanspruchung (Individuelle Reaktion) = Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nach Rohmert (vgl. Schlick, Bruder, Luczak 2018, S. 25)
Arbeitspsychologie	• <i>Ziel:</i> Förderung des Wohlbefindens und der Effizienz im Arbeitsumfeld • Untersuchung der psychischen Belastung und Beanspruchung (analog Belastungs-Beanspruchungs-Konzept aus der Arbeitsphysiologie) und der Wechselwirkung von Mensch und Arbeit • Zentrale Forschungsgegenstände wie Arbeitsmotivation, -zufriedenheit und Stressbewältigung (vgl. Mendius, Werther 2024, S. 115 ff.)
Arbeitspädagogik	• <i>Ziel:</i> Sicherstellung der Qualifikation für die Arbeitsaufgaben • Entwicklung von Lehrmethoden für Schulungs- und Trainingszwecke in der Berufs- und Erwachsenenbildung (vgl. Kauffeld, Rothenbusch 2023, S. 143 ff.)
Arbeitsökonomie	• <i>Ziel:</i> Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit bei fairer Entlohnung • Personalökonomische Analyse von Lohnsystemen zur Entgeltgestaltung, Kostenoptimierung und Produktivitätssteigerung (vgl. Jensen 2022, S. 137 ff.)
Arbeitsrecht	• <i>Ziel:</i> Sicherstellung der rechtlichen Rahmenbedingungen • Einhaltung gesetzlicher Vorgaben zum Schutz der Rechte von Arbeitnehmern und -gebern • Verschiedene Geltungsbereiche aus dem Tarif- und Arbeitsschutzrecht, z. B. Arbeitszeitgesetz (ArbZG) (vgl. Schwarz 2023, S. 39)
Arbeitssoziologie	• <i>Ziel:</i> Analyse und Gestaltung sozialer Strukturen und Prozesse im betrieblichen Umfeld

	• Analyse von Betriebsorganisationen und Führungsstrukturen unter Aspekten wie etwa Teamdynamik und dem Vorhandensein von Machtverhältnissen (vgl. Peters 2023, S. 521–524) • Untersuchung von Trends im professionellen Umfeld auf gesellschaftlicher Ebene (z. B. Auswirkungen der digitalen Transformation) (vgl. Pfeiffer et al. 2024, S. 415 ff.)
Arbeitsphilosophie	• <i>Ziel:</i> Reflexion über die gesellschaftliche Bedeutung der Arbeit (vgl. Böhle, Voß, Wachtler 2010, S. 23 ff.) • Untersuchung des gesellschaftlichen Stellenwerts von Arbeit und ethischen Aspekte bei der Arbeit (Anthropologie und Werteorientierung)

2.4.3 Arbeitsökonomie

2.4.3.1 Arbeitsökonomie im Kontext dieser Arbeit

Der soeben benannte Teilbereich der *Arbeitsökonomie* (auch Arbeitswirtschaft) wird als wesentliche Grundlage für das weitere Vorgehen fungieren. Dieser Zusammenhang ergibt sich aus der Zielstellung der vorliegenden Arbeit ([Abs. 1.3](#), [Tab. 1](#)) und der daraus resultierenden Methodik ([Abs. 1.5](#), [Abb. 2](#)). Hierbei ist nach der Modellierung des TechSa-Prüfprozesses ([Tab. 1](#), M1) eine quantitative Analyse der Tätigkeitszeiten gefordert ([Tab. 1](#), M2). Diese Analyse soll zur späteren Schwachstellenanalyse ([Tab. 1](#), M3) und Ableitung von Handlungsempfehlungen ([Tab. 1](#), M4) genutzt werden.

Die Arbeitsökonomie, als Teilbereich der Arbeitswissenschaft, stellt die wirtschaftliche Verwertung menschlicher Arbeit in den Fokus. Unter Einbezug von arbeitsrechtlichen, humanitären und sozialen Aspekten werden hierbei arbeitswissenschaftliche Methoden angewandt, um eine effektive und effiziente Gestaltung von Arbeitssystemen zu ermöglichen. Als wesentliche Stellgrößen zur Optimierung fungieren dazu die Qualifikation und Kompetenz der Arbeitspersonen, die Entwicklung von Arbeits- und Betriebsmitteln, Arbeitsobjekten und -abläufen sowie die Gestaltung von Entgeltsystemen zur Beeinflussung der Personalkosten. Vor diesem Hintergrund wird die Arbeitsökonomie häufig in zwei zentrale Elemente unterteilt: die Gestaltung von *Arbeitsentgelt* und die *Zeitwirtschaft*. Ersteres dient dabei als wesentlicher Faktor für (extrinsische) ⁴³ Motivation, Sicherheit und Gerechtigkeit für die jeweiligen Arbeitspersonen. Auf betrieblicher Seite dient es zudem dem Kostenmanagement (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 552).

⁴³ Von außen her angeregt, nicht aus eigenem Antrieb erfolgend.

Die Zeitwirtschaft hingegen umfasst alle Methoden zur Planung, Optimierung und Bewertung von Arbeitsprozessen. Somit stellt sie die Grundlage für alle arbeitsorganisatorischen Maßnahmen dar (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 552).

Zur quantitativen Bewertung der Tätigkeitszeiten (wie auch der Tätigkeitsstruktur ⁴⁴) stellt die Methodenlehre der arbeitswissenschaftlichen Zeitwirtschaft also ein dementsprechend adäquates Instrument dar.

2.4.3.2 Prinzipien der Arbeitsökonomie

Die Arbeitsökonomie verfolgt dabei – sowohl im Bereich der Entgeltgestaltung als auch in der Zeitwirtschaft – acht Prinzipien, welche auf den deutschen Hochschullehrer für Industrial Engineering Sven Hinrichsen zurückgehen (vgl. [a.a.O. gemäß Hinrichsen et al. 2007](#), S. 4–11). Die Prinzipien der Arbeitswirtschaft sind nachfolgend inhaltlich umrissen ([Tab. 7](#)).

Tabelle 7 Acht Prinzipien der Arbeitsökonomie nach Hinrichsen
(In Anlehnung an: [Hinrichsen et al. 2007](#), S. 4–11)

Prinzip	Inhalt
Arbeitsstandardisierung	• Festlegung kombinierter Arbeits- und Zeitstandards zur Reduktion von Unsicherheiten und Schwankungen • Grundlage für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und weitere Rationalisierungsmaßnahmen
Arbeitsqualifizierung und -motivation	• Förderung qualifizierter und motivierter Mitarbeiter für effiziente Arbeitsprozesse • Maßnahmen: Qualifizierungsmatrizen, Kompetenzanalysen, Personalentwicklung
Arbeitselimination	• Wegfall von Arbeitsabläufen ohne Kompensation durch andere Faktoren
Arbeitssubstitution	• Ersatz menschlicher Arbeit durch verbesserte Arbeitsmittel oder Arbeitsobjekte zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit
Arbeitsdelegation	• Übertragung von Aufgaben an Externe (z. B. Outsourcing) zur Effizienzsteigerung
Arbeitsteilung und -integration	• Analyse des optimalen Grades der Arbeitsteilung unter Berücksichtigung von Spezialisierungsvorteilen und Koordinationsaufwänden

⁴⁴ In diesem Kontext: Strukturkomposition von wertschöpfenden und anderweitigen Tätigkeiten.

Arbeitsdisposition	• Optimierung des Personaleinsatzes qualitativ (Passung von Qualifikationen und Anforderungen) und quantitativ (Vermeidung von Über- / Unterdeckung) • Berücksichtigung von Arbeitszeitgesetzen, Neigungen und Planungsrestriktionen
Arbeitspolitik	• Festlegung einer angemessenen Entgelthöhe, die Kosten, Motivation und Qualifikation der Mitarbeiter berücksichtigt • Ziel: Vermeidung von Fluktuation und Sicherstellung der Produktivität

Alle acht Prinzipien gelten für beide Bereiche – Arbeitsentgeltgestaltung und Zeitwirtschaft – gleichermaßen. Sie können dabei zudem kombiniert angewendet werden, um die Ziele beider Teilbereiche zu adressieren (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 552 gemäß [Hinrichsen et al. 2007](#), S. 4–11)

2.4.3.3 Bedeutung und Aufgaben der Zeitwirtschaft

Wie vorab bereits eingeordnet ([Abs. 2.4.3.1](#)), ist die Zeitwirtschaft als Teilbereich der Arbeitsökonomie wesentlicher Bestandteil, um die Theorie der vorliegenden Arbeit in die Empirie zu überführen. Daher soll die arbeitswissenschaftliche Zeitwirtschaft an dieser Stelle in Bezug auf ihre Bedeutung und Aufgaben näher eingeordnet sein.

Begrifflich wurde die Zeitwirtschaft bereits als Bewirtschaftung aller im Unternehmen benötigten Zeiten für Arbeits- und Betriebsmittel sowie Arbeitspersonen und -objekte definiert ([Abs. 2.4.3.1](#)). Zentral ist dies für die ökonomische Betrachtung von Arbeitssystemen. Zeitdaten sind entscheidend für die Gestaltung von Arbeitsprozessen, sowie dem damit verbundenen termingerechten Abschluss von Aufgaben. Zudem sind die Daten als wesentliche Grundlage zur Wirtschaftlichkeitsbeurteilung zu sehen. Die Aufgaben der Zeitwirtschaft ergeben sich dementsprechend in der *Zeitdatenermittlung*, der *Fristen- und Terminplanung*, wie auch der Steuerung und Kontrolle letzterer (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 573 f.).

Entsprechend der Vorgaben zur Zielsetzung der vorliegenden Arbeit besteht die konkrete Aufgabe in der Zeitdatenermittlung und Planung von Soll-Zeiten als Grundlage für eine künftige Kapazitätsplanung.⁴⁵ Der konkretisierte Geltungsbereich der vorliegenden Arbeit in Bezug auf die Arbeitswissenschaft ist im Sinne des Nachvollzugs nachfolgend als Schema dargestellt ([Abb. 24](#)).

⁴⁵ Gemäß Ausführungen zur Kontextualisierung in [Abs. 2.4.3.1](#) (nach Zielsetzung in [Abs. 1.3](#), [Tab. 1](#)).

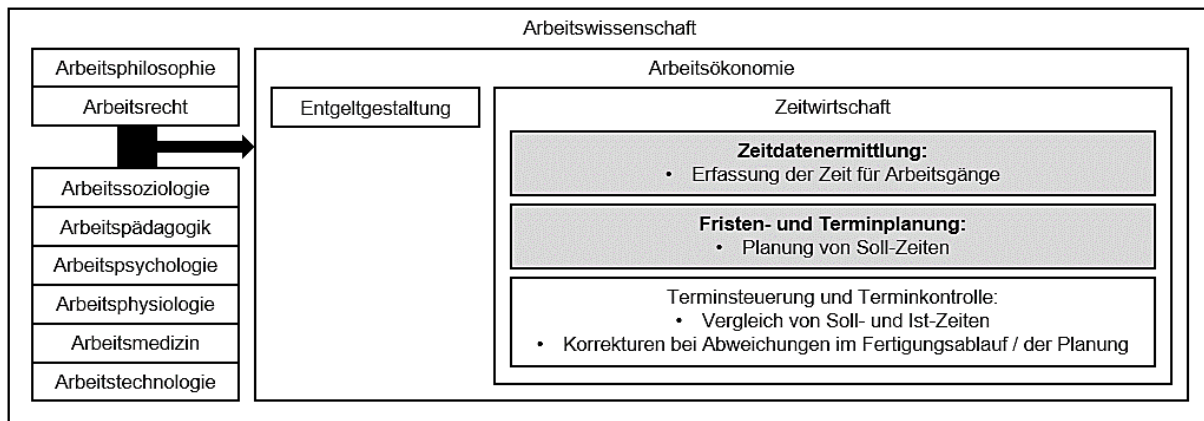


Abbildung 24 Verortung der vorliegenden Arbeit in der Arbeitswissenschaft
(In Anlehnung an Verweise aus [Abs. 2.4.2](#) und [Abs. 2.4.3](#))

2.4.4 Arbeitsstudium

2.4.4.1 Inhaltlicher Rahmen des Arbeitsstudiums

Die Aspekte der Zeitdatenermittlung werden zum Teil auch unter dem Begriff des *Arbeitsstudiums* zusammengeführt. Die Begrifflichkeit wurde durch den *Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung* (REFA) ⁴⁶ etabliert. Das REFA-Arbeitsstudium beschreibt dabei eine ganzheitliche Betrachtung der Bestandteile *Datenermittlung*, *Arbeitsgestaltung*, *Arbeits- und Leistungsbewertung* sowie abschließend die *Arbeitsunterweisung*. Die Datenermittlung nimmt hierbei Zeit- und Mengendaten als Grundlage zur Planung, Steuerung und Kontrolle. Arbeitsgestaltung beschreibt die Optimierung von Abläufen, Arbeitsplätzen und Ressourcen. In der Arbeits- und Leistungsbewertung werden schließlich die Aspekte der Entgeltfindung, Personalplanung und Prozesssteuerung vereint. Die Arbeitsunterweisung in letzter Instanz, stellt die Vermittlung von Kenntnissen und Fertigkeiten für die ordnungsgemäße Ausführung der geplanten Arbeitsabläufe dar. Die Begrifflichkeit des Arbeitsstudiums ist dementsprechend auf einer abstrakteren Ebene einzuordnen als die Zeitwirtschaft an sich. Neben einem ganzheitlichen Einbezug der Arbeitsökonomie ([Abs. 2.4.3](#)), werden somit auch Teilbereiche der Arbeitstechnologie inkludiert. Hintergrund ist die Einbindung technologischer Optimierungsmaßnahmen. Ein Arbeitsstudium ist somit ein erweiterter Betrachtungsrahmen, welcher sowohl eine quantitative (Zeitdatenermittlung), wie auch qualitative (technologische Feststellungen) Perspektive einnimmt. Der inhaltliche Rahmen des (REFA-) Arbeitsstudiums ist nachstehend visualisiert ([Abb. 25](#)) (vgl. [Böge, Böge 2021](#), S. 1619 ff.).

⁴⁶ Abkürzung geht auf Namen aus Jahr 1924 zurück: Reichsausschuß für Arbeitszeitermittlung.

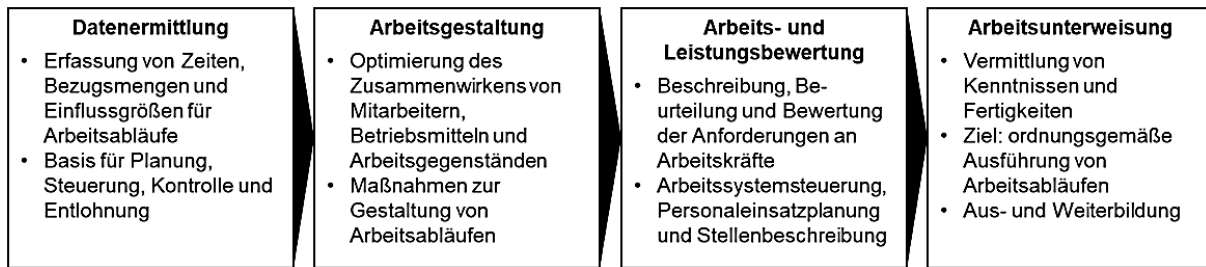


Abbildung 25 Inhaltliche Schwerpunkte des Arbeitsstudium

(In Anlehnung an: Böge, Böge 2021, S. 1619 f.)

Das praktische Vorhaben dieser Arbeit wird nachfolgend unter dem Begriff des Arbeitsstudiums geführt werden. Hintergrund ist, dass ein ganzheitlicher Betrachtungsansatz einen optimalen Ansatz zur Schwachstellenanalyse eines komplexen Prozesses, wie der Prüfung der Technischen Sauberkeit („Restschmutzanalyse“, Abs. 2.2.4), darstellt. Mit dem Ziel der Untersuchung der Zeitdatenermittlung und Planung von Soll-Zeiten (gemäß Abs. 2.4.3.3, Abb. 24), ist das Vorhaben dieser Arbeit in der Datenermittlung und Arbeitsgestaltung des Arbeitsstudiums zu verorten. Die Beschreibung entsprechender Methoden zur Zeitdatenermittlung stellt somit den logischen Abschluss der theoretischen Grundlagen dieser Arbeit dar (Abs. 2.4.4.3).

2.4.4.2 Verwendungsbereiche von Zeitdaten

Verwendet werden Zeitdaten dabei in aller Regel in vier Bereichen: *produktbezogen*, *auftragsbezogen*, *mitarbeiterbezogen* und *führungsrelevant*. Die ersten beiden Bereiche (Produkt- und Auftragsbezug) stellen im Wesentlichen eine Grundlage zur Produktionsplanung und -steuerung dar. Zudem bilden sie die Norm zur Kalkulation für Neuprojekte, wie auch zur Kontrolle der Abweichung von Soll-Zeiten. Im mitarbeiterbezogenen Verwendungsbereich steht die Gestaltung von Anreizsystemen im Vordergrund. Vorgabezeiten können als Basis für Bezugsleistungen angenommen werden (z. B. Boni bei schnellerer Tätigkeit). Es kann ebenso vermieden werden, dass Mitarbeiter durch unrealistische Vorgaben überlastet werden. Die führungsrelevante Verwendung von Zeitdaten wird über die Personal-, Betriebsmittel- und Materialbedarfsplanung bestimmt. Ebenso können hier alternative Planungen bewertet werden (z. B. per Investitionsrechnung). Ein wirtschaftliches Arbeiten wird in diesem Zusammenhang dadurch sichergestellt, dass Zeitdaten absichtsübergreifend verfügbar gemacht und verwendet werden, um eine Mehrfacherhebung und -bestimmung auszuschließen. Die Verwendungsbereiche von Zeitdaten sind nachfolgend dargestellt (Tab. 8) (vgl. Schlick, Bruder, Luczak 2018, S. 574 f.).

Tabelle 8 Vier Anwendungsbereiche von Zeitdaten
(In Anlehnung an: [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 574 f.)

Produktbezogener Verwendungsbereich
• Planungs- und Entscheidungsgrundlage: Kalkulation, Angebotserstellung • Risikovermeidung: Vermeidung falscher Kosten- und Preisabschätzungen • Fristenplan: Terminpläne basierend auf Soll-Zeitdaten
Auftragsbezogener Verwendungsbereich
• Auftragsabwicklung: Produktionsplanung und -steuerung (PPS) • Auftragsüberwachung: Erkennen von Soll-Ist-Abweichungen • Fristenplanung: Darstellung der Durchlaufzeiten • Ist-Zeitdaten: Erforderlich für kurzfristige Umplanungen und Überwachung
Mitarbeiterbezogener Verwendungsbereich
• Gestaltung von Anreizsystemen: Vorgabezeiten, Bezugsleistungen • Rückmeldung zum Leistungsstand: intrinsische Motivation ⁴⁷, Zielorientierung • Monetäre Anreize: extrinsische Motivation
Führungsrelevanter Verwendungsbereich
• Personal-, Betriebsmittel- und Materialbedarfsermittlung • Bewertung alternativer Planungen • Grundlage für PPS, sowie Kosten- und Leistungsrechnung (KLR)

2.4.4.3 Methoden der Zeitdatenermittlung

Über alle vier Anwendungsbereiche ([Abs. 2.4.4.2](#), [Tab. 8](#)) hinweg, lassen sich die Methoden der Zeitdatenermittlung in drei übergeordnete Gruppen einteilen. Ausschlaggebend ist in aller Regel das Ziel, welches mit den Zeitdaten verfolgt wird. Tatsächlich erhoben ⁴⁸ werden können lediglich Ist-Zeiten. Neben der *Erhebung von Ist-Zeiten*, sind die *Definition von Soll-Zeiten* sowie das *Nehmen und Auswerten von Stichproben* möglich. Diese drei Ziele bieten eine Möglichkeit, Verfahren der Zeitermittlung einzuteilen. In der Fachliteratur wird zum Teil noch in Methoden der kontinuierlichen Beobachtung, der Stichprobenbeobachtung sowie in rechnerisch-analytische Verfahren unterschieden. Erstere Einteilung stellt dabei die offizielle Einteilung nach REFA-Methodenlehre dar. Da das Vorhaben der Arbeit im inhaltlichen Rahmen des REFA-Arbeitsstudiums umgesetzt sein soll ([Abs. 2.4.4.1](#)), wird die erste Einteilung nachfolgend vorgestellt. Ausgeschlossen werden zudem Verfahren, welche bei der Datenerhebung in maschinellen (automatisierten) Arbeitssystemen zum Einsatz kommen. Hintergrund ist der Fokus dieser Arbeit auf ein manuelles Arbeitssystem ([Abs. 1.2](#)) (vgl. [REFA 2025a](#); vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 578 ff.).

⁴⁷ Von innen her angeregt, aus eigenem Antrieb (aus Tätigkeit selbst) hervorgehend.

⁴⁸ Datenerhebung als Sammeln von Daten zur Abbildung und Auswertung eines Untersuchungsobjekts.

Im Bereich der *Ist-Zeit-Erhebung* sind dabei Messungen und Befragungen möglich. Befragungen liefern weniger objektive Ergebnisse und sind daher lediglich als Verfahren anzuwenden, wenn die Erfahrung und Einschätzung der Mitarbeiter essenziell sind. Ebenso sind sie als Alternative annehmbar, wenn es Gründe gibt, welche die Umsetzung einer Messung ausschließen (z. B. technisch nicht umsetzbar). Die Messung hingegen kann zum einen über eine Zeitaufnahme realisiert werden, bei welcher ein Erhebungsbeauftragter die Durchführung der Tätigkeit als Zuschauer begleitet und die Zeitbestandteile festhält. Optional können Zeiten auch eigenständig per Selbstaufschreibung durch die Mitarbeiter erfasst werden. Hier lässt sich ebenso eine Vorzugslösung benennen. So ist die Zeitaufnahme immer dann gefordert, wenn genaue Werte notwendig sind. Dies ist insbesondere bei standardisierten Prozessen von Relevanz, welche häufig wiederholt werden. Sind Prozesse von hoher Komplexität und haben viele Einflussgrößen, empfiehlt sich ebenso die Durchführung einer Zeitaufnahme. Die Selbstaufschreibung liefert im Gegenzug schneller Ergebnisse, welche in der Regel allerdings weniger genau sind. Zudem besteht die Gefahr der Manipulation durch die Mitarbeiter. Dies kann bewusst geschehen, wenn das Ziel der Vorgabezeitermittlung besteht. Je nach bestehender Anforderung an die Genauigkeit der Ergebnisse, kann aber auch ein Mangel an Qualifikation und/oder Kompetenz zur Verfälschung der endgültigen Ergebnisse führen (vgl. REFA 2025a, 2025b; vgl. Schlick, Bruder, Luczak 2018, S. 578 ff.).

Im Bereich der *Soll-Zeit-Definition* stehen drei übergeordnete Möglichkeiten zur Auswahl: Zusammensetzen, Schätzen und Vergleichen, sowie Berechnen. Beim Zusammensetzen von Soll-Zeiten kann auf Planzeiten oder Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ) zurückgegriffen werden. Planzeiten stellen einen groben Ansatz dar, bei dem der ganzheitliche Prozess in übergeordneten Ablaufabschnitten betrachtet wird. Zurückgegriffen wird dann auf Erfahrungswerte, idealerweise aus Datenbanken, welche zur groben Kalkulation und Prozessplanung eingesetzt werden können. Neben organisationsinternen Datenbanken können auch beispielsweise Werte der REFA-, oder der MTM⁴⁹-Organisation genutzt werden. Der Aufwand ist durch die Nutzung der vorab vorhandenen Planwerte vergleichsweise gering. Deutlich aufwändiger ist hingegen die Anwendung der SvZ. Durch die Beschreibung einzelner Bewegungen mit vorab definierten Bausteinen, kann eine sehr präzise Grundlage für fundierte Optimierungen und Analysen standardisierter Abläufe geschaffen werden. Hierzu haben sich im Wesentlichen zwei Methodenlehren etablieren können: die „*Methods-Time Measurement*“- (MTM) sowie die „*Work-Factor-Systeme*“ (vgl. a.a.O.; vgl. REFA 1993, S. 142, 2025c; vgl. Yamazaki 2024, S. 201–230).

⁴⁹ Gründungsorganisation der namensgebenden „Methods-Time Measurement“-Methodenlehre.

Beim Schätzen und Vergleichen wird ebenso auf Basis bereits vorhandener Erfahrungen und/oder historischer Daten gearbeitet. Das reine Schätzen an sich ist das einfachste Verfahren der Zeitdatenerhebung – gleichzeitig ist es jedoch auch mit hoher Unsicherheit verbunden. Diese kann reduziert werden, indem der abzuschätzende Prozess in kleinere Teilprozesse (Ablaufabschnitte) zerlegt und diese einzeln geschätzt werden. Ein solches Vorgehen ist genauer als eine einzelne Gesamtschätzung („summarisches Schätzen“). Die in jedem Fall hierbei vorhandene hohe Unsicherheit muss bei der Verwendung entsprechend eingepreist und annehmbar sein. Das Vergleichen zielt auf den Abgleich mit ähnlichen Prozessen oder Benchmark-Daten ab. Verglichen werden können beispielsweise zwei ähnliche Prozesse organisationsintern an zwei verschiedenen Produktionsstandorten. Im Vergleich zu den Plandaten (beim Zusammensetzen) werden hier also keine Daten verwendet, welche dem betrachteten Prozess auf direkte Weise zuordenbar sind (vgl. [REFA 2025a](#), [2025d](#)).

Letzter Bestandteil ist die Definition von Soll-Zeiten über rechnerische Verfahren. Hier wird in die Zielgrößen der Prozess- und Hauptzeiten unterschieden. Die Prozesszeit umfasst dabei die Gesamtzeit eines Prozesses, inklusive aller Ablaufabschnitte, die zur Durchführung des Arbeitsvorgangs nötig sind. Wesentliches Unterscheidungsmerkmal zur Hauptzeit ist, dass die Prozesszeit neben wertschöpfenden Tätigkeiten auch nicht wertschöpfende Bestandteile betrachtet. Die Prozesszeit dient somit einer ganzheitlichen Ablaufanalyse und -optimierung in der strategischen Planung. Die Hauptzeit umfasst entsprechend ausschließlich wertschöpfende Tätigkeiten innerhalb eines betrachteten Prozesses. Nützlich ist diese insbesondere bei der operativen Verbesserung einzelner, kleinerer Ablaufabschnitte. Beide Zeiten werden rechnerisch aus den Daten der zuvor genannten Verfahren der Ist-Zeit-Erhebung bestimmt. Je nach Anzahl eingebundener Bezugsmengen, werden die Soll-Zeiten im Normalfall per linearer/multipler Regressionsanalyse ⁵⁰ ermittelt. Hierbei werden Soll-Zeiten (Zielgrößen) ermittelt, welche frei vom Einfluss der Bezugsmengen (Einflussgrößen) sind. Ohne Bezugsmengenbetrachtung können Soll-Werte über die Interpretation deskriptiver Statistik ⁵¹ abgeleitet werden. Interpretiert werden also Lage-, Streuungs- und Zusammenhangsmaße, um den Soll-Prozess zu definieren (vgl. [REFA 2025a](#), [2025e](#); vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 595 ff.; vgl. [Schäfer 1978](#), S. 278).

Der letzte Punkt der Einteilung ist das *Nehmen und Auswerten von Stichproben*. Hierbei gemeint ist die Durchführung heuristischer Stichprobenverfahren zur Generierung von Daten. In diesem Zusammenhang ist konkret das Verfahren der Multimomentaufnahme (MMA) zu benennen (vgl. [REFA 2025a](#)).

⁵⁰ Statistischer Analyseverfahren zur Modellierung von Beziehungen zwischen Variablen, [Abs. 5.5.3.3](#).

⁵¹ Ordnung und Darstellung empirischer Daten durch Tabellen, Kennzahlen und Grafiken.

Das Verfahren wird zum Teil auch als Multimoment(häufigkeits)-Studie (MMH) bezeichnet. Die MMA ist als statistische Methode direkt auf die Erfassung von Tätigkeiten in Arbeitsprozessen ausgerichtet. In der Stichprobenmethode werden zufällige Zeitpunkte ausgewählt, um Beobachtungen durchzuführen. Untersucht wird dann, welche Tätigkeit zu diesem zufälligen Aufnahmezeitpunkt ausgeführt wird. Über die Abbildung entsprechender Stichprobenumfänge (n)⁵² können Rückschlüsse auf die Verteilung von Tätigkeiten und Zeitanteilen im (Gesamt-) Prozess sowie auf sein Verhalten (in diesem Fall als Grundgesamtheit (N)⁵³ anzunehmen) gezogen werden. Vorteile der MMA sind ein geringer Ressourcenaufwand, eine breite Prozessabdeckung, sowie eine geringe Störung der Arbeit durch die stichprobenartige Erfassung. Das Verfahren ist dabei aber stark vom Stichprobenumfang abhängig und aufwändig in der Planung. Das Verfahren eignet sich vorwiegend zur Analyse von Tätigkeitsstrukturen (Zeitmanagement), sowie zur Unterstützung detaillierterer Zeitstudien, wenn eine breitere Abdeckung (Erweiterung der Datensätze) nötig ist (vgl. REFA 2025a, 2025f; vgl. Schlick, Bruder, Luczak 2018, S. 581 ff.).

Die soeben dargebotenen Methoden der Zeitdatenermittlung sind der Übersichtlichkeit halber im nachfolgenden Schema dargestellt (Abb. 26). Im Anhang ist zudem ein Katalog erstellt, welcher die Verfahren – analog zur Prozessmodellierung (Anl. 2) – stichpunktartig näher einordnet (Anl. 3).

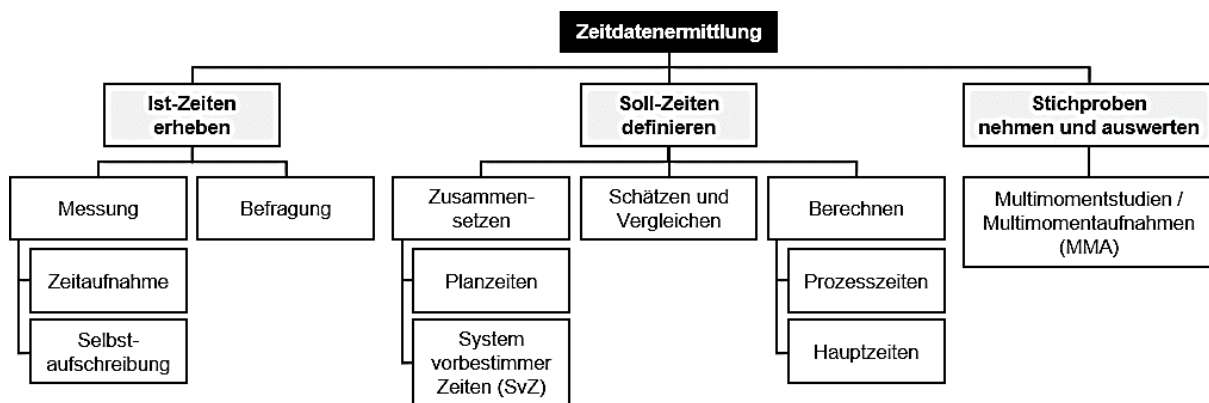


Abbildung 26 Methoden der Zeitdatenermittlung (nach REFA)

(In Anlehnung an: REFA 2025a)

2.5 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Aufgrund des hohen Umfangs im theoretischen Rahmen dieser Arbeit, sollen die vermittelten Grundlagen abschließend kurz zusammengefasst werden. Hintergrund dessen ist die fachtheoretische Relevanz der drei komplexen Disziplinen: *Qualitätsmanagement*, *Prozessmanagement* und *Arbeitswissenschaft*.

⁵² Anzahl ausgewählter Personen oder Objekte (hier: Aufnahmen/Beobachtungen) aus Gesamtmenge.

⁵³ Gesamtmenge aller Einheiten, auf die sich die Ergebnisse einer Statistik beziehen sollen

Um die Präsenz der zentralen Punkte – und somit den Bezug zur Praxis – zu gewährleisten, werden die Zusammenhänge der Schilderungen an dieser Stelle mit der nachfolgenden Umsetzung in der Praxis verbunden.

Das *Qualitätsmanagement* stellte den ersten Themenbereich der theoretischen Grundlagen dar. Hierzu wurden die Grundlagen der Disziplin vermittelt und die branchenspezifischen Merkmale des Automotive-Sektors herausgearbeitet. Dies geht zurück auf das betriebliche Umfeld der praktischen Umsetzung (Abs. 3.2). Die Prüfung der Technischen Sauberkeit (TechSa) wurde als qualitätssichernde Maßnahme und zentraler Gegenstand nachfolgender Betrachtungen (Abs. 3.3), über das normative Standardvorgehen (VDA 19.1) eingeordnet. Da der betriebliche TechSa-Prüfprozess nachfolgend analysiert und ggf. optimiert werden soll (gemäß Zielstellung, Abs. 1.3), ergab sich das (Geschäfts-) *Prozessmanagement* als zweites zentrales Element. Hier wurden ebenso Grundlagen der Disziplin dargeboten, bevor die Modellierung und Optimierung von Prozessen im Fachgebiet verortet wurden. Für die weitere Arbeit in der Praxis wurden zudem moderne Methoden der Prozessmodellierung und -optimierung zusammengetragen, auf welche im Übertrag in die Praxis zurückgegriffen werden kann. Da es sich bei dem zu betrachtenden TechSa-Prüfprozess (Abs. 3.3) um einen manuellen Arbeitsprozess handelt, ergab sich die Disziplin der *Arbeitswissenschaft* als drittes zentrales Element. Hier wurden erneut die Grundlagen des Fachbereichs vorgestellt. Zur Prozessanalyse menschlicher Arbeit wurden Methoden der Zeitdatenermittlung abschließend in die übergeordneten inhaltlichen Zusammenhänge der Arbeitsökonomie, der Zeitwirtschaft und des Arbeitsstudiums eingeordnet. Die nachfolgende Darstellung stellt die zusammenfassenden Schilderungen schematisiert dar (Abb. 27).

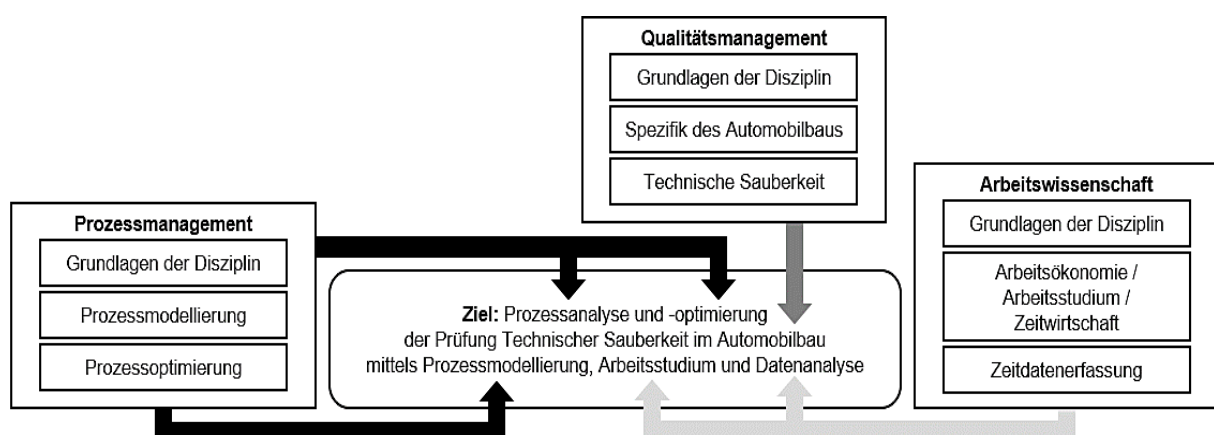


Abbildung 27 Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen dieser Arbeit
(Eigene Darstellung)

3 Untersuchungsgegenstand

3.1 Inhalte des Untersuchungsgegenstandes

Die vorbereitenden Ausführungen sollen nun in den Rahmen des praktischen Arbeitens überführt werden. Dazu soll der zu betrachtende *Untersuchungsgegenstand* als erstes näher eingeordnet werden.

In der Originalfassung wurde dazu das betriebliche Umfeld der Realisierung eingangs konkret eingeordnet. Inhalte waren die Einordnung des Standorts der LINAMAR Antriebstechnik GmbH (LAT) in den übergeordneten Konzern. Anschließend wurde der aktuelle Stand des TechSa-Prüfprozesses in seiner Handhabung am Unternehmensstandort vorgestellt. Der nächste Punkt bestand aus Informationen zur Projektinitialisierung (Projektstart). An dieser Stelle wurden konkrete Zusammenhänge über das Zustandekommen sowie die Zielausprägung und die langfristige Ausrichtung des Vorhabens ausgegeben. Abschließend wurde der Geltungsbereich für das Vorhaben innerhalb der Organisation definiert.

Für diesen Abschnitt wurden Anpassungen im Rahmen der Nachveröffentlichung vorgenommen. Dies zielt auf die Einhaltung des *Freigabeumfangs* ([Anl. 1](#)) ab. Die Einordnung des Standorts LAT ([Abs. 3.2](#)) bleibt dabei unverändert, da sich hier nur auf öffentlich zugängliche Informationen bezogen wurde. Die konkrete Handhabung des TechSa-Prüfprozesses am Standort ([Abs. 3.3](#)) wird abstrahiert. So wird der normative Rahmen ([Abs. 3.3.1](#)) dargestellt, nicht aber konkrete Abwandlungen bzw. Eigenheiten in der Handhabung am Standort LAT. Die Originalpassagen zum Arbeitsort sowie den Arbeitsmitteln werden zusammengefasst ([Abs. 3.3.2](#)). Dargestellt werden nun nur noch allgemeine Arbeitsgrundlagen, welche zur Realisierung eines entsprechenden TechSa-Prüfprozesses notwendig sind. Ebenso zusammengefasst werden Passagen zum Zustandekommen des Vorhabens und der Definition des Geltungsbereichs ([Abs. 3.4](#)). Die Schilderungen in dieser Fassung werden sich dabei lediglich auf den methodischen Prozess dahinter beziehen, nicht aber auf konkrete Ausprägungen in der Organisation dessen während der Realisation des Projekts bei LAT.

3.2 Betriebliches Umfeld

3.2.1 LINAMAR Corporation

Wie eben geschildert ([Abs. 3.1](#)), soll die Vorstellung des betrieblichen Umfeldes einleitend geschehen. Die angestrebten Untersuchungen werden dabei am Unternehmensstandort der LINAMAR Antriebstechnik GmbH (LAT) durchgeführt. Der Betrieb ist dabei Teil des kanadischen LINAMAR-Konzerns, welcher der zweitgrößte Automobilzulieferer seines Landes ist (vgl. [LINAMAR 2025a](#)).

Der Hauptsitz der Unternehmensgruppe ist dabei in Guelph, Ontario. Weltweit agiert LINAMAR auf den drei Kontinenten Nordamerika, Europa und Asien und betreibt dabei mit rund 30.000 Mitarbeitern über 60 Produktionsstandorte, sowie mehrere separate Vertriebsbüros und Entwicklungszentren (Abb. 28) (vgl. LINAMAR 2025a).

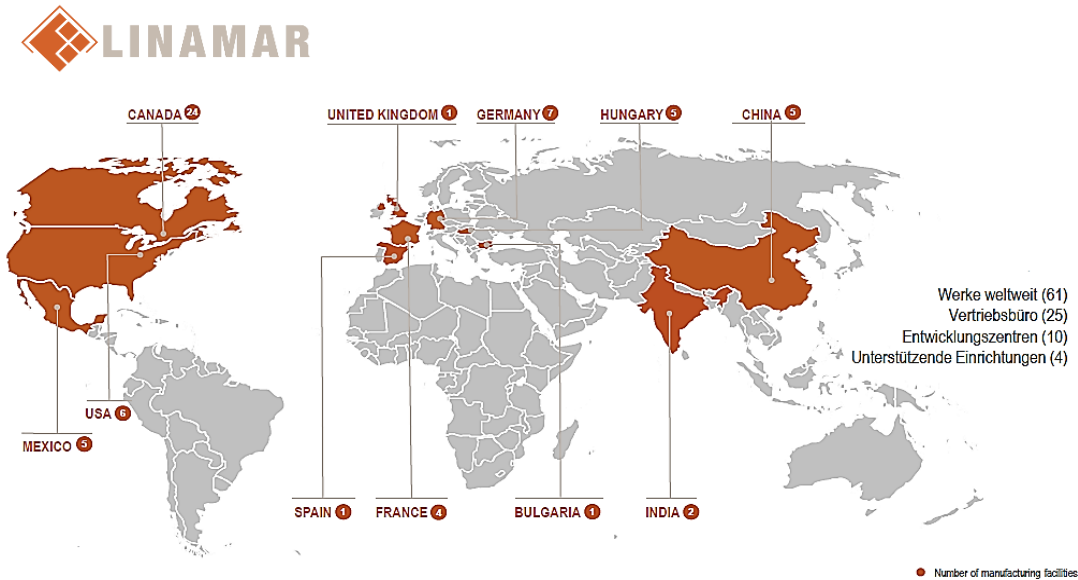


Abbildung 28 LINAMAR Produktionsnetzwerk weltweit (Stand: 02/2024)

(Quelle: LINAMAR 2025a)

Die Kernkompetenz findet sich in der Entwicklung und Produktion von hochpräzisen Antriebskomponenten. Dies geht zurück bis auf den Firmengründer Frank Hasenfratz, welcher 1957 aus Ungarn nach Kanada migrierte. 1964 begann dieser in seinem Keller mit der Fertigung von Metallkomponenten auf einer einzigen Werkzeugmaschine. Im Jahr 1966 gründete er schließlich das heutige Unternehmen, welches er nach seinen beiden Töchtern *Linda*, *Nancy* und seiner Frau *Margaret* benannte – LINAMAR. Über erste Aufträge des Automobilherstellers Ford konnte das Unternehmen wachsen. Heute erstreckt sich das Geschäftsmodell über die Herstellung von Antriebstechnik für die weltweite Automobilindustrie hinaus bis in diverse Industrie- (wie etwa Energieerzeugung und Hebetchnik) und Agraranwendungen, sowie die Fertigung für die Medizintechnik (vgl. LINAMAR 2025a, 2025b).

3.2.2 LINAMAR Antriebstechnik GmbH

Der Standort der LINAMAR Antriebstechnik (LAT) ist ein deutscher Ableger dieses Konzerns und liegt im westsächsischen Crimmitschau. Dort wurde er im Jahr 2003 von der Salzgitter Gruppe übernommen und dient seitdem der Fertigung von Motoren- und Getriebekomponenten. Vor Ort werden dabei primär Zylinderköpfe, Zylinderkurbelgehäuse und Nockenwellen für verschiedene Automobilhersteller (OEMs) gefertigt. Als Beispiele hierfür können Porsche, BMW oder Mercedes-Benz benannt sein (vgl. LINAMAR 2025a; vgl. LAT 2024, S. 4–8, 16 ff.).

Im Industriesegment werden zudem die Kunden MAN, MTU und Sunfire bedient. Baugruppen für diese Kunden dienen der Energieerzeugung – konventionell über Verbrennungstechnik, wie auch zur Elektrolyse von grünem ⁵⁴ Wasserstoff. Der Großteil der Fertigungsprojekte erfolgt dabei als abschließende CNC ⁵⁵ -Fertigungsbearbeitung von Rohgussteilen oder vorbearbeiteten Halbzeugen. Die Wertschöpfung am Standort LAT wird dabei mehrheitlich durch trennende Verfahren ⁵⁶ realisiert (vgl. [LINAMAR 2025a](#); vgl. [LAT 2024](#), S. 4–8, 16 ff.).

3.3 TechSa-Prüfprozess in der Praxis

3.3.1 Normativer Rahmen und mitgeltende Vorschriften

Kerngegenstand der Arbeit ist der Prüfprozess zur Feststellung der Technischen Sauberkeit (TechSa) am Standort LAT. Der Prozess wird dabei umgangssprachlich häufig auch als „Restschmutzanalyse“ (RSA) bezeichnet. Den normativen Rahmen bilden die Vorgaben der VDA 19.1. Wie im Rahmen der theoretischen Grundlagen bereits erörtert ([Abs. 2.2.4.3](#), [Abb. 8](#)), beschreibt die VDA 19.1 als Normenempfehlung dabei die prinzipielle Standardprozedur über die Inhalte:

- Sauberkeitsgerechte Handhabung,
- Qualifizierungsuntersuchungen und Blindwerte,
- Extraktionsverfahren,
- Analysefiltration,
- Analyseverfahren und Dokumentation (vgl. [VDA 19.1-2015](#)).

Sie gilt bei LAT als zentrale Richtlinie. Organisationsspezifische Maßgaben werden darüber hinaus im Regelfall über übergeordnete Produktionslenkungspläne (PLP, [Abs. 2.2.3.2](#), [Tab. 3](#)) festgehalten. Dort werden konkrete prozess- und produktbezogene Merkmale definiert. Diese können beispielsweise aus einzuhaltenden Grenzwerten für Gravimetrie (Gewicht) und Morphologie (Partikeleigenschaften) bestehen. Bei der Betreuung neuer Kunden sollten kundenspezifischen Forderungen (engl. „*Customer Specific Requirements*“, CSR) zur ganzheitlichen Sicherstellung der Prozessvalidität sowie Prozessentwicklung der RSA zum Teil als Anforderungslandschaft ganzheitlich neu bewertet werden.

3.3.2 Arbeitsgrundlagen

Wie eingangs geschildert, werden die *Arbeitsgrundlagen* nachfolgend als Adaption gegenüber der Originalfassung geschildert (gemäß Geheimhaltungsaufgaben, [Anl. 1](#)).

⁵⁴ In diesem Kontext als nachhaltig und natürliche Ressourcen schonend zu verstehen.

⁵⁵ Computerized Numerical Control, dt.: elektronische Maschinensteuerung.

⁵⁶ Fertigungshauptgruppe nach DIN 8580, Bearbeitung zur Aufhebung des Materialzusammenhaltes.

Zu beachten ist, dass im Rahmen des umgesetzten Vorhabens eine *Flüssigextraktion* (als Extraktionsverfahren nach [VDA 19.1-2015](#), S. 17, 42 ff.) mittels Spülung umgesetzt wurde. Der Geltungsbereich ist daher aus dieses Extraktionsverfahren begrenzt. Die Grenzen werden in nachfolgenden Schilderungen daher mitgenannt, um bei Abweichungen Alternativen prüfen zu können. Darstellt werden daher nun die wesentlichen räumlichen und apparativen Voraussetzungen, die für die Durchführung eines TechSa-Prüfprozesses nach VDA 19.1 erforderlich sind. Die Darstellung abstrahiert von standortspezifischen Ausprägungen und gibt allgemeine Anforderungen wieder.

3.3.2.1 Arbeitsort

Die Durchführung der RSA erfordert einen definierten, abgegrenzten Laborbereich innerhalb der Fertigungsinfrastruktur. Dieser stellt den notwendigen *Arbeitsort* und ist in der Regel in einem der werksinternen Messräume verortet und bildet das sogenannte Messlabor bzw. RSA-Labor. Die räumliche Zuordnung ist dabei so zu gestalten, dass eine kontaminationsfreie Probenhandhabung sichergestellt werden kann (vgl. [VDA 19.1-2015](#)).

3.3.2.2 Arbeitsmittel

Spülkabinett

Das *Spülkabinett* (auch: Spritz- oder Prü fzelle) ist das zentrale Arbeitsmittel zur Extraktion von Restschmutzpartikeln aus den Prüfteilen. Es stellt den Ort bereit, an dem die Beprobung mittels Flüssigextraktion stattfindet. Für die Realisierung eines praxistauglichen Labors sind in der Regel zwei Kabinetttypen vorzuhalten: eines für kleinere Bauteile (z. B. Aluminium-Komponenten) sowie ein leistungsfähigeres System für schwere bzw. großvolumige Prüfteile.

Unabhängig vom Typ (hier Flüssigextraktion) müssen Spülkabinette den Anforderungen der VDA 19.1 an Extraktionseinrichtungen entsprechen (vgl. [VDA 19.1-2015](#), S. 73). Dazu zählen geeignete Oberflächenkennwerte, chemische und mechanische Beständigkeit, die Vermeidung von Schmutzfallen (z. B. Totzonen, Hinterschneidungen) sowie eine gute Reinigungsfähigkeit. Spülmittel und Restschmutzpartikel werden im Ablauf filtriert und getrennt; das Spülmittel wird in einem Recycling-Kreislauf zurückgeführt.

Analysefilter

Die *Analysefilter* dienen dem Sammeln von Restschmutzpartikeln für die anschließende gravimetrische Auswertung und lichtmikroskopische Analyse. Filtertyp (Material, Maschenweite) wird durch die jeweiligen Kundenspezifikationen (CSR) festgelegt (vgl. [VDA 19.1-2015](#), S. 137 ff.).

Die Vortrocknung erfolgt bei 105 °C für mindestens 30 Minuten; die Restfeuchte wird anschließend im Exsikkator entzogen. Je nach Prüfanforderung können Filter einzeln oder in Kaskadierung (mehrere Filter mit abgestuften Maschenweiten) eingesetzt werden, um Koinzidenzeffekte zu vermeiden. Das Partikelgewicht der jeweiligen Prüfräume ⁵⁷ wird mittels Differenzmethode ausgewogen (**Formel 1**) (vgl. **VDA 19.1-2015**, S. 137 ff.).

Formel 1 Partikelgewicht $m_{\text{Partikel}} = m_{\text{Filter nach Filtration}} - m_{\text{Filter vor Filtration}}$

m_{Partikel}	Errechnete Partikelmasse
$m_{\text{Filter nach Filtration}}$	Erfasste Filtermasse vor Filtration
$m_{\text{Filter vor Filtration}}$	Erfasste Filtermasse nach Filtration

Trocknungsofen

Der Trocknungsofen dient der standardisierten Filtertrocknung vor und nach der Filtration. Um eine Verfälschung der gravimetrischen Messung durch Restfeuchte auszuschließen, ist ein Ofen mit einer regelbaren Betriebstemperatur von mindestens 105 °C erforderlich. Für den typischen Laborbetrieb hat sich ein Gerät mit ausreichender Kapazität für den gleichzeitigen Betrieb mehrerer Filter sowie einer Zeitschaltuhr als praktikabel erwiesen.

Exsikkator

Nach der Vortrocknung im Ofen werden die Filter im *Exsikkator* auf vollständige Trockenheit gebracht. Der Exsikkator ist ein geschlossenes Glasbehältnis, in dem mittels hygroskopischen Materials (z. B. Silikagel) eine vollständig trockene Atmosphäre erzeugt wird. Er dient gemäß VDA 19.1 der „*Abkühlung der Analysefilter in vollständig trockener Atmosphäre*“ (vgl. **VDA 19.1-2015**, S. 285).

Analysemikroskop

Die lichtmikroskopische Auswertung bildet den zweiten wesentlichen Bestandteil der VDA 19.1 Standardanalyse. Ein geeignetes *Analysemikroskop* ermöglicht die Bestimmung von Anzahl, Größe und Beschaffenheit der Partikel gemäß CSR. Moderne Systeme arbeiten mit automatisierter Bilderfassung (Rastermikroskopie / „Stitching“) sowie Polarisationsstechnik zur Differenzierung metallischer und nicht-metallischer Partikel bzw. Fasern. Die zugehörige *Analysesoftware* erstellt automatisiert Berichte und Prüfprotokolle und ermöglicht eine elektronische Ergebnisarchivierung. Zur Sicherstellung der Messgenauigkeit ist eine regelmäßige Kalibrierung des Systems vorzusehen (vgl. **VDA 19.1-2015**).

⁵⁷ Örtliche Trennung zur Feststellung und Betrachtung von Partikelrückständen in der Analyse.

Persönliche Schutzausrüstung

Die persönliche Schutzausrüstung (PSA) des Laborpersonals umfasst mindestens gummierte Schutzhandschuhe, einen Schutzkit sowie Sicherheitsschuhe der Kategorie S3⁵⁸. Die Anforderungen leiten sich aus den allgemeinen Regelwerken zur Arbeitssicherheit (z. B. ISO 45001) ab. Darüber hinaus ist die Filterhandhabung ausschließlich mit einer Pinzette durchzuführen, um Kontamination durch Fremdpartikel zu vermeiden und ein waagerechtes Halten der Filter zu erleichtern. Für den Fall, dass vorbereitende Maßnahmen – etwa das Ausblasen von Bohrungen mit Druckluft – vorgenommen werden müssen, sind ergänzende Ausrüstungsgegenstände zu prüfen. Im geschilderten Beispiel wäre beispielsweise ein zusätzlicher Gehörschutz denkbar.

Die Arbeitsgrundlagen für eine Flüssigextraktion sind nachfolgend grafisch zusammengefasst (Abb. 29).

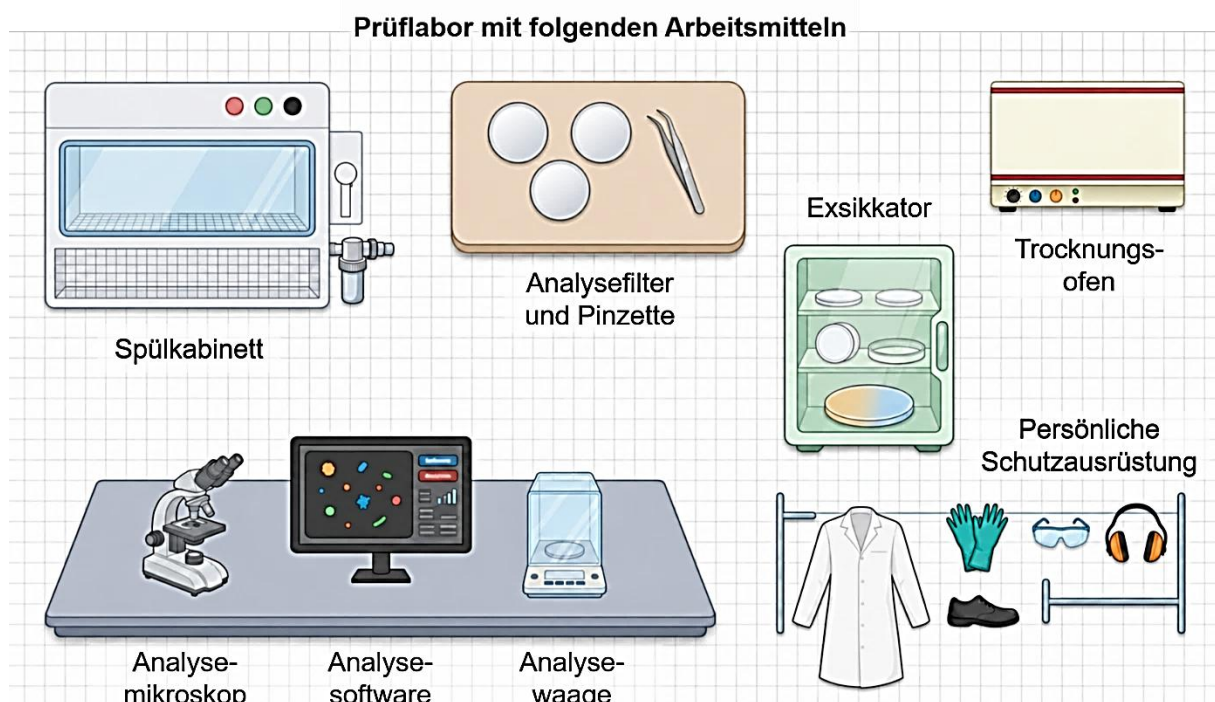


Abbildung 29 Arbeitsgrundlagen zur Durchführung einer RSA mit Flüssigextraktion
(Eigene Darstellung – KI-generiert: OpenAI GPT Image 2.0, nachbearbeitet)

3.4 Projektmanagement des Vorhabens

Wie zuvor geschildert (Abs. 3.1) sollen die nachträglichen Ausführungen zum Zustandekommen bzw. der *Konkretisierung des Vorhabens* ebenso abstrahiert dargestellt werden. Dies dient erneut der Einhaltung der Auflagen zur Veröffentlichung (Anl. 1).

⁵⁸ Für Tätigkeiten in nassen Umgebungen mit hohem Fußverletzungs- und Abrutschrisiko.

Um ein solches Optimierungsvorhaben in der Praxis reproduzierbar und transparent zu gestalten, empfiehlt sich die Anwendung standardisierter Projektmanagement-Methoden. Nachfolgend wird das methodische Vorgehen daher zunächst entlang des normativen *Projektlebenszyklus* skizziert ([Abs. 3.4.1](#)), bevor der eigentliche *Geltungsbereich* für die Praxis systematisch abgegrenzt wird ([Abs. 3.4.2](#)).

3.4.1 Projektlebenszyklus

Nach der Einordnung des allgemeinen betrieblichen Umfelds ([Abs. 3.2](#)) und der Darstellung des TechSa-Prüfprozesses in der Praxis ([Abs. 3.3](#)) werden an dieser Stelle die methodischen Rahmenbedingungen für die Phasen des praktischen Vorhabens eingeordnet. Als theoretisches Fundament dient hierbei die *Projektmanagementnorm DIN 69901*, welche den Projektlebenszyklus in fünf standardisierte Phasen unterteilt ([Abb. 30](#)).



Abbildung 30 Projektphasen nach DIN 69901

(Quelle: [GPM 2020](#), S. 18)

Für ein prozessanalytisches Vorhaben sind diesen Phasen spezifische Arbeitsinhalte zuzuweisen. Diese sollen nachfolgend für das Vorhaben dieser Arbeit exemplarisch erörtert sein. Betriebsinterna werden nachfolgend dabei so weit abstrahiert, dass diese die Anforderungen der Freigabeerklärung ([Anl. 1](#)) erfüllen.

Projektinitiierung (Initialisierung)

Gemäß DIN 69901 dient diese erste Phase der Klärung des Projekts hinsichtlich seiner grundsätzlichen Notwendigkeit und Machbarkeit (vgl. [DIN ISO 69901-2:2009](#), S. 8 ff.). Wesentliche Aufgaben sind die Identifikation des konkreten Handlungsbedarfs sowie die Formulierung erster, grober Zielsetzungen.

Im Kontext dieses Leitfadens wurde die Initialisierung durch eine interne Anfrage aus dem Qualitätsmanagement angestoßen. Ziel war es, spezifische Methodenkompetenzen aus der REFA-Methodenlehre zu nutzen, um mittels Tätigkeitsstrukturanalysen (TSA) eine valide Datengrundlage für das TechSa-Labor aufzubauen. Die strategischen Kernziele umfassten dabei eine präzisere Kapazitäts- und Personalplanung, die Schaffung von Kalkulationsgrundlagen für künftige Neuprojekte, die Absicherung einer ergonomischen und adäquaten Mitarbeiterauslastung sowie die allgemeine Identifikation von Effizienzsteigerungspotentialen.

Projektdefinition

In der Phase der *Projektdefinition* werden die Projektziele operationalisiert, der genaue Projektumfang (engl. „Scope“) abgegrenzt und Ressourcen definiert (vgl. [DIN ISO 69901-2:2009](#), S. 8 ff.). Da solche Optimierungsprojekte in der Praxis oft parallel zum operativen Tagesgeschehen laufen, empfiehlt sich eine strikte Fokussierung auf wesentliche Kernanforderungen. Für die Zielvereinbarung im Rahmen des Vorhabens dieser Arbeit empfehlen sich daher folgende meilensteinrelevante Aspekte:

- Allgemeine, transparente Feststellung und Dokumentation der bestehenden Tätigkeitsstruktur,
- Differenzierung des Prüfprozesses in wertschöpfende und nicht-wertschöpfende (Verschwendungsanalyse),
- Ableitung von reproduzierbaren Plan- und Vorgabezeiten für die Kapazitätsplanung,
- Ganzheitliche Beurteilung des Prozesses hinsichtlich struktureller Schwachstellen und prozessualer Optimierungspotentiale.

Dieser *Anforderungsrahmen* bildet das inhaltliche Fundament für das weitere Vorgehen. Da spezifische TechSa-Prüfprozesse in der Praxis oft nur durch den groben normativen Rahmen (z. B. VDA 19.1) reguliert, organisatorisch-strukturell aber selten detailliert ausformuliert sind, bildet die vorgelagerte Erstellung eines spezifischen Prozessmodells die zwingende Voraussetzung für alle weiteren Schritte.

Projektplanung, -steuerung und -abschluss

Die verbleibenden Phasen des Lebenszyklus erstrecken sich über die nachfolgenden Kernkapitel dieser Arbeit (vgl. [DIN ISO 69901-2:2009](#), S. 8 ff.). Die *Planungsphase* wird im Wesentlichen durch die fundierte Auswahl der geeigneten und Modellierungs- ([Abs. 4.3](#)) und Untersuchungsmethoden ([Abs. 5.3](#)) bestimmt. Die *Projektsteuerung* umfasst die konkrete operative Umsetzung sowie das kontinuierliche Monitoring des Arbeitsstudiums. Der *Projektabschluss* beinhaltet schließlich die Synthese der Ergebnisse sowie die Ableitung standardisierter Handlungsempfehlungen für die Praxis (insb. [Abs. 5.5.3.8](#) und zu Teilen [Abs. 6](#)).

3.4.2 Geltungsbereich

Als abschließender Schritt der Strukturierungsphase muss der *Geltungsbereich* des Optimierungsvorhabens exakt abgegrenzt werden. Da in einem produzierenden Unternehmen meist eine Vielzahl unterschiedlicher Bauteile und Prüfzyklen parallel das TechSa-Labor durchläuft, ist eine systematische Auswahl der zu untersuchenden Prozesse zu treffen.

Als methodischer *Best-Practice*-Ansatz empfiehlt sich hierbei eine Clusterung nach Produkt- bzw. Projektgruppen sowie die Definition klarer Inklusions- und Exklusionskriterien. Eine Selektion kann anhand folgender Kriterien erfolgen:

- **Wirtschaftlichkeit:** Projekte, die vor dem baldigen Produktionsende (engl. „End of Production“ – EOP) stehen, sollten aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ausgeschlossen werden, da eine Amortisation der Optimierungsmaßnahmen nicht mehr gegeben ist.
- **Prüffrequenz:** Prozesse, die in der Praxis nur unregelmäßig oder selten durchgeführt werden (z. B. seltene Sonderprüfungen), bieten keine repräsentative Datenbasis und sollten exkludiert oder nur optional betrachtet werden.
- **Prozesshomogenität:** Bauteile mit stark abweichenden Geometrien oder stark differierenden Prüfabläufen sollten methodisch getrennt oder als eigenständige Untersuchungsobjekte geführt werden, um Fehlinterpretationen bei den ermittelten Planzeiten zu vermeiden.

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 9) zeigt beispielhaft, wie eine solche methodische Abgrenzung des Geltungsbereichs für ein TechSa-Labor standardisiert aufgebaut sein kann. Die hierzu geschilderten Bauteilcluster stehen lediglich als abstrakte Kategorisierungsgrundlage in Verbindung mit der tatsächlichen organisations-spezifischen Einteilung der Originalfassung. Abwandlungen für weitere praktische Anwendungen sind möglich.

Tabelle 9 Exemplarischer Geltungsbereich nach Bauteilcluster
(Eigene Darstellung)

Bauteilcluster	Entscheidung	Methodische Begründung
Bauteilgruppe A (Standardkomponenten)	Einbezug	Keine Gründe für einen Ausschluss; repräsentativer Standardprozess
Bauteilgruppe B (Verwandte Komponenten)	Einbezug (kombiniert)	Kombinierte Betrachtung sinnvoll, da ein gemeinsamer Prüfzyklus vorliegt; Einzelaufwände sind mathematisch ableitbar
Bauteilgruppe C (Komplexe Komponenten)	Einbezug (differenziert)	Differenzierte Betrachtung notwendig, da Prüfablauf und Bauteilgeometrie stark abweichen; Mehr- / Minderaufwand ist vorab nicht abschätzbar

Bauteilgruppe D (Sonderkomponenten)	Ausschluss / optional	Unregelmäßige und zu seltene Durchführung der Restschmutzanalyse (RSA); nicht repräsentativ
Bauteilgruppe E (Auslaufprojekte)	Ausschluss	Wirtschaftlich nicht sinnvoll aufgrund anstehender Projektausläufe (EOP im aktuellen Kalenderjahr)
Bauteilgruppe F (Fremdsysteme)	Ausschluss	Keine Durchführung von Restschmutzanalysen (RSA) im regulären Prüfumfang vorgesehen

Aus dieser exemplarischen Kategorisierung kann dann eine Aufstellung für den Geltungsbereich der durchzuführenden Prozessmodellierung ([Abs. 4](#)) und das anschließende Arbeitsstudium ([Abs. 5](#)) aufgestellt werden ([Abb. 31](#)). Hier gilt es erneut anzumerken, dass Abwandlungen dieser exemplarischen Logik möglich sind.

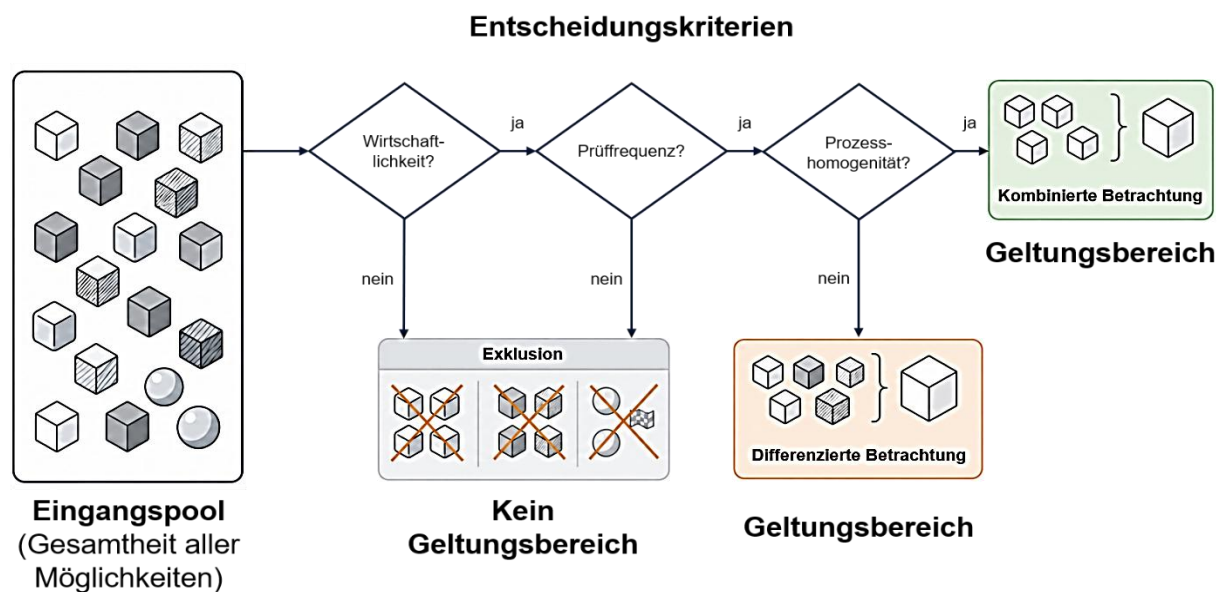


Abbildung 31 Exemplarische Logik zur Definition eines Geltungsbereichs
(Eigene Darstellung – KI-generiert: OpenAI GPT Image 2.0, nachbearbeitet)

4 Prozessmodellierung

4.1 Vorgehensweise zur Prozessmodellierung

Nachdem der Bezug zur Praxis für die Arbeit hergestellt wurde ([Abs. 3](#)), soll – wie methodisch definiert ([Abs. 1.5](#)) – mit der Prozessmodellierung begonnen werden. Hierzu ist sich erneut auf die mitwirkende Geheimhaltungsvereinbarung gegenüber der Originalfassung ([Anl. 1](#)) zu beziehen. Die im Rahmen der praktischen Realisierung verfolgte Vorgehensweise zur Prozessmodellierung einer komplexen Prozesslandschaft um die TechSa-Prüfprozesse soll im Rahmen dieser Nachveröffentlichung auf eine vorgeschlagene Standardvorgehensweise abstrahiert werden. Konkrete Bestandteile der organisationsspezifischen Prozesse am Standort LAT werden somit keine Bestandteile der hier ausgewiesenen Prozessmodelle sein. Stattdessen wird sich auf die Bestandteile der VDA 19.1 bezogen, um einen allgemeingültigen und betriebsübergreifend anwendbaren Ansatz aufzuzeigen („*Best Practice*“).

Die hier vorgestellte Vorgehensweise soll an dieser Stelle einleitend kurz eingeordnet werden. Der *Prozessmodellierungsvorgang* wird über fünf Teilbereiche untergliedert. Zuerst ist der Prozess einmal verbal darzustellen ([Abs. 4.2](#)). In dieser Phase sind Beschäftigte des Laborumfelds vorab zu konsultieren. Eine Aufstellung der Inhalte für den Arbeitsauftrag ist hierbei zusammengestellt. Dabei sind wesentliche Merkmale der Ablaufstruktur zu identifizieren, um auf Basis dieser zum nachfolgenden Arbeitsgang überzugehen: der Auswahl eines Modellierungsverfahrens ([Abs. 4.3](#)). Je nach Ergebnis der vorherigen Schilderungen, sind hier relevante Makro- und Mikroebenen („Grundphilosophie bei der Gliederung von Prozessen“⁵⁹, vgl. [REFA 2025c](#)) der Prozesslandschaft zur Modellierung zu bestimmen. Ist die Modellierungstechnik ausgewählt, ist der Prozess entsprechend darzustellen ([Abs. 4.4](#)). Abschließend sollen relevante Start- und Endpunkte der Prozessbestandteile definiert werden ([Abs. 4.5](#)), um eine nachfolgende Datenerfassung im Arbeitsstudium ([Abs. 5](#)) zu ermöglichen.

Über diese Umsetzung der Modellierung soll somit Transparenz und Nachvollziehbarkeit im weiteren Ablauf des Vorhabens dieser Arbeit gewährleistet sein. Die Ablaufelemente, welche aus der Modellierung hervorgehen, stellen eine formale Grundlage zur weiteren Prozessanalyse und Datenerhebung im Rahmen des nachgelagerten Arbeitsstudiums ([Abs. 5](#)) dar. Somit ist die Prozessmodellierung ebenso als Grundlage zur Identifikation von Optimierungspotentialen zu sehen. Der Ablauf der durchzuführenden Prozessmodellierung ist nachfolgend schematisiert dargestellt ([Abb. 32](#)).

⁵⁹ Stufenweise Differenzierung vom übergeordneten Gesamtablauf bis in kleinste Vorgangselemente.

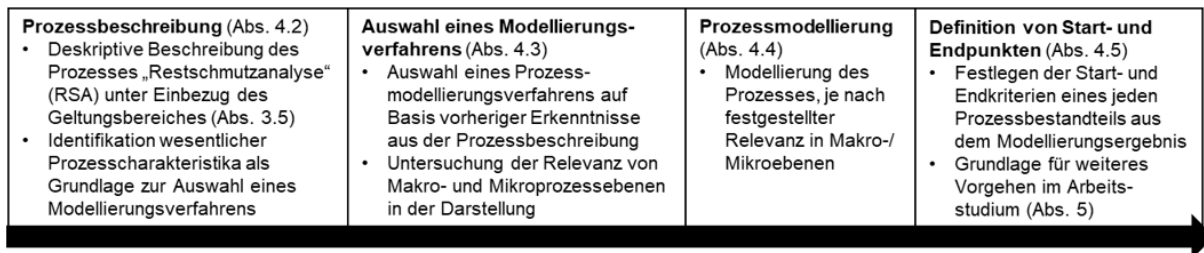


Abbildung 32 Standardvorgehensweise zur Prozessmodellierung
(Eigene Darstellung)

4.2 Prozessbeschreibung

4.2.1 Prozesseigner

Als erster inhaltlicher Schritt im Rahmen der Prozessmodellierung soll die verbale Prozessbeschreibung erfolgen. Hierzu sind vorab Gespräche mit den verantwortlichen Akteuren im Laborumfeld zu führen. Für eine zielgerichtete Erfassung des Ausgangsprozesses empfiehlt sich dabei insbesondere die Einbeziehung der Person, die unmittelbar für die Prozessauslegung verantwortlich ist sowie die operative Durchführung des Prüfprozesses verantwortet (z. B. Prüfmittelbeauftragte (PMB) oder Laborleitung). Darüber hinaus sind weitere Mitarbeitende, welche die Prüfdurchführung in Vertretung übernehmen, in die Aufnahme einzubeziehen, um ein vollständiges Bild der Prozesspraxis zu erhalten.

Die Erhebung des Ist-Prozesses erfolgt dabei im direkten Austausch zwischen dem *Erhebungsbeauftragten* (EB) und den *Prozesseignern* vor Ort. Der Ist-Prozess wird verbal durch die zuständige Fachkraft beschrieben und vom EB vor Ort nachvollzogen und dokumentiert. Allgemein erwartbare Ergebnisse sind nachfolgend beschrieben.

4.2.2 Ausgangsbedingungen

Der Gesamtablauf „Prüfung der Technischen Sauberkeit“, respektive die Durchführung der RSA, beginnt mit dem *Vorliegen eines Prüfauftrages*. Dieser Auftrag wird im Regelfall gemäß einem vorab definierten Prüfplan kommuniziert und umgesetzt. Abweichungen von Regelzyklen werden als Sonderfall zwischen den beteiligten Unternehmensbereichen (z. B. Fertigung, Laborleitung, ausführendes Personal) abgestimmt. Als wesentliche Ausgangsbedingung ist die *Prüfteilbereitstellung* zu sehen. Die Verantwortung hierfür liegt beim bereitstellenden Fertigungsbereich, welcher die Prüfteile in gereinigtem Zustand am definierten Übergabeort bereitzustellen hat. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, kann der Prozess „Prüfung der Technischen Sauberkeit“ initiiert werden.

4.2.3 Gesamtablauf in der Phasenbetrachtung

Geklärt ist nun, wer jeweils verantwortlich für den TechSa-Prüfprozess (Prozesseigner) sowie dessen Analyse (EB) ist (Abs. 4.2.1). Zudem wurden grundlegende Voraussetzungen für die Initiierung des Prüfprozesses beschrieben (Abs. 4.2.2). Die nächsten Betrachtungen fallen auf die Phasen des Gesamtablaufs der Prüfprozesse. Im Sinne der Geheimhaltungsvereinbarung (Anl. 1) werden Beobachtungen in der umgesetzten Fallstudie auf eine abstrakte Ebene gehoben. Somit lässt sich die TechSa-Prüfung (durch Flüssigextraktion) in allgemeinen Ablaufphasen nachvollziehen.

4.2.3.1 Beprobungsvorbereitung

In übergeordneter Betrachtung ist als erstes die *Beprobungsvorbereitung* zu benennen. Der Mitarbeiter trifft zu Beginn des Prüfzyklus die notwendigen Vorkehrungen, um die Beprobung der Prüfteile durchführen zu können. Hierbei sind verschiedene Tätigkeiten erforderlich, welche bei jedem Prüfzyklus anfallen. So werden im Normalfall verschiedene Teilabläufe (Abb. 33) einbezogen:

- **Systemstart:** Das zur Mikroskopauswertung genutzte Rechnersystem wird gestartet. Es dient gleichzeitig zur internen Kommunikation sowie zur Erstellung prüfprozessbegleitender Dokumente (z. B. Kennzeichnungselemente für die Wiedereinschleusung von Prüfteilen).
- **Filtervorbereitung:** Die erforderlichen Analysefilter werden vorgetrocknet und ihr Leergewicht bestimmt (vgl. Abs. 3.3.2).
- **Anlagengrundreinigung:** Es wird ein sauberer Ausgangszustand des zu verwendenden Spülkabinetts hergestellt. Je nach Anforderung wird zudem ein Testfilter zur Feststellung der Anlagengrundverunreinigung beprobt („Blindwert“ gemäß Anlagenqualifizierung, vgl. VDA 19.1-2015, S. 61).

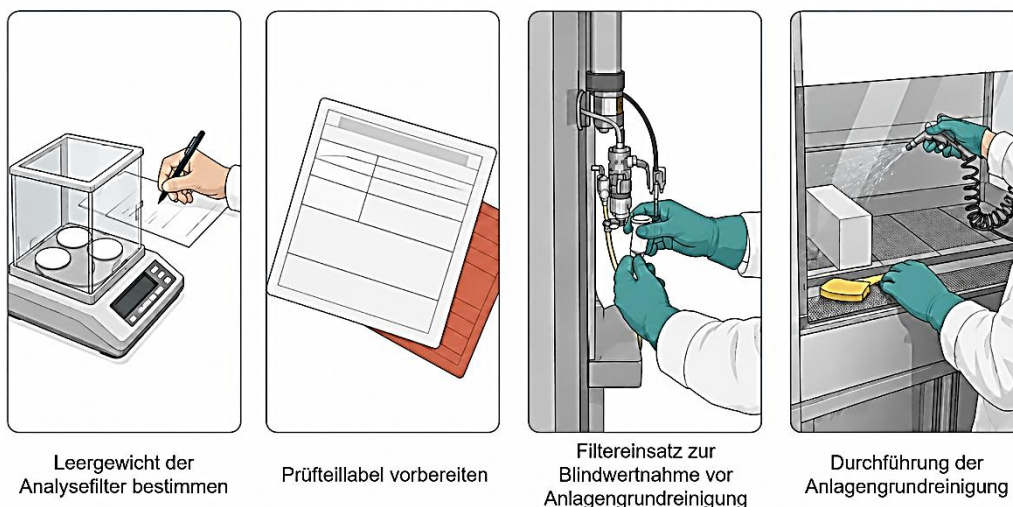


Abbildung 33 Referenzaktivitäten bei der Beprobungsvorbereitung

(Eigene Darstellung – KI-generiert: OpenAI GPT Image 2.0, nachbearbeitet)

4.2.3.2 Sonderprüfungen

Nach erfolgter Beprobungsvorbereitung ([Abs. 4.2.3.1](#)) sind an bestimmten Prüfteilen zusätzliche *Sonderprüfungen* vorzunehmen. Im Gegensatz zur Beprobungsvorbereitung ist die Durchführung von Sonderprüfungen nicht in jedem Prüfzyklus enthalten; zudem weichen diese zwischen den Zyklen voneinander ab. Typische Sonderprüfungen, die im Kontext von TechSa-Prüfprozessen auftreten können, umfassen exemplarisch ([Abb. 34](#)):

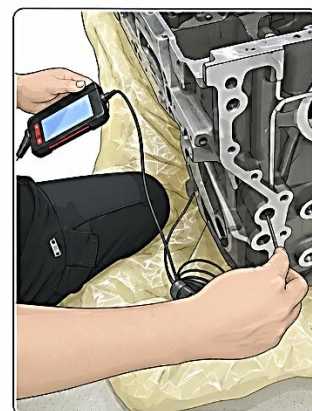
- **Oberflächenspannungsmessung:** Vor der Flüssigextraktion wird die Oberflächenspannung der Prüfteile ermittelt. Dies erfolgt mittels eines standardisierten Tintentests (sog. „Inktest“), bei dem eine Testtinte auf die Bauteiloberfläche aufgebracht und das Benetzungsverhalten mit den Kundenspezifikationen abgeglichen wird.
- **Restmagnetismusmessung:** Mit einem geeigneten Prüfgerät wird der Restmagnetismus an definierten Messpunkten des Bauteils ermittelt und mit den Grenzwerten der Kundenvorgaben verglichen.
- **Prüfteilendoskopie:** Die am Bauteil vorhandenen Bohrungen werden mit einer Endoskopkamera auf eventuelle Rückstände (z. B. Gussand, Grat) und Formabweichungen überprüft. Diese Prüfung kann sowohl aus Kundenforderungen als auch aus internen Qualitätsvorgaben resultieren.



Oberflächenspannungsmessung



Restmagnetismusmessung



Prüfteilendoskopie

Abbildung 34 Referenz Tätigkeiten zu Sonderprüfungen

(Eigene Darstellung – KI-generiert: OpenAI GPT Image 2.0, nachbearbeitet)

Die konkrete Auswahl und Kombination dieser Sonderprüfungen ist stets an den jeweiligen Kundenvorgaben (engl. „*Customer Specific Requirements*“, CSR, [Abs. 3.3.1](#)) sowie den spezifischen Bauteilcharakteristika auszurichten. Die hier dargestellten Tätigkeiten dienen lediglich als exemplarische Auswahl.

4.2.3.3 Prüfteilvorbereitung

Im Anschluss an etwaige Sonderprüfungen ([Abs. 4.2.3.2](#)) sind mögliche *Prüfteilvorbereitungen* zu betrachten. Diese sind, wie auch die Sonderprüfungen, gegebenenfalls nicht in jedem Prüfzyklus erforderlich. Relevante Tätigkeiten in diesem Abschnitt können exemplarisch folgendes umfassen ([Abb. 35](#)):

- **Anbringung von Lastaufnahmemitteln (LAM):** Schwere oder großvolumige Prüfteile, die nicht manuell gehandhabt werden können, müssen für die Aufnahme an geeigneten Hebeeinrichtungen (z. B. Traverse) vorbereitet werden. Art und Ausführung des LAM richten sich nach Bauteilgeometrie und -gewicht.
- **Gesonderte Abdichtung von Prüfräumen:** Sind an einem Bauteil mehrere Prüfräume definiert, die separat beprobt werden sollen, sind diese gegeneinander abzudichten. Hierzu werden geeignete Abdichtelemente (z. B. aus Kunststoff) an den entsprechenden Verbindungsbohrungen angebracht, um eine eindeutige Zuordnung der Filtrationsergebnisse zu den einzelnen Prüfbereichen sicherzustellen.

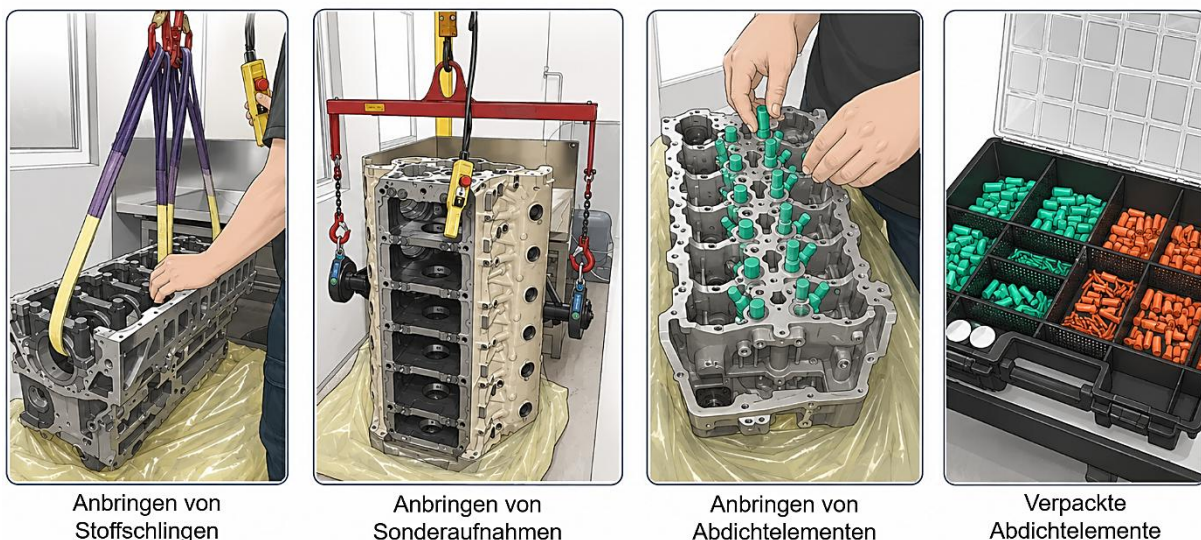


Abbildung 35 Referenz Tätigkeiten bei der Prüfteilvorbereitung

(Eigene Darstellung – KI-generiert: OpenAI GPT Image 2.0, nachbearbeitet)

4.2.3.4 Beprobung

Nach der Vorbereitung der Prüfteile ([Abs. 4.2.3.3](#)) kann schließlich deren *Beprobung* erfolgen. Wie schon die anderen Ablaufphasen wird hier die Beprobung als Flüssigextraktion gemäß VDA 19.1-Standardprozedur (vgl. [VDA 19.1-2015](#), S. 42 ff.) betrachtet. Jedes Bauteil verfügt dabei über einen individuellen Prüfumfang, der durch die Kundenvorgaben hinsichtlich der zu beprobenden Prüfräume definiert wird. Der Prüfumfang variiert je nach Bauteiltyp und Kundenanforderung erheblich. Nachfolgendes Schema stellt das Prinzip der Prüfraumdefinition exemplarisch dar ([Tab. 10](#)):

Tabelle 10 Prinzip der Prüfraumdefinition
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Bauteiltyp	Typische Prüfräume	Anzahl Prüfräume (n)
Bauteiltyp A (komplex)	Mehrere funktionale Kreisläufe (z. B. Öl-, Kühl-, Luftbereich)	$n \geq 4$
Bauteiltyp B (mittlere Komplexität)	Wenige funktionale Kreisläufe	$n = 2 \text{ bis } 4$
Bauteiltyp C (geringe Komplexität)	Einzelner zu prüfender Funktionsbereich	$n = 1 \text{ bis } 2$

Der jeweilige Prüfumfang ist vor Beginn des Prüfzyklus anhand der gültigen CSR und des zugehörigen Prüfplans festzulegen und zu dokumentieren. Die Handhabung zur Flüssigbeprobung (Flüssigextraktion) ist nachfolgend abstrahiert illustriert ([Abb. 36](#)).

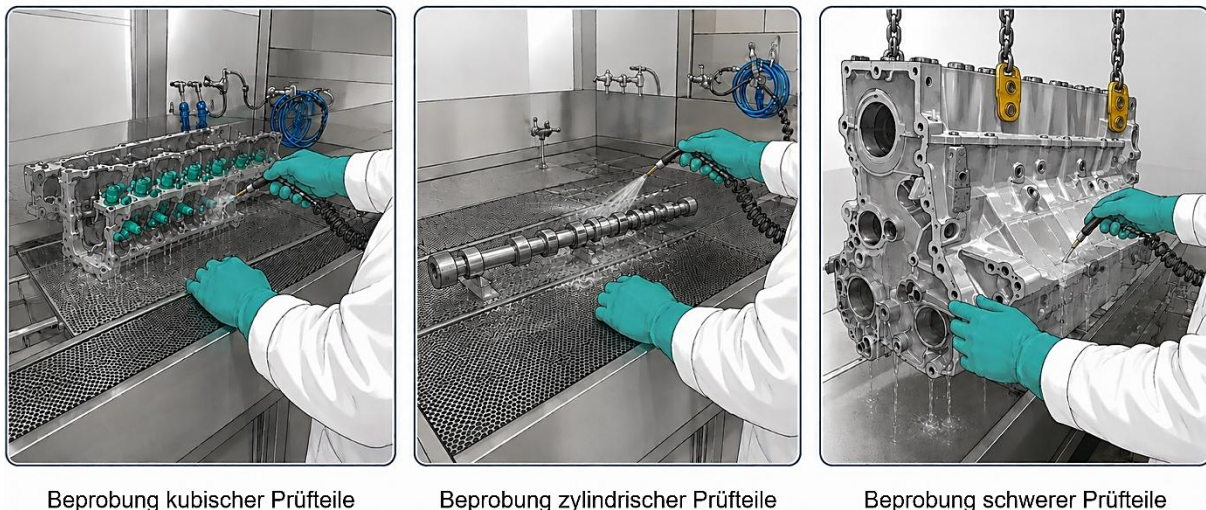


Abbildung 36 Referenzaktivitäten bei der Flüssigbeprobung
(Eigene Darstellung – KI-generiert: OpenAI GPT Image 2.0, nachbearbeitet)

4.2.3.5 Prüfteilnachbereitung

Nach der Beprobung ([Abs. 4.2.3.4](#)) erfolgt in den meisten Fällen eine *Prüfteilnachbereitung*. Wurden die Prüfteile vorbereitend entpackt, müssen diese etwa wieder eingepackt werden. Zudem kann die Nachbereitung die Demontage aller für die Prüfung angebrachten Hilfsmittel (Abdichtelemente, Lastaufnahmemittel) sowie den geordneten Rücktransport der Prüfteile in den Fertigungsbereich umfassen. Art und Umfang der Nachbereitung richten sich entsprechend nach den in der Prüfteilvorbereitung ([Abs. 4.2.3.3](#)) durchgeführten Maßnahmen.

4.2.3.6 Analyse

Im Anschluss an die Prüfteilnachbereitung ([Abs. 4.2.3.5](#)) kann die abschließende *Analyse* durchgeführt werden. Gemäß der VDA 19.1-Standardprozedur für Standardanalysen bei Flüssigextraktionen besteht diese aus der Feststellung der Gravimetrie sowie einer lichtmikroskopischen Untersuchung (vgl. [VDA 19.1-2015](#), S. 42 ff., sowie [Abs. 3.3.2](#)). Der Analyseablauf umfasst folgende Schritte ([Abb. 37](#)):

- **Gravimetrische Auswertung:** Alle Filter aus der Beprobungsphase werden erneut getrocknet (Trockenschrank und Exsikkator) und anschließend ausgewogen. Das Partikelgewicht wird per Differenzmethode aus dem Vergleich mit dem in der Beprobungsvorbereitung bestimmten Leergewicht ermittelt.
- **Lichtmikroskopische Auswertung:** Alle Filter werden einzeln unter dem Analysemikroskop untersucht. Die zugehörige Analysesoftware bewertet die Partikelgrößen, -anzahl und -beschaffenheit automatisiert per Algorithmus (Rastermikroskopie/Stitching, Polarisationsstechnik).
- **Manuelle Nachprüfung bei Nichtkonformität:** Ergibt die automatisierte Auswertung eine Nichtkonformität (n.i.O.), ist die Bewertung manuell durch den Mitarbeiter nachzuprüfen. Verletzungen der Spezifikationsgrenzen werden von der Software ausgewiesen und vom Bediener bestätigt oder neu bewertet.
- **Ergebnisablage und -bekanntgabe:** Die von der Software generierten Prüfprotokolle werden im vorgesehenen Ablagesystem archiviert und anschließend an den definierten Empfängerkreis kommuniziert. Mit diesem Schritt ist der Ablauf der RSA abgeschlossen.

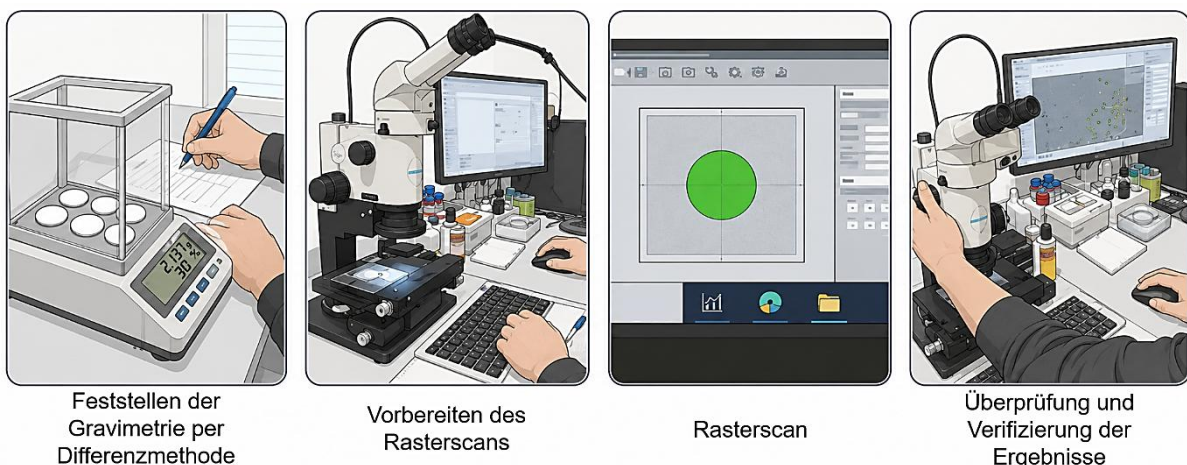


Abbildung 37 Referenzfähigkeiten bei der Analyse

(Eigene Darstellung – KI-generiert: OpenAI GPT Image 2.0, nachbearbeitet)

4.2.4 Differenzierung von Betrachtungsebenen

4.2.4.1 Zweck der Differenzierung von Betrachtungsebenen

Der soeben geschilderte Referenzablauf ([Abs. 4.2.3](#)) stellt eine übergeordnete Betrachtung des RSA-Prüfprozesses dar, welche weiter vertieft werden kann. Die Fachliteratur im Prozessmanagement – insbesondere die in dieser Arbeit bereits benannte REFA-Gesellschaft – unterscheidet bei der Betrachtung von Prozessen zwischen Makro- und Mikro-Ansätzen (vgl. [REFA 2025c](#)). Eine zielgerichtete Prozessanalyse und auch -optimierung erfordert eine Komplexitätsreduktion durch schrittweise Detaillierung. Ebenso sind kritische Punkte zu fokussieren, wenn Engpässe oder Verschwendungen identifiziert werden sollen. Die Zielstellung dieser Arbeit ([Abs. 1.3](#)) fordert eine allgemeine Betrachtung des Gesamtablaufs der RSA, ohne dabei konkrete Anforderungen zur Untersuchung spezifischer Ablaufabschnitte zu formulieren. Aus diesem Grund wird sich für die Betrachtung des Prozesses im Bereich der Makro-Orientierung entschieden. Eine beispielhafte Einteilung zur Gliederung von Prozessen nach REFA ist nachfolgend dargestellt ([Abb. 38](#)).

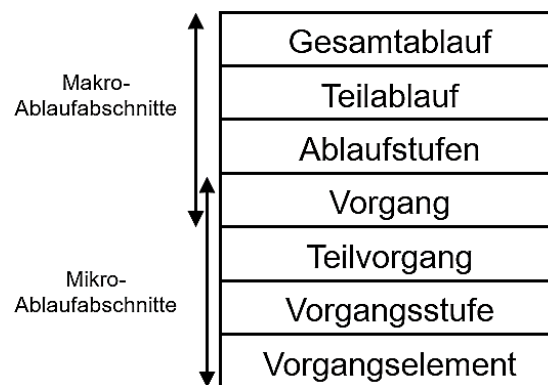


Abbildung 38 Betrachtungsebenen von Prozessen nach REFA

(In Anlehnung an: [REFA 2025c](#))

4.2.4.2 Definition von Betrachtungsebenen

Zur Definition von Betrachtungsebenen innerhalb dieser Arbeit soll sich der Einfachheit halber auf das Modell nach REFA bezogen werden. Mit dem soeben geschilderten ([Abs. 4.2.4.1](#)) ganzheitlichen Betrachtungsansatz, soll die RSA in ihrer Makrostruktur modelliert und somit für weitere Untersuchungen im Arbeitsstudium zugänglich gemacht werden. Die RSA an sich ist dabei als Gesamtablauf zu sehen. Die verbale Beschreibung des Ablaufes in der Phasenbetrachtung ([Abs. 4.2.3](#)) stellt somit die erste Betrachtungsebene der „*Teilabläufe*“ dar. Diesen sollen zudem die „*Ablaufstufen*“ als darunterliegende Ebene zugeordnet werden. Zur nachträglichen Möglichkeit des logischen Nachvollzuges werden einzelne „*Vorgänge*“ von Ablaufstufen inhaltlich lediglich umrissen. Elemente der reinen Mikroebene („*Teilvorgänge*“, „*Vorgangsstufen*“ und „*Vorgangselemente*“) werden in dieser Arbeit vernachlässigt.

4.2.4.3 Zuordnung von Ablaufabschnitten

Mit der Festlegung der differenzierten Betrachtung des Gesamtablaufes („Restschmutzanalyse“) in den Ebenen der Teilabläufe und Ablaufstufen, soll nun eine Zuordnung der Ablaufabschnitte erfolgen. Dazu werden die beschriebenen Elemente der Phasenbetrachtung ([Abs. 4.2.3](#)) nachfolgend mit in ihnen enthaltenen Unterstrukturen erfasst. Gemäß den Auflagen zur Geheimhaltung ([Anl. 1](#)) wird der exemplarische Referenzablauf der Phasenbetrachtung ([Abs. 4.2.3](#)) in generische Teilabläufe überführt. Bei diesen handelt es sich, wie zuvor beschrieben, um ein beispielhaftes Standardvorgehen, welches sich an den Vorgaben der VDA 19.1 orientiert. In der Originalfassung (Masterarbeit) wurden unter diesen konkretere Ablaufstufen sowie darin enthaltene Vorgänge bestimmt. Da es sich bei diesen Strukturen jedoch um betriebspezifische Prozessauslegungen handelt, werden diese im Rahmen der Nachveröffentlichung anonymisiert. Nachfolgend werden den exemplarischen Teilabläufen der Phasenbetrachtung keine Konkretisierungen mehr folgend. Im Sinne des methodischen Verständnisses werden diese den Teilabläufen als Abstraktionen untergeordnet (z. B. Beprobung – Ablaufstufe 1 – Vorgang 1 etc.).

Zu den Betrachtungen der Ablaufstrukturen hinzu kommt eine Verknüpfung des Geltungsbereichs ([Abs. 3.4.2](#)), um die Gemeinsamkeiten über verschiedene Cluster (z. B. unterschiedliche Produkttypen und -varianten) hinweg zu veranschaulichen. Eine Möglichkeit beide Strukturen kombiniert zu betrachten, ist das Aufstellen einer „*vereinfachten Prozessmatrix*“. Hierbei werden zum einen alle bekannten Ablaufstrukturen hierarchisiert. Im beschriebenen Kontext steht dies für den Gesamtablauf der RSA, welchem untergeordnet jeweils Teilabläufe (exemplarische Phasenbetrachtung, [Abs. 4.2.3](#)), Ablaufstufen und Vorgänge zuzuordnen wären. Dem gegenüber stünden dann alle Bauteilcluster, welche eine separate Betrachtung im Rahmen einer Prozessmodellierung ([Abs. 4.4](#)) sowie später eines Arbeitsstudiums ([Abs. 5](#)) erfahren sollen (gemäß Logik [Abb. 31](#) zur Bestimmung des Geltungsbereichs [Abs. 3.4.2](#)). Nachfolgend wird eine entsprechende vereinfachte Prozessmatrix aufgestellt sein ([Tab. 11](#)), welche eine solche Zuordnung für den hier vorliegenden Kontext einordnet. Eine solche Aufstellung dient primär als Grundlage für die Auswahl eines Modellierungsverfahrens ([Abs. 4.3](#)). Wenngleich die dazu entstehende Aufstellung ([Tab. 11](#)) als erster tabellarischer Ansatz zur Modellierung (gemäß [Abs. 2.3.4](#)) gesehen werden kann, ist diese noch nicht als finales Prozessmodell zu sehen.

Tabelle 11 Vereinfachte Prozessmatrix
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Betrachtungsebenen von Prozessen nach REFA				Prüfteilcluster				
Pos.	Teilablauf	Ablaufstufe	Vorgang	A	B	C	D	E
1 Beprobungsvorbereitung								
1.1	Ablaufstufe 1							
1.1.1			Vorgang 1					
1.1.2			Vorgang 2					
1.1.n			Vorgang n					
1.2	Ablaufstufe 2							
1.2.1			Vorgang 1					
1.2.2			Vorgang 2					
1.2.n			Vorgang n					
1.3	Ablaufstufe 3							
1.3.1			Vorgang 1					
1.3.2			Vorgang 2					
1.3.n			Vorgang n					
2 Sonderprüfung								
2.1	Ablaufstufe 1							
2.1.1			Vorgang 1					
2.1.2			Vorgang 2					
2.1.n			Vorgang n					
2.2	Ablaufstufe 2							
2.2.1			Vorgang 1					
2.2.2			Vorgang 2					
2.2.n			Vorgang n					
2.3	Ablaufstufe 3							
2.3.1			Vorgang 1					
2.3.2			Vorgang 2					
2.3.n			Vorgang n					
3 Prüfteilvorbereitung								
3.1	Ablaufstufe 1							
3.1.1			Vorgang 1					
3.1.2			Vorgang 2					
3.1.n			Vorgang n					
3.2	Ablaufstufe 2							
3.2.1			Vorgang 1					
3.2.2			Vorgang 2					
3.2.n			Vorgang n					
3.3	Ablaufstufe 3							
3.3.1			Vorgang 1					
3.3.2			Vorgang 2					
3.3.n			Vorgang n					
↓ Abstraktion ↓								
4 Beprobung								
5 Prüfteilnachbereitung								
6 Analyse								

Legende:

	enthalten
	nicht enthalten

4.3 Auswahl eines Modellierungsverfahrens

4.3.1 Wesentliche Prozesscharakteristik

Nachdem mit einer *vereinfachten Prozessmatrix* (Beispiel in [Abs. 4.2.4.3](#), [Tab. 11](#)) eine grobe Übersicht über das Wesen des organisationsspezifischen Prozesses (zur Prüfung der Technischen Sauberkeit) geschaffen wurden, können weitere Aussagen zur *Charakteristik* daraus abgeleitet werden.

Für diese Nachveröffentlichung werden wieder entsprechende Verallgemeinerungen zur Wahrung der Geheimhaltungsauflagen ([Anl. 1](#)) vorgenommen. Bezogen wird sich daher nachfolgend auf das erbrachte Beispiel in Form eines Teilauszugs einer solchen Matrix ([Abs. 4.2.4.3](#), [Tab. 11](#)). Ebenso soll Bezug auf die generalisierten Schilderungen zur Phasenbetrachtung ([Abs. 4.2.3](#)) genommen werden. Nachfolgend wird also eine exemplarische Prozesslandschaft von TechSa-Prüfungen für verschiedenartige Prüflinge in Form einer Flüssigextraktion vorgenommen. Grundlage dafür ist die Betrachtung in den sechs beschriebenen Prozessphasen ([Abs. 4.2.3](#)).

In diesem Fall lässt sich die wesentliche Charakteristik des Gesamtablaufs als erstes beschreiben. Dabei ist festzustellen, dass die übergeordnete Struktur der *Teilabläufe* konstant bleibt und zudem unabhängig vom Bau- bzw. Prüfteilcluster ist. Zur Prüfung von Teilen aller Projekte wird also dieselbe Reihenfolge eingehalten. Zudem besteht die Ebene von Teilabläufen sowohl aus Kern- als auch unterstützenden Tätigkeiten. Innerhalb der einzelnen *Ablaufstufen* existieren wiederum projektspezifische Unterschiede zwischen den Zyklen. Nicht alle Elemente einer Ablaufstufe sind also jederzeit identisch. Hintergrund sind können beispielsweise variierende Kundenspezifikationen sein, welche den Umfang und Einbezug bestimmter Einzelablaufstufen beeinflussen. Im Wesentlichen könnte sich dies etwa bei der Ausgestaltung der Prüfräume, wie auch beim Einbezug zusätzlicher Sonderprüfungen beobachten lassen. Die Ablaufstufen der Sonderprüfungen, Prüfteilvor- und -nachbereitung sind als Teilabläufe optional. Hintergrund ist, dass Sonderprüfungen mögliche Bestandteil der Kundenforderungen sind, nicht aber verpflichtender Aspekt der VDA 19.1-Standardprozedur. Prüfteilvor- und -nachbereitung sind zudem meist von organisatorischen Belangen außerhalb der reinen TechSa-Prozesslandschaft abhängig. So bedürfen etwa Bauteiltransporte hin zum Prüflabor, wie auch zurück in die Fertigung, immer individueller Abstimmung. Der *Gesamtablauf* ist zudem kontrollflussorientiert, da die Teilabläufe in klar definierter Reihenfolge mit vorbestimmten Übergängen ablaufen.

4.3.2 Bestimmung von Prozessmodellierungsverfahren

Aus den gewonnenen Informationen über die Prozessbeschaffenheit ([Abs. 4.3.1](#)) kann nun eine Verfahrensauswahl zur Modellierung vorgenommen werden.

Einbezogen werden Modellierungsmethoden, welche eingangs ein Bestandteil der theoretischen Grundlagen waren (Abs. 2.3.4.3, Abb. 13). Die Auswahl des Verfahrens soll dabei nicht über *formalisierte Verfahren*⁶⁰ (z. B. Nutzwertanalysen oder gewichtete Paarvergleiche) hergeleitet werden, um ein gutes Aufwand-Nutzen-Verhältnis bei diesem Arbeitsgang zu wahren. Die geringe Kritikalität der Entscheidung ist hierbei zu beachten. Diese ergibt sich daraus, dass die Auswahl des Modellierungsverfahrens nicht die Hauptziele des Vorhabens (Arbeitsstudium und Optimierung) beeinflusst. Die Wahl einer nicht optimalen Methode kann zu Über-, wie auch Unterkomplexität in der Betrachtung führen. Dies hätte Auswirkungen auf die Aussagekraft und würde zu möglichem Nacharbeitsaufwand führen. Das soll an dieser Stelle aber – in Abwägung mit dem zu erwartenden Aufwand zur Durchführung formalisierter Variantenvergleichsverfahren – als bewusstes Risiko akzeptiert werden.

Verfolgt werden soll hingegen ein *dialektischer Ansatz* zur Abwägung von Vor- und Nachteilen (These und Antithese) der möglichen Verfahren. Dabei sind textbasierte Methoden ausgeschlossen, da sie komplexe Abläufe, wie den hier vorliegenden Fall, nur bedingt abbilden können. Zur Analyse der beschriebenen Kontrollflüsse sind diese Verfahren sehr ineffizient. Zu den tabellarischen Methoden kann die bereits angefertigte vereinfachte Prozessmatrix (Abs. 4.2.4.3, Tab. 11) gezählt werden. Diese ist eine gute Grundlage zur Datenorganisation, stellt jedoch einen ebenso wenig intuitiven Ansatz zur Kontrollflussdarstellung dar. Die Nachvollziehbarkeit von Sequenzen und Variationen im Gesamtablauf kann nur begrenzt gewährleistet werden. Skriptbasierte Modellierungsmethoden (formal-mathematisch) sind hingegen als überkomplex und unwirtschaftlich für den vorliegenden Fall anzusehen. Wie in den theoretischen Grundlagen hierzu erörtert (Abs. 2.3.4.3), erfordert dies spezielle Softwarelizenzen und Expertenwissen. Dieser Anforderung kann hierbei nicht nachgekommen werden.⁶¹ Zudem liegt der Fokus dieser Methoden vielmehr auf der Simulation von Abläufen, als auf dem „einfachen“ Nachvollzug.

Entsprechend ist auf diagrammbasierte Methoden zurückzugreifen. Diese bieten eine klare Visualisierung des Ablaufs sowie den darin enthaltenen Abhängigkeiten. Das einfache Verständnis der diagrammbasierten Verfahren bietet den Vorteil, dass sich alle Stakeholder (hier beispielsweise Qualitäts- und Laborleitung) schnell in den Ablauf einlesen können. Diese Kommunikationsfreundlichkeit ermöglicht es, auch bei nachträglichem Zugriff auf die Daten durch neue Bearbeiter Zeit zu sparen. Zudem sind die Modelle flexibel an verschiedene Detailebenen anpassbar. Diese Aspekte bestärken die Entscheidung somit.

⁶⁰ Systematischer Ansatz mit stringent einzuhaltender Vorgehensweise.

⁶¹ Nicht-Vorhandensein dedizierter Lizenzen und Bearbeitung des Themas neben dem Tagesgeschäft.

Da der Prozess in den Vorbetrachtungen auf verschiedenen logischen Betrachtungsebenen dargestellt wurde, welche in ihren Charakteristiken voneinander abweichen, sollen die Ebenen einzeln modelliert werden. Die übergeordnete Ebene der *Teilabläufe* folgt, wie bereits ausgeführt, immer derselben Reihenfolge. Einzelne Teilabläufe können aber je nach Prüfzyklus wegfallen. Für diese Kontroll- und Entscheidungslogik eignet sich eine *erweiterten Ereignisgesteuerten Prozesskette* (eEPK). Ihre kontrollflussorientierte Darstellung zeigt logische Reihenfolgen und bietet somit eine solide Grundlage zur standardisierten Analyse (Arbeitsstudium, Abs. 5) der Prozesselemente. Spätere Optimierungen können zudem über die klare Darstellung von Abhängigkeiten unterstützt werden. Die eEPK ist zudem durch die Anreicherung von zusätzlichen organisatorischen und technischen Faktoren flexibler als die einfache *Ereignisgesteuerte Prozesskette* (EPK). Durch die Abweichung der einzelnen Ablaufstufen innerhalb der Teilabläufe sollten diese separat und vergleichbar dargestellt werden. Hierzu kann auf die Darstellung als *Swimlane* zurückgegriffen werden. Dabei ist es möglich, den generell gleichartigen Kontrollfluss der Teilabläufe linear darzustellen, während die unterschiedlichen Prüfzyklen in separaten „Lanes“ (dt. Bahnen) aufgeteilt werden. Somit werden Gemeinsamkeiten und Variationen in einer verständlichen Art und Weise ersichtlich.

Die Ergebnisse der Verfahrensauswahl sind nachfolgend dargestellt (Abb. 39).

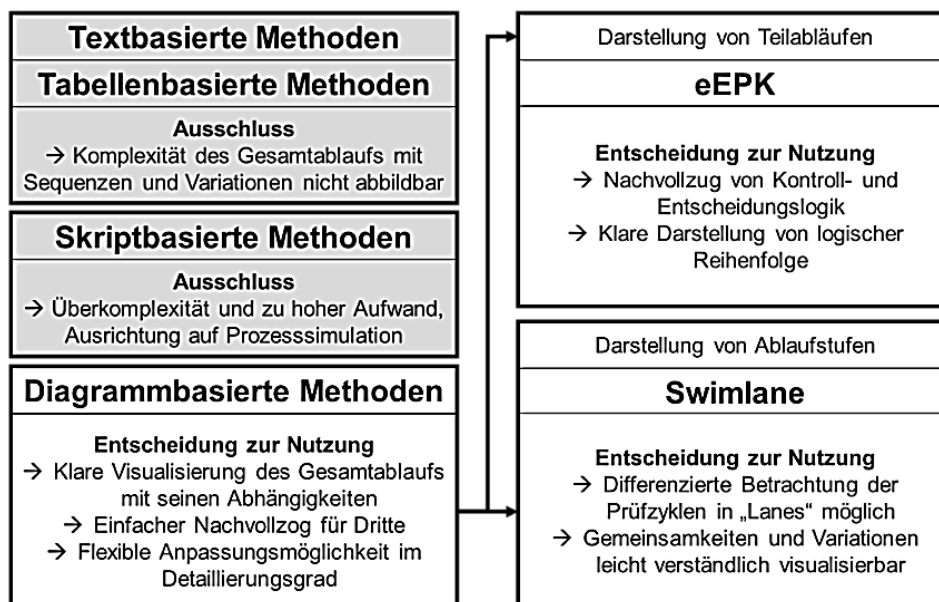


Abbildung 39 Ergebnis der Verfahrensauswahl zur Prozessmodellierung
(Eigene Darstellung)

4.4 Prozessmodellierung

4.4.1 EEPK-Modellierung von Teilabläufen

Die Modellierung von Teilabläufen als erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette (eEPK) ist nachfolgend dargestellt (Abb. 40).

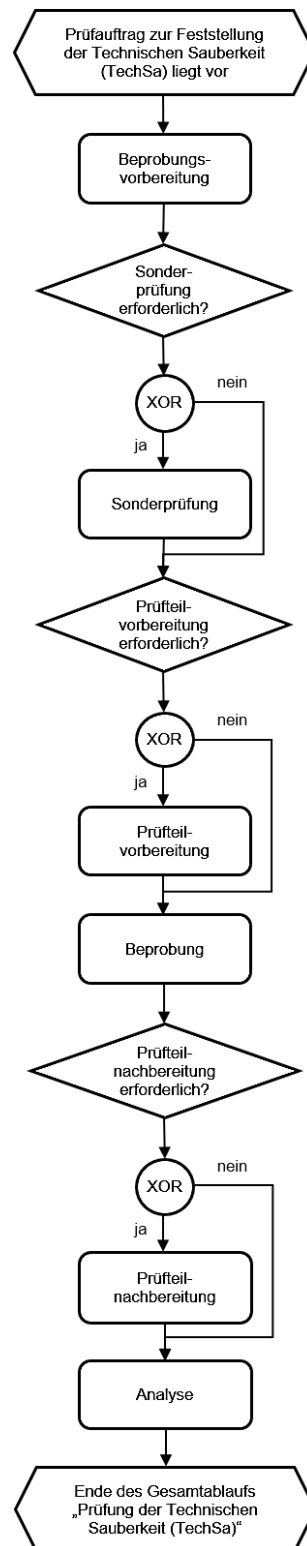


Abbildung 40 EEPK-Modellierung von Teilabläufen
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Anzumerken ist, dass die gewählte Darstellungsform (Abb. 40) lediglich Standardelemente der EPK nutzt. Eine eEPK-Modellierung wird dennoch empfohlen, um organisatorische und technische Faktoren mitbetrachten zu können. Das kann beispielsweise die mitwirkende Organisationseinheiten und Rollen beinhalten, oder etwa benötigte Daten und IT-Systeme. Für eine organisationsspezifische Betrachtung ist die Betrachtung als vollwertige eEPK empfehlenswert. Die Abstraktion an dieser Stelle der Arbeit ist erneut auf die Geheimhaltungsvereinbarung (Anl. 1) zurückzuführen.

4.4.2 Swimlane-Modellierung von Ablaufstufen

Es folgt die Swimlane-Modellierung von einzelnen *Ablaufstufen* innerhalb der zuvor modellierten Teilabläufe (Abs. 4.4.1, Abb. 40). Die Swimlanes werden dabei genutzt, um die zuvor definierten Cluster (gemäß Logik des Geltungsbereichs, Abs. 3.4.2) gegenüberzustellen. Im Normalfall werden diese genutzt, um unterschiedliche Verantwortlichkeiten (z. B. von Fachabteilungen) darzustellen (vgl. Liebetruth 2024, S. 39). Ein solcher Einsatz findet hierbei keine Verwendung. Die vorgenommene Modellierung stellt eine auszugsweise Abstraktion auf Basis vorheriger Ausführungen dar (Abb. 41), um die Auflagen zur Geheimhaltung zu erfüllen (Anl. 1).

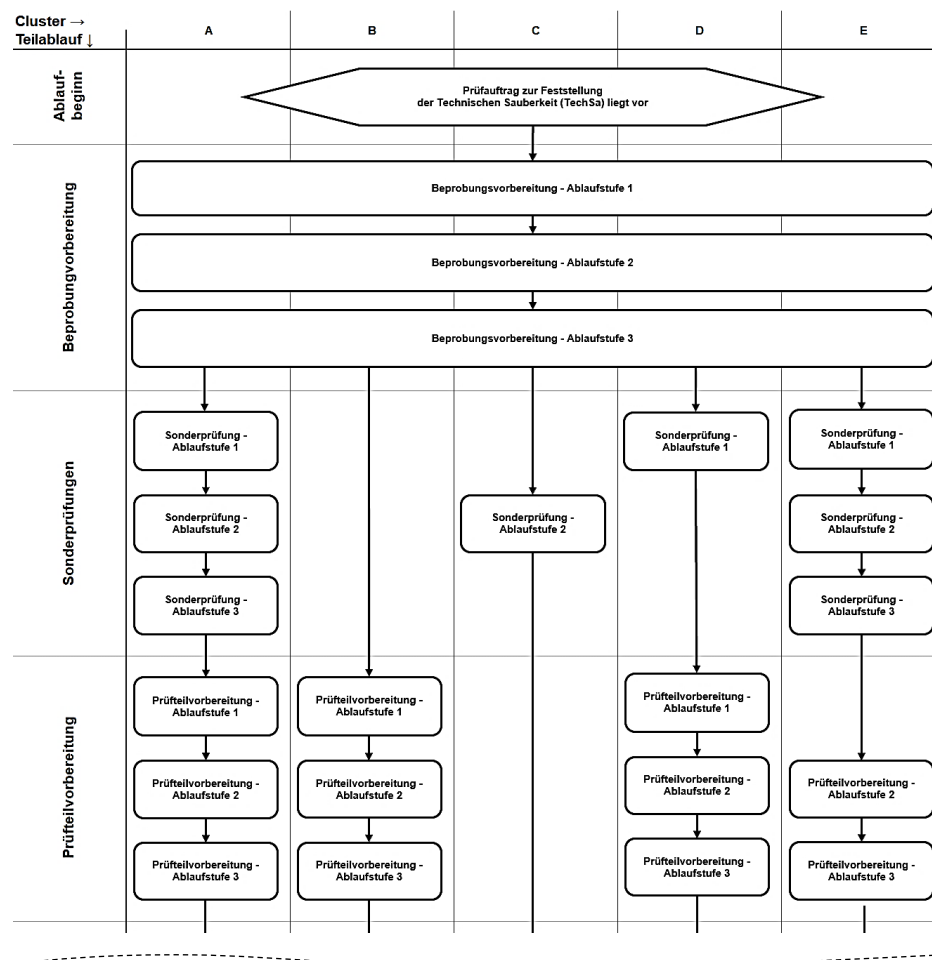


Abbildung 41 Swimlane-Modellierung

(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Für die Teilabläufe Beprobungsvorbereitung, Sonderprüfungen und Prüfteilvorbereitung wurde sich zur Erstellung dieses exemplarischen Auszugs (Abb. 41) auf die zuvor erstellte Prozessmatrix (Abs. 4.2.4.3, Tab. 11) und die übergeordneten Referenzteilabläufe bezogen. Die aufgezeigte Logik lässt sich auf weitere Teilabläufe übertragen. Wird sich an den Referenzablauf der Phasenbetrachtung (Abs. 4.2.3) gehalten, trifft dies insbesondere auf die Prüfteilnachbereitung zu. Für die Phasen (bzw. Teilabläufe) der (Flüssig-) Beprobung und Analyse bietet es sich an, darunterliegende Ablaufstufen explizit über den Prüfumfang bzw. die Prüfräume (Abs. 4.2.3.4, Tab. 10) zu definieren. Dies soll nachfolgend beispielhaft dargestellt sein (Abb. 42).

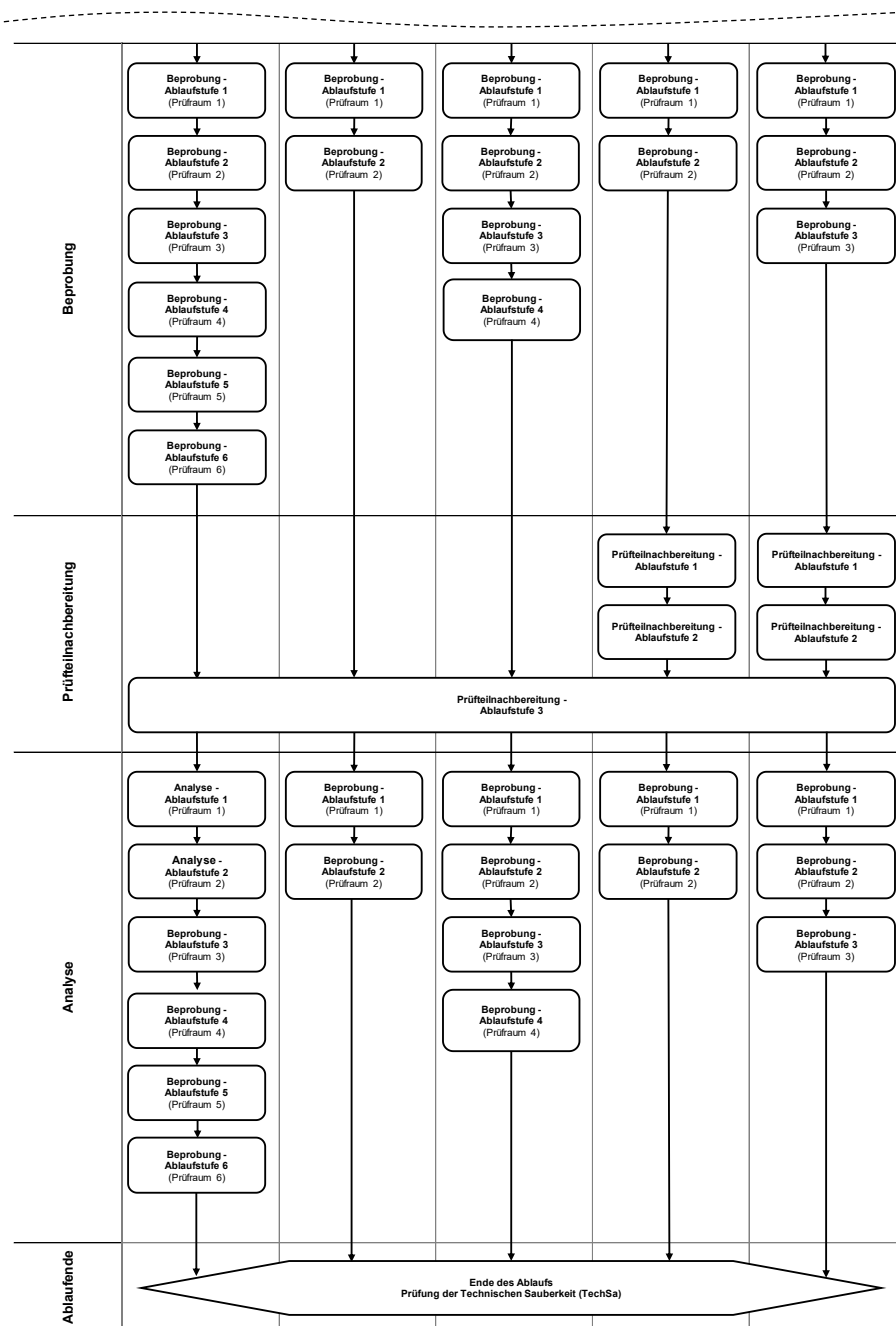


Abbildung 42 Beprobung und Analyse als Swimlane-Modellierung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Über die reine Gegenüberstellung von Beprobungen und (Filter-) Analysen je Prüfraum hinaus könnten zudem zusätzliche Abläufe – wie das Umstecken von Abdichtelementen, vorbereitende Maßnahmen zur Filteranalyse oder etwa die Bekanntgabe sowie Ablage von Ergebnissen – in die Modellierung der Phasen (Teilabläufe) mit einbezogen werden. Die Orientierung nach Prüfräumen ist hier lediglich als Empfehlung zur Orientierung zu sehen.

4.5 Definition von Start- und Endzeitpunkten

Der letzte Punkt im Rahmen der Prozessmodellierung ist die Bestimmung von *Start- und Endzeitpunkten* bzw. -bedingungen. Dies bildet eine Grundlage für das Arbeitsstudium ([Abs. 5](#)), in welchem sich auf die Prozessmodellierung als Voraussetzung für weitere Untersuchungen bezogen wird. Die Definition von Start- (SZP) und End- (EZP) zeitpunkten bezieht sich auf die Ablaufstufen, da hier konkrete Prozesselemente (Ablaufabschnitte) definiert wurden.

Ziel bei der Definition von Start- und Endzeitpunkten ist es, eine Arbeitsgrundlage für repräsentative Arbeitsstudien ([Abs. 5](#)) zu schaffen. So ist über die Modellierung der Prozesse hinaus abzuwägen, welche Anforderung an die Prozessaufnahmen in Bezug auf ihren Detaillierungsgrad gesetzt werden. Um möglichst repräsentative Beobachtungsstudien zu erstellen, müssen zwei wesentliche Einflüsse betrachtet werden. Als erstes muss geprüft werden, inwiefern eine Standardisierung gegeben ist. Dies kann beispielsweise durch direkte Gespräche mit den Prozesseignern erfragt werden. Ist es für den Prozess auf einer Betrachtungsebene (nach REFA-Definition [Abs. 4.2.4.1](#), [Abb. 38](#)) für zu viele Ablaufelemente unmöglich, deren tatsächliche Ausführung im Regelprozess vorherzubestimmen, gehen mit der Aufnahme möglicherweise erhöhte Beobachtungsaufwände (häufigere Durchführung der Beobachtungen oder höhere Anzahl an Beobachtungspersonen) einher. Dies steht für feingranulare Prozessbetrachtungen auf Mikroebene (nach REFA). Werden die Betrachtungen hingegen zu abstrakt angesetzt (REFA-Makroebene), kann es sein, dass wesentliche Unterschiede über die Beobachtungen hinweg nicht konkret herausgearbeitet werden können. Je nach Komplexität der darunterliegenden Betrachtungsebenen kann es zudem sein, dass die Aufnahmezeiten sehr stark schwanken und in der Datenanalyse nach dem Arbeitsstudium ([Abs. 5.5](#)) weniger präzise Aussagen getroffen werden können. In diesem Fall könnten größere Nacharbeiten anfallen, insofern die Aufnahmeprotokolle dies überhaupt zulassen. Bei weniger präzisen Protokollen kann es sein, dass nachträgliche Unterscheidungen nicht mehr möglich sind. In diesem Fall könnten einzelne Beobachtungen wiederholt werden müssen, oder gar alle erhobenen Daten feinerer Granularität (Betrachtungsebenen) erneut erhoben werden müssen. Diesen Zielkonflikt ([Abb. 43](#)) gilt es im Rahmen der Vorbetrachtungen einer jeden Prozessmodellierung und -analyse aufzulösen.

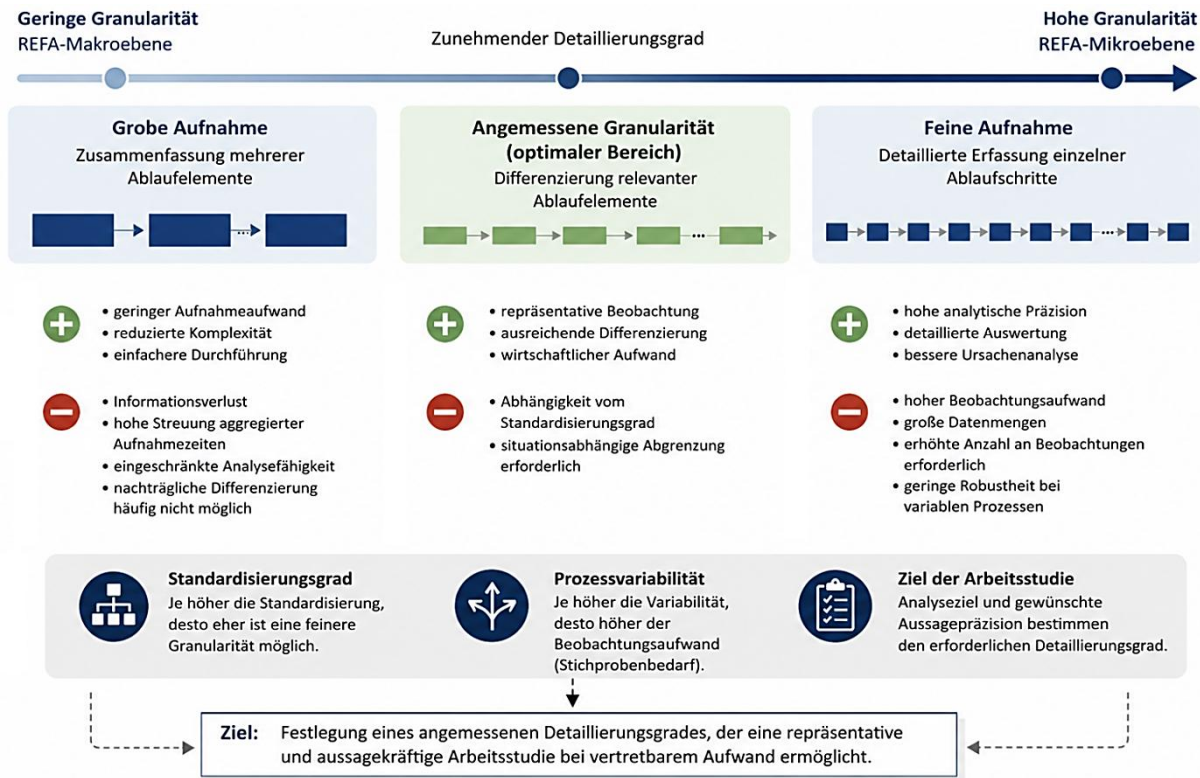


Abbildung 43 Zielkonflikt des Detaillierungsgrades bei Prozessbetrachtungen

(Eigene Darstellung – KI-generiert: OpenAI GPT Image 2.0, nachbearbeitet)

Es folgt das Beispiel einer Zuweisung logischer Start- und Endzeitpunkte für eine Beobachtung. Die zur Definition beschriebenen Tätigkeiten stützen sich auf die geschilderten Referenz Tätigkeiten der Phasenbetrachtung ([Abs. 4.2.3](#)) und stellen hierbei einen exemplarischen Auszug dar ([Tab. 12](#)).

Tabelle 12 Definition von Start- und Endzeitpunkten

(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Pos.	Teilabläufe und enthaltene Ablaufstufen	Bedingung - Startzeitpunkt (SZP)	Bedingung - Endzeitpunkt (EZP)
4	Beprobung		
4.1.1	↳ Beprobungen der Prüfräume (Erster bis vorletzter Prüfraum)	Filter ist aus dem Trockenschrank genommen und in System des Spülkabinetts eingesetzt = "Filter eingesetzt"	Filter ist Spülsystem entnommen und in Trockenschrank zurückgelegt, nächster Analysefilter ist in Spülsystem eingesetzt = "Filterwechsel vollzogen"
4.1.2	↳ Beprobungen der Prüfräume (Letzter Prüfraum)	Filter ist aus dem Trockenschrank genommen und in System des Spülkabinetts eingesetzt = "Filter eingesetzt"	Letzter Filter ist dem Spülsystem entnommen wurden und in den Trockenschrank gelegt = "Filter entnommen"
4.2	↳ Abdichtelemente umstecken	Hingreifen zu Abdichtelementen, um diese neu zu positionieren = "Zu Abdichtelementen"	Letztes Abdichtelement ist nach Zweitnutzung entfernt = "Abdichtelemente entfernt"

Mit Abschluss dieser Aufgabe ist die Prozessmodellierung im Rahmen dieser Arbeit umgesetzt. Der erste Meilenstein der Zielstellung dieser Arbeit ([Abs. 1.3](#), [Tab. 1](#), M1: „Der Prüfprozess der Technischen Sauberkeit [...] ist mit seinen relevanten Tätigkeitsbestandteilen modelliert.“) ist somit abgeschlossen.

5 Arbeitsstudium

5.1 Vorgehensweise beim Arbeitsstudium

Der inhaltlich letzte Aspekt der Arbeit im Durchführen eines entsprechenden *Arbeitsstudiums*. In Analogie zur Prozessmodellierung (Abs. 4.1) soll hierzu eingangs die Vorgehensweise dieses konkreten Bestandteils der Arbeit beschrieben sein.

In erster Instanz soll dazu noch einmal der Anforderungsrahmen umrissen werden (Abs. 5.2). Dazu sollen die erörterten Absichten für das Arbeitsstudium aus der Zielstellung der Arbeit (Abs. 1.3) an sich sowie aus der Projektdefinition (Abs. 3.4.1 bzw. Abs. 3.4.2) heraus zusammengefasst werden. Diese Übersicht soll dann als Grundlage zur Auswahl eines Zeitdatenerhebungsverfahrens dienen (Abs. 5.3). Kombiniert mit dem Anforderungsrahmen, muss bei der Verfahrensauswahl auch die praktische Umsetzbarkeit anhand des vorliegenden Prozesses (Abs. 4.2) gewährleistet werden. Anschließend ist die Zeitdatenerhebung entsprechend der gewählten Methodik umzusetzen (Abs. 5.4) und auszuwerten („*Zeitdatenanalyse*“, Abs. 5.5). Die Auswertung soll dabei Aufschluss über Zielgrößen des Anforderungsrahmens geben und die Aussagekraft der Datenbasis statistisch bewerten. Gemäß der sich ergebenden Befunde sollen schließlich die wesentlichen Erkenntnisse als Kernaussagen abstrahiert werden. Zudem sind, je nach Ausgang, Handlungsempfehlungen zu möglichen Optimierungspotentialen zu treffen. Diese sollen gemeinsam mit den wesentlichen Aussagen als Ergebnisse ausgegeben werden (Abs. 5.5.3.8). Der soeben beschriebene Ablauf ist in seiner Struktur nachfolgend dargestellt (Abb. 44).

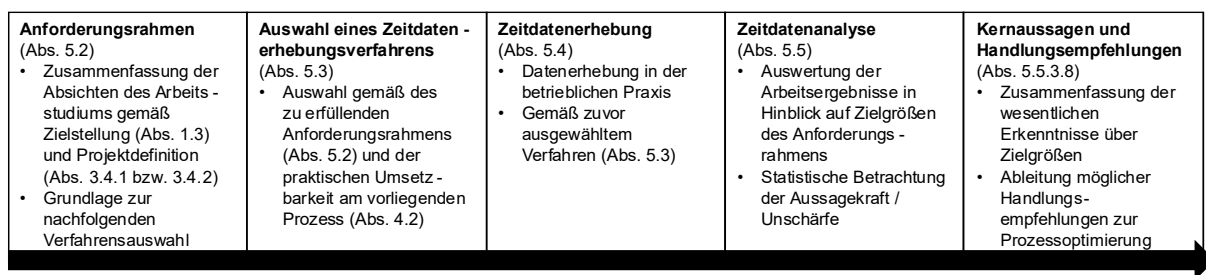


Abbildung 44 Vorgehensweise beim Arbeitsstudium in dieser Arbeit
(Eigene Darstellung)

5.2 Anforderungsrahmen

Wie eingangs geschildert (Abs. 5.1), soll sich bei der nun umzusetzenden Aufstellung eines Anforderungsrahmens für das Arbeitsstudium auf die ursprünglich definierte Zielstellung dieser Arbeit (Abs. 1.3) sowie weitere Informationen aus den Ausführungen zur Projektdefinition (Abs. 3.4.1) bezogen werden.

Die Zielstellung stellt dabei über die Prozessmodellierung hinaus bezüglich des Arbeitsstudiums folgende *Meilensteine* auf (gemäß [Abs. 1.3](#), [Tab. 1](#)):

- **M2:** Zur Schaffung einer Kapazitätsplanungsgrundlage wurden sämtliche Prüfprozesse der Technischen Sauberkeit [...] zeitlich analysiert und quantitativ auf ihre Tätigkeitsbestandteile untersucht.
- **M3:** Der Gesamtprüfprozess der Technischen Sauberkeit [...] wurde auf Aspekte der Verschwendung und Schwachstellen untersucht.
- **M4:** Optimierungspotentiale für den Gesamtprüfprozess der Technischen Sauberkeit [...] wurden geprüft und bei Vorhandensein in Form von Handlungsempfehlungen schriftlich festgesetzt.

In der *Projektdefinition* ([Abs. 3.4.1](#)) wurden zudem folgende Festlegungen zum Vorhaben konkretisiert:

- Allgemeine, transparente Feststellung und Dokumentation der bestehenden Tätigkeitsstruktur,
- Differenzierung des Prüfprozesses in wertschöpfende und nicht-wertschöpfende (Verschwendungsanalyse),
- Ableitung von reproduzierbaren Plan- und Vorgabezeiten für die Kapazitätsplanung,
- Ganzheitliche Beurteilung des Prozesses hinsichtlich struktureller Schwachstellen und prozessualer Optimierungspotentiale.

Kombiniert lässt sich also festhalten, dass eine quantitative Untersuchung des Arbeitsablaufes stattfinden soll. Dabei soll die benötigte Tätigkeitszeit zur Durchführung der modellierten Ablaufabschnitte (Teilabläufe, Ablaufstufen; gemäß Prozessmodellierung [Abs. 4.4](#)) ermittelt werden. Aus den erhobenen Daten sind entsprechende Planzeiten abzuleiten, welche als Vorgabezeiten zur Kapazitätsplanung genutzt werden können. Somit lassen sich *Ist-Tätigkeitszeiten* und *Plan-Tätigkeitszeiten* als Zielgrößen definieren. Die Analyse der Tätigkeitsstruktur zielt in der arbeitsökonomischen Fachtheorie ([Abs. 2.4.4.3](#)) auf eine Unterscheidung nach wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Bestandteilen des Gesamtablaufs ab. Sie sind in ihrer Aufgliederung als weitere Zielgröße aufzunehmen. Zur Schwachstellenbeurteilung und Aufdeckung von Optimierungspotentialen ist diese Unterscheidung allerdings weiter zu vertiefen. So ist die Betrachtung in verschiedenen *Zeitarten* zielführend, um ein möglichst detailliertes Prozessverständnis in der nachgelagerten Datenanalyse zu erhalten. Zur konkreten Schwachstellenanalyse ist es des Weiteren hilfreich, wahrgenommene *Störeinflüsse* vor Ort während des Arbeitsstudiums zu dokumentieren, um diese zu katalogisieren und diskutieren zu können.

Als Zielgrößen lassen sich also Ist- und Plan-Tätigkeitszeiten zur Kapazitätsplanung festhalten. Die Differenzierung von wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Bestandteilen, sowie von konkrete Zeitarten, dienen – gepaart mit der Niederschrift erfasster Störeinflüsse – als Zielgrößen zur Schwachstellenbewertung und Ansatzfindung möglicher Prozessoptimierungen. Die Definition des *Anforderungsrahmens für das Arbeitsstudium* über Zielgrößen ist nachfolgend dargestellt (Tab. 13).

Tabelle 13 Zielgrößen des Anforderungsrahmens für das Arbeitsstudium
(Eigene Darstellung)

Zielgröße	Bedeutung
Ist-Tätigkeitszeiten	- Größe zur Abbildung des real vorliegenden Arbeitsprozesses (Gesamtablauf in der „Prozessaufnahme“) - Grundlage zur Ableitung von Planzeiten (Soll-Tätigkeitszeiten)
Soll-Tätigkeitszeiten	- Aus Aufnahmezeiten (Ist-Tätigkeitszeiten) abgeleitete Größe zur Prozessplanung („Vorgabezeiten“) - Grundlage zur Kapazitätsplanung von Projekten im Bestand, sowie zur Kalkulation von Neuprojekten
Stillstandszeitenanalyse	- Differenzierung der Aufnahmezeiten in wertschöpfende und nicht-wertschöpfende Bestandteile - Grundlage zur Bewertung der Prozesseffizienz
Zeitarten	- Unterteilung der Aufnahmezeit in verschiedene Arten von Zeiten (Einordnung des Tätigkeitsbestandteils) über reine Wertschöpfungsbetrachtung hinaus - Grundlage zur Identifikation weiterer Schwachstellen
Störeinflüsse	- Festhalten negativer Einflüsse auf den Prozess im Rahmen der Nebenzeit- und Zeitartenbetrachtung - Grundlage zur Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Prozessverbesserung (Prozessentwicklung)

5.3 Auswahl eines Zeitdatenerhebungsverfahrens

5.3.1 Wesentliche Entscheidungskriterien

Gemäß der definierten Methodik zur Bearbeitung des Arbeitsstudiums (Abs. 5.1), soll die Auswahl eines Zeitdatenerhebungsverfahrens auf die Bestimmung des Anforderungsrahmens und seiner Zielgrößen (Abs. 5.2) folgen. Zu diesem Zweck wird Bezug auf die theoretischen Grundlagen der Methoden zur Zeitdatenerfassung (Abs. 2.4.4.3) genommen.

Der dargebotene Umfang an Verfahren zur Zeitdatenermittlung ([Abs. 2.4.4.3](#), [Abb. 26](#)) unterscheidet die Methoden dabei übergeordnet gemäß drei möglichen Absichten:

- Ist-Zeiten erheben,
- Soll-Zeiten definieren,
- Stichproben nehmen und auswerten.

Der zuvor beschriebene Anforderungsrahmen des Arbeitsstudiums ([Abs. 5.2](#)) fordert sowohl die Ist-Zeitenerhebung als auch die Ableitung von Soll-Zeiten. Somit ist mindestens je ein Verfahren aus den beiden Teilmengen („Ist-Zeiten erheben“ und „Soll-Zeiten definieren“) auszuwählen. Unterstützend kann die Einbindung der Stichprobennahme und -auswertung hinzugezogen werden, insofern dies durch die nachfolgend auszuführenden Auswahlkriterien erforderlich ist.

In logischer Analogie zur Verfahrensauswahl der Prozessmodellierung ([Abs. 4.3](#)), soll auch hier auf das Abwägen von Vor- und Nachteilen („*dialektischer Ansatz*“ mit These und Antithese) zurückgegriffen werden. Hintergrund ist, dass auch hier nicht davon auszugehen ist, dass ein formalisiertes Verfahren einen Mehrwert erzielen kann, welcher dem einhergehenden Mehraufwand gerecht werden kann. Die allgemeinen Konsequenzen bei einer falschen Verfahrensauswahl sind hier allerdings als hoch einzuschätzen. Eine mangelhafte Datenbasis durch unzureichende Differenzierung oder anderweitige Falscheinschätzung würden ein invalides Ergebnis darstellen. In diesem Fall wäre der getätigte Input der Prozessanalyse als Ressourcenverschwendung (zeitlich, wie monetär) anzusehen, welche weitere Aufwände zur Korrektur und/oder weiteren Datenerhebung hervorriefe. Die Verfahrensauswahl ist in ihrer Argumentation entsprechend risikobewusst zu strukturieren. Entsprechend ist an dieser Stelle der Anspruch zu erheben, unsichere Erhebungsverfahren, welche mit potentiellen Risiken einer invaliden Datenbasis einhergehen, klar zu identifizieren und über harte Ausschlusskriterien auszuschließen. Die Argumentationsstruktur muss ein pragmatisches Verfahren darstellen, welches sowohl wirtschaftliche als auch methodische Kriterien mit einbezieht. Nachfolgend werden die Verfahren zur Zeitdatenerhebung dementsprechend über ein argumentatives *Ausschlussverfahren* unter Einbezug der Beurteilung von praktischer Anwendbarkeit („*wirtschaftliches Kriterium*“) und zu erwartender Datenqualität („*methodisches Kriterium*“) vorgenommen. Verfolgt wird also auch hierbei ein erweiterter dialektischer Ansatz zur Abwägung von Vor- und Nachteilen (These und Antithese) der möglichen Verfahren.

5.3.2 Bestimmung von Zeitdatenerhebungsverfahren

Ist erster Instanz sind die Verfahren zu *Ist-Zeiten-Erhebung* zu bewerten. Diese sind über die Forderung der Feststellung von Ist-Tätigkeitszeiten ([Abs. 5.2](#), [Tab. 13](#)) mit einzubeziehen.

Übergeordnet sind dabei Messungen und Befragungen möglich ([Abb. 45](#)). Die Messungen unterscheiden sich zusätzlich in die Unterverfahren der Zeitaufnahme und der Selbstaufschreibung. Die Methoden der Befragung und Selbstaufschreibung delegieren die Datenerhebung im weitesten Sinne an den Mitarbeiter, welcher den Arbeitsablauf selbst durchführt (Prozesseigner). Bei der Befragung erfolgt die Bestimmung der Ist-Zeiten rein über das Erfahrungswissen der Befragten. Bei der Selbstaufschreibung müssen die Prozesseigner neben der Durchführung der Tätigkeit auch die Feststellung der Ist-Zeiten bewerkstelligen. Weitere Informationen hierzu können den Ausführungen im Rahmen der theoretischen Grundlagen ([Abs. 2.4.4.3](#)) entnommen werden. Zur Vermeidung von Redundanzen wird sich an dieser Stelle auf die wesentlichen Punkte zur Strukturierung der Auswahlargumentation begrenzt.

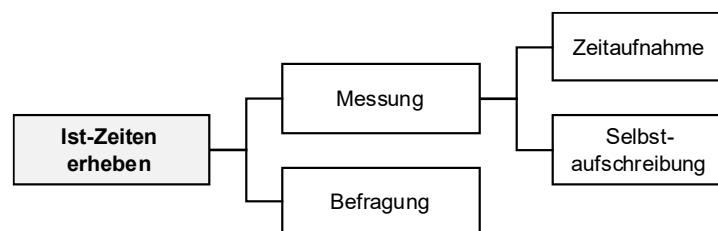


Abbildung 45 Methoden der Ist-Zeiten-Erhebung

(In Anlehnung an: [REFA 2025a](#); vgl. [Abs. 2.4.4.3](#), [Abb. 26](#))

Ausgeschlossen werden können hierbei die (Mitarbeiter-) Befragungen sowie die Methode der Selbstaufschreibung. Die Erhebung von Daten über Befragungen ist zwar sehr aufwandsarm, allerdings auch sehr ungenau. Hier ist also bei einer gleichzeitig hohen Erfüllung des wirtschaftlichen Kriteriums keine Erfüllung des methodischen Kriteriums gegeben. Hinzukommt, dass somit lediglich Tätigkeitszeiten geschätzt werden könnten, da Mitarbeiter häufig keine klare Vorstellung davon haben, wie Störeinflüsse im zeitlichen Kontext des Arbeitsprozesses einzuordnen sind. Der Ausschluss der Selbstaufschreibung ist aus ähnlichen Gründen heraus anzunehmen.

Ausnahmen von dieser Einordnung sind im Rahmen der Prüfung der Technischen Sauberkeit genau zu prüfen. Dies begründet sich primär in der Komplexität des Prüfprozesses ([Abs. 4.2.3](#)). Eine Abstimmung mit den Prozesseignern ([Abs. 4.2.1](#)) kann Aufschluss über die Einschätzung vorhandener Erfahrungswerte bieten. Jedoch sind über die reinen Tätigkeitszeiten hinaus auftretende Nebenzeitkompositionen (gemäß Anforderungsrahmen, [Abs. 5.2](#)) in der Regel nicht repräsentativ abschätzbar. Das Festhalten von Messzeiten über den Gesamtablauf hinweg wird – neben der Durchführung ihrer Haupttätigkeit und unter Annahme von störungsbedingten Unterbrechungen – als nicht zumutbar eingeschätzt.

Die Mitarbeiter müssten vor der Selbstaufschreibung in der Differenzierung verschiedener Zeitbestandteile geschult werden und bedürften einer hohen Disziplin und Moral zur exakten Erfassung der Tätigkeitsstruktur. Die Durchführung zweier Tätigkeiten kann sowohl die Ergebnisse der Ist-Zeiten-Erhebung als auch der TechSa-Prüfungen beeinträchtigen. Im Hinblick auf die eingangs getätigte Risikoeinschätzung ([Abs. 5.3.1](#)) bei der Bestimmung von anzuwendenden Zeitdatenerhebungsverfahren empfiehlt sich für ein hier angestrebtes Vorhaben daher lediglich die Erhebung per *Zeitaufnahme*.

Diese ist als Mittel der Wahl zu sehen, da hiermit zwar ein höherer Arbeitsaufwand (wirtschaftliches Kriterium) einhergeht, aber das qualitativ hochwertigste Ergebnis zu erwarten ist (methodisches Kriterium). Der Ressourcenaufwand ist hoch, da ein qualifizierter Mitarbeiter (hier der EB) nicht nur für die Auswertung zuständig ist, sondern den Arbeitsprozess auch in seiner vollständigen Ausprägung begleitet. Somit ist die Aufnahmezeit gleichzeitig als Erhebungszeit zu sehen. Die bedingt für den EB weiteren Input (in Form von Arbeitslast, engl. „Workload“) vor der Auswertung des Arbeitsstudiums. Allgemein ist die Akzeptanz eines solchen Aufwandes als Ressourcenblock in der Projektdefinition ([Abs. 3.4.1](#)) festzustellen und entsprechend zu prüfen. Zusätzlich sicherzustellen, dass der EB über alle notwendigen Qualifikationen und Kompetenzen zur Durchführung der geforderten Erhebung verfügt. Bleibt dies aus, ist die Richtigkeit und Genauigkeit der Ergebnisse (methodisches Kriterium) möglicherweise gefährdet. Insbesondere, wenn die Zeitaufnahme der Selbstaufschreibung vorgezogen wird, sollte der EB entsprechende Kenntnisse mitbringen, um den Mehrwert der einhergehenden Mehraufwände zu rechtfertigen.

Es bleibt festzuhalten, dass die Zeitaufnahme für die Betrachtung komplexer TechSa-Prüfprozesse als Vorzugslösung zu handeln ist. Da die vorliegende Abhandlung das Arbeitsstudium in seiner theoretischen Betrachtung bereits nach der REFA-Methodenlehre ausführt ([Abs. 2.4.4](#)), soll diese auch zur Zeitaufnahme verwendet werden („REFA-Zeitaufnahme“). Diese beinhaltet zudem die „REFA-Zeitarten“ (vgl. [REFA 1978](#), S. 41–55; vgl. [Aliyev 2025](#), S. 41 ff.), welche genutzt werden können, um die letzten drei Zielgrößen des Anforderungsrahmens ([Abs. 5.2](#), [Tab. 13](#)) zu bedienen: Differenzierung in wertschöpfende und nicht-wertschöpfende Bestandteile sowie Unterscheidung verschiedener Zeitarten und Identifikation von Störeinflüssen.

Im Bereich der *Soll-Zeiten-Definition* wurden in den theoretischen Grundlagen ([Abs. 2.4.4.3](#)) drei verschiedene Gruppen von Verfahren vorgestellt: das Zusammen setzen, das Schätzen und Vergleichen sowie das Berechnen ([Abb. 46](#)).

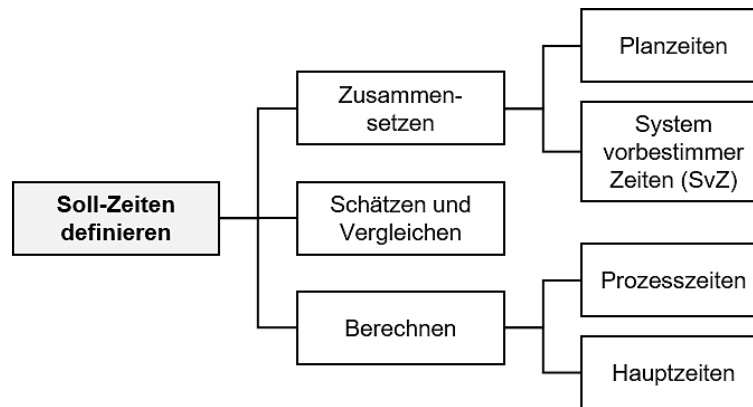


Abbildung 46 Methoden der Soll-Zeiten-Definition

(In Anlehnung an: REFA 2025a; vgl. Abs. 2.4.4.3, Abb. 26)

Beim Zusammensetzen wird als erstes in die Anwendung von Planzeiten und die Nutzung von Systemen vorbestimmter Zeiten (SvZ) unterschieden. Planzeiten stellen einen groben Ansatz auf Basis bereits vorhandener Erfahrungswerte dar. Während die Definition mittels Planzeiten sehr schnell und ressourcenarm umgesetzt werden kann (wirtschaftliches Kriterium), ist es – wie soeben benannt – ein ungenauer Ansatz. Die eingangs getätigte Risikoeinschätzung (Abs. 5.3.1) spricht demzufolge auch hier wieder für einen Ausschluss des Verfahrens (methodisches Kriterium). Zusätzlich zu prüfen ist je nach Anwendungsfall, ob eine entsprechende Datenbasis mit Referenzwerten innerhalb der Organisation überhaupt zur Verfügung steht (methodisches Kriterium). Die reine Vorausbetrachtung über Planzeiten ermöglicht zudem weder eine Aufnahme von Nebenzeiten noch die Differenzierung von Störeinflüssen – etwa über verschiedene Zeitarten. Somit könnten bei einer solchen Anwendung nicht alle Zielgrößen des hier gültigen Anforderungsrahmens (Abs. 5.2, Tab. 13) bedient werden (methodisches Kriterium).

Die Methode der SvZ ermöglichen methodisch detaillierteste Betrachtungen einzelner Bewegungen. Würde diese somit die Anforderungen (Abs. 5.2) an die Methodik erfüllen, ist sich gleichzeitig mit sehr hohem Aufwand verbunden, wodurch das wirtschaftliche Kriterium nicht uneingeschränkt als erfüllt gelten kann. Für die Betrachtung komplexer Prozesse – wie hier bei den beschriebenen TechSA-Prüfungen (gemäß Abs. 4.2.3) – empfiehlt sich der gewählte Top-Down-Ansatz, welcher im Rahmen der Definition der Modellierungsauflösung (REFA-Makroebenen gemäß Abs. 4.2.4) gewählt wurden. Für die ganzheitliche Abbildung von Prozessen mit solch niedrigem Standardisierungsgrad eignen sich die SvZ aus wirtschaftlicher Sicht somit selten bis gar nicht (wirtschaftliches Kriterium). Eingesetzt werden sie vorwiegend in den Mikroebenen der Arbeitsgestaltung (vgl. REFA 2025c; vgl. Schlick, Bruder, Luczak 2018, S. 592 ff.).

Die SvZ, wie beispielsweise das *MTM-System*, sind vor diesem Hintergrund als eine tiefgründigere Analyseform anzusehen, als für den hier vorliegenden Anwendungsfall angebracht wäre (methodisches Kriterium). Die nachfolgende Übersicht stellt diesen Sachverhalt im Sinne der besseren Nachvollziehbarkeit schematisch dar ([Abb. 47](#)). Die Verfahren des Zusammensetzens sind an dieser Stelle also sowohl vor wirtschaftlichen wie auch methodischen Hintergrund auszuschließen.

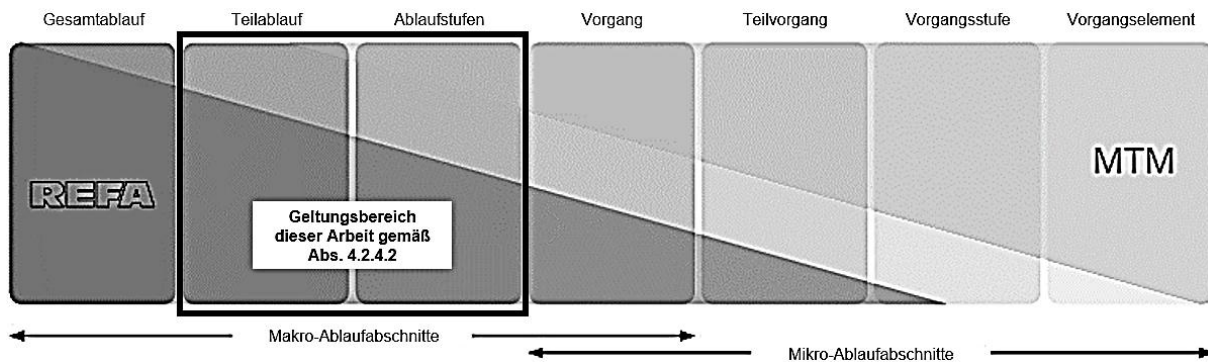


Abbildung 47 Grundphilosophie Prozessbetrachtung ⁶²

(In Anlehnung an: [REFA 2025c](#))

Die zweite Obergruppe an Verfahren zur Soll-Zeiten-Definition besteht aus dem Schätzen und Vergleichen. Beim Schätzen handelt es sich um eine einfache Methode (wirtschaftliches Kriterium) mit hoher Unsicherheit (methodisches Kriterium). Wie zu vorherigem Zeitpunkt bereits angeführt, müssen die Prozesseigner ([Abs. 4.2.1](#)) sich eine Einordnung per Schätzmethode generell erst einmal zutrauen. Vor dem Hintergrund der Komplexität der TechSa-Prüfprozesse ist diese Herangehensweise generell mit hohen Risiken der Abweichung in Verbindung zu bringen (methodisches Kriterium). Das Festlegen von Soll-Zeiten durch Vergleichen zielt auf einen Abgleich mit ähnlichen Prozessen oder Benchmark-Daten ab. Diese Referenzdaten müssen dazu allerdings ebenso entsprechend vorhanden sein. Bei der generellen Neubewertung von Prozessen – wie im Rahmen der Arbeit angenommen – eignet sich die Methode des Vergleichens daher nicht (methodisches Kriterium). Hinzukommt, dass – im Gegensatz zum Arbeiten mit Planzeiten – kein unmittelbarer Bezug zum vorliegenden Prozess hergestellt wird. Daher ist auch hier von einer hohen Ungenauigkeit auszugehen (methodisches Kriterium). Beide Verfahren sind entsprechend kritisch zu betrachten und sollen im Rahmen dieser Arbeit ausgeschlossen werden.

Letztendlich bleibt somit für das Definieren von Soll-Zeiten lediglich der Ansatz des Berechnens. Hier wird in Prozess- und Hauptzeiten unterschieden, welche rechnerisch hergeleitet werden können.

⁶² REFA hierbei: Top-Down-Ansatz; MTM hierbei: Bottom-Up-Ansatz.

Die Prozesszeiten umfassen sowohl wertschöpfende als auch nicht-wertschöpfende Tätigkeiten. Die Hauptzeit besteht nur aus ersterem. Mittels Regressionsanalyse oder auch deskriptiver Statistik können aus den zuvor erhobenen Daten (Ist-Zeiten-Erhebung) Plandaten abgeleitet werden. Dieser Ansatz ist sehr genau (methodisches Kriterium) und zudem von einer einzigen Person mit entsprechender Qualifikation umsetzbar (wirtschaftliches Kriterium). Entsprechend empfiehlt es sich, die Soll-Zeiten im angestrebten Anwendungsfall über rechnerische Verfahren zu bestimmen. Die Datengrundlage soll die gesamte Prozesszeit erfassen und eine nachträgliche Bewertung von Nebenzeiten zulassen. Zudem soll der verfolgte Ansatz auch die Hintergründe für Nebenzeiten (z. B. über die Benennung von Zeitarten und konkreter Störeinflüsse) nachvollziehbar dokumentierten (Anforderungen gemäß [Abs. 5.2](#)).

Die Erfassung von Störgrößen könnte dabei über die letzte Hauptgruppe der Verfahren zur Zeitdatenermittlung abgebildet werden: das *Nehmen und Auswerten von Stichproben* ([Abb. 48](#)).

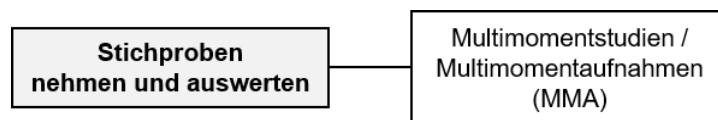


Abbildung 48 Methoden der Stichprobennahme und -auswertung

(In Anlehnung an: [REFA 2025a](#); vgl. [Abs. 2.4.4.3](#), [Abb. 26](#))

Hier ist konkret das Stichprobenverfahren der Multimomentaufnahme (MMA) zu benennen. Dabei handelt es sich um eine statistische Methode zur Beobachtung von Arbeitsprozessen über zufällig ausgewählte Zeitpunkte. Statistisch werden daran anschließend Rückschlüsse auf die Tätigkeits- und Zeitverteilungen im Gesamtablauf gezogen. Während es sich hier um ein Verfahren mit niedrigem Ressourcenaufwand handelt (wirtschaftliches Kriterium), existiert eine starke Abhängigkeit vom Stichprobenumfang (methodisches Kriterium). Zudem besteht bei größeren Betrachtungsansätzen (wie hier in der Makroebene, [Abs. 4.2.4.2](#)) eine erhöhte Fehleranfälligkeit. Möglicherweise werden einzelne Vorgänge aus den Ablaufstufen ausgegliedert und der Standardablauf (gemäß Modellierung, [Abs. 4.4](#)) nicht eingehalten. Etwaige Abweichungen vom Standard können somit nur schlecht dokumentiert werden (methodisches Kriterium).

Aus eben diesem Grund dient die MMA nur bedingt dazu, den definierten Standardablauf zu validieren (methodisches Kriterium). Die MMA ist also für die Zwecke dieser Arbeit nicht primär anzuwenden. Sie stellt jedoch eine Möglichkeit dar, um die Datenbasis bei Bedarf nach der Durchführung eines ersten Arbeitsstudiums weiter auszubauen.

Entsprechender Handlungsbedarf könnte sich ergeben, wenn der aufgenommene Prozess in sich nicht kohärent ist. Sollten die Ablaufabschnitte (z. B. auf kleiner Betrachtungsebene: Ablaufstufe) statistisch zu ungenau erfasst werden und keine ausreichende Aussagekraft in der Datenbasis bestehen, bestünde über die Durchführung von MMAs eine Möglichkeit die Sachverhalte nachträglich zu prüfen. Sollte, über die Tätigkeitszeiten hinaus, weiterer Analysebedarf der Störeinflüsse bestehen, könnten auch diese über Stichproben untersucht werden.

Da nun aber der Gesamtablauf in seiner Makrostruktur eine erste Einordnung erhalten soll, wird der primäre Ansatz in der Durchführung einer Zeitaufnahme liegen. Diese wird die Ist-Zeiten der Ablaufstufen bemessen und im Sinne der nachträglichen Differenzierbarkeit verschiedene Zeitarten berücksichtigen. Störeinflüsse werden zudem notiert. Die Soll-Zeiten – für Bestands-, wie auch Neuprojekte – werden über eine rechnerische Betrachtung aller Zeitarten abgeleitet. Nach der Umsetzung des Arbeitsstudiums wird die Sinnhaftigkeit von u. a. weiteren MMAs bewertet werden.

Der Entscheidungsprozess für die Bestimmung von Zeitdatenerhebungsverfahren im Anwendungskontext der vorliegenden Arbeit ist nachfolgend dargestellt (Tab. 14).

Tabelle 14 Bestimmung von Zeitdatenerhebungsverfahren
(Eigene Darstellung)

Verfahren der Zeitdatenerhebung
<i>Ist-Zeiten erheben</i>
Befragung → <i>Ausschluss</i> über methodische Kriterien: - Methodische Unsicherheit aufgrund Subjektivität der Angaben - Mitarbeiter (Prozesseigner) benötigen konkrete Vorstellung zum hier vorliegenden Ablauf und seinen Tätigkeitsbestandteilen und Störeinflüssen
Messung – <i>Selbstaufschreibung</i> → <i>Ausschluss</i> über methodische Kriterien: - Parallele Aufschreibung von verschiedenen Zeitbestandteilen und Störungen zusätzlich zur Durchführung eines komplexen Arbeitsprozesses (RSA) wird als nicht zumutbar eingeordnet - Doppelte Belastung kann sowohl Ergebnisse der Zeitdatenerhebung als auch des Arbeitsprozesses negativ beeinträchtigen - Erfassung verschiedener Zeitarten erfordert entsprechende Qualifikationen und Methodenkenntnis, hohe Disziplin und moralische Standards
Messung – <i>Zeitaufnahme</i> → <i>Auswahl</i> aufgrund methodischer und wirtschaftlicher Machbarkeit: - Methodische Korrektheit durch präzise Ergebnisse - Wirtschaftliche Umsetzbarkeit gegeben, da qualifiziertes Personal in Form des Erhebungsbeauftragten vorhanden und von Geschäftsführung eingeplant ist

Soll-Zeiten definieren

Zusammensetzen – **Planzeiten** → **Ausschluss** über methodische Kriterien:

- Ungenau Methode, da nicht der reale Prozess mit seinen Eigenheiten abgebildet wird, sondern nur Referenzwerte hinzugezogen werden
- Datenbasis für diese Art von Prozess muss zur Verfügung stehen
- Keine differenzierte Erfassung real existierender Nebenzeiten und Störeinflüsse möglich (Verfehlung des Anforderungsbereiches, [Abs. 5.2](#))

Zusammensetzen – **Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ)**

→ **Ausschluss** über wirtschaftliche und methodische Kriterien:

- Methodisch hohe Präzision, aber Detailgrad für vorliegenden Anwendungsfall zu kleinteilig (methodisches Kriterium)
- Ressourcenbedarf für Umsetzung sehr hoch (wirtschaftliches Kriterium)

Schätzen und Vergleichen – **Schätzen** → **Ausschluss** über methodische Kriterien:

- Schätzverfahren sind mit hohen Unsicherheiten verbunden
- Prozesseigner müssen in der Lage sein den Prozess abzuschätzen, was bei komplexen TechSa-Prüfungen nur sehr schwer möglich ist

Schätzen und Vergleichen – **Vergleichen**

→ **Ausschluss** über methodische Kriterien:

- Ungenau, da hier (wie bei Planzeiten) nur Referenzwerte anstatt des tatsächlichen Arbeitsprozesses betrachtet werden
- Datenbasis für diese Art von Prozess muss zur Verfügung stehen

Berechnen – **Hauptzeiten / Nebenzeiten**

→ **Auswahl** aufgrund methodischer und wirtschaftlicher Machbarkeit:

- Hohe methodische Genauigkeit durch Nutzung von konkreten, zweckgebundenen Daten (methodisches Kriterium)
- Bei Datenbasis mit verschiedenen Zeitarten ist Differenzierung von Haupt- und Nebenzeiten, sowie Störeinflusserfassung möglich (methodisches Kriterium)
- Umsetzbarkeit, da einzelner qualifizierter Erhebungsbeauftragter die Datenanalyse bewerkstelligen kann (wirtschaftliches Kriterium)

Stichproben nehmen und auswerten

Multimomentaufnahmen (MMA) → Anwendungsspezifische Auswahl aufgrund bedingter methodischer und wirtschaftlicher Machbarkeit:

→ **Ausschluss als Primäranwendung** über methodische Kriterien:

- Methodisch anfällig für Fehler durch unzureichenden Stichprobenumfang und grobe Betrachtungsansätze auf Makroebene
- Unzureichende Validierung⁶³ des definierten Standardablaufs möglich

⁶³ Nachweis der Effektivität eines Betrachtungsobjektes bezüglich zuvor festgelegter Anforderungen.

→ **Auswahl als Sekundäranwendung** über wirtschaftliche und methodische Kriterien:

- Kann zur Ergänzung der Datenbasis nach Ist-Zeiten-Erhebung genutzt werden, falls Ergebnisse unzureichend kohärent sind oder zusätzlicher Analysebedarf für Störeinflüsse entsteht (methodisches Kriterium)
- Einfach und flexibel einsetzbar, da weder für Erhebungs-/Aufnahmebeauftragten, noch für Mitarbeiter/Prozesseigner große, zusammenhängende Aufgabenpakete entstehen (wirtschaftliches Kriterium)
- Zudem beliebig skalierbar (methodisches und wirtschaftliches Kriterium)

5.4 Zeitdatenerhebung

5.4.1 Vorgehensweise zur Zeitdatenerhebung

Nachdem die Verfahren der Zeitdatenerhebung festgelegt wurden ([Abs. 5.3.2](#)), soll nun eine Vorgehensweise zur Datenerhebung bestimmt werden. Dabei soll sich zum jetzigen Zeitpunkt lediglich auf die *Erhebung* an sich beschränkt werden. Die Logik zur nachgelagerten Analyse der erhobenen Daten wird zu späterem Zeitpunkt – im Kontext der Auswertung („*Zeitdatenanalyse*“) – beschrieben sein ([Abs. 5.5.1](#)).

Als Verfahren zur Ist-Zeiten-Erhebung wurde eine *REFA-Zeitstudie* bestimmt, aus deren Ergebnissen anschließend Soll-Zeiten in Form einer rechnerischen *Wertschöpfungsanalyse* abgeleitet werden sollen ([Abs. 5.3.2](#)). Die Ist-Aufnahme ([Abs. 2.3.5.1](#), [Abb. 14](#)) soll dabei über die Erfassung von REFA-Zeitarten realisiert werden. Dabei sollen zudem Störeinflüsse festgehalten werden. Somit ist die Schwachstellenanalyse über ein kombiniertes (REFA-) Arbeitsstudium parallel zur Vorgabezeitermittlung umzusetzen. Ein kombinierter Ansatz mit erweiterten Zielgrößen (gemäß des Anforderungsrahmens, [Abs. 5.2](#)) kann gegebenenfalls mit Adaptionen in der Planung und Durchführung verbunden sein. An dieser Stelle soll allerdings zuvorderst das allgemeine Vorgehen bei einer Zeitstudie im REFA-Standard aufgezeigt werden. Eventuelle Anpassungen und Abweichungen vom Standardvorgehen werden in der folgenden Bearbeitung kenntlich gemacht. Das standardisierte Ablaufschema wird vom REFA-Institut selbst vorgegeben und soll als wesentliche Richtlinie zur Handhabung innerhalb dieser Arbeit dienen.

Die REFA-Standard-Zeitstudie ist dabei in vier übergeordneten Arbeitsschritten unterteilt: in (1) Vorbereiten, (2) Durchführen und (3) Auswerten der Zeitstudie – sowie in das abschließende (4) Präsentieren und Anwenden der Ergebnisse.

Der Ablauf der Standard-Zeitstudie nach REFA ist nachfolgend dargestellt ([Abb. 49](#)).

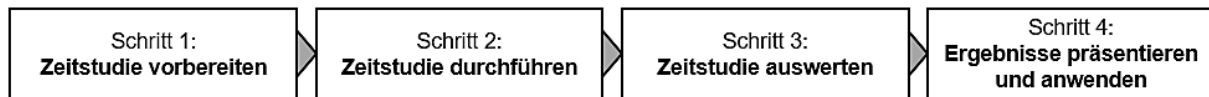


Abbildung 49 Ablauf der REFA-Standard-Zeitstudie

(In Anlehnung an: [REFA 2019](#), S. 170 f.)

Wie zuvor beschrieben, wird die Auswertung der Zeitstudie („*Zeitdatenanalyse*“) eine inhaltliche Abgrenzung erfahren ([Abs. 5.5](#)). Die Ergebnisdiskussion wird sich an diese angliedern ([Abs. 5.5.3.8](#)). Die (1) Vorbereitung und (2) Durchführung der Zeitstudie werden nachfolgend als übergeordnete Struktur zur Dokumentation des Vorgehens im Betrieb dienen. Dabei werden einzelne Teilaspekte der Arbeitsschritte herausgestellt und in ihrer praktischen Ausführung erläutert.

5.4.2 Zeitstudie vorbereiten

5.4.2.1 Offene Punkte zur Vorbereitung der REFA-Zeitstudie

Der erste Teilabschnitt der REFA-Zeitstudie besteht, wie eben geschildert ([Abs. 5.4.1](#)), aus der *Vorbereitung der der Zeitstudie*. Dazu beschreibt das REFA-Institut zehn relevante Teilaspekte für die Standardprozedur der Vorbereitung. Diese sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen ([Tab. 15](#)). Zur Vermeidung von Redundanzen werden für Punkte, welche über vorgelagert Ausführungen bereits abgeschlossen wurden, entsprechende Bezüge hergestellt. Die Restmenge wird anschließend eingeordnet.

Tabelle 15 Teilaspekte zur Vorbereitung einer REFA-Zeitstudie

(In Anlehnung an: [REFA 2019](#), S.170)

Teilaspekt	Redundanz	
	Ja (Bezug)	Nein
1. Ziel der Studie und Verwendungszweck der Daten festlegen	Abs. 3.4	
2. Beteiligte informieren	teilweise in Abs. 3.4 / Abs. 4.2.1	x
3. Arbeitssystem beschreiben	Abs. 3.3	
4. Arbeitsablauf in einzelne Ablaufabschnitte gliedern	Abs. 4.4	
5. Messpunkte und Zeitmessmethode festlegen	teilweise in Abs. 4.5	x
6. Bezugsmenge und Einflussgrößen erfassen		x
7. Umfang und zeitliche Lage der Zeitstudie festlegen		x
8. Auswahl der/des Beschäftigten	Abs. 3.4.1	

9. Zeitmessgerät auswählen		x
10. Datendokumentation vorbereiten		x

Für die Vorbereitung der Zeitstudie ergibt sich somit weiterer Erklärungsbedarf bei den Punkten (2), (5), (6), (7), (9) und (10). Diese werden nachfolgend näher eingeordnet.

5.4.2.2 Beteiligte informieren

Ergänzend ist als erstes die *Information Beteiligter* der Zeitstudie auszuführen. Dazu beschreibt das REFA-Institut die Einbindung von Beschäftigten sowie – sofern vorhanden – den Betriebsrat (BR) (vgl. [REFA 2019](#), S. 173). Auf vorherige Ausführungen zur Einbindung der relevanten Akteure sei an dieser Stelle verwiesen (vgl. [Abs. 3.4](#), [Abs. 4.2.1](#)). Als relevant beschrieben wurden hierzu bereits Absprachen mit den zu beobachtenden Mitarbeitenden in der Rolle der Prozesseigner. Zudem denkbar im TechSa-Kontext sind die generelle Qualitätsleitung bzw. relevante Stakeholder aus dem Qualitätsmanagement –etwa die Prüflaborleitung. Wird das Vorhaben nicht gleichzeitig vom Erhebungsbeauftragten (EB) verantwortet, sind diese ebenso zu informieren und zu instruieren.

Bisherige Ausführungen bezogen sich dabei primär auf die Planungsleistung im Kontext des Vorhabens sowie auf erste beschreibende Prozessaufnahmen. Ergänzend hinzukommt, dass der EB im Vorfeld Aufklärungsarbeit gegenüber den Prozesseignern zu leisten hat. Diese sind umfangreich über die Hintergründe und Ziele des Arbeitsstudiums ([Abs. 5.2](#)) zu informieren. Angestrebt wird damit eine Steigerung der Akzeptanz für die Maßnahme bei den betroffenen Mitarbeitenden („*Akzeptanzmanagement*“).

Verfügt das Unternehmen über einen *Betriebsrat*, ist dieser ebenfalls frühzeitig zu informieren und eine formale Genehmigung für die Durchführung der Zeitaufnahmen einzuholen. Der entsprechende Antrag ist rechtzeitig vor Beginn der Erhebung einzureichen; die Genehmigung ist vor dem Erhebungsstart sicherzustellen und zu dokumentieren.

5.4.2.3 Messpunkte und Zeitmessmethode festlegen

Der nächste Teilaspekt findet sich im Festlegen von Messpunkten, sowie einer Zeitmessmethode. Hierzu wurden ebenso bereits Ausführungen getätigt. Die Start- (SZP) und Endzeitpunkte (EZP), welche im Rahmen der Prozessmodellierung zur Abgrenzung der Ablaufstufen definiert wurden ([Abs. 4.5](#)), können dabei problemlos als Messpunkte verwendet werden. Bei Eintreten der definierten Bedingungen als SZP/EZP können Ablaufabschnitte aneinander gekoppelt werden, um logische Messpunkte zu ergeben ([Abb. 50](#)) (vgl. [REFA 2019](#), S. 177).

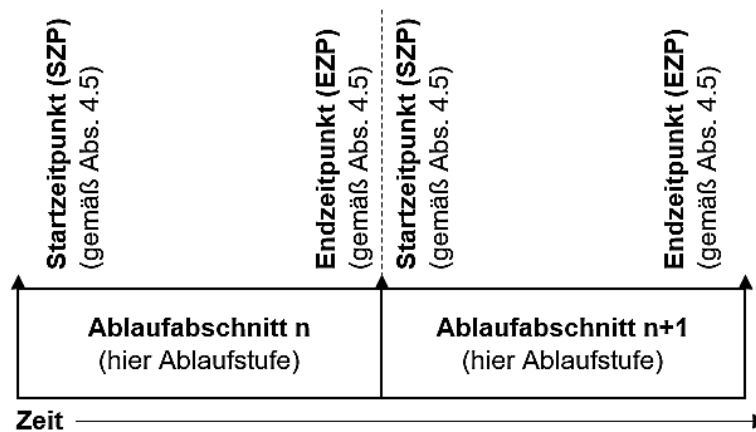


Abbildung 50 Messpunkte in der REFA-Zeitstudie

(In Anlehnung an: REFA 2019, S. 177)

Darüber hinaus ist eine Zeitmessmethode festzulegen. REFA beschreibt in diesem Zusammenhang die *Einzelzeitmessung* und die *Fortschrittszeitmessung* (vgl. REFA 2019, S. 178 ff.). Die Begrifflichkeiten beziehen sich dabei auf die – zuvor bereits mehrfach erwähnten – REFA-Zeitarten. Eine vollumfängliche Einordnung wird zu späterem Zeitpunkt vorgenommen (Abs. 5.4.2.7). An dieser Stelle sollen lediglich die relevanten Begriffe der Einzelzeit und Fortschrittszeit beschrieben sein. Dieses inhaltliche Vorgreifen dient der Festlegung einer Zeitmessmethode.

Die Bezeichnung Einzelzeit (t_i) bezieht sich auf die Dauer eines einzelnen Ablaufabschnittes (hier Ablaufstufe gemäß REFA-Modell in Abs. 4.2.4.1, Abb. 38). Erfasst wird in der Einzelzeitmessung dementsprechend jede Arbeitseinheit separat. Auf der betrachteten Ablaufebene werden Einheiten jeweils separat gestartet und gestoppt. Die Fortschrittszeit (F) bezieht sich immer auf die Dauer zwischen dem Ende eines Ablaufabschnitts und dem Beginn der Zeitaufnahme. Sie gibt immer die Differenz des jeweiligen Aufnahmezeitpunkts zum Start an (zeitlicher Fortschritt gegenüber Zeitpunkt „0“). Bei der Fortschrittszeitmessung wird also jeweils die bisher aufgenommene Gesamtdauer bei Ende eines Ablaufabschnitts (Messpunkt, EZP) festgehalten. Die Einzelzeiten der separaten Ablaufabschnitte müssen bei diesem Vorgehen dann durch Rückrechnung ermittelt werden. Beide Verfahren haben ihre eigenen Vor- und Nachteile. Diese sind nachfolgend, gemeinsam mit ihren spezifischen Ablaufschemata, dargestellt (Tab. 16) (vgl. REFA 2019, S. 177–181).

Tabelle 16 Einzelzeitmessung und Fortschrittszeitmessung ⁶⁴

(In Anlehnung an: REFA 2019, S. 178 ff.)

Einzelzeitmessung				Fortschrittszeitmessung			
Ablaufschema				Ablaufschema			
Ablaufabschnitte	Messpunkt (Abs. 4.5)	Ablaufabschnitt 1	Messpunkt (Abs. 4.5)	Ablaufabschnitte	Messpunkt (Abs. 4.5)	Ablaufabschnitt 1	Messpunkt (Abs. 4.5)
Gemessene Fortschrittszeit (F) in HM	0	30	55	Gemessene Einzelzeit (t_i) in HM	0	30	55
					$t_i(1) = 30$ HM		
						$t_i(2) = 25$ HM	
Errechnete Einzelzeit (t_i)		$t_i(1) = 30$ HM	$t_i(2) = 25$ HM				
Vorteile: • Lückenlose Zeitmessung • Ablesefehler wird bei der folgenden Zeitmessung ausgeglichen • Bei langdauernden Abschnitten können zur Zeitmessung Taschen- oder Armbanduhren verwendet werden, falls es die Anforderungen an die Messgenauigkeit ⁶⁵ zulassen *				Vorteile: • Errechnung der Einzelzeit entfällt • Streuung der Messwerte bei Unregelmäßigkeiten des Arbeitsablaufes sofort erkennbar			
Nachteile: • Einzelzeiten müssen errechnet werden • Bei Verwendung von mechanischen Stoppuhren größere Konzentration des Beobachters zur sicheren Ablesung der laufenden HM erforderlich *				Nachteile: • Mögliche Beeinflussung des Leistungsgradurteils durch Kenntnis der Dauer der Ablaufabschnitte • Zusätzliche Gesamtzeitmessung der Zeitaufnahmedauer erforderlich *			

* Entfällt bei Einsatz elektronischer Geräte

In der Festlegung wird sich in Anbetracht der Attribute beider Verfahren für eine Fortschrittszeitmessung entschieden. Maßgeblich entscheidend ist hierbei das Ermöglichen einer lückenlosen Zeitmessung. Hinzukommt, dass auch das Störverhalten (Nebenzeiten/Zeitarten und Einflüsse) erfasst werden soll. Bei separater Aufnahme der Ablaufphasen könnten wichtige Einflussgrößen in der Erfassung verpasst werden.

⁶⁴ HM = Hundertstelminute, auch Industrieminute; 1 Stunde = 1,00 h = 100 Industrieminuten.⁶⁵ Maximal zu erwartenden Messfehler zwischen ermitteltem und realem Messwert.

Zudem soll hier eine abstrakte Makrobetrachtung ([Abs. 4.2.4](#)) erfolgen, welche ein grobes, aber ganzheitliches Bild der Gesamtablaufstruktur vermittelt. Dem wäre ein gezieltes Ausmessen von Einzelzeiten nicht zuträglich. Von Vorteil wäre es, wenn das später gewählte Zeitmessgerät ([Abs. 5.4.2.6](#)) in der Lage wäre, bei der Durchführung einer Fortschrittszeitmessung automatisch bereits Einzelzeiten zusätzlich zu den Fortschrittszeiten mit auszugeben. Ein solches Vorgehen wäre hier als Vorzugslösung zu handhaben.

5.4.2.4 Bezugsmengen und Einflussgrößen erfassen

Der nächste offene Punkt mit Klärungsbedarf ist das Erfassen von Bezugsmengen und Einflussgrößen. Hier nimmt das REFA-Institut erneut konkrete Begriffsabgrenzungen vor. So sind *Bezugsmengen* als Mengen von Arbeitsergebnissen zu sehen, die als Grundlage für die Zeitstudie dienen. Der Zweck der Erfassung hierbei ist das Sicherstellen von Vergleichbarkeit der Zeitdaten – gegebenenfalls auch gegenüber Ergänzungsstudien zu späterem Zeitpunkt. Beispiel hierfür wäre etwa die Anzahl produzierter Teile in einem Produktionsprozess. *Einflussgrößen* hingegen beschreiben die Bedingungen, welchen die Arbeitsausführung beeinträchtigen können. Die Erfassung dieser Größen dient speziell dem Erkennen von Störfaktoren. Über die Einflussgrößenerfassung wird die Repräsentativität der Datenerhebung gewährleistet (vgl. [REFA 2019](#), S. 181 ff.).

Bezugsmengen sind über die Angaben von Spülvolumen und der Anzahl an Prüfräumen hinaus vorab nicht bekannt. Die spezifische Anzahl an Prüfräumen innerhalb der Prüfzyklen wurde dabei als wesentlicher Bestandteil in die grafische Modellierung der Ablaufstruktur eingearbeitet ([Abs. 4.4](#)). Dort sind diese das Bestimmungskriterium zur Unterteilung der einzelnen Ablaufstufen ([Abs. 4.4.2](#)) im Teilablauf der Beprobung ([Abs. 4.4.1](#)). Im Kontext der Bezugsmengen sind sie also auszuschließen. Die Spülvolumen variieren zum Teil zwischen den Prüfräumen innerhalb der Zyklen. Diese sind entsprechend in der Dokumentation ([Abs. 5.4.2.7](#)) festzuhalten. Die Kombination der Volumina zur Anwendung bei den Prüfräumen gleicht sich bei jeder Durchführung eines Prüfzyklus.

Die Aufnahmeprotokolle der Datenerhebung sollten die anzuwendenden Spülmengen somit in der Ausgangssituation festhalten. Ergänzende Anmerkungen in der jeweiligen Aufnahme sind nur durchzuführen, wenn ein Abweichen von den Soll-Werten identifiziert wird. Über die Anzahl der Prüfräume und die Spülvolumen hinaus, werden vorab keine weiteren Bezugsmengen beschrieben. Bei Auffälligkeiten wiederholender Abläufe sind diese während der Zeitaufnahme zu vermerken. Wird ein entsprechendes Arbeitsstudium als Erstanalyse von Ablaufstufen umgesetzt (wie hier in der Arbeit dargestellt), ist hier von einem zu abstrakten (zu unkonkreten) Ansatz auszugehen, als dass alle Bezugsmengen vorab vollumfänglich einbezogen werden können.

Die Erfassung von detaillierten Bezugsmengen ist insbesondere für eine nachträgliche *Regressionsanalyse* auf Vorgangsebene ([Abs. 4.2.4.1](#), [Abb. 38](#)) dienlich. Da diese Detaillierung im Rahmen dieser Arbeit nicht angestrebt ist, werden Vermerke während der Durchführung der Beobachtung als ausreichend betrachtet. Auf Basis dieser können bei Bedarf anschließend weitere Analysen aufgebaut werden. Die Erfassung von Einflussgrößen deckt sich mit dem Anforderungsrahmen, welcher die Identifikation von Störeinflüssen vorsieht ([Abs. 5.2](#)). Diese Größen sind – in Absprache mit den Prozesseignern – ebenfalls schwer prognostizierbar. Entsprechend ist darauf zu achten, auch die Einflussgrößen in der Datenerhebung zu dokumentieren. Der Hintergrund der Bezugsmengen und Einflussgrößen, sowie die Handhabung beider Aspekte in der vorliegenden Arbeit ist nachfolgend dargestellt ([Abb. 51](#)) (vgl. [REFA 2019](#), S. 181 ff.).

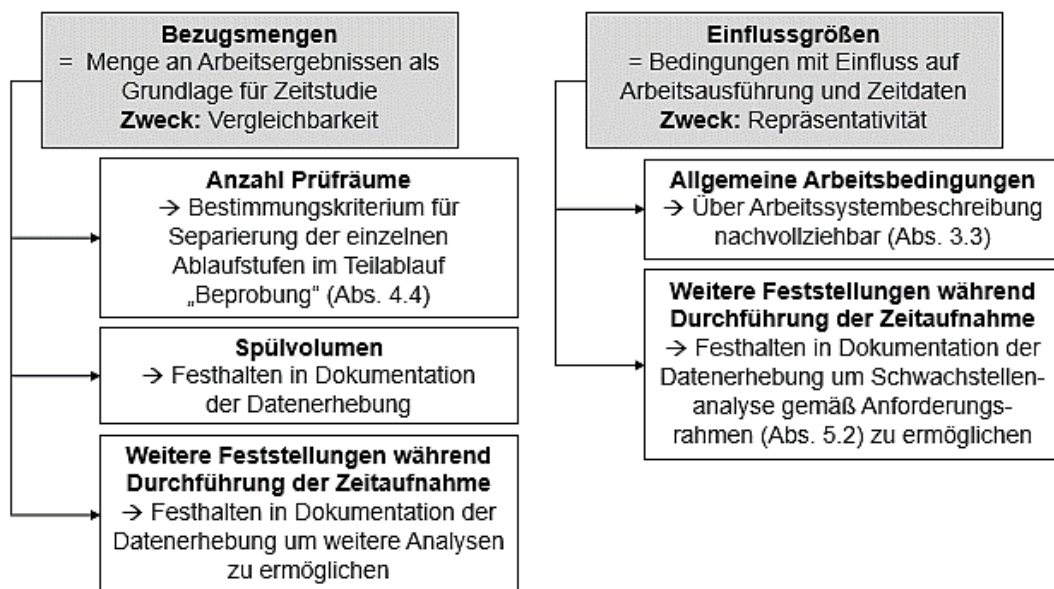


Abbildung 51 Messpunkte in der REFA-Zeitstudie

(In Anlehnung an: [REFA 2019](#), S. 181 ff.)

5.4.2.5 Umfang und zeitliche Lage der Zeitstudie festlegen

Als nächster Punkt schließt sich das Festlegen von Umfang und zeitlicher Lage der Zeitstudie an. Der *Umfang* bezieht sich hierbei auf die Stichprobe („Stichprobenumfang“ (n)). Er ist also die statistische Größe zur Angabe der Anzahl durchgeführter Aufnahmen. Prinzipiell gilt zu beachten, dass ein Vergrößern des Stichprobenumfangs mit einem gesteigerten Erkenntnisgewinn über den Arbeitsablauf einhergeht. Die statistische Sicherheit der Ergebnisse steigt und mögliche Schwankungen signifikanter Einflussgrößen ([Abs. 5.4.2.4](#)) können besser erkannt werden. Der Nachteil, welcher dem gegenübersteht, ist der erhöhte Messaufwand. Die Festlegung des Umfangs stellt daher ein entsprechendes Abwägen statistischer Anforderungen und verfügbarer Ressourcen dar („So lange wie nötig, so kurz wie möglich“).

Nachfolgend sind drei wesentliche statistische Größen dargestellt, welche im Rahmen des Arbeitsstudiums relevant sind und in direkter Abhängigkeit zum Stichprobenumfang stehen (Tab. 17) (vgl. REFA 2019, S. 182 f.).

Tabelle 17 Auswahl statistischer Anforderungen bezüglich Stichprobenumfang
(In Anlehnung an: Papula 2024, S. 438 ff.)

Statistische Größe	Bedeutung
Stichprobenumfang (n)	= Anzahl der durchgeführten Messungen • Bestimmt Repräsentativität der Zeitstudie • Direkter Einfluss auf den Aufwand
↓ beeinflusst / wird beeinflusst durch ↑	
Mittelwert ($\bar{x}$)	= Durchschnitt der gemessenen Zeiten • Grundlage für Soll-Zeit-Ermittlung
Variabilität	= Streuung/Schwankung der gemessenen Zeitwerte • Höhere Variabilität erfordert mehr Messungen
Standardfehler (SE)	= Streuungsmaß des Stichprobenmittelwerts um den tatsächlichen Mittelwert (der Grundgesamtheit) • Kleinere Werte stehen für präzisere Mittelwerte
Konfidenzintervall (KI)	= Bereich, in dem der wahre Mittelwert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (z. B. 95 %) liegt • Gibt Sicherheit der ermittelten Ergebnisse an • Engere Intervalle stehen für höhere Genauigkeit der Zeitstudie
Spannweite (R)	= Differenz zwischen größten und kleinsten Messwert • Gibt Überblick über die Streuung der Zeiten • Extrempunktermittlung über Umfangserweiterung • Kann Hinweise auf Messfehler geben

Die rechnerische Herleitung der statistischen Größen mitsamt ihrer Betrachtung am Betrachtungsgegenstand wird zu späterem Zeitpunkt, im Kontext der Datenanalyse (Abs. 5.5.2.3 bzw. Abs. 5.5.3.2), beschrieben. An diesem Punkt soll lediglich erst einmal der Stichprobenumfang bestimmt sein.

Die Bestimmung des Stichprobenumfangs kann grundsätzlich auf zwei Wegen erfolgen: entweder über die Vorgabe *statistischer Mindestanforderungen* (z. B. ein Ziel-Konfidenzintervall) als Eingangsparameter oder – bei stark limitierten Ressourcen – über die Festlegung eines realistisch umsetzbaren Aufnahmeumfangs als *Fix-Input*, dessen statistische Aussagekraft im Nachgang bewertet wird. Letzteres entspricht dem Ansatz des „Maximalprinzips“ (Abs. 2.3.5.2), bei dem mit den verfügbaren Mitteln ein möglichst hoher Erkenntnisgewinn angestrebt wird.

In ressourcenbeschränkten Projektkontexten – etwa wenn die Datenerhebung neben dem regulären Tagesgeschäft zu leisten ist – empfiehlt sich die Festlegung eines Mindest-Stichprobenumfangs je Prüfzyklus (z. B. $n \geq 3$). Idealerweise sollten dabei alle am Prozess beteiligten Ausführenden mindestens einmal in die Erhebung einbezogen werden ($n_{MA} \geq 1$ je Prozesseigner), um interindividuelle Unterschiede im Arbeitsablauf erfassen zu können.

Die *zeitliche Lage* der Zeitstudie definiert währenddessen folgende Punkte:

- Monat der Durchführung (Auftragslage, betriebliche Rahmenbedingungen, Jahreszeit, etc.),
- Arbeitstag der Durchführung (Mo – Fr, Sa, So),
- Schicht der Durchführung (Früh-, Spät-, Nachtschicht) (REFA 2019, S. 183).

Die Relevanz dieser Aspekte ist im jeweiligen Anwendungsfall zu prüfen. In Labor-kontexten können geregelte Tagesarbeitszeiten ohne Schichtbetrieb vorkommen. In diesem Fall sind Arbeitstag und Schichtlage häufig nachrangig. Andernfalls ist der Einfluss dieser entsprechend zu prüfen. Im Fall der TechSa-Prüfungen ist jedoch primär die Abstimmung der Aufnahmedaten mit der Laborleitung und den Prozess-eignern entscheidend, um eine unnötige Beeinträchtigung des laufenden Betriebs zu vermeiden. Für den Monat der Durchführung empfiehlt sich eine Planung im Einklang mit den verfügbaren Kapazitäten des EB und dem regulären Laborbetrieb. Als *Best Practice* gilt: Datenerhebung und Datenanalyse sind in aufeinanderfolgenden, klar abgegrenzten Zeitfenstern zu planen; die Ergebnisse sind anschließend zeitnah zu präsentieren und das weitere Vorgehen ist mit den beteiligten Führungskräften ab-zustimmen.

5.4.2.6 Zeitmessgerät auswählen

In vorletzter Instanz ist ein entsprechendes Zeitmessgerät zu wählen, welches zur Umsetzung der Zeitaufnahmen dienen wird. REFA unterscheidet hierbei in:

- Geräte zum Erfassen beobachteter Angaben (Zeitwerte, Vermerke) während des Arbeitsablaufes,
- Bildspeichergeräte, die den Arbeitsablauf als Bildsequenzen speichern und damit Zeitwerte nur „mittelbar“ erfassen (vgl. a.a.O., S. 184).

Für entsprechende Geräte formuliert das REFA-Institut zudem eine umfangreiche Liste verschiedener Anforderungen (vgl. a.a.O.). Zu prüfen ist am jeweiligen Um-setzungsstandort, ob und wenn ja welche Zeitaufnahmegeräte bereits vorhanden sind. Wenn vorhanden, sollten diese über eine Aufnahmefunktion in Hundertstelminuten (HM) verfügen.

Alternativen bestehen in der Nutzung von Stoppuhr-Applikationen am Rechner-Systemen. So können spezialisierte Standardsoftware, wie etwa „TICON“⁶⁶, genutzt werden. Ebenso möglich sind jedoch kostenfreie Alternativen, wie „WebUhr.de“⁶⁷ (Abb. 52). Je nach geforderter Messauflösung bei der Zeiterfassung können solche Alternativen ebenso als zweckdienlich eingeschätzt werden. Anschließende Umrechnungen in HM sowie die nachfolgende Auswertungslogik (Referenz hier Abs. 5.5) sind im Fall physischer Stoppuhren oder kostenfreier Alternativen nachträglich in der Regel selbst zu hinterlegen.

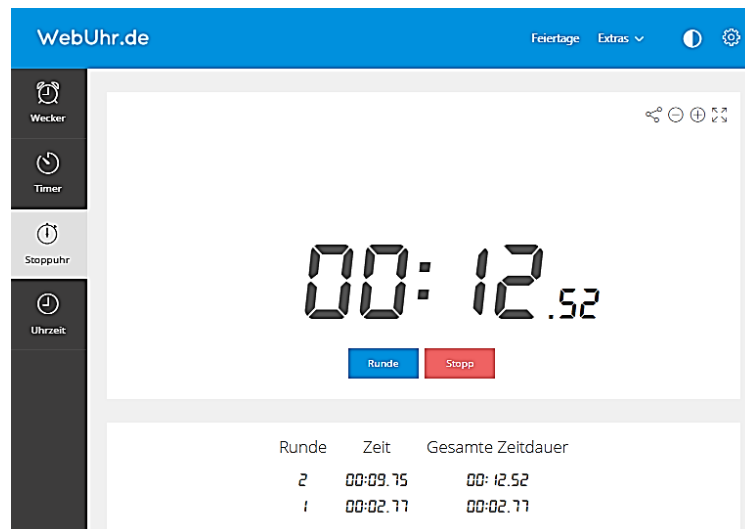


Abbildung 52 Stoppuhr-Interface „WebUhr.de“
(Screenshot, WebUhr.de)

Im Sinne einer breiten Anwendbarkeit soll die Applikation von „WebUhr.de“ als kostenfreie Variante methodisch geprüft werden. Zur Prüfung der Umsetzbarkeit über die Webapp ist die Anwendung nachfolgend mit den Anforderungen für Zeitmessgeräte nach REFA-Standard (vgl. REFA 2019, S. 184 f.) gegenübergestellt (Tab. 18).

Tabelle 18 Konformitätsprüfung der REFA-Anforderungen für Zeitmessgeräte
(In Anlehnung an: REFA 2019, S. 184 f.)

Pos.	REFA-Anforderung und Konformität „WebUhr.de“
1	Anforderung: „Aufnahmekapazität (Speicherplatz) und Energieversorgung bei mobilem Einsatz für mindestens eine Schicht“ Konformität: Die Webapplikation verfügt über einen eigenen, unbegrenzten und cloud-basierten⁶⁸ Arbeitsspeicher.

⁶⁶ <https://mtm.org/software/mtm-software>

⁶⁷ <https://webuhr.de/stoppuhr/>

⁶⁸ Ressourcen (hier Aufnahmespeicher) werden über das Internet zur Verfügung gestellt.

	Zudem sind Lademöglichkeiten für den mobilen Rechner (Laptop) im Labor an jedem relevanten Arbeitsort gegeben. Eine Einschränkung durch Speichermedien und/oder Energieversorgung ist somit nicht zu erwarten. → <i>Konformität festgestellt</i>
2	Anforderung: „Rechtzeitige Warnung vor Erreichen der Kapazitätsgrenze bzw. vor Erschöpfung der Energieversorgung“ Konformität: Erübrigt sich durch Pos. 1. → <i>Konformität festgestellt</i>
3	Anforderung: „Kein Datenverlust bei Unterbrechung der Energieversorgung“ Konformität: Zeitaufnahme wird bei Verlust der (Internet-) Verbindung zur Webapplikation im Cloudsystem fortgesetzt. Die Datenzuordnung ist zudem IP-basiert ⁶⁹, wodurch eine Wiederaufnahme der Tätigkeit nach Neuverbindung (ohne Login ⁷⁰) möglich ist. Somit ist nicht nur ein Datenverlust unwahrscheinlich – hinzukommt ein niedriges Risiko den aktuellen Arbeitsgang erneut aufnehmen zu müssen. → <i>Konformität festgestellt</i>
4	Anforderung: „Einsatz auch unter widrigen Bedingungen, z. B. Staub, Spritzwasser, Ölnebel, Erschütterung, elektrische und magnetische Felder, sowie bei niedrigen und hohen Umgebungstemperaturen“ Konformität: Im Labor ist keine kritische Beeinträchtigung durch widrige Bedingungen zu erwarten. Die Zeitaufnahme wird stets aus einer sicheren Entfernung zur Tätigkeit und entsprechenden Begleiterscheinungen durchführbar sein. Diese Anforderung erübrigt sich. → <i>Konformität festgestellt</i>
5	Anforderung: „Möglichkeit der Zeitmessung in 1/100 Minuten (HM)“ Konformität: Die Möglichkeit der Zeitmessung in HM wurde bei Anwendung von „WebUhr.de“ nicht gefunden. Weiterer geprüfte Freeware ⁷¹ -Alternativen wiesen ein entsprechendes Feature ebenso wenig aus. Die „WebUhr.de“-Anwendung verfügt jedoch über eine Messauflösung ⁷² von einer Millisekunde. Auf Basis dieser sind die Aufnahmewerte problemlos in HM umrechenbar. Die Aufnahme über die „WebUhr.de“-App ist somit als hinreichend genau arbeitend einzustufen. → <i>Konformität festgestellt</i>

⁶⁹ Identifikation mit Server per Internetprotokoll-Adresse.

⁷⁰ (Nutzer-) Anmeldung bei einem Computersystem.

⁷¹ Software, die normalerweise proprietär ist und den Benutzern kostenlos angeboten wird.

⁷² Kleinste messbare Änderung eines Messsystems.

	Anmerkung im Sinn der methodischen Generalisierbarkeit: In der in dieser Arbeit angestrebten Makro-Betrachtung des Prozesses (Definition nach REFA in Abs. 4.2.4 sowie Anforderungsrahmen Abs. 5.2) sind entsprechend gröbere Auflösungen zulässig. Im konkreten Fall ist dies immer mit dem Auftraggeber (z. B. Qualitätsleitung) im Rahmen der Projektdefinition (Abs. 3.4.1) abzustimmen. Bei Betrachtung der Makro-Prozessstruktur von Arbeitsabschnitten über mehrere Minuten – wie es bei TechSa-Prüfungen der Fall sein kann (Abs. 4.2.3) kann eine Aufnahmeauflösung in Sekunden allerdings durchaus angemessen sein. Feinere Auflösungen bieten für die nachfolgende Zeitdatenanalyse (Abs. 5.5) je nach Ausprägung der Ablaufelemente in der Regel keinen Mehrwert. Eine angemessene Auslegung richtet sich entsprechend nach den erwarteten Aufnahmezeiten sowie den im Nachgang bemühten statistischen Auswertungen in der Zeitdatenanalyse.
6	Anforderung: „Wahlweise oder parallele Anzeige von Fortschritts- und Einzelzeit“ Konformität: Die „WebUhr.de“-Anwendung ist in der Lage beide Zeiten parallel auszugeben. Somit ist die optimale Variante der Festlegung der Zeitmessmethode (gemäß Abs. 5.4.2.3) eingetreten. → <i>Konformität festgestellt</i>
7	Anforderung: „Erfassung und Speicherung weiterer beschreibender Daten“ Konformität: Es werden keine Möglichkeiten für Anmerkungen zur weiteren Beschreibung gegeben. Die Möglichkeit muss im Rahmen der Vorbereitung der Datendokumentation (Abs. 5.4.2.7) ergänzend einbezogen werden. → <i>Abweichung festgestellt, Maßnahme: Ergänzung in Abs. 5.4.2.7</i>
8	Anforderung: „Schulungsangebot des Herstellers zur Qualifizierung der Datenermittler“ Konformität: Die Verwendung der „WebUhr.de“-Applikation ist simpel genug, um keine weiteren Qualifizierungsbedarfe beim Datenermittler hervorzurufen. Beschreibungen der enthaltenen Features in der Anwendung sind auf der Webseite gegeben, → <i>Konformität festgestellt</i>
9	Anforderung: „Werden Vorgabezeiten berechnet, so muss eine Eingabemöglichkeit für vereinbarte Zuschläge, z. B. Verteil- oder Erholungszeitzuschläge bestehen“ Konformität: Die Zeitaufnahmen dienen primär der Plandatenermittlung und Schwachstellenidentifikation. Eine Zuordnung verschiedener Zeitarten ist dennoch gefordert.

	Da die Anwendung keine Möglichkeiten für erweiterte Dokumentation über die reine Aufnahmezeit hinaus bietet (Pos. 7), muss auch die Zuweisung von Zeitarten in der Vorbereitung der Datendokumentation berücksichtigt werden. → <i>Abweichung festgestellt, Maßnahme: Ergänzung in Abs. 5.4.2.7</i>
10	Anforderung: „Werden REFA-Planzeitbausteine mittels Regressionsrechnung bestimmt, so sind neben den ermittelten Formeln auch die signifikanten Einflussgrößen sowie die vereinbarten statistischen Kenngrößen auszuweisen. [...]“ Konformität: Einflussgrößen und Bezugsmengen werden über die Spülvolumen (und im erweiterten Sinne die Anzahl der Prüfräume) hinaus erst während des Arbeitsstudiums erfasst. Somit ist hier in Analogie zu Pos. 7 und Pos 9 eine Dokumentationsmöglichkeit zu schaffen (Abs. 5.4.2.7). → <i>Abweichung festgestellt, Maßnahme: Ergänzung in Abs. 5.4.2.7</i>
11	Anforderung: „Einmal erfasste Daten dürfen sich nicht überschreiben lassen; Eingabefehler müssen zwar korrigierbar sein, im Aufnahmeprotokoll müssen dann zusätzlich zu den korrigierten Daten die Urdaten ausgewiesen werden“ Konformität: Eine nachträgliche Manipulation der Aufnahmedaten ist in der „WebUhr.de“-Anwendung nicht möglich. Mögliche Korrekturen (z. B. durch Messfehler) können in der Applikation selbst nicht vermerkt werden. Die Möglichkeit zur Anmerkung ist daher ebenso als Bestandteil der Vorbereitung der Datendokumentation zu sehen. → <i>Abweichung festgestellt, Maßnahme: Ergänzung in Abs. 5.4.2.7</i>

Insgesamt wird die Stoppuhr von „WebUhr.de“ somit als valide Option zur Zeitmessung bewertet. Es bleibt festzuhalten, dass im Rahmen der Vorbereitung der Datendokumentation ([Abs. 5.4.2.7](#)) ergänzende Möglichkeiten zur Niederschrift weiterer Informationen geschaffen werden müssen. Diese beinhalten:

- Allgemeine Anmerkungen ([Tab. 18](#), Pos. 7),
- Zuordnungsmöglichkeiten von Zeitarten ([Tab. 18](#), Pos. 9),
- Bezugsmengen und Einflussgrößen ([Tab. 18](#), Pos 10),
- Eventuelle Korrekturen durch Messfehler o.ä. ([Tab. 18](#), Pos 11).

5.4.2.7 Datendokumentation vorbereiten

Der letzte offene Punkt im Rahmen der Vorbereitung der Zeitstudie besteht aus dem Organisieren der Datendokumentation. Das REFA-Institut selbst stellt hierfür verschiedene standardisierte Vorlagen zur Verfügung (REFA-Formblätter Z1, Z1E, Z2, Z2E, Z3, [Anl. 4](#)).

In der Anwendung dieser Standardprotokolle wird nach Art der Wiederholung und Tätigkeit unterschieden, ebenso wie in die Art der Arbeitsteilung.⁷³ So wird das erste Auswahlkriterium darüber bestimmt, ob regelmäßige oder unregelmäßige Wiederholungen von Ablaufabschnitten vorliegen. Darüber hinaus muss unterschieden werden, ob es sich bei eventuellen Wiederholungen um immer dieselben oder verschiedene Ablaufabschnitte handelt. Das dritte, und letzte, Kriterium besteht in der Anzahl an beobachteten Mitarbeitern. So ist die Betrachtung einer einzelnen Arbeitsperson möglich – ebenso wie die mehrerer Personen (vgl. REFA 2019, S. 185).

In einer üblichen Handhabung des TechSa-Prüfprozesses mit einem Prozesseigner (Referenzablauf der Phasenbetrachtung, Abs. 4.2.4) wären gemäß der Auswahltable nach REFA die Formblätter „Z1“ und „Z1E“ anzuwenden. Der Grund hierfür ist, dass es sich um Einzelarbeit handelt, bei der alle Ablaufstufen chronologisch durchlaufen werden. Ein Wiederholen von Ablaufstufen innerhalb einer Aufnahme ist nicht vorgesehen, da gleichartige Prüfräume in den Prüfzyklen dennoch separate logische Einheiten (Ablaufstufen) darstellen (Abs. 4.4.2).

Die Betrachtung des Prozesses auf Ebene der Ablaufstufen bringt hierbei jedoch verschiedene Problemstellungen hervor. So sind die REFA-Vorlagen für die Betrachtung auf Vorgangsebene (Abs. 4.2.4.1, Abb. 38) ausgelegt. Wenngleich die Bezeichnung „Ablaufabschnitt“ eine grobe Ausrichtung beschreibt, sind die Elemente im REFA-Formblatt klar voneinander abgegrenzt. Einzelvorgänge im wenig-standardisierten Gesamtablauf der TechSa-Prüfungen können zwischen den Mitarbeitern abweichend voneinander durchgeführt werden. Somit kann es sein, dass einzelne Vorgänge anderen Ablaufstufen innerhalb des Aufnahmeprotokolls zugewiesen⁷⁴ werden müssen. Zudem bietet das REFA-Formblatt mangelhafte Möglichkeiten zur Festhaltung ergänzender Anmerkungen. Wie zuvor allerdings bei der Auswahl des Zeitmessgeräts festgestellt (Abs. 5.4.2.6, Tab. 18), sind diese jedoch zu ermöglichen. Um die benötigte Flexibilität bei der Durchführung der Aufnahmen zu gewährleisten, wird daher ein *individueller Ansatz* im Bereich der Datendokumentation verfolgt.

Das verwendete (eigene) Aufnahmeprotokoll orientiert sich dabei in seinem Aufbau an den REFA-Vorlagen und besteht somit aus einem *Protokollkopf* und einem Bereich zur *Tätigkeitsdokumentation*. Im Gegensatz zu den REFA-Vorlagen sind hier aber nicht nur einzelne Ablaufabschnitte dokumentierbar, sondern zwei Betrachtungsebenen. Die erfassten Ablaufabschnitte werden jeweils mit einer Positionsnummer versehen.

⁷³ Konkrete Auswahltablette ebenso Bestandteil von Anl. 6; hier nicht relevant.

⁷⁴ Zuordnung gemäß vereinfachter Prozessmatrix Abs. 4.2.4.3, Tab. 11 im Rahmen der Modellierung.

Auf erster Ebene (z. B. Nr. 1, Nr. 2, usw.) werden hier die modellierten *Ablaufstufen* ([Abs. 4.4.2](#)) erfasst. Innerhalb der Ablaufstufen kann dann eine zweite logische Ebene (z. B. 1.1, 1.2, usw.) protokolliert werden. Hierbei werden verschiedene innerhalb einer Ablaufstufe stattfindende Bestandteile nach Bedarf differenziert. Dies ist immer dann von Nöten, wenn sich der Bestandteil der Ablaufstufe in seiner Zeitart (nach REFA) vom bisherigen Geschehen unterscheidet. Gemäß des vorab bestimmten Anforderungsrahmens ([Abs. 5.2](#), [Tab. 13](#)) ist – neben dem Erfassen der Ist-Tätigkeitszeiten und der Definition von Soll-Tätigkeitszeiten – auch eine Analyse der Tätigkeitsstruktur vorgesehen. Hierzu soll in Haupt- und Nebenzeiten unterschieden werden. Zudem sind unterschiedliche Zeitarten und Störeinflüsse zu erfassen, die einen Überblick in die Tätigkeitsstrukturkompositionen in den TechSa-Prüfungen ermöglichen. All diesen Anforderungen muss das zu verwendete Protokoll gerecht werden.

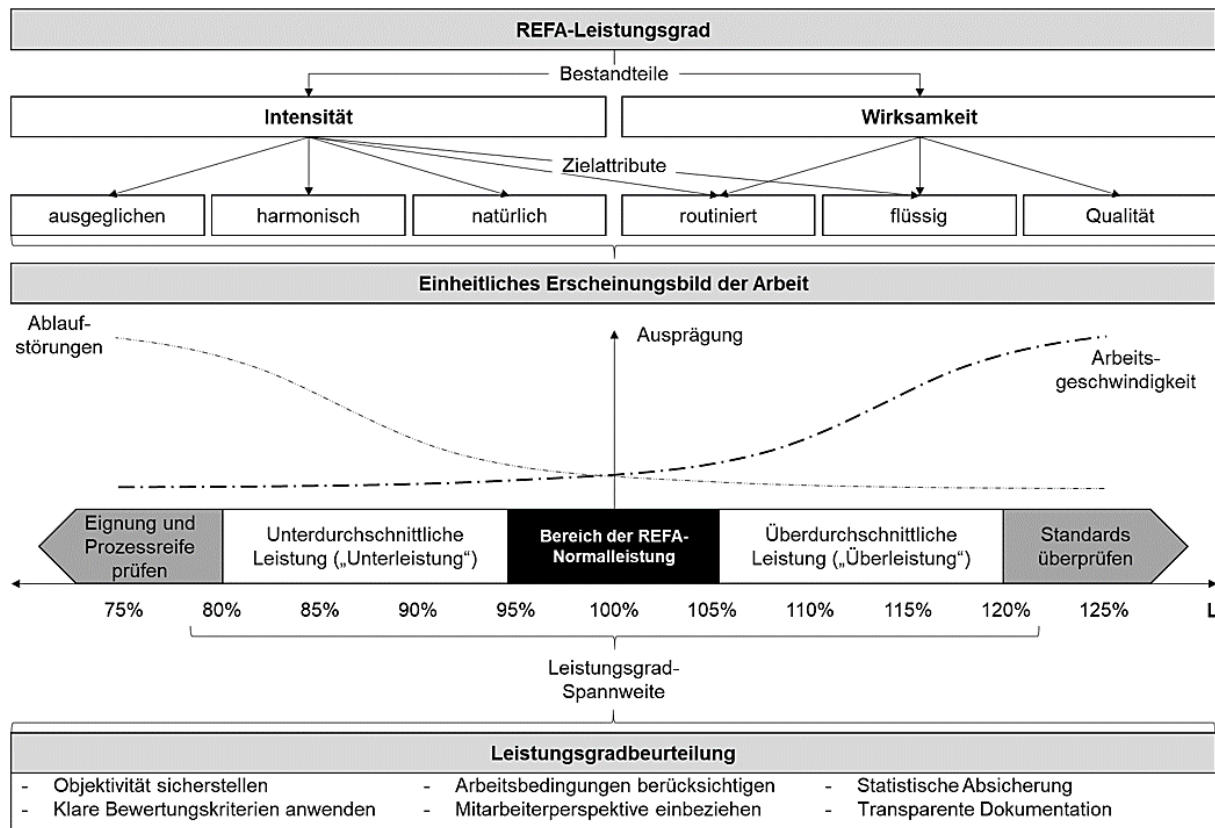
Die *Zeitarten* werden als übergeordnete Kategorien in der zweiten Ebene der Protokollstruktur aufgeführt. Bei Ablaufstufen mit mehreren Unterpunkten muss ein Aufsummieren der einzelnen Zeitbestandteile vorgenommen werden. Erfasste *Störeinflüsse* sind im dafür vorgesehenen „Notiz“-Bereich für zusätzliche Informationen zu vermerken. Festzuhalten sind dabei alle Hintergründe für ein Abweichen vom Regelablauf (gemäß vorheriger Prozessbeschreibung, hier Referenzablauf in [Abs. 4.2](#)). Hinzukommt, dass Einflüsse beschrieben werden müssen, welche sich auf die Leistung des jeweils betrachteten Mitarbeiters auswirken. Hierbei ist zudem zu vermerken, welche Konsequenz im Rahmen der Aufnahme aus der Störung hervorgeht. Beispielsweise können Störzeiten aus Tätigkeitsbestandteilen separat herausgestellt werden, insofern dies während der Aufnahme möglich ist. Ist eine klare Abtrennung nicht möglich, kann aber auch der *Leistungsgrad* (L) herabgesetzt werden. Eine entsprechende Entscheidung ist zu notieren.

Der *Leistungsgrad* nach REFA („REFA-Leistungsgrad“) stellt ein Maß zur Bewertung der Arbeitsgeschwindigkeit und -qualität dar. Ziel ist dabei, individuelle Arbeitsleistungen objektiv und standardisiert bewerten zu können. So werden Betrachtungen stets zur „Normalleistung“ von 100% ins Verhältnis gesetzt. Eine Normalleistung stellt dabei eine Arbeitsleistung dar, die unter Standardbedingungen dauerhaft und ohne Einhergehen von Überforderung erbracht werden kann. Höhere Leistungen (z. B. durch überdurchschnittliche Geschwindigkeit in der Verrichtung) werden als „*Überleistung*“ bezeichnet. Diese sind dann mit höherem Leistungsgrad einzuordnen (...>100%). Eine Leistung mit geringerer Geschwindigkeit oder fehlerhafter Arbeit wird hingegen als „*Unterleistung*“ bezeichnet und ist entsprechend niedriger zu bewerten (...<100%). Wesentliche Kriterien zur Beurteilung des REFA-Leistungsgrades bestehen in der Intensität und Wirksamkeit der verrichteten Tätigkeiten.

In diesem Kontext sind verschiedene Aspekte gegenüber einem einheitlichen Erscheinungsbild der Arbeit einzuschätzen. Für Leistungsgradbeurteilung sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. So ist beispielsweise der Einsatz geschulter und erfahrener Beobachter zur Sicherstellung der Objektivität zu gewährleisten. Hinzukommt, dass die individuellen Arbeitsbedingungen zu berücksichtigen sind. In diesem Kontext ist die Vergleichbarkeit der Umgebung (durch z. B. Werkzeugverfügbarkeit etc.) einzubeziehen. Berufen wird sich hierbei auf die vorherige Arbeitsystembeschreibung ([Abs. 3.3.2](#), [Abb. 29](#)). Neben dem Arbeitsumfeld ist die Mitarbeiterperspektive zudem mit einzubeziehen. Dies steigert die Transparenz und hilft dabei, Widerstände abzubauen („Akzeptanzmanagement“). Wie allgemein bei der Ist-Zeiten-Erfassung, ist ein ausreichender Stichprobenumfang zu gewährleisten. Nur so kann sichergestellt werden, dass der Beobachter Abweichungen vom Regelprozess adäquat identifizieren und bewerten kann (vgl. [REFA 2019](#), S. 193 ff.; vgl. [REFA 2025g](#))

In der Maximalausprägung sieht der REFA-Standard für die Beurteilung von Leistungsgraden eine Definition von Kriterien zur Beurteilung von *Intensität* und *Wirksamkeit* vor (vgl. [REFA 2019](#), S. 193 ff.). Da es sich beim in dieser Arbeit geschilderten Ansatz um eine Erstaufnahme des Prozesses handelt, soll – im Sinne der Wirtschaftlichkeit („Wirtschaftlichkeitsprinzip“) – darauf verzichtet werden. Die Dokumentation der Hintergründe über die Entscheidung für einen abgesenkten oder erhöhten Leistungsgrad („Unter-/Überleistung“) wird im Rahmen des hier vorgestellten Ansatzes als ausreichende Maßnahme zur Schaffung von Transparenz und Repräsentativität eingestuft. Das Konzept des REFA-Leistungsgrades und seiner Beurteilung ist im nachfolgenden Schema zusammenfassend dargestellt ([Abb. 53](#)).

In den Aufnahmeprotokollen soll der Leistungsgrad für alle wertschöpfenden Tätigkeitsbestandteile beurteilt und dokumentiert werden. Wie bereits erörtert, sollen Störungen des Ablaufs nach Möglichkeit gänzlich aus den Tätigkeitszeiten herausgestellt werden. Um hierbei dem Anforderungsrahmen gerecht zu werden ([Abs. 5.2](#)), sollen diese festgehaltenen Unterbrechungen in verschiedene Zeitarten unterteilt werden. Diese zielt auf eine effektive Analyse der Schwachstellen im Arbeitsprozess zu späterem Zeitpunkt ab. Beschlossen wurde hier ebenso die Verwendung eines REFA-Standards: die *REFA-Zeitarten*. Die Zeitarten nach REFA zielen in ihrer Anwendung auf alle Bereiche der Zeitwirtschaft ab (Produkt, Auftrag, Mitarbeiter, Führung gemäß [Abs. 2.4.4.2](#), [Tab. 8](#)) (vgl. [a.a.O.](#), S. 304 ff.).

**Abbildung 53** REFA-Leistungsgrad und -beurteilung

(In Anlehnung an: REFA 2019, S. 193 ff.)

Die REFA-Standards zu Zeitarten lassen dabei verschiedene Betrachtungsansätze zu. In der obersten Gliederungsebene gibt es dabei eine generelle Prozesszeit (T_P). Diese beschreibt die Zeitdauer zur Realisierung von Arbeitsabläufen unter Einbezug aller wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Bestandteile. Je nach Art des zu betrachtenden Systems schließen sich darunter verschiedene Unterteilungen an. So ist zu unterscheiden, ob sich auf einen Menschen (Arbeitsperson) bezogen wird, oder beispielsweise auf eine Maschine (Betriebsmittel) (vgl. REFA 2019, S. 193 ff.).

Da es sich bei den Betrachtungen der vorliegenden Arbeit allerdings um die reine Analyse menschlicher Arbeit handelt, sind betriebsmittelbezogene Zeitarten hier nicht von Relevanz (engl. „out of scope“). Erklärt werden daher nachfolgend nur Zeitarten, welche im Rahmen der weiteren Untersuchungen von Relevanz sind (Tab. 19). Beschrieben wird dabei zusätzlich, ob diese im Rahmen der Zeitaufnahmen direkt⁷⁵ zu erfassen (Erhebung „Ja“) oder lediglich für das übergeordnete inhaltliche Verständnis von Relevanz sind (Erhebung „Nein“) (vgl. a.a.O.).

⁷⁵ Festzuhaltender Bestandteil in den Aufnahmeprotokollen; bei „nein“ mglw. indirekt erchenbar.

Tabelle 19 Relevante REFA-Zeitarten im Rahmen dieser Arbeit

(In Anlehnung an: REFA 2019, S. 304 ff.)

REFA-Zeitart	Erhebung	
	Ja	Nein
Prozesszeit (T_p) → Summe aller wertschöpfenden und nicht wertschöpfender Bestandteile eines Prozesses		x
Ist-Zeit → Tatsächlich benötigte Zeit für die Durchführung einer Aufgabe (Methoden gemäß Abs. 2.4.4.3, Abb. 26)		x
Soll-Zeit → Vorgabezeit für die Durchführung eines definierten Arbeitsablaufs (Methoden gemäß Abs. 2.4.4.3, Abb. 26)		x
Tätigkeitszeit (t_t) → Summe aus Haupt- (t_{MH}) und Nebentätigkeitszeiten (t_{MN})		x
Haupttätigkeitszeit (t_{MH}) ⁷⁶ → Direkt wertschöpfend in Hinblick auf Arbeitsfortschritt; Bestandteil der Kernaktivität im Ablaufabschnitt	x	
Nebentätigkeitszeit (t_{MN}) → Unterstützende Tätigkeiten zur Vorbereitung der Durchführung einer Haupttätigkeitszeit (t_{MH}), aber selbst ohne direkten Wertschöpfungsbeitrag (kein Arbeitsfortschritt)	x	
Wartezeit (t_w) → Zeit in der die Tätigkeit unterbrochen ist, ohne dass der Mitarbeiter aktiv weiterarbeiten kann	x	
Grundzeit (t_g) → Summe aus Tätigkeitszeit (t_t) und Wartezeit (t_w)		x
Erholungszeit (t_{er}) → Zeit für Regenerationsphasen des Mitarbeiters unter Berücksichtigung der Belastung ⁷⁷ und gesetzlichen Vorgaben	x	
Persönliche Verteilzeit (t_p) → Zeit für individuelle Bedürfnisse (z. B. Toilettengänge)	x	
Sachliche Verteilzeit (t_s) → Zeitverluste durch organisatorische oder technische Störungen (z. B. Material fehlt)	x	
Verteilzeit (t_v) → Summe aus persönlicher Verteilzeit (t_p) und sachlicher Verteilzeit (t_s)		x
Zeit je Einheit (t_e) → Summe aus Grundzeit (t_g), Erholungszeit (t_{er}) und Verteilzeit (t_v); bezieht sich dabei auf spezifische Ablafeinheit (hier Ablaufstufen) (gemäß Zeitmessmethode = „Einzelzeit“ (t_i), Abs. 5.4.2.3, Tab. 16)	x	
Fortschrittszeit (F) → Zeit, die von Beginn bis zum Abschluss eines bestimmten Arbeitsschritts oder einer definierten Arbeitsfolge vergeht (gemäß Zeitmessmethode Abs. 5.4.2.3, Tab. 16)	x	

⁷⁶ Differenzierung in t_{MH} und t_{MN} nicht Bestandteile aus REFA-Standard: REFA-Ablaufarten.⁷⁷ Begriff gemäß Belastungs-Beanspruchungs-Konzept der Arbeitsphysiologie (Abs. 2.4.2.3, Tab. 6).

Zu beachten ist, dass die Unterscheidung der Tätigkeitszeit (t_t) in Bestandteile der Haupttätigkeiten (t_{MH}) und Nebentätigkeiten (t_{MN}) auf den REFA-Standard der Ablaufarten zurückgeht. Eine entsprechende Unterscheidung im Standard der REFA-Zeitarten gibt es hierzu nicht. Im Rahmen der Datenerhebung mittels der Methode Zeitaufnahme soll dennoch versucht werden, die erfassten Vorgänge innerhalb der Ablaufstufen einem direkten oder indirekten Arbeitsfortschritt zuzuordnen. Diese Entscheidung zielt insbesondere darauf ab, die gewählten Betrachtungsebenen (primär Ablaufstufen, aber auch Teilvorgänge) zu in ihrer Logik validieren. Festgestellt werden soll, ob die Einteilung sinnig ist, oder andere Einteilungen – und somit neue Start- (SZP) und Endzeitpunkte (EZP) (Abs. 4.5) – für weitere Untersuchungen notwendig sind. Der REFA-Standard „Gliederung der Zeit je Einheit“, welcher die inhaltliche Grundlage der Datenerhebung darstellen wird, ist in seinen Bestandteilen nachfolgend dargestellt (Abb. 54).

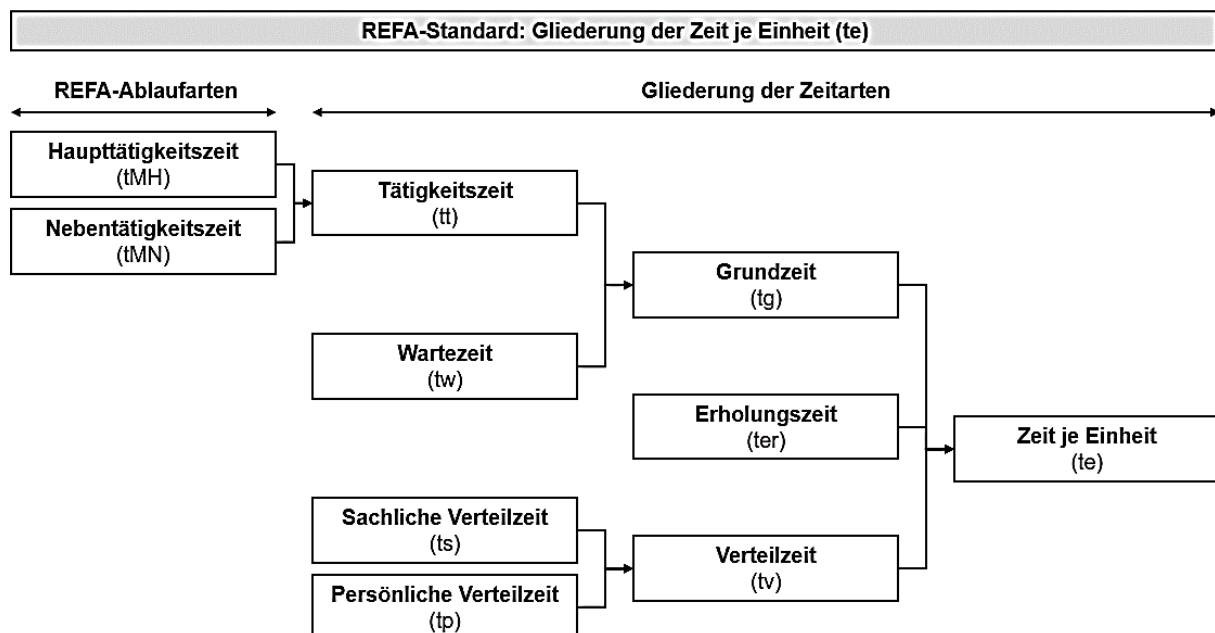


Abbildung 54 Zusammenhang der REFA-Zeitarten

(In Anlehnung an: REFA 2019, S. 319)

Beschrieben wurden somit die Anforderungen an die Protokolle zur Datendokumentation, die Einbindung der Leistungsgradbeurteilung und die Erfassung gemäß REFA-Zeitarten. Den inhaltlichen Abschluss der Vorbereitungen bildet dann die Darstellung des individuellen Aufnahmebogens, welcher hierbei zur Anwendung kommt. Der Aufbau (Abb. 55) mitsamt logischer Struktur⁷⁸ (Tab. 20) der Vorlage sind nachfolgend aufgeschlüsselt.

⁷⁸ Kennzeichnung über „“ in Abb. 55.

Aufnahmeprotokoll REFA-Zeitstudie bei Organisation XY									
1 Aufnahmegrund:									
Datum:		Mitarbeiter:		Startbedingung:					
Cluster:		Beobachter:							
Spülvolumen:									
Ablaufabschnitt				Messwerte			Notiz		
Nr.	Bezeichnung	Start und Endkriterien		Uhrzeit	te	L	Zusätzliche Informationen		
1 Erste Ablaufstufe									
3	1.1 Haupttätigkeitszeit (tMH)	Anfang	Startkriterium	07:00	05m00s	100%	5		
		Ende	Endkriterium	07:05					
	1.2 Haupttätigkeitszeit (tMH)	Anfang	Startkriterium	07:05	02m00s	95%		6	
		Ende	Endkriterium	07:07					
7	1.3 Haupttätigkeitszeit (tMH)	Anfang	Startkriterium	07:07	01m00s	100%		8	
		Ende	Endkriterium	07:08					
	1.4 Nebentätigkeitszeit (tMN)	Anfang	Startkriterium	07:08	02m00s	100%		Anmerkung: Vermerk zur Varianz bezüglich erfolgter Vorgänge (gemäß Prozessmatrix, Abs. 4.2.4.3, Tab. 11)	
		Ende	Endkriterium	07:10					
	1.5 Wartezeit (tw)	Anfang	Startkriterium	07:10	03m00s	-		10	
		Ende	Endkriterium	07:13					
11	1.6 Erholungszeit (ter)	Anfang	Startkriterium	07:13	07m00s	-		13 14	
		Ende	Endkriterium	07:20					
	1.7 Sachliche Verteilzeit (ts)	Anfang	Startkriterium	07:20	04m00s	-		15	
		Ende	Endkriterium	07:24					
	1.8 Persönliche Verteilzeit (tp)	Anfang	Startkriterium	07:24	06m00s	-		16	
		Ende	Endkriterium	07:30					
				Σ tMH	07m00s	100%			
				Σ tMN	01m00s	95%			
				Σ tw	30m00s	-			
				Σ ter	04m38s	-			
				Σ ts	03m12s	-			
				Σ tp	03m12s	-			
				Σ te	41m04s	-			
18	Ergänzung Vorgang 1.9E			19	Ergänzung Σ tMH	01m00s	100%		
					Ergänzung Σ te	01m00s	-		
					Kombiniert Σ tMH	08m00s	95%		
					Kombiniert Σ tw	08m00s	-		
					Kombiniert Σ ts	04m38s	-		
				20	Kombiniert Σ ter	04m38s	-		
					Kombiniert Σ ts	03m12s	-		
					Kombiniert Σ tp	03m12s	-		
					Kombiniert Σ te	46m56s	-		
21	2 Zweite Ablaufstufe								
	2.1 Haupttätigkeitszeit (tMH)	Anfang	Startkriterium	07:30	02m00s	100%	22		
		Ende	Endkriterium	07:32					
1E Erste Ablaufstufe Ergänzung ↑									
23	1.9E Haupttätigkeitszeit (tMH)	Anfang	Startkriterium	07:32	01m00s	100%		24	
		Ende	Endkriterium	07:33					

Abbildung 55 Individuelles Aufnahmeprotokoll
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Tabelle 20 Logik des individuellen Aufnahmebogens
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Pos.	Beschreibung	Pos.	Beschreibung
1	Protokollkopf	2	SZP/EZP-Kriterien (gemäß Abs. 4.5)
3	Benennung der REFA-Zeitarten	4	Uhrzeitangabe zur Kontrolle
5	Ablesezeit und Leistungsgradbeurteilung	6	Vermerk bei zusätzlichen Anmerkungen
7	Kennzeichnung von Tätigkeitsbeeinträchtigungen (Symbol + weiß)	8	Vermerk bei Störung und Konsequenz
9	Keine SZP/EPZ-Kriterien bei Nebentätigkeiten	10	Vermerk des Hintergrunds der Wartezeit (t_w)
11	Kennzeichnung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten	12	Keine SZP/EPZ-Kriterien bei nicht wertschöpfenden Tätigkeiten

13	Keine Leistungsgradbeurteilung bei nicht wertschöpfenden Tätigkeiten	14	Kein Vermerk des Hintergrundes bei Erholungszeiten (t_{er})
15	Vermerk des Störungsgrundes der sachlichen Verteilzeit (t_s)	16	Kein Vermerk des Grundes für persönliche Verteilzeit (t_p)
17	Summe aller Tätigkeitsbestandteile der Ablaufstufe	18	Verweis auf mögliche Ergänzungsvorgänge
19	Aufsummierte Zeiten nach Zeitart der Ergänzungsvorgänge	20	Summe aller kombinierten Tätigkeiten inkl. Ergänzungen
21	Übergang in nächste Ablaufstufe	22	Kein Aufsummieren bei nur einem Bestandteil
23	Kennzeichnung von Ergänzungsvorgängen	24	Beschreibung der ergänzenden Tätigkeiten

5.4.3 Zeitstudie durchführen

Nachdem die Zeitstudie vollumfänglich vorbereitet wurde ([Abs. 5.4.2](#)), schließt sich nach REFA-Standard ([Abs. 5.4.1](#), [Abb. 49](#)) nun die Durchführung an. Inhaltlich wird diese Phase der Zeitstudie durch drei wesentliche Bestandteile definiert: das Prüfen der Durchführbarkeit sowie die Durchführung und den Abschluss der Beobachtungen (vgl. [REFA 2019](#), S. 191–194).

Die Prüfung der Durchführbarkeit sollte im Vorfeld der eigentlichen Datenerhebung über eine Testmessung („*Pilot-Test*“) realisiert werden. Hierbei wird eine erste Zeitaufnahme durchgeführt, bei der potentielle Probleme im Ablauf des Arbeitsstudiums identifiziert werden sollen. Zu überprüfen sind dabei insbesondere folgende Teilaspekte:

- Praktikabilität der aufgestellten Prozessmodelle unter realen Bedingungen ([Abs. 4.4](#)),
- Effektivität der vorbereiteten Dokumentationsunterlagen ([Abs. 5.4.2.6](#)),
- Zusammenwirken zwischen dem beobachteten Mitarbeitenden und dem Erhebungsbeauftragten (EB).

Verläuft der Pilot-Test ohne nennenswerte Vorkommnisse, stellt dieser die formale Freigabe für die tatsächlichen Zeitaufnahmen dar. Die Ergebnisse der Testmessung sind grundsätzlich für ungültig zu erklären, da die Validierung des Aufnahmeprozesses zulasten der Genauigkeit und Richtigkeit der Ergebnisse fokussiert wird.

Nach der Prüfung der Durchführbarkeit wird die Datenerhebung systematisch abgewickelt. Der Projektfortschritt sollte dabei über eine Aufnahmetabelle dokumentiert werden, in der die Zeitaufnahmen chronologisch festgehalten werden.

Empfohlene Spalten einer solchen Übersicht umfassen (Abb. 56):

- Laufende Nummer der Aufnahme,
- Bezeichnung des beobachteten Clusters (gemäß Geltungsbereich des Vorhabens, Abs. 3.4.2, Tab. 9),
- Zuordnung des beobachteten Ausführenden (hierbei ist die Genehmigung durch den Betriebsrat zu beachten, Abs. 5.4.2.2),
- Datum der Durchführung,
- Spalte für ergänzende Vermerke (z. B. Besonderheiten, Unterbrechungen).

Projektfortschritt REFA-Zeitstudie bei Organisation XY									
Lfd. Nr.	Datum	Cluster →	A	B	C	D	E	Beobachtete Person	Hinweis
1	01.01.2026		0 *					M. Mustermann	* Pilot-Test
2	02.01.2026		1				1 *	F. Musterfrau	* Mehrfachaufnahme
3	03.01.2026			1				F. Musterfrau	
4	04.01.2026					1	1 *	J. Doe	* Mehrfachaufnahme
5	05.01.2026		2					M. Mustermann	
n	06.01.2026		3 *					J. Doe	* Neupersonal
			3/10	1/10	0/10	1/10	2/10		
			30%	10%	0%	10%	20%		

Abbildung 56 Fortschrittsüberwachung der Datenerhebung

(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

In der praktischen Umsetzung von Arbeitsstudien – insbesondere wenn diese als sekundäres Arbeitsziel neben dem regulären Tagesgeschäft verfolgt werden – ist mit Abweichungen vom ursprünglichen Erhebungsplan zu rechnen. Ursachen hierfür können eine niedrige Priorisierung des Vorhabens im operativen Alltag, eingeschränkte Verfügbarkeit von Prozesseignern durch Krankheit, Urlaub oder Vertretungen, eine unregelmäßige Taktung der zu beobachtenden Prüfzyklen sowie begrenzte Zeitkorridore des EB sein. In solchen Fällen kann es vorkommen, dass der angestrebte Erhebungszeitraum oder der definierte *Mindest-Stichprobenumfang* (Abs. 5.4.2.5) nicht vollständig eingehalten werden kann.

Als Best Practice empfiehlt sich in diesem Fall eine offene Bewertung der erhobenen Datenmenge hinsichtlich ihrer Eignung zur Zielerreichung (Abs. 5.2). Wird die Datenmenge zudem vorzeitig als ausreichend beurteilt, kann in Abstimmung mit der verantwortlichen Führungskraft zudem ein früheres Ende der Erhebungsphase beschlossen werden. Zu beachten ist, dass der REFA-Standard eine klare zeitliche Trennung von Datenerhebung und Datenanalyse vorsieht (REFA 2019, S. 170 f.). Ist diese Trennung aufgrund von Verzögerungen nicht mehr realisierbar, kann eine parallele Abhandlung beider Phasen pragmatisch vertretbar sein – dies sollte jedoch stets transparent dokumentiert und methodisch begründet werden.

5.5 Zeitdatenanalyse

5.5.1 Bestimmung einer konkreten Datenanalyselogik

Es schließt sich somit die Analyse der Zeitdaten, bzw. allgemein des Arbeitsstudiums an. Wie zu vorherigem Zeitpunkt ([Abs. 5.4.1](#)) bereits beschrieben, soll die Datenanalyse einen eigenen inhaltlichen Punkt darstellen. Dazu ist auch hier wieder eine konkrete Vorgehensweise zu bestimmen. Das REFA-Institut verweist zur Auswertung von Zeitstudien erneut auf einen eigenen REFA-Standard (*„REFA-Standard zur Auswertung von Zeitstudien“*, vgl. [REFA 2019](#), S. 195).

Die Standardprozedur sieht dabei sieben Schritte vor (vgl. [a.a.O.](#)):

1. Prüfung der Aufnahmedaten auf Richtigkeit und Vollständigkeit,
2. Ist-Einzelzeiten berechnen,
3. Statistische Auswertung (separater REFA-Standard),
4. Soll-Zeiten berechnen,
5. Grundzeiten (t_g) ermitteln,
6. Zeit je Einheit (t_e) bestimmen,
7. Dokumentation.

Generell soll sich in der übergeordneten Auswertungslogik an dieser Empfehlung orientiert werden. Arbeitsstudien, die mehrere Ablaufvarianten gleichzeitig betrachten (wie hier z. B. die Clusterbetrachtung, [Abs. 3.4.2](#), [Tab. 9](#)), weisen jedoch Besonderheiten auf, durch welche sich das Verfolgen einer angepassten Prozedur in Anlehnung an den REFA-Standard empfiehlt. So besteht etwa das Ziel des Vergleichs mehrerer Gesamtabläufe in Form unterschiedlicher Ablaufvarianten. Ein solch pluralistisches Arbeiten ist im REFA-Standard nicht explizit vorgesehen, da dieser auf die Analyse eines einzelnen Ablaufes abzielt. Die erhobenen Daten sollen hierbei sowohl variantenspezifisch als auch ganzheitlich betrachtet werden. Hinzukommt, dass niedrige Stichprobenumfänge sehr wahrscheinlich keine statistische Standardbewertung gemäß Normalverteilung zulassen. Damit gehen zudem entsprechende Adaptionsbedarfe bei der Soll-Zeiten-Definition einher. Des Weiteren ist eine tiefgehende Analyse der Tätigkeitsstruktur gefordert. Weitere Untersuchungen bezüglich der Wertschöpfungs- und Verteilzeitenstruktur sowie der dahinterstehenden Störeinflüsse müssen zusätzlich in die Datenanalyse einbezogen werden. Vor diesen Hintergründen empfiehlt sich eine zweistufige Auswertungslogik, die sich übergeordnet am REFA-Standard zur Auswertung von Zeitstudien orientiert und gleichzeitig die genannten zusätzlichen Anforderungen integriert.

Die zweistufige Auswertungslogik sieht als erstes das Zusammenführen der einzelnen Aufnahmeprotokolle je Variante (Cluster) vor. Diese sollen als Einzelaufnahmen ausgewertet und als Datensätze für weitere Untersuchungen kompakt aufbereitet werden. Dabei sollen zudem alle Störeinflüsse herausgearbeitet und in einer Übersicht im *Ursache-Wirkungs-Diagramm* (Ishikawa) zusammengetragen werden. Für alle erhobenen Daten einer Ablaufvariante ist zudem eine erste Betrachtung der statistischen Sicherheit vorzunehmen, um auf eventuelle Fehler in der Datenbasis reagieren zu können. Zusätzlich sollen erste Auswertungen zur mittleren Tätigkeitsstruktur und möglichen Plankapazitäten erfolgen, die regelbasiert errechnet werden, um ein vorläufiges Bild über die Verteilung zu erhalten. Beide haben dabei informatorischen Charakter und schließen die separierten variantenspezifischen Auswertungen ab.

In die nachgelagerte Gesamtauswertung aller Ablaufvarianten werden die relevanten Daten aus den Einzelauswertungen zusammenfassend übertragen. Die variantenspezifischen Datensätze, bestehend aus Aufnahmedaten und statistischen Bewertungen, bilden dabei die Zeitdatenbasis. Aus den gebündelten Daten sollen anschließend Soll-Zeiten definiert und Plandaten für Bestandsprojekte abgeleitet werden. Geprüft wird dabei die Vergleichbarkeit einzelner Ablaufstufen, um vereinfachte Aussagen im nachgelagerten Prognosemodell treffen zu können. Per *Regressionsanalyse* (gemäß [Abs. 2.4.4.3](#)) soll das Prognosemodell zudem um Aussagen für potenzielle Neuprojekte erweitert werden. Ebenso sollen alle nicht wertschöpfenden Bestandteile der Aufnahmen bewertet werden. Hierbei sollen insbesondere die Vorkommnisse nicht wertschöpfender Zeiten nach REFA-Zeitarten untersucht werden. Die Erkenntnisse einer ganzheitlichen Stillstandszeitenanalyse sollen die Prognosemodelle komplettieren und die Ableitung von REFA-Planzeitelementen ermöglichen. Die in den Einzelauswertungen erfassten Störeinflüsse werden abschließend in die Gesamtauswertung übertragen, zusammengefasst und in einem kombinierten Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa) dargestellt. Darauf aufbauend sind Handlungsempfehlungen zur Abstellung der identifizierten Störungen zu formulieren.

Die empfohlene Vorgehensweise ist in der nachfolgenden Abbildung schematisch dargestellt ([Abb. 57](#)). Nachfolgend sollen die einzelnen Auswertungsschritte in ihren konkreten Bestandteilen näher eingeordnet werden. Im Volltext werden diese dazu verbal beschrieben und anhand eines Referenzbeispiels dargestellt

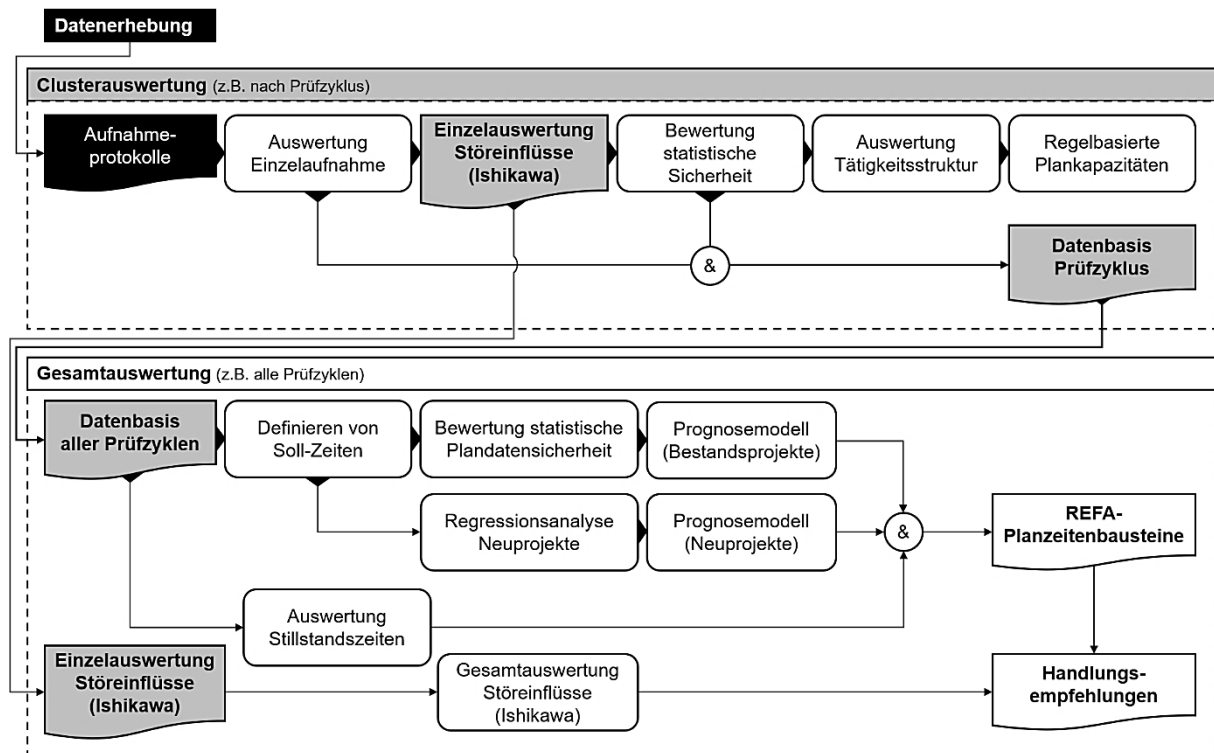


Abbildung 57 Referenz-Analyselogik zum Arbeitsstudium
(Eigene Darstellung)

5.5.2 Clusterauswertung

5.5.2.1 Auswertung von Einzelaufnahmen

Wie soeben geschildert ([Abs. 5.5.1](#)) empfiehlt es sich, die variantenspezifischen Betrachtungen (nach Cluster) mit der Auswertung der *Einzelaufnahmen* zu beginnen. Für die Auswertung bietet sich der Einsatz einer Tabellenkalkulationsanwendung an, über die zunächst jeweils eine Protokollzusammenfassung erstellt werden sollte. Dabei können die Aufnahmeprotokolle über Bezüge mit einer standardisierten Tabelle verknüpft werden. Über logische Funktionen ⁷⁹ lässt sich die Tabelle mitsamt ihrer sexagesimalen ⁸⁰ Ausgangsdaten auslesen und in eine dezimale Version mit Angaben in Industrieminuten (HM) überführen. Die sich daraus ergebende dezimale Protokollzusammenfassung sollte zusätzlich Fortschrittszeiten errechnen und die Aufnahmezeiten mit ihren zugeordneten Leistungsgraden (gemäß [Abs. 5.4.2.7](#)) ins Verhältnis setzen. Als Ergebnis ergibt sich eine Übersicht der modellierten Ablaufstufen ([Abs. 4.4.2](#)) mit Zuordnung von Zeitbestandteilen gemäß einzubeziehender REFA-Zeitarten (nach REFA-Standard Zeit je Einheit: [Abs. 5.4.2.7](#)) unter Berücksichtigung der Leistungsgrade.

⁷⁹ Beispielsweise WENN-Funktionen in Microsoft Excel.

⁸⁰ Zahlensystem zur Basis 60, hier Standardzeitformat mit 60 Sekunden zu einer Minute etc.

Ergänzend empfiehlt sich die Ausgabe eines Tätigkeitsstrukturdiagramms, welches die Tätigkeitskomposition der jeweiligen Einzelaufnahme visualisiert und so einen schnellen Überblick über die Verteilung wertschöpfender und nicht wertschöpfender Anteile ermöglicht. Die Ergebnisübersicht und das Tätigkeitsstrukturdiagramm bilden gemeinsam den empfohlenen Abschluss dieser Auswertungsphase und sind nachfolgend exemplarisch dargestellt (Abb. 58 und Abb. 59).

Zeitbestandteile nach REFA →	Haupt-tätigkeitszeit (t ^H L)	Neben-tätigkeitszeit (t ^N L)	Tätigkeitszeit (t ^T L)	Wartezeit (tw)	Persönliche Verteilzeit (tp)	Sachliche Verteilzeit (ts)	Verteilzeit (tv)	Erholungszeit (ter)	Zeit je Einheit (te ^L)	Fortschrittszeit (F ^L)
Ablaufstufe ↓										
Ablaufstufe 1	14,61	0,00	14,61	24,22	0,00	43,05	43,05	0,00	81,88	81,88
Ablaufstufe 2	8,13	0,00	8,13	21,23	4,67	0,00	4,67	0,00	34,03	115,91
Ablaufstufe 3	15,46	0,00	15,46	0,00	0,00	9,23	9,23	0,00	24,69	140,60
Ablaufstufe 4	11,88	0,00	11,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,88	152,48
Ablaufstufe 5	3,13	0,00	3,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,13	155,62
Ablaufstufe 6	4,23	0,00	4,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,23	159,85
Ablaufstufe 7	14,25	0,00	14,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,25	174,10
Ablaufstufe 8	22,97	0,00	22,97	9,75	5,42	15,38	20,80	0,00	53,52	227,62
Ablaufstufe 9	2,12	0,00	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,12	229,73
Ablaufstufe 10	6,78	0,00	6,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,78	236,52
Ablaufstufe 11	8,13	0,00	8,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,13	244,65
Ablaufstufe 12	6,23	0,00	6,23	22,23	12,25	0,00	12,25	0,00	40,72	285,37
Ablaufstufe 13	20,93	0,00	20,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,93	306,29
Ablaufstufe 14	12,33	0,00	12,33	0,00	8,78	12,00	20,78	0,00	33,12	339,41
Ablaufstufe 15	4,64	0,00	4,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,64	344,05
Σ Gesamtablauf	155,83	0,00	155,83	77,43	31,12	79,67	110,78	0,00	344,05	

Abbildung 58 Ergebnisübersicht zur Auswertung von Einzelaufnahmen
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

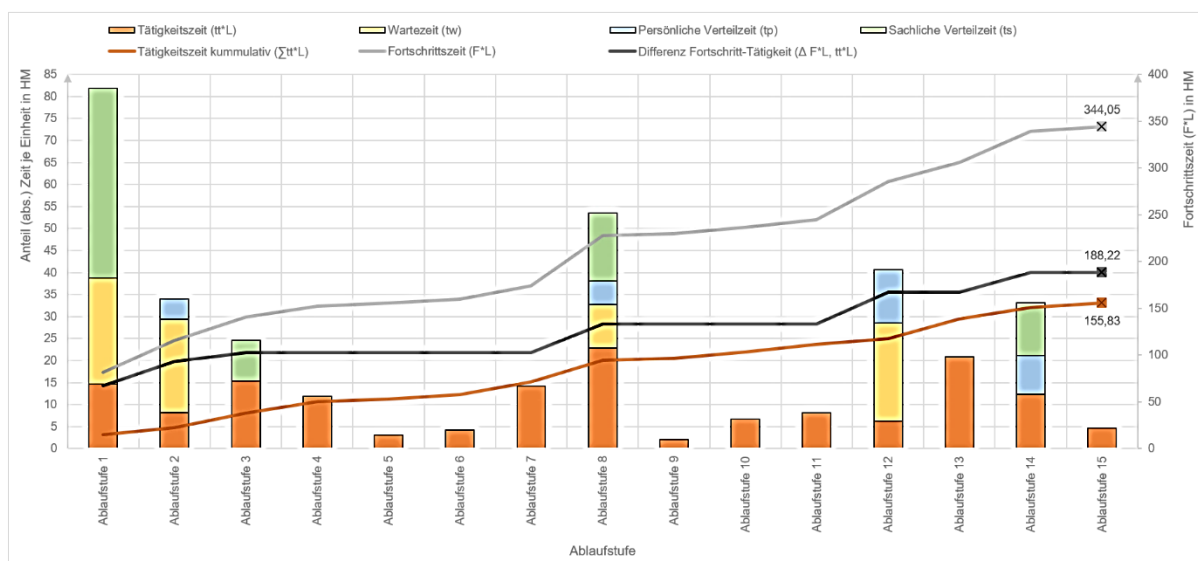


Abbildung 59 Tätigkeitsstrukturdiagramm zur Auswertung von Einzelaufnahmen
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

5.5.2.2 Auswertung von Störeinflüssen nach Cluster

Als nächster Schritt der variantenspezifischen Auswertungen empfiehlt sich das Zusammentragen der identifizierten *Störeinflüsse*. Hierzu bietet es sich an, die in den Protokollen separat gekennzeichneten Störungen in einem Ishikawa-Diagramm (auch Fischgräten- oder Ursache-Wirkungs-Diagramm) zusammenzufassen und die Störquellen nach der 6M-Methode zu klassifizieren. Diese sieht eine Einteilung der Ursachen nach den Kategorien Mensch, Methode, Maschine, Material, Management und Milieu vor (vgl. [Helmold 2021b](#), S. 231 f.).

Ziel dieses ganzheitlichen Ansatzes ist die Herstellung einer strukturierten Übersicht, welche weiterführende systematische Analysen zulässt. Auf diese Weise soll vermieden werden, dass wesentliche Aspekte bei der Problemlösung außer Acht gelassen werden. Der gleichgewichtige Einbezug technischer, menschlicher und organisatorischer Faktoren dient dabei nicht nur einer ganzheitlichen Betrachtung, sondern ermöglicht zudem interdisziplinäre Lösungsansätze. Die klare Kategorienstruktur erleichtert die Diskussion und Zusammenarbeit von Teams aus unterschiedlichen Fachbereichen und erlaubt eine effektive Ursachenforschung, durch welche identifizierte Störursachen nach Kategorien priorisiert werden können. Ein exemplarisches Ergebnis dieser Auswertungsphase ist nachfolgend dargestellt (Abb. 60).

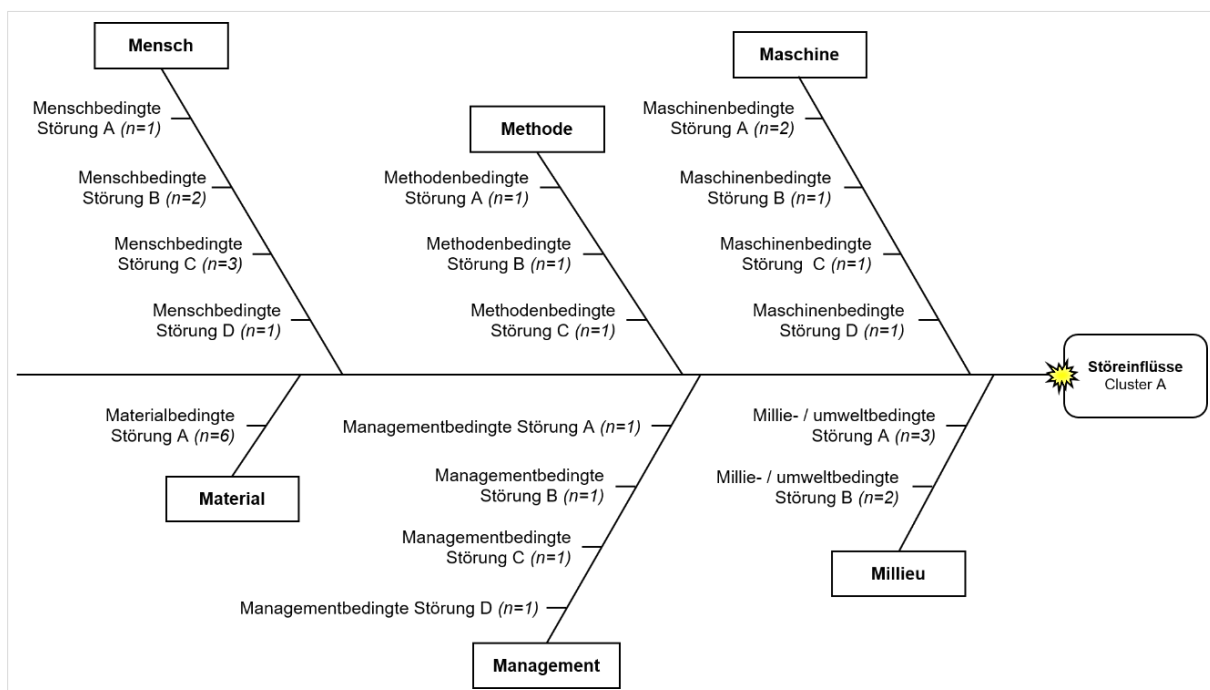


Abbildung 60 Ishikawa-Diagramm zur Störgrößenauswertung nach Cluster
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

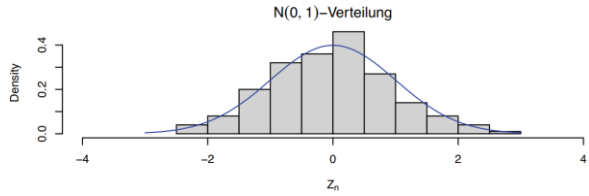
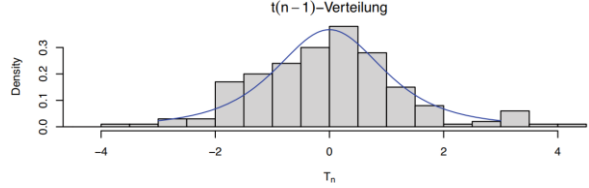
5.5.2.3 Statistische Sicherheit einzelner Cluster

Es schließt sich die Bewertung der statistischen Sicherheit für die Aufnahmen innerhalb einzelner Cluster an. In der standardisierten REFA-Vorgehensweise werden Stichprobenumfänge (n) immer weiter ausgebaut, bis die angestrebten Zielgrößen in Form der gewünschten relativen Vertrauensbereiche (ϵ) erreicht werden (vgl. REFA 2019, S. 195). Im Rahmen dieser Arbeit wurde beschlossen mit begrenzten Ressourcen zu arbeiten (Minimalprinzip) und die im Umkehrschluss erreichte statistische Sicherheit eine Ausgabegröße dieser Studie ist (gemäß Abs. 5.4.2.5). Das Vorgehen dieser Arbeit variiert hierbei entsprechend.

Die Bewertung der statistischen Sicherheit in der Projektauswertung stellt dabei lediglich eine erste Einordnung dar. So ist das Ziel dieser Einordnungen zu prüfen, inwiefern die erhobenen Daten die Bestimmung eines genauen Mittelwertes ($\bar{x}$) für die erfassten Tätigkeitszeiten (unter Einbezug des Leistungsgrades) zulassen ($\bar{(t^*L)}$). Die hier angestrebten Untersuchungen stellen also eine reine *Lagebetrachtung*⁸¹ dar. Zur Analyse der zentralen Tendenz der Häufigkeitsverteilung empfiehlt es sich, die Einzelwerte der Tätigkeitszeiten (t^*L) aus den Auswertungen der Einzelaufnahmen (Abs. 5.5.2.1) zu übertragen und daraus Mittelwerte ($\bar{(t^*L)}$) zu bilden. Deren Sicherheit sollte anschließend über die Parameter der Standardabweichung (Std Dev) und des Standardfehlers (SE) untersucht werden. Ergänzend empfiehlt sich die Einordnung der Konfidenzintervalle (KI, analog zu Vertrauensbereichen) der Mittelwerte für die Wahrscheinlichkeiten von 75 %, 80 %, 90 %, 95 % und 99 %.

Für die Berechnung dieser Konfidenzintervalle empfiehlt sich bei kleinen Stichprobenumfängen die Anwendung der t-Verteilung nach Student⁸², da diese die zusätzliche Unsicherheit kleiner Stichproben durch breitere Verteilungsränder angemessen berücksichtigt (Tab. 21, vgl. Papula 2024, S. 435 ff.; vgl. Kohn, Öztürk 2022, S. 265 ff.).

Tabelle 21 Standardnormalverteilung und t-Verteilung nach Student
(Quelle: Kohn, Öztürk 2022, S. 267)

Verteilung	Verteilungskurve
Standardnormalverteilung N(0, 1)-Verteilung	
t-Verteilung nach Student t(n - 1)-Verteilung	

Pauschal betrachtet ist die t-Verteilung gegenüber der Normalverteilung nach Gauß bis zu einem Stichprobenumfang von etwa 30 vorzuziehen. Mit zunehmender Stichprobengröße ($n \rightarrow \infty$) nähert sich die t-Verteilung der Normalverteilung an. Die Berechnung von Konfidenzintervallen in der Normalverteilung erfolgt über einen fixen Z-Wert. Die Berechnung für die t-Verteilung erfolgt hingegen über t-Werte, welche abhängig vom Signifikanzniveau (z. B. einer Wahrscheinlichkeit von 90 %) und den Freiheitsgraden ($df = n-1$) sind.

⁸¹ Betrachtung von statistischen Kennzahlen zur Beschreibung des Zentrums einer Datenmenge.

⁸² „Student“ als Pseudonym des englischen Statistikers William Sealy Gosset.

Zur Bestimmung dieser t-Werte empfiehlt sich der Rückgriff auf eine entsprechende t-Tabelle, in der die t-Werte über die Zuordnung beider Größen abgelesen werden können. Eine solche Tabelle sollte für eine zweiseitige Verteilung bis zu einem Stichprobenumfang von etwa 30 ($df = 29$) vorgehalten werden und die für die statistische Bewertung relevanten p-Quantile zwischen 75 % und 99 % abdecken. Für sämtliche weiteren Analysevorhaben kann bei der Auslegung t-verteilter Untersuchungen auf eine derartige Tabelle zurückgegriffen werden (vgl. Papula 2024, S. 435 ff.; vgl. Kohn, Öztürk 2022, S. 265 ff.). Eine entsprechende Tabelle mit t-Werten ist dem Anhang beigelegt (Anl. 5).

Die Größen zur Bewertung der statistischen Sicherheit der erhobenen Daten innerhalb der variantenspezifischen Auswertungen sind nachfolgend dargestellt (Tab. 22). Die Kurzzusammenfassung beschreibt dabei die Aussagen hinter den Kennwerten, die Formeln zur Berechnung sowie ein Anwendungsbeispiel zur Veranschaulichung.

Tabelle 22 Statistische Größen zur Sicherheitsbewertung der Projektauswertung
(In Anlehnung an: Papula 2024, S. 438 ff.)

Mittelwert ($\bar{x}$)			
Formel 2	Mittelwert	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	x_i Einzelner Wert in der Stichprobe n Stichprobenumfang ⁸³
Der <i>Mittelwert</i> gibt den Durchschnittswert eines Datensatzes an. Im vorliegenden Anwendungsfall wird der Mittelwert der Einzelwerte von Tätigkeitszeiten (t_i) unter Beachtung des Leistungsgrades (L) zusammengeführt (zu $\bar{t}(L)$). Dieser Wert bildet die Grundlage zur Orientierung in der späteren Definition von Soll-Zeiten.			
Standardabweichung (σ) ⁸⁴			
Formel 3	Standardabweichung	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$	
Die <i>Standardabweichung</i> ist ein Maß für die Streuung der Werte eines Datensatzes um den erfassten Mittelwert. Untersucht wird die Standardabweichung der Einzelwerte von Tätigkeitszeiten (t_i). Innerhalb der Auswertungen wird somit die relative Streuung der erhobenen Stichproben geprüft. Die Standardabweichung hat hierbei lediglich die Funktion als Indikator. Ein hohes σ -Maß kann z. B. für Messfehler bei der Zeitaufnahme oder Prozessdefinition (Abs. 4) stehen. Zusätzlich ist die Standardabweichung eine rechnerische Grundlage für die weiteren Untersuchungen (Standardfehler und Konfidenzbetrachtung).			

⁸³ Einmalige Definition von Formelzeichen insofern keine abweichende Doppelverwendung.

⁸⁴ Zum Teil auch als „Std Dev“ oder „s“ bezeichnet.

Standardfehler (SE)**Formel 4**

Standardfehler

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Der *Standardfehler* (engl. Standard Error, SE) ist Maß für die Genauigkeit des Mittelwerts als Schätzwert ($\bar{x}$) der Grundgesamtheit (N). Der SE gibt somit Aufschluss über die statistische Annäherung des Stichprobenmittelwertes gegenüber dem wahren Mittelwert aller theoretisch möglichen Werte (Grundgesamtheit). In der Auswertung der vorliegenden Arbeit hat der SE somit eine Kontrollfunktion.

Überwacht werden soll die Einhaltung einer angestrebten Messgenauigkeit, die im Vorfeld der Studie definiert wurde ([Abs. 5.4.2.6](#)). Für eine solche Bewertung empfiehlt sich ein Ampelsystem auf Basis des Standardfehlers (SE): Ein Ablaufabschnitt kann als „sicher“ (grün) eingestuft werden, wenn der SE höchstens die Hälfte der angestrebten Messgenauigkeit beträgt. Liegt der SE zwischen der halben und der vollen angestrebten Messgenauigkeit, empfiehlt sich eine Einstufung als „bedingt sicher“ (gelb). Überschreitet der SE die angestrebte Messgenauigkeit, gilt der Ablaufabschnitt als „unsicher“ (rot), da eine Soll-Zeiten-Definition im gewünschten Raster dann nicht zuverlässig möglich ist und der Mittelwert in seiner Lage als zu unsicher anzusehen ist.

Ein mögliches Beispiel wäre eine gewünschte Genauigkeit von fünf HM. Hierbei wäre die Einstufung eines Ablaufabschnitts als „sicher“ (grün) bei $SE \leq 2,5$ HM. Im Bereich von $2,5 < SE < 5,0$ HM würde eine Einstufung als „bedingt sicher“ (gelb) vorgenommen. Eine Überschreitung des SE von fünf HM ($SE > 5,0$ HM) würde hingegen als „unsicher“ (rot) angenommen, da eine Soll-Zeiten-Definition im Fünf-Minuten-Raster somit nicht möglich wäre. Die beispielhafte Ausführung ist über die exemplarische Referenz

Konfidenzintervall (auch: Vertrauensbereich)**Formel 5**Konfidenzintervall
(t-Verteilung)

$$KI(min), KI(max) = \bar{x} \pm t * SE$$

Formel 6Konfidenzintervall
(Normalverteilung)

$$KI(min), KI(max) = \bar{x} \pm z * SE$$

t Kritischer t-Wert (t-Quantiltabelle, [Anl. 5](#))

z Kritischer z-Wert (z-Quantiltabelle, [Anl. 6](#))

Das *Konfidenzintervall* (KI) gibt den Bereich an, in dem der wahre Mittelwert der Grundgesamtheit (N) mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (P) liegt. Das KI ist damit neben dem Standardfehler (SE) ein wesentliches Maß zur Lagebewertung. Im Gegensatz zum SE ist das KI als konkret anzusehen: Während der SE einen indirekten Parameter darstellt, lässt sich die Lage über die Konfidenzbetrachtung gezielt eingrenzen. Innerhalb der variantenspezifischen Auswertung ist die Betrachtung von KI-Grenzen (min, max) jedoch lediglich als Indikator zu verstehen.

Für die grafische Darstellung der Aussagekraft der Stichprobe empfiehlt sich die Übernahme der Konfidenzniveaus von 75 %, 80 %, 90 % und 95 % in das entsprechende Diagramm (Referenz in [Abb. 61](#)). Auf diese Weise wird der Anforderung nachgekommen, die statistische Aussagekraft der Stichproben bei begrenzten Ressourcen ohne Umfangserweiterung angemessen zu prüfen ([Abs. 5.4.2.5](#)). Bei besonders kleinen Datengrundlagen (z. B. $n < 30$) sollte auf eine Darstellung für ein Niveau von $P = 99\%$ hingegen verzichtet werden. Beschränkte Stichprobenumfänge (n) lassen in der Regel hier keine sinnvolle Eingrenzung mehr zu.

In abschließender Betrachtung ist nachfolgend eine exemplarische Ausführung eines Diagramms zur Darstellung der Aussagekraft der Stichprobe dargestellt ([Abb. 61](#)). Zur Veranschaulichung werden als „sicher“ bewertete Ablaufstufen grün dargestellt und „unsichere“ Ablaufstufe rot. In verschiedenen Graustufen einsehbar sind zudem die verschiedenen Konfidenzintervallgrenzen (min, max) für die Niveau von $P=75\%\dots95\%$.

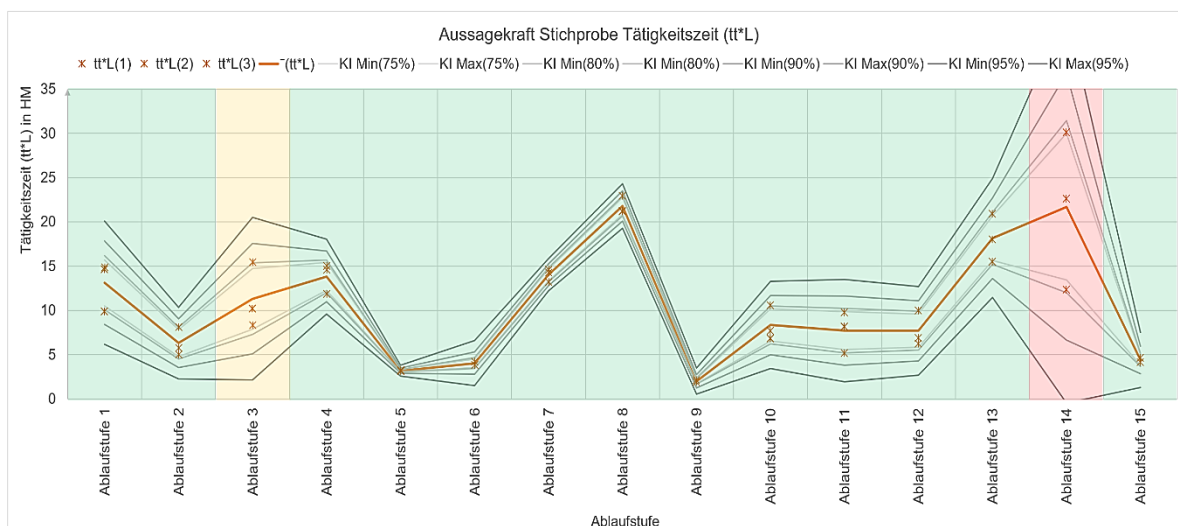


Abbildung 61 Darstellung der statistischen Aussagekraft einer Stichprobe
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Die Bewertung der statistischen Sicherheit sollte jeweils separiert für alle variantenspezifischen Aufnahmen pro ausführender Person sowie zusätzlich für alle ausführenden Personen kombiniert durchgeführt werden. Auf diese Weise können sowohl personenspezifische Arbeitsabläufe als auch der ganzheitliche Ablauf an sich untersucht werden. Bewertungen einzelner Ablaufabschnitte als „bedingt sicher“ (gelb) oder „unsicher“ (rot) stellen in dieser Analysephase noch keinen Handlungsbedarf dar. Erst wenn sich entsprechende Abweichungen in der nachgelagerten Gesamtauswertung bestätigen, sind Konsequenzen zu erwägen.

Sollte bei einer solchen Betrachtung eine größere Abweichung zwischen den ausführenden Personen auffallen, empfiehlt sich eine vertiefte Ursachenanalyse. Eine mögliche Ursache für deutlich geringere Schwankungen der Tätigkeitszeiten einer Person im Vergleich zu einer anderen kann etwa darin liegen, dass nicht die tatsächlich geforderten, sondern vereinfachte oder pauschalisierte Vorgaben (z. B. ein einheitliches Volumen statt variierender, prüfraumspezifischer Vorgaben) angewendet wurden. Eine solche Abweichung vom Soll-Prozess fällt häufig erst nachträglich auf.

Wird eine solche Abweichung identifiziert, empfiehlt sich eine ergänzende Aufnahme unter korrekter Anwendung der Soll-Vorgaben, um anschließend das Korrelationsverhalten zwischen den Aufnahmen der beteiligten Personen unter Anwendung korrekter Vorgaben zu untersuchen. Hierzu kann der *Korrelationskoeffizient* nach Bravais-Pearson (r) herangezogen werden (Formel 7). Eine moderate bis mittelstarke Korrelation ($r \approx 0,5\text{--}0,7$) deutet darauf hin, dass trotz individueller Unterschiede ein konsistenter Zusammenhang zwischen den Aufnahmen besteht und die Datenbasis grundsätzlich für die weitere Auswertung geeignet ist.

Formel 7 Korrelationskoeffizient
nach Bravais-Pearson
(Quelle: Papula 2024, S. 315)

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

x_i Werte des Variablenpaares x
 $\bar{x}$ Mittelwert des Variablenpaares x
 y_i Werte des Variablenpaares y
 $\bar{y}$ Mittelwert des Variablenpaares y

Sollten bei Aufnahmen mit fehlerhaft angewendeten Vorgaben verlässliche Verhältniszusammenhänge zu den korrekt angewendeten Vorgaben bestehen, können diese Aufnahmen über eine Verhältnisgleichung korrigiert werden. Die korrigierten Aufnahmen sollten anschließend in einer Korrelationsmatrix mit den korrekt durchgeführten Aufnahmen aller beteiligten Personen paarweise verglichen werden.

Lassen sich dabei starke bis sehr starke Korrelationsverhältnisse nachweisen, kann dies für Ablaufstufen eines manuellen Arbeitsprozesses als ausreichender Nachweis für eine Validierung der Korrektur angenommen werden. Die rückwirkend korrigierten Daten können in diesem Fall vollumfänglich in das Arbeitsstudium einbezogen werden. Die geprüften Korrelationsverhalten sollten in jedem Fall dokumentiert und grafisch dargestellt werden. Nachfolgend ist eine exemplarische Darstellung eines solchen Abgleiches gegeben (Abb. 62).

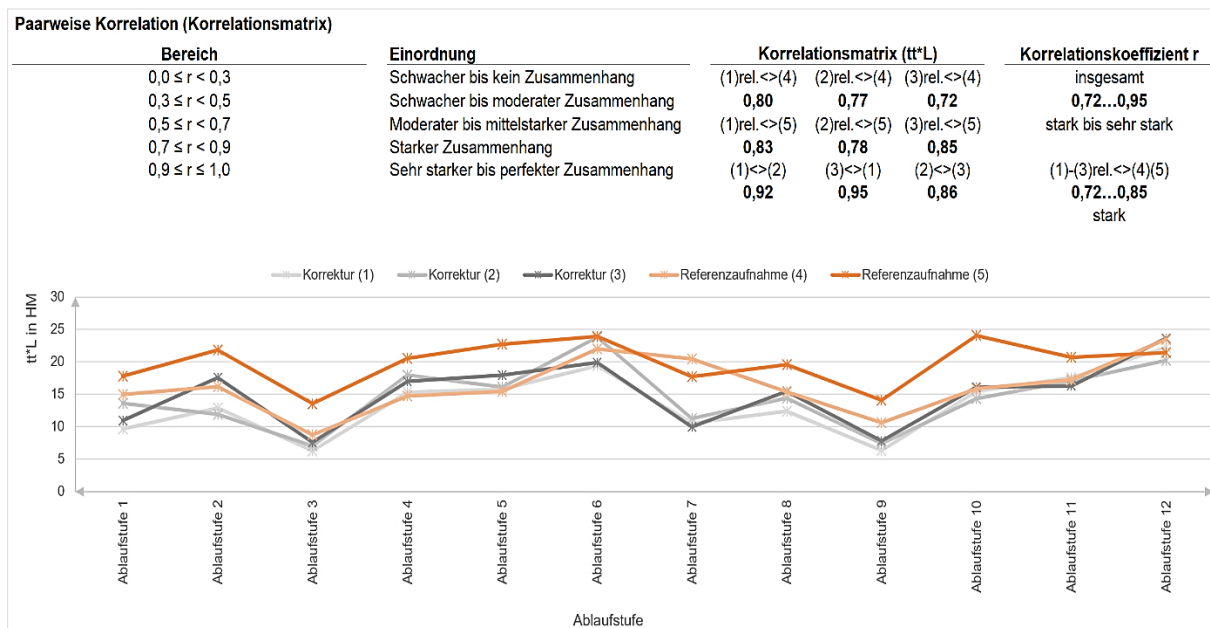


Abbildung 62 Korrelationsanalyse zur Arbeit mit korrigierten Daten
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

5.5.2.4 Auswertung der Tätigkeitsstruktur einzelner Cluster

Im Anschluss an die vorangegangenen Untersuchungen sieht die zu verfolgende Vorgehensweise (Abs. 5.5.1) zwei weitere Analysen von informativem Charakter⁸⁵ vor. Der nächste Arbeitsschritt ist dabei die Analyse der *Tätigkeitsstrukturen* der einzelnen Cluster. Bei der Beobachtung der Arbeitstätigkeit mehrerer Personen empfiehlt es sich, Tätigkeitsstrukturen jeweils personenbezogen sowie kombiniert zu betrachten. Allerdings sind bei der Ableitung personenbezogener Auswertungen zuvor mitgeltende Bestimmungen des Betriebsrates (Abs. 5.4.2.2) zu beachten.

Bei der Betrachtung der Tätigkeitsstrukturen werden die Bestandteile nach REFA-Zeitarten (Abs. 5.4.2.7) für die Ablaufabschnitte auf Ebene der Ablaufstufen (Abs. 4.4.2) untersucht. Die statistische Sicherheitsbeurteilung (Abs. 5.5.2.3) betrachtet Tätigkeitszeiten (t_t) bereits auf zusammengefasster Strukturebene aus Haupt- (t_{MH}) und Nebentätigkeiten (t_{MN}).

⁸⁵ Ergebnisse dienen primär der Prüfung der Plausibilität während des Arbeitsprozesses.

Diese Betrachtungsweise sollte auch hier fortgesetzt werden, sofern eine klare Unterscheidung in t_{MH} und t_{MN} auf Ebene der Ablaufstufen nicht ohne weiteres möglich ist. Um eine effektive Trennschärfe zu gewährleisten, sollten konkrete Definitionen zur Unterscheidung auf Vorgangsebene idealerweise bereits vorab – etwa im Rahmen der vereinfachten Prozessmatrix (Abs. 4.2.4.3, Tab. 11) – getroffen werden. Eine nachträgliche Differenzierung ist unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten häufig kaum sinnvoll umsetzbar; in solchen Fällen empfiehlt sich eine kombinierte Bewertung der Tätigkeitszeiten (t_t).

Die *Tätigkeitsstrukturanalyse* (TSA) sollte neben der Auswertung von Tätigkeitszeiten (t_t) auch erste variantenbezogene Auswertungen der Warte- (t_w), Erholungs- (t_{er}) und Verteilzeiten (t_v) vornehmen. Dabei empfiehlt sich zudem eine Unterscheidung in persönliche (t_p) und sachliche (t_s) Verteilzeiten. Ergänzend sollte der Anteil nicht-wertschöpfender Stillstandzeiten im Arbeitsablauf untersucht werden, indem die Differenz der Tätigkeitszeiten zu allen anderen Zeiten über den Gesamtablauf hinweg betrachtet wird. Als Ergebnis der TSA empfiehlt sich die Ausgabe eines Tätigkeitsstrukturdiagramms, in welchem die Tätigkeitsbestandteile sowie die Differenz von Wertschöpfung und Stillstandzeiten nach Ablaufstufen dargestellt werden. Deren Nutzung wurde bereits im Rahmen der Visualisierung einzelner Aufnahmen empfohlen (Abs. 5.5.2.1, Abb. 59). Ergänzend sollte eine Übersicht der Tätigkeitsstruktur auf Ebene des Gesamtablaufs ausgegeben werden, welche die relativen Anteile aller REFA-Zeitarten in der jeweils gewählten Betrachtung darstellt. Die entsprechenden Darstellungsformen sind nachfolgend exemplarisch abgebildet (Abb. 63 und Abb. 64).

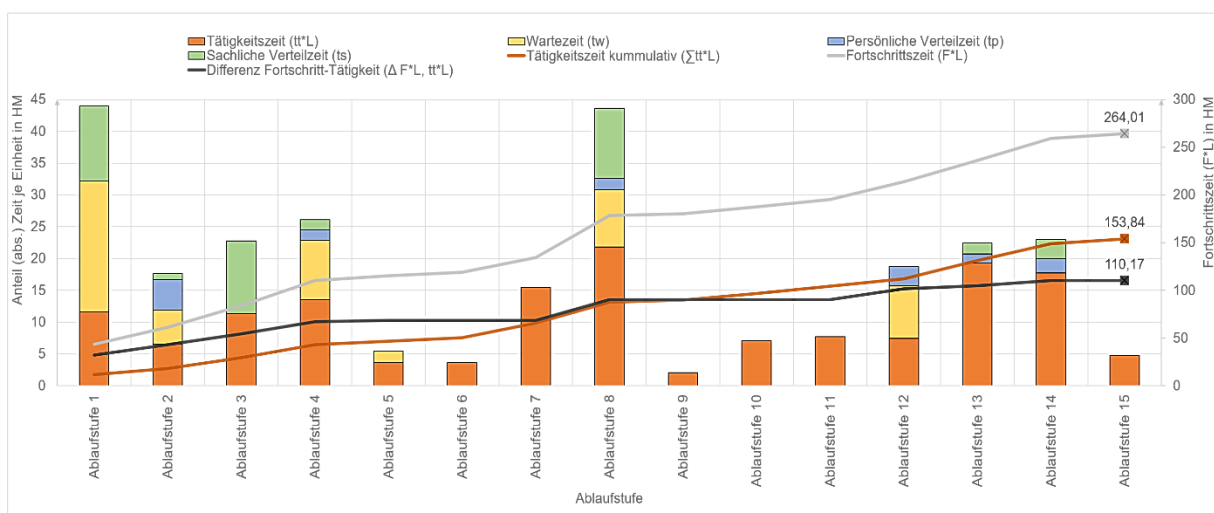


Abbildung 63 Tätigkeitsstrukturdiagramm zur Clusterauswertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

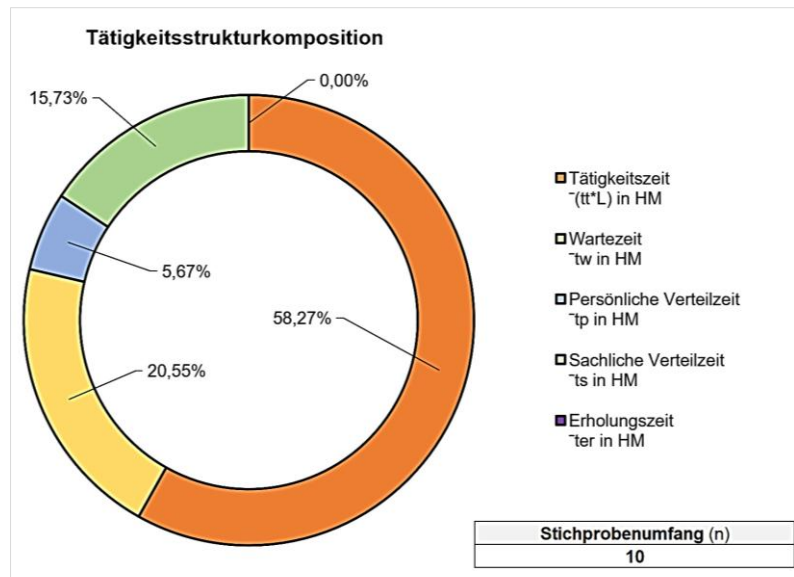


Abbildung 64 Tätigkeitsstrukturkomposition zur Clusterauswertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

5.5.2.5 Ableitung regelbasierter Plankapazitäten einzelner Cluster

Der letzte Bestandteil der clusterspezifischen Auswertung besteht aus der Ableitung *regelbasierter Plankapazitäten* einzelner Ablaufvarianten. Die Ergebnisse sind dabei ebenfalls nur von informativem Charakter, da davon auszugehen ist, dass eine spätere ganzheitliche Betrachtung in der Gesamtauswertung ([Abs. 5.5.3](#)) eine höhere Aussagekraft zulässt. Die Zwischenergebnisse an diesem Punkt dienen daher primär zur Überwachung der bisher getätigten Untersuchungen.

Für die Ableitung informativer Plankapazitäten bezüglich der Tätigkeitszeiten (t_t aus t_{MH} und t_{MN}) bietet sich eine Rundung der Mittelwerte unter Beachtung des Leistungsgrades ($\bar{(t_t * L)}$) auf ein praxisnahes Zeitraster an. Als exemplarische Referenz für eine solche Rundungslogik ist nachfolgend eine mögliche Ausgestaltung dargestellt ([Formel 8](#)). Diese rundet auf ein *5-Minuten-Raster*, bei dem kaufmännisch auf das nächste Vielfache von fünf Minuten gerundet und eine Mindestwertbildung von 5 HM sichergestellt wird. Eine derartige oder vergleichbare Rundungsregel kann je nach betrieblichem Kontext und gewünschter Granularität der Plandaten angepasst werden.

Formel 8 Rundungsregeln der Plankapazitäten (t_t) zur Clusterauswertung
(Eigene Formel, exemplarische Referenz)

$$f(x) = 5 * \max \left(1, \text{round} \left(\frac{x}{5} \right) \right)$$

Ergänzend können Planwerte für alle Formen nicht wertschöpfender Stillstandszeiten (t_w , t_p , t_s , t_{er}) ausgegeben werden. Für diese empfiehlt sich eine einfachere Rundungsregel, bei der die Mittelwerte auf das nächste höhere Vielfache von fünf aufgerundet werden; ein Ausschluss von Nullwerten entfällt hierbei.

Es empfiehlt sich, entsprechende Planwerte für jeden Bestandteil nach REFA-Zeitarten auszugeben. Die Tätigkeitszeiten sollten dabei auf Ebene der Ablaufstufen ausgewiesen werden, während die Prognose für Stillstandszeiten in Relation zum Gesamtablauf beschrieben werden kann. Die Verteilzeiten (t_v) als nicht wertschöpfende Stillstände sollten zudem mit den Werten eines *REFA-Benchmarks* (vgl. [REFA 2025h](#)) verglichen werden. Dabei können persönliche Verteilzeiten bis zu zehn Prozent und sachliche Verteilzeiten bis zu fünf Prozent als unauffällig eingeordnet werden. Eine geeignete Darstellung der Ergebnisse zeigt [Abb. 65](#). Mit diesem Schritt ist die variantenspezifische Auswertung als Betrachtung auf Ebene der einzelnen Ablaufvarianten abgeschlossen.

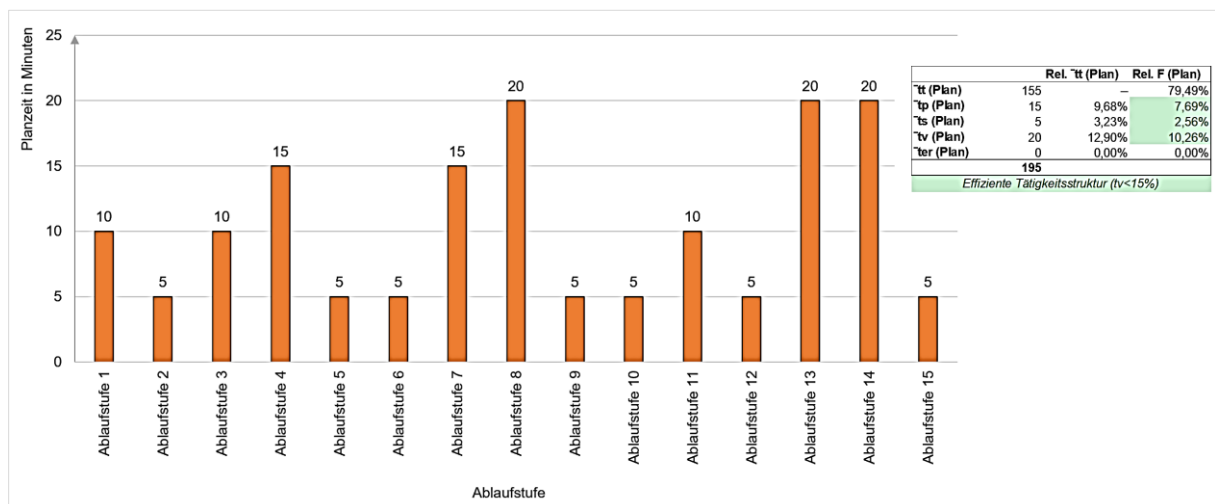


Abbildung 65 Darstellung regelbasierter Plankapazitäten

(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

5.5.3 Gesamtauswertung

5.5.3.1 Soll-Zeiten-Definition in der Gesamtauswertung

Gemäß der definierten Vorgehensweise ([Abs. 5.5.1](#)) folgt auf die Projektauswertung eine ganzheitliche Gesamtauswertung. Ziel dieser Analysephase ist die logische Kombination der Einzeldatensätze aus der Clusterauswertung ([Abs 5.5.2](#)). Damit soll ein vertieftes Verständnis über den Arbeitsablauf der TechSa-Prüfungen als übergeordnete Prozesslandschaft zu erhalten.

In erster Instanz sollten dabei Soll-Zeiten definiert werden (gemäß [Abs. 5.5.1](#), [Abb. 57](#)). Der ganzheitliche Ansatz sieht hierbei die Prüfung der Vergleichbarkeit von Ablaufstufen unterschiedlicher Ablaufvarianten vor. Konkret werden die Ablaufstufen (nach [Abs. 4.4.2](#)) dabei verschiedener Varianten bezüglich ihrer Aufnahmewerte (Tätigkeitszeit t_t) miteinander verglichen, sofern diese den gleichen Teilabläufen (nach [Abs. 4.4.1](#)) zugeordnet sind. Zudem sollte durch den EB geprüft werden, ob sich die Abläufe in ihrer inhaltlichen Logik ausreichend ähneln, um gegebenenfalls eine kombinierte Bewertung zu erfahren. Hierbei kann auf die Erfahrung aus den Aufnahmen vor Ort zurückgegriffen werden. Ziel dieses Vorgehens ist die verallgemeinerte Ableitung von REFA-Planzeitenbausteinen (zu späterem Zeitpunkt, [Abs. 5.5.3.6](#)).

Die Bedingungen hierfür bestehen – neben der strukturellen Analogie enthaltener Vorgänge (Teilmengen der Ablaufstufen, [Abs. 4.2.4.1](#), [Abb. 46](#)) – auch in der statistischen Vergleichbarkeit der Ablaufabschnitte. Zur Bewertung kann auf die Parameter der statistischen Bewertung aus der variantenspezifischen Auswertung zurückgegriffen werden ([Abs. 5.5.2.3](#), [Tab. 22](#)):

- Mittelwert der Tätigkeitszeiten unter Berücksichtigung des Leistungsgrades ($\bar{x}$, bzw. konkret $\bar{t} \cdot L$)
- Standardabweichung (σ / s / Std Dev)
- Standardfehler (SE)
- Grenzen der Konfidenzintervalle bzw. Vertrauensbereiche (KI min, max)

Zur weiteren Einordnung der Ergebnisse empfiehlt sich zudem die Angabe der *Spannweite* (engl. „Range“) zwischen den unteren (min) und oberen (max) *Konfidenzintervallgrenzen*. Als ergänzender Parameter kann der *Variationskoeffizient* (engl. „Coefficient of Variation“, CV, [Formel 9](#)) hinzugezogen werden.

Formel 9	Variationskoeffizient (Quelle: Kohn, Öztürk 2022 , S. 72)	$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$	σ Standardabweichung $\bar{x}$ Stichprobenmittelwert
-----------------	--	-------------------------------	--

Der CV ist als Messwert der relativen Streuung einer Datenreihe im Verhältnis zu ihrem Mittelwert zu betrachten. Er ist dimensionslos und wird als Prozentangabe ausgewiesen. Als Indikator dafür, wie stark die Daten im Vergleich zum Mittelwert variieren, ist er besonders nützlich, um die Streuung von Datensätzen unterschiedlicher Größenordnungen zu vergleichen. Im Rahmen einer Gesamtauswertung kann er zur Bewertung der Prozesshomogenität herangezogen werden und ergänzt die bisher primären Lagebetrachtungen um eine Perspektive der Streuung (vgl. [Kohn, Öztürk 2022](#), S. 72).

Auf diese Weise lässt sich die Vergleichbarkeit der Datensätze prüfen und das Risiko bei der Soll-Zeiten-Definition einordnen. Ein hohes Streuungsverhältnis spricht in diesem Kontext für eine großzügigere Vergabe von Vorgabezeiten („Pufferzeitenprinzip“) (vgl. [Kohn, Öztürk 2022](#), S. 72).

Zu beachten ist, dass die Aussagekraft des CV mit kleineren – insbesondere Mittel- – Werten sinkt. Da der CV eine relative Aussage darstellt, können Schwankungen nahe der Nullgrenze zu einer instabilen Ausprägung führen. Bei negativen Werten ist die einfache Anwendung des Parameters darüber hinaus nicht möglich. Liegt keiner dieser Sonderfälle vor und besteht ein Bewusstsein über die Schwächen der Größe, kann die Streuung vordergründig über den CV betrachtet werden. Ergänzend empfiehlt sich der Einbezug der Schwankungsbreite des wahren Mittelwertes über die Betrachtung des KI-Range (vgl. [a.a.O.](#), S. 72 ff.).

Die jeweiligen Kombinationen der Datensätze sollten zudem in den Ausprägungen ihrer Verteilungen visualisiert werden. Unterhalb der Auflistung von Rohdaten und statistischen Kennwerten empfiehlt sich die Darstellung der Einzel- und Mittelwerte nach Ablaufvariante, wobei die Höhe der Standardabweichung und des Standardfehlers den jeweiligen Varianten zuzuordnen ist. Auf diese Weise sind Lage und Streuung der Stichproben visuell nachvollziehbar.

Für die KI-Grenzen sowie den KI-Range empfiehlt sich die Bezugnahme auf ein Konfidenzniveau von 90 Prozent, da darüberliegende Niveaus für die typischerweise vorliegenden Stichprobenumfänge (n) keine sinnvollen Eingrenzungen mehr zulassen. Der KI-Range übernimmt dabei die Kontrollfunktion des Standardfehlers (SE) aus der variantenspezifischen Auswertung. Da diese Spannweite jedoch sensibler reagiert als der SE allein und an dieser Stelle keine generellen Fehler in der Prozessdefinition und/oder -aufnahme detektiert werden sollen, empfiehlt sich die Definition eigenständiger Regeln, beispielsweise ⁸⁶:

- **Regel 1:** KI-Range (90 %) < 4,0 HM → „sicher“ (grün)
- **Regel 2:** $4,0 \leq \text{KI-Range (90 \%)} \leq 5,0$ HM → „bedingt sicher“ (gelb)
- **Regel 3:** KI-Range (90 %) > 5,0 HM → „unsicher“ (rot)

Diese Einordnungen unterstützen die Spannweitendefinition von Vorgabezeiten.

Für jede angestrebte Zusammenführung von Ablaufstufen sollte abschließend eine Entscheidung formuliert werden. Diese erfolgt zweckmäßigerweise als Abschluss der Definition von Soll-Zeiten in stichpunktartiger Form. Eine geeignete Darstellung des Aufbaus in der ganzheitlichen Definition von Soll-Zeiten zeigt [Abb. 66](#).

⁸⁶ In Anlehnung an ein 5 HM-Raster zur Definition gemäß [Abs. 5.5.2.5](#), [Formel 8](#).

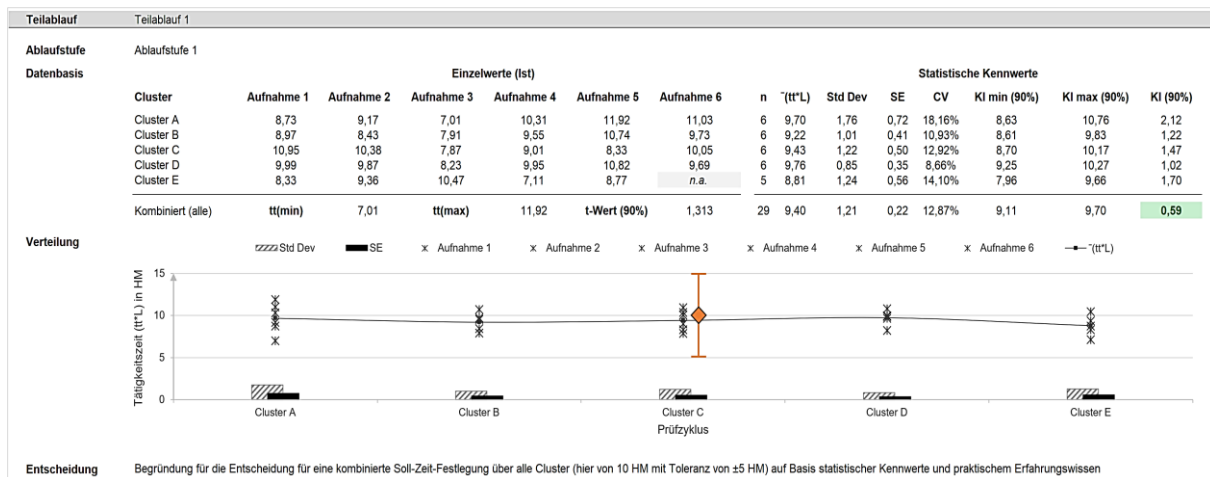


Abbildung 66 Soll-Zeiten-Definition in der Gesamtauswertung

(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

5.5.3.2 Statistische Sicherheit in der Gesamtauswertung

Nachdem nun die Soll-Zeiten für einzelne Ablaufstufen definiert wurden ([Abs. 5.5.3.1](#)), sollen diese erneut einer *Sicherheitsbewertung* bezüglich ihrer statistischen Aussagekraft unterzogen werden. Dies geht – wie schon zuvor in der Projektauswertung ([Abs. 5.5.2.3](#)) – auf die Forderung zurück, die Größen der statistischen Sicherheit als Ergebnisgröße mit auszugeben (gemäß [Abs. 5.4.2.5](#)).

In der Gesamtauswertung empfiehlt sich für die Ablaufstufen die Vornahme von vier unterschiedlichen Betrachtungen. Die ersten drei davon stellen dabei Einzelbetrachtungen bereits verwendeter statistischer Größen dar: des *Stichprobenumfangs* (n), der *Breite* (engl. „Range“) der *Konfidenzintervalle* bei einer Wahrscheinlichkeit (P) von 90 % sowie des *Variationskoeffizienten* (CV). Jeder der drei Kennwerte repräsentiert dabei andere Eigenschaften der Daten einer Ablaufstufe und sollte in der Einzelbetrachtung separat untersucht werden. Dazu werden die genutzten Datensätze zur Plandatenableitung ([Abs. 5.5.3.1](#)) nach Ablaufstufe ausgewertet. Zudem empfiehlt sich jeweils die Erstellung einer Rangfolge in der entsprechenden Betrachtungsperspektive. Die vierte Betrachtung stellt eine kombinierte Einordnung („*Indexbewertung*“) dar, welche alle Informationen zusammenfassend darstellt. Das Vorgehen ist nachfolgend erörtert ([Tab. 23](#)).

Tabelle 23 Methodik zur Bewertung der statistischen Sicherheit von Plandaten
(Eigene Darstellung)

Einzelbetrachtung des Stichprobenumfangs (n)

Der Stichprobenumfang zeigt in dieser Analyse die statistische Basis der erhobenen Daten an. Kleinere Stichproben führen zu größerer Unsicherheit und somit zu einer geringeren Aussagekraft.

Ein größerer Umfang reduziert die Streuung und erhöht die Lagepräzision. Die Größe dient also als Indikator für mögliche schlechte Werte in der nachgelagerten Bewertung von Lage- und Streuungsmaßen. Die Rangfolge der Einzelbetrachtung des Stichprobenumfangs erfolgt durch absteigende Ordnung der Werte der jeweiligen Ablaufstufen.

Einzelbetrachtung der Lage (KI-Range bei Konfidenzniveau von 90%)

Die nächste Betrachtungsdimension erfolgt über die Untersuchung der Spannweiten (engl. „Range“) zwischen unterem (min) und oberem (max) Konfidenzintervall bei einem Konfidenzniveau von 90 Prozent ([Abs. 5.5.2.5](#), [Formel 5](#) und [Formel 6](#)). Darüber liegende Niveaus (z. B. 99 Prozent) eignen sich bei den Stichprobenumfängen des durchgeführten Arbeitsstudiums nicht zur näheren Einordnung. Dies liegt daran, dass sich deren Ranges hierbei zu weit öffnen, um ein Arbeiten unter Beachtung der Maßgabe einer Genauigkeit von fünf HM (gemäß [Abs. 5.4.2.6](#), [Tab. 18](#)) zu gewährleisten. Die Spannweiten der Konfidenzintervalle sind für Laien leicht nachvollziehbar, da es sich hierbei um einen absoluten Wert handelt, welcher – im Gegensatz zu beispielsweise dem Standardfehler (SE) – eine direkte Aussage zulässt. Innerhalb der KI-Ranges von $P=90\%$ lassen sich statistisch die Mittelwerte aus neun von zehn Wiederholungen der Beobachtungen abbilden („wahrer Mittelwert“). Somit eignet sich der Wert hier als Bewertungsgrundlage zur Einordnung der Lagegenauigkeit. Ein möglichst kleiner KI-Range (90%) deutet dabei auf einen präziseren Mittelwert hin und ist somit erstrebenswert. Die Rangfolge dieser Betrachtung ergibt sich entsprechend über eine aufsteigende Ordnung der Ablaufstufen nach dem Wert der sich ergebenden Konfidenzintervallspannweiten (für $P=90\%$).

Einzelbetrachtung der Streuung (Gewichteter CV)

Die letzte Einzelbetrachtung besteht in der Bewertung der Streuung. Hierzu wurde in der vorliegenden Arbeit bisher lediglich ein Maß verwendet: der Variationskoeffizient ([Abs. 5.5.3.1](#), [Formel 9](#)). Er beschreibt die relative Schwankung der Stichproben im Verhältnis zu ihrem Mittelwert. Die geringen Stichprobenumfänge lassen tiefergehende Analysen hier kaum zu. Aus diesem Grund wird der CV auch dieses Mal wieder herangezogen. Er unterliegt im Bewertungsvorgehen allerdings einer kritischen Betrachtung. Hintergrund ist, dass der CV als Maß nicht direkt vergleichbar ist, wenn Mittelwerte stark variieren. Eine absolut höhere Schwankung um einen absolut größeren Mittelwert kann in Relation zu jeweils absolut niedrigeren Schwankungswerten um einen kleineren Mittelwert eine dennoch höhere Relation darstellen.

Zudem ist eine höhere Streuung bei kleinerem Stichprobenumfang anders zu interpretieren als eine hohe Streuung innerhalb großer Stichproben. Grundlage dieser Aussage ist, dass bei größeren Stichproben eine höhere Zuverlässigkeit der statistischen Kennzahlen (etwa der Standardabweichung) zu erwarten ist. Ein hoher Stichprobenumfang sollte die Varianz im Prozess statistisch gesehen besser abbilden. Wenn bei einer großen Stichprobe dennoch erhöhte Streuungen auftreten, deutet dies auf eine tatsächliche Heterogenität/Instabilität der jeweiligen Ablaufabschnitte hin. Um diesen beiden Risiken entgegenzuwirken, wird der CV in dieser Betrachtungsdimension in eine absolute Bewertung übersetzt. Der bisherige Aufbau des CV ([Formel 9](#)) wird um zwei Faktoren ergänzt. Die erste Ergänzung erfolgt über die Wurzel des Stichprobenumfangs ($\sqrt{n}$).

Somit wird die Streuung abhängig von der Anzahl der Datenpunkte gewichtet. Eine größere Stichprobe verstärkt nun den Einfluss auf die Bewertung. Verhindert wird so eine Überbewertung bei kleinen Stichproben über die bisherige lineare Abbildung des Stichprobenumfangs. Als zweiter Ergänzungsfaktor wird der Mittelwert der Stichprobe hinzugezogen ($\bar{x}$, konkret $\bar{x}(t_i \cdot L)$). Somit wird die Streuung absolut skaliert, um Unterschiede zwischen verschieden großen Mittelwerten zu berücksichtigen. Die Formel ist nachfolgend dargestellt ([Formel 10](#)). Wichtig ist hierbei zu erwähnen, dass der Wert der absolut gewichteten Streuung nur ein Vergleichsinstrument ist. Er ist aus mehreren Größen zusammengesetzt und besitzt keine natürliche Maßeinheit.

Formel 10 Absolut gewichtete Streuung $CV_{gew} = CV * \sqrt{n} * \bar{x}$

CV Variationskoeffizient n Stichprobengröße $\bar{x}$ Stichprobenmittelwert

Kombinierte Bewertung (Index)

Als letzte Betrachtung zur statistischen Sicherheit wird eine kombinierte Bewertung in Form eines Index vorgenommen. Hierbei werden Ablaufabschnitte mit kombinierten Unsicherheiten (geringer Stichprobenumfang, unsichere Mittelwertlage und hohe Streuung) identifiziert. Dies dient dazu, Prioritäten für weitere Untersuchungen oder eventuelle Anpassungen zu setzen. Das konkrete Vorgehen besteht dabei aus der Addition der Einzelbetrachtungsränge unter Einbezug von Gewichtungsfaktoren für die drei Teilergebnisse.

Eine mögliche Gewichtung orientiert sich an der praktischen Relevanz der einzelnen Dimensionen für die Definition von Vorgabezeiten. Die Lage (KI-Range, $P = 90\%$) kann dabei am höchsten gewichtet werden, da ein präziser Mittelwert für die Definition von Vorgabezeiten essenziell ist – etwa mit einem Anteil von 50 Prozent, sofern sich die Soll-Zeiten mehrheitlich an den Lagekorridoren der wahren Mittelwerte orientieren. Die Streuung (CV_{gew}) ist wichtig für die Bewertung der Prozessvariabilität, stellt eine ergänzende Dimension zur Stabilität der modellierten Ablaufelemente (Abs. 4) dar und ist zudem ein entscheidender Faktor bei der Definition möglicher Toleranzen um die Soll-Werte – eine Gewichtung von etwa 40 Prozent erscheint hierfür angemessen. Der Stichprobenumfang (n) spielt zur Einordnung der Aussagekraft der Lage- und Streuungsmaße eine unterstützende Rolle: Fallen die Ergebnisse dieser beiden Betrachtungsdimensionen schlecht aus, kann die Stichprobengröße für erste Aufschlüsse hinzugezogen werden. Ein Anteil von etwa zehn Prozent in der Gesamtgewichtung erscheint hierfür ausreichend. Die Formel zur kombinierten Indexbewertung ist nachfolgend dargestellt (Formel 11). Die Rangfolge in kombinierter Betrachtung ergibt sich durch eine absteigende Ordnung der Werte für den Gesamtindex. Alternative Betrachtungsansätze zur Gesamtbewertung können über die Adaption der Gewichtungen oder der Größen zur Einzelrangvergabe verfolgt werden.

Formel 11 Indexbewertung der Plandatensicherheit
(Eigene Formel)

$$\textbf{Gesamtindex} = \alpha * \textit{Lagerang} + \beta * \textit{Streuungsrang} + \gamma * \textit{Umfangsang}$$

α Gewichtungsfaktor der Lagebewertung (hier 50%)

β Gewichtungsfaktor der Streuungsbewertung (hier 40%)

γ Gewichtungsfaktor der Stichprobenumfangsbewertung (hier 10%)

Die Bewertungen der einzelnen Betrachtungsdimensionen lassen hinsichtlich ihrer Ergebnisse verschiedene Schlüsse zu. Der Nachweis einer hohen *Prozessvariabilität* über hohe Streuung ist ein mögliches Indiz für Instabilität oder Ungleichmäßigkeit der einzelnen Ablaufabschnitte. Dies steht für Unsicherheit über die Konsistenz der Tätigkeitszeiten und kann in zu allgemeinen Prozessdefinitionen (als Teilmenge der Modellierung, Abs. 4) begründet sein – etwa, wenn zu heterogene Vorgänge in einer Ablaufstufe zusammengefasst sind.

Weitere Ursachen können in externen Einflussfaktoren des Arbeitssystems oder in Fehlern bei der Datenerhebung bestehen. Maßnahmen zur Abstellung bestehen hierbei in der Überprüfung der Prozessdefinition (Modellierung) und entsprechender Einflussfaktoren; ergänzend sind gezielte Prozessverbesserungen zu erwägen, etwa durch Schulungen oder Ablaufstandardisierungen mittels Arbeitsanweisungen.

Schlechte Ergebnisse in der *Lagebewertung* wiederum stehen für unsichere Mittelwerte und damit für eine geringe Verlässlichkeit der festgelegten Planzeiten. Dies ist direkt an die anderen beiden Größen – Streuung und Stichprobenumfang – anknüpfbar: Eine hohe Prozessinstabilität erschwert auch die Definition von Plandaten über genaue Mittelwerte. Ist der Stichprobenumfang niedrig, kann eine erste Abstellmaßnahme darin bestehen, diesen zu erhöhen – andernfalls gilt es, wie schon im Kontext des Streuverhaltens, auf elementare Prozessverbesserungen zurückzugreifen. Eine schlechte Bewertung des Stichprobenumfangs steht generell immer für ein hohes Risiko gegenüber Verzerrungen und Zufallseffekten. Fallen Lage- und/oder Streuungsbewertungen für Ablaufstufen in Kombination mit dem Stichprobenumfang schlecht aus, bestehen erste Handlungsbedarfe im Ausbau der Datenbasis. Hierzu könnten zudem auch Zeitdatenerhebungsverfahren wie die Selbstaufschreibung oder die Multimomentaufnahme (MMA) genutzt werden ([Abs. 2.4.4.3](#)) – insbesondere dann, wenn die Ressourcenlage keinen eigenständigen Beobachter zulässt.

Geeignete Varianten der Visualisierung von der Rohdatenaufbereitung über die geschilderten Einzelbetrachtungen bis hin zur kombinierten Indexbewertung sind nachfolgend exemplarisch dargestellt ([Abb. 67](#) bis [Abb. 71](#)).

Rohdaten						
Planungselemente ("Ablaufstufe")			Planungsgrundlage			
Pos.	Cluster	Ablaufstufe	Mittelwert ($\bar{t}^*(L)$)	Umfang n	Lage KI (90%)	Streuung CV $CV^* = \sqrt{n} \cdot \left(\frac{1}{\bar{t}^*(L)} \right)$
1	alle	Ablaufstufe 1	9,43	15	3,67	56,06%
2	alle	Ablaufstufe 2	6,71	19	1,16	28,43%
3	alle	Ablaufstufe 3	12,92	17	2,43	28,96%
4	Cluster A	Ablaufstufe 4	12,50	5	10,15	42,57%
5	Cluster B	Ablaufstufe 5	10,81	2	30,99	32,09%
6	Cluster C	Ablaufstufe 6	11,32	3	12,48	32,70%
7	Cluster C	Ablaufstufe 7	13,50	4	3,65	11,48%
8	Cluster D	Ablaufstufe 8	7,08	7	3,02	39,21%
9	Cluster C	Ablaufstufe 9	3,64	3	2,40	19,56%
10	Cluster E	Ablaufstufe 10	4,38	2	0,21	7,43%
11	Cluster E	Ablaufstufe 11	6,73	5	3,50	27,30%
12	Cluster A	Ablaufstufe 12	13,69	10	3,38	28,19%
13	Cluster A	Ablaufstufe 13	15,76	10	2,80	20,30%
14	Cluster A	Ablaufstufe 14	8,42	10	2,15	29,20%
15	Cluster A	Ablaufstufe 15	16,81	10	2,01	13,65%
16	Cluster A	Ablaufstufe 16	17,68	10	2,01	12,99%
17	Cluster A	Ablaufstufe 17	21,48	10	1,92	10,23%
18	Cluster E	Ablaufstufe 18	6,24	3	2,57	12,23%
19	Cluster E	Ablaufstufe 19	8,87	3	3,66	12,25%
20	Cluster B	Ablaufstufe 20	5,65	9	0,54	10,22%
21	Cluster B	Ablaufstufe 21	8,54	9	0,69	8,62%
22	Cluster D	Ablaufstufe 22	24,19	21	4,31	30,83%
23	alle	Ablaufstufe 23	15,54	109	1,61	37,02%
24	Cluster C	Ablaufstufe 24	2,06	3	0,53	7,64%
25	Cluster E	Ablaufstufe 25	4,38	2	2,90	7,43%
26	Cluster E	Ablaufstufe 26	4,17	5	3,85	48,44%
27	Cluster D	Ablaufstufe 27	4,92	6	0,46	7,72%
28	Cluster C	Ablaufstufe 28	7,08	4	7,08	42,46%
29	Cluster E	Ablaufstufe 29	4,60	1	#DIV/0!	#DIV/0!
30	Cluster E	Ablaufstufe 30	8,44	9	2,10	26,75%
31	alle	Ablaufstufe 31	9,40	29	0,59	12,87%

Abbildung 67 Rohdatenaufbereitung zur Plandatenbewertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

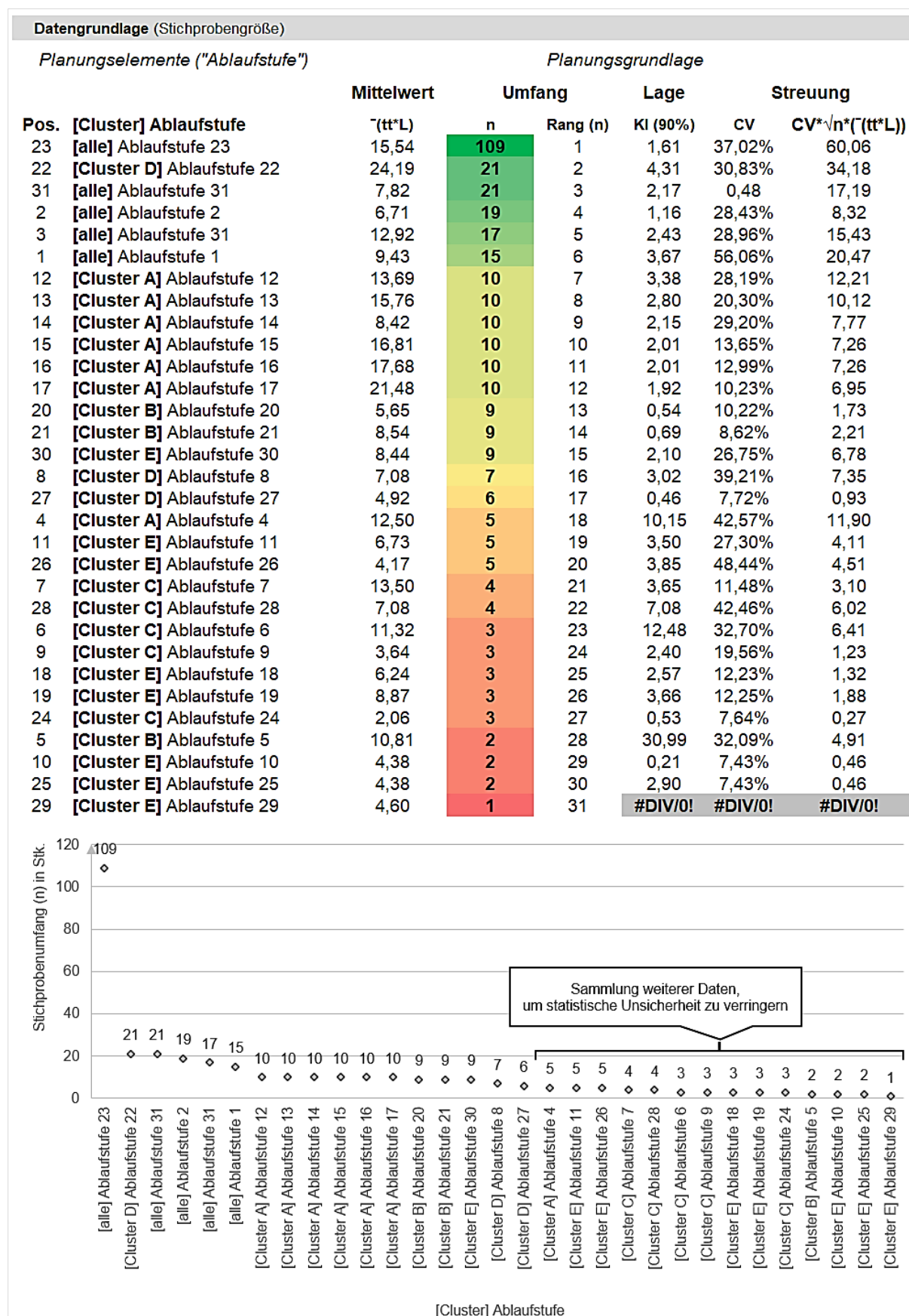


Abbildung 68 Datengrundlage zur Plandatenbewertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

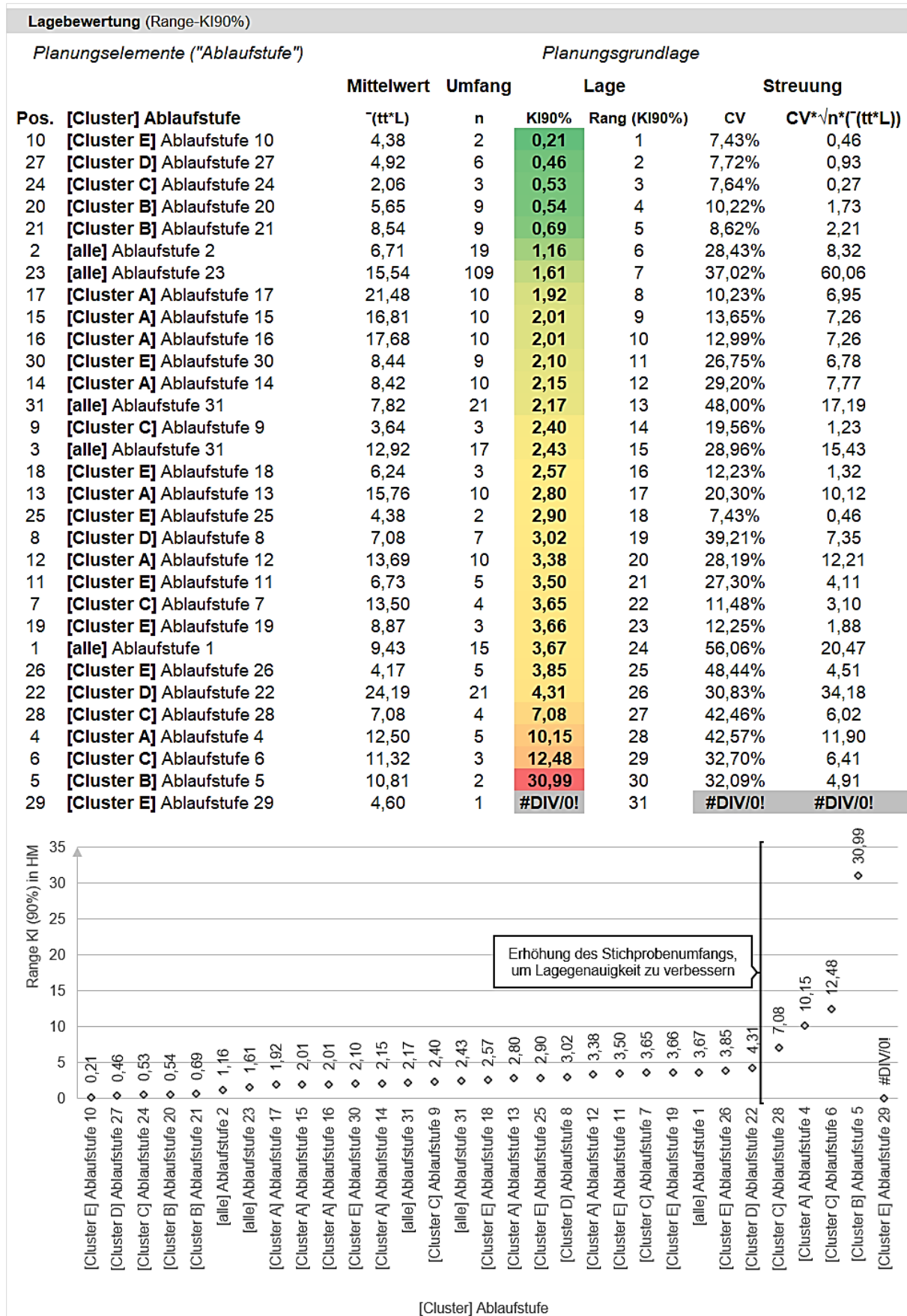


Abbildung 69 Lagebewertung zur Plandatenbewertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

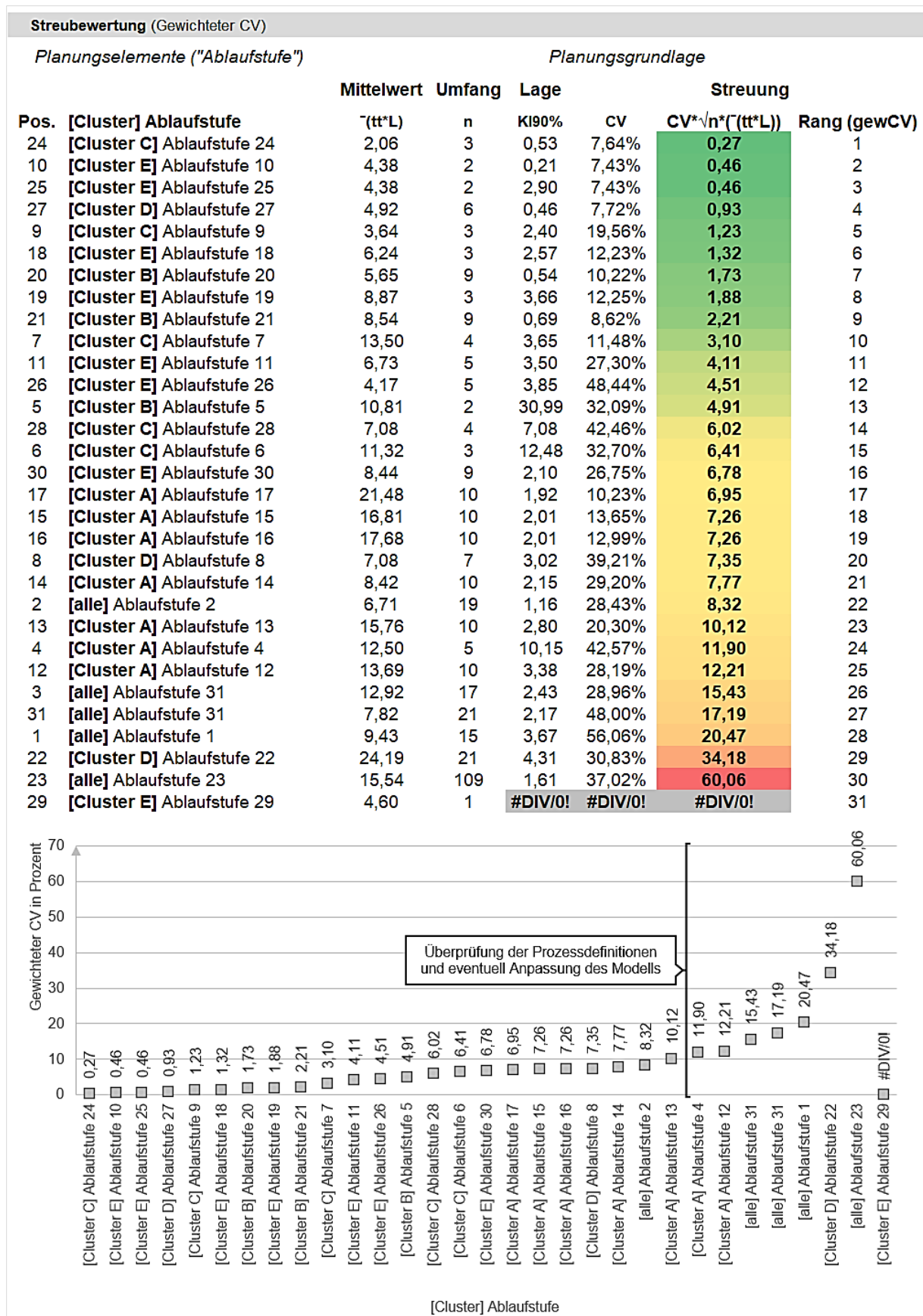


Abbildung 70 Streubewertung zur Plandatenbewertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

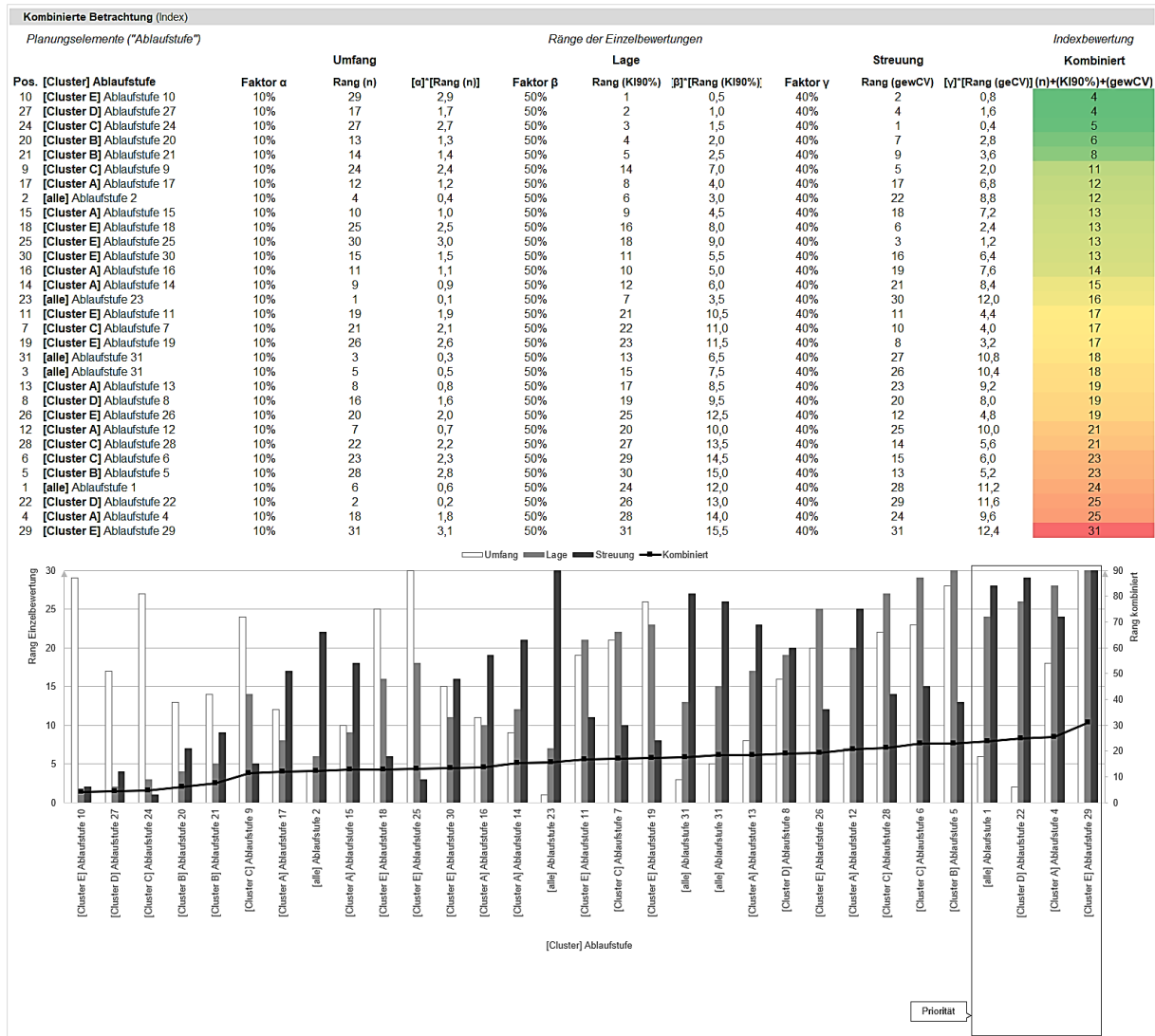


Abbildung 71 Kombinierte Indexbewertung zur Plandatensicherheit
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

5.5.3.3 Regressionsanalyse zur Kalkulation von Neuprojekten

Der nächste Arbeitsschritt der Gesamtauswertung ergibt sich – gemäß definiertem Vorgehen ([Abs. 5.5.1](#)) – in der Erstellung einer Kalkulationsgrundlage für Neuprojekte. Hierbei empfiehlt sich eine Beschränkung auf jene Ablaufstufe(n), denen im Rahmen der Prozessmodellierung eine Bezugsgröße zugeordnet werden konnte (z. B. eine prüfraumspezifische Eingangsgröße im Rahmen der Beprobung, [Abs. 2.2.4.3](#), [Abb. 8](#)). Alle anderen Ablaufstufen können universell oder über logische Vergleiche als Planzahlen übernommen werden.

Für die betreffende(n) Ablaufstufe(n) sollte zunächst geprüft werden, ob ein Zusammenhang zwischen der identifizierten Bezugsgröße und der resultierenden Tätigkeitszeit besteht. Eine lineare Beziehung kann hierbei als vereinfachende Annahme dienen, auch wenn diese in der Praxis durch diverse kleinere Begleitvorgänge innerhalb der Ablaufstufe (z. B. Zusatzvorgänge) nicht vollständig haltbar ist.

Zum Zwecke der Einfachheit empfiehlt sich dennoch zunächst die Annahme einer linearen Beziehung.

Eine gängige Methode zur Prognoseableitung in entsprechenden Zusammenhängen ist das Verfahren der *linearen (Einfach-) Regression*. Hierbei werden Vorhersagen basierend auf einer einfachen Beziehung zwischen einer unabhängigen Variablen (Bezugsgröße) und einer abhängigen Variablen (hier die Tätigkeitszeit) abgeleitet. Ergebnisse sind durch die Ausgabe einer linearen Funktion intuitiv interpretierbar: Die Steigung ($\hat{b}$) gibt an, wie stark die Tätigkeitszeit je Einheit der Bezugsgröße zunimmt, während der Achsenabschnitt ($\hat{a}$) den Grundaufwand unabhängig von der Bezugsgröße darstellt. Nicht lineare Zusammenhänge können zudem über die Ausgabe des Bestimmtheitsmaßes (Determinationskoeffizient, R^2) beziffert werden, wodurch sich auch Unsicherheiten von Prognosemodellen für die Kalkulation von Neuprojekten bemessen lassen. Generell wird die lineare Regression in der Fachliteratur als gängiges Instrument zur Bereinigung von Bezugsmengen angesehen (vgl. [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 595 ff.) und kann entsprechend als Vorzugslösung verfolgt werden. Die zu errechnende lineare Zielform der Kalkulationsformel ist nachfolgend beschrieben ([Formel 12](#)) (vgl. [Selle 2024](#), S. 337 f.).

Formel 12 Zielform der linearen Regression $y(x) = \hat{a} + \hat{b} * x$
(Quelle: [Schlick, Bruder, Luczak 2018](#), S. 596)

$\hat{a}$ Regressionskonstante (Achsenabschnitt, „Intercept“)

$\hat{b}$ Regressionsfaktor (Steigung der Regressionsgeraden)

Zur Berechnung der Regressionskonstante und des Regressionsfaktors werden die nachfolgenden Gleichungen genutzt ([Formel 13](#) und [Formel 14](#)):

Formel 13 Regressionskonstante $\hat{a} = \bar{y} - \hat{b} * \bar{x}$
(Quelle: [a.a.O.](#))

$\bar{y}$ Mittelwert der abhängigen Variabel (hier: Tätigkeitszeit)

$\hat{b}$ Regressionsfaktor (Steigung der Regressionsgeraden)

$\bar{x}$ Mittelwert der unabhängigen Variabel (hier: Spülvolumen)

Formel 14 Regressionsfaktor $\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i) - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2}$
(Quelle: [a.a.O.](#))

x_i Einzelwerte der unabhängigen Variabel (hier: Spülvolumen)

y_i Einzelwerte der abhängigen Variabel (hier: Tätigkeitszeit)

n Anzahl an Wertepaaren

Das zur Sicherheitsbewertung benötigte Bestimmtheitsmaß (R^2) lässt sich über die nachfolgenden Formeln berechnen (Formel 15 bis Formel 17).

Formel 15 Bestimmtheitsmaß

(Quelle: Schlick, Bruder, Luczak 2018, S. 596)

$$R^2 = \frac{s_{\theta}^2 - s_{REG}^2}{s_{\theta}^2}$$

 s_{θ}^2 Quadratische Abweichungen vom Mittelwert s_{REG}^2 Quadratische Abweichungen von den Regressionsgraden**Formel 16** Quadratische Abweichungen vom Mittelwert

(Quelle: a.a.O.)

$$s_{\theta}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Formel 17 Quadratische Abweichungen von den Regressionsgraden

(Quelle: a.a.O.)

$$s_{REG}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}(x_i))^2$$

Empfehlenswert ist die getrennte Berechnung von Regressionsgeraden für verschiedene Ablaufvarianten und/oder eingesetzte Arbeitsmittel sowie zusätzlich eine kombinierte Gesamtbetrachtung, jeweils unter paralleler Bestimmung der Modellgüte über das Bestimmtheitsmaß (R^2). Für die vereinfachte Planung empfiehlt sich grundsätzlich die Ausgabe einer einzigen Gesamtgleichung, weshalb der Gesamtbetrachtung in der Regel Priorität zukommt.

Weist die resultierende Regressionsgerade lediglich ein moderates Bestimmtheitsmaß auf, sollten zur Reduktion der Modellunsicherheit Ausreißer identifiziert und vom Prognosemodell ausgeschlossen werden. Im Sinne der Einfachheit bietet sich hierzu die Identifikation über *Interquartilsabstände* (IQA) an. Die Methode ist robust gegenüber Extremwerten, da sich nur auf die mittleren 50 Prozent der Daten konzentriert wird. Zudem ist das Verfahren in jedem statistischen Softwaretool (auch MS Excel) umsetzbar und leicht über Boxplot-Diagramme visualisierbar.

Zur Anwendung müssen zunächst das erste (Q1) und dritte Quartil (Q3) berechnet werden. Das erste Quartil beschreibt den Wert, unter dem 25 Prozent der Daten liegen; das dritte Quartil den Wert, unterhalb dessen 75 Prozent der Daten liegen. Dazu werden folgende Berechnungen durchgeführt (Formel 18 und Formel 19):

Formel 18 Erstes Quartil

(In Anlehnung an: Cleff 2015, S. 50 ff.)

$$Q1 = \begin{cases} \frac{1}{2}(x_{n*0,25} + x_{n*0,25+1}), & \text{wenn } n * 0,25 \text{ ganzzahlig} \\ x_{\lfloor n*0,25+1 \rfloor}, & \text{wenn } n * 0,25 \text{ nicht ganzzahlig} \end{cases}$$

Formel 19 Drittes Quartil

(In Anlehnung an: a.a.O.)

$$Q3 = \begin{cases} \frac{1}{2}(x_{n*0,75} + x_{n*0,75+1}), & \text{wenn } n * 0,75 \text{ ganzzahlig} \\ x_{\lfloor n*0,75+1 \rfloor}, & \text{wenn } n * 0,75 \text{ nicht ganzzahlig} \end{cases}$$

Im Anschluss daran wird der Interquartilsabstand (IQA) als Differenz aus Q3 und Q1 errechnet (Formel 20) und die Ausreißergrenzen bestimmt (Formel 21 und Formel 22). Die Identifikation von Ausreißern kann exemplarisch grafisch dargestellt werden (Abb. 72).

Formel 20 Interquartilsabstand

$$IQA = Q3 - Q1$$

(In Anlehnung an: Perret 2019, S. 57)

Formel 21 Untere Ausreißergrenze (IQR)

$$UAG = Q1 - 1,5 * IQA$$

(In Anlehnung an: Cleff 2015, S. 50 ff.)

Formel 22 Obere Ausreißergrenze (IQR)

$$OAG = Q3 + 1,5 * IQA$$

(In Anlehnung an: a.a.O.)

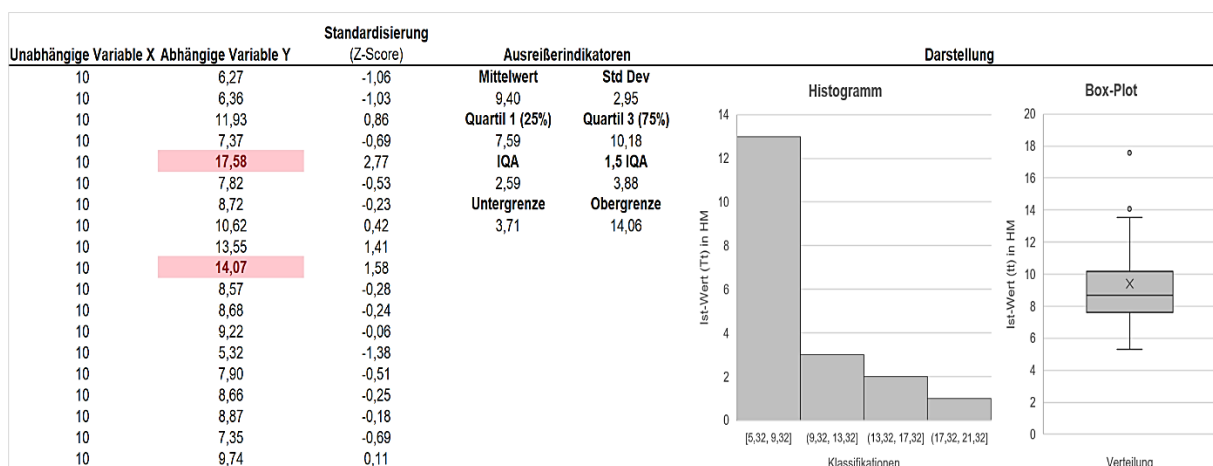


Abbildung 72 Ausreißeridentifikation per IQR-Methode zur Regressionsanalyse
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Nach Anwendung der IQR-Methode kann sich das Bestimmtheitsmaß in der Gesamtbetrachtung deutlich verbessern, auch wenn weiterhin eine moderate Streuung bestehen bleiben kann. Eine differenzierte Betrachtung nach Ablaufvarianten oder Arbeitsmitteln kann dabei aufzeigen, dass einzelne Teilmengen der Daten – sowohl vor als auch insbesondere nach Ausreißereliminierung – ein deutlich höheres Bestimmtheitsmaß erreichen als die Gesamtbetrachtung.

Mögliche Gründe für eine erhöhte Streuung innerhalb bestimmter Ablaufvarianten können unter anderem sein:

- das Fehlen unterstützender Hilfsmittel zur Prozessüberwachung (z. B. Anzeigen zur Darstellung bereits erreichter Zwischenwerte), wodurch die Wiederholgenauigkeit sinkt,
- gehäufte Störungen durch Qualitätsabweichungen bei den Eingangsmaterialien bzw. Prüfteilen, dokumentiert in den Aufnahmeprotokollen,
- die Handhabung von Störfällen (z. B. verstopfte Abläufe, Austausch von Verbrauchsmaterial), die das Ergebnis zusätzlich beeinflussen kann,
- unvollständig durchgeführte Prüfumfänge gegenüber dem definierten Soll-Umfang.

Eine kombinierte Betrachtung von Stillstandszeiten und Tätigkeitszeiten kann hierzu weiteren Erkenntnisgewinn ermöglichen. Ist davon auszugehen, dass bestimmte Ablaufvarianten einen zu niedrigen Standardisierungsgrad für eine akkurate Prognose aufweisen, sollten diese gegebenenfalls separat betrachtet oder von der Gesamtkalkulation ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse der linearen Regression sollten abschließend grafisch dargestellt werden (Abb. 73), idealerweise mit und ohne Einbezug von Ausreißern sowie mit und ohne Einbezug auffälliger Ablaufvarianten.

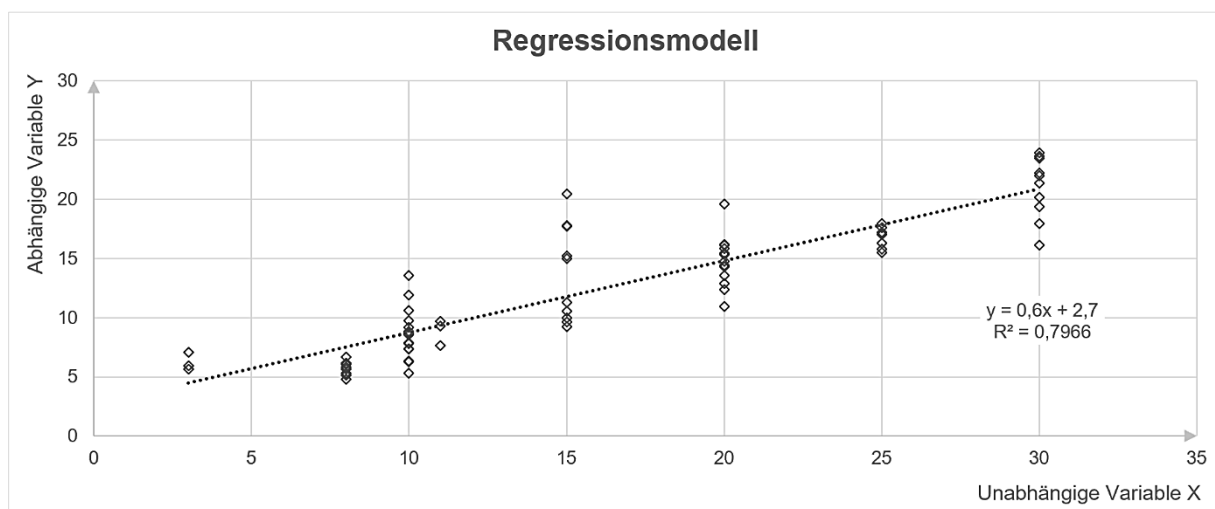


Abbildung 73 Ergebnisse der Regressionsanalyse
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Für die praktische Anwendung empfiehlt es sich, situativ zwischen mehreren ausreißerbereinigten Modellen zu wählen – etwa einem allgemeinen Modell über alle Daten sowie einem spezifischeren Modell unter Ausschluss auffälliger Ablaufvarianten, sofern dieses eine höhere Modellgüte aufweist. Zur Erhöhung der Flexibilität können die Regressionsfunktionen zudem um einen prozentualen Sicherheitsfaktor (SF) ergänzt werden. Bezieht sich die Kalkulation rein auf die rechnerisch ermittelten Werte, ist $SF = 0\%$ anzunehmen; jegliche Form der nachträglichen Adaption ist über die Anpassung dieses Wertes möglich ($SF \rightarrow \infty$). Die allgemeine Form eines solchen Regressionsmodells mit Sicherheitsfaktor ist nachfolgend exemplarisch dargestellt ([Formel 23](#)):

Formel 23 Regressionsmodellbildung mit Sicherheitsfaktor
(Eigene Formel, exemplarische Referenz)

$$(tt)_{PALL-Kabinett} = (0,6x + 2,7) * (1 + SF)$$

x Spülvolumen [L] SF Sicherheitsfaktor [%]

Der Vollständigkeit halber sei ergänzend erwähnt, dass die Ausreißereliminierung grundsätzlich mit einer Ursachenanalyse abgeschlossen werden kann, bei der die Aufnahmeprotokolle auf entsprechende Vermerke zu den betroffenen Werten geprüft werden. Da das Regressionsmodell jedoch primär einen generellen Trend zur Planung vergleichbarer Neuprojekte abbilden soll, kann auf eine solche Ursachenanalyse verzichtet werden. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit kann die Validierung des Modells auf einen Vergleich mit Ist-Werten eines neukalkulierten Projektes ausgelagert werden.

5.5.3.4 Aufstellen von Prognosemodellen

Gemäß der eingangs bestimmten Vorgehensweise zur Zeitdatenanalyse ([Abs. 5.5.1](#)) liegen nun alle Daten für die aufzustellenden *Prognosemodelle* vor. In der Soll-Zeiten-Definition ([Abs. 5.5.3.1](#)) wurden die entsprechenden Vorgaben für die Ablaufvarianten bestehender Projekte aufgestellt. Die Regressionsanalyse ([Abs. 5.5.3.3](#)) liefert ergänzend ein Prognosemodell zur Kalkulation von Tätigkeitszeiten bei möglichen Neuprojekten.

Für die Visualisierung empfiehlt sich die Übertragung der Prognosen für bestehende Projekte in die Swimlane-Modellierung der Ablaufstufen ([Abs. 4.4.2](#)), wodurch sich Plan- und Prognosewerte unmittelbar im Kontext des modellierten Ablaufs einordnen lassen. Ein exemplarischer Auszug einer solchen Darstellung – etwa für ausgewählte Teilabläufe – ist nachfolgend abgebildet ([Abb. 74](#)).

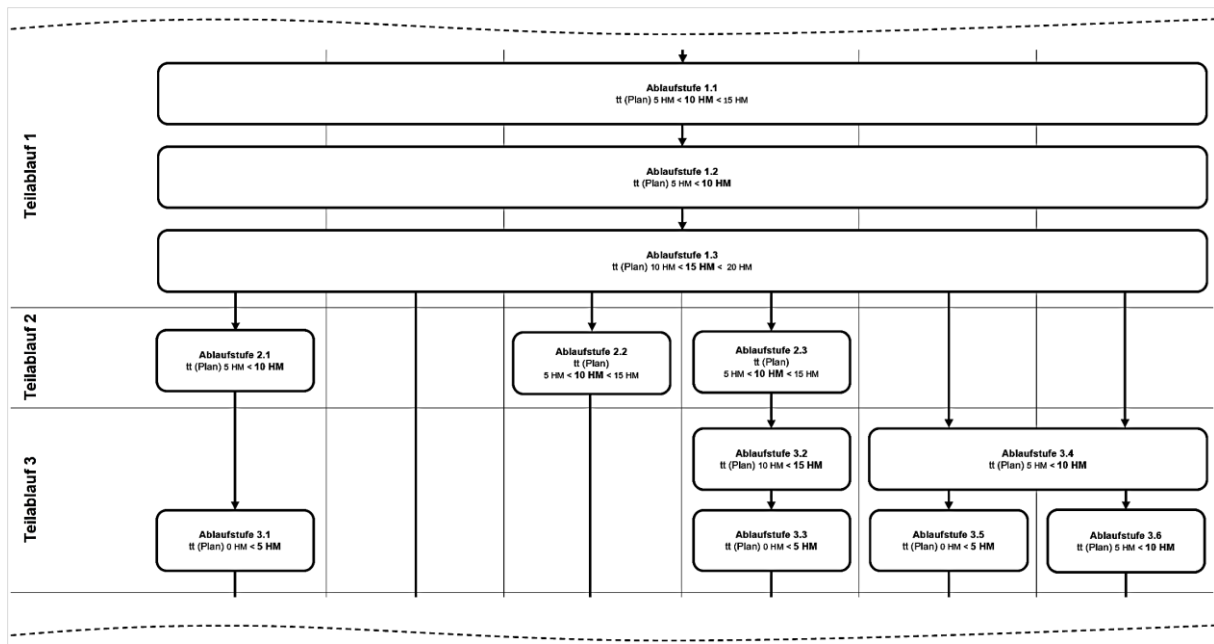


Abbildung 74 Prognosemodellierung als Swimlane
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Darüber hinaus empfiehlt sich die Ablage aller Vorgabezeiten als strukturierte Datensätze. Hierbei sollte jeweils die Vorgabezeit (Plan) sowie die zu erwartenden Schwankungen nach unten (min) und oben (max) festgehalten werden. Die Angaben können sowohl in der Einzelbetrachtung auf Ebene der Ablaufstufen (nach [Abs. 4.4.2](#)) als auch kumuliert für die Teilabläufe (nach [Abs. 4.4.1](#)) erfolgen. Über Liniendiagramme lassen sich Vorgabezeiten (Plan) und die sich ergebenden Spielräume durch prognostizierte Schwankungsbreiten (min bis max) anschaulich visualisieren. Entsprechende Darstellungsformen hierzu sind nachfolgend exemplarisch abgebildet ([Abb. 75](#) und [Abb. 76](#)).

	tt (Plan)					tt (Plan) in HM			
Teilablauf	min		Plan	max	Ablaufstufe	min		Plan	max
Teilablauf 1	20	<	35	< 45	Ablaufstufe 1.1	5	<	10	< 15
					Ablaufstufe 1.2	5	<	10	< 10
					Ablaufstufe 1.3	10	<	15	< 20
Teilablauf 2	5	<	10	< 15	Ablaufstufe 2.1	5	<	10	< 15
Teilablauf 3	10	<	20	< 20	Ablaufstufe 3.1	10	<	15	< 15
					Ablaufstufe 3.2	0	<	5	< 5
Teilablauf 4	30	<	35	< 45	Ablaufstufe 4.1	10	<	15	< 20
					Ablaufstufe 4.2	20	<	20	< 25
Teilablauf 5	10	<	25	< 25	Ablaufstufe 5.1	0	<	5	< 5
					Ablaufstufe 5.2	5	<	10	< 10
					Ablaufstufe 5.3	5	<	10	< 10
Teilablauf 6	25	<	45	< 55	Ablaufstufe 6.1	5	<	10	< 10
					Ablaufstufe 6.2	10	<	15	< 20
					Ablaufstufe 6.3	10	<	15	< 20
					Ablaufstufe 6.4	0	<	5	< 5
Σ Gesamtprozess (in Minuten, dez)						100	<	170	< 200
Σ Gesamtprozess (in Stunden, dez)						1,67	<	2,83	< 3,33

Abbildung 75 Datenaufbereitung zur Prognosemodellierung als Liniendiagramm
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

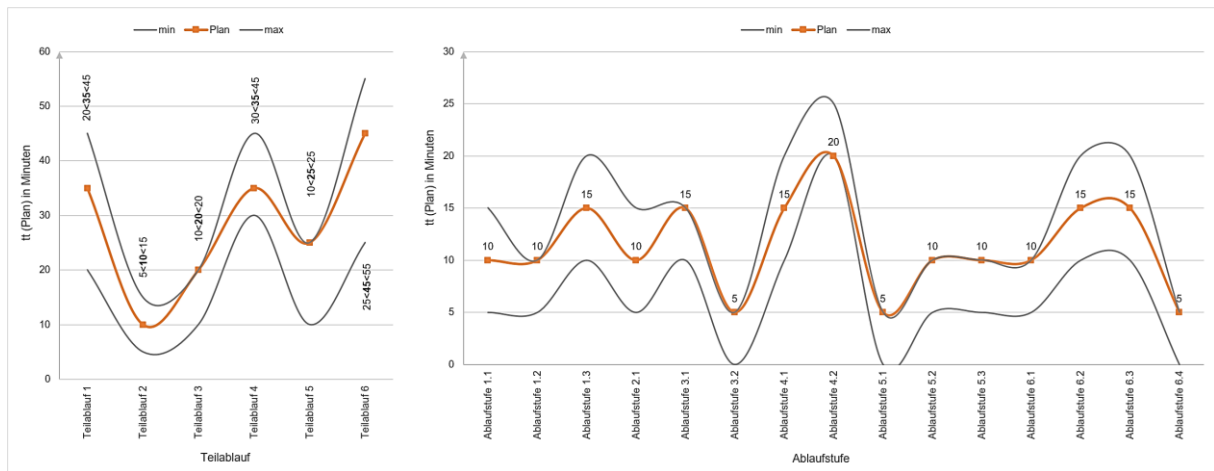


Abbildung 76 Prognosemodellierung als Liniendiagramm
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

5.5.3.5 Analyse von Stillstandszeiten

Nachdem die Prognosemodelle zur Vorhersage von Tätigkeitszeiten für Bestands- und Neuprojekte erstellt wurden, sind gemäß der bestimmten Methodik ([Abs. 5.5.1](#)) alle aufgetretenen Stillstandszeiten auszuwerten. Bei Stillstandszeiten handelt es sich um alle Zeitbestandteile, die zu keinem direkten Fortschritt im Arbeitsprozess führen und somit nicht wertschöpfend sind. Konkret sind hierbei Wartezeiten (t_w), Erholungszeiten (t_{er}) sowie jegliche Verteilzeiten (t_v) – ob persönlich (t_p) oder sachlich (t_s) – zu inkludieren. Zur Analyse empfiehlt sich die Auswertung aller erfassten Zeitdaten dieser Bestandteile sowohl variantenspezifisch als auch personenbezogen sowie in einer kombinierten Gesamtbetrachtung.

In den jeweiligen Betrachtungsebenen sollten dabei stets relative Verhältnisse der ausgewiesenen Stillstandszeiten zur gesamten Prozesszeit (Fortschrittszeit F) gebildet werden. Die Ergebnisse der Dimensionen sind sowohl über Mittelwerte ($\bar{x}$) als auch über Mediane ($\tilde{x}$, [Formel 24](#)) zu berechnen. Während der Mittelwert alle Einzelwerte gleichermaßen einbezieht, ist der Median robuster gegenüber Ausreißern (vgl. [Kohn, Öztürk 2022](#), S. 41 ff.).

Formel 24 Median
(Quelle:
[Kohn, Öztürk 2022](#), S.43)

$$\tilde{x} = \begin{cases} X\left(\frac{n+1}{2}\right), & \text{wenn } n \text{ ungerade ist} \\ \frac{X\left(\frac{n}{2}\right) + X\left(\frac{n}{2} + 1\right)}{2}, & \text{wenn } n \text{ gerade ist} \end{cases}$$

X Liste mit den Werten im Datenbestand

n Stichprobenumfang

Die Ergebnisse der Mittelwert- und Medianbetrachtungen sollten für die kombinierte Gesamtbetrachtung aller Datensätze dargestellt werden (Abb. 77), wobei die Tätigkeitszeiten (t_t) den Stillstandszeiten in ihren Verhältnissen gegenüberzustellen sind. Auf diese Weise ergibt sich die Darstellung einer Tätigkeitsstrukturkomposition.

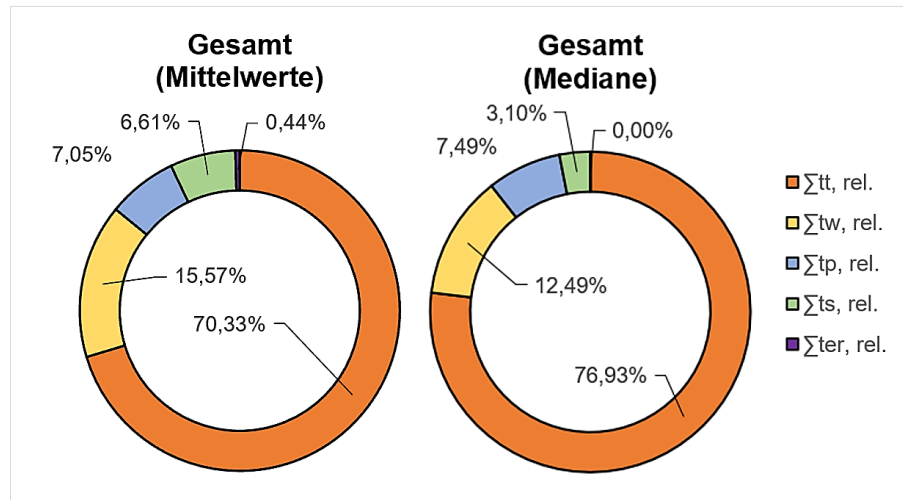


Abbildung 77 Tätigkeitsstrukturkomposition über alle erhobenen Daten
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Grundsätzlich ist dabei zu beachten, dass der Einbezug von Ausreißern hinsichtlich der Wertschöpfung im Prozess tendenziell ein schlechteres Ergebnis hervorbringt als die Medianbetrachtung. Da die tatsächliche Tätigkeitsstruktur in der Mehrheit der Einzelfälle eher den Ergebnissen der Medianbetrachtung entsprechen wird – aufgrund der reduzierten Einflüsse von Ausreißern –, empfiehlt sich für die Kapazitätsplanung dennoch die Nutzung der schlechteren Ergebnisse über die Mittelwerte als zusätzliche Sicherheit (im Sinne eines *Worst-Case-Szenarios*).

Die Effizienzbewertung des Gesamtablaufs anhand der Verteilzeiten (t_v) sollte sich am *REFA-Benchmark* orientieren: Sachliche Verteilzeiten (t_s) bis zu fünf Prozent und persönliche Verteilzeiten (t_p) bis zu zehn Prozent gelten dabei als unauffällig (vgl. REFA 2025h). In der personenbezogenen Betrachtung können dabei Unterschiede zwischen Ausführenden mit unterschiedlichen Aufgabenprofilen und Erfahrungshintergründen sichtbar werden. So ist denkbar, dass Personen mit einer umfassenderen Prozessverantwortung höhere sachliche Verteilzeiten ausweisen als Ausführende, die primär operative Tätigkeiten übernehmen – etwa aufgrund zusätzlicher Koordinations- und Kommunikationsaufgaben. Solche Unterschiede sollten in der Interpretation der Ergebnisse entsprechend berücksichtigt werden. Sofern vorhanden sind bei personenbezogenen Analysen stets die mitgeltenden Bestimmungen des Betriebsrats zu beachten (Abs. 5.4.2.2). Es kann vorkommen, dass personenbezogene Auswertungen nur eingeschränkt genehmigt oder gar gänzlich untersagt werden. Entsprechende Betrachtungen entfielen unter derartigen Bestimmungen.

5.5.3.6 Ableitung von REFA-Planzeitbausteinen

Der letzte inhaltliche Punkt im Rahmen der quantitativen Methoden zur Zeitdatenauswertung besteht in der Ableitung von *REFA-Planzeitbausteinen*. Diese werden über Grundzeitenprognosen erstellt. Die Grundzeiten (t_g) setzen sich sowohl aus Tätigkeits- (t_t) als auch aus Wartezeiten (t_w) zusammen. An die Stillstandszeitenanalyse als relative Betrachtung schließt sich daher als vorbereitende Maßnahme noch eine Ergänzung um die absolute Sicht auf Wartezeiten an (vgl. REFA 2019, S. 359 ff.).

Dazu empfiehlt sich zunächst die Festlegung einer geeigneten Betrachtungsdimension. Für Wartezeiten (t_w) kann angenommen werden, dass diese einem groben logischen Muster innerhalb des Prozesses folgen, sich jedoch häufig nicht präzise auf Ebene einzelner Ablaufstufen (Abs. 4.4.2) verorten lassen. Typische Ursachen für Wartezeiten in TechSa-Prüfprozessen können etwa in Trocknungsvorgängen der Analysefilter, Verzögerungen durch fehlerhafte Prüfteilbereitstellung oder Störungen an Arbeitsmitteln begründet liegen. Da eine genaue Zuordnung auf Ablaufstufenebene in der Regel nicht praktikabel ist, empfiehlt sich die absolute Wartezeitenanalyse auf Ebene der Teilabläufe (Abs. 4.4.1).

Zur weiteren Auswertung sollten die aufgenommenen Wartezeiten (t_w) der Einzelaufnahmen für die Teilabläufe aufsummiert und dieser Arbeitsgang für jede Ablaufvariante separat durchgeführt werden. Zu ermitteln sind anschließend Minimum (min), Maximum (max), Mittelwert ($\bar{x}$) und Median ($\tilde{x}$) der Wartezeiten für alle Teilabläufe einer jeden Ablaufvariante. Die absoluten Medianwerte der Teilabläufe stellen dabei den Wartezeitenanteil der Grundzeit zur Ableitung von REFA-Planzeitbausteinen dar. Ergänzend empfiehlt sich der Vollständigkeit halber eine kombinierte Betrachtung über alle Ablaufvarianten hinweg. Die Ergebnisse lassen sich in Balkendiagrammen visualisieren (Abb. 78).

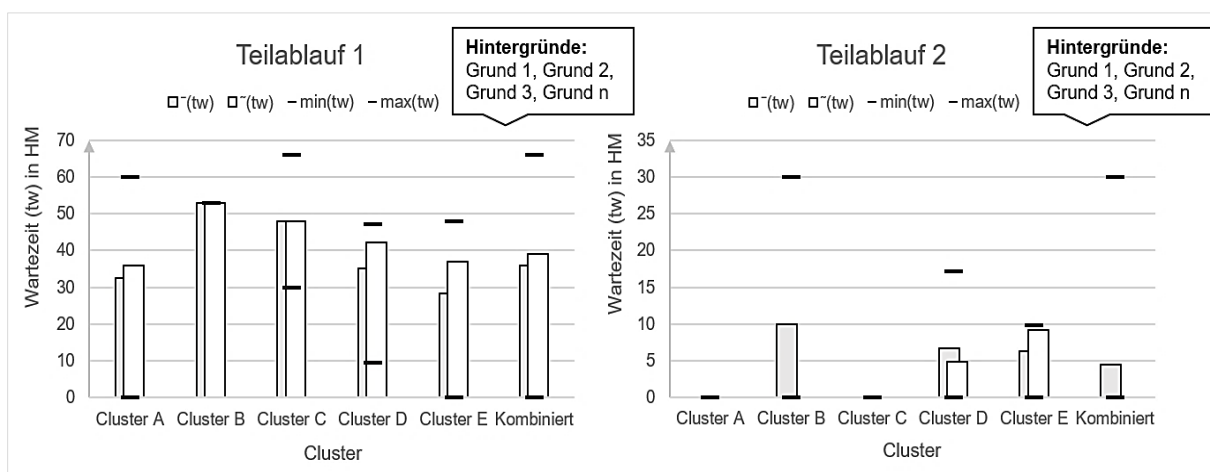


Abbildung 78 Absolute Wartezeitenanalyse
(Eigene Darstellung)

Im Anschluss an die Untersuchung der Wartezeiten können die REFA-Planzeitbausteine zusammengesetzt werden. Empfohlen wird hierfür ein zweistufiges Verfahren. In einem ersten Schritt werden die definierten Soll-Zeiten ([Abs. 5.5.3.1](#)) auf Ebene der Ablaufstufen ([Abs. 4.4.2](#)) zusammengetragen, ergänzt um die Regressionsmodelle zur Kalkulation der Beprobungszeiten für Neuprojekte ([Abs. 5.5.3.3](#)). Auf dieser Ebene erfolgt eine reine Betrachtung von Tätigkeitszeiten (t_t). Die Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt ([Abb. 79](#)).

REFA-Planzeitbausteine (tt, Ablaufstufen)																			
Pos.	Zuordnung						Ablaufabschnitte		Tätigkeitszeit (tt) in HM										
	Allgemein	Cluster A	Cluster B	Cluster C	Cluster D	Cluster E			min	Plan		max							
							Teilablauf	Ablaufstufe											
1	X	x	x	x	x	x	1	1	5	<	10	<	15						
2	X	x	x	x	x	x	1	2	5	<	10	<	10						
3	X	x	x	x	x	x	1	3	10	<	15	<	20						
4-1		x					2	4-1	5	<	10	<	10						
4-2							2	4-2	5	<	10	<	15						
4-3							2	4-3	5	<	10	<	15						
5-1							3	5-1	10	<	15	<	15						
5-2							3	5-2	5	<	10	<	10						
6-1							3	6-1	0	<	5	<	5						
6-2							3	6-2	5	<	10	<	10						
7-1							x	4	7-1	10	<	15	<	15					
7-2								4	7-2	10	<	15	<	20					
7-3		4	7-3	5	<	10		<	10										
7-4		4	7-4	15	<	20		<	20										
7-5		x	4	7-5	15	<	20	<	20										
7-6		x	4	7-6	20	<	25	<	25										
8		x	4	8	0	<	5	<	10										
9-1				x				4	9-1	5	<	5	<	10					
9-2								4	9-2	5	<	10	<	10					
10-1								4	10-1	5	<	5	<	10					
10-2								4	10-2	5	<	10	<	10					
11-1								4	11-1	10	<	15	<	20					
11-2								4	11-2	20	<	20	<	25					
13-1							4	13-1	20	<	30	<	30						
13-2							4	13-2	20	<	30	<	30						
13-3							4	13-3	20	<	30	<	30						
14-1	X						4	14-1	tt = Regressionsmodell A										
14-2	X						4	14-2	tt = Regressionsmodell B										
15-1												5	15-1	0	<	5	<	5	
15-2												5	15-2	5	<	10	<	10	
16												5	16	5	<	5	<	5	
17												5	17	5	<	10	<	10	
18-1												x	5	18-1	5	<	5	<	10
18-2													5	18-2	5	<	10	<	10
18-3							5	18-3	5	<	10	<	10						
19-1	X						x	x	x	x	x	6	19-1	5	<	10	<	10	
19-2	X						x	x	x	x	x	6	19-2	5	<	10	<	15	
19-3	X						x	x	x	x	x	6	19-3	0	<	5	<	5	

Abbildung 79 REFA-Planzeitenbausteine für Ablaufstufen (t_t)

(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

In einem zweiten Schritt werden die Soll-Zeiten der Bestandsprojekte gemäß ihrer Teilabläufe ([Abs. 4.4.1](#)) aufsummiert und die Mediane der absoluten Wartezeitenanalyse hinzuaddiert. Es ergeben sich so als REFA-Planzeitbausteine die Grundzeiten zur Planung der Teilabläufe, die nachfolgend dargestellt sind ([Abb. 80](#)).

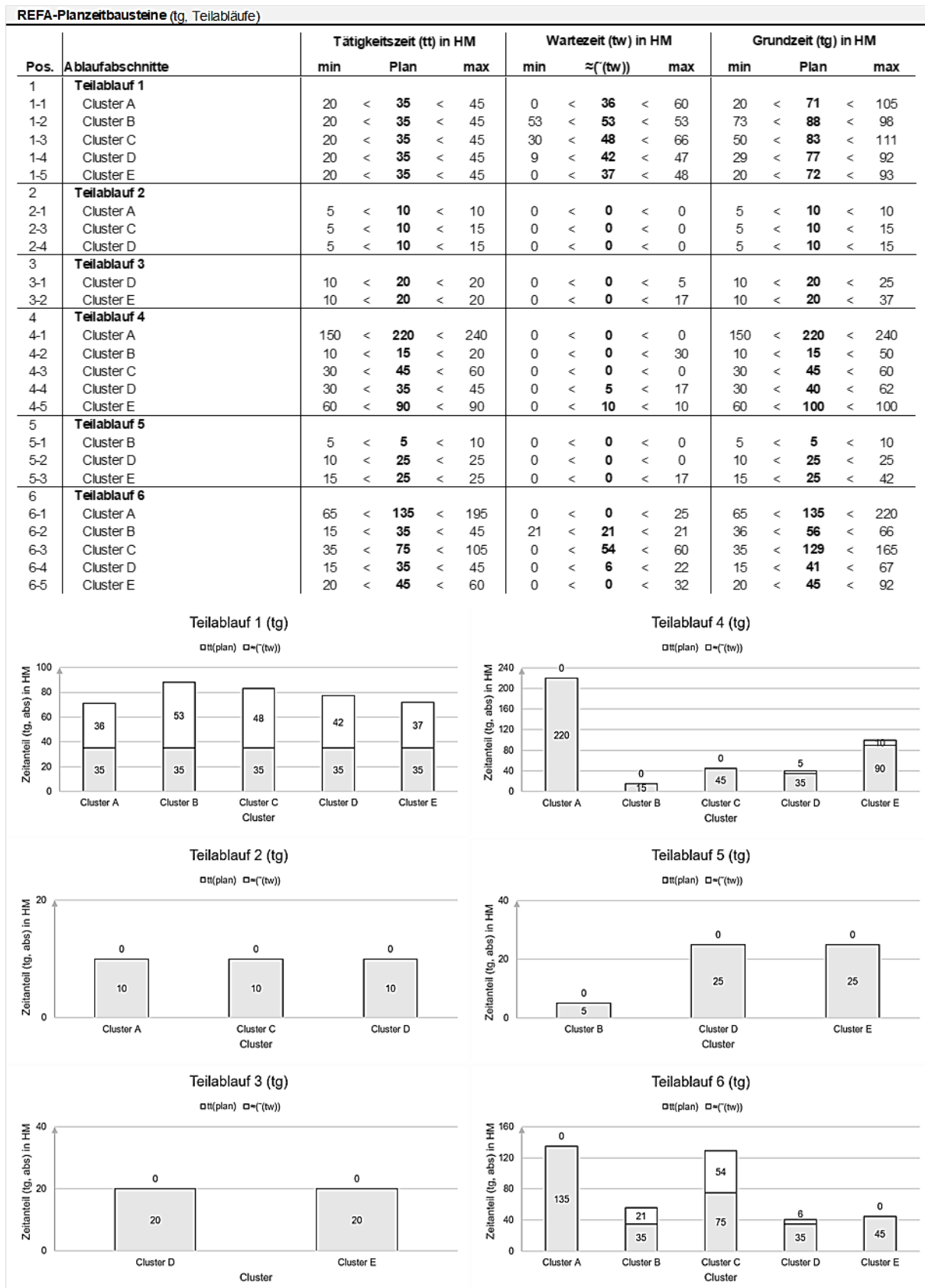


Abbildung 80 REFA-Planzeitenbausteine für Teilabläufe (tg)
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

5.5.3.7 Auswertung von Störeinflüssen in der Gesamtauswertung

Über die rein quantitative Betrachtung der Zeitdaten hinaus besteht eine weitere Anforderung (gemäß [Abs. 5.2](#)) in der Analyse von Störeinflüssen. Hierzu empfiehlt sich die Übertragung der in den clusterspezifischen Auswertungen erfassten Störeinflüsse ([Abs. 5.5.2.2](#)) als Datenbasis in die Gesamtauswertung. Zentrale Informationen sollten dabei folgende sein ([Abb. 81](#)):

- Zuordnung zum jeweiligen Cluster,
- Kategorisierung nach 6M (Mensch, Methode, Maschine, Material, Management, Milieu),
- Positionsnummer zur Auffindung in den Aufnahmeprotokollen,
- Beschreibung der Störung,
- Anzahl der Erfassungen über die Aufnahmen je Cluster (n).

	Kategorie (6M)	Pos.-Nr (Aufnahmeprotokoll)	Beschreibung	Erfassungen (n)
Cluster A	Mensch	M1-23.2, M2-15.2, M3-3.2, M3-12.2, M3-18.1, M4-3.1, M4-3.2, M4-2.3, M4-18.3, M4-19.1, M4-20.2, M4-23.2, M4-26.2, M4-30.2, M5-25.1	Störeinfluss Mensch #1	15
	Mensch	M2-3.1, M2-18.1, M2-19.1, M2-21.2, M3-3.1, M3-18.4, M4-2.2, M4-7.1, M5-5.3, M5-16.1, M5-19.3, M5-22.1	Störeinfluss Mensch #2	12
	Mensch	M5-9.1	Störeinfluss Mensch #3	1
	Methode	M1-4.1, M5-5.2	Störeinfluss Methode #1	2
	Methode	M1-17.1, M4-17.1	Störeinfluss Methode #2	2
	Methode	M2-4.1	Störeinfluss Methode #3	1
	Methode	M2-19.1	Störeinfluss Methode #4	1
	Methode	M3-5.2	Störeinfluss Methode #5	1
	Methode	M3-24.3	Störeinfluss Methode #6	1
	Methode	M4-1.7E, M4-11.1E	Störeinfluss Methode #7	2
	Methode	M4-18.4	Störeinfluss Methode #8	1
	Methode	M4-4.2, M4-18.1, M5-2.1	Störeinfluss Methode #9	3
	Methode	M5-4.2	Störeinfluss Methode #10	1
	Methode	M5-10.1	Störeinfluss Methode #11	1
	Maschine	M4-5.3	Störeinfluss Maschine #1	1
	Maschine	M4-9.1	Störeinfluss Maschine #2	1
	Maschine	M5-17.1	Störeinfluss Maschine #3	1
	Material	M3-4.2	Störeinfluss Material #1	1
	Management	M2-21.2, M4-1.3, M4-1.9E, M4-3.2, M4-5.2, M4-5.3, M4-17.2	Störeinfluss Management #1	7
	Management	M3-19.1	Störeinfluss Management #2	1
	Management	M4-23.2	Störeinfluss Management #3	1
	Management	M5-1.3, M5-25.1	Störeinfluss Management #4	2
	Milieu	M1-17.1	Störeinfluss Milieu #1	1

Abbildung 81 Übertrag erfasster Störungen aus Cluster- in Gesamtauswertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Daran anknüpfend sollten die über alle Cluster zusammengetragenen Störungen nach 6M-Kategorien sortiert werden. In diesem Auswertungsschritt empfiehlt sich zunächst eine weiterhin variantenspezifische Darstellung ohne weitere logische Abstraktion. Die Ergebnisse dieses Zwischenschritts sind nachfolgend dargestellt ([Abb. 82](#)).

Störeinflüsse nach 6M-Kategorie			
Kategorie (6M)	Prüfzyklus	Beschreibung	Erfassungen (n)
Mensch	Cluster A	Störeinfluss Mesch #1	15
		Störeinfluss Mesch #2	12
		Störeinfluss Mesch #3	1
	Cluster B	Störeinfluss Mesch #1	2
		Störeinfluss Mesch #2	2
	Cluster C	Störeinfluss Mesch #1	1
		Störeinfluss Mesch #2	2
	Cluster D	Störeinfluss Mesch #1	3
		Störeinfluss Mesch #2	2
		Störeinfluss Mesch #3	1
	Cluster E	Störeinfluss Mesch #4	2
		Störeinfluss Mesch #1	2
		Störeinfluss Mesch #2	6
Methode	Cluster A	Störeinfluss Methode#1	2
		Störeinfluss Methode#2	2
		Störeinfluss Methode#3	1
		Störeinfluss Methode#4	1
		Störeinfluss Methode#5	1

Abbildung 82 Kategorisierung erfasster Störungen in der Gesamtauswertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Im nächsten Arbeitsschritt sollte eine Zusammenfassung gleichartiger Störgrößen zu kombinierten Oberbegriffen erfolgen. Zudem empfiehlt sich die Division der Häufigkeit der Erfassungen (n) durch die Anzahl durchgeführter Beobachtungen (Zeitaufnahmen, A), um ein relatives Verhältnis an Vorkommen je Durchführung des Prüfprozesses zu bilden. Diese Betrachtung kann einmal separat je Ablaufvariante (Formel 25) und einmal in kombinierter Form über alle Beobachtungen des Arbeitsstudiums (Formel 26) durchgeführt werden. Wichtig ist dabei zu beachten, dass diese Häufigkeitsbetrachtung nicht über das Arbeitsstudium hinaus repräsentativ ist und lediglich grobe Tendenzen innerhalb der Stichprobe abbildet.

Formel 25 Störungshäufigkeit nach Prüfzyklus
(Eigene Formel)

$$H_{\text{Zyklus}} = \frac{\sum n_{\text{Prüfzyklus}}}{\sum A_{\text{Prüfzyklus}}}$$

$n_{\text{Prüfzyklus}}$ Anzahl erfasster Störungen im Prüfzyklus

$A_{\text{Prüfzyklus}}$ Anzahl durchgeführter Beobachtungen des Prüfzyklus

Formel 26 Störungshäufigkeit im Arbeitsstudium
(Eigene Formel)

$$H_{\text{Arbeitsstudium}} = \frac{\sum n_{\text{gesamt}}}{\sum A_{\text{gesamt}}}$$

n_{gesamt} Anzahl erfasster Störungen im gesamten Arbeitsstudium

A_{gesamt} Anzahl durchgeführter Beobachtungen über das gesamte Arbeitsstudium

Zu beachten ist, dass die Ergebnisse der relativen Häufigkeit nicht in prozentualen Größen ausgegeben werden. Die Häufigkeitsangaben stehen in diesem Kontext für die mittlere Anzahl an Vorkommnissen einer Störung je Durchführung des Prüfprozesses innerhalb der Stichprobe. Ein Auszug der Ergebnisse dieser Untersuchung ist nachfolgend dargestellt ([Abb. 83](#)).

Zusammenfassung Störeinflüsse nach 6M-Kategorie							
Kategorie (6M)	Beschreibung	Prüfzyklus	Erfassungen im Prüfzyklus (n)	Aufnahmen des Prüfzyklus (A)	Vorkommen (n/A)	Summe Erfassungen (n)	Summe Vorkommen (n/A)
Mensch	Störeinfluss Mensch #1	Cluster A	15	5	3	28	1,27
		Cluster B	2	3	0,67		
		Cluster C	2	3	0,67		
		Cluster D	6	4	1,50		
		Cluster E	2	5	0,40		
	Störeinfluss Mensch #2	Cluster A	12	5	2,4	23	1,05
		Cluster B	3	3	1,00		
		Cluster C	0	3	0,00		
		Cluster D	2	4	0,50		
		Cluster E	6	5	1,20		
	Störeinfluss Mensch #3	Cluster A	1	5	0,2	1	0,05
		Cluster B	0	3	0,00		
		Cluster C	0	3	0,00		
		Cluster D	0	4	0,00		
		Cluster E	0	5	0,00		
Methode	Störeinfluss Methode #1	Cluster A	4	5	0,8	6	0,27
		Cluster B	1	3	0,33		
		Cluster C	0	3	0,00		
		Cluster D	0	4	0,00		
		Cluster E	0	5	0,00		
	Störeinfluss Methode #2	Cluster A	6	5	1,2	19	0,86
		Cluster B	4	3	1,33		
		Cluster C	0	3	0,00		
		Cluster D	2	4	0,50		
		Cluster E	4	5	0,80		
	Störeinfluss Methode #3	Cluster A	6	5	1,2	7	0,32
		Cluster B	0	3	0,00		
		Cluster C	0	3	0,00		
		Cluster D	0	4	0,00		
		MAN V8 ZKG	1	2	0,50		
	Störeinfluss Methode #4	Cluster A	0	5	0	2	0,09
		Cluster B	0	3	0,00		
		Cluster C	0	3	0,00		
		Cluster D	1	4	0,25		
		Cluster E	1	5	0,20		
Maschine							

Abbildung 83 Relative Häufigkeit von Störungen in der Gesamtauswertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Die Ergebnisse der relativen Häufigkeit von Störungen in der Gesamtauswertung sollten zudem in die bereits etablierte Form des Ursache-Wirkungs-Diagramms (Ishikawa) übertragen werden ([Abb. 84](#)).

Die Untersuchung der Störeinflüsse empfiehlt sich abschließend um eine Prioritätsbewertung der Störungen zu ergänzen. Neben der reinen Häufigkeitsbetrachtung kann die Analyse um weitere relevante Dimensionen erweitert werden. Als Orientierung bieten sich dabei gängige Konzepte der Risikobewertung an, wie etwa die Berechnung der *Risikoprioritätszahl* (RPZ) ([Formel 27](#)) aus dem Verfahren der Fehlermöglichkeits- und -Einflussanalyse (FMEA, [Abs. 2.2.3.2](#)). Diese ergibt sich im Standard aus der Multiplikation der Einschätzung von Bedeutung (B), Auftretenswahrscheinlichkeit (A) und Entdeckungswahrscheinlichkeit (E), jeweils über eine Skala der Werte „1“ bis „10“ (vgl. [Brüggemann, Bremer 2020](#), S. 49 ff.).

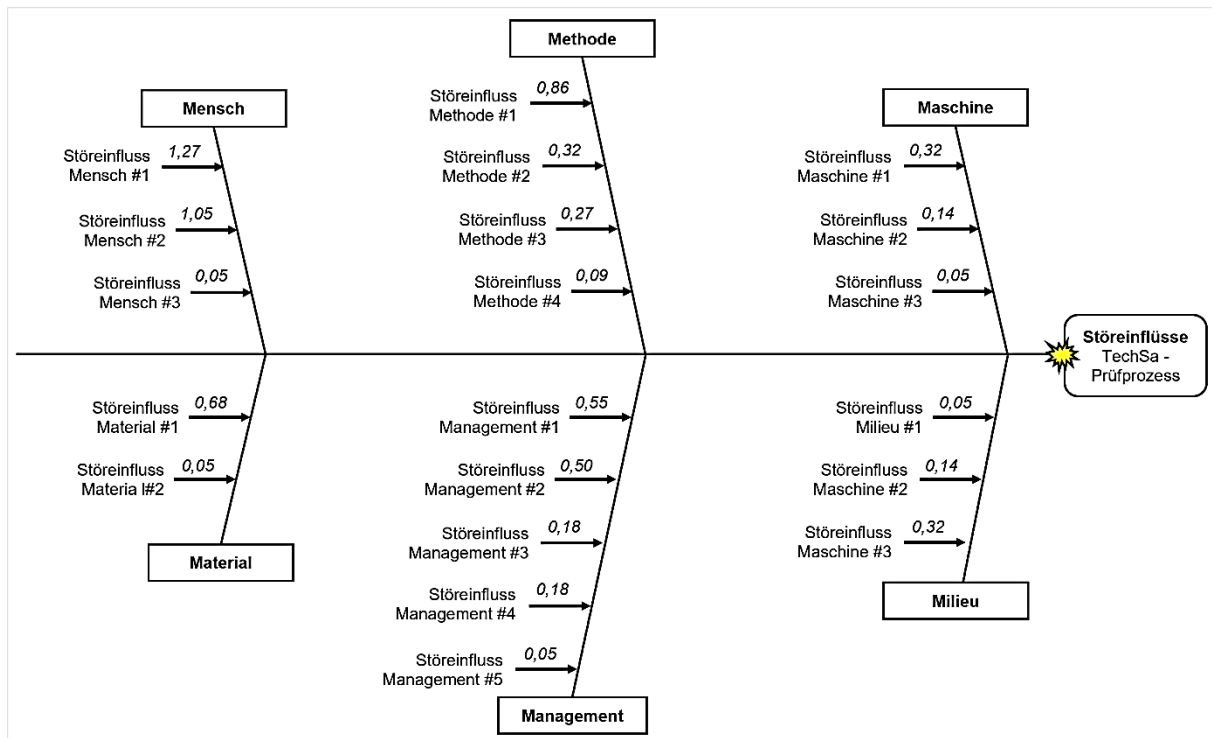


Abbildung 84 Störungen und relative Häufigkeiten im Arbeitsstudium (Ishikawa)
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Formel 27 Risikoprioritätszahl (Standard)

$$RPZ = A * E * B$$

(Quelle: Brüggemann, Bremer 2020, S. 50)

A Auftretenswahrscheinlichkeit **E** Entdeckungswahrscheinlichkeit **B** Bedeutung

Für den vorliegenden Anwendungskontext empfiehlt sich eine Adaption der RPZ (Formel 28). Die Auftretenswahrscheinlichkeit (A) kann dabei durch die zuvor berechnete relative Häufigkeit (H) im gesamten Arbeitsstudium ersetzt werden. Die Bedeutung (B) wird aus der Standardvariante (Formel 27) übernommen. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) kann durch die zu erwartende Abstellbarkeit (A) des jeweiligen Störeinflusses ersetzt werden, da diese im Kontext der Prozessoptimierung eine höhere praktische Relevanz besitzt. Die Bewertung von Bedeutung und Abstellbarkeit erfolgt in methodischer Analogie zur Standardvorgehensweise über eine Skala von „1“ bis „10“; die Entscheidung sollte zusätzlich verbal begründet werden.

Formel 28 Risikoprioritätszahl (Adaption)

$$RPZ = H * B * A$$

(In Anlehnung an: a.a.O.)

H Relative Häufigkeit **B** Bedeutung **A** Abstellbarkeit

Da die Werte der relativen Häufigkeit in der Regel deutlich unter den möglichen Skalenwerten von Bedeutung und Abstellbarkeit liegen, ist eine rechnerische Übergewichtung der letzteren beiden Dimensionen anzunehmen. Die relative Häufigkeit steht in dieser Betrachtung lediglich für die Anzahl aufgetretener Störungen, nicht aber für deren Intensität in Relation zur Prozesszeit. Vor diesem Hintergrund wird die Übergewichtung von Bedeutung und Abstellbarkeit bewusst in Kauf genommen, da der Fokus der Bewertung auf der praktischen Handlungsrelevanz liegt. Eine exemplarische Ausführung der Risikoprioritätsbewertung ist nachfolgend einsehbar (Abb. 85).

Risikoprioritätsbewertung							
Kategorie (6M)	Beschreibung	Vorkommenshäufigkeit ($\Sigma n/\Sigma A$)	Bedeutung der Störung (B)	Begründung der Bedeutung	Behebbarkeit der Störung (H)	Begründung der Behebbarkeit	RPZ
Mensch	Störeinfluss Mensch #1	1,27	3	Begründung	3	Begründung	11,45
	Störeinfluss Mensch #2	1,05	4	Begründung	2	Begründung	8,36
	Störeinfluss Mensch #3	0,05	1	Begründung	1	Begründung	0,05
Methode	Störeinfluss Methode #2	0,86	8	Begründung	7	Begründung	48,36
	Störeinfluss Methode #3	0,32	7	Begründung	7	Begründung	15,59
	Störeinfluss Methode #1	0,27	8	Begründung	7	Begründung	15,27
	Störeinfluss Methode #4	0,09	2	Begründung	8	Begründung	1,45
Maschine	Störeinfluss Maschine #1	0,32	8	Begründung	4	Begründung	10,18
	Störeinfluss Maschine #2	0,14	2	Begründung	1	Begründung	0,27
	Störeinfluss Maschine #3	0,05	2	Begründung	7	Begründung	0,64
Material	Störeinfluss Material #1	0,68	9	Begründung	5	Begründung	30,68
	Störeinfluss Material #2	0,05	1	Begründung	3	Begründung	0,14
Management	Störeinfluss Management #2	0,55	7	Begründung	6	Begründung	22,91
	Störeinfluss Management #1	0,50	7	Begründung	8	Begründung	28,00
	Störeinfluss Management #4	0,18	7	Begründung	6	Begründung	7,64
	Störeinfluss Management #5	0,18	7	Begründung	7	Begründung	8,91
	Störeinfluss Management #3	0,14	6	Begründung	10	Begründung	8,18
	Störeinfluss Management #6	0,05	7	Begründung	6	Begründung	1,91
Milieu	Störeinfluss Milieu #2	0,18	5	Begründung	6	Begründung	5,45
	Störeinfluss Milieu #3	0,14	3	Begründung	8	Begründung	3,27
	Störeinfluss Milieu #1	0,09	3	Begründung	3	Begründung	0,82

Abbildung 85 Relative Häufigkeit von Störungen in der Gesamtauswertung
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Die sich ergebenden Risikoprioritätszahlen (RPZ) sollten abschließend absteigend geordnet werden, um eine Rangfolge zur Priorisierung von Handlungsmaßnahmen abzuleiten (Abb. 86).

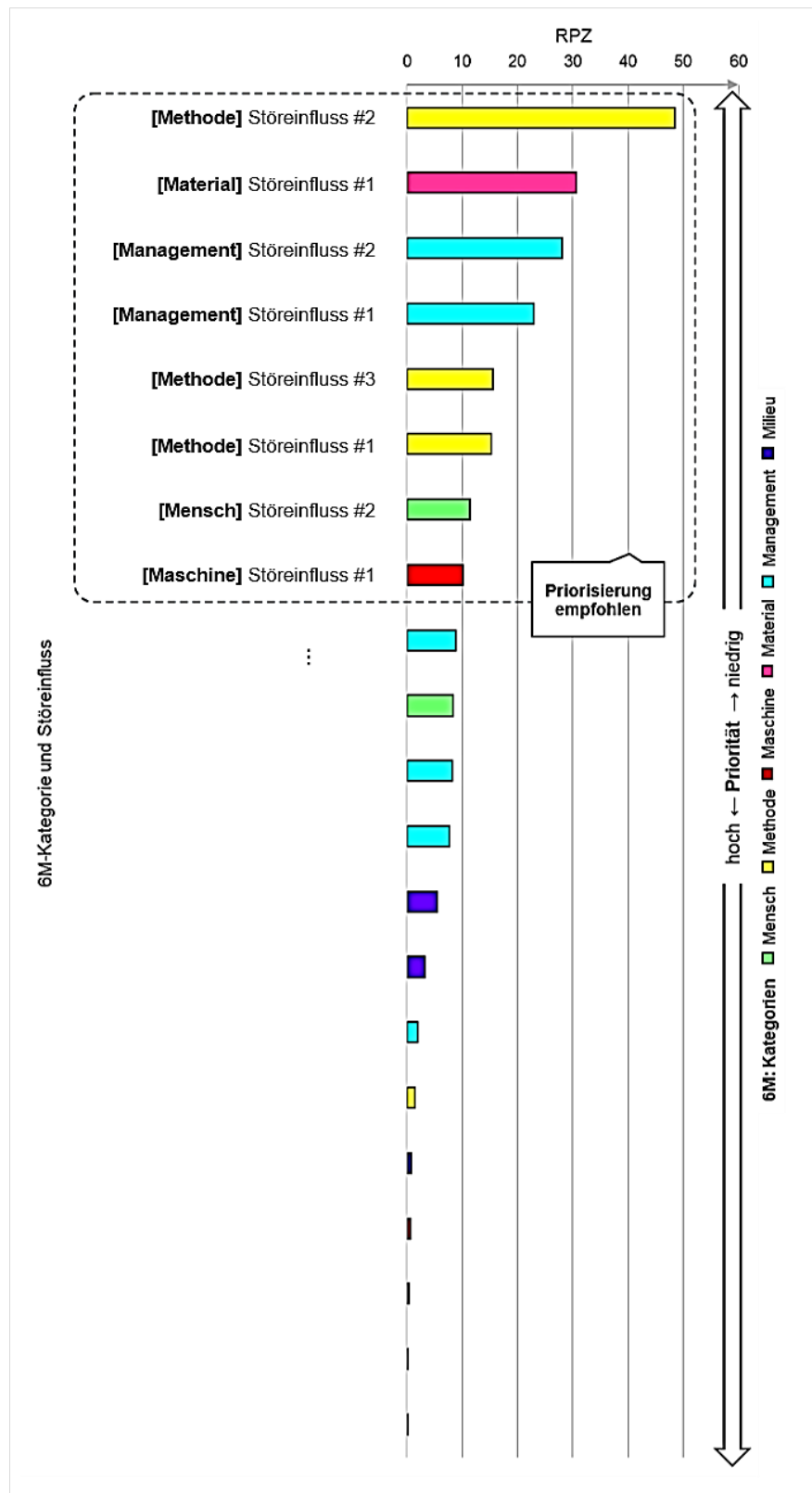


Abbildung 86 Rangfolge der Störungen nach Risikoprioritätszahl
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

5.5.3.8 Handlungsempfehlungen zur Prozessoptimierung

Mit Abschluss der Auswertung der Störeinflüsse (Abs. 5.5.3.7) kann zum inhaltlich letzten Punkt übergegangen werden – dem Formulieren von Handlungsempfehlungen zur Prozessoptimierung. Dieser schließt die Auswertung und damit verbunden das Arbeitsstudium gemäß der bestimmten Methodik (Abs. 5.5.1) ab.

Zur Ableitung der Handlungsempfehlungen empfiehlt sich zunächst eine erneute Sichtung aller Teilergebnisse der Datenanalyse des Arbeitsstudiums (Abs. 5.5). Zudem sollte eine strukturierte Übersicht der wesentlichen Erkenntnisse zusammengestellt werden (Abb. 87), um eine fundierte Grundlage für die nachfolgende Ableitung von Optimierungspotenzialen zu schaffen.

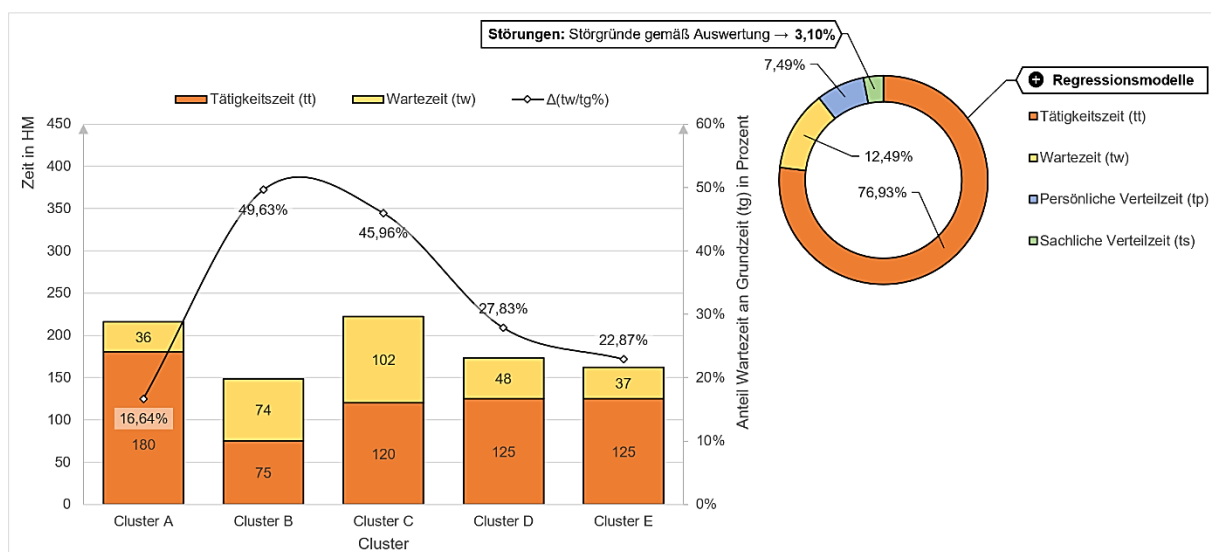


Abbildung 87 Kurzübersicht der wesentlichen Erkenntnisse dieses Arbeitsstudiums (Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Anschließend sollten identifizierte Optimierungspotenziale in tabellarischer Form niedergeschrieben werden. Dabei empfiehlt es sich, stets eine festgestellte Problemstellung zu benennen und daran anknüpfend Handlungsoptionen zur Abstellung zu beschreiben. In einem ersten Arbeitsschritt können die Handlungsempfehlungen zunächst ohne zusätzliche Definition von Prioritäten aufgestellt werden (Abb. 88).

Handlungsempfehlungen	
Pos.	Handlungsempfehlung
Themenbereich 1	
Teilaspekt 1.1	
Problem:	Problembeschreibung
Empfehlung:	Empfehlungen von Handlungen zur Reduktion/Abstellung der beschriebenen Probleme

Abbildung 88 Katalog an Handlungsempfehlungen zur Prozessoptimierung (Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Im Anschluss daran sollten für die abgeleiteten Empfehlungen Prioritätszahlen ermittelt werden. Das Vorgehen ähnelt dabei in vereinfachter Form dem zuvor genutzten Verfahren zur Bewertung der Störeinflüsse ([Abs. 5.5.3.7](#), [Formel 28](#)). So empfiehlt sich die Bewertung des zu erwartenden Nutzens (Output) für jede Handlungsempfehlung sowie der zur Umsetzung notwendigen Aufwände (Input). Aufgrund der in der Praxis häufig beschränkten Möglichkeit zur genauen Einschätzung bietet sich hierbei eine geringere Abstufung an – etwa eine Skala von „1“ bis „5“. Beide Bewertungen werden zur Priorisierungszahl multipliziert ([Formel 29](#)), aus der durch absteigende Ordnung eine Rangfolge der Handlungsempfehlungen abgeleitet wird ([Abb. 89](#)).

Formel 29 Prioritätszahl (Handlungsempfehlungen)
(Eigene Formel)

$$PZ = N * A$$

N Erwarteter Nutzen A Erwarteter Aufwand

Ranking der Handlungsempfehlungen							
Pos.	Handlungsempfehlung	1=wenig 5=viel		1=viel 5=wenig		Prioritätszahl	Rang
		Nutzen	Begründung	Aufwand	Begründung		
2.2	Handlungsempfehlung	4	Begründung für Nutzwert	4	Begründung für Aufwandswert	16	1
1.1	Handlungsempfehlung	5	Begründung für Nutzwert	3	Begründung für Aufwandswert	15	2
6.1	Handlungsempfehlung	5	Begründung für Nutzwert	3	Begründung für Aufwandswert	15	2
5.1	Handlungsempfehlung	5	Begründung für Nutzwert	2	Begründung für Aufwandswert	10	4
2.1	Handlungsempfehlung	3	Begründung für Nutzwert	3	Begründung für Aufwandswert	9	5
3.1	Handlungsempfehlung	4	Begründung für Nutzwert	2	Begründung für Aufwandswert	8	6
4.2	Handlungsempfehlung	3	Begründung für Nutzwert	2	Begründung für Aufwandswert	6	7
4.1	Handlungsempfehlung	5	Begründung für Nutzwert	1	Begründung für Aufwandswert	5	8

Abbildung 89 Priorisierung der abgeleiteten Handlungsempfehlungen
(Eigene Darstellung, exemplarische Referenz)

Mit der Formulierung der priorisierten Handlungsempfehlungen zur Prozessoptimierung sind alle inhaltlichen Meilensteine des Arbeitsstudiums als erfüllt zu betrachten. Eine konkrete Einordnung dieser erfolgt in [Abschnitt 6.2.1](#). Die Ergebnisse eines entsprechenden Arbeitsstudiums sollten abschließend den relevanten Stakeholdern im Unternehmen präsentiert werden, um eine gemeinsame Diskussion der Befunde und das weitere Vorgehen zu ermöglichen.

6 Fazit

6.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Die vorliegende Arbeit untersuchte den Prüfprozess zur Feststellung der Technischen Sauberkeit (TechSa) in einem praxisnahen – wenn auch abstrahierten (gem. [Anl. 1](#)) – Anwendungskontext. Im Bereich der *theoretischen Grundlagen* ([Abs. 2](#)) wurde die Technische Sauberkeit als Qualitätsmerkmal des Automobilbaus innerhalb des Qualitätsmanagements verortet. Zudem wurde sich mit den Wesenszügen der Prozessmodellierung und -optimierung als Teilbereiche eines umfassenden Prozessmanagements auseinandergesetzt. Zur Vorbereitung einer umfangreichen Analyse eines menschlichen Arbeitsprozesses in der Praxis schlossen die theoretischen Grundlagen mit der Disziplin der Arbeitswissenschaft ab, in deren Rahmen das Arbeitsstudium als Teilbereich und Methodenlehre für das weitere Vorgehen eingeordnet wurde.

Die Brücke von der Theorie in die Praxis wurde über eine Vorstellung des *Untersuchungsgegenstandes* und des betrieblichen Rahmens geschlagen ([Abs. 3](#)). Als Vorbereitung zur tiefgehenden Analyse erfolgte als nächster inhaltlicher Schritt die *Prozessmodellierung* der TechSa-Prüfungen ([Abs. 4](#)). Hierbei wurde die Landschaft der TechSa-Prüfprozesse zuerst verbal in ihren wesentlichsten Merkmalen beschrieben. Anschließend wurden auf Basis der Prozesscharakteristik zwei Modellierungsverfahren ausgewählt: die erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette (eEPK) und das Swimlane-Diagramm. Beide Verfahren wurden gewählt, um den Prozess in zwei verschiedenen Betrachtungsebenen modellieren zu können. Die eEPK fungierte dabei zur Darstellung von Teilabläufen als übergeordnete Logik zusammengehörender Ablaufstufen. Die einzelnen Ablaufstufen im Kontext verschiedener Prüfzyklen wurden anschließend über eine Swimlane-Modellierung beschrieben. Für jede Ablaufstufe wurde dabei definiert, welche Tätigkeiten in diesem Element umgesetzt werden sowie Kriterien festgehalten, welche den Start und das Ende einer Ablaufstufe in der Ausführung bestimmen.

Mithilfe der abgeleiteten Modelle konnten Daten in der Praxis anschließend im Rahmen eines *Arbeitsstudiums* erhoben werden ([Abs. 5](#)). Hierzu wurden die Anforderungen an zu erhebende Daten festgehalten und auf dieser Basis eine Serie von REFA-Zeitaufnahmen mit individualisierten Aufnahmeprotokollen umgesetzt. In den Aufnahmen wurden Zeiten nach REFA-Standard (Zeit je Einheit) erfasst sowie aufgetretene Störungen dokumentiert.

Die Daten des Arbeitsstudiums wurden anschließend differenziert nach Clustern (Ablaufvarianten) bewertet („*Clusterauswertung*“, Abs. 5.5.2). Hier wurden die Daten der Einzelaufnahmen aus den Protokollen in eine Datentabelle überführt und statistisch auf ihre Sicherheit bewertet. Abgeleitet wurden zudem clusterspezifische Tätigkeitsstrukturkompositionen und Vorgabezeiten. Erfasste Störeinflüsse der einzelnen Cluster wurden jeweils über Ursache-Wirkungs-Diagramme (Ishikawa) beschrieben.

Im Anschluss an die einzelnen Projektauswertungen erfolgte eine ganzheitliche Analyse („*Gesamtauswertung*“, Abs. 5.5.3). Hierbei wurden die Daten der zuvor durchgeführten Projektauswertungen kombiniert betrachtet. Über die Bewertung der Aufnahmedaten mittels deskriptiver Statistik erfolgte eine manuelle Definition von Soll-Zeiten, deren Aussagekraft erneut statistisch bewertet wurde. Per Regressionsanalyse wurden zusätzliche Modelle zur Prognose von Tätigkeitszeiten für Neuprojekte erstellt. In der Gesamtauswertung wurde zudem eine ganzheitliche Analyse nicht-wertschöpfender Bestandteile der Abläufe (Stillstandszeiten) durchgeführt. Das Verbinden einer separaten Wartezeitenanalyse mit den zuvor ermittelten Vorgabezeiten ermöglichte die Ableitung von REFA-Planzeitbausteinen, über die die untersuchten Prozesse sowie vergleichbare Abläufe zukünftig vorausgeplant werden können. Durchgeführt wurde darüber hinaus eine kombinierte Auswertung und Priorisierung aller erfassten Störgrößen. Mit dem gesammelten Wissen wurden abschließend priorisierte Handlungsempfehlungen ausgesprochen.

6.2 Zielerreichung und Hypthosenbewertung

6.2.1 Meilensteinbetrachtung

Im Abschluss an die Umsetzung eines solchen Projekts ist der Projekterfolg über die Bewertung der zuvor definierten Meilensteine zu bemessen. Für diese Arbeit wurden im Rahmen der Zielstellung (Abs. 1.3) vier Meilensteine definiert (Tab. 1). Diese sollen nachfolgend für eine vollständige Umsetzung der in dieser Arbeit geschilderten Vorgehensweise eingeordnet werden (Tab. 24).

Tabelle 24 Gegenüberstellung von Meilensteinen und Ergebnissen dieser Arbeit
(Eigene Darstellung)

Pos.	Meilenstein
M1	Meilenstein: Der Prüfprozess der Technischen Sauberkeit [...] ist mit seinen relevanten Tätigkeitsbestandteilen modelliert.

	Bewertung: Die vorliegende Arbeit schilderte einen beispielhaften Referenzablauf zur Umsetzung von TechSa-Prüfungen mittels Flüssigextraktion (Abs. 4.2.3). Anschließend wurden Überlegungen zur differenzierten Betrachtung des Prozesses in verschiedenen Betrachtungsebenen angestrebt (Abs. 4.2.4). Nachdem darauf hin die wesentlichen Charakteristiken des Gesamtablaufs bestimmt worden (Abs. 4.3.1), konnten Modellierungsverfahren ausgewählt werden (Abs. 4.3.2). Es erfolgt eine zweistufige Modellierung der TecSa-Prüfprozesslandschaft. Dabei ist die grobe Ablauforganisation des Gesamtablaufs über eine (e)EPK modelliert worden (Abs. 4.4.1). Dieser untergeordnet wurde ein Swimlane-Diagramm erstellt, welches cluster- bzw. variantenspezifische Variationen in feinerer Granularität zusätzlich differenzierte (Abs. 4.4.2). Über eine Prozessmatrix (Abs. 4.2.4.3) und sowie die Definition von Start- und Endzeitpunkten bzw. -kriterien (Abs. 4.5) wurde die Repräsentativität der Modellierungen abgesichert. Die Modellierung des Prüfprozess der Technischen Sauberkeit mit seinen relevanten Tätigkeitsbestandteilen ist somit als <i>umgesetzt</i> zu betrachten.
M2	Meilenstein: Zur Schaffung einer Kapazitätsplanungsgrundlage wurden sämtliche Prüfprozesse der Technischen Sauberkeit [...] zeitlich analysiert und quantitativ auf ihre Tätigkeitsbestandteile untersucht. Bewertung: Nach der Auswahl des REFA-Arbeitsstudiums und der REFA-Zeitaufschreibung als Verfahrens zur Zeitdatenerhebung (Abs. 5.3) wurden für alle modellierten Ablaufstufen (Abs. 4.4.2) Zeitdaten erhoben (Abs. 5.4). Diese wurden anschließend nach Cluster separiert ausgewertet (Abs. 5.5.2) sowie in kombinierter Betrachtung zusammengeführt (Abs. 5.5.3). Die Ergebnisse wurden in Form von REFA-Planzeitbausteinen (Abs. 5.5.3.6) bzw. konkreten Einfachregressionsmodellen (Abs. 5.5.3.3) ausgegeben. Die zeitlich-quantitative Analyse der Modellierungsergebnisse aus M1 sind somit ebenso als <i>umgesetzt</i> zu betrachten.
M3	Meilenstein: Der Gesamtprüfprozess der Technischen Sauberkeit [...] wurde auf Aspekte der Verschwendung und Schwachstellen untersucht. Bewertung: Das aufgezeigte Vorgehen für das Arbeitsstudium verfolgte einen individuellen Ansatz zur Dokumentation während der Durchführung der Beobachtungsstudien (Abs. 5.4.2.7). Dabei wurden festgestellte Störungen nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ erfasst.

	Somit konnte im Rahmen der Auswertung des Arbeitsstudiums (Abs. 5.5) über die rein quantitative Zeitdatenanalyse hinaus auch eine qualitative Auswertung von Störgrößen realisiert werden. Die Störungen wurden sowohl in der Clusteranalyse bewertet (Abs. 5.5.2.2), wie auch in der kombinierten Gesamtbetrachtung (Abs. 5.5.3.7). Verwendet wurde dazu ein Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa), welches die Störeinflüsse nach der 6M-Methode kategorisiert. In der Gesamtauswertung wurden die festgestellten Störungen weiterführend bewertet. So wurden ihre relativen Vorkommenshäufigkeiten berechnet und zusammen mit ihren Bedeutungen und Abstellbarkeiten einer Risikoprioritätsbewertung unterzogen. In der rein zeitliche-quantitativen Betrachtung wurden zudem die Vorkommnisse an Stillstandszeiten sowie ihre kausalen Hintergründe untersucht (Abs. 5.5.3.5). Beides zusammen ergibt eine fundierte Bewertung der im Prozess befindlichen Aspekte der Verschwendung und Schwachstellen. Die Analyse dieser ist entsprechend auch als <i>umgesetzt</i> anzusehen.
M4	Meilenstein: Optimierungspotentiale für den Gesamtprüfprozess der Technischen Sauberkeit [...] wurden geprüft und bei Vorhandensein in Form von Handlungsempfehlungen schriftlich festgesetzt. Bewertung: Auf der – für M3 umgesetzten – Verschwendungs- und Schwachstellenanalyse aufbauend wurden abschließend Handlungsempfehlungen abgeleitet (Abs. 5.5.3.8). Hierbei wurde in erster Instanz ein Gesamtbild über die erhobenen Daten zur Prozesslandschaft zusammengestellt. Die ganzheitliche Betrachtung der Prozessmodelle (M1) und ihrer zugehörigen Planzeiten (M2) sowie den enthaltenen Schwachstellen (M3) ermöglichte ein Aufstellen fundierter Handlungsempfehlungen. Diese wurden dann einer minimalistischen Nutzwertabwägung (erwarteter Aufwand vs. erwarteter Nutzen) unterzogen, sodass die ausgestellten Handlungsempfehlungen zusätzlich eine Priorität zugeordnet bekommen konnten. Somit ist die Grundlage für weiterführende Prozessoptimierungen auf Ebene der obersten Leitung (Management) geschaffen. M4 ist somit ebenso als <i>umgesetzt</i> zu betrachten.

Diese Meilensteine dienen nur als exemplarische Referenz, um aufzuzeigen, wie der Projekterfolg eines solchen Vorhabens in Praxis bewertet werden kann. Diese sind je nach Anwendungskontext auch andersartig ausgestaltbar.

6.2.2 Bewertung von Hypothese 1

Es schließt sich die Bewertung der Hypothesen an. In allgemein abstrahierter Bewertung zur Erfüllung der Geheimhaltungsauflagen ([Anl. 1](#)) werden zur Bewertung der Hypothesen hier keine konkreten Einordnungen getroffen. Dies liegt daran, dass im Rahmen der Anonymisierung und Abstraktion dieser Fassung gegenüber der Originalfassung (Masterarbeit) keine Realdaten oder tatsächliche Ablaufstufen ausgewiesen worden. Die Bewertung der ebenso exemplarischen Hypothesen soll lediglich im Zusammenhang mit der vorgestellten Vorgehensweise eingeordnet werden. Es ist daran zu erinnern, dass die Hypothesen – wie schon die Meilensteine ([Abs. 6.2.1](#)) – nur als Referenz dienen sollen. Je nach individuellem Anwendungsfall können auf diese anders ausgestaltet werden.

Hypothese 1 ([Abs. 1.3](#)) lautet dabei: „Der Standardisierungsgrad des bestehenden Prüfprozesses der Technischen Sauberkeit [...] ist hoch genug, um eine Prozessmodellierung und zeitliche Kapazitätsplanung über Vorgabezeiten zu ermöglichen.“

Die Bewertung dieser Hypothese kann dabei über einen Abgleich der erwarteten Plandatensicherheit mit den tatsächlich ausgewiesenen Werten ([Abs. 5.5.2.2](#) bzw. [Abs. 5.5.3.2](#)) geprüft werden. Konkret ist zu untersuchen, die Plandaten über die Konfidenzbetrachtung in einem realistisch planbaren Korridor bestimmt werden können. Dabei muss der Umfang der erhobenen Daten ausreichend groß sein (auch bei Anwendung der t-Verteilung nach Student, [Abs. 5.5.2.3](#), [Tab. 21](#)), um überhaupt einen validen Datensatz darzustellen. Mit entsprechendem Umfang sind anschließend Lage- und Streubewertungen vorzunehmen. Mit diesen kann wiederum geprüft werden, ob der Ablauf in der Realität (in gewählter Betrachtungsebene, [Abs. 4.2.4](#)) standardisiert genug abläuft, um in der modellierten Form quantitativ hinreichend genau analysiert zu werden.

Praktische Beispiele könnten etwa in Einschränkungen durch inkonsistentes Vorgehen der Ausführenden, schwankende Eingangsqualität der Prüfteile oder mangelnde Einhaltung vorgegebener Prozessparameter bestehen. Mögliche Gegenmaßnahmen bei entsprechend kritischen Ergebnissen könnten darin bestehen, den Prozess in feinerer Granularität zu analysieren – die Betrachtungen also weiter in Richtung der Mikroebene ([Abs. 4.2.4.1](#), [Abb. 38](#)) zu verschieben.

6.2.3 Bewertung von Hypothese 2

Hypothese 2 ([Abs. 1.3](#)) lautet: „Der bestehende Prüfprozess der Technischen Sauberkeit [...] erfüllt gängige Industriestandards in Bezug auf die Effizienz als menschlicher Arbeitsablauf.“

Diese Hypothese lässt sich über einen Vergleich der Daten Verteilzeiten (t_v) mit dem gängigen Industriestandard des REFA-Instituts bewerten. Je nach erfasster Tätigkeitsstruktur ([Abs. 5.5.3.5](#), [Abb. 77](#)) kann der beobachtete Ablauf als „effizient“ oder „ineffizient“ eingestuft werden. Hierbei besteht die Vorgabe für Standardabläufe in Obergrenzen für die persönliche Verteilzeit (t_p) von zehn Prozent sowie für die sachliche Verteilzeit (t_s) von fünf Prozent (vgl. [REFA 2025h](#)). Zu beachten sind hier wieder mögliche Betriebsvereinbarungen mit dem Betriebsrat ([Abs. 5.4.2.2](#)).

6.2.4 Bewertung von Hypothese 3

Hypothese 3 ([Abs. 1.3](#)) lautet: „Der bestehende Prüfprozess der Technischen Sauberkeit [...] unterliegt Störeinflüssen, die durch eine Optimierung reduziert oder gänzlich eliminiert werden können.“

Diese Hypothese knüpft dabei in ihrer Bewertung direkt an Hypothese 2 an. So ist es bei einer Überschreitung der Grenzwerte des REFA-Standards für effiziente Arbeitsprozesse ([Abs. 6.2.3](#)) wichtig die Ursachen dafür zu klären. Dies ist integraler Bestandteil der Schwachstellenanalyse (M3, [Abs. 5.5.2.2](#) bzw. [Abs. 5.5.3.7](#)). So sollten mitwirkende Störeinflüsse kategorisch erfasst werden und systematisch abgestellt werden. Praktische Beispiele könnten etwa in Doppelrollen Ausführender bestehen, für die diese nichts können. Hierbei kann die vermeintliche Ineffizienz im Prozess beispielweise außerhalb der Systemgrenzen des Arbeitsstudiums liegen.

Entsprechend komplex kann sich die Ursachenanalyse für mögliche Defizite gestalten. Ein systematisches Vorgehen kann einen solchen Prozess dabei unterstützen. Im aufgezeigten Vorgehen wurde die Analyse der Störeinflüsse deshalb über Ursache-Wirkungs-Diagramme (Ishikawa) umgesetzt und nach der 6M-Methode kategorisiert (insb. [Abs. 5.5.3.7](#)). In jeder der sechs Dimensionen (Mensch, Methode, Maschine, Material, Management, Milieu) konnten Störungen identifiziert werden. Eine Priorisierung der erfassten Störbilder erfolgte unter Abwägung von relativen Vorkommenshäufigkeiten, Bedeutung und Abstellbarkeit. Im Kontext der Handlungsempfehlungen ([Abs. 5.5.3.8](#)) wurden Optimierungsmöglichkeiten beschrieben und hinsichtlich zu erwartendem Aufwand und Nutzen priorisiert. Neben der reinen Betrachtung von Störungen wurden auch Auffälligkeiten in der Verteilung von Tätigkeits- und Wartezeiten einbezogen. Optimierungspotentiale bestehen im Vorbeugen bekannter Störbilder, der Senkung von Tätigkeitszeiten durch erhöhte Prozessstandardisierung sowie der Reduktion von Wartezeiten.

6.3 Ausblick

6.3.1 Weiterer Umgang mit den Arbeitsergebnissen

Die Ergebnisse eines entsprechend durchgeführten Arbeitsstudiums stellen eine erste umfangreichere arbeitswissenschaftliche Beurteilung von menschlichen Tätigkeiten im TechSa-Laborumfeld dar und können sowohl zur Kapazitätsplanung (insb. [Abs. 5.5.3.3](#) und [Abs. 5.5.3.6](#)) als auch im Bereich der Prozessoptimierung (insb. [Abs. 5.5.3.7](#) und [Abs. 5.5.3.8](#)) angewendet werden. Zu beachten ist dabei, dass beobachtete Ausführende gewissen Schwankungen durch individuelle Ablaufstrukturen unterliegen können. Ein noch ausbaufähiger Standardisierungsgrad im Prozess kann zudem vereinzelt zu erhöhten Schwankungsbreiten führen. Ein Validieren der Plandaten sowie der Ausbau der Datenbasis wird nach Möglichkeit empfohlen. Hierzu können vereinzelte Stichprobenprüfungen – etwa über Multimomentaufnahmen (MMA) oder Selbstaufschreibungen ([Abs. 2.4.4.3](#)) – erfolgen. Ein mögliches Vorgehen bestünde dann in der Überprüfung weiterer Daten auf Abweichungen gegenüber der erhobenen Datenbasis. Mögliche Anomalien könnten in abweichenden Trends oder einer starken Ausweitung der Vertrauensbereiche bestehen.

Im Rahmen der durchgeführten statistischen Sicherheitsbewertung ([Abs. 5.5.2.3](#) und [Abs. 5.5.3.2](#)) bietet es sich zudem jederzeit an, die Tätigkeitsstruktur statistisch unsicherer Ablaufstufen um eine Betrachtung auf Vorgangsebene zu erweitern. Besonders bieten sich dabei jene Ablaufstufen an, die eine hohe interne Variabilität aufweisen. Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Datenqualität bestünde darin, feste Tätigkeitsbestandteile von optionalen sowie fixe von variablen Vorgängen zu trennen. Als Beispiel sei die Zusammensetzung der Filteranalyse (Referenzablauf, [Abs. 4.2.3.6](#)) genannt: Der einbezogene Raster scan (Mikroskopie) stellt einen festen Bestandteil dar, der sich in seiner zeitlichen Ausprägung regelmäßig ähnelt, während eine nachgelagerte manuelle Auswertung variiert. Entsprechende Unterschiede könnten beispielsweise für eine detailliertere Prozessplanung herausgearbeitet werden.

6.3.2 Weitere Perspektive der Prozessplanung im Qualitätswesen

Über den unmittelbaren Untersuchungsgegenstand eines *TechSa*-Arbeitsstudiums hinaus können weitere Bereiche des qualitätssichernden Laborbetriebs in den Fokus genommen werden. Hierzu zählen beispielsweise weitere Messverfahren im Messraum (z. B. Rauheits- oder Konturmessungen) sowie eine übergeordnete Untersuchung des Tätigkeitsspektrums von Qualitätsingenieuren.

Bezüglich weiterer Messverfahren sind gegenüber TechSa-Prüfungen in der Regel deutlich kürzere Aufnahmezeiten zu erwarten, da die Komplexität der Prozesse im direkten Vergleich erheblich geringer ist.

Auf die Erfassung über individuelle Aufnahmeprotokolle (gemäß [Abs. 5.4.2.7](#)) kann hierbei gegebenenfalls verzichtet werden. Eine reine Feststellung der Tätigkeitszeiten (t_t) oder alternativ eine vereinfachte Unterscheidung zwischen Tätigkeits- und Stillstandszeiten kann die Datenerhebung entsprechend vereinfachen. Durch den Verzicht auf eine detailliertere Differenzierung von Zeitarten wären weniger Vorkenntnisse erforderlich, um die Daten zu erheben. Der Entfall von Störgrößenvermerken würde Erhebung und Auswertung zusätzlich einkürzen – eine detaillierte Schwachstellenanalyse wäre in diesem Fall allerdings nachträglich nicht möglich. Als sinnvoll könnte dieser vereinfachte Ansatz dennoch bewertet werden, wenn Aufwand und Nutzen in einer angemessenen Relation stehen. Um ein solches Vorgehen in seiner Effektivität bewerten zu können, empfiehlt sich vorab eine Pilotstudie, gegebenenfalls kombiniert mit qualitativen Beobachtungen. Bei Feststellung auffälliger Ineffizienzen kann der Betrachtungsrahmen iterativ ausgedehnt werden.

In Bezug auf die *Tätigkeitsuntersuchung von Qualitätsingenieuren* sind alternative Ansätze zu prüfen. Hierbei ist die Eigenverantwortung der Mitarbeitenden als potentielles Hindernis zu identifizieren: Mit einem erhöhten Risiko von Unverständnis oder Unmut gegenüber dem Vorhaben ist zu rechnen. Es empfiehlt sich daher, akzeptanzschaffende Maßnahmen in diesem Szenario besonders stark zu priorisieren. Erschwerend wirkt zudem der Charakter der Stellenprofile, da im Qualitätsingenieurwesen keine standardisierten, sondern individuell geplante Abläufe vorliegen. Eine simple Betrachtung von Zeiten ist hier als entsprechend ungeeignet anzunehmen.

Vor diesen Hintergründen kann ein *zweistufiges Vorgehen* sinnvoll sein. Im ersten Schritt sollten die wesentlichen Tätigkeiten erfasst und verwandte Abläufe sinnvoll zu Oberbegriffen gruppiert werden. Zur Datensammlung sollten strukturierte Ansätze verwendet werden, um Klarheit zu schaffen und Doppelarbeiten zu vermeiden. Hierfür kann etwa die Multimomentaufnahme (MMA) ([Abs. 2.4.4.3](#)) genutzt werden (vgl. [REFA 2025f](#)). Weitere höher formalisierte Handlungsoptionen bestünden in Verfahren wie der Delphi-Methode, der Workload-Analyse oder dem Task Clustering (vgl. [Pfaff et al. 2024](#), S. 257 ff.; vgl. [Lee, Sirgy 2024](#), S. 49 ff.; vgl. [Bakker, Heskes 2003](#), S. 83 ff.). Generell ist eine Gesamtmenge an Tätigkeiten zu erarbeiten, welche dann als Abstraktionsebene für weitere Untersuchungen dienen kann.

Nach der Definition übergeordneter Tätigkeiten kann mit der quantitativen Untersuchung der zeitlichen Ausprägungen begonnen werden. Die Zeiterhebung kann dabei verschiedenartig ausgestaltet werden – etwa über Zufallsstichproben durch einen Erhebungsbeauftragten oder in Eigenverantwortung der Mitarbeitenden über strukturierte Vorlagen zur Selbstaufschreibung, handschriftlich oder IT-gestützt über Zeitmanagement-Software.

Um die Mitarbeiterakzeptanz ⁸⁷ als wesentliches Erfolgskriterium aufrechtzuerhalten, sollte eine „*Micromanagement*“-Kultur vermieden werden. Die Ziele der Maßnahme und der Mehrwert für die Mitarbeitenden sollten transparent kommuniziert werden. Eine hohe Mitarbeiterbeteiligung – sowohl bei der Entwicklung der Oberbegriffe als auch bei der Wahl der Erhebungsmethode – sollte angestrebt werden. Die Erhebung sollte zudem so einfach wie möglich gestaltet sein. Eine Pilotphase kann dazu beitragen, Fehler frühzeitig zu identifizieren. Eine zunächst freiwillige Beteiligung sowie eine anonymisierte Auswertung können zusätzlich mobilisierend wirken.

Für einen allgemeinen Ausbau der Zeitwirtschaft in einem Betrieb wären Aufnahme- und Auswertungsverfahren generell zu standardisieren. Hierzu wären Auslöse-matrizen zu erarbeiten, welche bestimmen, wann welche Verfahren anzuwenden sind. Die genutzten Verfahren sollten idealerweise über interne Vorlagen umgesetzt werden, um Datenhomogenität zu gewährleisten. Ergänzend könnten innerhalb der Organisation Schulungsprogramme entwickelt werden, die gezielt auf die Anwendung eigener Verfahren und Dokumente ausgerichtet sind. Das entwickelte *Konzept-Framework* der vorliegenden Arbeit kann dabei in abstrahierter Form zur Ableitung weiterer Standardverfahren dienen. Die übergeordnete Struktur ist dazu abschließend noch einmal schematisch zusammengefasst ([Abb. 90](#)).

Ergänzend zu den vorgenannten Perspektiven wurde rund 15 Monate nach Abschluss des hier beschriebenen Arbeitsstudiums eine nachträgliche *Praxisrückmeldung* bei der verantwortlichen Qualitätsleitung des untersuchten Standorts (LAT) eingeholt, um die Wirksamkeit der entwickelten Methodik und Handlungsempfehlungen im laufenden Betrieb zu reflektieren ([Anl. 7](#)). Die Rückmeldung bestätigt den praktischen Nutzen der Prozessmodellierung sowie die grundsätzliche Eignung der methodischen Vorgehensweise, zeigt jedoch zugleich, dass die quantitativen Prognoseinstrumente und weiterführenden Optimierungsmaßnahmen aufgrund begrenzter zeitlicher und personeller Ressourcen sowie der erforderlichen statistischen Vorkenntnisse nur teilweise im Tagesgeschäft verankert werden konnten. Eine ausführliche Einordnung dieser Rückmeldung sowie eine kritische Reflexion der daraus resultierenden Implikationen für die Praxistauglichkeit des entwickelten Vorgehens sind als kritische Würdigung beigelegt ([Anl. 8](#)).

⁸⁷ Führungsstil, bei dem Vorgesetzte Arbeitsprozesse übermäßig kontrollieren.

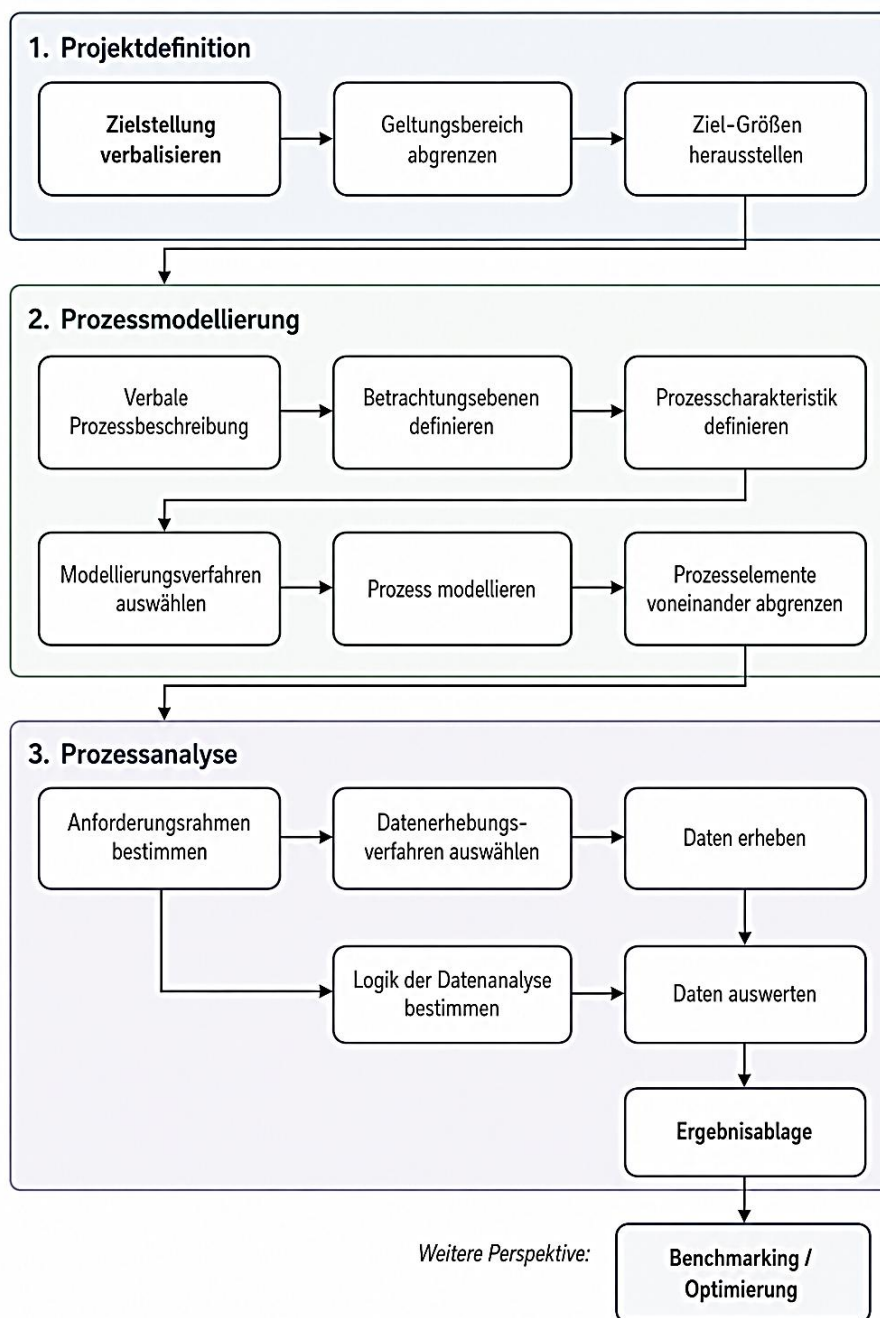


Abbildung 90 Konzept-Framework
(Eigene Darstellung)

6.4 Danksagung

Abschließend sei noch eine kurze Anmerkung des Verfassers erlaubt:

„Diese Arbeit markiert für mich persönlich das Ende eines großen Kapitels in meinem Leben. So stellt der Abschluss dieses Projekts gleichzeitig auch das Ende meines über sechseinhalb Jahre andauernden Beschäftigungsverhältnisses bei der LINAMAR Antriebstechnik GmbH dar.

In der Zeit meiner Anstellung wurden mir viele Entwicklungsperspektiven gewährt. So fußte das Vorgesetztenverhalten stets auf Basis eines hohen Vertrauens, was das Entwickeln eigener Ansätze ermöglichte. Für jegliche Form der Förderung und Forderung bin ich gleichermaßen sehr dankbar. Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle Herrn Sascha Claus, welcher meine Weiterentwicklung in seiner Rolle als Vorgesetzter sowohl auf fachlicher, wie auch persönlicher Ebene prägte. Der generelle Zusammenhalt im Kollegium ist ebenso positiv anzumerken. Während meiner Tätigkeit war es mir somit möglich, über die professionelle Entwicklung hinaus, auch Freundschaften schließen zu können. Wenngleich mich der Reiz am Neuen freut, gehe ich daher dennoch mit einem weinenden Auge. Ich wünsche allen Kolleginnen und Kollegen bei der LINAMAR Antriebstechnik GmbH alles Gute für ihre weiteren Berufslaufbahnen, wie auch allgemeinen Lebenswege.

Mein Dank sei zudem auch an die beiden Herrn Prof. Dr. Torsten Merkel und Prof. Dr. Christoph Laroque gerichtet. Vielen Dank für die Bereitschaft zur Übernahme der Betreuer- bzw. Gutachterrollen. Die fachliche Auseinandersetzung mit einem durchaus umfangreichen Projekt wird auch hier nicht als selbstverständlich angenommen.

Bedanken möchte ich mich ebenso bei Herrn Prof. Dr. Götz-Andreas Kemmner von der Abels & Kemmner Gesellschaft für Unternehmensberatung für die finanzielle Unterstützung in Form des BMBF Deutschlandstipendiums.

Abschließend möchte ich meinen Freunden und meiner Familie danken, welche mir jederzeit zur Seite standen. Dankbar bin ich für jede Form der Unterstützung. Über die Belange der Motivation hinaus, sei hier noch einmal konkret das Korrekturlesen von Tanja Hohmuth und Jennifer Freier herausgestellt.“

Niklas Nösel

Literaturverzeichnis

AIAG (2024a).

Quality Core Tools. Automotive Industry Action Group. Verfügbar unter:
<https://www.aiag.org/quality/quality-core-tools> (Zugriff am 1. November 2024).

AIAG (2024b).

About AIAG. Automotive Industry Action Group. Verfügbar unter: <https://www.aiag.org/about>
(Zugriff am 1. November 2024).

ALIKHANI, B. (2021).

Prozess-Soziologie. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie.
Volume 73. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s11577-021-00731-5>
(Zugriff am 25. November 2024).

ALISCH, K., ARENTZEN, U., WINTER, E. (2004).

Gabler Wirtschaftslexikon. Gabler Verlag Wiesbaden – ISBN 978-3-663-01439-3.

ALIYEV, R. (2025).

Planung von additiven Fertigungsprozessen.
Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-70198-0.

ALPAR, P. et al. (2023).

Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik: Strategische Planung, Entwicklung
und Nutzung von Informationssystemen. Springer Vieweg Wiesbaden –
ISBN 978-3-658-40351-5.

ARNDT, H. (2021).

Supply Chain Management: Optimierung logistischer Prozesse.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-34405-4.

ASCHENBRENNER, M. et al. (2021).

Informationsverarbeitung in Versicherungsunternehmen.
Springer Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-642-04320-8.

BAK, P.M. (2024).

Was ist Arbeits- und Organisationspsychologie? In: Arbeits- und Organisationspsychologie.
Angewandte Psychologie Kompakt. Springer, Berlin, Heidelberg. Verfügbar unter:
https://doi.org/10.1007/978-3-662-68597-6_1 (Zugriff am 29. Dezember 2024).

BAKKER, B., HESKES, T. (2003).

Task Clustering and Gating for Bayesian Multitask Learning.
Journal of Machine Learning Research. Volume 4.

BARDT, H., WENTZEL, D. (2024).

Ordnungstheorie, Ordnungspolitik und Soziale Marktwirtschaft: Grundbegriffe und
Konzeptionen. Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-44950-6.

BARTSCHER, T. (2018).

Arbeitswissenschaft. Definition: Was ist "Arbeitswissenschaft"? Verfügbar unter:
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/arbeitswissenschaft-29933/version-253529>
(Zugriff am 29. Dezember 2024).

BAS, E. (2020).

Einführung in Wahrscheinlichkeitsrechnung, Statistik und Stochastische Prozesse.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-32119-2.

BAYER, F., KÜHN, H. (2013).

Prozessmanagement für Experten – Impulse für aktuelle und wiederkehrende Themen.
Springer Gabler Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-642-36994-0.

BECKER, J., KUGELER, M., ROSEMAN, M. (2012).

Prozessmanagement: Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung.
Springer Gabler Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-642-33843-4.

BECKER, J., VOSSEN, G. (1996).

Geschäftsprozeßmodellierung und Workflow- Management. Modelle, Methoden,
Werkzeuge. International Thomson Publishing – ISBN 3826601246.

BENAZIR, F. (2023).

Sauberkeit für maximale Präzision. Journal für Oberflächentechnik. Volume 63.
Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s35144-023-2679-2>.
(Zugriff am 3. November 2024).

BENKER, T., JÜRCK, C., WOLF, M. (2016).

Geschäftsprozessorientierte Systementwicklung: Von der Unternehmensarchitektur
zum IT-System. Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-14825-6.

BERGK, A. (2024).

Zukunftsführung: Navigieren durch die Trends und Herausforderungen der modernen
Arbeitswelt. Springer Gabler Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-69275-2.

BERGMANN, R., GARRECHT, M. (2021).

Organisation und Projektmanagement. Springer Gabler Berlin, Heidelberg -
ISBN 978-3-662-63753-1.

BERKAU, C. (1998).

Instrumente der Datenverarbeitung für das effiziente Prozesscontrolling.
Kostenrechnungspraxis. Volume 2. Verfügbar unter: [https://www.tib.eu/de/suchen/
id/tema:TEMAM99010791630/Instrumente-der-Datenverarbeitung-f%C3%BCr-das-
effiziente](https://www.tib.eu/de/suchen/id/tema:TEMAM99010791630/Instrumente-der-Datenverarbeitung-f%C3%BCr-das-effiziente) (Zugriff am 27. November 2024).

BERNDT, R. (1997).

Business Reengineering. Herausforderungen an das Management, vol 4.
Springer, Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-642-63887-9.

BÖGE, A., BÖGE, W. (2021).

Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-30272-6.

BÖHLE, F., VOß, G.G., WACHTLER, G. (2010).

Handbuch Arbeitssoziologie. VS Verlag für Sozialwissenschaften Wiesbaden –
ISBN 978-3-531-15432-9.

BORRMANN, A. et al. (2021).

Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-33360-7.

BREYER-MAYLÄNDER, T. (2022).

Industrie 4.0 bei Hidden Champions:
Digitalisierungsstrategien und ihre Anwendungsfelder in innovativen Industrieunternehmen.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-36200-3.

BRISKORN, D. (2023).

Operations Research: Eine (möglichst) natürlichsprachige und detaillierte Einführung in Modelle und Verfahren. Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-39424-0.

BRÜGGEMANN, H., BREMER, P. (2020).

Grundlagen Qualitätsmanagement: Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM. Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-28780-1.

CLEFF, T. (2015).

Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse: Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA. Gabler Verlag Wiesbaden – ISBN 978-3-8349-4747-5.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (2009).

DIN 69901-2:2009 Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 2: Prozesse, Prozessmodell. Beuth Verlag Berlin.
Kennzeichnung als „DIN ISO 69901-2:2009“.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (2015).

DIN ISO 9000:2015 Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe. Beuth Verlag Berlin. Kennzeichnung als „DIN ISO 9000:2015“.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (2015).

DIN ISO 9001:2015 Qualitätsmanagementsysteme: Anforderungen.
Beuth Verlag Berlin. Kennzeichnung als „DIN ISO 9001:2015“.

DQS (2022).

Was ist ein Managementhandbuch? DQS Holding GmbH. Verfügbar unter:
<https://www.dqsglobal.com/de-de/wissen/dqs-wiki/was-ist-ein-managementhandbuch>
(Zugriff am 14. November 2024).

DWDS (2024).

„Prozess“. Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache. Verfügbar unter:
<https://www.dwds.de/wb/Prozess> (Zugriff am 25. November 2024).

EGGERS, B., AHLERS, F., EICHENBERG, T. (2011).

Integrierte Unternehmensführung: Festschrift zum 65. Geburtstag von Professor Claus Steinle. Gabler Verlag Wiesbaden – ISBN 978-3-8349-2349-3.

EICHSTÄDT, T., SPIEKER, S. (2024).

52 Stunden Informatik: Was jeder über Informatik wissen sollte.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-41837-3.

ELSTERMANN, M. et al. (2023).

Ganzheitliche Digitalisierung von Prozessen: Perspektivenwechsel - Design Thinking - Wertegeleitete Interaktion. Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-41776-5.

FISCHER, M.J., MEYER, A.R. (1971).

Boolean Matrix multiplication and transitive closure. 12th Annual Symposium on Switching and Automata Theory. East Lansing. Verfügbar unter: <https://dl.acm.org/doi/10.1109/swat.1971.4> (Zugriff am 14. Dezember 2024).

FORNER, A. (2024).

Volkswirtschaftslehre: Eine praxisorientierte Einführung.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-45733-4.

FRANZ, D. (1991).

Grundlagen der EDV. Gabler Verlag Wiesbaden – ISBN 978-3-409-00164-9.

FREIMUTH, J., KAISER, S., SCHÄDLER, M. (2022).

Normungs- und Standardisierungsstrategien in China und Indien:
Im Spannungsfeld von Industrie- und Geopolitik und Implikationen für Europa.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-38203-2.

FRODL, A. (2024).

Gesundheitsbetriebslehre: Praxishandbuch betriebswirtschaftlicher Grundlagen für
Gesundheitseinrichtungen. Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-44205-7.

GADATSCH, A. (2010).

Grundkurs Geschäftsprozess-Management. Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis:
Eine Einführung für Studenten und Praktiker. Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden –
ISBN 978-3-8348-9346-8.

GADATSCH, A. (2013).

Grundkurs Geschäftsprozess-Management – Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis:
Eine Einführung für Studenten und Praktiker. Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden –
ISBN 978-3-8348-2428-8.

GADATSCH, A. (2017).

Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Analyse, Modellierung, Optimierung und
Controlling von Prozessen. Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-17179-7.

GADATSCH, A. (2022).

Geschäftsprozesse analysieren und optimieren: Praxistools zur Analyse, Optimierung und
Controlling von Arbeitsabläufen. Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-39858-3.

GADATSCH, A. (2023).

Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Analyse, Modellierung, Optimierung und
Controlling von Prozessen. Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-40297-6.

GAIL, L., GOMMEL, U. (2018).

Reinraumtechnik. Springer Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-54914-8.

GÄSE, T. (2024).

Geschäftsprozessmodellierung und -optimierung. Lehrskript zum Selbststudium.
Westfälische Hochschule Zwickau. AMB00750. Unveröffentlicht, Zwickau.
Verfügbar unter: <https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/1174031564973> (Zugriff am 14. Dezember 2024).

GEHRING, H., GABRIEL, R. (2022).

Wirtschaftsinformatik. Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-37701-4.

GEIGER, W., KOTTE, W. (2008).

Handbuch Qualität: Grundlagen und Elemente des Qualitätsmanagements: Systeme –
Perspektiven. Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden –
ISBN 978-3-8348-0273-6.

GFA (2024).

Ziele der GfA. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Verfügbar unter:
https://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de/wir-ueber-uns_ziele-gfa.htm
(Zugriff am 30. Dezember 2024).

GIZ (2015).

Kooperationsmanagement in der Praxis: Gesellschaftliche Veränderungen gestalten mit
Capacity WORKS. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-06275-0.

GLITSCH, S. (2023).

Geschäftsprozesse erkennen, verstehen und optimieren: Mit grafischem Prozessmodell.
Schäffer-Poeschel Stuttgart – ISBN: 978-3-7910-5955-6.

GPM (2020).

Grundlagskript Projektmanagement für studierende Mitglieder der
GPM Deutsche Gesellschaft Für Projektmanagement e.V.

GRÖSSER, S. (2018a).

Geschäftsmodell. Definition: Was ist "Geschäftsmodell"? Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/geschaeftsmodell-52275/version-275417>
(Zugriff am 7. Dezember 2024).

GRÖSSER, S. (2018b).

System Dynamics. Definition: Was ist "System Dynamics"? Verfügbar unter:
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/system-dynamics-47445/version-270709>
(Zugriff am 14. Dezember 2024).

GRUBER, F.J., JOECKEL, R., AUSTEN, G. (2024).

Formelsammlung für das Vermessungswesen.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-45045-8.

GUTMANN, M., WIEGERLING, K., RATHGEBER, B. (2024).

Handbuch Technikphilosophie. J.B. Metzler Stuttgart – ISBN 978-3-476-05990-1.

HACKFORT, A., SCHMITZ, B. (2019).

Prozessoptimierung schafft Mehrwert. Automobiltechnische Zeitung Heavy Duty.
Volume 12. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s35746-019-0050-6>
(Zugriff am 19. Oktober 2024).

HAMMER, M., CHAMPY, J. (2003).

Business Reengineering: Die Radikalkur für das Unternehmen. Campus Verlag –
ISBN 978-3-593-35017-2.

HEGHMANN, M. (2014).

Strafverfahren: Strafrecht für alle Semester. Grund- und Examenswissen - kritisch vertieft.
Springer-Verlag Berlin Heidelberg – ISBN 978-3-642-41236-3.

HEHENBERGER, P. (2020).

Computerunterstützte Produktion: Eine kompakte Einführung.
Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-60875-3.

HELBING, K.W. (2024).

Handbuch Fabrikprojektierung. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg –
ISBN 978-3-662-64582-6.

HELMOLD, M. (2021a).

Kaizen, Lean Management und Digitalisierung: Mit den japanischen Konzepten
Wettbewerbsvorteile für das Unternehmen erzielen. Springer Gabler Wiesbaden –
ISBN 978-3-658-32341-7.

HELMOLD, M. (2021b).

Innovatives Lieferantenmanagement: Wertschöpfung in globalen Lieferketten.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-33059-0.

HELMOLD, M. (2022).

Leadership: Agile, virtuelle und globale Führungskonzepte in Zeiten von neuen Megatrends.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-36363-5.

HELMOLD, M. (2024).

Erfolgreiche Transformation zum digitalen Champion: Wettbewerbsvorteile durch Digitalisierung und Künstliche Intelligenz. Springer Gabler Wiesbaden - ISBN 978-3-658-44019-0.

HENNECKE, M., SKROTZKI, B. (2022).

HÜTTE Band 2: Grundlagen des Maschinenbaus und ergänzende Fächer für Ingenieure. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-64371-6.

HERRMANN, T. (2012).

Kreatives Prozessdesign: Konzepte und Methoden zur Integration von Prozessorganisation, Technik und Arbeitsgestaltung. Springer Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-642-24369-1.

HILBERG, S. (2022).

Umweltgeologie: Eine Einführung in Grundlagen und Praxis. Springer Spektrum Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-65364-7.

HILMER, C. (2016).

Prozessmanagement in indirekten Bereichen: Empirische Untersuchung und Handlungsempfehlungen. Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-14916-1.

HINRICHSSEN, S. et al. (2007).

Prognose von Arbeitsausführungszeiten in Fabrikplanungsprojekten. REFA-Nachrichten. Band 60. Volume 6. Verfügbar unter: <https://www.iaw.rwth-aachen.de/go/id/mtoks/file/155200> (Zugriff am 11. Januar 2024)

IATF (2024).

About IATF. International Automotive Task Force. Verfügbar unter: <https://www.iatfglobaloversight.org/about-iatf/> (Zugriff am 1. November 2024).

ISO INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (2007a).

ISO 16232-1. Road vehicles - Cleanliness of components of fluid circuits - Part 1: Vocabulary. Kennzeichnung als „ISO 16232-1:2007“.

ISO INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (2007b).

ISO 16232-2. Road vehicles - Cleanliness of components of fluid circuits - Part 2: Method of extraction of contaminants by agitation. Kennzeichnung als „ISO 16232-2:2007“.

JENSEN, C. (2022).

Personalmanagement in Non-Profit-Organisationen: Besonderheiten, Rahmenbedingungen und Herausforderungen. Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-37303-0.

JOMESA (2024).

JOMESA HFD: Technische Sauberkeit. JOMESA Meßsysteme GmbH. Verfügbar unter: <https://www.jomesa.com/deutsch/Filteranalyse/filteranalyse.html> (Zugriff am 3. November 2024).

KAUFFELD, S., ROTHENBUSCH, S. (2023).

Kompetenzen von Mitarbeitenden in der digitalisierten Arbeitswelt: Chancen und Risiken für kleine und mittlere Unternehmen. Springer Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-66991-4.

KELLNER, F., LIENLAND, B., LUKESCH, M. (2022).

Produktionswirtschaft: Planung, Steuerung und Industrie 4.0. Springer Gabler Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-65802-4.

KLEUKER, S. (2025).

Grundkurs Software-Engineering mit UML: Der pragmatische Weg zu erfolgreichen Softwareprojekten. Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-46533-9.

KOCH, I., REISIG, W., SCHREIBER, F. (2011).

Modeling in Systems Biology: The Petri Net Approach.
Springer-Verlag London – ISBN 978-1-84996-473-9.

KOCH, S. (2015).

Einführung in das Management von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen und TQM.
Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-44449-8.

KOHL, H., MERTINS, K., SEIDEL, H. (2016).

Wissensmanagement im Mittelstand: Grundlagen - Lösungen – Praxisbeispiele.
Springer Gabler Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-49219-2.

KOHN, W., ÖZTÜRK, R. (2022).

Statistik für Ökonomen: Datenanalyse mit R und SPSS.
Springer Gabler Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-64753-0.

KORMANN, H. (2022).

Die Zahlen des Familienunternehmens verstehen: Wie Familiengesellschafter gute Fragen zu Daten und Berichten stellen. Springer Gabler Berlin, Heidelberg - ISBN 978-3-662-66004-1.

KROPIK, M. (2021).

Produktionsleitsysteme für die Automobilindustrie: Digitalisierung des Shop-Floors in der Automobilproduktion. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-62226-1.

LANG, S. (2023).

Methoden des bestärkenden Lernens für die Produktionsablaufplanung.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN: 978-3-658-41750-5.

LASCH, R. (2023).

Strategisches und operatives Logistikmanagement: Distribution.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-42900-3.

LAT (2024).

440.00.212.07 Firmenpräsentation Linamar - LAT_de. LINAMAR Antriebstechnik GmbH.
Crimmitschau, unveröffentlicht.

LEE, D.J., SIRGY, M.J. (2024).

Organizational Strategies for Work-Life Balance: For Whom, Why, and Under What Conditions. Springer Cham – ISBN 978-3-031-56313-3.

LEIMBÖCK, E., IDING, A., MEINEN, H. (2024).

Bauwirtschaft: Grundlagen und Methoden.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-40347-8.

LEYENDECKER, B., PÖTTERS, P. (2022).

Werkzeuge für das Projekt- und Prozessmanagement: Klassische und moderne Instrumente für den Management-Alltag. Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-34723-9.

LIEBETRUTH, L. (2024).

Prozessmanagement in Einkauf und Logistik Instrumente und Methoden für das Supply Chain Process Management. Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-43478-6.

LINAMAR (2025a).

Our Company. LINAMAR Corporation. Verfügbar unter: www.linamar.com/our-company/ (Zugriff am 18. Januar 2025).

LINAMAR (2025b).

Industries. LINAMAR Corporation. Verfügbar unter: <https://www.linamar.com/industries/> (Zugriff am 18. Januar 2025).

LUKESCH, M., KELLNER, F. (2024).

Übungsbuch Produktionswirtschaft: Planung, Steuerung und Industrie 4.0.
Springer Gabler Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-68671-3.

MAHONEY, M.S. (2020).

The Structures of Computation and the Mathematical Structure of Nature.
The Rutherford Journal. Verfügbar unter: <https://www.rutherfordjournal.org/article030107.html> (Zugriff am 14. Dezember 2024).

MAYER, G. et al. (2020).

Ablaufsimulation in der Automobilindustrie. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-59387-5.

MENDIUS, M., WERTHER, S. (2024).

Psychologie in Studium und Beruf: Welche Berufsfelder es zu entdecken gibt und was für eine erfüllte Karriere wichtig ist. Springer Berlin, Heidelberg – ISBN: 978-3-662-68507-5.

MENKHOFF, L., WAGNER, C. (2023).

Indien: eine Alternative zu China? Wirtschaftsdienst. 103, 2023. Verfügbar unter: www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2023/heft/1/beitrag/indien-eine-alternative-zu-china.html (Zugriff am 18. Oktober 2024).

NAHRSTEDT, H. (2023).

Excel + VBA für Ingenieure: Programmieren erlernen und technische Fragestellungen lösen. Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-41503-7.

NEUMAIR, G.W. (2018b).

Human Relations. Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/human-relations-34947/version-258438> (Zugriff am 29. Dezember 2024).

NEUMAIR, S.M. (2018a).

Fordismus. Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/fordismus-35654/version-259132> (Zugriff am 29. Dezember 2024).

ÖSTERLE, H. (1995).

Business Engineering. Prozeß- und Systementwicklung – Band 1: Entwurfstechniken.
Springer Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-06188-6.

PAPULA, L. (2024).

Mathematische Formelsammlung: Für Ingenieure und Naturwissenschaftler.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-45805-8.

PEREN, F.W., NEIFER, T. (2024).

Operations Research and Management: Quantitative Methods for Planning and Decision-Making in Business and Economics. Springer Cham – ISBN 978-3-031-47205-3.

PERRET, J.K. (2019).

Arbeitsbuch zur Statistik für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler:
Theorie, Aufgaben und Lösungen. Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-26147-4.

PETERS, C.H. (2023).

Arbeitssoziologie. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie. Volume 75.
Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s11577-023-00927-x> (Zugriff am 10. Januar 2024).

PFAFF, H. et al. (2024).

Versorgungsforschung: Theorien – Methoden – Praxis.
Springer Wiesbaden – ISBN 978-3-658-42862-4.

PFEIFFER, S. (2024).

Digitalisierung der Arbeitswelten: Zur Erfassbarkeit einer systemischen Transformation.
Springer VS Wiesbaden – ISBN 978-3-658-44457-0.

PICUTRE (2025).

Die PICTURE-Methode: Prozessmanagement mit „Verstehens-Garantie“. PICTURE GmbH.
Verfügbar unter: <https://www.picture-gmbh.de/picture-methode/> (Zugriff am 30. März 2025).

RAEHLMANN, I. (2005).

Arbeitswissenschaft im Nationalsozialismus: Eine wissenschaftssoziologische Analyse.
VS Verlag für Sozialwissenschaften Wiesbaden – ISBN 978-3-531-14678-2.

REFA (1978).

Methodenlehre des Arbeitsstudiums: Teil 2 Datenermittlung.
REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. Darmstadt –
ISBN 3-446-12704-6.

REFA (1993).

Lexikon der Betriebsorganisation. Carl-Hanser-Verlag, München – ISBN 3-446-17523-7.

REFA (2019).

REFA-Grundausbildung 4.0. Teil 2: Ermittlung und Anwendung von Prozessdaten.
Autorenteam REFA / REFA-Institut. REFA-Bestell-Nr.: 198262/1.

REFA (2024a).

Taylorismus. REFA AG. Verfügbar unter: <https://refa.de/service/refa-lexikon/taylorismus>
(Zugriff am 1. November 2024).

REFA (2024b).

Null-Fehler-Strategie. REFA AG. Verfügbar unter: <https://refa.de/service/refa-lexikon/null-fehler-strategie> (Zugriff am 1. November 2024).

REFA (2024c).

Materialbedarfsplanung und -ermittlung. REFA AG. Verfügbar unter: <https://refa.de/service/refa-lexikon/materialbedarfsplanung-und-ermittlung> (Zugriff am 14. November 2024).

REFA (2024d).

Was bewirkt eine Prozessoptimierung? REFA AG. Verfügbar unter:
<https://refa-consulting.ag/blog/676-was-bewirkt-eine-prozessoptimierung>
(Zugriff am 15. Dezember 2024).

REFA (2024e).

Produktivitätssteigerung. REFA AG. Verfügbar unter: <https://refa.de/service/refa-lexikon/produktivitaetssteigerung> (Zugriff am 15. Dezember 2024).

REFA (2024f).

Kaizen. REFA AG. Verfügbar unter: <https://refa.de/service/refa-lexikon/kaizen>
(Zugriff am 23. Dezember 2024).

REFA (2024g).

Arbeitssystem. REFA Hessen e.V. Verfügbar unter: <https://refa-weiterbildung.de/arbeitssystem/> (Zugriff am 30. Dezember 2024).

REFA (2025a).

Zeitdatenermittlung. REFA AG. Verfügbar unter: <https://refa.de/service/refa-lexikon/zeitdatenermittlung> (Zugriff am 15. Januar 2025).

REFA (2025b).

Selbstaufschreibung – wie sie funktioniert. REFA Nordwest e. V. Verfügbar unter: <https://refa-nordwest.de/blog/1150-selbstaufschreibung-wie-sie-funktioniert> (Zugriff am 15. Januar 2025).

REFA (2025c).

Ein Ziel - zwei Systeme. REFA-Consulting AG. Verfügbar unter: <https://refa-consulting.ag/blog/638-ein-ziel-zwei-systeme> (Zugriff am 17. Januar 2025).

REFA (2025d).

Vergleichen und Schätzen. REFA Nordwest e. V. Verfügbar unter: <https://refa-nordwest.de/blog/1167-vergleichen-und-schaetzen> (Zugriff am 17. Januar 2025).

REFA (2025e).

Prozesszeit TP. International Process & Industrie Consult SA – Ein Unternehmen der REFA Suisse GmbH. Verfügbar unter: <https://ipic-consulting.com/lexikon/p/prozesszeit-tp> (Zugriff am 17. Januar 2025).

REFA (2025f).

Multimomentstudien. REFA AG. Verfügbar unter: <https://refa.de/service/refa-lexikon/multimomentstudien> (Zugriff am 17. Januar 2025).

REFA (2025g).

Leistungsgrad – Intensität und Wirksamkeit. REFA Nordwest e.V. Verfügbar unter: <https://refa-nordwest.de/blog/1203-leistungsgrad-intensitaet-und-wirksamkeit> (Zugriff am 22. Februar 2025).

REFA (2025h).

Verteilzeiten. REFA AG. Verfügbar unter: <https://refa.de/service/refa-lexikon/verteilzeiten> (Zugriff am 5. März 2025).

REISIG, W., ROZENBERG, G. (1998).

Lectures on Petri Nets I: Basic Models: Advances in Petri Nets.
Springer-Verlag Berlin Heidelberg – ISBN 978-3-540-65306-6.

REISS, M. (2017).

Change Management: Wandel der Paradigmen. Wissensmanagement. Volume 5.
Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Michael-Reiss/publication/321339891_Change_Management_Wandel_der_Paradigmen/links/5a1db2a7458515a4c3d1a6ab/Change-Management-Wandel-der-Paradigmen.pdf (Zugriff am 27. Dezember 2024).

RIEGER, M., MÜSSELER, J. (2024).

Allgemeine Psychologie. Springer Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-68475-7.

ROGOWSKI, W. (2023).

Management im Gesundheitswesen: Fallstudien, Aufgaben und Lösungen.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-39638-1.

SAP (2024).

Definition von Stücklisten und Arbeitsplänen. SAP SE. Verfügbar unter: https://help.sap.com/docs/SAP_ERP/349992fb60854a62a264d716ad5c8f54/51adf055aa26d55e1000000a4450e5.html (Zugriff am 13. Dezember 2024).

SARFERAZ, S. (2023).

ERP-Software: Funktionalität und Konzepte: Basierend auf SAP S/4HANA.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-40498-7.

SCHÄFER, A. (2018).

Wachstumstheorie. Definition: Was ist "Wachstumstheorie"? Verfügbar unter:
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/wachstumstheorie-49032/version-272275>
(Zugriff am 15. Dezember 2024).

SCHÄFER, E. (1978).

Der Industriebetrieb: Betriebswirtschaftslehre der Industrie auf typologischer Grundlage.
Gabler Verlag Wiesbaden – ISBN 978-3-409-33521-8.

SCHEER, A.W. (1990).

EDV-orientierte Betriebswirtschaftslehre: Grundlagen für ein effizientes
Informationsmanagement. Springer Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-540-52397-0.

SCHLICK, C., BRUDER, R., LUCZAK, H. (2018).

Arbeitswissenschaft. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-56036-5.

SCHLUSE, M. (2024).

Experimentierbare Digitale Zwillinge: Konvergenz von Simulation und Realität.
Springer Vieweg Wiesbaden – ISBN 978-3-658-44444-0.

SCHNIEDER, E. (1986).

Prozeßinformatik: Einführung mit Petrinetzen Für Elektrotechniker und
Informatiker, Maschinenbauer und Physiker nach dem Grundstudium.
Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden – ISBN 978-3-528-03358-3.

SCHÖNSLEBEN, P. (2024).

Handbuch Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management
innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend.
Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-68967-7.

SCHWAB, J. (2005).

Geschäftsprozessmanagement mit Visio, ViFlow und MS Project.
Prozessoptimierung als Projekt. Carl Hanser Verlag – ISBN 978-3-446-43277-2.

SCHWARZ, R. (2023).

Geprüfte Schutz- und Sicherheitskraft (IHK): Lehrbuch für Prüfung und Praxis.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-38137-0.

SELLE, S. (2024).

Data Science Training - Supervised Learning: Ein praktischer Einstieg ins überwachte
maschinelle Lernen. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-67959-3.

SIEMENS (2024).

MES-Lösung: Manufacturing Execution System-Software. Siemens AG. Verfügbar unter:
<https://www.sw.siemens.com/de-DE/solutions/manufacturing-execution-system-mes/>
(Zugriff am 13. Dezember 2024).

SIERRA, C., ANDREA, E. (2024).

Mining Maintenance. Springer Cham – ISBN 978-3-031-59449-6.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2024a).

Bevölkerung – Demografischer Wandel. Destatis. Verfügbar unter: www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/_inhalt.html (Zugriff am 18. Oktober 2024).

STATISTISCHES BUNDESAMT (2024b).

Fachkräfte. Destatis. Verfügbar unter: www.destatis.de/DE/Im-Fokus/Fachkraefte/inhalt.html (Zugriff am 18. Oktober 2024).

STROHM, O., ULICH, E. (1997).

Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten: Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation. vdf Hochschulverlag AG – ISBN 978-3-7281-3951-1.

THOMMEN, J.P. et al. (2023).

Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht. Springer Gabler Wiesbaden - ISBN 978-3-658-39394-6.

TÖPFER, A. (2004).

Six Sigma: Konzeption und Erfolgsbeispiele für praktizierte Null-Fehler-Qualität. Springer Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-09914-8.

TÜV (2024).

Die Bausteine der Qualitätssicherung: Eine Einführung in die Automotive Core Tools. TÜV Thüringen-Gruppe. Verfügbar unter: <https://tuev-thueringen.de/blog/die-bausteine-der-qualitaetssicherung-eine-einfuehrung-in-die-automotive-core-tools> (Zugriff am 1. November 2024).

VAN DER AALST, W.M.P. (2011).

Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. Springer Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-642-19345-3.

VDA (2015).

VDA Band 19.1-2015 – Prüfung der Technischen Sauberkeit: Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile. Verband der Automobilindustrie e.V. Kennzeichnung als „VDA 19.1“.

VOGEL-HEUFER, B., TEN HOMPEL, M., BAUERNHANS, T. (2024).

Handbuch Industrie 4.0: Band 2: Automatisierung. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-58527-6.

VOIGT, K.I. (2018a).

Stückliste. Definition: Was ist "Stückliste"? Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/stueckliste-44343/version-267656> (Zugriff am 14. Dezember 2024).

VOIGT, K.I. (2018b).

Arbeitsplan. Definition: Was ist "Arbeitsplan"? Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/arbeitsplan-28477/version-252107> (Zugriff am 14. Dezember 2024).

VOIGT, K.I. (2018c).

Arbeit. Definition: Was ist "Arbeit"? Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/arbeit-31465/version-255022> (Zugriff am 30. Dezember 2024).

VOM BROCKE, J. ROSEMAN, M. (2015).

Handbook on Business Process Management 1: Introduction, Methods, and Information Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015 – ISBN 978-3-642-45099-0.

WEHNING, K.H. (2020).

Technisches Handbuch Logistik 2: Fördertechnik, Materialfluss, Intralogistik. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg – ISBN 978-3-662-60868-5.

WEIDNER, G.E. (2014).

Qualitätsmanagement: Kompaktes Wissen – Konkrete Umsetzung – Praktische Arbeitshilfe.
Carl Hanser Verlag – ISBN 978-3-446-43839-2.

WERNER, D.B. et al. (2022).

Nachhaltiges Wachstum im Mittelstand: Ein Praxisleitfaden für Geschäftsführer:innen.
Springer Gabler Wiesbaden – ISBN 978-3-658-38361-9.

YAMAZAKI, T. (2024).

Japanese and German Enterprises: Comparison of Industrial Cocentration System and
Business Management. Springer Singapore – ISBN 978-981-97-4879-2.

ZINK, K.J., SCHWERES, M. (2021).

Arbeitswissenschaft und Globalisierung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft.
Volume 75. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s41449-021-00253-y>
(Zugriff am 29. Dezember 2024).

ZUKUNFTSINSTITUT (2023).

Die Megatrends. Zukunftsinstitut GmbH. Verfügbar unter: <https://www.zukunftsinstitut.de/zukunftsthemen/megatrends> (Zugriff am 19. Oktober 2024).

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Freigabeerklärung (LINAMAR Antriebstechnik GmbH)
Anlage 2	Katalog ausgewählter Prozessmodellierungsmethoden
Anlage 3	Katalog ausgewählter Zeitdatenerfassungsmethoden
Anlage 4	REFA-Standardformblätter zur Zeitaufnahme
Anlage 5	Quantiltabelle der t-Verteilung nach Student (t-Werte)
Anlage 6	Quantiltabelle der Standardnormalverteilung (z-Werte)
Anlage 7	Evaluationsbogen (Fallstudie bei der LINAMAR Antriebstechnik GmbH)
Anlage 8	Kritische Würdigung der Evaluationsergebnisse

Anlage 1 **Freigabeerklärung** (LINAMAR Antriebstechnik GmbH)

Absender:

Niklas Nösel, Wiss. Mitarbeiter, Westsächsische Hochschule Zwickau

**Empfänger:**

Sascha Claus, Quality Manager, LINAMAR Antriebstechnik GmbH



Datum: 20. Februar 2026

Freigabe zur Veröffentlichung der Masterarbeit in angepasster Fassung am Publikationsserver der Westsächsischen Hochschule Zwickau (LIBDOC)

Sehr geehrter Herr Claus,

wie im Rahmen meiner Masterarbeit zur „*Prozessanalyse und -optimierung der TechSa-Prüfung*“ besprochen, strebe ich eine wissenschaftliche Veröffentlichung meiner Ergebnisse auf dem Publikationsserver der Hochschule (LIBDOC) an.

Mir ist bewusst, dass die Originalfassung der Arbeit sensible interne Prozessdaten und Kapazitätskalkulationen enthält, die dem bestehenden Sperrvermerk unterliegen. Um die berechtigten Geheimhaltungsinteressen der LINAMAR Antriebstechnik GmbH vollumfänglich zu wahren, plane ich für die Veröffentlichung eine gezielte Anonymisierung und inhaltliche Transformation zum „Methodischen Leitfaden für TechSa-Prüfprozessanalysen“.

Hierzu lege ich Ihnen folgende Rahmenbedingungen zur Prüfung und Freigabe vor:

1. Fokus der Veröffentlichung:

Die Veröffentlichung soll den Charakter von „Best Practices“ zur methodischen Herleitung von Prüfprozessen im Automotive-Umfeld tragen. Der Schwerpunkt liegt auf der theoretischen Konzeption und der schrittweisen Anwendung der Methodik (eEPK, Swimlane-Modellierung, REFA-Methodenlehre, angewandte Datenanalyse).

LINAMAR
Antriebstechnik GmbH
Gewerbering 12
08451 Crimmitschau
Tel. 0 37 62 / 70 45 0
Fax 0 37 62 / 70 45 119

20.05.2026 :

Datum / Unterschrift / Stempel

Freigabe zur Veröffentlichung der Masterarbeit in angepasster Fassung
am Publikationsserver der Westsächsischen Hochschule Zwickau (LIBDOC)

2. Schutzmaßnahmen / Anonymisierung:

Folgende Punkte werden in der Veröffentlichungsfassung unkenntlich gemacht oder abstrahiert:

- **Konkrete Zeitdaten:** Alle absolut erhobenen Ist- und Soll-Zeiten (Vorgabezeiten) sowie Planzeitbausteine für spezifische Bauteile (z.B. Porsche ZK/ZKH) werden entfernt oder durch relative Indizes (Prozentwerte) ersetzt.
- **Prognosemodelle:** Die konkreten Regressionsformeln zur Kalkulation von Neuprojekten werden anonymisiert dargestellt, sodass keine Rückschlüsse auf die Preis- oder Kapazitätskalkulation von LINAMAR möglich sind.
- **Prozessmodelle:** Die konkreten Prozessmodelle werden weder vollumfänglich noch in Teilen dargestellt. Es wird kein Rückschluss auf einzelne Prozessbestandteile oder deren Ablauforganisation ermöglicht.
- **Schwachstellenanalyse:** Betriebsspezifische Störgrößen und deren Risikopriorisierung (RPZ) werden auf eine allgemeine Ebene gehoben, um keine Rückschlüsse auf interne Störungen und ihrer Ausprägungen zuzulassen.
- **Klarnamen:** Alle genannten Klarnamen in der Arbeit werden entfernt. Diese werden entsprechend der Verantwortlichkeiten maximal möglich abstrahiert.
- **Kundenbezug:** Namen von OEMs und spezifische Projektbezeichnungen werden vollständig entfernt.

3. Nutzen für das Unternehmen:

Durch die Veröffentlichung positioniert sich LINAMAR indirekt als methodisch führendes Unternehmen im Bereich der Technischen Sauberkeit. Zudem kann das Dokument intern weiterhin als standardisierter Leitfaden zur Einarbeitung genutzt werden.

Ich bitte Sie um Prüfung des beigefügten Entwurfs (bzw. der hier skizzierten Eckpunkte) und um Ihre schriftliche Zustimmung, damit ich den Sperrvermerk für diese spezifisch angepasste Fassung aufheben kann.

Gerne können wir die Details in einem kurzen Telefonat besprechen.

Mit freundlichen Grüßen,

Niklas Nösel

LINAMAR
Antriebstechnik GmbH
Gewerbering 12
08451 Crimmitschau
Tel. 0 37 62 / 70 45 0
Fax 0 37 62 / 70 45 119

20.05.2026 

Datum / Unterschrift / Stempel

S. Claus

Anlage 2 Katalog ausgewählter Prozessmodellierungsmethoden

(Literaturverweise in der Übersicht angegeben)

Die nachfolgende Übersicht dient zur Vervollständigung der im Volltext benannten Verfahren zur (Geschäfts-) Prozessmodellierung. Über eine tabellarische Darstellung als Katalog, werden die Verfahren nachfolgend kurz beschrieben. Es werden Vor- und Nachteile benannt, sowie Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt.

Textbasierte Methoden	
1.1 Prozessbeschreibung	1.2 Checklisten
1.3 Anweisungsdokumente	1.4 Management-Handbücher
Tabellenbasierte Methoden	
2.1 RASIC-Matrix	2.2 Tabellarische Prozesserhebung
2.3 Input-Output-Tabellen	2.4 Stücklisten
2.5 Arbeitspläne	
Skriptbasierte Methoden	
3.1 Warteschlangenmodelle	3.2 Ereignisdiskrete Simulation
3.3 System Dynamics	3.4 Markow-Ketten
3.5 Agentenbasierte Modellierung	3.6 Lineare Programmierung
3.7 Petri-Netze	3.8 Fuzzylogik
3.9 Automata Theory	3.10 Graphentheorie
Diagrammbasierte Methoden	
Hybride Methoden	
4.1 Business Model Canvas	4.2 Wertstromanalyse
4.3 ARIS	
Datenflussorientierte Methoden	
4.4 IDEF-Diagramme	4.5 Datenflussdiagramme
4.6 Flussdiagramme	
Kontrollflussorientierte Methoden	
4.7 Petri-Netze (s. Nr. 3.7)	4.8 Struktogramme
4.9 Swimlane-Diagramme	4.10 Folgestruktur und Folgeplan
4.11 Prozesslandkarte	4.12 Erweiterte EPK
4.13 Aufgabekettendiagramm	4.14 GPM-Diagramme
4.15 BPMN	4.16 PICTURE
Objektorientierte Methoden	
4.17 Activity Diagramme	4.18 Use Case-Diagramm
4.19 Interaktionsdiagramme	4.20 Objektorientierte EPK
4.21 Vorgangsereignisschema	4.22 Statechart-Diagramme
4.23 Activitychart-Diagramme	

1. Textbasierte Methoden

1.1 Prozessbeschreibung

Beschreibung:

- Textliche Beschreibung eines Prozesses,
- Verbale Schritt-für-Schritt-Beschreibung von Arbeitsabläufe

Vorteile:

- Klar und leicht verständlich
- Einfach zu erstellen
- Flexibel einsetzbar

Nachteile:

- Fehlende Struktur und Übersichtlichkeit bei langen Prozessen
- Keine standardisierte Darstellung

Anwendungsfelder:

- Produktionsabläufe dokumentieren
- Wartungs- und Reparaturprozesse beschreiben
- Schulungsunterlagen für neue Mitarbeiter

Literaturverweis: *Elstermann et al. 2023, S. 5 ff.*

1.2 Checklisten

Beschreibung:

- Auflistung von Aufgaben und Aktivitäten zur Prozesskontrolle
- Dienen zur Fehlervermeidung

Vorteile:

- Schnell erstellt und anwendbar
- Fehler werden reduziert
- Unterstützt standardisierte Prozesse

Nachteile:

- Für komplexe Prozesse unzureichend
- Keine visuelle Darstellung des Ablaufs

Anwendungsfelder:

- Qualitätskontrollen in der Produktion
- Instandhaltung und Wartung von Maschinen
- Wareneingangs- und -ausgangsprüfungen (WE/WA)

Literaturverweis: *Elstermann et al. 2023, S. 260 ff.*

1.3 Anweisungsdokumente

Beschreibung:

- Detailreiche schriftliche Anweisungen zur Durchführung von Prozessen

Vorteile:

- Präzise und detailliert,
- Klar definierte Verantwortlichkeiten,
- Gut geeignet für Schulungszwecke

Nachteile:

- Erstellen ist zeitaufwendig,
- Gefahr der Alterung ohne regelmäßige Updates (z. B. „Änderungsmanagement zur Dokumentenlenkung“)

Anwendungsfelder:

- Bedienungsanleitungen für Maschinen,
- Montageanweisungen für komplexe Bauteile,
- Sicherheitshinweise für Produktionsabläufe

Literaturverweis: *Elstermann et al. 2023, S. 17 ff., 263, 325 ff.*

1.4 Management-Handbücher

Beschreibung:

- Sammlung von Prozessbeschreibungen und Regelwerken im formalen Rahmen eines Dokumentes

Vorteile:

- Zentrale Ablage aller relevanten Informationen
- Einheitliche Richtlinien für alle Abteilungen
- Erleichtert die Einarbeitung neuer Mitarbeiter

Nachteile:

- Oft unübersichtlich bei großen Dokumenten
- Aktualisierung oft aufwendig (Handhabung wieder z. B. per „Änderungsmanagement zur Dokumentenlenkung“)

Anwendungsfelder:

- Zentralisierte Steuerung von Produktionsprozessen
- Dokumentation von Managementsystemen (z. B. ISO-Zertifizierungen)
- Prozesse der Materialbeschaffung und Lagerhaltung

Literaturverweise: *DIN EN ISO 9001:2015*, S. 54 ff.; *DQS 2022*; *Weidner 2014*, S. 127 ff.

2. Tabellenbasierte Methoden

2.1 RASIC-Matrix (auch: RASCI)

Beschreibung:

- Tabellarische Darstellung von Rollen und Verantwortlichkeiten im Prozess,
- R: Responsible, A: Accountable, S: Support, C: Consulted, I: Informed

Vorteile:

- Klare Definition von Verantwortlichkeiten,
- Transparente Kommunikation der Aufgabe

Nachteile:

- Kann bei vielen Beteiligten komplex werden,
- Erfordert klare Rollendefinitionen

Anwendungsfelder:

- Produktionsprozessverantwortlichkeiten klären,
- Abwicklung von Großprojekten mit vielen Projektteilnehmern

Literaturverweis: *Leyendecker, Pötters 2022*, S. 38–40

2.2 Tabellarische Prozesserhebung

Beschreibung:

- Prozesse werden tabellarisch dokumentiert (Aktivität, Zeit, Ressourcen)

Vorteile:

- Übersichtliche Erfassung von Prozessdetails,
- Einfache Vergleichbarkeit der Daten

Nachteile:

- Keine visuelle Darstellung,
- Zeitaufwendig bei komplexen Prozessen,
- I.d.R. Software notwendig

Anwendungsfelder:

- Erhebung von Prozessabläufen zur Optimierung,
- Planung von Fertigungs- und Montageabläufen

Literaturverweis: *Gadatsch 2023*, S. 119 f.

2.3 Input-Output-Tabellen

Beschreibung:

- Erfasst Inputs, Outputs und benötigte Ressourcen je Prozessschritt,
- Z. B. SIPOC-Grundlage: Supplier, Input, Process, Output, Customer

Vorteile:

- Klar strukturierte Übersicht,
- Unterstützt die Ressourcenzuordnung

Nachteile:

- Fehlende Ablaufdetails

Anwendungsfelder:

- Planung von Materialflüssen in Produktionsprozessen,
- Überwachung von Lieferkettenprozessen

Literaturverweise: *Frodl 2024, S. 244 f.; Koch 2015, S. 59 f.; Glitsch 2023, S. 23*

2.4 Stücklisten

Beschreibung:

- Hierarchische Auflistung aller Bau- und Einzelteile eines Produkts

Vorteile:

- Präzise Darstellung der benötigten Materialien,
- Unterstützt die Bestandskontrolle

Nachteile:

- Erstellen kann sehr zeitaufwendig sein,
- Pflege bei Produktänderungen erforderlich

Anwendungsfelder:

- Produktionsplanung und Materialdisposition,
- Fertigung komplexer Maschinen oder Produkte

Literaturverweise: *Sarferaz 2023, S. 101 ff.; REFA 2024c; Voigt 2018a; Kellner, Lienland, Lukesch 2022, S. 150 ff.*

2.5 Arbeitspläne

Beschreibung:

- Tabellarische Planung von Arbeitsschritten inkl. Zeit, Werkzeuge, Ressourcen

Vorteile:

- Unterstützt die Produktionssteuerung,
- Effiziente Ressourcenallokation

Nachteile:

- Kann bei Änderungen schnell veralten

Anwendungsfelder:

- Planung von Bearbeitungszeiten in der Fertigung,
- Optimierung von Rüst- und Fertigungsprozessen

Literaturverweise: *Kellner, Lienland, Lukesch 2022, S. 150 ff.; Voigt 2018b*

3. Skriptbasierte Methoden

3.1 Warteschlangenmodelle (engl. „Queueing Theory“)

Beschreibung:

- Modellieren von Prozessen, bei denen Wartezeiten anfallen

Vorteile:

- Optimiert Ressourcenverteilung und Durchlaufzeiten

Nachteile:

- Erfordert höhere mathematische Kenntnisse

Anwendungsfelder:

- Simulation von Produktionsengpässen, Wartungsverhalten, etc.

Literaturverweise: *Peren, Neifer 2024*, S. 69–85; *Sierra, Andrea 2024*, S. 189 ff.

3.2 Ereignisdiskrete Simulation (DES)**Beschreibung:**

- Simulation von Prozessen, die durch diskrete Ereignisse gesteuert werden

Vorteile:

- Hohe Genauigkeit bei Prozessanalysen
- Ergebnisse quantifizierbar

Nachteile:

- Komplex in der Modellierung und Umsetzung

Anwendungsfelder:

- Optimierung von Materialflussprozessen (Materialflusssimulation)

Literaturverweise: *Lang 2023*, S. 27–31; *Schluse 2024*, S. 343 ff.

3.3 System Dynamics**Beschreibung:**

- Simulation von Systemverhalten über Zeit basierend auf Feedbackschleifen

Vorteile:

- Gute Visualisierung dynamischer Effekte

Nachteile:

- Abstrakte Modellierung; hohe Komplexität

Anwendungsfelder:

- Analyse von Produktionssystemen mit Lagerbeständen

Literaturverweise: *Schluse 2024*, S. 332 ff.; *Grösser 2018b*

3.4 Markow-Ketten**Beschreibung:**

- Stochastische Modellierung von Systemzuständen und Übergängen

Vorteile:

- Gut geeignet für zufällige Prozesse

Nachteile:

- Schwierige praktische Anwendung bei großen Systemen

Anwendungsfelder:

- Wartungs- und Ausfallanalyse von Maschinen

Literaturverweise: *Bas 2020*, S. 383 ff.; *Mayer et al. 2020*, S. 267–269

3.5 Agentenbasierte Modellierung (ABM)**Beschreibung:**

- Simulation durch autonome Agenten mit individuellen Regeln

Vorteile:

- Flexibel und detailliert

Nachteile:

- Rechenintensiv bei vielen Agenten

Anwendungsfelder:

- Analyse von Produktionsabläufen mit variabler Maschineninteraktion

Literaturverweise: *Vogel-Heufer, ten Hompel, Bauernhansl 2024*, S. 349 ff.; *Schluse 2024*, S. 358 ff.

3.6 Lineare Programmierung

Beschreibung:

- Optimierung von Prozessen anhand linearer Gleichungssysteme

Vorteile:

- Optimale Ressourcennutzung

Nachteile:

- Beschränkt auf lineare Abhängigkeiten

Anwendungsfelder:

- Optimierung der Produktionsauslastung

Literaturverweis: *Lang 2023*, S. 27–29

3.7 Petri-Netze

Beschreibung:

- Graphische und mathematische Modellierung von Prozessen

Vorteile:

- Hohe Präzision und Analysefähigkeit

Nachteile:

- Erfordert Fachwissen

Anwendungsfelder:

- Steuerung von Maschinenabläufen in Fertigungslinien

Literaturverweise: *Schnieder 1986*, S. 19 ff.; *Koch, Reisig, Schreiber 2011*, S. 37 ff.

3.8 Fuzzylogik

Beschreibung:

- Modellierung unscharfer und ungenauer Prozessdaten

Vorteile:

- Flexibel bei unsicheren Informationen

Nachteile:

- Nicht immer präzise

Anwendungsfelder:

- Qualitätskontrolle z. B. bei variierenden Bauteiltoleranzen

Literaturverweise: *Wehking 2020*, S. 134; *Böge, Böge 2021*, S. 1569–1575

3.9 Automata Theory

Beschreibung:

- Modellierung von Prozessen als Zustandsautomaten

Vorteile:

- Präzise Ablaufsteuerung

Nachteile:

- Eingeschränkt bei nicht diskreten Systemen

Anwendungsfelder:

- Automatisierung von Maschinensteuerungen

Literaturverweis: *Fischer, Meyer 1971*, S. 129–137; *Mahoney 2020*

3.10 Graphentheorie

Beschreibung:

- Prozesse werden als Knoten und Kanten modelliert

Vorteile:

- Strukturierte Visualisierung von Prozessen

Nachteile:

- Für sehr komplexe Systeme schwer übersichtlich

Anwendungsfelder:

- Optimierung von Transportwegen innerhalb der Produktion

Literaturverweise: *Briskorn 2023*, S. 441; *Lasch 2023*, S. 13–47

4 Diagrammbasierte Methoden

4.1 Business Model Canvas (BMC)

Beschreibung:

- Visuelle Darstellung von Geschäftsmodellen über 9 Bausteine: Kundensegmente, Wertangebote, Kanäle, Kundenbeziehungen, Einnahmequellen, Schlüsselressourcen, Schlüsselaktivitäten, Schlüsselpartner und Kostenstrukturen

Vorteile:

- Übersichtliche und klare Struktur,
- Fördert Teamarbeit und Interdisziplinarität,
- Ermöglicht schnelle Anpassungen und Iterationen

Nachteile:

- Fokussiert auf Geschäftsmodelle, weniger auf Prozessdetails,
- Fehlende Detailtiefe für komplexe Prozesse

Anwendungsfelder:

- Planung und Entwicklung neuer Produktionsmodells,
- Evaluierung eines Lieferantenmodells für Bauteile,
- Planung von Produkteinführungen

Literaturverweis: *Gadatsch 2023*, S. 111 f.

4.2 Wertstromanalyse (WSA)

Beschreibung:

- Methode zur Analyse und Optimierung von Material- und Informationsflüssen in Produktionssystemen,
- Visualisiert Prozesse von Rohmaterial bis zum Kunden

Vorteile:

- Klare Identifikation von Eng-pässen und Verschwendung,
- Förderung eines ganzheitlichen Blicks auf die Wertschöpfung,
- Unterstützt Lean Management

Nachteile:

- Durch Ausrichtung auf Produktionsprozesse, weniger geeignet für Dienstleistung,
- Bedarf an Expertenwissen für genaue Analyse

Anwendungsfelder:

- Optimierung von Produktions- und Montagelinien,
- Verbesserung von Logistikprozessen,
- Identifikation von Verschwendung in Montagewerken

Literaturverweis: *Gadatsch 2023*, S. 111 f.

4.3 Architektur Integrierter Informationssysteme (ARIS)

Beschreibung:

- Rahmenwerk und Softwaretool zur ganzheitlichen Modellierung von Geschäftsprozessen,
- Ermöglicht Analyse aus verschiedenen Perspektiven (z. B. Organisation, Daten, Funktionen)

Vorteile:

- Flexibel durch verschiedene Sichten (Organisations-, Daten-, Steuerungssicht),
- Unterstützt umfassende Prozessdokumentation,
- Hohe Integration mit IT-Systemen

Nachteile:

- Komplexität durch Vielzahl an Modellierungselementen,
- Einarbeitung und Schulung erforderlich,
- Lizenzkosten für ARIS-Software

Anwendungsfelder:

- Einführung neuer Geschäftsprozesse,
- IT-Systemimplementierung und -integration,
- Qualitätsmanagementsysteme

Literaturverweis: [Gadatsch 2023](#), S. 128 ff.

4.4 IDEF-Diagramme (engl. „Integrated Definition Methods“)

Beschreibung:

- Standardisierte Modellierungsmethode für die Analyse und Dokumentation von Prozessen, Daten, Funktionen und Informationsflüssen in Unternehmen

Vorteile:

- Hohe Standardisierung erleichtert die Kommunikation
- Modularität ermöglicht detaillierte Analysen
- Unterstützt IT-Implementierungen und Prozessanalysen

Nachteile:

- Einhergehende hohe Komplexität bei großen Systemen
- Einarbeitungszeit erforderlich
- Fokussiert auf technische Abläufe, weniger auf menschliche Interaktionen

Anwendungsfelder:

- Prozessoptimierung in der Produktion
- Dokumentation von Produktionsabläufen
- Integration von ERP-Systemen

Literaturverweis: [Bormann et al. 2021](#), S. 78 ff.

4.5 Datenflussdiagramme (DFD)

Beschreibung:

- Grafische Darstellung, die Datenflüsse, Prozesse, Datenquellen und Datenspeicher in einem System beschreibt

Vorteile:

- Klare und intuitive Visualisierung von Datenflüssen
- Hervorragend geeignet für IT-Systemanalysen
- Unterstützt das Verständnis komplexer Datenbeziehungen

Nachteile:

- Fokus auf Datenflüsse, keine Modellierung organisatorischer Aspekte
- Nicht für zeitliche Abläufe geeignet
- Kann bei großen Systemen unübersichtlich werden

Anwendungsfelder:

- Entwicklung und Analyse von Datenbanken
- Prozessanalyse in der Softwareentwicklung
- Optimierung von Informationsflüssen

Literaturverweise: [Gehring, Gabriel 2022](#), S. 592 ff.; [Nahrstedt 2023](#), S. 29

4.6 Flussdiagramme

Beschreibung:

- Einfaches Diagramm zur Darstellung von Prozessen, Abläufen und Entscheidungslogik mithilfe von Symbolen wie Rechtecken, Pfeilen und Rhomben

Vorteile:

- Sehr einfach zu erstellen und zu verstehen
- Universell einsetzbar
- Gut geeignet für erste Prozessübersichten

Nachteile:

- Geringe Detailschärfe
- Keine standardisierte Symbolik, kann zu Missverständnissen führen
- Nicht geeignet für komplexe Prozesse

Anwendungsfelder:

- Erstellung von Arbeitsanweisungen in der Fertigung
- Dokumentation von Qualitätsprüfungen
- Analyse einfacher Entscheidungsprozesse

Literaturverweis: *Liebetruth 2024*, S. 35 ff.

4.7 Petri-Netze

Siehe Punkt 3.7

4.8 Struktogramme

Beschreibung:

- Hierarchische Diagramme zur Darstellung von algorithmischen Strukturen, häufig verwendet in der Softwareentwicklung

Vorteile:

- Einfache und klare Darstellung logischer Abläufe
- Gut geeignet für algorithmisches Denken

Nachteile:

- Beschränkt auf logische Abläufe, nicht geeignet für Prozessflüsse mit vielen Teilnehmern
- Wenig Flexibilität

Anwendungsfelder:

- Entwicklung und Optimierung von Steuerungslogiken in der Produktion
- Schulung technischer Abläufe

Literaturverweis: *Nahrstedt 2023*, S. 30

4.9 Swimlane-Diagramme

Beschreibung:

- Prozessdarstellung mit horizontalen oder vertikalen „Bahnen“ (engl. „Swimlanes“), die Verantwortlichkeiten und Schnittstellen visualisieren

Vorteile:

- Klare Zuweisung von Verantwortlichkeiten, intuitive Lesbarkeit
- Gut geeignet für funktionsübergreifende Prozesse

Nachteile:

- Kann bei großen Prozessen unübersichtlich werden
- Nicht immer standardisierte Darstellungsweise

Anwendungsfelder:

- Dokumentation von Fertigungsprozessen mit mehreren Abteilungen
- Analyse von Schnittstellen zwischen Produktion und Logistik

Literaturverweis: *Liebetruth 2024*, S. 39.

4.10 Folgestrukturen / Folgepläne

Beschreibung:

- Darstellung von Abhängigkeiten zwischen Aufgaben, Aktivitäten oder Ereignissen in Form eines gerichteten Graphen

Vorteile:

- Verdeutlicht logische Abfolgen und Abhängigkeiten
- Gut geeignet für die Planung von Produktionsschritten

Nachteile:

- Keine Visualisierung von Verantwortlichkeiten
- Kann bei komplexen Prozessen schnell unübersichtlich werden

Anwendungsfelder:

- Planung von Fertigungsschritten in Produktionsprozessen.
- Optimierung von Reihenfolgen in Montageprozessen

Literaturverweise: *Liebetruth 2024*, S. 35 ff.; *Gadatsch 2010*, S. 93 ff.

4.11 Prozesslandkarte

Beschreibung:

- Oberste Ebene eines Prozessmodells zur Visualisierung der gesamten Prozessstruktur eines Unternehmens
- Zeigt, wie Haupt-, Unterstützungs- und Managementprozesse ([Abs. 2.3.2.3](#), [Tab. 4](#)) miteinander verbunden sind

Vorteile:

- Übersichtliche Darstellung der Unternehmensprozesse
- Fördert ein gemeinsames Prozessverständnis
- Grundlage für detaillierte Prozessmodellierung

Nachteile:

- Keine detaillierten Informationen zu einzelnen Prozessen
- Eignet sich nicht zur Analyse spezifischer Schwachstellen
- Gefahr von Übervereinfachung bei komplexen Unternehmen

Anwendungsfelder:

- Prozessoptimierung im Unternehmen
- Einführung eines Prozessmanagement-Systems
- Strukturierung von Geschäftsprozessen
- Basis für Zertifizierungen (z. B. ISO 9001)

Literaturverweise: *Liebetruth 2024*, S. 29 ff.; *Gadatsch 2010*, S. 45f.

4.12 Erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette (eEPK)

Beschreibung:

- Kombinierte Darstellung von Funktionen, Ereignissen und weiteren Elementen wie etwa Organisationseinheiten und Datenobjekten

Vorteile:

- Klar, strukturierte Visualisieren auch von komplexen Prozessen
- Durch verschiedene Zusatzobjekte erweiterbar und für spezifische Kontexte anpassbar

Nachteile:

- Hoher Aufwand bei der Darstellung von komplexen Prozessen
- Einarbeitung in Methodik erforderlich
- Möglichkeit der Übermodellierung durch optionale Detailtiefe

Anwendungsfelder:

- Geschäftsprozessoptimierung, wie auch Prozessdokumentation
- Unterstützung bei der Implementierung von ERP-Systemen (z. B. SAP)

Literaturverweise: *Gadatsch 2023*, S. 126 ff.

4.13 Aufgabenkettendiagramm (PROMET)**Beschreibung:**

- Modellierung von Prozessen über Aufgabenketten, welche Beziehungen zwischen Aufgaben, Ereignissen und Entscheidungsstellen

Vorteile:

- Gute Visualisierung von Verantwortlichkeiten und Abläufen
- Für Laien leicht verständlich
- Unterstützt Prozessanalyse und -optimierung

Nachteile:

- Weniger geeignet für sehr komplexe Prozesse
- Eingeschränkte Standardisierung im Vergleich zu eEPK oder BPMN

Anwendungsfelder:

- Prozessanalyse und -optimierung
- Darstellung von Verantwortlichkeiten und Abhängigkeiten in Abläufen

Literaturverweise: *Gehring, Gabriel 2022*, S. 702 ff., *Gadatsch 2013*, S. 79 ff.

4.14 GPM-Diagramme (Geschäftsprozessmodellierungsdiagramme)**Beschreibung:**

- Darstellungsform mit klarer Trennung von Aufgaben, Ereignissen und Entscheidungsstellen

Vorteile:

- Strukturierte Visualisierung
- Einfacher Einstieg
- Unterstützt Standardisierung

Nachteile:

- Eingeschränkte Eignung für sehr komplexe Prozesse
- Wenig flexible Darstellungsmöglichkeiten

Anwendungsfelder:

- Prozessmodellierung, Einführung standardisierter Abläufe

Literaturverweise: *Gadatsch 2013*, S. 82 ff., *2023*, S. 103 ff.

4.15 BPMN (Business Process Model and Notation)**Beschreibung:**

- Standardisierte Modellierung von Geschäftsprozessen mit grafischer Notation

Vorteile:

- Internationaler Standard
- Flexibel und detailliert
- Automatisierungsfähig

Nachteile:

- Komplex bei umfangreichen Prozessen
- Einarbeitung erforderlich

Anwendungsfelder:

- Workflow-Design, Prozessautomatisierung, Prozessdokumentation

Literaturverweise: *Gadatsch 2023*, S. 154 ff.

4.16 PICTURE

Beschreibung:

- Methode zur schnellen Prozessmodellierung auf Basis vordefinierter Bausteine

Vorteile:

- Schnell und einfach anwendbar
- Fokus auf Verwaltungsprozesse
- Einheitliche Bausteine

Nachteile:

- Eingeschränkt flexibel
- Geringe Eignung für sehr individuelle Prozesse

Anwendungsfelder:

- Verwaltungsprozesse, Prozessvereinfachung, Standardisierung

Literaturverweise: *PICTURE 2025*; *Gadatsch 2013*, S. 80 f.

4.17 Activity Diagramme (dt. Aktivitätsdiagramm)

Beschreibung:

- UML ⁸⁸ -Diagramme zur Darstellung von Prozessen und Workflows mit Aktivitäten, Entscheidungen und parallelen Abläufen

Vorteile:

- Visuell leicht verständlich
- Unterstützt parallele Abläufe
- Gut für Workflow-Modellierung

Nachteile:

- Begrenzte Details für komplexe Prozesse
- Fokus auf Abläufe, weniger auf Daten

Anwendungsfelder:

- Workflow-Design, Softwareentwicklung, Prozessdokumentation

Literaturverweise: *Kleuker 2025*, S. 11 ff.; *Gadatsch 2013*, S. 91 f.

4.18 Use-Case-Diagramme (dt. Anwendungsfalldiagramm)

Beschreibung:

- UML-Diagramm zur Darstellung von Beziehungen zwischen Akteuren und Anwendungsfällen (engl. „Use Cases“)

Vorteile:

- Übersichtliche Visualisierung
- Fokussiert auf Benutzerinteraktionen
- Gut für Anforderungsanalyse

Nachteile:

- Wenig Detailtiefe
- Nicht geeignet für Ablaufspezifikationen

Anwendungsfelder:

- Anforderungsanalyse, Systemdesign, Kommunikation mit Stakeholdern

Literaturverweise: *Eichstädt, Spieker 2024*, S. 204 f.

4.19 Interaktionsdiagramme

Beschreibung:

- UML-Diagramme zur Darstellung der Kommunikation zwischen Objekten in einem System (z. B. Sequenzdiagramme, Kollaborationsdiagramme)

Vorteile:

- Veranschaulicht Nachrichtenfluss
- Gut für dynamische Abläufe.
- Unterstützt Systemanalyse

Nachteile:

- Fokus auf Interaktion, nicht Gesamtprozess
- Kann komplex werden

⁸⁸ Engl. Unified Modeling Language; vereinheitlichte Modellierungssprache.

Anwendungsfelder:

- Softwareentwicklung, Systemmodellierung, Ablaufanalyse

Literaturverweise: *Alpar et al. 2023*, S. 223 ff., 460 ff.; *Gadatsch 2013*, S. 92 ff.

4.20 Objektorientierte EPK (oEPK)**Beschreibung:**

- Erweiterung der eEPK, die neben Funktionen und Ereignissen auch Objekte einbezieht, um Zusammenhänge zwischen Prozessen und Daten zu verdeutlichen

Vorteile:

- Integriert Daten und Objekte
- Verbesserte Nachvollziehbarkeit
- Guter Überblick über Wechselwirkungen

Nachteile:

- Erhöhter Modellierungsaufwand
- Komplexität steigt bei vielen Objekten

Anwendungsfelder:

- Geschäftsprozessmodellierung, IT-Systementwicklung, ERP-Integration

Literaturverweise: *Gadatsch 2023*, S. 105 ff.

4.21 Vorgangereignisschema**Beschreibung:**

- Methode zur Modellierung von Geschäftsprozessen durch die Verknüpfung von Vorgängen (Aktivitäten) mit Ereignissen

Vorteile:

- Klare Struktur durch Ereignisbezug
- Einfach verständlich
- Gute Eignung für Prozessanalyse

Nachteile:

- Wenig flexibel für komplexe Prozesse
- Keine Standardnotation

Anwendungsfelder:

- Prozessmodellierung, Ablauforganisation, Prozessanalyse

Literaturverweise: *Benker, Jürck, Wolf 2016*, S. 84 f.

4.22 Statechart-Diagramme**Beschreibung:**

- UML-Diagramm zur Darstellung von Zustandsübergängen eines Systems oder Objekts

Vorteile:

- Zeigt dynamisches Verhalten
- Gute Übersicht über Zustände und deren Übergänge
- Unterstützt ereignisgesteuerte Prozesse

Nachteile:

- Weniger geeignet für sequenzielle Abläufe
- Kann bei vielen Zuständen komplex werden

Anwendungsfelder:

- Softwareentwicklung, Automatisierungstechnik, Systemmodellierung

Literaturverweise: *Schluse 2024*, S. 359 ff.; *Gadatsch 2012*, S. 93 ff.

4.23 Activitychart-Diagramme**Beschreibung:**

- Ähnlich einem Activity Diagramm, beschreibt Abläufe mit Aktivitäten, Entscheidungen und parallelen Prozessen

Vorteile:

- Leicht verständlich
- Gut für Workflow-Modellierung
- Unterstützt parallele Abläufe

Vorteile:

- Weniger geeignet für sehr komplexe Prozesse
- Fokus auf Abläufe, nicht auf Datenflüsse

Anwendungsfelder:

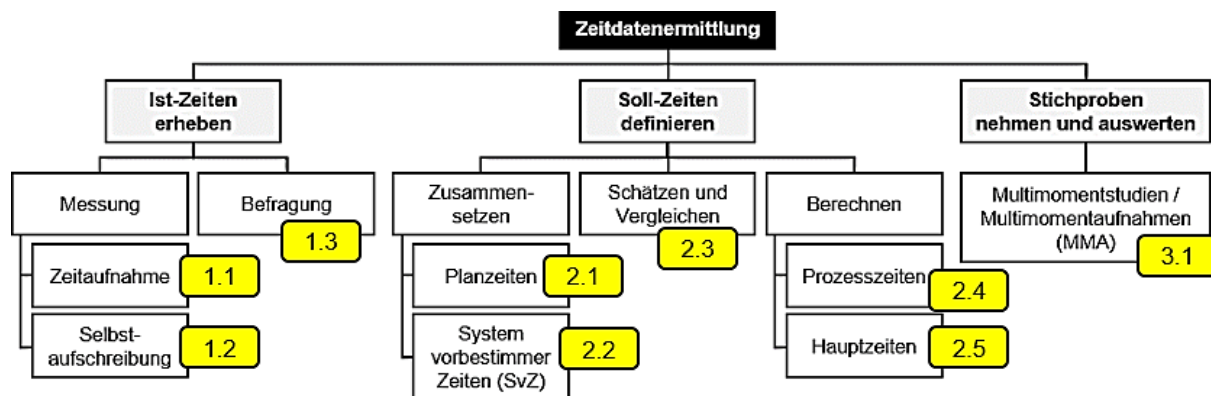
- Prozessdokumentation, Workflow-Design, Geschäftsprozessmodellierung

Literaturverweise: *Gadatsch 2013*, S. 97 ff.

Anlage 3 Katalog ausgewählter Zeitdatenerfassungsmethoden

(In Anlehnung an: REFA 2025 f;
Schlick, Bruder, Luczak 2018, S. 581 ff.)

Die nachfolgende Übersicht dient zur Vervollständigung der im Volltext benannten Verfahren zur Zeitdatenermittlung. Über eine tabellarische Darstellung als Katalog, werden die Verfahren nachfolgend kurz beschrieben. Es werden Vor- und Nachteile benannt, sowie Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt.



1 Ist-Zeiten erheben

1.1 Zeitaufnahme

Beschreibung:

- Direkte Messung der Zeit durch einen Beobachter

Vorteile:

- Hohe Genauigkeit, gut für standardisierte Prozesse

Nachteile:

- Hoher Aufwand
- Potentielle Beeinflussung durch Beobachter

Anwendungsfelder:

- Standardisierte Prozesse mit hoher Wiederholungsrate (z. B. Montagelinien, Fertigungsprozesse)

1.2 Selbstaufschreibung

Beschreibung:

- Mitarbeiter dokumentieren eigenständig ihre Zeiten

Vorteile:

- Geringer Aufwand
- Schnelle Ergebnisse

Vorteile:

- Geringere Genauigkeit
- Manipulationsgefahr

Anwendungsfelder:

- Prozesse mit hoher Variabilität oder wenn eine direkte Beobachtung nicht möglich ist

1.3 Befragung

Beschreibung:

- Zeiterhebung durch Interviews mit Mitarbeitern

Vorteile:

- Einfach umsetzbar
- Nützlich bei schwer messbaren Prozessen

Vorteile:

- Subjektive Einschätzung
- Geringe Objektivität

Anwendungsfelder:

- Prozesse, die schwer messbar sind oder subjektive Einschätzungen erfordern (z. B. kreative Tätigkeiten)

2 Soll-Zeiten definieren

2.1 Planzeiten

Beschreibung:

- Nutzung von Erfahrungswerten aus Datenbanken

Vorteile:

- Schnelle Anwendung
- Geringe Kosten

Nachteile:

- Geringe Genauigkeit
- Wenig spezifisch

Anwendungsfelder:

- Grobe Kalkulation und Prozessplanung für neue oder selten ausgeführte Prozesse

2.2 System vorbestimmter Zeiten (SvZ)

Beschreibung:

- Detaillierte Zerlegung in Bewegungsbausteine (z. B. MTM, Work-Factor)

Vorteile:

- Hohe Genauigkeit
- Standardisierte Abläufe

Vorteile:

- Hoher Aufwand
- Komplexe Anwendung

Anwendungsfelder:

- Hochstandardisierte Arbeitsabläufe mit präzisen Zeitvorgaben (z. B. Fertigung nach Taktzeiten)

2.3 Schätzen und Vergleichen

Beschreibung:

- Zeitabschätzung basierend auf Erfahrungen oder Benchmark-Daten

Vorteile:

- Einfach durchzuführen
- Wenig Ressourcenaufwand

Vorteile:

- Hohe Unsicherheit
- Nur für grobe Einschätzungen geeignet

Anwendungsfelder:

- Prozesse mit hoher Variabilität oder wenn keine detaillierten Zeitdaten verfügbar sind

2.4 Prozesszeiten

Beschreibung:

- Gesamtzeit eines Prozesses inkl. aller Ablaufabschnitte

Vorteile:

- Ganzheitliche Analyse
- Gute Planbarkeit

Vorteile:

- Hoher mathematischer Aufwand

Anwendungsfelder:

- Strategische Prozessanalysen und -optimierungen
(z. B. zur Identifikation von Engpässen)

2.5 Hauptzeiten

Beschreibung:

- Berechnung der reinen wertschöpfenden Zeiten

Vorteile:

- Ideal für operative Verbesserungen

Vorteile:

- Vernachlässigt nicht wertschöpfende Bestandteile

Anwendungsfelder:

- Detaillierte operative Prozessoptimierung zur Effizienzsteigerung

3 Stichproben nehmen und auswerten

3.1 Multimomentstudien / Multimomentaufnahmen (MMA)

Beschreibung:

- Statistische Methode mit zufälligen Beobachtungen

Vorteile:

- Geringer Ressourcenaufwand
- Breite Prozessabdeckung

Vorteile:

- Hoher Planungsaufwand
- Starker Einfluss des Stichprobenumfangs

Anwendungsfelder:

- Analyse von Tätigkeitsstrukturen
(z. B. zur Optimierung von Arbeitsabläufen im Büro oder in der Produktion)

Z1		REFA-Zeitstudie (Rückseite) für Abläufe ohne Wiederholungen				Ablage Nr.: _____					
						Blatt _____ von _____		Blättern			
Nr.	Ablaufabschnitt	Bez. Menge	Einflussgröße, Messwert, Klasse	Zy m _z	1	2	3	$\Sigma L / n$	$\Sigma t_i / n$	$t = \bar{L} / 100 \cdot t_i$	Zeitart
1	MONTAGE!!			L							
				t _i							
				F							
2				L							
				t _i							
				F							
3				L							
				t _i							
				F							
4				L							
				t _i							
				F							
5				L							
				t _i							
				F							
6				L							
				t _i							
				F							
7				L							
				t _i							
				F							
8				L							
				t _i							
				F							
9				L							
				t _i							
				F							
10				L							
				t _i							
				F							
11				L							
				t _i							
				F							
12				L							
				t _i							
				F							
13				L							
				t _i							
				F							
14				L							
				t _i							
				F							
15				L							
				t _i							
				F							
$\Sigma t =$											

Z1-Rückseite

Z1E		REFA-Zeitstudie				Ablage Nr.:					
Ergänzungsbogen für Abläufe ohne Wiederholungen		Blatt				von Blättern					
Nr.	Ablaufabschnitt	Bez. Menge	Einflussgröße, Messwert, Klasse	Zy m _z	1	2	3	$\Sigma L / n$	$\Sigma t / n$	$t = \bar{L} / 100 \cdot \bar{t}$	Zeitart
1				L							
				t _i							
				F							
2				L							
				t _i							
				F							
3				L							
				t _i							
				F							
4				L							
				t _i							
				F							
5				L							
				t _i							
				F							
6				L							
				t _i							
				F							
7				L							
				t _i							
				F							
8				L							
				t _i							
				F							
9				L							
				t _i							
				F							
10				L							
				t _i							
				F							
11				L							
				t _i							
				F							
12				L							
				t _i							
				F							
13				L							
				t _i							
				F							
14				L							
				t _i							
				F							
15				L							
				t _i							
				F							
$\Sigma t =$											

Z1E

212

Z2		REFA-Zeitstudie (Rückseite) für Abläufe mit Wiederholungen															Ablage Nr.:								
Nr.		Ablaufabschnitt		Bez. Menge	Einflussgröße, Messwert, Klasse	Zy m _z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	ΣL / n	von	Blättern	
																						ΣL / n			
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
t _z = Σt _i / n =		Σt _i =		n =	Summe der Zeiten je Zyklus t _z																				
s =		v = s / t _z =		ε =	ε' = 5%																				
Nr/Zy	von	bis	Dauer	zusätzliche Ablaufabschnitte	Nr/Zy	von	bis	Dauer	zusätzliche Ablaufabschnitte	Nr/Zy	von	bis	Dauer	zusätzliche Ablaufabschnitte	Nr/Zy	von	bis	Dauer	zusätzliche Ablaufabschnitte	Nr/Zy	von	bis	Dauer	zusätzliche Ablaufabschnitte	HM
											</														

Z2E		REFA-Zeitstudie																	Ergänzungsbogen für Abläufe mit Wiederholungen										Ablage Nr.:			
Nr.		Ablaufabschnitt		Bez. Menge	Einflussgröße, Messwert, Klasse	Zy m _z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	ΣL / n	von	Blättern								
																						Σt _i / n		l = T/100 • σ ²								
1						L																										
						t _i																										
						F																										
2						L																										
						t _i																										
						F																										
3						L																										
						t _i																										
						F																										
4						L																										
						t _i																										
						F																										
5						L																										
						t _i																										
						F																										
6						L																										
						t _i																										
						F																										
7						L																										
						t _i																										
						F																										
8						L																										
						t _i																										
						F																										
9						L																										
						t _i																										
						F																										
t _z = Σt _i / n =						Σt _z =	v = s / t _z =		ε =	Summe der Zeiten je Zyklus t _z										n' =			Σt =	HM								
s =											ε' = 5%																					
Nr/Zy		von	bis	Dauer	zusätzliche Ablaufabschnitte	Nr/Zy	von	bis	Dauer	zusätzliche Ablaufabschnitte	Nr/Zy	von	bis	Dauer	zusätzliche Ablaufabschnitte	Nr/Zy	von	bis	Dauer	zusätzliche Ablaufabschnitte												
Zeitbilanz:		Σt _i aller AA	Σt _i aller zus. AA	Σt _i	ΣAZ	Σt _i	ΣAZ	Σt _i	ΣAZ																							
</																																

Z2A Stat. Auswert.

216

Z3-Rückseite

Auswahltable für REFA-Formblätter (gemäß REFA 2019, S. 185):

Nr.	Ablauffolge	Vorkommen	REFA-Formblatt
1	Ablauf ohne regelmäßige Wiederholung gleicher Abschnitte	Einzelfertigung, Einzelarbeit	Z1 und Z1E
2	Ablauf mit regelmäßigen Wiederholungen der gleichen Abschnittsfolge	Serienfertigung, Einzelarbeit	Z2 und Z2E
3	Ablauf mit unregelmäßigen Wiederholungen einzelner Abschnittsfolgen bei einer Arbeitsperson	Einzelfertigung, Einzelarbeit	Z1, Z1E, sowie Z2E
4	Ablauf mit gleichen und verschiedenen Abschnittsfolgen bei mehreren Menschen oder Betriebsmitteln	Gruppenarbeit, Mehrstellenarbeit	Z1 und Z3

Anlage 5 Quantiltabelle der t-Verteilung nach Student (t-Werte)

(Quelle: Kohn, Öztürk 2022, S. 267)

Quantiltabelle bis zu einem Stichprobenumfang von $n=30$ ($df=n-1=29$)

Freiheits- grade df	Konfidenzniveau p (zweiseitig)				
	75%	80%	90%	95%	99%
1	2,414	3,078	6,314	12,706	63,657
2	1,604	1,886	2,920	4,303	9,925
3	1,423	1,638	2,353	3,182	5,841
4	1,344	1,533	2,132	2,776	4,604
5	1,301	1,476	2,015	2,571	4,032
6	1,273	1,440	1,943	2,447	3,707
7	1,254	1,415	1,895	2,365	3,499
8	1,240	1,397	1,860	2,306	3,355
9	1,230	1,383	1,833	2,262	3,250
10	1,221	1,372	1,812	2,228	3,169
11	1,214	1,363	1,796	2,201	3,106
12	1,209	1,356	1,782	2,179	3,055
13	1,204	1,350	1,771	2,160	3,012
14	1,200	1,345	1,761	2,145	2,977
15	1,197	1,341	1,753	2,131	2,947
16	1,194	1,337	1,746	2,120	2,921
17	1,191	1,333	1,740	2,110	2,898
18	1,189	1,330	1,734	2,101	2,878
19	1,187	1,328	1,729	2,093	2,861
20	1,185	1,325	1,725	2,086	2,845
21	1,183	1,323	1,721	2,080	2,831
22	1,182	1,321	1,717	2,074	2,819
23	1,180	1,319	1,714	2,069	2,807
24	1,179	1,318	1,711	2,064	2,797
25	1,178	1,316	1,708	2,060	2,787
26	1,177	1,315	1,706	2,056	2,779
27	1,176	1,314	1,703	2,052	2,771
28	1,175	1,313	1,701	2,048	2,763
29	1,174	1,311	1,699	2,045	2,756

Anlage 6 Quantiltabelle der Standardnormalverteilung (z-Werte)

(Quelle: Gruber, Joeckel, Austen 2024, S. 51)

up	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,500000	0,503889	0,507978	0,511966	0,515953	0,519939	0,523922	0,527903	0,531881	0,535856
0,1	0,539828	0,543795	0,547758	0,551717	0,555670	0,559618	0,563559	0,567495	0,571424	0,575345
0,2	0,579280	0,583166	0,587064	0,590954	0,594835	0,598706	0,602568	0,606420	0,610261	0,614092
0,3	0,617911	0,621720	0,625516	0,629300	0,633072	0,636831	0,640576	0,644309	0,648027	0,651732
0,4	0,655422	0,659097	0,662757	0,666402	0,670031	0,673645	0,677242	0,680822	0,684386	0,687933
0,5	0,691462	0,694974	0,698468	0,701944	0,705401	0,708840	0,712260	0,715661	0,719043	0,722405
0,6	0,725747	0,729069	0,732371	0,735653	0,738914	0,742154	0,745373	0,748571	0,751748	0,754903
0,7	0,758036	0,761148	0,764238	0,767305	0,770350	0,773373	0,776373	0,779350	0,782305	0,785236
0,8	0,788145	0,791030	0,793892	0,796731	0,799546	0,802337	0,805105	0,807850	0,810570	0,813267
0,9	0,815940	0,818589	0,821214	0,823814	0,826391	0,828944	0,831472	0,833977	0,836457	0,838913
1	0,841345	0,843752	0,846136	0,848495	0,850830	0,853141	0,855428	0,857690	0,859929	0,862143
1,1	0,864334	0,866500	0,868643	0,870762	0,872857	0,874928	0,876976	0,879000	0,881000	0,882977
1,2	0,884930	0,886861	0,888768	0,890651	0,892512	0,894350	0,896165	0,897958	0,899727	0,901475
1,3	0,903200	0,904902	0,906582	0,908241	0,909877	0,911492	0,913085	0,914657	0,916207	0,917736
1,4	0,919243	0,920730	0,922196	0,923641	0,925066	0,926471	0,927855	0,929219	0,930563	0,931888
1,5	0,933193	0,934478	0,935745	0,936992	0,938220	0,939429	0,940620	0,941792	0,942947	0,944083
1,6	0,945201	0,946301	0,947384	0,948449	0,949497	0,950529	0,951543	0,952540	0,953521	0,954486
1,7	0,955435	0,956367	0,957284	0,958185	0,959070	0,959941	0,960796	0,961636	0,962462	0,963273
1,8	0,964070	0,964852	0,965620	0,966375	0,967116	0,967843	0,968557	0,969258	0,969946	0,970621
1,9	0,971283	0,971933	0,972571	0,973197	0,973810	0,974412	0,975002	0,975581	0,976148	0,976705
2	0,977250	0,977784	0,978308	0,978822	0,979325	0,979818	0,980301	0,980774	0,981237	0,981691
2,1	0,982136	0,982571	0,982997	0,983414	0,983823	0,984222	0,984614	0,984997	0,985371	0,985738
2,2	0,986097	0,986447	0,986791	0,987126	0,987455	0,987776	0,988089	0,988396	0,988696	0,988989
2,3	0,989276	0,989556	0,989830	0,990097	0,990358	0,990613	0,990863	0,991106	0,991344	0,991576
2,4	0,991802	0,992024	0,992240	0,992451	0,992656	0,992857	0,993053	0,993244	0,993431	0,993613
2,5	0,993790	0,993963	0,994132	0,994297	0,994457	0,994614	0,994766	0,994915	0,995060	0,995201
2,6	0,995339	0,995473	0,995604	0,995731	0,995855	0,995975	0,996093	0,996207	0,996319	0,996427
2,7	0,996533	0,996636	0,996736	0,996833	0,996928	0,997020	0,997110	0,997197	0,997282	0,997365
2,8	0,997445	0,997523	0,997599	0,997673	0,997744	0,997814	0,997882	0,997948	0,998012	0,998074
2,9	0,998134	0,998193	0,998250	0,998305	0,998359	0,998411	0,998462	0,998511	0,998559	0,998605
3	0,998650	0,998702	0,998750	0,998795	0,998838	0,998879	0,998919	0,998957	0,998992	0,999025

Anlage 7 Evaluationsbogen

(Fallstudie bei der LINAMAR Antriebstechnik GmbH)

Kurzevaluation

Teil 1: Status der Maßnahmenumsetzung (Quick Check)

Bitte kreuzen Sie an, inwieweit die im Rahmen der Arbeit vorgeschlagenen Optimierungspotentiale im Laboralltag Berücksichtigung fanden:

Maßnahme (Beispiele aus der Arbeit)	Umgesetzt	Teilweise	Nicht umgesetzt	Nicht geplant
Anpassung der Prüfsequenzen (eEPK-Soll-Prozess)	☒	☐	☐	☐
Nutzung der Zeitbausteine für die Personalplanung	☐	☒	☐	☐
Einsatz des Prognosemodells bei Neuprojekten	☐	☒	☐	☐
Optimierung der Arbeitsplatzgestaltung (Ishikawa-Maßnahmen)	☐	☐	☒	☐
Schulung der Mitarbeiter auf Basis der neuen Standards	☐	☐	☒	☐

Teil 2: Bewertung der Methodik (Wissenschaftlicher Fokus)

Wie bewerten Sie die im Projekt angewandten Werkzeuge für den Betrieb eines TechSa-Labors? (Schulnotensystem – 1 = sehr hilfreich, 5 = nicht praktikabel)

1. **Prozessdarstellung (eEPK/Swimlane):** [1] **[2]** [3] [4] [5]

Anmerkung: Hilfreich für Transparenz vs. zu hoher Dokumentationsaufwand.

2. **REFA-Zeitaufnahme:** [1] **[2]** [3] [4] [5]

Anmerkung: Datengüte ausreichend für die Realität?

3. **Regressionsmodell (Prognose):** [1] [2] [3] **[4]** [5]

Anmerkung: Ist das Modell im Alltag ohne Expertenwissen anwendbar?

Teil 3: Barrieren der Umsetzung

Was waren aus Ihrer Sicht die Hauptgründe, warum Maßnahmen ggf. nicht oder verzögert umgesetzt wurden? (Mehrfachauswahl möglich)

- ☒ Akuter Zeitmangel im operativen Geschäft
- ☒ Fehlende personelle Kapazitäten für das Monitoring
- ☒ Komplexität der statistischen Modelle für Nicht-Experten
- ☐ Prioritätenverschiebung durch Kundenprojekte / Audits
- ☐ Sonstiges: _____

Teil 4: Fazit & Ausblick

Würden Sie die methodische Vorgehensweise (Analyse -> Modellierung -> Prognose) für andere Prüfprozesse im Unternehmen empfehlen?

☐ Ja, uneingeschränkt ☒ Ja, in vereinfachter Form ☐ Eher nein

Bemerkung:

Das methodische Modell sowie die Herangehensweise haben sich als gute Möglichkeit entwickelt um den Prüfprozess im Detail zu analysieren und zu bewerten. Es setzt ein fundiertes Fachwissen bzgl. der Analyse voraus, dass in der Praxis nicht vollumfänglich vorhanden ist. Die oft fehlende Zeit, sich mit Themen detailliert auseinanderzusetzen, erschwert die praxisbezogene Anwendung zusätzlich. Ein vereinfachtes Modell, ohne extra Software bzw. fundiertes Fachwissen, würde hier ggf. für mehr Anwendung, auch auf andere Prüfprozesse, sorgen. In der Industrie zeigt sich mehr und mehr, dass kürzerer Einarbeitungsphasen und teilweise fehlendes Controlling für chaotische Arbeitsweisen und Zielverfehlungen sorgen kann. Die Anforderungen bzgl. der technischen Sauberkeit nehmen, mit zunehmender Entwicklung vor allem im Bereich der Motoren und Getriebebauteile, immer mehr an Bedeutung zu. Somit stehen auch mehr und mehr die Prüfvorschriften und Abläufe im Fokus.

Sascha Claus
2026.06.09
 17:59:05
+02'00'

Claus, Sascha
Quality Manager
Linamar Antriebstechnik GmbH

Anlage 8 Kritische Würdigung der Evaluationsergebnisse

(Fallstudie bei der LINAMAR Antriebstechnik GmbH)

Um die langfristige Wirksamkeit der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methodik und der daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen zu beurteilen, wurde rund 15 Monate nach Abschluss der ursprünglichen Untersuchung eine nachträgliche Praxisrückmeldung eingeholt (Anl. 7). Der verantwortliche Qualitätsleiter (Quality Manager) der LINAMAR Antriebstechnik GmbH (LAT) wurde dazu gebeten, anhand eines strukturierten Kurzfragebogens den Stand der Umsetzung sowie die methodische Eignung der entwickelten Werkzeuge aus betrieblicher Sicht zu bewerten. Die nachfolgende kritische Würdigung ordnet diese Rückmeldung ein und reflektiert sowohl die *Aussagekraft* als auch die *inhaltlichen Implikationen* für die vorliegende Arbeit.

Vorab ist die *methodische Belastbarkeit* dieser Evaluation einzuordnen. Es handelt sich um eine Einzelrückmeldung einer Führungskraft (n=1), nicht um eine erneute quantitative Erhebung im Sinne der in Abschnitt 5 beschriebenen Methodik. Eine Beteiligung der ursprünglichen Prozesseigner, also der ausführenden Mitarbeiter, fand nicht statt, wodurch die Perspektive auf die Führungsebene beschränkt bleibt. Auch ein erneuter Soll-Ist-Abgleich der abgeleiteten Planzeiten oder eine Validierung der Regressionsmodelle anhand neuer Projektdaten wurde nicht durchgeführt. Die Evaluation ist somit als anekdotische, qualitative Einschätzung zu verstehen, die wertvolle Hinweise auf die praktische Anschlussfähigkeit der Arbeit liefert, jedoch keine wissenschaftliche Validierung im engeren Sinne darstellt.

Trotz dieser Einschränkungen lassen sich aus der Rückmeldung mehrere aufschlussreiche Erkenntnisse ableiten. *Positiv* hervorzuheben ist zunächst, dass die im Rahmen der Prozessmodellierung (Abs. 4) entwickelte Anpassung der Prüfsequenzen vollständig in den Laboralltag übernommen wurde. Dies bestätigt, dass die im Vorgehen vorgesehene Modellierung über eEPK und Swimlane-Diagramm nicht nur eine akademische Strukturierungsleistung darstellt, sondern auch unmittelbar praktisch verwertbare Ergebnisse hervorbringen kann. Auch die grundsätzliche methodische Vorgehensweise – Abfolge aus *Analyse, Modellierung und Prognose* – wird von der befragten Führungskraft empfohlen, wenn auch ausdrücklich „in vereinfachter Form“. Diese *Einschränkung* verweist bereits auf einen zentralen Befund der Rückmeldung, der im weiteren Verlauf noch vertieft wird.

Ergänzend bestätigt die Rückmeldung die anhaltende und sogar wachsende Relevanz der Thematik *Technische Sauberkeit*, insbesondere vor dem Hintergrund zunehmender Anforderungen im Bereich der Motoren- und Getriebefertigung. Dies unterstreicht die grundsätzliche praktische Bedeutung des in dieser Arbeit bearbeiteten Themenfeldes über den ursprünglichen Untersuchungszeitraum hinaus.

Differenzierter fällt die Bewertung der zentralen quantitativen Ergebnisse der Arbeit aus. Sowohl die abgeleiteten *REFA-Planzeitbausteine* (Abs. 5.5.3.6) als auch *Regressionsmodelle* zur Kalkulation von Neuprojekten (Abs. 5.5.3.3) wurden im Laboralltag lediglich teilweise umgesetzt. Als Ursache hierfür wird in der Rückmeldung explizit die Komplexität der statistischen Modelle für Personen ohne entsprechende fachliche Vorbildung benannt. Dieser Befund deckt sich auffällig mit der bereits im *Ausblick* dieser Arbeit (Abs. 6.3.2) formulierten Einschätzung, dass niedrighschwelligere Verfahren erforderlich sein könnten, um eine breitere Anwendung im betrieblichen Alltag zu ermöglichen. Die Rückmeldung bestätigt somit nicht nur die inhaltliche Richtigkeit der entwickelten Modelle, sondern macht zugleich deutlich, dass deren nachhaltige Verankerung im Tagesgeschäft an Grenzen stößt, sobald keine kontinuierliche fachliche Begleitung oder entsprechende Qualifikation der Anwendenden vorhanden ist.

Noch deutlicher zeigt sich diese Problematik bei den Handlungsempfehlungen zur Arbeitsplatzgestaltung auf Basis der *Ishikawa-Analyse* (Abs. 5.5.3.7 f.) sowie bei den empfohlenen Schulungsmaßnahmen. Beide wurden nach Angabe der befragten Führungskraft nicht umgesetzt. Als Hauptgründe werden ein akuter Zeitmangel im operativen Geschäft sowie fehlende personelle Kapazitäten für ein begleitendes Monitoring genannt. Dieser Befund verweist auf eine in der Praxis verbreitete Diskrepanz zwischen der inhaltlichen Qualität von Handlungsempfehlungen und den tatsächlich vorhandenen Umsetzungskapazitäten eines Betriebs. Die Empfehlungen selbst werden inhaltlich nicht infrage gestellt; ihre Umsetzung scheitert vielmehr an strukturellen und ressourcenbezogenen Rahmenbedingungen, die außerhalb des unmittelbaren Einflussbereichs der vorliegenden Arbeit liegen.

Besonders aufschlussreich für die methodische Selbstreflexion ist die in der Rückmeldung formulierte *Anwenderkritik*. Der ausdrückliche Wunsch nach einem „vereinfachten Modell ohne zusätzliche Software bzw. fundiertes Fachwissen“ verdeutlicht einen Zielkonflikt, der in der vorliegenden Arbeit zwar an verschiedenen Stellen methodisch fundiert adressiert wurde – etwa durch die Verwendung der t-Verteilung zur Berücksichtigung kleiner Stichproben (Abs. 5.5.2.3), die mehrstufige Regressionsanalyse mit Ausreißerbereinigung (Abs. 5.5.3.3) oder die Indexbewertung zur Plandatensicherheit (Abs. 5.5.3.2) –, jedoch nicht explizit als eigenständiges Gestaltungsziel im Sinne einer reduzierten Anwendungskomplexität verfolgt wurde.

Die entwickelten Verfahren zielen primär auf wissenschaftliche Exaktheit und Nachvollziehbarkeit ab; eine bewusste Vereinfachung zugunsten der Praxistauglichkeit für Anwendende ohne statistische Vorkenntnisse war kein explizites Gestaltungskriterium. Rückblickend lässt sich festhalten, dass die Handlungsempfehlungen dieser Arbeit (Abs. 5.5.3.8) das Implementierungsrisiko mangelnder Fachkenntnis bei den künftigen Anwendenden nicht hinreichend antizipiert haben. Eine denkbare Erweiterung hätte in einem *gestuften Konzept* bestehen können, das neben der vollständigen, wissenschaftlich fundierten Analyse auch eine vereinfachte Variante für den laufenden Betrieb vorsieht – etwa durch reduzierte statistische Kennzahlen oder vorkonfigurierte Tabellenwerkzeuge ohne notwendiges Hintergrundverständnis der zugrunde liegenden Verfahren.

Diese Erkenntnis lässt sich auch losgelöst vom konkreten Einzelfall einordnen. Die befragte Führungskraft verweist in ihrer Rückmeldung allgemein auf eine in der Industrie zu beobachtende Tendenz zu kürzeren Einarbeitungsphasen sowie auf teilweise fehlendes Controlling, was in der Folge zu unsystematischen Arbeitsweisen und Zielverfehlungen führen könne. Dieser Hinweis bestätigt den bereits im Ausblick dieser Arbeit (Abs. 6.3) skizzierten Bedarf an *Standardisierung, Schulung und organisatorischer Verankerung* als notwendige Voraussetzung für eine nachhaltige Wirkung wissenschaftlich fundierter Methoden im betrieblichen Alltag. Die vorliegende Rückmeldung zeigt damit exemplarisch eine grundsätzliche Herausforderung auf, die über den hier untersuchten Einzelfall hinausreicht: Akademische Arbeiten können fachlich fundierte und methodisch belastbare Lösungen liefern, deren nachhaltige Verankerung in der Praxis jedoch maßgeblich von begleitenden Implementierungsmaßnahmen, ausreichenden personellen Ressourcen und einer an die Zielgruppe angepassten Komplexitätsreduktion abhängt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die durchgeführte Nachevaluation sowohl die grundsätzliche *fachliche Tragfähigkeit* der entwickelten Methodik bestätigt als auch wichtige *Grenzen ihrer praktischen Anwendbarkeit* aufzeigt. Für die Zielgruppe eines an dieser Arbeit orientierten Best-Practice-Leitfadens ergibt sich daraus die Empfehlung, methodische Tiefe und praktische Anwendbarkeit von Beginn an als gleichrangige Gestaltungsziele zu behandeln und z. B. gestufte Anwendungsvarianten unterschiedlicher Komplexität vorzusehen, um eine nachhaltige Verankerung in der betrieblichen Praxis zu unterstützen.

Autorenbiografie

NIKLAS NÖSEL, M.Sc., M.Eng.

... ist Promotionsstipendiat der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) und promoviert an der Technischen Universität Ilmenau im Fach Wirtschaftsinformatik. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Industry Analytics befasst er sich schwerpunktmäßig mit der datengetriebenen Analyse und Simulation komplexer Produktionssysteme.

Seine akademische Laufbahn ist geprägt durch eine interdisziplinäre Verknüpfung von Ingenieurwissenschaften und Management. Vor seiner aktuellen Forschungstätigkeit war er als Ingenieur im Qualitätsmanagement der Automobilzulieferindustrie tätig. Die vorliegende Publikation zur Kombination von Prozess- und Qualitätsmanagement unter Einbindung arbeitswissenschaftlicher Methoden schloss seine über sechs Jahre andauernde Laufbahn im Qualitätsingenieurwesen ab. Sein Forschungsinteresse als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand gilt der Transformation der Industrie auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen: von strategischen Marktveränderungen ↗ über die Analyse operativer Prozesse ↗ bis hin zu technologischen Lösungen ↗ wie Digitalen Zwillingen und Künstlicher Intelligenz.