

Prozess-Simulation in KMU

Entwicklung und Analyse eines Petrinetz-basierten Baukastensystems
als Instrument zur Modellierung und Simulation
von Produktions- und Logistikprozessen –
speziell ausgelegt zur Unterstützung
von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften (Dr. rer. pol.)
durch die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der
Universität Duisburg-Essen, Campus Essen

vorgelegt von

Diplom-Wirtschaftsingenieurin (FH), Master of Systems Engineering

Stefanie Rudel aus Unterhaching

Essen, 2016

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Juni 2016

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr. Stephan Zelewski

Zweitgutachter: Univ.-Prof. Dr. Heimo H. Adelsberger

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich herzlich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Zelewski für die Betreuung dieser Dissertation bedanken. Durch seine zahlreichen kritischen, jedoch stets sehr konstruktiven Anmerkungen hat er meiner wissenschaftlichen Arbeitsweise zu einer Entwicklung verholfen, die ich selbst nie für möglich gehalten hätte.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. Adelsberger für die Bereitschaft als Zweitgutachter für die Dissertation zur Verfügung zu stehen.

Den Unternehmen Max und Franz Heiland GmbH (Unterhaching), A. Zilske Präzisionsmechanik GmbH (Taufkirchen) und Feinmechanische Werkstätte Thomas Markl GmbH (Deisenhofen) danke ich für die mit mir geführten Experteninterviews.

Besonderer Dank gilt meinem Mann Dr. Albert Beer, der mich stets bestärkt meinen Weg zu gehen, sowie meinen Kindern, die mir täglich aufs neue zeigen, was wirklich zählt im Leben.

Herzlichen Dank auch an all die lieben Menschen um mich, die mich durch Korrekturlesen dieser Arbeit unterstützt haben.

Unterhaching, im Juni 2016

Steffi Rudel

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XI
Abkürzungs- und Akronymverzeichnis.....	XIII
Symbolverzeichnis.....	XVIII
1 Prozess-Simulation in kleinen und mittleren Unternehmen.....	1
1.1 Prozess-Simulation in Produktion und Logistik in kleinen und mittleren Unternehmen als Realproblem.....	1
1.2 Stand der Wissenschaft.....	2
1.3 Wissenschaftliches Problem.....	15
1.4 Intendiertes wissenschaftliches Ergebnis.....	18
1.5 Aufbau der Arbeit.....	19
2 Grundlagen.....	20
2.1 Prozess-Simulation	20
2.2 Simulationswerkzeuge.....	21
2.3 Bausteine und Baukastensysteme.....	21
2.4 Petrinetze.....	24
2.4.1 Allgemeines.....	24
2.4.2 Definitionen.....	26
2.4.2.1 Petrinetz-Konzept.....	26
2.4.2.2 Modellierungssprache Petrinetze.....	26
2.4.2.3 Petrinetz-Graphen.....	29
2.4.2.4 Markenspiel.....	30
2.4.3 Netzklassen und Netztypen.....	31
2.4.3.1 Übersicht.....	31
2.4.3.2 Elementare Netze.....	33
2.4.3.3 Höhere Netze.....	37
2.4.4 Eignung des Petrinetz-Konzepts für den Laien.....	39
2.5 Kleine und mittlere Unternehmen.....	41
2.6 Produktion und Logistik.....	43
3 Entwicklung eines neuen Baukastensystems.....	46

3.1 Phasen der Entwicklung.....	46
3.2 Zusammenhang der Produkte Anforderungskatalog, Katalog der zu übertragenden Merkmale und neues Baukastensystem.....	47
3.3 Phase Auswahl.....	47
3.3.1 Teilschritte der Phase Auswahl.....	47
3.3.2 Auswahl der Netzklasse.....	48
3.3.3 Auswahl des Simulationswerkzeugs.....	48
3.3.4 Auswahl des Wirtschaftszweigs.....	57
3.3.5 Auswahl der Unternehmen.....	57
3.3.6 Auswahl der Anforderungen aus der Praxis der KMU.....	59
3.3.7 Auswahl der Anforderungen aus der Fachliteratur.....	80
3.3.8 Produkt: Anforderungskatalog.....	84
3.4 Phase Analyse.....	85
3.4.1 Analyse der existierenden Baukastensysteme.....	85
3.4.2 Produkt: Katalog der zu übertragenden Merkmale.....	89
3.5 Phase Realisierung.....	91
3.5.1 Konkretisierung der Phase Realisierung.....	91
3.5.2 Methode.....	92
3.5.2.1 Auswahl der Methode.....	92
3.5.2.2 Strategien.....	93
3.5.2.3 Prinzipien.....	94
3.5.2.3.1 Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung.....	94
3.5.2.3.2 Weitere Prinzipien.....	100
3.5.2.4 Elemente.....	101
3.5.2.5 Regeln.....	101
3.5.3 Berücksichtigung der Anforderungen.....	101
3.5.4 Berücksichtigung der zu übertragenden Merkmale.....	102
3.5.5 Modellerte PACE-Bausteine.....	102
3.5.5.1 Erläuterung der Elemente der Petrinetz-Graphen in PACE.....	102
3.5.5.2 Petrinetz-Graph.....	105
3.5.5.3 PACE-Baustein Kategorie Bearbeitungsstation.....	106
3.5.5.4 PACE-Baustein Bearbeitungsstation.....	108
3.5.5.5 Zusammenfassung in den PACE-Baustein Basisbaustein.....	108
3.5.6 Erstellte ergänzende Dateien.....	111

3.5.6.1 Excel-Datei Befüllung.....	111
3.5.6.2 Individuelle Icons.....	122
3.5.6.3 Nutzerhandbuch.....	123
3.5.7 Verifikation und Validierung.....	123
3.5.8 Zusammenfassung in neues Baukastensystem.....	127
3.5.9 Produkt: neues Baukastensystem.....	128
4 Überprüfung der Ergebnisse mittels einer Fallstudie.....	129
4.1 Musterunternehmen.....	129
4.2 Erarbeitung des Simulationsmodells aus dem Baukastensystem.....	129
4.3 Simulationsläufe.....	136
4.3.1 Basisbefüllung.....	136
4.3.2 Fragestellung: Auslastung der Bearbeitungsstationen.....	139
4.3.3 Fragestellung: Fertigstellungstermin eines Auftrags.....	140
4.3.4 Fragestellung: Flaschenhals.....	141
4.3.5 Fragestellung: Freinehmen durch einen Mitarbeiter.....	142
4.3.6 Fragestellung: Zusätzlicher Auftrag.....	143
4.3.7 Fragestellung: Alternative Maschine.....	147
4.3.8 Fragestellung: Schwankung der Rüstzeiten.....	151
4.4 Untersuchung zur Umsetzung der Anforderungen.....	155
4.4.1 Anforderung 1.....	155
4.4.2 Anforderung 2.....	155
4.4.3 Anforderung 3.....	156
4.4.4 Anforderung 4.....	156
4.4.5 Anforderung 5.....	157
4.4.6 Anforderung 6.....	157
4.4.7 Anforderung 7.....	158
4.4.8 Anforderung 8.....	158
4.4.9 Anforderung 9.....	160
4.4.10 Anforderung 10.....	161
4.4.11 Anforderung 11.....	161
4.4.12 Anforderung 12.....	162
4.4.13 Anforderung 13.....	162
4.4.14 Anforderung 14.....	162

4.4.15 Anforderung 15.....	163
4.4.16 Anforderung 16.....	163
4.4.17 Anforderung 17.....	163
4.4.18 Anforderung 18.....	164
4.4.19 Anforderung 19.....	164
4.4.20 Anforderung 20.....	165
4.4.21 Anforderung 21.....	165
4.4.22 Anforderung 22.....	165
4.4.23 Anforderung 23.....	166
4.4.24 Anforderung 24.....	167
4.4.25 Anforderung 25.....	167
4.4.26 Anforderung 26.....	167
4.4.27 Anforderung 27.....	168
4.4.28 Anforderung 28.....	169
4.4.29 Anforderung 29.....	169
4.4.30 Anforderung 30.....	169
4.4.31 Anforderung 31.....	170
4.4.32 Anforderung 32.....	170
4.4.33 Anforderung 33.....	171
4.4.34 Anforderung 34.....	171
4.4.35 Anforderung 35.....	172
4.4.36 Anforderung 36.....	174
4.4.37 Anforderung 37.....	175
4.4.38 Anforderung 38.....	175
4.4.39 Anforderung 39.....	175
4.5 Untersuchung zur Übertragung der Merkmale.....	176
4.5.1 Merkmal I.....	176
4.5.2 Merkmal II.....	176
4.5.3 Merkmal III.....	177
4.5.4 Merkmal IV.....	177
4.5.5 Merkmal V.....	178
4.5.6 Merkmal VI.....	178
4.5.7 Merkmal VII.....	179
4.5.8 Merkmal VIII.....	179

4.5.9 Merkmal IX.....	180
4.5.10 Merkmal X.....	180
4.5.11 Merkmal XI.....	181
4.5.12 Merkmal XII.....	181
4.5.13 Merkmal XIII.....	181
4.5.14 Merkmal XIV.....	182
4.5.15 Merkmal XV.....	183
4.5.16 Merkmal XVI.....	183
4.5.17 Merkmal XVII.....	183
4.5.18 Merkmal XVIII.....	184
4.5.19 Merkmal XIX.....	184
4.5.20 Merkmal XX.....	185
4.5.21 Merkmal XXI.....	185
4.5.22 Merkmal XXII.....	185
4.5.23 Merkmal XXIII.....	186
4.5.24 Merkmal XXIV.....	186
4.6 Untersuchung zur Umsetzung der Prinzipien.....	187
4.6.1 Untersuchung zur Umsetzung der Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung.....	187
4.6.1.1 GoM1.....	187
4.6.1.2 GoM2.....	187
4.6.1.3 GoM3.....	192
4.6.1.4 GoM4.....	193
4.6.1.5 GoM5.....	193
4.6.1.6 GoM6.....	194
4.6.1.7 GoM7.....	194
4.6.1.8 GoM8.....	195
4.6.1.9 GoM9.....	196
4.6.1.10 GoM10.....	196
4.6.1.11 GoM11.....	197
4.6.1.12 GoM12.....	197
4.6.1.13 GoM13.....	205
4.6.1.14 GoM14.....	206
4.6.1.15 GoM15.....	206
4.6.1.16 GoM16.....	207

4.6.2 Untersuchung zur Umsetzung der weiteren Prinzipien.....	207
4.6.2.1 wP1.....	207
4.6.2.2 wP2.....	208
4.6.2.3 wP3.....	208
5 Fazit.....	211
5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	211
5.2 Kritische Betrachtung.....	213
5.3 Ausblick.....	214
Literaturverzeichnis.....	215
Eidesstattliche Erklärung.....	243
Anhang.....	244

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bereiche 1 und 2 sowie Ausprägungen des Bereichs 2 des Standes der Wissenschaft.....	3
Abbildung 2: Sich ergebender Bereich 3 des Standes der Wissenschaft.....	14
Abbildung 3: Übersicht über die definierten Begriffe bezüglich der Aspekte der Petrinetze. .	25
Abbildung 4: Übersicht über die Bestandteile der Modellierungssprache Petrinetze.....	27
Abbildung 5: Netzelemente der graphischen Notation der Modellierungssprache Petrinetze. .	28
Abbildung 6: Nach den Regeln der statischen Syntax kombinierte Netzelemente.....	29
Abbildung 7: Statischer und dynamischer Petrinetz-Graph.....	30
Abbildung 8: Markenspiel eines dynamischen Petrinetz-Graphen.....	31
Abbildung 9: Übersicht über Netzklassen und vorgestellte Netztypen.....	32
Abbildung 10: Statischer Petrinetz-Graph des Beispiels.....	33
Abbildung 11: Markenspiel im dynamischen Petrinetz-Graphen eines B/E-Netzes.....	34
Abbildung 12: Statischer Petrinetz-Graph des abgewandelten Beispiels.....	35
Abbildung 13: Markenspiel im dynamischen Petrinetz-Graphen eines S/T-Netzes.....	36
Abbildung 14: Erweiterter statischer Petrinetz-Graph des Beispiels.....	38
Abbildung 15: Wasserfallmodell zur Entwicklung des neuen Baukastensystems.....	46
Abbildung 16: Teilschritte der Phase Auswahl.....	48
Abbildung 17: Allgemeines inhaltsanalytisches Ablaufmodell (Mayring (2010), S. 60).....	60
Abbildung 18: Übergang vom allgemeinen inhaltsanalytischen Ablaufmodell zum Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung (Mayring (2010), S. 99 in Kombination mit Mayring (2010), S. 93).....	63
Abbildung 19: Konkretisierung der Phase Realisierung.....	92
Abbildung 20: Methode zur Modellerstellung nach Spur et al. (1993), S. 53.....	93
Abbildung 21: In PACE verwendete Elemente.....	102
Abbildung 22: Prinzip der Hierarchisierung mittels Modulen in PACE.....	104
Abbildung 23: Statischer Petrinetz-Graph des Simulationsmodells Dissertation.....	105
Abbildung 24: Dynamischer Petrinetz-Graph des Simulationsmodells Dissertation auf der obersten hierarchischen Ebene.....	106
Abbildung 25: PACE-Baustein Kategorie Bearbeitungsstation.....	107
Abbildung 26: PACE-Baustein Bearbeitungsstation.....	108
Abbildung 27: PACE-Baustein Basisbaustein.....	109
Abbildung 28: Entpackter PACE-Baustein Basisbaustein.....	109

Abbildung 29: Im PACE-Baustein Basisbaustein enthaltene Kategorien von Bearbeitungsstationen.....	110
Abbildung 30: Hierarchisch tiefer liegende Ebene einer der Kategorien von Bearbeitungsstationen.....	111
Abbildung 31: Tabellenblatt Anmerkungen.....	113
Abbildung 32: Tabellenblatt Umrechnung.....	114
Abbildung 33: Tabellenblatt Betriebszeiten.....	115
Abbildung 34: Tabellenblatt Aufträge (Ausschnitt).....	116
Abbildung 35: Tabellenblatt Ergebnisse_Aufträge (Ausschnitt).....	117
Abbildung 36: Tabellenblatt Ergebnisse_Stationen.....	118
Abbildung 37: Tabellenblatt PACE_EIN (Ausschnitt).....	119
Abbildung 38: Tabellenblatt PACE_AUS (Ausschnitt).....	120
Abbildung 39: Tabellenblatt PACE_AUS_Masch.....	121
Abbildung 40: Tabellenblatt Eingabewerte.....	122
Abbildung 41: Individuelle Icons.....	123
Abbildung 42: Textdatei Version.....	127
Abbildung 43: Struktur des neuen Baukastensystems KMUSimMetall.....	128
Abbildung 44: Angepasster Maschinenpark des Simulationsmodells Musterunternehmen...	130
Abbildung 45: Angepasste Kategorie CNC-Drehmaschinen.....	131
Abbildung 46: Angepasste Kategorie CNC-Fräsmaschinen.....	131
Abbildung 47: Angepasste Kategorie CNC-Dreh-Fräszentren.....	132
Abbildung 48: Angepasste Kategorie Manuelle Bohrmaschinen.....	132
Abbildung 49: Angepasste Kategorie Manuelle Schleifmaschinen.....	133
Abbildung 50: Angepasste Kategorie Montage.....	133
Abbildung 51: Angepasste Kategorie Gleitschleifmaschinen.....	134
Abbildung 52: Angepasste Kategorie Prüfplätze.....	134
Abbildung 53: Angepasste Kategorie Externe Bearbeitung.....	135
Abbildung 54: Bildschirmansicht des fertig erstellten Simulationsmodells Musterunternehmen	136
Abbildung 55: Basisbefülltes Tabellenblatt Betriebszeiten.....	137
Abbildung 56: Ausschnitt des basisbefüllten Tabellenblattes Aufträge.....	139
Abbildung 57: Tabellenblatt Ergebnisse_Stationen nach dem Simulationslauf, Fragestellung Auslastung der Bearbeitungsstationen.....	140

Abbildung 58: Tabellenblatt Ergebnisse_Aufträge nach dem Simulationslauf, Fragestellung Fertigstellungstermin eines Auftrags.....	141
Abbildung 59: Tabellenblatt Ergebnisse_Stationen nach dem Simulationslauf, Fragestellung Flaschenhals.....	142
Abbildung 60: Rechter Ausschnitt des Tabellenblattes Ergebnisse_Aufträge nach dem Simulationslauf, Fragestellung Freinehmen durch einen Mitarbeiter.....	143
Abbildung 61: Ergänztes Tabellenblatt Aufträge, Fragestellung Zusätzlicher Auftrag.....	144
Abbildung 62: Tabellenblatt Ergebnisse_Aufträge der Excel-Datei Befüllung nach dem Simulationslauf, Fragestellung Zusätzlicher Auftrag.....	145
Abbildung 63: Tabellenblatt Ergebnisse_Aufträge der Excel-Datei Befüllung_Vor, Fragestellung Zusätzlicher Auftrag.....	146
Abbildung 64: Geändertes Tabellenblatt Aufträge, Fragestellung Alternative Maschine.....	148
Abbildung 65: Tabellenblatt Ergebnisse_Aufträge der Excel-Datei Befüllung nach dem Simulationslauf, Fragestellung Alternative Maschine.....	149
Abbildung 66: Tabellenblatt Ergebnisse_Aufträge der Excel-Datei Befüllung_Vor, Fragestellung Alternative Maschine.....	150
Abbildung 67: Geänderter Teil des Tabellenblattes Aufträge, Fragestellung Schwankung der Rüstzeiten.....	152
Abbildung 68: Umsetzung der Anforderung 8 bezüglich der Prüfbarkeit der Maschinenbelegung.....	160
Abbildung 69: Entpackter Basisbaustein mit den Auftragsmarken.....	173
Abbildung 70: Erzeugung der Werkstückmarken sowie Zusammenfassung in die Auftragsmarke im Modul Werkstück bearbeiten.....	174
Abbildung 71: 1. Objektebene des Simulationsmodells Musterunternehmen.....	188
Abbildung 72: 2. Objektebene des Simulationsmodells Musterunternehmen.....	189
Abbildung 73: 3. Objektebene des Simulationsmodells Musterunternehmen.....	190
Abbildung 74: Ablaufebene des Moduls Control_Start des Simulationsmodells Dissertation.....	198
Abbildung 75: Ablaufebene des Moduls Auftragspool des Simulationsmodells Dissertation.....	199
Abbildung 76: Ablaufebene des Moduls Arbeitsvorbereitung des Simulationsmodells Dissertation.....	200
Abbildung 77: Ablaufebene des Moduls Bearbeitungsstation des Simulationsmodells Dissertation.....	201

Abbildung 78: Ablaufebene des Moduls Station rüsten des Simulationsmodells Dissertation	202
Abbildung 79: Ablaufebene des Moduls Werkstücke bearbeiten des Simulationsmodells Dissertation	203
Abbildung 80: Ablaufebene des Moduls Control_Bearbeitungsstation des Simulationsmodells Dissertation	204
Abbildung 81: Ablaufebene des Moduls Arbeitsnachbereitung des Simulationsmodells Dissertation	205
Abbildung 82: Development Info des Moduls Maschinenpark	208
Abbildung 83: Purpose Description des Moduls Arbeitsvorbereitung	209
Abbildung 84: „Auskommentierte“ umgangssprachliche Erläuterung von Codefragmenten	210

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Untersuchung der Simulationswerkzeuge basierend auf Wenzel (2009), S. 9.....	7
Tabelle 2: Informationen und Quellen zur Untersuchung der Simulationswerkzeuge (Teil 1)..	9
Tabelle 3: Informationen und Quellen zur Untersuchung der Simulationswerkzeuge (Teil 2)	11
Tabelle 4: Ergebnismatrix der ersten Stufe der Nutzwertanalyse.....	51
Tabelle 5: Ergebnismatrix der zweiten Stufe der Nutzwertanalyse.....	53
Tabelle 6: Gewichtungen der Zielkriterien und Sub-Zielkriterien der Kategorie B.....	53
Tabelle 7: Zuordnungsvorschrift zur Überführung der Ergebnismatrix in die Entscheidungs- matrix.....	54
Tabelle 8: Ergebnismatrix zur Auswahl des Simulationswerkzeugs.....	54
Tabelle 9: Informationen und Quellen zur Auswahl des Simulationswerkzeugs (Teil 1).....	55
Tabelle 10: Informationen und Quellen zur Auswahl des Simulationswerkzeugs (Teil 2).....	56
Tabelle 11: Kodierleitfaden der inhaltlichen Strukturierung.....	66
Tabelle 12: Auswertetabelle mit extrahierten Texten.....	70
Tabelle 13: Auswertetabelle mit Paraphrasen.....	75
Tabelle 14: Zusammenfassung der Hauptkategorie Ausrichtung.....	76
Tabelle 15: Zusammenfassung der Hauptkategorie Bausteine.....	77
Tabelle 16: Zusammenfassung der Hauptkategorie Bedingungen.....	77
Tabelle 17: Ableitung der Anforderungen Praxis.....	79
Tabelle 18: Zusammenfassung und Einordnung der extrahieren Aussagen aus der Fachlitera- tur zum Einsatz der Prozess-Simulation in kleinen und mittleren Unternehmen.....	83
Tabelle 19: Anforderungskatalog.....	85
Tabelle 20: Auflistung und Einordnung der analysierten Merkmale aus der Fachliteratur zu Baukastensystemen.....	89
Tabelle 21: Katalog der zu übertragenden Merkmale.....	91
Tabelle 22: Konkrete Maßnahmen zur Umsetzung der Grundsätze ordnungsmäßiger Model- lierung.....	100
Tabelle 23: Konkrete Maßnahmen zur Umsetzung der weiteren Prinzipien.....	101
Tabelle 24: Funktionen der Tabellenblätter der Excel-Datei.....	112
Tabelle 25: Techniken der Verifikation und Validierung (Rabe et al. (2008), S. 96).....	124
Tabelle 26: Dokumentierte Verifikations- und Validierungs-Tests (Teil 1).....	125
Tabelle 27: Dokumentierte Verifikations- und Validierungs-Tests (Teil 2).....	126
Tabelle 28: Daten der Aufträge.....	138

Tabelle 29: Vergleich Termine Fertigstellung IST, Fragestellung Zusätzlicher Auftrag.....	146
Tabelle 30: Daten des CNC-Dreh-/Fräszentrums, Fragestellung Alternative Maschine.....	147
Tabelle 31: Termine Fertigstellung IST im Vergleich, Fragestellung Alternative Maschine.	151
Tabelle 32: Rüstzeiten der Montage im Vergleich, Fragestellung Schwankung der Rüstzeiten	153
Tabelle 33: Termine Fertigstellung IST im Vergleich, Fragestellung Schwankung der Rüstzei- ten.....	154
Tabelle 34: Auf den Objektebenen des Simulationsmodells Musterunternehmen enthaltene Benennungen der Netzelemente.....	190
Tabelle 35: Untersuchung der Umsetzung der Maßnahme GoM2.....	192
Tabelle 36: Untersuchung der Umsetzung der Maßnahme GoM7.....	195

Abkürzungs- und Akronymverzeichnis

Eigennamen von Simulationswerkzeugen, von Unternehmen sowie von Verlagen werden nicht aufgeführt.

AG	Aktiengesellschaft
am	von PACE verwendete Schreibweise für a.m. (ante meridiem: vor Mittag)
AS	Aksjeselskap
ASIM	Arbeitsgemeinschaft Simulation
AW	Antwort
B.V.	Besloten Vennootschap met Beperkte Aansprakelijkheid (Niederlande)
B/E-Netze	Bedingungs/Ereignis-Netze
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
bST	Attribut in PACE
BVBA	Besloten Vennootschap met Beperkte Aansprakelijkheid (Belgien)
ca.	circa
CAiSE	Conference on Advanced Information Systems Engineering
cAUS	Attribut in PACE
cEIN	Attribut in PACE
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CMSD	Core Manufacturing Simulation Data
CNC	Computerized Numerical Control
Co.	Compagnie
CPN	Coloured Petri Nets
DASS	Dresdner Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf
DDE	Programmiercode in PACE
DES	Discrete Event Simulation
DIHK	Deutscher Industrie- und Handelskammertag
E-Commerce	electronic commerce
E-Mail	electronic mail
e.V.	eingetragener Verein

EMISA	Fachgruppe Entwicklungsmethoden für Informationssysteme und deren Anwendung
et al.	et alii
EU	Europäische Union
EUR	Euro
FH	Fachhochschule
FIFO	First In - First Out
Fn.	Fußnote
GI	Gesellschaft für Informatik
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GoM	Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung
GUI	Graphical User Interface
HISinOne	Eigenname einer Software für das Hochschul-Management
Hrsg.	Herausgeber
i.d.R.	in der Regel
i.e.S	im engeren Sinn
i.w.S.	im weiteren Sinn
IAW	Institut für Angewandte Wirtschaftsforschung
IBW	Institut für Bauwirtschaft
ID	Identifikator
idL	Attribut in PACE
IEC	International Electrotechnical Commission
IfM	Institut für Mittelstandsforschung
ifm	Institut für Mittelstandsforschung der Universität Mannheim
Inc.	Incorporated
IPA	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
IPK	Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik
IRB	Informationszentrum Raum und Bau
IRIT	Institut de Recherche en Informatique de Toulouse
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
ITIL	IT Infrastructure Library
k.A.	keine Angabe

K.o.	Knockout
KG	Kommanditgesellschaft
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
kmU	kleine und mittelständische Unternehmen
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KMUSimMetall	Baukastensystem speziell für kleine und mittlere Unternehmen zur Prozess-Simulation im Wirtschaftszweig „Herstellung von Metallerzeugnissen“
lg	Attribut in PACE
mbH	mit beschränkter Haftung
Min.	Minuten
Mio.	Millionen
MOSIM	Modellversuch Simulationstechnik für den Mittelstand
No.	Number
Nos.	Numbers
Nr.	Nummer
NWA	Nutzwertanalyse
o.g.	oben genannt
o.J.	ohne Jahr
o.O.	ohne Ort
o.S.	ohne Seite
o.V.	ohne Verfasser
PDF	Portable Document Format
pm	von PACE verwendete Schreibweise für p.m. (post meridiem: nach Mit- tag)
PNML	Petri Net Markup Language
Pr/T-Netze	Prädikat/Transitions-Netze
Re	Reply <i>ehemals:</i> Ablativ von „res“ (Sache), also „in der Sache...“
S.	Seite(n)
S/T-Netze	Stellen/Transitions-Netze

SCS	The Society for Modeling & Simulation International <i>ehemals: The Society for Computer Simulation</i> <i>Eigeninterpretation der SCS: Simulate, Create, Serve</i>
sdx	simulation data exchange
ServPay	Eigenname eines Forschungsprojektes des Instituts für Anlagen und Systemtechnologien und des Instituts für Wirtschaftsinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
simKMU	Webbasierte Simulationslösungen für den Mittelstand
SimVis	Simulation und Visualisierung
SMF	Sächsisches Staatsministerium der Finanzen
Sp.	Spalte
SS	Sommersemester
St.	Sankt
STS	Simulation Toolkit Shipbuilding
STS/GMMS	Simulation technischer Systeme/Grundlagen und Methoden in Modellbildung und Simulation
tB	Attribut in PACE
tEIN	Attribut in PACE
TEUR	Tausend Euro
TGI	Theoretische Grundlagen der Informatik
TH	Technische Hochschule
tR	Attribut in PACE
TU	Technische Universität
u.a.	unter anderem
UML	Unified Modeling Language
URS	Unternehmensregister-System
USA	United States of America
V&V	Verifikation und Validierung
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
Vol.	Volume
www	World Wide Web

z.B. zum Beispiel

Zip Eigenname eines Dateiformates zur Komprimierung von Dateien

Symbolverzeichnis

€	Euro
=	gleich
+/-	plus und minus
/	pro
#	Programmiersprachen-Element in PACE
%	Prozent
®	Registered Trade Mark
Σ	Summe

1 Prozess-Simulation in kleinen und mittleren Unternehmen

1.1 Prozess-Simulation in Produktion und Logistik in kleinen und mittleren Unternehmen als Realproblem

Prozess-Simulation¹ ist wissenschaftlich für den Bereich Produktion und Logistik² seit Jahrzehnten untersucht und etabliert³. Prozess-Simulation gibt Unternehmen die Möglichkeit, einen Prozess⁴ mittels eines Simulationswerkzeugs⁵ auf einem Computer nachzubilden⁶, um diesen Prozess unabhängig vom realen Prozess untersuchen⁷ zu können. Dieses Vorgehen kann Unternehmen dabei unterstützen, ihre logistischen Zielgrößen⁸ zu verbessern.

Um Unternehmen beim Einsatz der Prozess-Simulation zu unterstützen, wurden verschiedene Instrumente entwickelt⁹. Jedoch ist der Einsatz der Prozess-Simulation in der unternehmerischen Praxis in Deutschland trotz der entwickelten Instrumente bislang nicht die Regel¹⁰. Dabei ist es wichtig, eine Unterscheidung in Bezug auf die Größe der Unternehmen zu berücksichtigen, denn während in Großunternehmen¹¹ der Einsatz der Prozess-Simulation im Bereich der Produktion und Logistik nicht unüblich ist¹², setzen kleine und mittlere Unternehmen (KMU)¹³ in Deutschland diese nur selten ein¹⁴.

-
- 1 Als Prozess-Simulation wird in der Dissertation die ereignisdiskrete Simulation (Discrete Event Simulation, DES) von Prozessen definiert. Zur Definition des Begriffs Prozess-Simulation vgl. Kapitel 2.1.
 - 2 In der Dissertation wird der Begriff Produktion im Sinne der industriellen Produktion verwendet. Der Begriff Logistik bezeichnet in der Dissertation die zugehörige Versorgung der Produktion mit Material und Informationen. Zur Definition der Begriffe Produktion und Logistik vgl. Kapitel 2.6.
 - 3 Vgl. SPIECKERMANN (2005), S. 3; FREISEISEN (2008), S. V; RABE et al. (2008), S. 1; WENZEL et al. (2008), S. 1. Neben der Wissenschaft beschäftigen sich auch verschiedene wissenschaftsnahe Fachgruppen mit dem Thema Prozess-Simulation in Produktion und Logistik. Wissenschaftsnahe Fachgruppen sind unter anderem die Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM) der Gesellschaft für Informatik (GI), die Arbeitsgruppe Ablaufsimulation des Verbandes der Automobilindustrie (VDA) sowie der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) mit seinem Fachbereich A5 Modellierung und Simulation.
 - 4 Der Begriff Prozess wird in der Dissertation im Sinne von Geschäftsprozessen verwendet. Ein Geschäftsprozess wird in der Dissertation definiert als eine Abfolge von Tätigkeiten, die in einem Unternehmen ausgeführt werden, um ein betriebswirtschaftliches Ziel zu erreichen.
 - 5 Ein Simulationswerkzeug wird in der Dissertation definiert als eine Software, die speziell für die Simulation von Prozessen auf dem Computer entwickelt wurde. Zur Definition des Begriffs Simulationswerkzeug vgl. Kapitel 2.2.
 - 6 Dieser Vorgang wird in der Dissertation als Modellerstellung (vgl. Fn. 99, S. 21) bezeichnet, das auf dem Computer entstandene Abbild des realen Prozesses wird als Modell bezeichnet; vgl. ROSEMANN (1996), S. 18. Der Vorgang zur Modellerstellung wird in der Dissertation als Modellierung bezeichnet; vgl. ROSEMANN (1996), S. 18.
 - 7 Die Untersuchung des Prozesses beinhaltet neben der Analyse der Abläufe auch die Variation der Modellparameter. Modellparameter können beispielsweise Transportwege, Losgrößen, Lagerkapazitäten und Anzahl der Maschinen sein.
 - 8 Die logistischen Zielgrößen werden in Kapitel 2.6 erläutert.
 - 9 Neben dem in der Dissertation betrachteten Instrument der Baukastensysteme stellen z.B. RABE et al. (2001), S. 117–190, Handlungsanleitungen zur Verfügung und WENZEL et al. (2008), S. 1, stellt ein Vorgehensmodell zur Verfügung.
 - 10 Vgl. RABE et al. (1997), S. 422; SCHULZ et al. (2007), S. 32.
 - 11 Als Großunternehmen gelten in der Dissertation diejenigen Unternehmen, welches nicht als KMU definiert sind; vgl. Kapitel 2.5.
 - 12 Vgl. BIERSCHENK et al. (2005), S. 6; SPIECKERMANN (2005), S. 3–4; RABE et al. (2008), S. 1.
 - 13 Die Definition für KMU wird von der EU-Kommission übernommen, vgl. EU-KOMMISSION (2003), S. 39; vgl. auch EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006), S. 13–15. Zur Definition der KMU vgl. Kapitel 2.5.
 - 14 Vgl. HELLINGRATH (1998), S. 235; KUHN et al. (1998), S. 116; GÜNTNER (2001), S. 5; RABE et al. (2001), S. 1; SOMMER et al. (2004), S. 304; SCHNEIDER (2005), S. 2; SCHULZ et al. (2007), S. 36; BÖS (2008), S. 409; GRAF et al. (2008), S. 31; SPIECKERMANN (2008), S. 83.

In der einschlägigen Fachliteratur werden mögliche Ursachen für diesen defizitären Einsatz der Prozess-Simulation in KMU besprochen¹⁵. Dort sind Hinweise zu finden, dass die bisher entwickelten Instrumente KMU beim Einsatz der Prozess-Simulation nicht genügend unterstützen¹⁶.

Die Dissertation setzt sich daher mit dem Realproblem auseinander, dass ein Instrument fehlt, das KMU mit ihren speziellen Erfordernissen¹⁷ beim Einsatz der Prozess-Simulation unterstützt. Die Existenz eines solchen Instrumentes ist jedoch betriebswirtschaftlich wünschenswert, um auch KMU die Nutzung der Vorteile¹⁸, die sich durch den Einsatz der Prozess-Simulation ergeben können, zu ermöglichen.

Um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass das Instrument tatsächlich Verwendung in KMU findet, sollte das Instrument helfen, eine Hürde zu überwinden, welche die Verbreitung der Prozess-Simulation in der unternehmerischen Praxis in KMU bisher verhindert. RABE et al. (1997), S. 422, sowie WACHSMANN (2006), S. 106, nennen als eine solche Hürde den hohen Zeitaufwand für die Modellerstellung. Verschiedene Autoren halten Baukastensysteme¹⁹ für geeignet, diesen Zeitaufwand zu reduzieren²⁰. Daher werden die konkreten Untersuchungen der Dissertation auf das Instrument der Baukastensysteme eingeschränkt.

1.2 Stand der Wissenschaft

Der Stand der Wissenschaft wird in der Dissertation in drei Bereiche unterteilt. Zunächst wird auf die Bereiche 1 und 2 eingegangen. Anschließend wird auf den Bereich 3 eingegangen, welcher sich aus den beiden Bereichen 1 und 2 ergibt²¹.

Die beiden Bereiche 1 und 2 setzen sich mit dem Einsatz der Prozess-Simulation in Unternehmen auseinander, haben jedoch unterschiedliche Fokussierungen. Der Bereich 1 fokussiert sich auf den Einsatz der Prozess-Simulation speziell in KMU. Der Bereich 2 fokussiert sich auf das Instrument der Baukastensysteme und wird in der Dissertation in die folgenden zwei Ausprägungen unterteilt:

15 Die einzelnen Quellen werden in Kapitel 1.2 diskutiert.

16 Die einzelnen Quellen werden in Kapitel 1.2 diskutiert.

17 Die speziellen Erfordernisse der KMU werden in Kapitel 1.3 genannt.

18 Wird ein Prozess mittels der Prozess-Simulation am Computer untersucht, so können die Erkenntnisse aus dieser Untersuchung anschließend zurück auf den realen Prozess übertragen werden. Wie oben bereits erwähnt, kann dies zu einer Verbesserung der logistischen Zielgrößen (vgl. auch Fn. 8, S. 1) beitragen. Die Verbesserung der logistischen Zielgrößen kann als Vorteil für ein Unternehmen bewertet werden. Detailliert mit der Thematik der Verbesserung der logistischen Zielgrößen durch die Nutzung von Prozess-Simulation beschäftigt sich auch WACHSMANN (2006), S. 7–10.

19 Bausteine werden in der Dissertation definiert als funktionell abgrenzbare Elemente mit definiertem Inhalt und Umfang, wobei die Bausteine unter Beachtung von Regeln kombinierbar sind; vgl. WIRTH et al. (1974) zitiert durch MÜLLER et al. (2007), S. 26. Ein Baukastensystem wird in der Dissertation definiert als eine Sammlung mehrerer Bausteine. Zur Definition der Begriffe Baustein und Baukastensystem vgl. Kapitel 2.3.

20 Vgl. SCHMIDT (1988), S. 18–19; NOCHE et al. (1993), S. 271; RABE et al. (1997), S. 422; WACHSMANN (2006), S. 106; MÜLLER et al. (2007), S. 27.

21 Die Arbeiten des Bereichs 3 werden ab S. 14 diskutiert.

- Von Seiten des Herstellers im Simulationswerkzeug enthaltene Baukastensysteme sowie
- vom Anwender neu erstellte Baukastensysteme.

Die folgende Abbildung 1 visualisiert die Bereiche 1 und 2 sowie die beiden Ausprägungen des Bereichs 2.

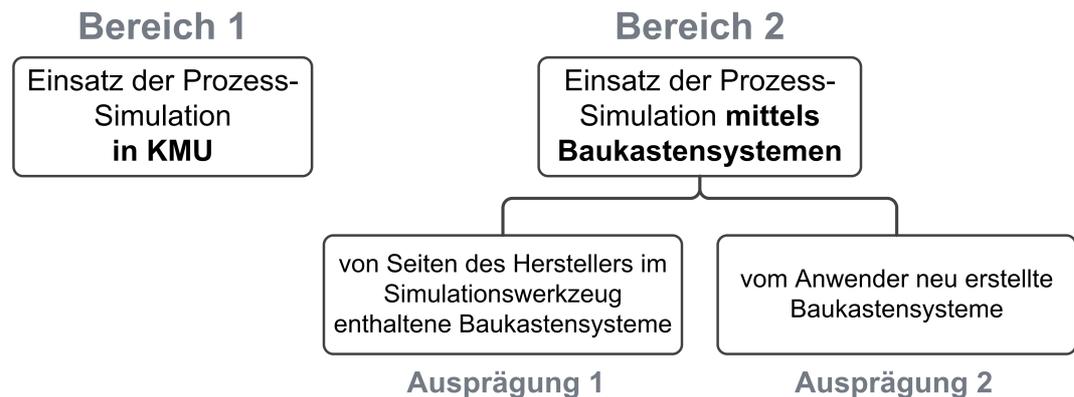


Abbildung 1: Bereiche 1 und 2 sowie Ausprägungen des Bereichs 2 des Standes der Wissenschaft

Die wichtigsten Arbeiten des Bereichs 1, welcher den Einsatz der Prozess-Simulation in KMU untersucht, werden im Folgenden diskutiert²².

Das Projekt MOSIM beschäftigte sich von 1996 bis 1998 mit der Förderung des Einsatzes von Prozess-Simulation in KMU²³. Als Ergebnis aus diesem Projekt ging ein Praxis-Leitfaden²⁴ hervor, der Beispiele für Simulationsstudien²⁵ in KMU sowie eine Handlungsanleitung²⁶ beinhaltet²⁷.

22 Die Arbeiten des Bereichs 2 werden ab S. 6 diskutiert.

23 Vgl. o.V. (1999).

24 Vgl. RABE et al. (2001).

25 Vgl. RABE et al. (2001), S. 5–116.

26 Vgl. RABE et al. (2001), S. 117–190.

27 HELLINGRATH et al. (2001) nennen als einen Hauptgrund für den defizitären Einsatz der Prozess-Simulation in KMU „Unsicherheiten im Unternehmen“; HELLINGRATH et al. (2001), S. 1. Diese entstehen aus Sicht von HELLINGRATH et al. (2001), S. 1, aus fehlendem Know-how über Prozess-Simulation. Daher vermittelt die Handlungsanleitung Grundwissen zur Prozess-Simulation, stellt Checklisten und Entscheidungshilfen sowie einen Leitfaden zur Durchführung von Simulationsstudien zur Verfügung.

SOMMER et al. (2004) beschäftigen sich mit der generellen Eignung der Prozess-Simulation für den Mittelstand²⁸. Die Autoren identifizieren unter anderem hohe Anschaffungskosten²⁹ für Simulationswerkzeuge als ein Hemmnis der KMU beim Einsatz der Prozess-Simulation. Des Weiteren halten SOMMER et al. (2004), S. 304, leicht zu bedienende Simulationswerkzeuge zur Unterstützung der KMU beim Einsatz der Prozess-Simulation für notwendig.

SCHNEIDER (2005) untersucht den Einsatz und das Potential der Prozess-Simulation in deutschen Unternehmen, wobei er auch an vielen Stellen auf KMU eingeht³⁰. Unter anderem fordert SCHNEIDER (2005), S. 7, dass die speziellen Erfordernisse von KMU an Simulationswerkzeuge erforscht sowie Standardprozesse entwickelt werden sollten.

28 Die Autoren verwenden in ihrem Artikel die Begriffe Mittelstand, mittelständische Unternehmen und KMU, wobei sie diese Begriffe als Synonyme zu verstehen scheinen; vgl. z.B. SOMMER et al. (2004), S. 303. Tatsächlich existieren zwischen den Begriffen Mittelstand und mittelständische Unternehmen einerseits sowie dem Begriff KMU andererseits quantitative Ähnlichkeiten – eine dezidierte Äquivalenz besteht jedoch nicht. Die Problematik wird in Kapitel 2.5 diskutiert.

29 Vgl. SOMMER et al. (2004), S. 304.

30 Vgl. SCHNEIDER (2005) z.B. S. 2, 5, 7, 14, 23 und 33.

Die Prozess-Simulation wird in einigen Publikationen als Teilbereich der Digitalen Fabrik untersucht:

- In der Breitenbefragung von BIRSCHENK et al. (2005) bezüglich der Digitalen Fabrik wird besonders auf die Ursachen des defizitären Einsatzes der Prozess-Simulation in kleinen und mittelständischen Unternehmen eingegangen³¹. BIRSCHENK et al. (2005), S. 25, identifizieren hohe Einführungskosten als größte Einstiegsbarriere. Des Weiteren weisen sie darauf hin, dass „kmU-taugliche Werkzeuge“³² fehlen³³.

31 BIRSCHENK et al. (2005) verwenden in ihrer Arbeit die Formulierung „kleine und mittelständische Unternehmen“, welche sie mit kmU abkürzen. Ob diese Abweichung in der Schreibweise von der EU-Definition von KMU (vgl. Fn. 13, S. 1) beabsichtigt ist, geht aus der Arbeit nicht hervor.

Definiert wird die Gruppe der kmU lediglich anhand der Mitarbeiterzahlen in den befragten Unternehmen. BIRSCHENK et al. (2005), S. 15, definieren Unternehmen von 1 bis 1000 Mitarbeitern als kmU, Unternehmen mit über 1000 Mitarbeitern als Großunternehmen. Der Jahresumsatz und die Jahresbilanzsumme der Unternehmen bleiben unberücksichtigt. Die Ergebnisse der Breitenbefragung werden von der Autorin der Dissertation genannt, werden aber im Folgenden kritisch hinterfragt. Der Grund für diese kritische Hinterfragung der Ergebnisse liegt, abgesehen von der ohnehin abweichenden Definition der kmU von den KMU, im Einbezug der Antworten von Großunternehmen durch BIRSCHENK et al. (2005) in die Ergebnisse der Breitenbefragung.

Nach Meinung von BIRSCHENK et al. (2005) sind die Antworten von Großunternehmen für die Ergebnisse der Breitenbefragung relevant, da in den Großunternehmen gezielt Fachabteilungen angeschrieben wurden, welche „eigenständig die Einführung solcher Technologien vorantreiben“; BIRSCHENK et al. (2005), S. 15. Die Antworten dieser Fachabteilungen seien aufgrund der niedrigen Mitarbeiteranzahl in den Fachabteilungen laut Interpretation von BIRSCHENK et al. (2005), S. 15, nicht Großunternehmen, sondern kmU zuzuordnen. Die Antworten der Großunternehmen werden in den Ergebnissen der Breitenbefragung nicht gesondert ausgewiesen.

Obwohl die Breitenbefragung durch ein wissenschaftsnahes Institut, nämlich das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, durchgeführt wurde, scheint die Arbeit nicht den Anspruch einer wissenschaftlichen Arbeit erheben zu wollen. Zu dieser Annahme gelangt die Autorin der Dissertation, weil die Arbeit zum einen als „Breitenbefragung“ und nicht als „wissenschaftliche Studie“ titulierte ist, zum anderen auch den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis, vgl. DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (2013), widerspricht. In der Erläuterung der Empfehlung 12 heißt es beispielsweise, dass Veröffentlichungen wissenschaftliche Ergebnisse „vollständig und nachvollziehbar beschreiben“ (DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (2013), S. 30) sollen. Da die Antworten der Großunternehmen in den Ergebnissen der Breitenbefragung nicht gesondert ausgewiesen werden, sind die Ergebnisse nach Meinung der Autorin der Dissertation eben *nicht* nachvollziehbar beschrieben. Des Weiteren fehlt beispielsweise das geforderte konsequente Anzweifeln der eigenen Ergebnisse, vgl. DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (2013), S. 15.

Vom wissenschaftlichen Standpunkt beurteilt die Autorin der Dissertation die Arbeit von BIRSCHENK et al. (2005) daher als unsauber. Da es sich bei der Arbeit jedoch offensichtlich *nicht* um eine wissenschaftliche Studie handeln soll und weil sich die Erkenntnisse, die die Autoren aus ihrer Breitenbefragung ziehen (vgl. den weiteren Verlauf des Absatzes im Text oben), mit den Erkenntnissen anderer Arbeiten, die sich ausschließlich mit der Prozess-Simulation in KMU befassen, decken (vgl. z.B. BÖS (2008), S. 410; SOMMER et al. (2004), S. 304), werden die Ergebnisse der Breitenbefragung in der Dissertation trotz der abweichenden Definition der kmU und des Einbezuges der Antworten von Großunternehmen verwendet.

Aus den Ausführungen dieser Fußnote ergibt sich konsequenterweise die kritische Frage, warum die Breitenbefragung von BIRSCHENK et al. (2005) unter Einbezug der Antworten der Fachabteilungen in Großunternehmen zu ähnlichen Erkenntnissen kommt wie andere Arbeiten, die sich mit der Prozess-Simulation ausschließlich in KMU befassen. Diese kritische Frage wird jedoch in der Dissertation nicht näher untersucht.

32 BIRSCHENK et al. (2005), S. 46. Die Tauglichkeit eines Simulationswerkzeugs für kmU wird von BIRSCHENK et al. (2005) auf die „Skalierbarkeit (relevanter Funktionsumfang und Größe)“ (BIRSCHENK et al. (2005), S. 46) des Simulationswerkzeugs bezogen.

33 Aus der Aussage folgert die Autorin der Dissertation, dass BIRSCHENK et al. (2005) die Bereitstellung eines solchen Simulationswerkzeugs für geeignet halten, KMU beim Einsatz der Digitalen Fabrik und damit auch beim Einsatz der Prozess-Simulation zu unterstützen.

- Bös (2008), S. 409, setzt sich im Rahmen der Digitalen Fabrik mit Methoden der Digitalen Fabrikplanung speziell für KMU auseinander³⁴. Er propagiert niedrige Anschaffungskosten für Simulationswerkzeuge³⁵, den Einsatz von Baukastensystemen³⁶ sowie die Vermeidung von Programmierarbeit durch den Anwender³⁷ als Maßnahmen zur Unterstützung von KMU beim Einsatz der Prozess-Simulation.
- DETTMERING et al. (2010) widmen sich in ihrem Fachbeitrag den Methoden und Instrumenten der Digitalen Fabrik für den Mittelstand³⁸. Sie heben die Notwendigkeit, speziell auf die Bedürfnisse von KMU einzugehen³⁹, hervor und schlagen unter anderem „vorkonfigurierte Lösungen“⁴⁰ und die „schnelle, preiswerte Implementierung“⁴¹ als Maßnahmen für die Unterstützung von KMU beim Einsatz der Prozess-Simulation vor.

Die wichtigsten Arbeiten des Bereichs 2, welcher den Einsatz der Prozess-Simulation mittels Baukastensystemen untersucht⁴², werden im Folgenden diskutiert.

Zunächst wird auf die Ausprägung 1 eingegangen, welche die von Seiten des Herstellers bereits im Simulationswerkzeug enthaltenen Baukastensysteme für Produktion und Logistik untersucht.

Als Basis für die Untersuchung dient die Auflistung von Simulationswerkzeugen im Beitrag von WENZEL (2009)⁴³. Die Untersuchung wurde von der Autorin der Dissertation im Zeitraum vom 06.02.2014 bis zum 15.02.2014 durchgeführt.

34 Bei Bös (2008) liegt die gleiche Problematik hinsichtlich der Begriffsdefinition KMU vor wie bei SOMMER et al. (2004) (vgl. Fn. 28, S. 4); vgl. z.B. Bös (2008), S. 409.

35 Vgl. Bös (2008), S. 410.

36 Vgl. Bös (2008), S. 411.

37 Vgl. Bös (2008), S. 412.

38 Bei DETTMERING et al. (2010) liegt die gleiche Problematik hinsichtlich der Begriffsdefinition KMU vor wie bei SOMMER et al. (2004) (vgl. Fn. 28, S. 4); vgl. z.B. DETTMERING et al. (2010), S. 491.

39 Vgl. DETTMERING et al. (2010), S. 490.

40 DETTMERING et al. (2010), S. 490.

41 DETTMERING et al. (2010), S. 490.

42 Vgl. Abbildung 1, S. 3.

43 Vgl. WENZEL (2009), S. 9. Auf die Untersuchung der beiden Rubriken „Simulationssprachen“ und „Allgemeine Programmiersprachen“ wurde verzichtet, da diese Rubriken keine Simulationswerkzeuge im Sinne der Dissertation enthalten.

Die folgende Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse im Einzelnen⁴⁴.

Simulationswerkzeug	Baukastensysteme enthalten		Simulationswerkzeug	Baukastensysteme enthalten	
	für Produktion und Logistik?	die konkret auf KMU ausgerichtet sind?		für Produktion und Logistik?	die konkret auf KMU ausgerichtet sind?
20-sim	nein	nein	ModelMaker	k.A.	k.A.
ARENA	ja	nein	PACE	nein	nein
AutoMod	ja	nein	PacSi	ja	nein
AutoShed AP	nein	nein	Plant Simulation	ja	nein
CASTOMAT-System	nein	nein	Powersim	nein	nein
COSA BPM	nein	nein	ProModel	ja	nein
COSIMIR	Vertrieb eingestellt		QUEST	ja	nein
d³ FACT insight	ja	nein	Show flow	ja	nein
DOSIMIS-3	ja	nein	SimAL	ja	nein
E-CONTROL	Unternehmen aufgelöst		SIMBAX	nein	nein
Enterprise Dynamics	ja	nein	SimCron Modeller	ja	nein
ESPE	k.A.	k.A.	Simflex/3D	k.A.	k.A.
FAD	Vertrieb eingestellt		SIMPLEX 3	ja	nein
FEMOS	k.A.	k.A.	SIMPRO Java Edition	Vertrieb eingestellt	
FLEXSIM	ja	nein	SyteAPS/AIM	Nachfolgeprodukt: nein	Nachfolgeprodukt: nein
iGrafx	ja	nein	TPS	nein	nein
ISSOP	nein	nein	UX-SIMU	Nachfolgeprodukt: nein	Nachfolgeprodukt: nein
MASSIMO	nein	nein	WAY	nein	nein
MOBILEIT-S	Vertrieb eingestellt		WITNESS	ja	nein

Tabelle 1: Untersuchung der Simulationswerkzeuge basierend auf WENZEL (2009), S. 9

Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist, sind in einigen Simulationswerkzeugen Baukastensysteme für Produktion und Logistik enthalten, jedoch ist keines dieser Baukastensysteme konkret auf KMU ausgerichtet.

⁴⁴ Die Namen der Simulationswerkzeuge wurden wörtlich aus WENZEL (2009), S. 9, übernommen. Der Wert „k.A.“ (keine Angabe) wird angegeben, wenn die Untersuchung der Autorin der Dissertation kein Ergebnis brachte und auch vom Anbieter des Simulationswerkzeugs keine Auskunft gegeben wurde. Die Informationen zu den Simulationswerkzeugen sowie die Quellen der Informationen sind in Tabelle 3, S. 11, angegeben.

Die folgenden Tabellen 2 und 3 zeigen die Informationen und Quellen zu den Simulationswerkzeugen⁴⁵.

Simulationswerkzeug	Kommentar	Vertrieb durch
20-sim	Spezialsoftware	Controllab Products B.V., Enschede, Niederlande
ARENA	--	ROCKWELL AUTOMATION, Wexford, USA
AutoMod	--	in Deutschland durch SimPlan AG, München
AutoShed AP	muss AutoSched AP heißen	in Deutschland durch SimPlan AG, München
CASTOMATSystem	Spezialsoftware	Siemens AG, München
COSA BPM	--	PASS BPM Solutions Deutschland GmbH, Köln
COSIMIR	Vertrieb eingestellt	ehemals TU Dortmund, Institut für Roboterforschung, Dortmund
d ³ FACT insight	--	Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn
DOSIMIS-3	--	SDZ GmbH, Dortmund
E-CONTROL	Unternehmen aufgelöst	ehemals VES Planungsgesellschaft für Transport- und Lagersysteme mbH, Dortmund
Enterprise Dynamics	--	INCONTROL Simulation Solutions, Utrecht, Niederlande; in Deutschland u.a. durch SimPlan AG, Maintal
ESPE	keine Reaktion	Universität Karlsruhe (TH), Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, Karlsruhe
FAD	Vertrieb eingestellt	ehemals SDZ GmbH, Dortmund
FEMOS	keine Reaktion	Universität Karlsruhe (TH), Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, Karlsruhe
FLEXSIM	--	FlexSim Deutschland, Ingenieurbüro für Simulationsdienstleistung Ralf Gruber, Kirchlingern
iGrafx	--	iGrafx GmbH, Karlsfeld
ISSOP	Spezialsoftware	DUALIS® GmbH IT Solution, Dresden
MASSIMO	Spezialsoftware	Zip Industrieplanung, München
MOBILEIT-S	Vertrieb eingestellt	ehemals Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme, Bochum
ModelMaker	keine Reaktion	ModelKinetix, Oxfordshire, Großbritannien
PACE	--	IBE Simulation Engineering GmbH, Glonn
PacSi	--	privates Forschungsinstitut IKA Institut für Konstruktionstechnik und Anlagegestaltung, Dresden
Plant Simulation	--	Siemens PLM Software, Köln
Powersim	--	Powersim Software AS, Nyborg, Norwegen
ProModel	--	GBU mbH, Stuttgart
QUEST	--	in Deutschland u.a. durch Delfoi GmbH, Mainz

⁴⁵ Der Wert „Spezialsoftware“ gibt an, dass es sich um kein Simulationswerkzeug im Sinne der Dissertation handelt (zur Definition von Simulationswerkzeugen vgl. Kapitel 2.2). Der Wert „Recherche auf eigener Webseite“ bedeutet, dass auf der Webseite, die in der Spalte „Internet“ angegeben ist, recherchiert wurde. Der Wert „Internet-Recherche“ drückt dagegen aus, dass im gesamten Internet über dieses Simulationswerkzeug recherchiert wurde.

Simulations- werkzeug	Kommentar	Vertrieb durch
Show flow	--	Webb Systems Limited, Großbritannien
SimAL	--	SDZ GmbH, Dortmund
SIMBAX	--	AICOS Technologies AG, Basel, Schweiz
SimCron Modeller	--	simcron GmbH, Dresden
Simflex/3D	nicht mehr auffindbar	ehemals Universität Kassel, Institut für Produktionstechnik und Logistik, Fachgebiet für Produktionssysteme, Kassel
SIMPLEX 3	--	Universität Passau, Lehrstuhl für Operations Research und Systemtheorie, Passau
SIMPRO Java Edition	Vertrieb eingestellt	ehemals SDZ GmbH, Dortmund
SyteAPS/AIM	Nachfolgeprodukt: InforSysteAPS; Spezialsoftware	Infor (Deutschland) GmbH, Friedrichsthal
TPS	Spezialsoftware	HaCon Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
UX-SIMU	Nachfolgeprodukt: SIMU; Spezialsoftware	IBS - Ingenieurbüro für Bahnbetriebssysteme GmbH, Hannover
WAY	--	Wassermann AG, München
WITNESS	--	in Deutschland durch Lanner Simulation Technology GmbH, Düsseldorf

Tabelle 2: Informationen und Quellen zur Untersuchung der Simulationswerkzeuge (Teil 1)

Simulations- werkzeug	Quelle Informationen	Internet
20-sim	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.20sim.com
ARENA	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.arenasimulation.com
AutoMod	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.automod.de
AutoShed AP	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.automod.de/autosched-h.html
CASTOMATSystem	Internet-Recherche am 06.02.2014; ALBERT (1999), S. 53	--
COSA BPM	Recherche auf eigener Webseite am 15.02.2014	www.cosa.de
COSIMIR	SCHWIEGELSHOHN (2014)	www.de.wikipedia.org/wiki/cosimir
d ³ FACT insight	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014; RENKEN (2014)	www.d3fact.de/
DOSIMIS-3	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.sdz.de
E-CONTROL	Internet-Recherche am 13.02.2014	--
Enterprise Dynamics	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.incontrol.nl
ESPE	--	www.ifab.kit.edu/
FAD	Bös (2014a)	www.sdz.de
FEMOS	--	www.ifab.kit.edu/
FLEXSIM	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.flexsim.de
iGrafx	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.igrafx.de
ISSOP	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.dualis-it.de/produkte/optimierung-issop
MASSIMO	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.fap.zip.de/web/de/features/simulationmassimov3
MOBILEIT-S	KREIMEIER (2014)	www.lps.ruhr-uni-bochum.de/arbeitsgruppen/management/mobileit-s
ModelMaker	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.modelkinetix.com/modelmaker/index.htm
PACE	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.ibepace.de/index.html
PacSi	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.ika-dresden.de
Plant Simulation	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.plm.automation.siemens.com/de_de/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml
Powersim	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.powersim.com

Simulations- werkzeug	Quelle Informationen	Internet
ProModel	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014	www.promodel.de
QUEST	Recherche auf eigener Webseite am 13.02.2014; FEIKE (2014a); FEIKE (2014b)	www.3ds.com/de/produkte-und-services/delmia/
Show flow	Recherche auf eigener Webseite am 06.02.2014	www.showflow.com/
SimAL	Recherche auf eigener Webseite am 06.02.2014	www.sdz.de
SIMBAX	Recherche auf eigener Webseite am 06.02.2014	www.aicos.com/Production-logistics/Simbax.html
SimCron Modeller	HAMPEL (2014a); HAMPEL (2014b)	www.simcron.de
Simflex/3D	Internet-Recherche am 06.02.2014	ehemals Prof. Reinhardt www.fps.maschinenbau.uni-kassel.de/de/forschung/sfx3d_entw.htm wurde 2006 übernommen www.uni-kassel.de/maschinenbau/institute/ipl/produktionstechnik-und-logistik-ipl/ehemalige-professoren.html
SIMPLEX 3	Recherche auf eigener Webpage am 13.02.2014; SCHMIDT (2000)	www.staff.fim.uni-passau.de/schmidtb/or/forschung/simplex.htm
SIMPRO Java Edition	BÖS (2014b)	www.sdz.de
SyteAPS/AIM	Recherche auf eigener Webseite am 15.02.2014	www.infor.de/product_summary/erp/sl/
TPS	Recherche auf eigener Webseite am 15.02.2014	www.hacon.de/hacon/index.shtml
UX-SIMU	Recherche auf eigener Webseite am 15.02.2014	www.simu.de/produkte/simulation/simu.htm
WAY	Recherche auf eigener Webseite am 15.02.2014	www.wassermann.de/scm-software/way-produktfamilie.html
WITNESS	Recherche auf eigenen Webse- iten am 15.02.2014	www.lanner.com www.lannersimtech.de

Tabelle 3: Informationen und Quellen zur Untersuchung der Simulationswerkzeuge (Teil 2)

Als nächstes wird auf die Ausprägung 2 eingegangen, welche die vom Anwender in einem Simulationswerkzeug neu erstellten Baukastensysteme für Produktion und Logistik untersucht.

Sehr ausführlich stellt ZELEWSKI (1995d) Bausteine eines komplexen Produktionssystems dar. Die vom Autor entwickelten Bausteine wurden als Petrinetze erstellt⁴⁶. In welchem Simulationswerkzeug die Bausteine implementiert wurden, wird in der Arbeit nicht genannt, eine Ausrichtung auf eine konkrete Unternehmensgröße wird ebenfalls nicht angegeben.

ZIMMERMANN (1997) entwickelt in seiner Dissertation eine auf Petrinetzen basierende Methode, die den Anwender beim Entwurf von Fertigungssystemen unterstützen soll. Im Rahmen der Dissertation gibt der Autor drei Beispiele für Bausteine, die als Petrinetze erstellt wurden⁴⁷. Implementiert wurden diese Bausteine in einer eigens entwickelten Erweiterung des Simulationswerkzeugs TimeNET⁴⁸. Eine konkrete Ausrichtung der Bausteine auf KMU wird nicht genannt.

KADACHI beschäftigt sich in seiner Dissertation⁴⁹ sowie in einem Forschungsbericht⁵⁰ mit dem Thema der simulationsgestützten Planung und Nutzung von Getränke-Abfüllanlagen und erstellt ein Baukastensystem, das auf dem Simulationswerkzeug eM-Plant⁵¹ basiert⁵². In der Einleitung des Forschungsberichtes sind Andeutungen auf KMU zu finden⁵³, eine konkrete Ausrichtung des erstellten Baukastensystems auf KMU ist jedoch in beiden Arbeiten nicht ersichtlich.

VOIGT (2004) untersucht in seiner Dissertation den Einsatz der IT in der Getränkeindustrie. Im Rahmen der Arbeit erstellt er ebenfalls Bausteine basierend auf dem Simulationswerkzeug eM-Plant⁵⁴. Eine Unterscheidung bezüglich der Unternehmensgröße innerhalb der Getränkeindustrie findet in der Arbeit keine Erwähnung, daher ist eine Ausrichtung der Bausteine auf eine konkrete Unternehmensgröße nicht ersichtlich.

46 Zur Definition des Begriffs Petrinetze vgl. Kapitel 2.4.2.

47 Der Autor entwickelt Bausteine für ein Förderband, eine einfache Maschine und eine Montagestation; vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 51–59.

48 Vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 131–138.

49 Vgl. KADACHI (2004).

50 Vgl. GÜNTNER (2001).

51 eM-Plant ist ein früherer Produktname des Simulationswerkzeugs „Plant Simulation“ des Unternehmens Siemens PLM Software, Köln.

52 KADACHI gibt nicht an, auf welchem Simulationswerkzeug das Baukastensystem basiert. Auf Nachfrage wurde der Autorin der Dissertation mitgeteilt, dass das Baukastensystem auf dem Simulationswerkzeug eM-Plant basiert; vgl. GÜNTNER (2011).

53 Vgl. GÜNTNER (2001), S. 5–6.

54 Vgl. VOIGT (2004), S. 10.

BADER (2005) entwickelt in seiner Dissertation ein Baukastensystem speziell für die Halbleiter- und Flachbildschirmfertigung. Das Baukastensystem basiert auf dem Simulationstool eM-Plant⁵⁵ und ist nicht auf eine konkrete Unternehmensgröße ausgerichtet.

HEINRICH et al. (2006) beschreiben in ihrer Arbeit den „VDA Automotive Bausteinkasten“, welcher in der Praxis erstellt wurde und in verschiedenen Unternehmen der Automobilindustrie Anwendung findet⁵⁶. Das Baukastensystem basiert auf dem Simulationstool Plant Simulation⁵⁷ und wird von der VDA Arbeitsgruppe Ablaufsimulation⁵⁸ gepflegt. Eine Aussage, auf welche Unternehmensgröße das Baukastensystem ausgerichtet ist, findet sich in der Arbeit nicht.

STEINHAEUER erstellte beim Unternehmen Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG den „Simulationsbausteinkasten für den Schiffsbau Simulation Toolkit Shipbuilding (STS)“⁵⁹. Dieser wird laut STEINHAEUER (2007), S. 4, mittlerweile von der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft zusammen mit Werften, Universitäten und maritimen Forschungszentren gepflegt, erweitert und genutzt. Auf Basis des STS wurden zwei weitere Baukastensysteme erstellt⁶⁰. Alle drei Baukastensysteme basieren auf dem Simulationstool eM-Plant. Eine Aussage bezüglich der Ausrichtung der Baukastensysteme auf eine konkrete Unternehmensgröße findet sich in keinem Fall.

Aus den beiden Bereichen 1 und 2 ergibt sich der Bereich 3 des Standes der Wissenschaft. Dieser Bereich 3 beschäftigt sich mit dem Einsatz der Prozess-Simulation mittels Baukastensystemen in KMU.

55 Vgl. BADER (2005), S. 95.

56 Vgl. CLAUSING et al. (2008), S. 24; MAYER et al. (2010), S. 35.

57 Plant Simulation ist der aktuelle Produktname des Simulationstools eM-Plant des Unternehmens Siemens PLM Software, Köln; vgl. auch Fn. 51, S. 12.

58 Die VDA-Arbeitsgruppe verfolgt das Ziel, die Umsetzung der Erkenntnisse aus der Wissenschaft in die betriebliche Praxis zu fördern; vgl. HEINRICH et al. (2006), S. 423.

59 STEINHAEUER (2006); STEINHAEUER (2007); STEINHAEUER (2008).

60 KÖNIG et al. (2007) erstellten ein Baukastensystem für den Trockenbau, SPIECKERMANN et al. (2010) ein Baukastensystem für Montage- und Logistikprozesse im Bauwesen.

Die folgende Abbildung 2 visualisiert den sich ergebenden Bereich 3 des Standes der Wissenschaft.



Abbildung 2: Sich ergebender Bereich 3 des Standes der Wissenschaft

Für den Bereich 3 des Standes der Wissenschaft ist nur wenig Literatur zu finden.

NOCHE (1998) beschreibt in seinem Beitrag Standardisierungsmöglichkeiten in der Prozess-Simulation⁶¹. Der Beitrag gibt Beispiele für den Einsatz von Ablauflogiken⁶² und nennt Modellierungshilfen⁶³ in der Prozess-Simulation. Weiterhin beschreibt der Autor zwei Anwendungsbeispiele, die aus Bausteinen in einem Simulationswerkzeug unter Anwendung der Ablauflogiken und der Modellierungshilfen erstellt werden. Im Bild 1 des Beitrages ist eine Parametermaske erkennbar, die aus dem Simulationswerkzeug DOSIMIS-3 stammt⁶⁴. Dies lässt die Hypothese zu, dass zum Zeitpunkt des Beitrages, also im Jahr 1998, in dem Simulationswerkzeug DOSIMIS-3 Baukastensysteme vorhanden waren, die speziell auf KMU ausgerichtet waren. Jedoch wurden im Jahr 2014 von Seiten des vertreibenden Unternehmens SDZ GmbH, Dortmund, für das Simulationswerkzeug DOSIMIS-3 keine Baukastensysteme (mehr) angeboten, die speziell auf KMU ausgerichtet sind⁶⁵. Die möglicherweise im Jahr 1998 vorhandenen speziellen KMU-Bausteine in DOSIMIS-3 sind daher für KMU aktuell nicht mehr nutzbar.

61 Im Abstract des Beitrages nennt der Autor konkret Bedürfnisse von KMU bezüglich Prozess-Simulation, im Beitrag selbst werden KMU jedoch an keiner Stelle explizit erwähnt.

62 Als Ablauflogiken nennt der Autor Operationsregeln, Steuerungsregeln, Dispositionsregeln und administrative Regeln; vgl. NOCHE (1998), S. 135–137.

63 Als Modellierungshilfen nennt der Autor Entscheidungstabellen und Petrinetze; vgl. NOCHE (1998), S. 137–138.

64 Vgl. NOCHE (1998), S. 139.

65 Vgl. Tabelle 1, S. 7, und Tabelle 3, S. 11.

In den 1990er und 2000er Jahren wurde vom Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK das „Referenzmodell Fertigungssysteme“ entwickelt⁶⁶. Dieses Referenzmodell enthielt Bausteine⁶⁷, die speziell für KMU erstellt wurden⁶⁸. Das Projekt wurde jedoch bereits vor längerer Zeit eingestellt und das Referenzmodell wird nicht mehr vertrieben⁶⁹. Daher können das „Referenzmodell Fertigungssysteme“ und die enthaltenen Bausteine von KMU aktuell nicht mehr genutzt werden.

Im Rahmen eines neueren, vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Projektes simKMU sollen Unternehmen beim Einsatz von Simulation⁷⁰ durch die Bereitstellung von Baukastensystemen, Beispielanwendungen und eines internetbasierten Simulationswerkzeugs⁷¹ unterstützt werden⁷². Das Projekt richtet sich speziell an KMU, daher sind die Baukastensysteme und das Simulationswerkzeug speziell auf KMU ausgerichtet⁷³. Die Baukastensysteme sind im zugehörigen Simulationswerkzeug SimWebApp zu finden, welches Mitte 2011 freigeschaltet werden sollte⁷⁴. Im Januar 2016 befand sich die Software nach wie vor im Pilotbetrieb⁷⁵. Daher sind die Baukastensysteme für KMU derzeit nicht nutzbar.

1.3 Wissenschaftliches Problem

Die Arbeiten des in Kapitel 1.2 genannten Bereichs 1 des Standes der Wissenschaft untersuchen den Einsatz der Prozess-Simulation in KMU, analysieren Ursachen für den defizitären Einsatz der Prozess-Simulation in KMU und nennen Ansätze zur Unterstützung der KMU beim Einsatz der Prozess-Simulation, ohne jedoch konkret Baukastensysteme als Instrumente zu erstellen.

66 Vgl. MERTINS et al. (1996); FRIEDLAND et al. (2000), S. 139; RABE et al. (2006).

67 Vgl. MERTINS et al. (1996), S. 99; FRIEDLAND et al. (2000), S. 139.

68 Vgl. MERTINS et al. (1996), S. 96; FRIEDLAND et al. (2000), S. 133.

69 Vgl. POSPISCHIL (2014).

70 Der Begriff *Simulation* wird in dem beschriebenen Projekt verwendet – die Abweichung von dem in der Dissertation sonst verwendeten Begriff Prozess-Simulation wird von der Autorin der Dissertation also bewusst gewählt. Das Projekt simKMU ist nicht ausschließlich auf Prozess-Simulation nach Definition der Autorin der Dissertation ausgerichtet, sondern beinhaltet diese Simulationsart als Teilbereich.

71 Im Rahmen des Projektes entstand das internetbasierte Simulationswerkzeug SimWebApp, welches durch das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA Stuttgart entwickelt wurde.

72 Vgl. o.V. (o.J.).

73 Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 401.

74 Vgl. FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT (2010).

75 Die aktuelle Version am 19.01.2016 war die Alpha-Version 0.4.28. Für Details zur Planung des Pilotbetriebs vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 489.

Die Arbeiten des in Kapitel 1.2 genannten Bereichs 2 des Standes der Wissenschaft erstellen zwar Baukastensysteme als Instrument zur Unterstützung der Unternehmen beim Einsatz der Prozess-Simulation, die konkrete Ausrichtung der Baukastensysteme auf KMU fehlt jedoch. Vielmehr sollen diese Baukastensysteme mutmaßlich für alle Unternehmensgrößen nutzbar sein⁷⁶. Dies ist aus Sicht der Autorin der Dissertation jedoch problematisch, da KMU sich im Hinblick auf die Prozess-Simulation in den folgenden zwei Punkten gravierend von Großunternehmen unterscheiden:

- Zum einen unterscheidet sich die Mitarbeiterstruktur von KMU von der von Großunternehmen; Informatiker oder gar zentrale IT-Abteilungen sind bei KMU eher selten zu finden⁷⁷. Dies führt zum Fehlen von Instanzen, die Simulations-Know-how leicht aufbauen und halten können. NOCHE (1998), S. 134, fordert daher, Programmierarbeit für den Anwender in KMU grundsätzlich zu vermeiden. Weiterhin nennen SOMMER et al. (2004), S. 304, als Erfordernis an ein Simulationswerkzeug für KMU einfache Handhabbarkeit und niedrigen Schulungsbedarf⁷⁸ zum Einsatz des Simulationswerkzeugs. Diese beiden Umstände erfordern eine KMU-gerechte Ausgestaltung der Bausteine für das Baukastensystem.
- Zum anderen ist in KMU der Bereich Produktion und Logistik im Gegensatz zu Großunternehmen nicht von Großserien- und Fließfertigung, sondern von Kleinserien- und Werkstattfertigung geprägt⁷⁹. Dieser Umstand erfordert eine abweichende Auswahl der Bausteine für das Baukastensystem⁸⁰.

Aus diesen beiden Punkten leitet die Autorin der Dissertation als erstes spezielles Erfordernis die KMU-gerechte Auswahl und Ausgestaltung der Bausteine für das Baukastensystem ab.

76 Diesen Rückschluss zieht die Autorin der Dissertation daraus, dass die vertreibenden Unternehmen nicht definieren, dass die in den Simulationswerkzeugen enthaltenen Baukastensysteme für eine bestimmte Unternehmensgröße gedacht sind.

77 Vgl. NOCHE (1998), S. 134; SCHNEIDER (2005), S. 39.

78 Hinsichtlich des niedrigen Schulungsbedarfs mag an dieser Stelle Kritik bezogen auf die Ausführungen in Fn. 83, S. 17, erhoben werden. Jedoch bezieht sich die Fn. 83 explizit auf *Schulungskosten*, wohingegen SOMMER et al. (2004) von *Schulungsbedarf* spricht. Dies sind aus Sicht der Autorin der Dissertation unterschiedliche Aspekte, da Schulungskosten zwar durch Schulungsbedarf verursacht werden, die tatsächlichen Kosten für Schulung wissenschaftlich jedoch nur schwer bewertet werden können (vgl. die Ausführungen der Fn. 83).

79 Vgl. KUHN et al. (1998), S. 116.

80 In der Großserien- und Fließfertigung werden beispielsweise die Mitarbeiter einer Fertigung in ihrer Arbeitsweise eher von den Maschinen dominiert. Das heißt, die Fertigungsmaschinen geben den Arbeitstakt an, die Mitarbeiter richten sich danach. In Kleinserien- und Werkstattfertigung werden dagegen eher der Maschinen von den Mitarbeitern dominiert. Das heißt, die Werkstücke werden erst auf der betreffenden Maschine weiterbearbeitet, wenn ein Mitarbeiter die Maschine bedient. In diesem Fall geben die Mitarbeiter den Arbeitstakt an. Vgl. auch INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG IAW, INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT MANNHEIM IFM (2007), S. 11.

Die in der Ausprägung 2 des Bereichs 2 vorgestellten, von Anwendern erstellten Baukastensysteme basieren fast ausschließlich⁸¹ auf dem Simulationswerkzeug Plant Simulation oder dessen Vorgänger eM-Plant⁸². Eine Vollversion dieses Simulationswerkzeugs hat reine Anschaffungskosten⁸³ in Höhe von ca. 40 TEUR⁸⁴ netto. Die Autorin der Dissertation erachtet diese Anschaffungskosten als hoch⁸⁵. In verschiedenen Arbeiten, die in Kapitel 1.2 angeführt wurden, werden hohe Anschaffungskosten für Simulationswerkzeuge jedoch als Hemmnis für den Einsatz der Prozess-Simulation in KMU identifiziert⁸⁶.

Als zweites spezielles Erfordernis werden daher niedrige Anschaffungskosten für das Simulationswerkzeug, auf dem das Baukastensystem basiert, abgeleitet.

Die drei Arbeiten des in Kapitel 1.2 genannten Bereichs 3 des Standes der Wissenschaft erstellen zwar Baukastensysteme speziell für KMU als Instrumente zur Unterstützung der KMU beim Einsatz der Prozess-Simulation, die Baukastensysteme sind jedoch für die KMU derzeit nicht nutzbar.

81 Einzig das Baukastensystem in ZIMMERMANN (1997) basiert auf einer vom Autor selbst entwickelten Erweiterung des Simulationswerkzeugs TimeNET.

82 Ohne das Simulationswerkzeug, in dem die Baukastensysteme erstellt wurden, sind die Baukastensysteme nicht nutzbar, vgl. Kapitel 2.3.

83 Als Anschaffungskosten werden die Kosten für die Anschaffung einer Einzelplatz-Lizenz des Simulationswerkzeugs definiert.

Neben den Anschaffungskosten entstehen bei der Einführung eines Simulationswerkzeugs in einem Unternehmen in der Regel zusätzlich Implementierungs- sowie Schulungskosten. Diese Kosten setzen sich jeweils aus Sachkosten und Kosten für aufgewendete Arbeitszeit der Mitarbeiter zusammen. Die tatsächlichen Kosten für Implementierung und Schulung sind nach Meinung der Autorin der Dissertation monetär nur schwer zu bewerten, da sie von individuellen Faktoren der beteiligten Instanzen abhängen.

So hängen die Kosten der Implementierung stark von der vorhandenen Hard- und Software im Unternehmen sowie von den persönlichen Fähigkeiten des implementierenden Mitarbeiters ab.

Die Kosten für Schulungen hängen von Kurskosten und zeitlicher Dauer der Kurse ab. Auch hier tritt das Problem der individuellen Faktoren auf. Da die Simulationswerkzeuge unterschiedlich aufgebaut sind und unterschiedliche Funktionsumfänge beinhalten, variieren auch Kurskosten und zeitliche Dauer der Schulungen. Die Autorin der Dissertation kann nicht beurteilen, wie viele Tage Schulung für die Nutzung der unterschiedlichen Simulationswerkzeuge in KMU tatsächlich nötig sind.

Da die Implementierungs- und Schulungskosten der Simulationswerkzeuge monetär nicht eindeutig bewertet werden können, werden sie in der Dissertation nicht berücksichtigt. Als Anschaffungskosten werden in der Dissertation die reinen Anschaffungskosten einer Einzelplatz-Lizenz der Software ohne Umsatzsteuer (netto) und ohne Versandkosten definiert.

84 TEN HOMPEL et al. (2007), S. 28, geben die Kosten mit ca. 45 TEUR für eine Voll-Lizenz an. Es ist in der Quelle nicht ersichtlich, ob diese Kosten brutto oder netto ausgewiesen sind. Laut telefonischer Auskunft des vertreibenden Unternehmens des Simulationswerkzeugs (der Auskunftgeber möchte nicht genannt werden) vom 04.11.2011 liegen die Kosten für eine Einzelplatz-Lizenz der Professional-Version des Simulationswerkzeugs Plant Simulation bei ca. 40 TEUR netto; vgl. o.V. (2011).

85 Die Autorin der Dissertation geht davon aus, dass 40 TEUR netto für ein KMU hohe Anschaffungskosten für ein Simulationswerkzeug darstellen. Nach Meinung der Autorin der Dissertation, welche sich auf jahrelange berufliche Erfahrungswerte in KMU stützt, liegt die Grenze, bei der ein KMU die Anschaffung eines Simulationswerkzeugs noch in Erwägung ziehen würde, bei etwa 5 TEUR.

86 Vgl. die Arbeiten von SOMMER et al. (2004) auf S. 4 der Dissertation; BIRSCHENK et al. (2005) auf S. 5 der Dissertation sowie BÖS (2008) auf S. 6 der Dissertation.

Da die vorhandenen, derzeit nutzbaren Baukastensysteme die beiden Erfordernisse 1 und 2 nicht erfüllen, ergibt sich das wissenschaftliche Problem⁸⁷, dass diese Baukastensysteme KMU beim Einsatz der Prozess-Simulation nicht ausreichend unterstützen.

Die Existenz eines solchen Baukastensystems ist jedoch betriebswirtschaftlich wünschenswert, wie auf S. 2 der Dissertation erläutert wurde. Zur Behebung des wissenschaftliche Problems wird in der Dissertation ein solches Baukastensystem für KMU erstellt.

1.4 Intendiertes wissenschaftliches Ergebnis

In Kapitel 1.1 wurde das Realproblem aufgezeigt, dass ein Instrument fehlt, das KMU mit ihren speziellen Erfordernissen beim Einsatz der Prozess-Simulation unterstützt. Weiterhin wurde die Einschränkung auf das Instrument der Baukastensysteme getroffen.

In Kapitel 1.3 wurde als wissenschaftliches Problem präzisiert, dass ein Baukastensystem in einem Simulationswerkzeug fehlt, welcher auf die speziellen Erfordernisse von KMU zugeschnitten ist. Als spezielle Erfordernisse wurden die KMU-gerechte Auswahl und Ausgestaltung der Bausteine für das Baukastensystem sowie niedrige Anschaffungskosten für das Simulationswerkzeug genannt.

Das intendierte wissenschaftliche Ergebnis der Dissertation ist folglich ein Baukastensystem, welches auf die speziellen Erfordernisse der KMU zugeschnitten ist und in einem Simulationswerkzeug mit niedrigen Anschaffungskosten erstellt wird.

Um das Erfordernis 1 zu erfüllen, werden die Bausteine für das Baukastensystem KMU-gerecht ausgewählt und ausgestaltet. Dafür wird eine Zusammenarbeit mit KMU angestrebt, da dies die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass das Baukastensystem später in der Praxis von KMU tatsächlich angewendet wird.

Um das Erfordernis 2 zu erfüllen, wird das Baukastensystem in einem Simulationswerkzeug mit niedrigen Anschaffungskosten erstellt. Weiterhin wird ein Simulationswerkzeug gewählt, welches mit Petrinetzen arbeitet⁸⁸.

87 Es besteht ein Erkenntnisproblem, welches sich im Erfordernis 1 widerspiegelt, sowie ein Implementierungsproblem, welches sich im Erfordernis 2 widerspiegelt.

88 Die Eignung der Petrinetze für den Laien wird in Kapitel 2.4.4 diskutiert.

1.5 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 1 wird zunächst eine Einführung in die Prozess-Simulation in KMU gegeben und der Stand der Wissenschaft in diesem Bereich erläutert. Aus dem Stand der Wissenschaft wird das wissenschaftliche Problem abgeleitet und das intendierte wissenschaftliche Ergebnis der Dissertation aufgezeigt.

In Kapitel 2 werden die grundlegenden Begriffe der Dissertation definiert sowie die Eignung des Petrinetz-Konzepts für den Laien diskutiert.

In Kapitel 3 wird das Baukastensystem entwickelt. Dazu wird das Kapitel 3 in drei Phasen unterteilt.

In der ersten Phase, der Auswahl, werden zunächst die Netzklasse, das Simulationswerkzeug, der Wirtschaftszweig und die Unternehmen, mit denen zusammengearbeitet werden soll, ausgewählt. Anschließend werden die Anforderungen aus der Praxis der KMU sowie die Anforderungen aus der Fachliteratur zum Einsatz der Prozess-Simulation in KMU erarbeitet und diese in einem Anforderungskatalog zusammengefasst.

In der zweiten Phase, der Analyse, wird die Fachliteratur zu Baukastensystemen analysiert und die zu übertragenden Merkmale werden im Katalog der zu übertragenden Merkmale festgehalten.

In der dritten Phase, der Realisierung, wird schließlich das Baukastensystem mit Hilfe einer Methode, welche Prinzipien beinhaltet, unter Berücksichtigung des Anforderungskatalogs und des Katalogs der zu übertragenden Merkmale realisiert.

In Kapitel 4 wird eine Fallstudie erstellt, die die praktische Anwendung des Baukastensystems zeigt. Anschließend wird untersucht, ob das Baukastensystem die Anforderungen erfüllt, ob die Merkmale übertragen wurden und ob die Prinzipien der Methode eingehalten wurden.

Kapitel 5 bietet schließlich das Fazit mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse, einer kritischen Betrachtung und einem Ausblick.

2 Grundlagen

2.1 Prozess-Simulation

Bei der Prozess-Simulation handelt es sich um eine Ausprägung der Simulation⁸⁹. Mit Hilfe der Prozess-Simulation wird ein realer Prozess⁹⁰ unter Berücksichtigung der Zeit nachgebildet⁹¹, in aller Regel mittels eines Simulationswerkzeugs⁹² auf dem Computer. Dieser nachgebildete Prozess kann anschließend unabhängig von dem realen Prozess untersucht werden. Bei neuen Prozessen kann diese Untersuchung bereits vor der Implementierung des realen Prozesses durchgeführt werden, so können beispielsweise Engpässe erkannt oder Auswirkungen von Störungen untersucht werden. Bei bestehenden Prozessen bietet die Prozess-Simulation den Vorteil, dass der reale Prozess für die Untersuchung nicht unterbrochen werden muss; es können beispielsweise geplante Maßnahmen zur Verkürzung von Durchlaufzeiten mittels der Prozess-Simulation analysiert werden. Die Erkenntnisse der Untersuchungen können anschließend auf den realen Prozess übertragen werden.

Als Prozess-Simulation wird in der Dissertation die ereignisdiskrete Simulation⁹³ (Discrete Event Simulation, DES) von Prozessen definiert. Bei der DES verändern sich die Zustandsvariablen eines Prozesses zu einzelnen, voneinander abgrenzbaren Zeitpunkten⁹⁴. Die Prozess-Simulation grenzt sich damit von der kontinuierlichen Simulation ab, bei der sich die Zustandsvariablen kontinuierlich über die Zeit verändern⁹⁵.

Anwendung findet die Prozess-Simulation heute in der Industrie, wo sie Unternehmen unterstützen kann, ihre logistischen Zielgrößen zu verbessern⁹⁶.

89 Simulation kann allgemein definiert werden als die Nachbildung eines realen Prozesses oder Systems über die Zeit; vgl. BANKS et al. (2014), S. 1. Die Ausprägungen der Simulation sind vielfältig; einige Beispiele sind die Simulation von Flüssigkeiten in der Strömungsmechanik, Flugsimulatoren zur Ausbildung von Piloten oder die Simulation meteorologischer Modelle zur Erstellung einer Wettervorhersage.

90 Als Prozess kann eine Folge von Aktivitäten verstanden werden, die zu einem Ergebnis führt; vgl. ARNDT (2015), S. 37.

91 Vgl. BANKS et al. (2014), S. 1.

92 Der Begriff Simulationswerkzeug wird in Kapitel 2.2 erläutert.

93 Die ereignisdiskrete Simulation wird in der Fachliteratur zur Prozess-Simulation auch als ereignisorientierten Simulation (vgl. HEDTSTÜCK (2013), S. 22), Materialflusssimulation (vgl. WENZEL (2009), S. 13) oder Ablaufsimulation (vgl. SCHULZ et al. (2007), S. 33; WENZEL (2009), S. 13) bezeichnet.

94 Die jeweiligen Zeitpunkte werden durch Ereignisse (Events) verursacht; vgl. LIEBL (1992), S. 9; HEDTSTÜCK (2013), S. 4.

95 Vgl. LIEBL (1992), S. 9.

96 Die logistischen Zielgrößen werden in Kapitel 2.6 erläutert.

2.2 Simulationswerkzeuge

Bei einem Simulationswerkzeug handelt es sich um ein spezielles Softwarewerkzeug. Es wird im Rahmen der Prozess-Simulation zur Nachbildung eines realen Prozesses unter Berücksichtigung der Zeit auf dem Computer verwendet⁹⁷.

In der Dissertation wird ein Simulationswerkzeug definiert als ein Softwarewerkzeug, welches speziell für die Simulation von Prozessen auf dem Computer entwickelt wurde. Ein Simulationswerkzeug ermöglicht dem Anwender zum einen die Erstellung eines Simulationsmodells⁹⁸, zum anderen das Ausführen des so erstellten Simulationsmodells⁹⁹.

Für den Begriff Simulationswerkzeuge¹⁰⁰ werden in der deutschsprachigen Fachliteratur zur Prozess-Simulation verschiedene Synonyme verwendet. So werden sie beispielsweise von KUHN et al. (1998), S. 116, und BADER (2005), S. 32, als Simulationssysteme bezeichnet. KÖNIG et al. (2007), S. 22, und GRAF et al. (2008), S. 31, verwenden den Begriff Simulationssoftware.

2.3 Bausteine und Baukastensysteme

Einige Simulationswerkzeuge nutzen das Konzept der Bausteine¹⁰¹. Besonders in Produktion und Logistik sind Simulationswerkzeuge verbreitet, die mit Bausteinen arbeiten¹⁰². Auch im Bereich der Petrinetze¹⁰³ wurde das Konzept der Bausteine bereits aufgegriffen¹⁰⁴.

97 Vgl. auch Kapitel 2.1.

98 Als Simulationsmodell wird in der Dissertation der nachgebildete Prozess auf dem Computer bezeichnet.

99 Von MÖHRLE (1989), S. 13, werden diese beiden Schritte als Modellerstellung und Modellnutzung bezeichnet. Diese beiden Begriffe werden in der Dissertation übernommen.

100 Der Begriff Simulationswerkzeuge wird beispielsweise verwendet von HEINRICH et al. (2006), S. 425; WENZEL et al. (2008), S. 7; BARTSCH (2010), S. 237.

101 Vgl. NOCHE et al. (1993), S. 270–272.

102 Vgl. KADACHI (2004), S. 42. Der Autor stellt sogar die Behauptung auf, dass in diesem Bereich ausschließlich Simulationswerkzeuge eingesetzt würden, welche mit Baukastensystemen arbeiten – Belege für diese Aussage liefert der Autor jedoch nicht. Die Autorin der Dissertation interpretiert aus dieser Aussage trotzdem eine hohe Verbreitung der Baukastensysteme in Produktion und Logistik.

103 Petrinetze werden ausführlich in Kapitel 2.4 erläutert.

104 Vgl. FEHLING (1992), S. 125–160.

Bausteine sind nur in dem Simulationswerkzeug nutzbar, in dem sie erstellt wurden¹⁰⁵. In der Dissertation wird daher der Begriff festgelegt, dass ein Baustein auf einem Simulationswerkzeug *basiert*.

Bausteine werden von NOCHE et al. (1993), S. 270, definiert als in sich abgeschlossene Elemente, welche in einem Simulationswerkzeug mehrfach kombinierbar sind, deren Zustände und Zustandsübergänge fest definiert sind und die Parametermasken für die Eingabe von Daten besitzen. WIRTH et al. (1974) zitiert durch MÜLLER et al. (2007), S. 26, definieren Bausteine als funktionell abgrenzbare Elemente mit definiertem Inhalt und Umfang, wobei die Bausteine unter Beachtung von Regeln kombinierbar sind. FEHLING (1992), S. 125, hält seine Definition allgemeiner und bezeichnet Bausteine als Elemente, welche in der Entwicklung abgeschlossen sind, eine Bezeichnung tragen, über welche sie adressiert werden können, und die zur Modellierung eines „größeren Ganzen“¹⁰⁶ eingesetzt werden können.

*Bausteine werden in der Dissertation definiert als funktionell abgrenzbare Elemente mit definiertem Inhalt und Umfang, wobei die Bausteine unter Beachtung von Regeln kombinierbar sind*¹⁰⁷.

Eine Sammlung mehrere solcher Bausteine wird in der Dissertation als Baukastensystem bezeichnet.

105 Diese Aussage unterstellt, dass eine Austauschbarkeit von Bausteinen zwischen unterschiedlichen Simulationswerkzeugen nicht möglich ist. Diese Unterstellung wird im Folgenden diskutiert.

Im Bereich der Simulationswerkzeuge existieren Ansätze zum Austausch von Dateien zwischen unterschiedlichen Simulationswerkzeugen, beispielsweise anhand der Umwandlung der Dateien in die Formate simulation data exchange (sdx) und Core Manufacturing Simulation Data (CMSD); vgl. BERGMANN et al. (2010); STRASSBURGER et al. (2010), S. 41–42. Im Bereich der Simulationswerkzeuge, welche mit Petrinetzen arbeiten (vgl. Kapitel 3.3.3), existiert mit der Petri Net Markup Language (PNML) ein weitere Ansatz zur Austauschbarkeit von Dateien; vgl. HILLAH et al. (2009).

Ob sich diese Austauschbarkeit von Dateien auch auf die Austauschbarkeit von Bausteinen zwischen unterschiedlichen Simulationswerkzeugen übertragen lässt bliebe zu prüfen, wird aber in der Dissertation nicht näher betrachtet. Die Autorin der Dissertation geht jedoch davon aus, dass eine solche Austauschbarkeit nicht gegeben ist. Dies hat zwei Gründe. Zum einen müssen sich Bausteine stets an der Software-Architektur des Simulationswerkzeugs, in dem sie erstellt wurden, orientieren. Es ist kaum zu erwarten, dass die Software-Architektur unterschiedlicher Simulationswerkzeuge so ähnlich ist, dass sich Bausteine problemlos zwischen den Simulationswerkzeugen übertragen lassen. Zum anderen schätzt die Autorin der Dissertation das Interesse der Hersteller der Simulationswerkzeuge an der Austauschbarkeit der Bausteine als gering ein, da die Hersteller damit die Bindung ihrer Kunden an das eigene Simulationswerkzeug verlieren würden. Auch dies spricht gegen eine Austauschbarkeit von Bausteinen zwischen unterschiedlichen Simulationswerkzeugen.

Wäre ein solcher Austausch von Bausteinen zwischen unterschiedlichen Simulationswerkzeugen jedoch möglich, wäre die Nutzung von Bausteinen in einem anderen als in dem Simulationswerkzeug, in dem sie erstellt wurden, unter Umständen ebenfalls möglich, was die Aussage von oben widerlegen würde.

106 FEHLING (1992), S. 125.

107 Die Definition wird von WIRTH et al. (1974) zitiert durch MÜLLER et al. (2007), S. 26, übernommen.

Bausteine¹⁰⁸ und Baukastensysteme¹⁰⁹ werden in der analysierten Fachliteratur zur Prozess-Simulation mit verschiedenen Synonymen benannt. So bezeichnet beispielsweise MÖHRLE (1989), S. 89, die Bausteine als Makros. ZIMMERMANN (1997), S. 51, bezeichnet Bausteine als Bibliotheksmodule und das Baukastensystem als Bibliothek. NOCHE (1997), S. 435, bezeichnet Baukastensysteme ebenfalls als Bibliotheken. Andere Autoren dagegen bezeichnen das Baukastensystem als Bausteinkasten¹¹⁰. HEINRICH et al. (2006), S. 427, bezeichnen den VDA Automotive Bausteinkasten im gleichen Artikel auch als Bausteinbibliothek.

Aus der Verwendung von Baukastensystemen ergeben sich einige Vorteile, allerdings können sich auch Probleme ergeben.

Als Vorteile nennen verschiedene Autoren den reduzierten Zeitaufwand bei der Modellerstellung¹¹¹. NOCHE (1997), S. 435, sieht die in Simulationswerkzeugen enthaltenen Baukastensysteme sogar als eine Voraussetzung zur „effizienten Nutzung“¹¹² der Prozess-Simulation. Weitere genannte Vorteile, die sich durch die Verwendung von Baukastensystemen bei der Modellerstellung ergeben, sind die Vermeidung von Programmieraufwand¹¹³ sowie die Reduzierung der Fehleranfälligkeit¹¹⁴.

Allerdings stoßen die Vorteile, die sich durch die Verwendung von Baukastensystemen ergeben, auch an ihre Grenzen. So ist es nicht selbstverständlich, dass die vorhandenen Baukastensysteme in Simulationswerkzeugen fehlerfreie Bausteine enthalten¹¹⁵. Problematisch wird es zudem, wenn die vorhandenen Bausteine in einem Simulationswerkzeug für die Modellerstellung nicht ausreichen¹¹⁶. In beiden Fällen wird Programmieraufwand durch den Anwender nötig, was dem oben genannten Vorteil der Vermeidung von Programmieraufwand entgegenwirkt.

108 Der Begriff Bausteine wird beispielsweise verwendet von WIRTH et al. (1974) zitiert durch MÜLLER et al. (2007), S. 26; NOCHE et al. (1993), S. 270–272; KADACHI (2004), S. 47; ZSIFKOVITS et al. (2007), S. 65; MOTTA et al. (2008), S. 23; WENZEL et al. (2008), S. 4.

109 Der Begriff Baukastensystem wird beispielsweise verwendet von WIRTH et al. (1974) zitiert durch MÜLLER et al. (2007), S. 26.

110 Vgl. beispielsweise FRIEDLAND et al. (2000), S. 133; STEINHAUER (2007), S. 4; TEN HOMPEL et al. (2007), S. 2.

111 Die einzelnen Quellen werden in Fn. 20, S. 2, genannt.

112 NOCHE (1997), S. 435.

113 Vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 23.

114 Vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 51. Der Autor bezieht diese Aussage insbesondere auf große Simulationsmodelle.

115 Vgl. SPIECKERMANN (2005), S. 9.

116 Vgl. SCHMIDT (1988), S. 18–19.

2.4 Petrinetze

2.4.1 Allgemeines

Petrinetze sind in der Informatik beheimatet¹¹⁷. Sie gehen auf CARL ADAM PETRI zurück und wurden in ihrer ursprünglichen Form 1962 in seiner Dissertation¹¹⁸ vorgestellt. Diese ursprüngliche Form der Petrinetze wurde in den vergangenen 50 Jahren stetig weiterentwickelt und heute finden die Petrinetze eine breite Anwendung in Wissenschaft und Praxis¹¹⁹.

Eine in der analysierten Fachliteratur zu Petrinetzen häufig genannte Definition lautet, dass Petrinetze verwendet werden, um verteilte oder nebenläufige Systeme darzustellen¹²⁰. Ein verteiltes System bezeichnet eine Sammlung unabhängiger Komponenten, welche dem Anwender jedoch als zusammenhängendes System erscheinen¹²¹. Diese Komponenten kommunizieren untereinander¹²². Nebenläufig wird ein System genannt, wenn Prozesse darin gleichzeitig ausgeführt werden können¹²³.

117 Vgl. REISIG (2010), S. 1.

118 Vgl. PETRI (1962). Diese ursprüngliche Version der Petrinetze beinhaltet jedoch – im Gegensatz zu den heute gebräuchlichen Petrinetzen – noch keine graphischen Elemente; vgl. REISIG (2010), S. 2. Zur Diskussion der ursprünglichen Version der Petrinetze vgl. ZELEWSKI (1987), S. 6–8.

119 Die Entwicklung hin zu den heute gebräuchlichen Petrinetzen wird ausführlich in ZELEWSKI (1987), S. 22–25, beschrieben. Als Informationsquelle für die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Petrinetze sei auf die Internetseite der Petri Nets World (vgl. PETRI NETS WORLD (o.J.b)) sowie den zweimal jährlich erscheinenden Petri Net Newsletter (vgl. z.B. GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V. (2014)) verwiesen.

Einen Überblick über Theorie und Anwendungen der Petrinetze bietet ferner jährlich die Petrinetz-Konferenz, vgl. z.B. CIARDO et al. (2014); DEVILLERS et al. (2015).

120 Vgl. DESEL et al. (1996), S. 359; ZIMMERMANN (1997), S. 2; ZAPF et al. (2000), S. 36; WEBER (2002), S. 1; SARSHAR et al. (2005), S. 205.

121 Der Begriff der verteilten Systeme entstammt der Informatik und bezeichnet dort im engeren Sinne eine Sammlung unabhängiger Computer, welche dem Anwender jedoch als zusammenhängendes System erscheinen; vgl. TANENBAUM et al. (2014), S. 2.

122 Vgl. VOGT (2004), S. 403.

123 Vgl. VOGT (2004), S. 163.

Um zu klären, was ein Petrinetz ist, soll zunächst darauf hingewiesen werden, dass der Begriff Petrinetz in der analysierten Fachliteratur zu Petrinetzen in unterschiedlichen Bedeutungen¹²⁴ verwendet wird¹²⁵. Um in der Dissertation Klarheit im Bezug auf den Begriff Petrinetz zu erlangen, werden im Kapitel 2.4.2 zunächst für die verschiedenen Aspekte der Petrinetze eigene Begriffe definiert¹²⁶. Diese Definitionen werden anhand der Bedingungs/Ereignis-Netze¹²⁷ erläutert.

Die folgende Abbildung 3 zeigt eine Übersicht über die definierten Begriffe bezüglich der Aspekte der Petrinetze in der Dissertation.

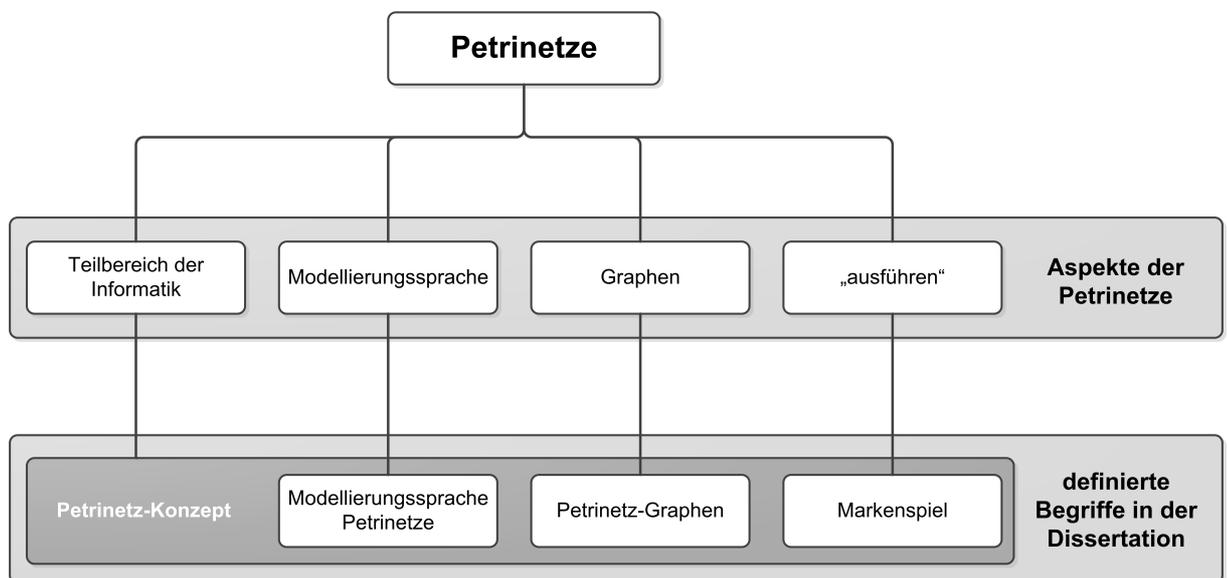


Abbildung 3: Übersicht über die definierten Begriffe bezüglich der Aspekte der Petrinetze

124 Diese unterschiedlichen Bedeutungen werden im Folgenden als Aspekte von Petrinetzen bezeichnet, vgl. auch Fn. 126, S. 25.

125 Diese Problematik ist in der Fachliteratur zu Petrinetzen immer wieder anzutreffen. Stellvertretend soll die Problematik im Folgenden an lediglich zwei ausgewählten Werken belegt werden.

Das Fachbuch REISIG (2010) beschäftigt sich mit den Petrinetzen als Teilbereich der Informatik. Auf S. 3 des Fachbuchs werden Petrinetze dann als Modellierungstechnik bezeichnet, auf S. 9 werden die Graphen ebenfalls als Petrinetze bezeichnet.

Das Fachbuch VAN DER AALST et al. (2011) bezeichnet auf S. 65 Petrinetze als Modellierungstechnik, auf S. 66 wird der Graph ebenfalls als Petrinetz bezeichnet.

126 DESEL et al. (2001), S. 1–25, verweist in seinem Beitrag auf verschiedene Aspekte von Petrinetzen. Er nennt als Aspekte die graphische Notation, die präzise mathematische Sprache, den strukturierten Satz von Aktivitäten welcher Marken abzieht und erzeugt, die kompakte Art und Weise um Verhalten zu beschreiben, den Formalismus der mit Analysemethoden ausgestattet ist sowie das Modell eines verteilten Systems. Die definierten Begriffe in der Dissertation in Bezug auf Petrinetze lehnen sich an diese von DESEL et al. (2001) genannten Aspekte an.

127 Der Netztyp Bedingungs/Ereignis-Netze wird in Kapitel 2.4.3.2 erläutert.

2.4.2 Definitionen

2.4.2.1 Petrinetz-Konzept

Petrinetze sind ein Teilbereich der Informatik. Dieser Aspekt der Petrinetze wird in der Dissertation als Petrinetz-Konzept definiert.

Das Petrinetz-Konzept basiert auf einer mathematisch fundierten Definition¹²⁸, welche die Anwendung von Analyse-Methoden¹²⁹ für Petrinetz-Graphen möglich macht¹³⁰. Diese Definition wird jedoch in der Dissertation nicht behandelt¹³¹.

Das Petrinetz-Konzept unterscheidet verschiedene Netzklassen. Auf diese Netzklassen wird in Kapitel 2.4.3 eingegangen.

2.4.2.2 Modellierungssprache Petrinetze

Zunächst sei definiert, dass es sich bei Petrinetzen unter anderem um eine Modellierungssprache handelt. Dieser Aspekt der Petrinetze wird in der Dissertation als Modellierungssprache Petrinetze definiert.

Die Modellierungssprache Petrinetze besteht aus einer Notation und einer Syntax¹³², wobei die Modellierungssprache Petrinetze jeweils sowohl eine graphische als auch eine mathematische Notation und Syntax nutzt.

128 Vgl. DESEL et al. (2001), S. 2; VAN DER AALST et al. (2011), S. 65.

129 Die Petrinetz-Graphen (vgl. Kapitel 2.4.2.3) können auf dynamische Systemeigenschaften wie z.B. Beschränktheit, Lebendigkeit, Invarianten und Deadlocks überprüft werden; vgl. STARKE (1990), S. 38–42, 54–61, 110–121, 162–176; ROSENSTENGEL et al. (1991), S. 100; ZELEWSKI (1995e), S. 63–64; VAN DER AALST et al. (2011), S. 257–258.

130 Vgl. VAN DER AALST et al. (2011), S. 65.

131 Die mathematisch fundierte Definition ist eine wichtige Facette des Petrinetz-Konzepts, allerdings wird die mathematisch fundierte Definition des Petrinetz-Konzepts von Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts teilweise als kompliziert empfunden, vgl. z.B. DESEL et al. (2001), S. 6; VON UTHMANN (2001), S. 161–162. Daher wird diese mathematisch fundierte Definition in der Dissertation nicht näher ausgeführt. Dies begründet sich darin, dass die Dissertation nicht die wissenschaftlichen Hintergründe des Petrinetz-Konzepts behandelt, sondern vielmehr eine praxisorientierte Anwendung des Petrinetz-Konzepts entwickelt und sich an Wirtschaftswissenschaftler wendet, die in der Regel eben solche Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts sind. Ausführungen zu der mathematisch fundierten Definition finden sich in REISIG (1982), JENSEN (1992) und DESEL et al. (2001), S. 6–9. Zur Definition des Begriffs Laie vgl. Kapitel 2.4.4.

132 Eine Modellierungssprache besteht grundsätzlich aus diesen beiden Komponenten, vgl. SPUR et al. (1993), S. 12.

Die folgende Abbildung 4 zeigt die in diesem Kapitel beschriebenen Bestandteile der Modellierungssprache Petrinetze.

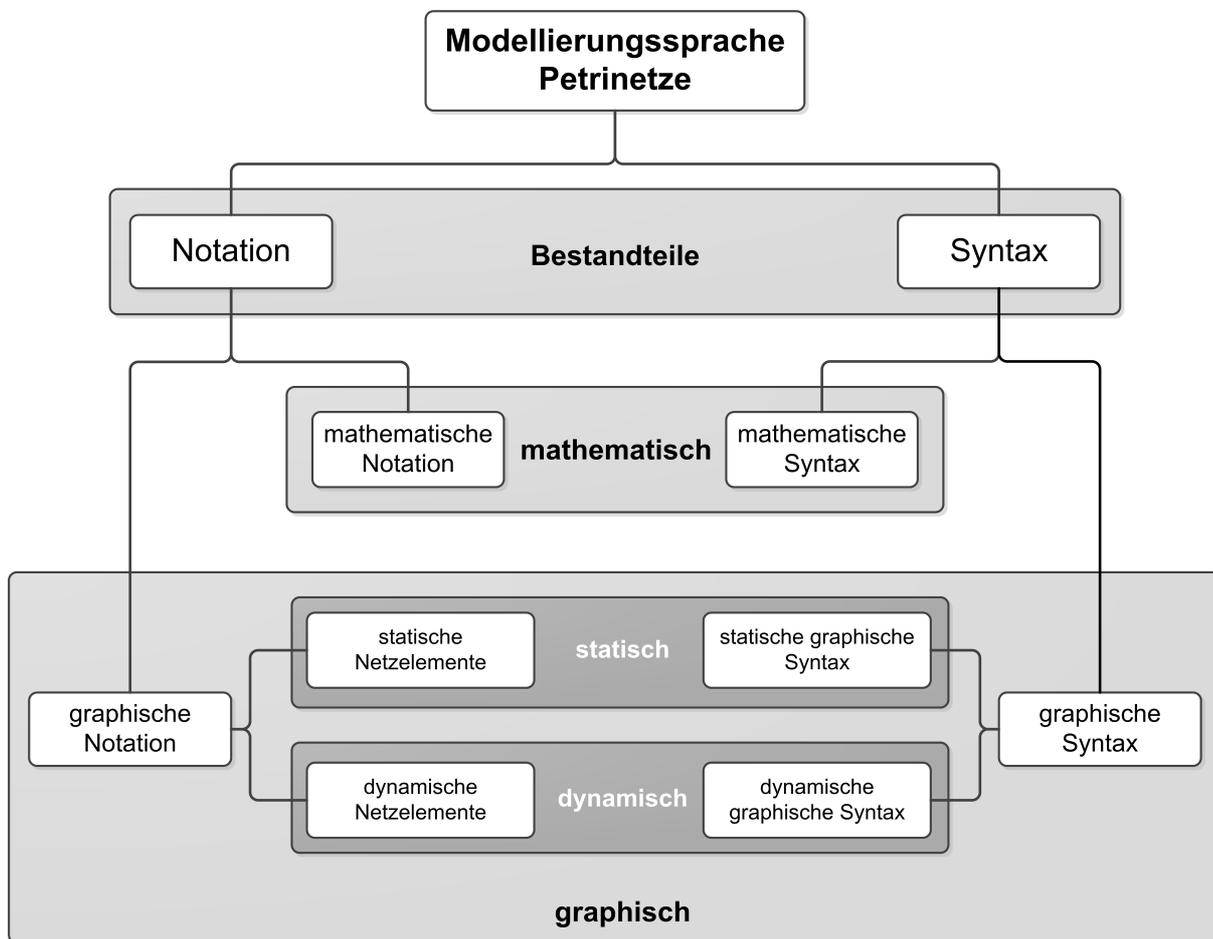


Abbildung 4: Übersicht über die Bestandteile der Modellierungssprache Petrinetze

Die mathematische Notation sowie die mathematische Syntax werden für die mathematisch fundierte Definition des Petrinetz-Konzepts verwendet. Da die mathematisch fundierte Definition des Petrinetz-Konzepts in der Dissertation nicht näher behandelt wird¹³³, wird auch auf die mathematische Notation sowie die mathematische Syntax nicht näher eingegangen.

133 Vgl. Kapitel 2.4.2.1 sowie insbesondere die Fn. 131, S. 26.

Die graphische Notation¹³⁴ besteht aus lediglich vier Netzelementen¹³⁵. Diese Netzelemente sind die Stellen¹³⁶, die Transitionen¹³⁷, die Kanten¹³⁸ sowie die Marken. In der Dissertation werden die Stellen, Transitionen und Kanten als statische Netzelemente definiert, während die Marken als dynamische Netzelemente definiert werden¹³⁹.

Die folgende Abbildung 5 zeigt die vier Netzelemente.

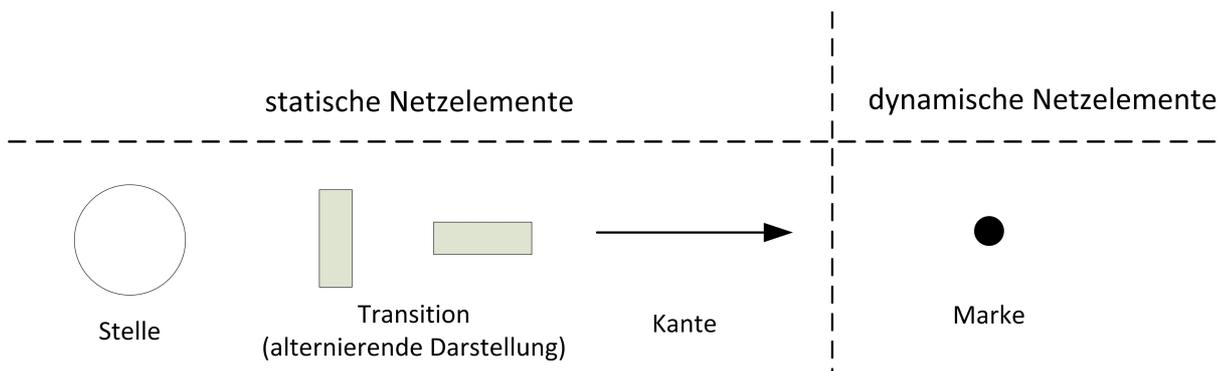


Abbildung 5: Netzelemente der graphischen Notation der Modellierungssprache Petrinetze

Mit den statischen Netzelementen wird die Struktur eines Systems dargestellt¹⁴⁰. Dabei bilden die Stellen Zustände ab, Transitionen bilden Zustandsänderungen ab¹⁴¹. Die Kanten verbinden die Stellen mit den Transitionen.

134 Vgl. VAN DER AALST et al. (2011), S. 326.

135 Vgl. WEBER (2002), S. 1.

136 Stellen werden in der analysierten Fachliteratur zum Petrinetz-Konzept, teilweise abhängig vom Netztyp, unterschiedlich benannt. So werden sie z.B. bei den Bedingungs/Ereignis-Netzen als Bedingungen bezeichnet, vgl. REISIG (1985b), S. 13. REISIG (2010), S. 22, verwendet dagegen generell die Bezeichnung Plätze. In der Dissertation wird die Bezeichnung Stellen für alle Netztypen einheitlich verwendet.

137 Transitionen werden in der analysierten Fachliteratur zum Petrinetz-Konzept, teilweise abhängig vom Netztyp, unterschiedlich benannt. So werden sie z.B. bei den Bedingungs/Ereignis-Netzen als Ereignisse bezeichnet; vgl. REISIG (1985b), S. 13. In der Dissertation wird die Bezeichnung Transition für alle Netztypen einheitlich verwendet.

138 Kanten werden u.a. von REISIG (2010), S. 22, als gerichtete Kanten bezeichnet. Gerichtet bedeutet in diesem Fall, dass die Richtung der Kante vorgegeben ist. Die Bezeichnung „gerichtet“ wird in der Dissertation nicht übernommen, sondern es wird vereinfacht von Kanten gesprochen, wobei definiert sei, dass es sich bei einer Kante stets um eine gerichtete Kante handelt.

139 Diese Definition lehnt sich an die Ausführungen von WEBER (2002), S. 1, an, der folgendes schreibt: „Stellen, Transitionen und Kanten modellieren statische Verhältnisse eines Systems.[...] Das vierte Grundelement in Petrinetzen sind Marken, die die dynamischen Verhältnisse eines Systems modellieren.“; WEBER (2002), S. 1.

Darüber, dass Transitionen den statischen Netzelementen und Marken den dynamischen Netzelementen zugeordnet werden, lässt sich trefflich diskutieren, da die Transitionen durch die Schaltregeln (vgl. Kapitel 2.4.2.4) die Dynamik eines Petrinetz-Graphen (vgl. Kapitel 2.4.2.3) konstituieren, während das Markenspiel (vgl. Kapitel 2.4.2.4) nur eine Folge dieser Dynamik darstellt. Jedoch handelt es sich bei der Arbeit WEBER (2002) um eine von WOLFGANG REISIG betreute Dissertation; WOLFGANG REISIG ist auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts ein bedeutender Autor; vgl. z.B. REISIG (1982); REISIG (1985a); REISIG (1985b); REISIG (1987); REISIG (2010). Da WOLFGANG REISIG diese Definition in der Dissertation von WEBER (2002) offensichtlich für vertretbar hielt, lehnt die Autorin der Dissertation sich ebenfalls an diese Definition an.

140 Vgl. FEHLING (1992), S. 12.

141 Vgl. WEBER (2002), S. 1.

Mit den dynamischen Netzelementen wird das Verhalten eines Systems dargestellt¹⁴². Dies wird durch das Markenspiel realisiert, welches in Kapitel 2.4.2.4 erläutert wird.

Die Syntax der Modellierungssprache Petrinetze wird in der Dissertation unterteilt in die statische Syntax und in die dynamische Syntax.

Die statische Syntax definiert die Regeln, nach denen die statischen Netzelemente miteinander kombiniert werden dürfen. Dabei ist lediglich zu beachten, dass sich Stellen und Transitionen stets abwechseln müssen und mit Hilfe jeweils einer Kante verbunden werden.

Die folgende Abbildung 6 visualisiert diese Regeln.

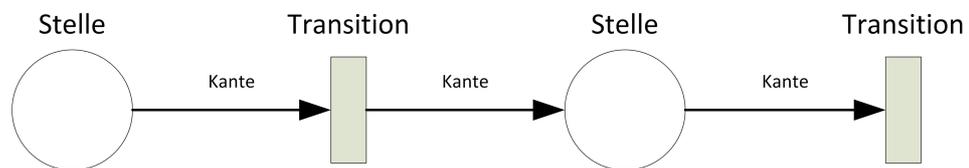


Abbildung 6: Nach den Regeln der statischen Syntax kombinierte Netzelemente

Die dynamische Syntax definiert die Regeln, nach denen sich die dynamischen Netzelemente durch die Struktur des Systems bewegen. Diese Regeln werden in der Dissertation als Schaltregeln bezeichnet und in Kapitel 2.4.2.4 erläutert.

2.4.2.3 Petrinetz-Graphen

Wird ein System mit Hilfe der Modellierungssprache Petrinetze modelliert, so entsteht ein Graph. Dieser Graph wird in der Dissertation als Petrinetz-Graph definiert¹⁴³. Analog zur definierten statischen und dynamischen Notation wird in der Dissertation zwischen statischen und dynamischen Petrinetz-Graphen¹⁴⁴ unterschieden.

Ein statischer Petrinetz-Graph¹⁴⁵ besteht aus den statischen Netzelementen der graphischen Notation. Durch die Erweiterung eines statischen Petrinetz-Graphen um die dynamischen Netzelemente der graphischen Notation (Marken) entsteht ein dynamischer Petrinetz-Graph¹⁴⁶.

¹⁴² Vgl. FEHLING (1992), S. 12.

¹⁴³ ROSEMAN (1996), S. 52, bezeichnet diesen Graphen als Kanal-Instanzen-Netz.

¹⁴⁴ In der Dissertation wird im Folgenden der Begriff Petrinetz-Graph teilweise mit, teilweise ohne den Zusatz dynamisch/statisch verwendet. Wenn der Begriff Petrinetz-Graph ohne den Zusatz verwendet wird, so gilt die Aussage sowohl für den statischen als auch für den dynamischen Petrinetz-Graphen.

¹⁴⁵ REISIG (2010), S. 23, bezeichnet dies als Netzstruktur.

¹⁴⁶ Der in der Dissertation definierte dynamische Petrinetz-Graph ist dem von REISIG (2010), S. 30–31, vorgestellten Systemnetz ähnlich, wobei die in der Dissertation geforderte Markierung des Petrinetz-Graphen sich nicht, wie bei REISIG (2010), S. 238, zwingend auf die Anfangsmarkierung bezieht. Bezüglich der Anfangsmarkierung im dynamischen Petrinetz-Graphen vgl. auch Kapitel 2.4.2.4, insbesondere die Fn. 148, S. 30.

Die folgende Abbildung 7 zeigt beispielhaft links einen statischen sowie rechts einen dynamischen Petrinetz-Graphen.

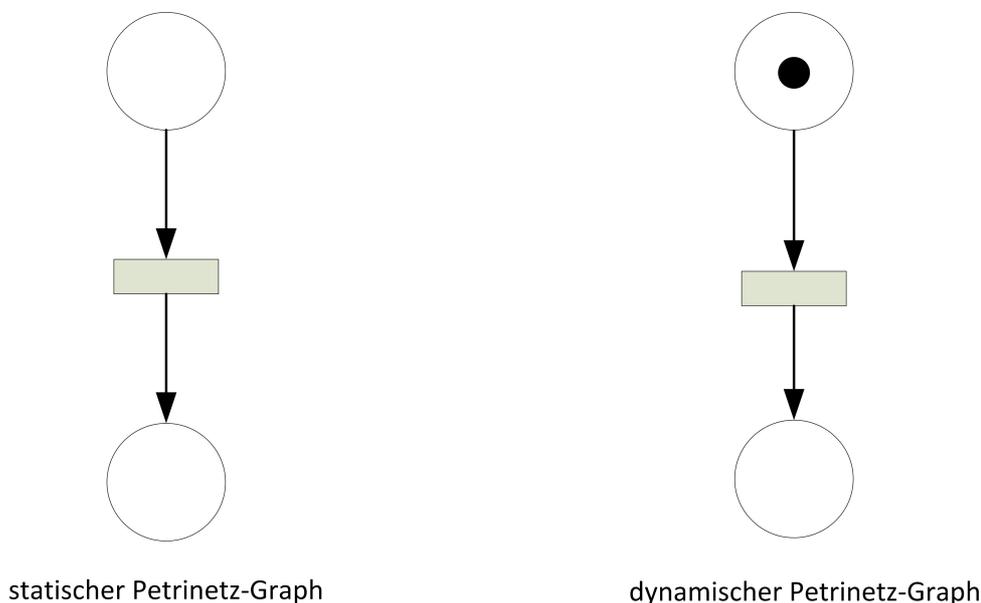


Abbildung 7: Statischer und dynamischer Petrinetz-Graph

2.4.2.4 Markenspiel

In einem dynamischen Petrinetz-Graphen kann im Rahmen der Modellnutzung das Markenspiel¹⁴⁷ ausgeführt werden, sofern die Anfangsmarkierung¹⁴⁸ des Petrinetz-Graphen korrekt gesetzt wurde. Dieses Markenspiel folgt Schaltregeln¹⁴⁹.

Durch das Schalten¹⁵⁰ der Transitionen entsteht ein Durchfluss¹⁵¹ von Marken durch einen dynamischen Petrinetz-Graphen. Eine Transition schaltet, sofern die Schaltregel erfüllt ist. Die Marke der Eingangsstelle¹⁵² wird zur Ausgangsstelle¹⁵³ transferiert¹⁵⁴.

147 Vgl. BARTSCH (2010), S. 135.

148 Die Anfangsmarkierung eines Petrinetz-Graphen bezeichnet in der Dissertation den Zustand des Petrinetz-Graphen, in dem an allen dafür nötigen Stellen ausreichend Marken eingelegt sind, so dass das Markenspiel ausgeführt werden kann.

149 Vgl. BARTSCH (2010), S. 135. Die Schaltregeln sind abhängig vom Netztyp. Bei den Bedingungs/Ereignis-Netzen schaltet eine Transition, wenn jeweils genau eine Marke auf den Eingangsstellen und jeweils keine Marke auf den Ausgangsstellen liegt (zur Definition der Begriffe Eingangsstelle und Ausgangsstelle vgl. die Fn. 152, S. 30, und die Fn. 153, S. 30). Ausführlich mit den Schaltregeln der Stellen/Transitions-Netze beschäftigt sich ZELEWSKI (1995b), S. 44–104.

150 REISIG (2010), S. 9, spricht davon, dass eine Transition eintritt. Der Ausdruck, dass eine Transition schaltet, ist deutlich verbreiteter und wird z.B. verwendet von DESEL et al. (1996), S. 360; ZIMMERMANN (1997), S. 33; WEBER (2002), S. 1; SARSHAR et al. (2005), S. 205.

151 Durchfluss bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Marken jeweils von einer Stelle zur nächsten transferiert werden.

152 Als Eingangsstellen werden diejenigen Stellen bezeichnet, die der Transition im Petrinetz-Graphen direkt vorgelagert sind.

153 Als Ausgangsstellen werden diejenigen Stellen bezeichnet, die der Transition im Petrinetz-Graphen direkt nachgelagert sind.

154 Genaugenommen wird die Marke der Eingangsstelle konsumiert oder gelöscht und auf der Ausgangsstelle produziert oder neu erzeugt, vgl. WEBER (2002), S. 13; TROST (2007), S. 68. Dieser Vorgang wird in der Dissertation vereinfacht als Transferieren der Marke von der Eingangsstelle zur Ausgangsstelle bezeichnet.

Die folgende Abbildung 8 visualisiert diesen Vorgang.

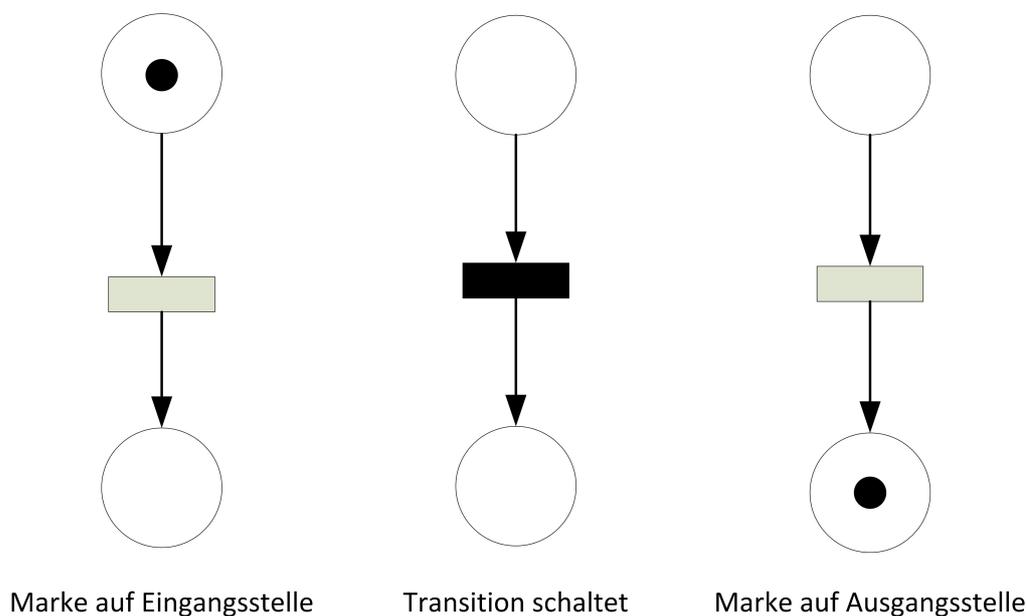


Abbildung 8: Markenspiel eines dynamischen Petrinetz-Graphen

Das Markenspiel eines dynamischen Petrinetz-Graphen endet mit der Endmarkierung¹⁵⁵.

2.4.3 Netzklassen und Netztypen

2.4.3.1 Übersicht

Das Petrinetz-Konzept unterscheidet die Netzklassen der Elementaren Netze¹⁵⁶ und der Höheren Netze¹⁵⁷. Die Vertreter dieser Netzklassen werden in der Dissertation als Netztypen bezeichnet. In der Dissertation werden nur einige einschlägige Netztypen vorgestellt¹⁵⁸.

Die folgende Abbildung 9 visualisiert dies und zeigt die in der Dissertation vorgestellten Netztypen.

¹⁵⁵ Die Endmarkierung eines dynamischen Petrinetz-Graphen bezeichnet den Zustand in dem keine Transition mehr schalten kann.

¹⁵⁶ Vgl. DESEL et al. (1996), S. 359; SARSHAR et al. (2005), S. 205. Die Elementaren Netze werden auch als Low-Level-Netze bezeichnet, vgl. z.B. WEBER (2002), S. 15.

¹⁵⁷ Vgl. BAUMGARTEN (1996), S. 193; SARSHAR et al. (2005), S. 205. Die Höheren Netze werden auch als High-Level-Netze bezeichnet, vgl. z.B. WEBER (2002), S. 15.

¹⁵⁸ VON UTHMANN (2001), S. 161, schreibt bereits damals von mehr als sechzig Netztypen. Da in der Dissertation der Fokus nicht in einer erschöpfenden Aufzählung von Netztypen, sondern auf der Entwicklung einer praxisorientierten Anwendung des Petrinetz-Konzepts liegt, werden nur einige einschlägige Netztypen vorgestellt. Die Auswahl der einschlägigen Netztypen erfolgt nach subjektiver Einschätzung der Autorin der Dissertation, stützt sich jedoch auf die Erfahrungswerte der Autorin der Dissertation zur Häufigkeit der Nennung der entsprechenden Netztypen in der analysierten Fachliteratur zum Petrinetz-Konzept.

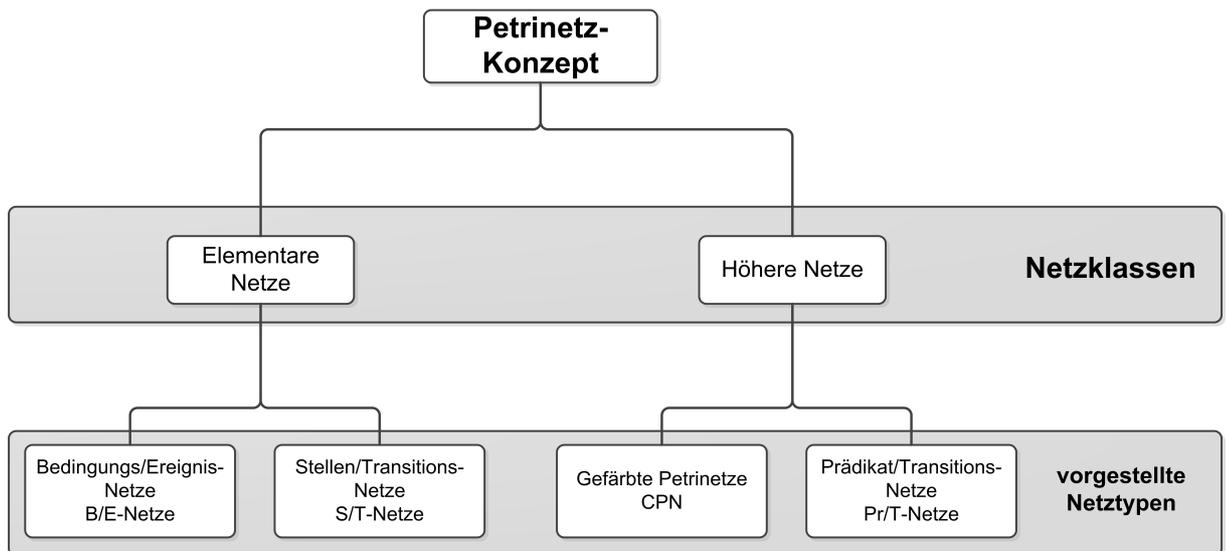


Abbildung 9: Übersicht über Netzklassen und vorgestellte Netztypen

Zum besseren Verständnis werden die Netzklassen und Netztypen jeweils anhand eines Beispiels vorgestellt. Daher wird im Folgenden zunächst der statische Petrietz-Graph eines einfachen Beispiels modelliert. An diesem Beispiel werden anschließend in Kapitel 2.4.3.2 und Kapitel 2.4.3.3 die verschiedenen Netztypen erläutert.

Als Beispiel wird ein Kaffeeautomat modelliert¹⁵⁹. Der Kaffeeautomat besteht aus einem Einwurfschlitz, einer Wahltaaste, einem Behälter für Kaffeepulver sowie einem Ausgabeschacht, in dem der fertige Kaffee ausgegeben wird. Der Einwurfschlitz erlaubt nur das Einwerfen von vorher gekauften Wertmarken. Die Eingabe einer leeren Tasse in den Ausgabeschacht, in welche der Automat den Kaffee einfüllt, obliegt dem Benutzer und wird nicht von dem Automaten geprüft.

Die folgende Abbildung 10 zeigt den statischen Petrietz-Graphen des Kaffeeautomaten¹⁶⁰.

¹⁵⁹ Das Beispiel eines Kaffeeautomaten in einer Dissertation mag dem Leser auf den ersten Blick trivial erscheinen. Die Auswahl dieses Beispiels erfolgt jedoch von der Autorin der Dissertation ganz bewusst so trivial. Damit soll sichergestellt werden, dass Leser der verschiedenen Fachgebiete das Beispiel in jedem Fall aus dem täglichen Leben kennen. Daraus verspricht sich die Autorin der Dissertation, dass das Beispiel vom Leser gut nachvollzogen werden kann. Die Wahl eines trivialen Beispiels aus dem täglichen Leben zur Einführung des Petrietz-Konzepts ist auch bei REISIG (1982), S. 4–6, in Form des Wechsels der vier Jahreszeiten, bei REISIG (2010), S. 9–33, in Form eines Keksaautomaten und bei VAN DER AALST et al. (2011), S. 66–68, in Form eines Aufzugs zu finden.

¹⁶⁰ Die Stellen werden in der Form $S_{x.x}$ und die Transitionen in der Form $T_{x.x}$ numerisch beschriftet.

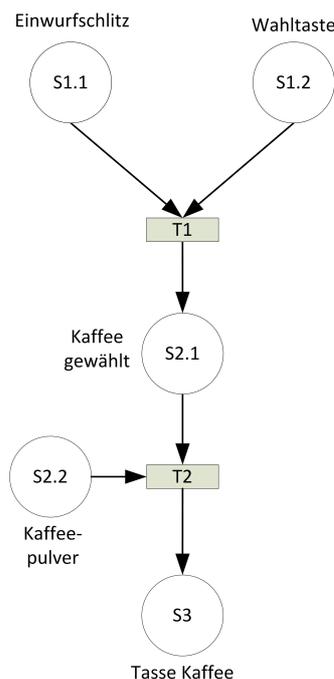


Abbildung 10: Statischer Petrinetz-Graph des Beispiels

2.4.3.2 Elementare Netze

Bei Vertretern der Netzklasse der Elementaren Netze sind die Marken nicht unterscheidbar¹⁶¹. Beispiele für Netztypen dieser Netzklasse sind Bedingungs/Ereignis-Netze¹⁶² (B/E-Netze) und Stellen/Transitions-Netze¹⁶³ (S/T-Netze).

Zunächst wird für das o.g. Beispiel der dynamische Petrinetz-Graph eines B/E-Netzes modelliert und in der folgenden Abbildung 11 visualisiert¹⁶⁴. In Schritt 1 wird zunächst jeweils eine Marke in die Stellen S1.1 (Einwurfschlitz)¹⁶⁵, S1.2 (Wahltaste)¹⁶⁶ sowie S2.2 (Kaffeepulver)¹⁶⁷ eingelegt. Dadurch wird die Anfangsmarkierung des dynamischen Petrinetz-Graphen geschaffen und es kann in den Schritten 2 bis 5 das Markenspiel ausgeführt werden. Im Schritt 5 hat die Marke die Stelle S3 (Tasse Kaffee) erreicht¹⁶⁸. Damit ist die Endmarkierung des dynamischen Petrinetz-Graphen erreicht und das Markenspiel endet.

161 Vgl. SARSHAR et al. (2005), S. 205.

162 Vgl. REISIG (1985b), S. 11–26.

163 Vgl. REISIG (1985b), S. 27–36. Im Gegensatz zu B/E-Netzen können S/T-Netze mehrere Marken pro Stelle aufnehmen.

164 In der Darstellung der dynamischen Petrinetz-Graphen wird aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die numerische Beschriftung der Stellen und Transitionen verzichtet. Die numerische Beschriftung der Stellen und Transitionen ist mit denen aus Abbildung 10, S. 33, identisch.

Die Schritte 2 und 4 werden zum besseren Verständnis eingefügt, sie sind jedoch nach dem Petrinetz-Konzept keine definierten Zustände, da das Schalten einer Transition uno actu erfolgt.

165 In dem Beispiel repräsentiert diese Marke die Wertmarke, welche in den Einwurfschlitz eingeworfen wird.

166 In dem Beispiel repräsentiert diese Marke das Drücken der Wahl Taste.

167 In dem Beispiel repräsentiert diese Marke Kaffeepulver im Vorratsbehälter für genau eine Tasse Kaffee.

168 In dem Beispiel repräsentiert diese Marke den ausgegebenen Kaffee.

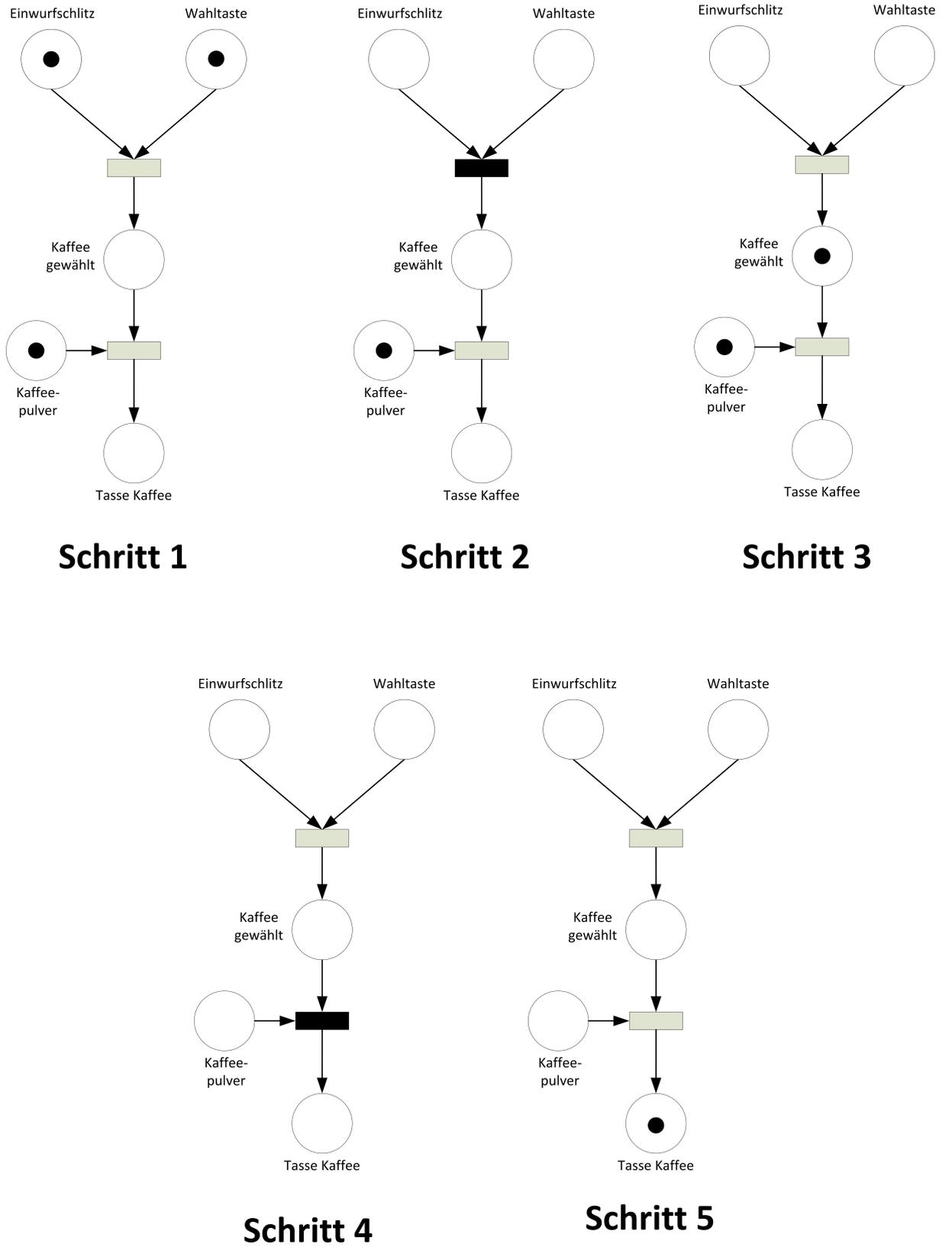


Abbildung 11: Markenspiel im dynamischen Petrinetz-Graphen eines B/E-Netzes

Bei S/T-Netzen ist es im Gegensatz zu B/E-Netzen möglich, mehrere Marken pro Stelle zuzulassen¹⁶⁹ sowie eine Übertragungskapazität¹⁷⁰ an den Kanten zu definieren¹⁷¹. Zur Erläuterung der S/T-Netze wird zunächst das o.g. Beispiel des Kaffeeautomaten abgewandelt und in der folgenden Abbildung 12 visualisiert.

Eine Tasse Kaffee kostet nun zwei Wertmarken. Dies wird im Petrinetz-Graphen durch die Ziffer 2 an der Kante zwischen der Stelle S1.1 (Einwurfschlitz) und der Transition T1 dargestellt.

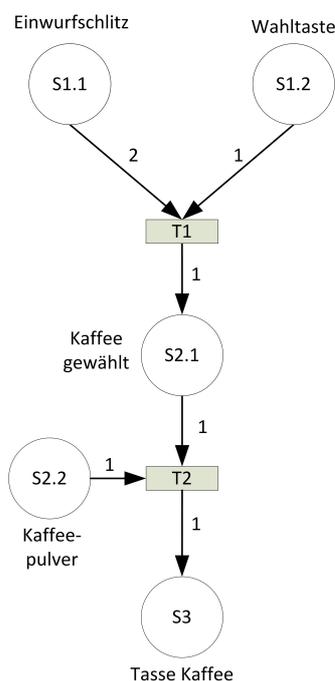


Abbildung 12: Statischer Petrinetz-Graph des abgewandelten Beispiels

Das Markenspiel im dynamischen Petrinetz-Graphen des S/T-Netzes wird in der folgenden Abbildung 13 visualisiert.

Dazu wird in Schritt 1 zunächst die Anfangsmarkierung geschaffen. Da eine Tasse Kaffee nun zwei Wertmarken kostet, werden in die Stelle S1.1 (Einwurfschlitz) zwei Marken eingelegt. An den Stellen S1.2 (Wahltaste) sowie S2.2 (Kaffeepulver) wird wieder nur jeweils eine Marke eingelegt. In den Schritten 2 bis 5 wird das Markenspiel ausgeführt¹⁷². Mit dem Erreichen der Endmarkierung in Schritt 5 ist das Markenspiel beendet.

169 Vgl. WEBER (2002), S. 14.

170 Die Übertragungskapazität einer Kante bestimmt, wie viele Marken bei einem Schaltvorgang gleichzeitig über diese Kante fließen.

171 Vgl. WEBER (2002), S. 14.

172 Zu den Schritten 2 und 4 vgl. Fn. 164, S. 33.

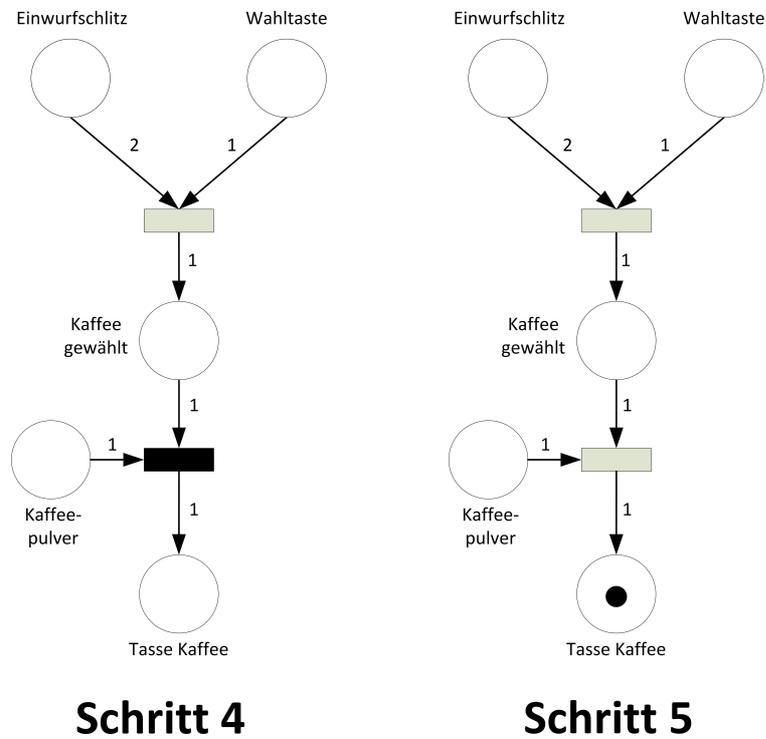
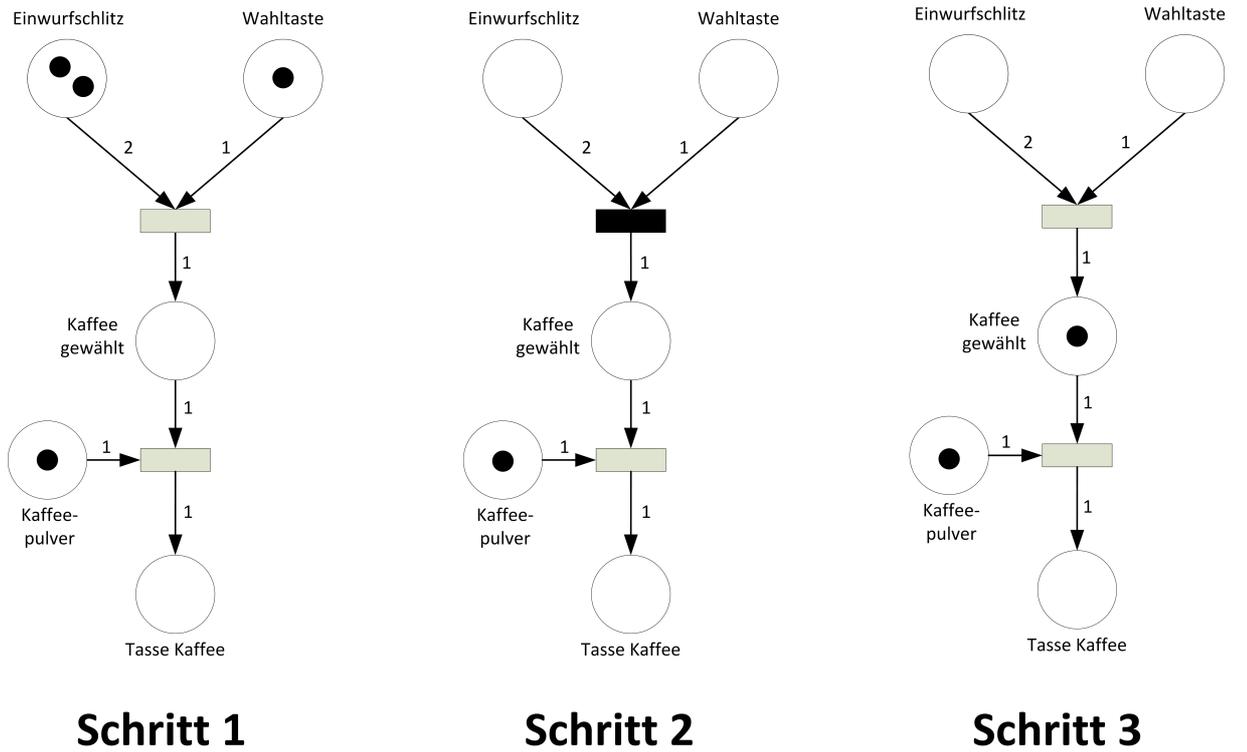


Abbildung 13: Markenspiel im dynamischen Petrinetz-Graphen eines S/T-Netzes

2.4.3.3 Höhere Netze

Die Weiterentwicklung der Elementaren Netze brachte eine große Zahl von neuen Netztypen hervor, die der Netzklasse der Höheren Netze zuzuordnen sind¹⁷³. Das wichtigste Merkmal, das die Höheren Netze von den Elementaren Netzen unterscheidet, ist die Individualisierbarkeit der Marken. Als Beispiele für Netztypen aus der Netzklasse der Höheren Netze werden im Folgenden die Prädikat/Transitions-Netze¹⁷⁴ (Pr/T-Netze) und die gefärbten Petrinetze¹⁷⁵ (Coloured Petri Nets, CPN) genannt.

Pr/T-Netze wurden als erste Vertreter der Höheren Netze eingeführt¹⁷⁶. Etwas später wurden CPN vorgestellt¹⁷⁷. Da sich diese beiden Netztypen sehr ähnlich sind¹⁷⁸, werden sie im folgenden Beispiel zusammen erläutert.

Zunächst wird das o.g. Beispiel des Kaffeeautomaten aus Abbildung 12, S. 35, in einen Heißgetränkautomaten abgewandelt, es werden nun auch Tee und Kakao verkauft. Dafür wird der statische Petrinetz-Graph um zwei weitere Wahltasten sowie zwei weitere Vorratsbehälter für unterschiedliches Pulver erweitert.

173 Eine ältere Übersicht zu Höheren Netzen bietet JENSEN et al. (1991). Übersichten zu aktuellen Entwicklungen bieten die Internetseite der Petri Nets World sowie die jährlich stattfindende Petrinetz-Konferenz, vgl. Fn. 119, S. 24.

174 Vgl. GENRICH et al. (1981), S. 109–136; GENRICH (1991), S. 3–43; VAN DER AALST et al. (2011), S. 167.

175 Vgl. JENSEN (1981); JENSEN (1983); JENSEN (1987); JENSEN (1992); JENSEN et al. (2009).

Gefärbte Petrinetze werden auch als farbige Petrinetze bezeichnet; vgl. z.B. ZIMMERMANN (1997), S. 21; TROST (2007), S. 16.

176 Bereits 1979 beschrieb GENRICH et al. (1979) die Pr/T-Netze. Häufiger zitiert wird jedoch GENRICH et al. (1981), S. 109–136.

177 CPN werden erstmals von JENSEN (1981) beschrieben.

178 ZELEWSKI (1995c), S. 29, schreibt, dass sich die beiden Netztypen zwar in ihren Frühformen unterschieden haben, jedoch inzwischen sehr ähnlich sind. Dies erläutert der Autor genauer auf S. 35, wo als Unterscheidungsmerkmal nur die Fähigkeit der Pr/T-Netze genannt ist, dass dort eine unendliche Anzahl verschiedenartiger Marken dargestellt werden kann, was bei CPN nicht möglich ist. In ZELEWSKI (1996) verzichtet der Autor ganz auf diese genauere Erläuterung und bezeichnet die beiden Netztypen als „letztlich äquivalent“; ZELEWSKI (1996), S. 369. GRUDE (1988), S. 69, dagegen beschreibt als Unterschied der beiden Netztypen, dass die Kanten bei CPN nur eine jeweils gleichbleibende, vorher festgelegte Anzahl von Marken transportieren können, während Pr/T-Netze hier variabel sind. Das Kriterium der unendlichen Anzahl verschiedenartiger Marken erwähnt GRUDE (1988), S. 71, zwar, einen Rückschluss bezüglich eines weiteren Unterscheidungsmerkmals der beiden Netztypen zieht der Autor allerdings daraus nicht.

Die folgende Abbildung 14 zeigt den erweiterten statischen Petrinetz-Graphen des Beispiels¹⁷⁹.

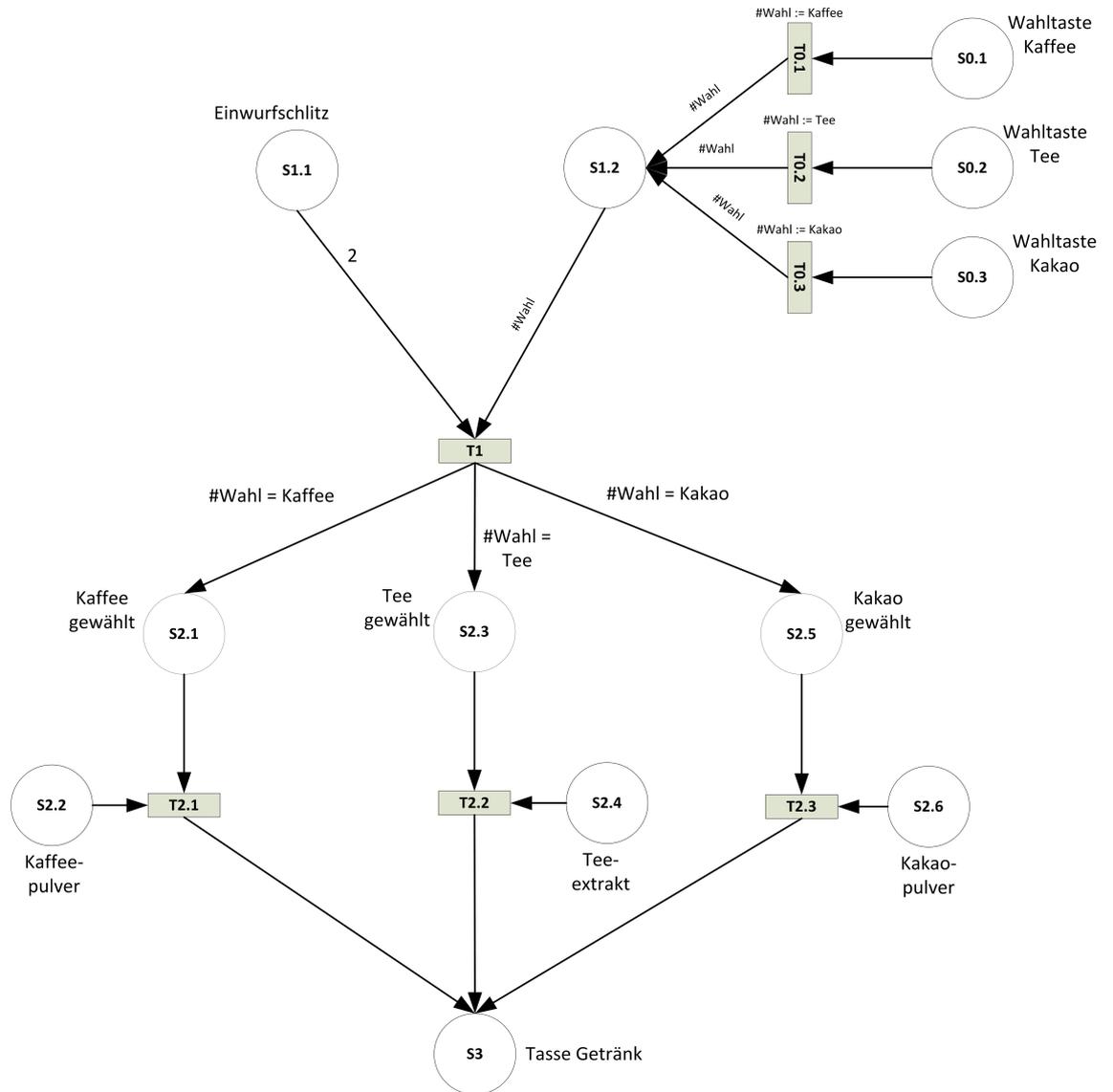


Abbildung 14: Erweiterter statischer Petrinetz-Graph des Beispiels

Da die Darstellung des Markenspiels des dynamischen Petrinetz-Graphen in diesem Fall recht umfangreich wäre, wird auf die grafische Darstellung verzichtet. Stattdessen werden die wichtigsten Schritte im Folgenden verbal beschrieben.

¹⁷⁹ In der Darstellung werden aus Gründen der Übersichtlichkeit die Übertragungskapazitäten an den Kanten weggelassen, sofern diese 1 beträgt.

Zunächst wird die Anfangsmarkierung des Petrinetz-Graphen geschaffen. Dazu werden in die Stelle S1.1 zwei Marken (vom Benutzer eingeworfene Wertmarken) eingelegt und in die Stellen S2.2, S2.4 und S2.6 jeweils eine Marke eingelegt.

Die Wahl des Benutzers für eines der Produkte Kaffee, Tee oder Kakao wird durch das Betätigen der entsprechenden Wahltaste am Heißgetränkeautomat getroffen. Im Petrinetz-Graphen wird damit an den Stellen S0.1, S0.2 oder S0.3 eine Marke eingelegt. Damit ist die Anfangsmarkierung geschaffen und das Markenspiel kann beginnen.

Zuerst schaltet die entsprechende Transition T0.1, T0.2 oder T0.3. Dabei wird der jeweiligen Marke die Farbe #Wahl mit dem jeweiligen Wert Kaffee, Tee oder Kakao zugewiesen (Ausdruck z.B. #Wahl:= Kaffee). Die folgende Kante transportiert die Marke inklusive dieser Farbe mit dem zugewiesenen Wert weiter zur nächsten Stelle S1.2.

Beim folgenden Schaltvorgang der Transition T1 werden zwei farblose Marken von der Stelle S1.1 sowie die gefärbte Marke von der Stelle S1.2 abgezogen. Die Farbe #Wahl mit dem zugewiesenen Wert wird weiter mit der Marke transferiert. Durch die sich verzweigende Kante nach der Transition T1 wird nun die Farbe ausgewertet – nur wenn die Farbe mit dem entsprechenden Wert belegt ist, wird die Marke über die entsprechende Kante transferiert. Dies hat eine Sortierung der Marke in die richtige Stelle S2.1, S2.3 oder S2.5 zur Folge. Ab hier wird die Farbe #Wahl nicht weiter transferiert (ersichtlich, da die Kanten nicht mehr mit der Farbe beschriftet sind), da sie im weiteren Verlauf nicht mehr benötigt wird.

Von der entsprechenden Stelle S2.2, S2.4 oder S2.6 wird von der Transition T2.1, T2.2 oder T2.3 beim Schaltvorgang eine Marke abgezogen und die Marke wird weiter transferiert auf die Stelle S3, in der alle Kanten wieder zusammenlaufen. Damit ist die Endmarkierung des dynamischen Petrinetz-Graphen erreicht, das Markenspiel ist abgeschlossen und das Getränk ausgegeben.

2.4.4 Eignung des Petrinetz-Konzepts für den Laien

In der Dissertation wird an verschiedenen Stellen der Begriff Laie verwendet.

Als Laie wird in der Dissertation eine natürliche Person verstanden, welche auf dem jeweils benannten Fachgebiet keine Fachkenntnisse besitzt¹⁸⁰.

¹⁸⁰ Ein Wirtschaftswissenschaftler ist beispielsweise i.d.R. ein Laie auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts, da das Petrinetz-Konzept ein Teilbereich der Informatik ist (vgl. Kapitel 2.4.1) und daher i.d.R. nicht Bestandteil der Ausbildung eines Wirtschaftswissenschaftlers ist.

Da sich das zu entwickelnde Baukastensystem an Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts richtet¹⁸¹, wird im Folgenden das Für und Wider der Eignung des Petrinetz-Konzepts für den Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts diskutiert.

Wichtigstes Argument für die Eignung des Petrinetz-Konzepts für den Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts sind die Eigenschaften der Modellierungssprache Petrinetze. Diese besitzt eine aus wenigen Elementen¹⁸² bestehende graphische Notation zur Modellierung des Petrinetz-Graphen. Darum wird die Modellierungssprache Petrinetze von verschiedenen Autoren als einfach¹⁸³ oder leicht erlernbar¹⁸⁴, die modellierten Petrinetz-Graphen werden als leicht lesbar¹⁸⁵ oder anschaulich¹⁸⁶ bezeichnet¹⁸⁷. Aus diesen Gründen ist das Petrinetz-Konzept grundsätzlich auch für Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts zugänglich¹⁸⁸.

Allerdings verliert dieses Argument der Einfachheit zunehmend an Gewicht, je komplexer die zu modellierenden Systeme werden. ZIMMERMANN (1997), S. 18, stellt die These auf, dass die Anwendbarkeit von Vertretern der Netzklasse der Elementaren Netze in der Praxis wohl auf kleine (und damit wenig komplexe) Systeme beschränkt ist. Für die Modellierung komplexer Systeme werden folglich Vertreter der Netzklasse der Höheren Netze benötigt. Bei den Vertretern der Netzklasse der Höheren Netze schwindet allerdings zunehmend der oben genannte Vorteil der Einfachheit, da die Petrinetz-Graphen von Vertretern der Netzklasse der Höheren Netze neben den Netzelementen häufig Programmiersprachen-Elemente enthalten¹⁸⁹. Dadurch wird zum einen die Erlernbarkeit der Modellierungssprache, zum anderen die Lesbarkeit¹⁹⁰ der Petrinetz-Graphen für den Laien erschwert.

181 Die Autorin der Dissertation geht davon aus, dass in KMU in Produktion und Logistik überwiegend Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts vertreten sind.

182 Die graphische Notation besteht aus lediglich vier Netzelementen, vgl. Kapitel 2.4.2.2.

183 Vgl. ROSENSTENGEL et al. (1991), S. 99–100.

184 Vgl. ROSENSTENGEL et al. (1991), S. 99–100; STUCKY et al. (1996), S. 357; DESEL et al. (2001), S. 3; VON UTHMANN (2001), S. 160.

185 Vgl. DESEL et al. (2001), S. 3; VON UTHMANN (2001), S. 160.

186 Vgl. STUCKY et al. (1996), S. 357.

187 Diese Eigenschaften der Modellierungssprache Petrinetze sowie der Petrinetz-Graphen werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels als „Vorteil Einfachheit“ bezeichnet.

188 Vgl. VAN DER AALST et al. (2011), S. 65.

189 Vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 21. Die Programmiersprachen-Elemente werden verwendet, um Marken Farben zuzuweisen oder Variablen zu definieren; vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 21. Des Weiteren können z.B. Stellen in ihrer Kapazität beschränkt werden. Beispiele für solche Programmiersprachen-Elemente sind in der Abbildung 14, S. 38, zu sehen, dort zu erkennen an dem vorangestellten Symbol #.

190 Vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 21.

Des Weiteren fällt bei der Analyse der Fachliteratur zum Petrinetz-Konzept auf, dass das Petrinetz-Konzept von Informatikern positiv bewertet wird; außerhalb dieses Personenkreises besteht dagegen laut VON UTHMANN (2001), S. 161, ein Akzeptanzproblem. Einen Ursprung dieses Akzeptanzproblems sehen GREEN et al. (1999) darin, dass praxisorientierte Anwendungen des Petrinetz-Konzepts „from method experts for method experts“¹⁹¹ erstellt werden und damit für den Laien nicht mehr einfach zu verstehen sind.

Aufgrund der genannten Argumente hält die Autorin der Dissertation das Petrinetz-Konzept für den Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts grundsätzlich für geeignet, solange folgendes berücksichtigt wird:

Beim Erstellen einer praxisorientierten Anwendung des Petrinetz-Konzepts sollte berücksichtigt werden, dass die Anwendung für den Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts erstellt wird.

Das angewendete Petrinetz-Konzept sollte daher möglichst einfach sein, die erstellten Petrinetz-Graphen sollten möglichst wenig Programmiersprachen-Elemente enthalten.

2.5 Kleine und mittlere Unternehmen

Die EU-Kommission empfiehlt, Unternehmen, „die weniger als 250 Personen beschäftigen und die entweder einen Jahresumsatz von höchstens 50 Mio. EUR erzielen oder deren Jahresbilanzsumme sich auf höchstens 43 Mio. EUR beläuft“¹⁹², als kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zu bezeichnen. Diese Gruppe der KMU macht in Deutschland mehr als 99%

191 GREEN et al. (1999), S. 231.

192 EU-KOMMISSION (2003), S. 39; vgl. auch EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006), S. 13–15. Da sich in dieser Definition aufgrund der exklusiven entweder-oder-Verknüpfung zwischen dem Jahresumsatz und der Jahresbilanzsumme eine logische Lücke ergibt, wird die Definition in einem Benutzerhandbuch der EU-Kommission näher erläutert. Es wird dort darauf hingewiesen, dass die Schwellenwerte bezüglich der Mitarbeiteranzahl zwingend eingehalten werden müssen, die Schwellenwerte für den Jahresumsatz sowie die Jahresbilanzsumme dagegen alternierend eingehalten werden können; vgl. EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006), S. 13. Das bedeutet, es muss *entweder* der Schwellenwert des Jahresumsatz *oder* der Schwellenwert der Jahresbilanzsumme eingehalten werden – es *können jedoch auch beide* Schwellenwerte Jahresumsatz und Jahresbilanzsumme *gleichzeitig* eingehalten werden. Bei der Berechnung der Daten eines KMU müssen einige weitere Details bezüglich der Eigenständigkeit des Unternehmens berücksichtigt werden. Auf diese Details wird in der Dissertation nicht eingegangen. Die Details werden ausführlich beschrieben in EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006), S. 16–25.

Die EU-Kommission unterscheidet innerhalb der KMU-Definition weiterhin Kleinstunternehmen, kleine Unternehmen und mittlere Unternehmen. Als Kleinstunternehmen wird ein Unternehmen definiert, welches „weniger als 10 Personen beschäftigt und dessen Jahresumsatz bzw. Jahresbilanz 2 Mio. EUR nicht überschreitet“ (EU-KOMMISSION (2003), S. 39), als kleines Unternehmen wird ein Unternehmen definiert, welches „weniger als 50 Personen beschäftigt und dessen Jahresumsatz bzw. Jahresbilanz 10 Mio. EUR nicht übersteigt“ (EU-KOMMISSION (2003), S. 39). Folglich ist als mittleres Unternehmen zu bezeichnen wenn mindestens 50 Personen, aber weniger als 250 Personen beschäftigt werden und der Jahresumsatz mehr als 10 Mio. EUR aber höchstens 50 Mio. EUR beträgt oder die Jahresbilanzsumme mehr als 10 Mio. EUR aber höchstens 43 Mio. EUR beträgt.

aller Unternehmen aus¹⁹³, weshalb sie volkswirtschaftlich gesehen eine bedeutende Rolle spielen¹⁹⁴.

Im deutschen Sprachgebrauch ist häufig eine Gleichsetzung der Begriffe Mittelstand und mittelständische Unternehmen mit dem Begriff KMU festzustellen¹⁹⁵. Die Autorin der Dissertation folgt der Auffassung, dass die Begriffe mittelständische Unternehmen und Mittelstand Synonyme sind und fasst diese im Folgenden unter dem Begriff Mittelstand zusammen.

Die Gleichsetzung der Begriffe Mittelstand und KMU ist dagegen wissenschaftlich betrachtet problematisch, da keine Äquivalenz der Begriffe besteht. Dies begründet sich darin, dass sich im betriebswirtschaftlichen Zusammenhang¹⁹⁶ nur für den Begriff KMU eine Definition etabliert hat, für den Begriff Mittelstand jedoch nicht¹⁹⁷. Das Institut für Mittelstandsforschung IfM in Bonn bringt dies auf den Punkt und schreibt auf seiner Internetseite: „Eine allgemein anerkannte Definition des Mittelstandes gibt es nicht“¹⁹⁸. Selbst die Bundesregierung verzichtet für den Begriff Mittelstand im betriebswirtschaftlichen Zusammenhang auf eine Definition¹⁹⁹.

Für den Begriff KMU existieren im betriebswirtschaftlichen Zusammenhang dagegen etablierte Definitionen²⁰⁰, jedoch besteht die Problematik der unterschiedlichen quantitativen Eingrenzungen. So definiert beispielsweise das IfM Bonn abweichend von der Definition der EU-Kommission KMU als „alle unabhängigen Unternehmen mit weniger als 500 Beschäftigten und weniger als 50 Millionen € Jahresumsatz“²⁰¹. Der DIHK definiert KMU lediglich über die Mitarbeiterzahl, die bis zu 500 betragen darf²⁰².

193 Vgl. GÜNTERBERG (2012), S. 5. Die in der Quelle angegebenen Zahlen basieren auf einer Sonderauswertung des Unternehmensregister-Systems des Statistischen Bundesamts mit Auswertungsstichtag 30.04.2011. GÜNTERBERG (2012) gibt eine Prozentzahl von 99,5% für das Jahr 2009 an. Da in der gleichen Arbeit der Anteil der KMU für die Jahre 2004 bis 2009 um lediglich 0,1% schwankt (vgl. GÜNTERBERG (2012), S. 18) geht die Autorin der Dissertation davon aus, dass auch im aktuell betrachteten Jahr 2015 der Anteil der KMU an Unternehmen in Deutschland mehr als 99% beträgt.

194 Vgl. INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG IAW, INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT MANNHEIM IFM (2007), S. 11. Für nähere Ausführungen der volkswirtschaftlichen Bedeutung der KMU in Deutschland sei auf INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG IAW, INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT MANNHEIM IFM (2007), S. 11–12, verwiesen.

195 Vgl. z.B. die Arbeiten von BIRSCHENK et al. (2005), BÖS (2008) und DETTMERING et al. (2010) in Kapitel 1.2 der Dissertation sowie DEUTSCHER INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMERTAG E.V. (2012), S. 2.

196 Für den Begriff „Mittelstand“ existiert in der Soziologie eine etablierte Definition, die eine soziale Schicht bezeichnet; vgl. GEIGER (1930), S. 637–654; DAHRENDORF (1965), S. 94–115; GEIGER (1967), S. 77–138; GEISLER (2014), S. 153–155. Diese Definition hat sich jedoch in der Betriebswirtschaft nicht etabliert.

197 Verschiedene Definitionen des Begriffs Mittelstand in Deutschland werden ausführlich in GÜNTERBERG et al. (2002), S. 4–9, sowie in INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG IAW, INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT MANNHEIM IFM (2007), S. 12–16, beschrieben.

198 INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG BONN (2015).

199 Vgl. GÜNTERBERG et al. (2002), S. 3.

200 Vgl. dieses Kapitel oben.

201 GÜNTERBERG (2012), S. 174.

202 Vgl. DEUTSCHER INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMERTAG E.V. (2012), S. 1. Die Definition und Verwendung des Begriffs KMU beim DIHK wird von der Autorin der Dissertation kritisch beurteilt, da auch hier die Begriffe KMU und Mittelstand vermischt werden, vgl. z.B. DEUTSCHER INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMERTAG E.V. (2012), S. 2.

Aufgrund ihrer quantitativen Eindeutigkeit und der Empfehlung auf EU-weiter Ebene wird für die Dissertation die KMU-Definition der EU-Kommission übernommen²⁰³.

2.6 Produktion und Logistik

Die Bereiche Produktion und Logistik besitzen in Unternehmen einen starken Zusammenhang²⁰⁴. So wird Produktion im betriebswirtschaftlichen Sinn allgemein als die Umwandlung von eingebrachten Gütern in einem Unternehmen unter Berücksichtigung von Verfahrensweisen in ausbringfähige Güter bezeichnet²⁰⁵ und als Logistik wird die Steuerung der Material- und Informationsflüsse bezeichnet²⁰⁶.

Der Begriff Produktion wird in der Fachliteratur zur Produktion nicht einheitlich definiert²⁰⁷. Weiterhin differenzieren einige Autoren die Begriffe Produktion und Fertigung und beschreiben die Fertigung als Teilprozess der Produktion²⁰⁸. Auch taucht in der Fachliteratur zur Produktion teilweise der Begriff der industriellen Produktion auf²⁰⁹, welcher wiederum von einigen Autoren mit dem Begriff der industriellen Fertigung gleichgesetzt wird²¹⁰.

203 Vgl. dieses Kapitel oben. Für tiefere Diskussionen bezüglich der Begriffe Mittelstand und KMU sei auf GÜNTERBERG et al. (2002), S. 1–14, sowie INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG IAW, INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT MANNHEIM IFM (2007), S. 12–17, verwiesen.

204 Vgl. FLEISCHMANN (2008), S. 4; WENZEL et al. (2008), S. 1; GÜNTHER et al. (2014), S. 19.

205 Vgl. z.B. STEVEN (2007), S. 16; GÜNTHER et al. (2014), S. 6.

206 Vgl. z.B. GÜNTHER et al. (2014), S. 19.

207 So definieren WIENDAHL (1991), S. 25, KERN (1996), Sp. 1634, und KÜPPER et al. (2004), S. 5–6, Produktion recht allgemein als die Erstellung von Sachgütern. Etwas genauer definieren STEVEN (2007), S. 16, und GÜNTHER et al. (2014), S. 6, die Produktion als einen Vorgang, bei dem Einsatzgüter mittels eines Verfahrens zu Produkten umgewandelt werden. Für WESTKÄMPER et al. (2006), S. 24, ist die Produktion dagegen ein Prozess zur Herstellung, zum Erhalt und zum Recycling von Produkten; auf die Anwendung von Verfahrensweisen bei der Produktion verweist er nicht explizit. Zur ausführlichen Diskussion des Begriffs Produktion vgl. auch DANGELMAIER (2001), S. 3, sowie die darin genannten Quellen.

208 Vgl. KERN (1996), Sp. 1634–1635, und WESTKÄMPER et al. (2006), S. 24. Die Unterscheidung der Begriffe Produktion und Fertigung ähnelt einer anderen Abgrenzung, wie sie bei KÜPPER et al. (2004), S. 5–6, und THOMMEN et al. (2012), S. 343–344, zu finden ist; diese beiden Werke unterscheiden die Produktion im weiteren Sinn (Produktion i.w.S.) und im engeren Sinn (Produktion i.e.S.). Die Produktion i.w.S. ist bezüglich der Definition von KERN (1996) und WESTKÄMPER et al. (2006) mit dem Begriff der Produktion vergleichbar, die Produktion i.e.S. ist mit dem Begriff der Fertigung vergleichbar. Die Begriffe Produktion i.w.S. und Produktion i.e.S. werden in der Dissertation nicht übernommen. Zur Definition der Begriffe Produktion und Fertigung vgl. auch ZELEWSKI (1995a), S. 2–3.

209 Vgl. KERN (1992), S. 3; SCHWEITZER (1994), S. 573; GÜNTHER et al. (2014), S. 6.

210 Vgl. KERN (1992), S. 3; SCHWEITZER (1994), S. 573.

In der Dissertation wird der Begriff der Produktion im Sinne der industriellen Produktion verwendet. Produktion wird daher definiert als die systematische Erzeugung von Stückgütern in industriellen Unternehmen unter Einsatz von technischen Hilfsmitteln²¹¹. Diese Definition schließt die Erstellung von Dienstleistungen explizit aus²¹².

Der Begriff Logistik wird in der Fachliteratur zur Logistik ebenfalls unterschiedlich definiert²¹³. Weiterhin differenzieren einige Autoren die Logistik in Bezug auf den Materialfluss, wobei auch hier die Fachliteratur nicht einheitlich ist²¹⁴.

In der Dissertation wird im Bezug auf den Materialfluss der Bereich der Produktionslogistik²¹⁵ herausgegriffen, welcher die logistische Unterstützung des Produktionsprozesses bezeichnet²¹⁶.

Daher wird in der Dissertation Logistik definiert als die bedarfs- und termingerechte Versorgung der Produktion innerhalb eines Unternehmens mit Material und Informationen²¹⁷. Einschränkend bezieht sich die definierte Logistik ausschließlich auf die oben definierte industrielle Produktion.

211 Die Definition lehnt sich an GÜNTHER et al. (2014), S. 6, und GÜNTHER et al. (2014), S. 7, an.

212 WIENDAHL (1991), S. 25, SCHWEITZER (1994), S. 573, und KÜPPER et al. (2004), S. 5–6, schließen in die Produktion auch die Erstellung von Dienstleistungen ein. In der Dissertation wird die Produktion von Dienstleistungen nicht betrachtet. Der Grund dafür ist, dass die Prozess-Simulation von Dienstleistungen zwar zunehmend an Bedeutung gewinnt (vgl. DECKER et al. (2011)), jedoch aufgrund verschiedener Faktoren noch nicht die Reife der Prozess-Simulation von Stückgütern erreicht hat (vgl. DECKER et al. (2011), S. 49). Daher beschränkt sich die definierte Produktion und damit das zu erstellende Baukastensystem auf die Erzeugung von Stückgütern.

Zur Diskussion der Produktion von Dienstleistungen vgl. auch BODE et al. (1992).

213 SCHULTE (2013), S. 1, definiert Logistik als die Planung, Gestaltung, Abwicklung und Kontrolle von Material- und zugehörigen Informationsflüssen in einem Unternehmen, zu anderen Unternehmen sowie zum Kunden. FORTMANN et al. (2007), S. 20, definieren Logistik ähnlich, anstatt der Materialflüsse nennen sie jedoch Lagerungs- und Transportvorgänge und erweitern diese auch auf die Entsorgungsvorgänge. WESTKÄMPER et al. (2006) bleiben in ihrer Definition allgemeiner und nennen Logistik die „termingerechte Ver- und Entsorgung mit Material“; WESTKÄMPER et al. (2006), S. 20. Zur ausführlichen Diskussion des Begriffs Logistik vgl. auch PFOHL (2010), S. 12–14, sowie die darin enthaltenen Quellen.

214 FLEISCHMANN (2008), S. 5, unterscheidet die Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik, GUDEHUS (2012), S. 5, und SCHULTE (2013), S. 26, fügen dem noch die Entsorgungslogistik hinzu. In früherer Fachliteratur zur Logistik wird von einigen Autoren zusätzlich die Verkehrslogistik genannt (vgl. JÜNEMANN et al. (1989), S. 43–62, und WIENDAHL (1991), S. 28–29), wobei beide Werke Einschränkungen treffen. So schreiben JÜNEMANN et al. (1989), S. 44, dass nicht jeder Logistikbereich in jedem Unternehmen vorkommen muss, und WIENDAHL (1991), S. 29, weist explizit darauf hin, dass Produktionsunternehmen meist nicht über eine eigene Verkehrslogistik verfügen.

215 Die Produktionslogistik wird in der Fachliteratur zur Logistik auch als innerbetriebliche Logistik oder Intralogistik bezeichnet, vgl. ARNOLD (2006), S. 1; GÜNTHER (2006), S. 6; FORTMANN et al. (2007), S. 95; FLEISCHMANN (2008), S. 5; GUDEHUS (2012), S. 5.

216 Vgl. ARNDT (2015), S. 23.

217 Die Definition lehnt sich an GÜNTHER et al. (2014), S. 19, an.

Ansinnen der Logistik ist es, die logistischen Zielgrößen zu verbessern. Diese logistischen Zielgrößen benennen NYHUIS et al. (2012), S. 11, für Produktionsprozesse mit Termintreue, Durchlaufzeit, Leistung, Bestand und Kosten. Aus diesen Zielgrößen nennen NYHUIS et al. (2012), S. 2, speziell für die oben genannte Produktionslogistik als die wichtigsten Ziele der Logistik eine möglichst hohe Lieferfähigkeit sowie eine möglichst hohe Liefertreue, beides bei möglichst geringen Logistik- und Produktionskosten.

3 Entwicklung eines neuen Baukastensystems

3.1 Phasen der Entwicklung

Die Entwicklung des neuen Baukastensystems erfolgt mit Hilfe eines Vorgehensmodells; es wird das Wasserfallmodell gewählt²¹⁸. Das Vorgehensmodell wird in die Phasen Auswahl, Analyse und Realisierung gegliedert.

Die folgende Abbildung 15 visualisiert diese Phasen sowie die sich ergebenden Produkte²¹⁹.

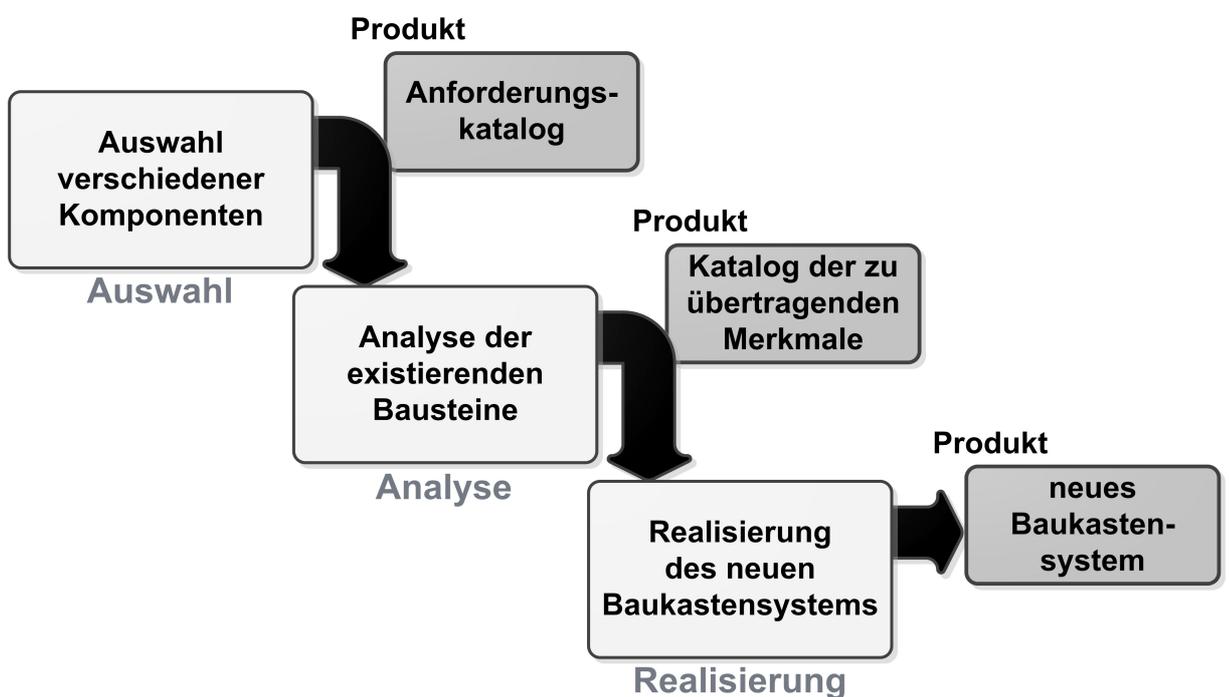


Abbildung 15: Wasserfallmodell zur Entwicklung des neuen Baukastensystems

²¹⁸ Das Wasserfallmodell ist ein Vorgehensmodell für Softwareentwicklungs-Projekte; vgl. BERNROIDER et al. (2006), S. 127. Das Wasserfallmodell wird insbesondere bei kleinen Projekten häufig genutzt; vgl. WIECZORREK et al. (2011), S. 115.

Das Wasserfallmodell wird für die Erstellung des Baukastensystems gewählt, da es ein sequenzielles, strukturiertes Vorgehen unterstützt und aufgrund der geringen Komplexität des Prozessmodells einfach anzuwenden ist; vgl. BERNROIDER et al. (2006), S. 127.

²¹⁹ Beim Wasserfallmodell wird die Entwicklung in Phasen unterteilt, wobei jede Phase mit einem Produkt abschließt.

3.2 Zusammenhang der Produkte Anforderungskatalog, Katalog der zu übertragenden Merkmale und neues Baukastensystem

Der Anforderungskatalog stellt das Produkt der Phase Auswahl²²⁰ dar. In dieser Phase Auswahl werden zum einen auf Basis von mit KMU geführten Experteninterviews die „Anforderungen aus der Praxis der KMU“ festgelegt. Zum anderen wird die Fachliteratur zum Einsatz der Prozess-Simulation in KMU²²¹ systematisch ausgewertet und es werden die „Anforderungen aus der Fachliteratur“ festgelegt. Anschließend werden die Anforderungen im Anforderungskatalog zusammengefasst. Dieser Anforderungskatalog bildet folglich sowohl die Anforderungen aus der Praxis der KMU als auch die Anforderungen aus der Fachliteratur zum Einsatz der Prozess-Simulation in KMU an das neue Baukastensystem ab.

Der Katalog der zu übertragenden Merkmale stellt das Produkt der Phase Analyse²²² dar. In dieser Phase Analyse wird die Fachliteratur zu Baukastensystemen²²³ analysiert und auf Basis dieser Analyse wird der „Katalog der zu übertragenden Merkmale“ erstellt. Dieser Katalog der zu übertragenden Merkmale bildet daher die „analysierte Fachliteratur zu Baukastensystemen“ ab.

Das neue Baukastensystem stellt das Produkt der Phase Realisierung²²⁴ dar. In dieser Phase Realisierung wird das neue Baukastensystem unter Berücksichtigung des Anforderungskatalogs und des Katalogs der zu übertragenden Merkmale realisiert. Dieses neue Baukastensystem kombiniert folglich die Anforderungen aus der Praxis der KMU, die Anforderungen aus der Fachliteratur zum Einsatz der Prozess-Simulation in KMU und die analysierte Fachliteratur zu Baukastensystemen.

3.3 Phase Auswahl

3.3.1 Teilschritte der Phase Auswahl

Die Phase Auswahl enthält mehrere Teilschritte.

220 Vgl. Kapitel 3.3.

221 Zur analysierten Fachliteratur vgl. Fn. 297, S. 80.

222 Vgl. Kapitel 3.4.

223 Zur analysierten Fachliteratur vgl. Fn. 320, S. 85.

224 Vgl. Kapitel 3.5.

Die folgenden Abbildung 16 zeigt diese Teilschritte.

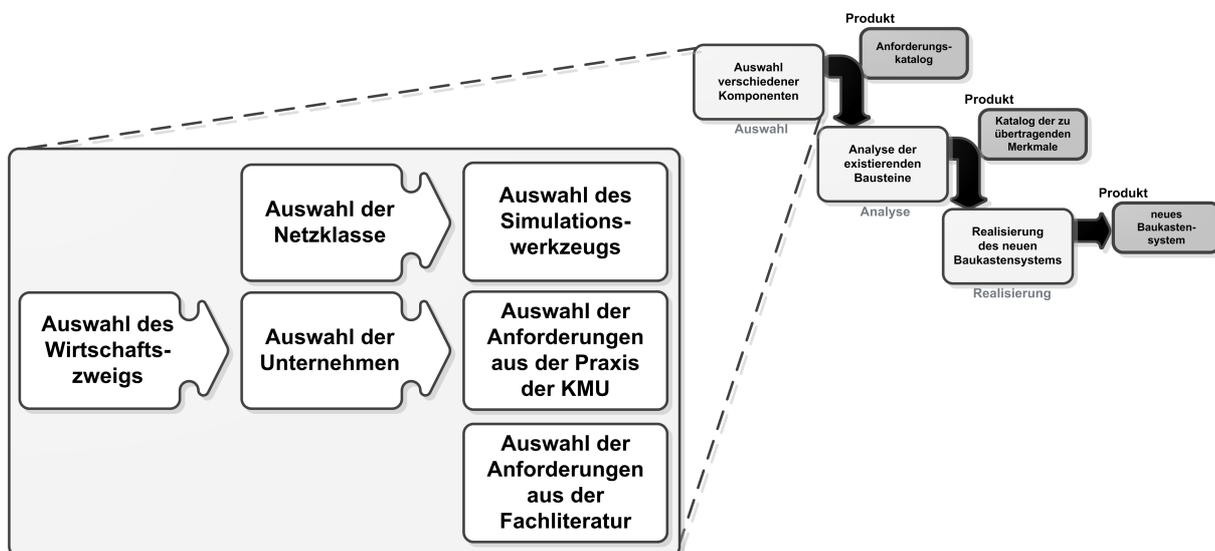


Abbildung 16: Teilschritte der Phase Auswahl

3.3.2 Auswahl der Netzklasse

Das Petrinetz-Konzept wird von verschiedenen Autoren als gut geeignet für die Modellierung in der Prozess-Simulation eingestuft²²⁵. Jedoch scheinen Vertreter der Elementaren Netze nur für kleine Systeme anwendbar zu sein²²⁶; daher wird für das zu erstellende Baukastensystem die Netzklasse der Höheren Netze gewählt, da deren Vertreter auch für komplexe Systeme eine kompakte Darstellung erlaubt²²⁷.

3.3.3 Auswahl des Simulationswerkzeugs

In diesem Kapitel erfolgt die Auswahl eines Simulationswerkzeugs, welches mit der Netzklasse der Höheren Netze arbeitet und für KMU geeignet ist. Als Basis für diese Auswahl wird die Petri Nets tool database²²⁸ gewählt.

225 ZELEWSKI (1996), S. 369, hält das Petrinetz-Konzept zur Modellierung von Prozessen geeignet, BECKER et al. (2000), S. 41, halten das Petrinetz-Konzept sowohl zur Modellierung komplexer Produktions- und Materialflusssysteme als auch zur Modellierung einzelner Maschinenkomponenten geeignet und VON UTHMANN (2001), S. 159, hält das Petrinetz-Konzept zur Modellierung von Geschäftsprozessen geeignet.

226 Vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 18; vgl. auch Kapitel 2.4.4.

227 Vgl. DESEL et al. (1996), S. 359.

228 Vgl. PETRI NETS WORLD (o.J.a).

Die dort angegebenen Simulationswerkzeuge werden zunächst nach Suchkriterien gefiltert. Die so ermittelten Simulationswerkzeuge werden anschließend einer Nutzwertanalyse (NWA)²²⁹ unterzogen, um die am besten geeignete Alternative zu bestimmen.

Im ersten Schritt erfolgt die Abfrage der Petri Nets tool database. Als Suchkriterien werden bei der Abfrage die Kriterien „Commercially“ sowie „High-level Petri Nets“ gewählt²³⁰. Die so ermittelten Simulationswerkzeuge sind Artifex, COSA BPM, ExSpect, GreatSPN, Kontinuum, MISTA, PACE, SPNP, SYROCO, TimeNET, GDToolkit, Income Suite und ALPHA/Sim²³¹.

Im nächsten Schritt werden diese Simulationswerkzeuge einer NWA unterzogen.

Zur Anwendung der NWA werden Zielkriterien festgelegt, anhand derer die Simulationswerkzeuge bewertet werden. Die Zielkriterien werden in zwei Kategorien A und B unterteilt. Die Kategorie A enthält K.o.-Kriterien. Die Kategorie B enthält Zielkriterien, anhand derer die Praxistauglichkeit der Simulationswerkzeuge in KMU in Deutschland bewertet wird. Die Zielkriterien der Kategorie B werden in Sub-Zielkriterien konkretisiert.

Als Zielkriterien der Kategorie A werden definiert²³²:

A1: Das Simulationswerkzeug wird aktuell vertrieben²³³.

A2: Die Anschaffungskosten des Simulationswerkzeugs betragen unter 5 TEUR netto²³⁴.

229 Die NWA ist ein systematisches Verfahren zur Entscheidungsfindung innerhalb der normativen Entscheidungstheorie; vgl. z.B. PFOHL et al. (1981), S. 274–277; BAMBERG et al. (2012), S. 58–59.

In der Dissertation wird die NWA nach PFOHL et al. (1981) angewendet, welche auf der Methodik von ZANGEMEISTER (1976) beruht (vgl. auch ZANGEMEISTER (2014)).

230 Bei der Abfrage unter <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/search.html> können verschiedene Suchkriterien ausgewählt werden. Bei der konkreten Abfrage am 13.06.2013 (vgl. Fn. 231, S.49) wurden die Suchkriterien (Commercially OR Commercially (discounts for academic institutions) OR Commercially (free for academic institutions)) AND High-level Petri Nets ausgewählt.

Die Petri Nets tool database gibt keine Definition, was unter dem Kriterium Commercially zu verstehen ist. Die Autorin der Dissertation interpretiert das Kriterium Commercially als gültig für Simulationswerkzeuge, welche von Unternehmen zu gewinnbringenden Zwecken genutzt werden dürfen. Ob für das Simulationswerkzeug von den Unternehmen Anschaffungskosten gezahlt werden müssen oder ob es sich um Freeware handelt, ist für diese Interpretation unerheblich.

231 Vgl. PETRI NETS WORLD (2013). Die Bezeichnungen der Simulationswerkzeuge wurden direkt übernommen.

232 Die Zielkriterien A2 und A3 leiten sich von den Ausführungen in Kapitel 1.3, Kapitel 1.4 und Kapitel 2.4.4 ab. Die in Kapitel 1.3 als erstes spezielles Erfordernis abgeleitete KMU-gerechte Auswahl und Ausgestaltung der Bausteine für das Baukastensystem ist erst in der Phase Realisierung (vgl. Kapitel 3.5) relevant und wird daher nicht als Zielkriterium übernommen.

233 Einige der Informationen in der Petri Nets tool database wurden bereits seit Jahren nicht mehr aktualisiert. Dies ist ersichtlich aus den bei jedem Simulationswerkzeug hinterlegten Datumseinträgen „Entry last updated“ und „Entry last validated“. Zur Überprüfung, ob die genannten Simulationswerkzeuge aktuell (zum 13.06.2013, vgl. PETRI NETS WORLD (2013)) vertrieben werden, wird das Zielkriterium A1 definiert.

234 Als zweites spezielles Erfordernis wurden in Kapitel 1.3 niedrige Anschaffungskosten für das Simulationswerkzeug abgeleitet. In Fn. 85, S. 17, wurde die Grenze, bei der ein KMU die Anschaffung eines Simulationswerkzeugs noch in Erwägung ziehen würde, auf etwa 5 TEUR geschätzt. Daher wird im Zielkriterium dieser Betrag von 5 TEUR als Grenze für die Anschaffungskosten definiert.

Die Anschaffungskosten im Zielkriterium A2 beziehen sich auf eine Einzelplatz-Lizenz des Simulationswerkzeugs, mit der die Simulation von Prozessen in uneingeschränktem Umfang möglich ist.

A3: Das Simulationswerkzeug verwendet auf der Benutzeroberfläche die Simulationssprache Petrinetze²³⁵.

Als Zielkriterien und Sub-Zielkriterien der Kategorie B werden definiert:

B1: Installationsunterstützung

B1.1: Es wird Installationsunterstützung (telefonisch oder per E-Mail) angeboten²³⁶.

B1.2: Die Installationsunterstützung ist garantiert²³⁷.

B1.3: Die Installationsunterstützung ist deutschsprachig²³⁸.

B2: Anwenderunterstützung

B2.1: Es wird Anwenderunterstützung (telefonisch oder per E-Mail) angeboten²³⁹.

B2.2: Die Anwenderunterstützung ist garantiert²⁴⁰.

B2.3: Die Anwenderunterstützung ist deutschsprachig²⁴¹.

B3: Schriftliche Dokumentation

B3.1: Eine schriftliche Dokumentation wird angeboten²⁴².

B3.2: Die schriftliche Dokumentation ist deutschsprachig²⁴³.

B4: Schulungen in Deutschland

B4.1: Schulungen in Deutschland werden angeboten²⁴⁴.

235 In Kapitel 1.4 wurde definiert, dass das Baukastensystem in einem Simulationswerkzeug erstellt wird, welches mit Petrinetzen arbeitet. In Kapitel 2.4.2 wurde der Begriff Petrinetze konkretisiert und für die verschiedenen Aspekte der Petrinetze wurden eigene Begriffe definiert. In Kapitel 2.4.4 wurde festgestellt, dass der Aspekt Modellierungssprache Petrinetze für den Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts von entscheidender Bedeutung ist. Daher wird als Zielkriterium die Verwendung der Modellierungssprache Petrinetze auf der Benutzeroberfläche definiert.

236 Wie bereits in Kapitel 1.3 erwähnt, verfügen KMU in der Regel nicht über eigene IT-Abteilungen. Für die Praxistauglichkeit des Simulationswerkzeugs für KMU ist daher die Unterstützung bei der Installation nach Einschätzung der Autorin der Dissertation ein entscheidende Kriterium, da ein KMU ohne diese Unterstützung von der Installation des Simulationswerkzeugs aufgrund fehlenden Know-hows in diesem Bereich eher absehen wird.

237 Unter einer garantierten Unterstützung versteht die Autorin der Dissertation eine vertraglich zugesicherte Unterstützung durch den Anbieter per E-Mail oder Telefon, welche i.d.R. über einen Supportvertrag abgedeckt wird und kostenpflichtig ist.

238 Nach Einschätzung der Autorin der Dissertation ist es ein wichtiges Kriterium, ob diese Unterstützung in deutscher Sprache erfolgt. Zwar kann davon ausgegangen werden dass viele Mitarbeiter in KMU Fremdsprachen verstehen und sprechen können, jedoch kann die Kenntnis von fremdsprachigen Fachbegriffen aus der Softwarewelt, welche für die Installation eines Simulationswerkzeugs nötig ist, nicht vorausgesetzt werden.

239 Vgl. Fn. 236, S. 50.

240 Vgl. Fn. 237, S. 50.

241 Es kann nach Meinung der Autorin der Dissertation nicht davon ausgegangen werden, dass Mitarbeitern von KMU Fachbegriffe der Prozess-Simulation sowie der Produktion und Logistik in Fremdsprachen geläufig sind; vgl. auch Fn. 238, S. 50.

242 Unter einer schriftlichen Dokumentation versteht die Autorin der Dissertation zum einen eine schriftliche Dokumentation zur Installation des Simulationswerkzeugs, zum anderen ein Handbuch zur Anwendung des Simulationswerkzeugs.

243 Vgl. Fn. 238, S. 50, und Fn. 241, S. 50.

244 Es ist von KMU in Deutschland nach Auffassung der Autorin der Dissertation aus Zeit- und Kostengründen kaum zu erwarten, für eine Schulung einen Ort im Ausland aufzusuchen.

Für das Kriterium B4.1 wurden nur Schulungen mit persönlich anwesenden Referenten berücksichtigt; E-Learning wurde folglich nicht berücksichtigt, da beim E-Learning kein Referent persönlich anwesend ist.

B4.2: Schulungen in Deutschland werden in deutscher Sprache abgehalten²⁴⁵.

Die beiden Kategorien A und B der Zielkriterien werden zur besseren Übersichtlichkeit in einer zweistufigen NWA bewertet.

In der ersten Stufe der NWA wird die Erfüllung der Zielkriterien der Kategorie A mit Hilfe einer Nominalskala bewertet. Die Erfüllung der Zielkriterien kann die Werte „erfüllt“ und „nicht erfüllt“ annehmen. Treffen diese beiden Werte nicht zu, wird der Wert „k.A.“ angegeben²⁴⁶.

Die folgende Tabelle 4 zeigt die Ergebnismatrix der ersten Stufe der NWA.

Simulationswerkzeug	A1: wird aktuell vertrieben	A2: Anschaffungskosten betragen unter 5 TEUR netto	A3: verwendet auf der Benutzeroberfläche die Modellierungssprache Petrinetze
Artifex	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt
COSA BPM	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
ExSpect	erfüllt	erfüllt	erfüllt
GreatSPN	erfüllt	k.A.	erfüllt
Kontinuum	k.A.	k.A.	nicht erfüllt
MISTA	erfüllt	erfüllt	erfüllt
PACE	erfüllt	erfüllt	erfüllt
SPNP	erfüllt	erfüllt	erfüllt
SYROCO	erfüllt	erfüllt	erfüllt
TimeNET	erfüllt	erfüllt	erfüllt
GDDToolkit	nicht erfüllt	k.A.	k.A.
Income Suite	nicht erfüllt	k.A.	k.A.
ALPHA/Sim	nicht erfüllt	k.A.	k.A.

Tabelle 4: Ergebnismatrix der ersten Stufe der Nutzwertanalyse

²⁴⁵ Vgl. Fn. 238, S. 50, und Fn. 241, S. 50.

²⁴⁶ Der Wert „k.A.“ wird angegeben, wenn entweder keine Auskunft vom Anbieter des Simulationswerkzeugs gegeben wurde oder aufgrund anderer Umstände keine Auskunft bezüglich der Erfüllung des Zielkriteriums möglich ist. Nähere Erläuterungen werden in Fn. 247, S. 52, gegeben.

Da die Kategorie A der Zielkriterien ausschließlich K.o.-Kriterien beinhaltet, entfällt eine Gewichtung dieser Zielkriterien. Auf eine Überführung der Ergebnismatrix in die Entscheidungsmatrix wird aufgrund der Einfachheit der Ergebnismatrix verzichtet. Alle diejenigen Simulationswerkzeuge, welche nicht alle drei Zielkriterien der Kategorie A sicher erfüllen, werden für die weiteren Betrachtungen ausgeschlossen²⁴⁷. Somit verbleiben für die zweite Stufe der NWA die Simulationswerkzeuge ExSpect, MISTA, PACE, SPNP, SYROCO und TimeNET.

In der zweiten Stufe der NWA wird die Erfüllung der Zielkriterien der Kategorie B mit Hilfe einer Nominalskala bewertet. Die Erfüllung der Zielkriterien kann die Werte „erfüllt“ und „nicht erfüllt“ annehmen.

²⁴⁷ Der Anbieter von GreatSPN machte auf Anfrage der Autorin der Dissertation keine Angaben über die Anschaffungskosten für Unternehmen, daher ist eine Bewertung des Zielkriteriums A1 für GreatSPN nicht möglich. Der Anbieter von Kontinuum zeigte auf mehrmalige Anfragen der Autorin der Dissertation keine Reaktion, daher ist eine Bewertung der Zielkriterien der Kategorie A für Kontinuum nicht möglich.

Der Anbieter von ALPHA/Sim sowie Hinweise auf den Vertrieb des Simulationswerkzeugs sind im Internet nicht mehr auffindbar. GDToolkit wurde laut dem Anbieter zum Zeitpunkt der Anfrage grundlegend überarbeitet, ein Zeitpunkt für neues Release konnte vom Anbieter nicht genannt werden. Die Income Suite wird laut dem Anbieter nicht mehr vertrieben. Die Zielkriterien A2 und A3 können für die drei Simulationswerkzeuge ALPHA/Sim, GDToolkit und Income Suite daher nicht bewertet werden.

Die fünf Simulationswerkzeuge GreatSPN, Kontinuum, ALPHA/Sim, GDToolkit und Income Suite werden für die weiteren Betrachtungen ausgeschlossen, da die Zielkriterien der Kategorie A nicht sicher erfüllt sind.

Die Informationen zu den Simulationswerkzeugen sowie die Quellen der Informationen sind in der Tabelle 10, S. 56, angegeben.

Die folgende Tabelle 5 zeigt die Ergebnismatrix der zweiten Stufe der NWA.

Simulationswerkzeug	B1: Installations-Unterstützung			B2: Anwendungs-Unterstützung			B3: schriftliche Dokumentation		B4: Schulungen in Deutschland	
	B1.1: angeboten	B1.2: garantiert	B1.3: deutschsprachig	B2.1: angeboten	B2.2: garantiert	B2.3: deutschsprachig	B3.1: angeboten	B3.2: deutschsprachig	B4.1: angeboten	B4.2: deutschsprachig
ExSpect	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
MISTA	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
PACE	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt
SPNP	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
SYROCO	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
TimeNET	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt

Tabelle 5: Ergebnismatrix der zweiten Stufe der Nutzwertanalyse

Die Zielkriterien und Sub-Zielkriterien der Kategorie B werden gewichtet²⁴⁸.

Die folgende Tabelle 6 zeigt diese Gewichtungen.

Gewichtungen Zielkriterien	B1: 30			B2: 40			B3: 20		B4: 10		$\Sigma = 100$
Gewichtungen Sub-Zielkriterien	B1.1: 40	B1.2: 40	B1.3: 20	B2.1: 40	B2.2: 40	B2.3: 20	B3.1: 60	B3.2: 40	B4.1: 60	B4.2: 40	
	$\Sigma = 100$			$\Sigma = 100$			$\Sigma = 100$		$\Sigma = 100$		

Tabelle 6: Gewichtungen der Zielkriterien und Sub-Zielkriterien der Kategorie B

Um die Ergebnismatrix in die Entscheidungsmatrix zu überführen, werden die Erfüllungsgrade anhand einer Zuordnungsvorschrift ersetzt.

²⁴⁸ Die Gewichtungen basieren auf den persönlichen Einschätzungen der Autorin der Dissertation aufgrund ihrer jahrelangen beruflichen Erfahrung. Eine höhere Punktzahl entspricht einer höheren Gewichtung.

Die folgende Tabelle 7 zeigt die Zuordnungsvorschrift.

Erfüllungsgrad	Punktwert
nicht erfüllt	0
erfüllt	1

Tabelle 7: Zuordnungsvorschrift zur Überführung der Ergebnismatrix in die Entscheidungsmatrix

Die folgende Tabelle 8 zeigt die sich ergebende Entscheidungsmatrix²⁴⁹.

Simulationswerkzeug	Summe B1.1-B1.3	Gewichtung B1	Ergebnis B1	Summe B2.1-B2.3	Gewichtung B2	Ergebnis B2	Summe B3.1-B3.2	Gewichtung B3	Ergebnis B3	Summe B4.1-B4.2	Gewichtung B4	Ergebnis B4	Zeilensumme
ExSpect	0	30	0	0	40	0	60	20	1200	0	10	0	1200
MISTA	40	30	1200	40	40	1600	60	20	1200	0	10	0	4000
PACE	100	30	3000	100	40	4000	100	20	2000	100	10	1000	10000
SPNP	40	30	1200	40	40	1600	60	20	1200	0	10	0	4000
SYROCO	0	30	0	0	40	0	60	20	1200	0	10	0	1200
TimeNET	80	30	2400	80	40	3200	60	20	1200	100	10	1000	7800

Tabelle 8: Ergebnismatrix zur Auswahl des Simulationswerkzeugs

²⁴⁹ Zunächst werden die Erfüllungsgrade der Ergebnismatrix (vgl. Tabelle 5, S. 53) anhand der Zuordnungsvorschrift (vgl. Tabelle 7, S. 54) in Punktwerte überführt. Anschließend werden diese Punktwerte mit den Gewichtungen (vgl. Tabelle 6, S. 53) multipliziert.

Aus der Ergebnismatrix wird das Simulationswerkzeug mit der höchsten Zeilensumme ausgewählt, da dieses die Zielkriterien am besten erfüllt. Die höchste Zeilensumme in der Ergebnismatrix weist mit 10000 Punkten das Simulationswerkzeug PACE²⁵⁰ aus. Dieses wird folglich für die Dissertation ausgewählt.

In den folgenden Tabellen 9 und 10 sind die Informationen zu den Simulationswerkzeugen sowie die Quellen der Informationen angegeben.

Simulationswerkzeug	Kommentar	Vertrieb durch
Artifex	ca. 70 TEUR netto	RSoft Design Group, Inc., Ossining, USA; in Deutschland durch OEC AG, München
COSA BPM	ca. 25 TEUR netto	PASS BPM Solutions Deutschland GmbH, Köln
ExSpect	Freeware	AIS group, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Niederlande
GreatSPN	k.A.	Dipartimento di Informatica, Università di Torino and Dipartimento di Informatica, Università del Piemonte Orientale, Alessandria, Italien
Kontinuum	k.A.	Web and Flo Pty Ltd, Melbourne, Australien
MISTA	3.785,- EUR netto	D. Xu, Dakota State University, Madison, USA
PACE	2.480,- EUR netto	IBE Simulation Engineering GmbH, Glonn
SPNP	3.632,- EUR netto	K. S. Trivedi, DUKE University, Durham, USA
SYROCO	Freeware	C. Sibertin-Blanc, IRIT, University Toulouse 1 - Capitole, Toulouse, Frankreich
TimeNET	1.000,- EUR netto	System and Software Engineering group at Technische Universität Ilmenau, Ilmenau
GDTToolkit	wird derzeit überarbeitet	GDTToolkit team, Universita' di Roma Tre, Roma, Italien
Income Suite	Vertrieb eingestellt	ehemals SYNLOGIC AG, Allschwil, Schweiz
ALPHA/Sim	nicht mehr auffindbar	ehemals ALPHATECH Inc., Burlington, USA

Tabelle 9: Informationen und Quellen zur Auswahl des Simulationswerkzeugs (Teil 1)

²⁵⁰ PACE verwendet den Netztyp der Attribuierten Petrinetze, welcher ein Vertreter der Höheren Netze sind. Attribuiert bedeutet, dass die Eigenschaften von Marken, die durch das Simulationsmodell transportiert werden, als „Attribute“ an die jeweilige Marke „angeheftet“ werden. Die wichtigsten Eigenschaften der Attribuierten Petrinetze sind laut EICHENAUER (2008) „Attributierung von Marken, Inskribierung von Transitionen und Konnektoren, Hierarchiebildung, Modellierung der Zeit, Inhibierte Konnektoren, Globale Variablen, Zugang zu den Marken einer Stelle, Kapazitätsbeschränkungen für Stellen, Extra-Codes [...]“; EICHENAUER (2008), S. 3–4.

Attribuierte Petrinetze wurden von EICHENAUER in verschiedenen Artikeln genannt, bisher jedoch wissenschaftlich nicht explizit eingeführt. Erstmals beschreibt EICHENAUER (1997) die Eigenschaften der Attribuierten Petrinetze in einem (wissenschaftlich nicht publizierten) Artikel. In EICHENAUER (2004), S. 323, und EICHENAUER et al. (2003), o.S., wurde die Bezeichnung „Attribuierte Petrinetze“ dann in publizierten Beiträgen verwendet.

Simulationswerkzeug	Quelle Informationen	Internet
Artifex	FÖDISCH (2013)	http://www.rsoftdesign.com/products.php?sub=System+and+Network&itm=Artifex http://www.oec.net/optik-design-software/rsoft/
COSA BPM	KNOCHE (2012)	http://www.pass-bpmsolutions.de/business_process_management_bpm.html
ExSpect	o.V. (2013)	http://www.exspect.com
GreatSPN	keine Reaktion	http://www.di.unito.it/~greatspn/index.html
Kontinuum	keine Reaktion	http://www.webandflo.com.au/
MISTA	XU (2013)	http://www.homepages.dsu.edu/dxu/research/MBT.html
PACE	IBE SIMULATION ENGINEERING GMBH (2013)	http://www.ibe-pace.de
SPNP	TRIVEDI (2013)	http://www.ee.duke.edu/~kst/
SYROCO	SIBERTIN-BLANC (2013)	http://w3.univ-tlse1.fr/irit/soc/coo/Syroco.html
TimeNET	ZIMMERMANN (2013)	http://www.tu-ilmenau.de/TimeNET
GDTToolkit	PATRIGNANI (2013)	http://www.dia.uniroma3.it/~gdt/
Income Suite	LEBSANFT (2012)	--
ALPHA/Sim	Internet-Recherche am 13.07.2013	--

Tabelle 10: Informationen und Quellen zur Auswahl des Simulationswerkzeugs (Teil 2)

3.3.4 Auswahl des Wirtschaftszweigs

In diesem Kapitel erfolgt die Auswahl des Wirtschaftszweigs, für deren Unternehmen das Baukastensystem erstellt werden soll. Die Auswahl des Wirtschaftszweigs wird basierend auf der Gliederung der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes Deutschlands getroffen²⁵¹.

Wie in Kapitel 2.6 festgelegt, beschränkt sich die Dissertation auf die industrielle Produktion. Diese industrielle Produktion wird in der Gliederung der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes dem Abschnitt C zugeordnet, welcher das Verarbeitende Gewerbe enthält. Die Auswahl des Wirtschaftszweigs erfolgt daher aus dem Abschnitt C.

Der Abschnitt C wird vom Statistischen Bundesamt weiter untergliedert in verschiedene Abteilungen²⁵². Aus diesen wird eine Abteilung ausgewählt. Als Auswahlkriterium für die Abteilung wird die Anzahl der Unternehmen in den einzelnen Abteilungen im Abschnitt C herangezogen; diese Anzahl der Unternehmen soll möglichst hoch sein, um eine möglichst große Anzahl von Unternehmen mit dem Baukastensystem erreichen zu können. Die meisten Unternehmen des Abschnitts C gehörten im Jahr 2012 mit 41992 Unternehmen der Abteilung C25 an²⁵³. Daher wird diese Abteilung C25, welche die Herstellung von Metallzeugnissen repräsentiert, in der Dissertation als Wirtschaftszweig ausgewählt.

3.3.5 Auswahl der Unternehmen

In diesem Kapitel erfolgt die Auswahl der Unternehmen, mit denen für die Auswahl der Anforderungen aus der Praxis der KMU²⁵⁴ zusammengearbeitet werden soll. Die ausgewählten Unternehmen müssen aus der Grundgesamtheit der KMU stammen und der Abteilung C25 zugehören²⁵⁵. Ziel der Zusammenarbeit mit den Unternehmen ist es, die Praxisnähe und somit die betriebswirtschaftliche Relevanz des Baukastensystems zu erhöhen.

251 Vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT (2008).

252 Vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT (2008), S. 186–333. Die Wirtschaftszweige werden nach dem Statistischen Bundesamt in Ebenen gegliedert, wobei die Reihenfolge (absteigend, also detaillierend) Abschnitt, Abteilung, Gruppe, Klasse, Unterklasse eingehalten wird; vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT (2008), S. 59. In der Dissertation wird der Wirtschaftszweig auf der Ebene der Abteilung festgelegt.

253 Vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT (2014), S. 504. Dies waren die aktuellsten Zahlen, die zum Zeitpunkt der Auswahl des Wirtschaftszweigs in der Dissertation zugänglich waren.

254 Vgl. Kapitel 3.3.6.

255 Vgl. Kapitel 3.3.4.

Als erstes Unternehmen wurde die Max und Franz Heiland GmbH²⁵⁶ ausgewählt. Das Unternehmen beschäftigt ca. 20 fest angestellte Mitarbeiter sowie ca. 10 Aushilfen, die Jahresbilanzsumme beträgt weniger als 10 Mio. EUR²⁵⁷. Damit fällt das Unternehmen in die Kategorie der kleinen Unternehmen²⁵⁸.

Als zweites Unternehmen wurde die A. Zilske Präzisionsmechanik GmbH²⁵⁹ ausgewählt. Das Unternehmen beschäftigt zwei fest angestellte Mitarbeiter sowie einige Aushilfen, die Jahresbilanzsumme beträgt weniger als 2 Mio. EUR²⁶⁰. Damit fällt das Unternehmen in die Kategorie der Kleinstunternehmen²⁶¹.

Als drittes Unternehmen wurde die Feinmechanische Werkstätte Thomas Markl GmbH²⁶² ausgewählt. Das Unternehmen beschäftigt 24 angestellte Mitarbeiter inklusive Auszubildender und Aushilfen, die Jahresbilanzsumme beträgt weniger als 10 Mio. EUR²⁶³. Damit fällt das Unternehmen in die Kategorie der kleinen Unternehmen.

256 Geschwister-Scholl-Straße 29, 82008 Unterhaching. Im Folgenden wird das Unternehmen kurz als „Heiland“ bezeichnet.

257 Bei Heiland reicht das Geschäftsjahr jeweils vom 01.01. bis zum 31.12. eines Kalenderjahres. Im Geschäftsjahr 2009 lag die Bilanzsumme bei 626.995,56 EUR, im Geschäftsjahr 2010 bei 798.686,19 EUR, im Geschäftsjahr 2011 bei 978.103,32 EUR, im Geschäftsjahr 2012 bei 1.382.603,67 EUR, im Geschäftsjahr 2013 bei 1.937.813,93 EUR und im Geschäftsjahr 2014 bei 2.362.383,02 EUR; vgl. BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2011b); BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2013b); BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2014b); BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2015b).

258 Zur Definition von kleinen Unternehmen vgl. Fn. 258, S. 58.

259 Hochstraße 37, 82024 Taufkirchen. Im Folgenden wird das Unternehmen kurz als Zilske bezeichnet.

260 Bei Zilske reicht das Geschäftsjahr jeweils vom 01.10. des 1. Jahres bis zum 30.09. des 2. Jahres. Im Folgenden ist als Geschäftsjahr bei Zilske jeweils das Jahr des 2. Jahres angegeben.

Im Geschäftsjahr 2009 lag die Bilanzsumme bei 564.211,57 EUR, im Geschäftsjahr 2010 bei 676.262,33 EUR, im Geschäftsjahr 2011 bei 442.103,85 EUR und im Geschäftsjahr 2012 bei 609.013,15 EUR; vgl. BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2010); BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2011a); BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2012a); BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2013a). Weder für das Geschäftsjahr 2013, noch für das Geschäftsjahr 2014, in dem das Interview geführt wurde, wurden bisher Bilanzen veröffentlicht. Die Autorin der Dissertation geht aufgrund der Entwicklung der Bilanzsumme der vergangenen Jahre jedoch davon aus, dass die Bilanzsumme auch im Geschäftsjahr 2014 weniger als 2 Mio. EUR betragen hat.

261 Zur Definition von Kleinstunternehmen vgl. Fn. 258, S. 58.

262 Raiffeisenallee 12, 82041 Deisenhofen. Im Folgenden wird das Unternehmen kurz als Markl bezeichnet.

263 Bei Markl reicht das Geschäftsjahr jeweils vom 01.01. bis zum 31.12. eines Kalenderjahres.

Im Geschäftsjahr 2009 lag die Bilanzsumme bei 1.286.075,03 EUR, im Geschäftsjahr 2010 bei 1.344.356,56 EUR, im Geschäftsjahr 2011 bei 1.456.340,67 EUR, im Geschäftsjahr 2012 bei 2.017.396,14 EUR und im Geschäftsjahr 2013 bei 1.524.844,24 EUR; vgl. BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2012b); BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2014a); BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2015a). Die Bilanzsumme für das Geschäftsjahr 2014, in dem das Interview geführt wurde, wurde bisher nicht veröffentlicht. Wenngleich die Bilanzsumme über die Geschäftsjahre eine stetig steigende Tendenz aufweist, geht die Autorin der Dissertation davon aus, dass die Bilanzsumme auch im Jahr 2014 weniger als 10 Mio. EUR betragen hat.

3.3.6 Auswahl der Anforderungen aus der Praxis der KMU

Im nächsten Schritt erfolgte in Zusammenarbeit mit den Unternehmen die Auswahl der „Anforderungen aus der Praxis der KMU“²⁶⁴, die das neue Baukastensystem erfüllen soll.

Dazu wurden Vor-Ort-Termine bei den Unternehmen durchgeführt. Die Vor-Ort-Termine bestanden aus einer Befragung der für die Produktion verantwortlichen Mitarbeiter des Unternehmens²⁶⁵ sowie einer anschließenden Besichtigung der Produktion²⁶⁶. Die Befragung der verantwortlichen Mitarbeiter wurde mittels Experteninterviews²⁶⁷ durchgeführt, wobei als Erhebungsinstrument das Leitfadeninterview²⁶⁸ genutzt wurde. Der entwickelte Leitfaden sowie die protokollierten Interviews²⁶⁹ sind als Dokumente RUDEL (2014a), RUDEL (2014b), RUDEL (2014c) und RUDEL (2014d) im Anhang abgedruckt.

264 Als Anforderungen werden in der Dissertation in Anlehnung an PARTSCH (2010), S. 25, zu erfüllenden Eigenschaften des Produkts Baukastensystem definiert. Ausführlich wird die Definition von Anforderungen in PARTSCH (2010), S. 25–34, beschrieben.

Die „Anforderungen aus der Praxis der KMU“ werden im weiteren Verlauf kurz als „Anforderungen Praxis“ bezeichnet.

265 Die verantwortlichen Mitarbeiter waren Produktionsleiter oder Geschäftsführer. Diese verantwortlichen Mitarbeiter werden von der Autorin der Dissertation als Experten auf dem Gebiet der Herstellung von Metallerzeugnissen im verarbeitenden Gewerbe speziell in KMU angesehen.

In der Dissertation wird ein Experte definiert als eine Person, die über Fachwissen auf dem betreffenden Gebiet verfügt. Dieses Fachwissen muss durch Ausbildung in dem betreffenden Gebiet kombiniert mit mehrjähriger Berufserfahrung in dem betreffenden oder einem artverwandten Gebiet erworben worden sein. Eine ausführliche Diskussion des Begriffs Experte gibt MEUSER et al. (2009), S. 466–470.

266 Die Besichtigung des Unternehmens diente dem Kennenlernen des Produktionsprozesses des Unternehmens. Für die Dissertation relevante Aspekte wurden während der Besichtigung ebenfalls protokolliert.

267 Das Experteninterview wurde gewählt, da es bei der Befragung von Experten die am häufigsten genutzte Methode ist; vgl. MEUSER et al. (2009), S. 465; LAMNEK et al. (2010), S. 655.

Ausführlich dargestellt wird das Experteninterview in MEUSER et al. (1991), S. 441–471; PRZYBORSKI et al. (2008), S. 131–138; MEUSER et al. (2009); LAMNEK et al. (2010), S. 655–658.

268 Das Leitfadeninterview wird in der sozialwissenschaftlichen Fachliteratur auch als offenes Leitfadeninterview bezeichnet, vgl. PRZYBORSKI et al. (2008), S. 138; MEUSER et al. (2009), S. 472. In der Dissertation wird auf den Zusatz „offen“ im Folgenden verzichtet.

Das Leitfadeninterview wurde für die Dissertation ausgewählt, da es von MEUSER et al. (2009), S. 472, als passendes Erhebungsinstrument für ein Experteninterview angesehen wird.

Der Aufbau des Leitfadens wurde auf Basis der Empfehlungen in PRZYBORSKI et al. (2008), S. 140–144, erarbeitet. Die Inhalte orientieren sich an den von NYHUIS et al. (2012), S. 1–6 sowie 9–11, genannten logistischen Zielgrößen und an dem erarbeiteten Fragebogen in FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 546–576, dort insbesondere an der Frage 21 auf S. 557, sowie der Frage 28 auf S. 562. Die hier genannten Quellen wurden in dem erarbeiteten Leitfaden nicht vermerkt.

269 Die Interviews sowie die anschließende Besichtigung der Produktion wurden vor Ort handschriftlich protokolliert und nach dem Interview elektronisch erfasst. Bei der elektronischen Erfassung wurden kleine, formelle Änderungen vorgenommen, wie die Behebung von Rechtschreibfehlern sowie das Ausschreiben von verwendeten Abkürzungen. Inhaltlich wurden die Aussagen der Interviewpartner in keiner Weise verändert. In den Anhang der Dissertation wurden lediglich die drei elektronisch erfassten Interviews eingefügt.

Die Auswertung der protokollierten Interviews erfolgte nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010)²⁷⁰. Diese Methode sieht ein Ablaufmodell²⁷¹ vor, welches in der folgenden Abbildung 17 visualisiert ist.

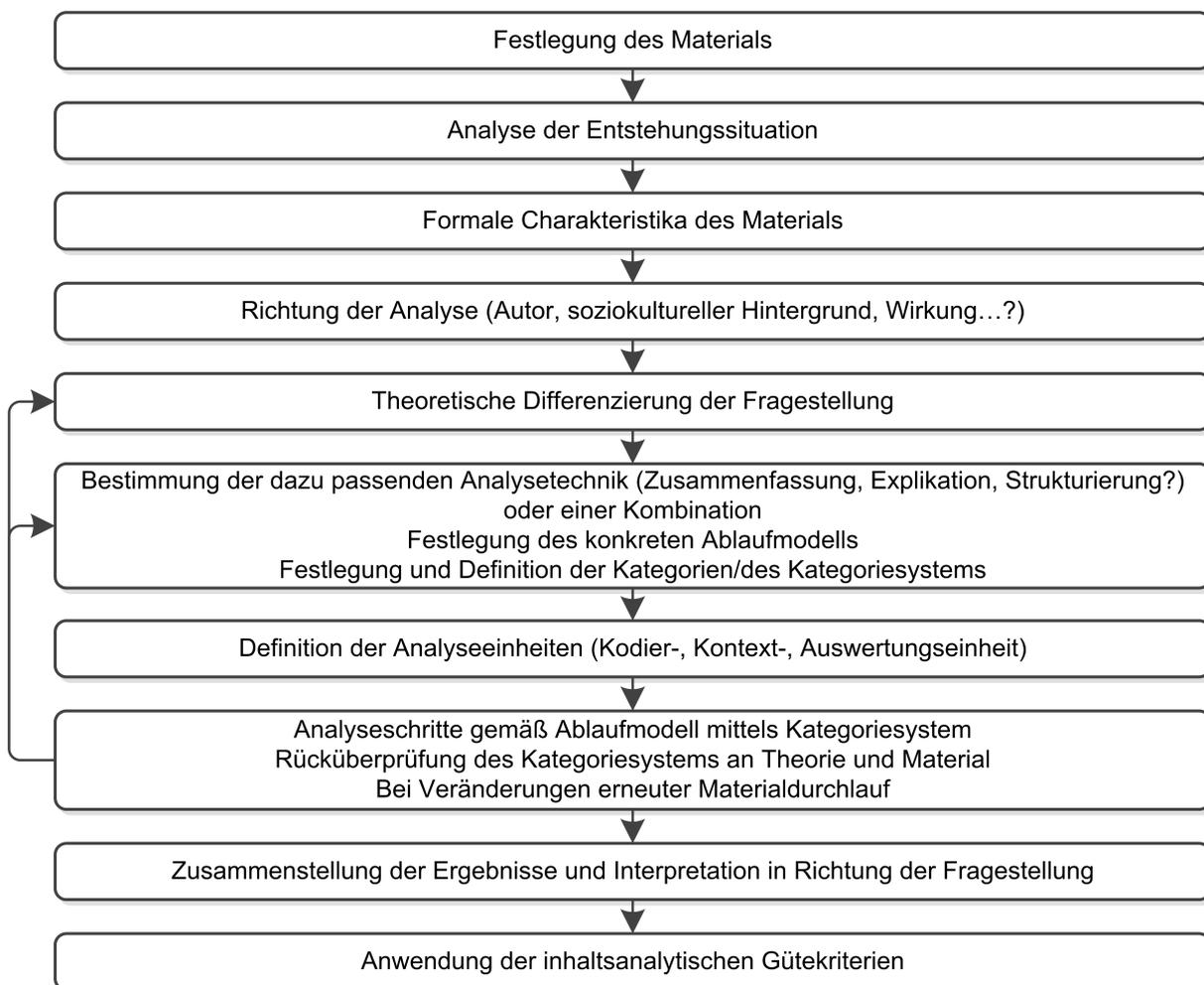


Abbildung 17: Allgemeines inhaltsanalytisches Ablaufmodell (MAYRING (2010), S. 60)

Im Folgenden wird das allgemeine inhaltsanalytische Ablaufmodell auf die protokollierten Interviews angewendet.

270 Vgl. MAYRING (2010), S. 48–109. Die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) wird ausgewählt, da es sich dabei, im Gegensatz zu der weit verbreiteten „freien Interpretation“ (GLÄSER et al. (2010), S. 45), um ein systematisches Verfahren zur Auswertung von Experteninterviews handelt; vgl. GLÄSER et al. (2010), S. 46. Des Weiteren ist die qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) im deutschsprachigen Raum etabliert und findet häufig Verwendung; vgl. STEIGLEDER (2007), S. 11.

271 MAYRING (2010), S. 60. Das Ablaufmodell wird von MAYRING (2010) als allgemeines inhaltsanalytisches Ablaufmodell bezeichnet. Diese Bezeichnung wird im Folgenden übernommen.

Festlegung des Materials

Die befragten Unternehmen stammen aus der Grundgesamtheit der KMU des verarbeitenden Gewerbes, welche Metallerteugnisse herstellen²⁷². Die Auswahl der Unternehmen aus dieser Grundgesamtheit erfolgte geographisch unter ökonomischen Gesichtspunkten²⁷³ mit Hilfe einer Internet-Recherche. Es ergab sich eine Auswahl von 11 Unternehmen, welche telefonisch kontaktiert wurden. 3 der 11 kontaktierten Unternehmen waren bereit, an einem Interview teilzunehmen. Diese 3 Unternehmen wurden als Stichprobe ausgewählt²⁷⁴.

Analyse der Entstehungssituation

Die Termine für die Interviews wurden im Vorfeld telefonisch vereinbart und wurden jeweils vor Ort bei den Unternehmen mittels persönlicher Befragung durch die Autorin der Dissertation durchgeführt. Der zeitliche Umfang für die Befragung lag bei jeweils etwa 1 Stunde, die anschließende Besichtigung der Produktion umfasste jeweils etwa weitere 20 Minuten.

Formale Charakteristika des Materials

Die Antworten der Gesprächspartner wurden während des Interviews schriftlich in Stichpunkten protokolliert; auf Tonbandaufzeichnung wurde verzichtet. Pausen, Betonungen sowie Befindlichkeiten des Interviewpartners wurden nicht protokolliert.

Richtung der Analyse (Autor, soziokultureller Hintergrund, Wirkung ...?)

Es wird lediglich der protokollierte Text analysiert, da Befindlichkeiten sowie Handlungshintergründe der Interviewpartner nicht protokolliert wurden.

Die Analyse orientiert sich an den folgenden Leitfragen L1 bis L3:

- L1: Welche Ausrichtung soll die Prozess-Simulation haben?
- L2: Welche Bausteine sollten in dem Simulationswerkzeug vorhanden sein?
- L3: Welche Vorbehalte existieren gegen die Prozess-Simulation und Simulationswerkzeuge im Speziellen, welche Bedingungen lassen sich daraus ableiten? Welche Rahmenbedingungen sollen erfüllt werden?

272 Vgl. Kapitel 3.3.4.

273 Die Unternehmen wurden rund um den Wohnort der Autorin der Dissertation ausgewählt, um die Kosten und die Zeit für die Anfahrt zu den Unternehmen möglichst gering zu halten.

274 Die so ausgewählten Unternehmen stellen keine repräsentative Stichprobe aus der Grundgesamtheit dar. Vielmehr ist die Stichprobe eine Auswahl der im Internet mit eigener Homepage vertretenen KMU des verarbeitenden Gewerbes, welche Metallerteugnisse herstellen, im geographischen Bereich des Münchner Südens rund um den Wohnort der Autorin der Dissertation.

Die Auswirkungen dieser nicht repräsentativ ausgewählten Stichprobe auf die Ergebnisse der Dissertation werden im Kapitel 5.2 diskutiert.

Theoretische Differenzierung der Fragestellung

Bisher wurden die Bedürfnisse der KMU in Produktion und Logistik in Bezug auf Prozess-Simulation nicht explizit vor der Erstellung eines Baukastensystems mittels eines Interviews erfragt. Diese Lücke schließen die geführten Interviews. Im Projekt simKMU wurden zwar Interviews mit den späteren Anwendern geführt, allerdings sind diese Interviews für die Dissertation nicht verwendbar, da erstens nicht explizit KMU aus Produktion und Logistik befragt wurden, vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 546, und zweitens nicht explizit auf Prozess-Simulation, sondern Simulation allgemein befragt wurde, vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 549.

Bestimmung der dazu passenden Analysetechnik (Zusammenfassung, Explikation, Strukturierung?) oder einer Kombination

Es wird die Technik der Strukturierung²⁷⁵ und daraus konkret die inhaltliche Strukturierung²⁷⁶ gewählt.

Festlegung des konkreten Ablaufmodells

Die inhaltliche Strukturierung folgt einem eigenen Ablaufmodell²⁷⁷.

²⁷⁵ Neben der Technik der Strukturierung nennt MAYRING (2010) noch die Technik der Zusammenfassung und die Technik der Explikation; vgl. MAYRING (2010), S. 67–93. Die Technik der Strukturierung ist nach Abwägung der genannten Alternativen nach Einschätzung der Autorin der Dissertation im vorliegenden Fall am besten geeignet.

²⁷⁶ Neben der inhaltlichen Strukturierung nennt MAYRING (2010) noch die formale Strukturierung, die typisierende Strukturierung sowie die skalierende Strukturierung; vgl. MAYRING (2010), S. 94–109. Die Analysetechnik der inhaltlichen Strukturierung ist nach Abwägung der genannten Alternativen nach Einschätzung der Autorin der Dissertation im vorliegenden Fall am besten geeignet.

²⁷⁷ Vgl. MAYRING (2010), S. 98. Der Schritt „Festlegung und Definition der Kategorien des Categoriesystems“ (vgl. Abbildung 17, S. 60) des allgemeinen inhaltsanalytischen Ablaufmodells überschneidet sich mit den Schritten 2 und 3 des Ablaufmodells der inhaltlichen Strukturierung. In der Dissertation werden die Kategorien des Categoriesystems im Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung festgelegt.

In der folgenden Abbildung 18 ist der Übergang vom allgemeinen inhaltsanalytischen Ablaufmodell zum Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung visualisiert²⁷⁸.

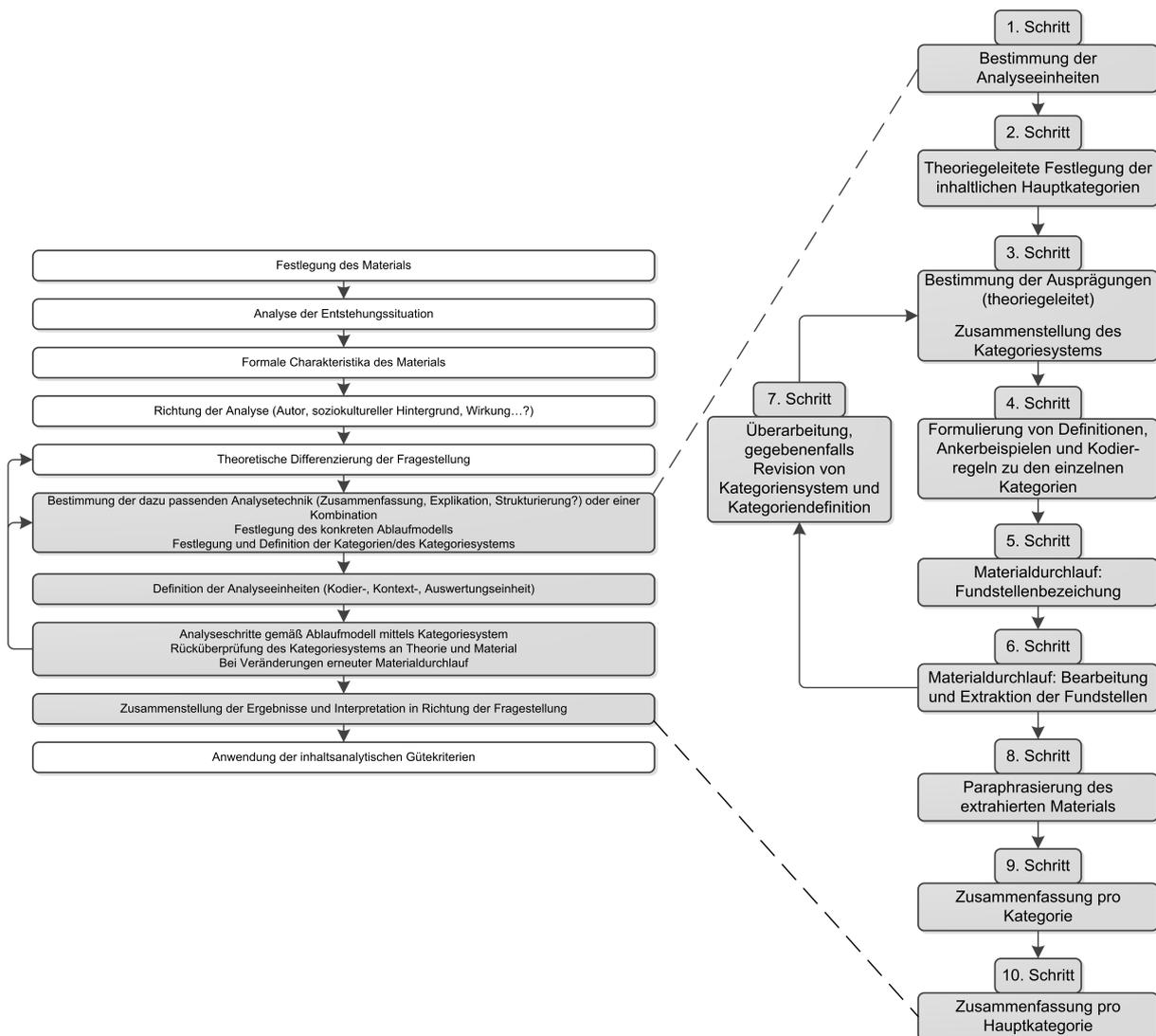


Abbildung 18: Übergang vom allgemeinen inhaltsanalytischen Ablaufmodell zum Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung (MAYRING (2010), S. 99 in Kombination mit MAYRING (2010), S. 93)

Im Folgenden wird das Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung auf die protokollierten Interviews angewendet.

278 MAYRING (2010), S. 99 in Kombination mit MAYRING (2010), S. 93.

1. Schritt: Bestimmung der Analyseeinheiten

Kodiereinheit: Wort

Kontexteinheit: Satz

Auswertungseinheit: Die drei protokollierten Interviews werden chronologisch in der Reihenfolge ihrer Erhebung analysiert, das heißt, als erstes wird das Interview Heiland²⁷⁹, als zweites wird das Interview Zilske²⁸⁰ und als drittes wird das Interview Markl²⁸¹ analysiert. Jedes protokollierte Interview durchläuft zunächst gegebenenfalls mehrere Analysedurchgänge²⁸², bevor das nächste protokollierte Interview ausgewertet wird.

2. Schritt: Theoriegeleitete Festlegung der inhaltlichen Hauptkategorien

Die Hauptkategorien werden aus den Leitfragen L1 bis L3 abgeleitet²⁸³:

- Ausrichtung
- Bausteine
- Bedingungen

3. Schritt: Bestimmung der Ausprägungen (theoriegeleitet), Zusammenstellung des Kategoriensystems

Zu den Hauptkategorien werden Unterkategorien festgelegt. Es ergibt sich das folgende hierarchische Kategoriensystem²⁸⁴:

- Ausrichtung
 - was soll simuliert werden
 - erwarteter Erkenntnisgewinn
- Bausteine
- Bedingungen
 - Vorbehalte
 - Rahmenbedingungen

279 Dieses wurde am 27.03.2014 am Vormittag geführt.

280 Dieses wurde am 27.03.2014 am Nachmittag geführt.

281 Dieses wurde am 22.05.2014 geführt.

282 Je Kodierung erfolgt ein Analysedurchgang. Die Kodierungen werden erst später im Kodierleitfaden (basierend auf dem festgelegten Kategoriensystem) im 3. und 4. Schritt des Ablaufmodells festgelegt; vgl. ab S. 64.

283 Vgl. Richtung der Analyse (Autor, soziokultureller Hintergrund, Wirkung ...?), S. 61.

284 Im Folgenden wird das hierarchische Kategoriensystem kurz als Kategoriensystem bezeichnet.

Es wird zunächst ein Probedurchlauf mit diesem Categoriesystem durchgeführt. Dabei stellt sich heraus, dass das gewählte Unterkategoriesystem der Hauptkategorie „Ausrichtung“ zu detailliert ist. Die Schritte 4 bis 6 des Probelaufs werden aufgrund des erheblichen, nicht zu rechtfertigenden Aufwands nicht dokumentiert.

4. Schritt: Formulierung von Definitionen, Ankerbeispielen und Kodierregeln zu den einzelnen Kategorien

Dieser 4. Schritt wird für den Probedurchlauf nicht dokumentiert.

5. Schritt: Materialdurchlauf: Fundstellenbezeichnung

Dieser 5. Schritt wird für den Probedurchlauf nicht dokumentiert.

6. Schritt: Materialdurchlauf: Bearbeitung und Extraktion der Fundstellen

Dieser 6. Schritt wird für den Probedurchlauf nicht dokumentiert.

7. Schritt: Überarbeitung, gegebenenfalls Revision von Kategoriensystem und Kategorieendefinition

Es erfolgt die Rückschleife zum 3. Schritt zur Überarbeitung des Kategoriensystems.

3. Schritt: Bestimmung der Ausprägungen (theoriegeleitet), Zusammenstellung des Categoriesystems

Zu den Hauptkategorien werden teilweise Unterkategorien festgelegt. Es ergibt sich das folgende Categoriesystem:

- Ausrichtung
- Bausteine
- Bedingungen
 - Vorbehalte
 - Rahmenbedingungen

4. Schritt: Formulierung von Definitionen, Ankerbeispielen und Kodierregeln zu den einzelnen Kategorien

Zu dem Categoriesystem wird ein Kodierleitfaden erstellt.

Die folgende Tabelle 11 zeigt den erstellten Kodierleitfaden²⁸⁵.

Hauptkategorie	Unterkategorie	Kodierung	Definition	Ankerbeispiel	Kodierregel
Ausrichtung	--	Ausrichtung	mögliche Ausrichtung der Prozess-Simulation	„zugesagte Termine halten können“ (H4.1) „Plantafel plant keine Mitarbeiter“ (M4.5)	wenn im Interview eine Aussage protokolliert wurde, die eine mögliche Ausrichtung der Prozess-Simulation explizit oder implizit nennt
Bausteine	--	Bausteine	mögliche Bausteine des Simulationswerkzeugs	„CNC-Drehmaschinen, manuelle Dreh-/Fräsen“ (Z13.1)	wenn im Interview eine Aussage protokolliert wurde, die mögliche Bausteine nennt
Bedingungen	Vorbehalte	Vorbehalte	Vorbehalte gegen Prozess-Simulation	„Mehr Aufwand als Nutzen“ (H14.2)	wenn im Interview eine Aussage protokolliert wurde, die explizit oder implizit Vorbehalte gegen Prozess-Simulation nennt
Bedingungen	Rahmenbedingungen	Rahmenbedingungen	Rahmenbedingungen des Simulationswerkzeugs	„Zeitaufwand wichtiger als Anschaffungskosten“ (ZWA1)	wenn im Interview eine Aussage protokolliert wurde, die explizit oder implizit Rahmenbedingungen nennt, die das Simulationswerkzeug erfüllen sollte

Tabelle 11: Kodierleitfaden der inhaltlichen Strukturierung

5. Schritt: Materialdurchlauf: Fundstellenbezeichnung

Die protokollierten Interviews durchlaufen jeweils vier Analysedurchgänge²⁸⁶, die Fundstellen werden dabei in den protokollierten Interviews handschriftlich mit verschiedenen Farben markiert.

²⁸⁵ Die Ankerbeispiele sind in den protokollierten Interviews RUDEL (2014a), RUDEL (2014b), RUDEL (2014c) im Anhang unter den in der Tabelle 11 jeweils in Klammern angegebenen Fundstelle nachzulesen.

²⁸⁶ Pro Kodierung erfolgt ein Analysedurchgang; vgl. auch Fn. 282, S. 64.

6. Schritt: Materialdurchlauf: Bearbeitung und Extraktion der Fundstellen

Die farblich markierten Fundstellen werden aus den protokollierten Interviews in die folgende Tabelle 12 extrahiert²⁸⁷.

Interview	Kodierung	Text	Fundstelle	Nr.
Heiland	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] Auftragsbestätigung mit Terminzusage (Lieferzeit wird von Access berechnet, wird aber nicht genutzt, entscheidet Geschäftsführer „aus dem Bauch“)	H2.4-H2.5	1
Heiland	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] wenn andere Stationen benötigt evtl. „Zwischenlager“	H2.10	2
Heiland	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] Oberflächenbearbeitung (wird extern gemacht [...])	H2.11	3
Heiland	Ausrichtung	[größtes Optimierungspotential in Produktion und Logistik] zugesagte Termine halten können	H4.1	4
Heiland	Ausrichtung	[Probleme in Produktion] eine Maschine ist überlastet, mit Platz könnte eine zweite dieses Typs angeschafft werden	H5.2-H5.3	5
Heiland	Ausrichtung	[Probleme in Logistik] Maschinen sind teilweise im Keller	H6.1	6
Heiland	Ausrichtung	[Probleme in Logistik] dass Maschinen [nicht] richtig stehen	H6.3	7
Heiland	Ausrichtung	[meiste Schwierigkeiten mit Produktionsaufträgen] wenn viele Aufträge im Eingangskorb „warten“ auf Systemeingabe, „schlechtes Gefühl“ wenn dann noch ein Auftrag kommt	H7.1-H7.2	8
Heiland	Ausrichtung	[in Kundenumfrage] Termintreue schlechter	H8.6	9
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Lieferfähigkeit: 5	H10.2	10
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Liefertreue: 5	H10.3	11
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Auslastung der Mitarbeiter: 4	H10.4	12
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] gleichmäßige Auslastung Mitarbeiter: 5	H10.5	13
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Auslastung der Maschinen: 4	H10.6	14
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] gleichmäßige Auslastung Maschinen: 4	H10.7	15
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Flaschenhalse im Produktionsprozess identifizieren: 4	H10.14	16
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Auftragsreihenfolgen planen, um effizienter abzuwickeln: 4	H10.15	17
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Produktionsprozess anschaulich abbilden: 4	H10.19	18

²⁸⁷ Bei der Übernahme der Texte aus den protokollierten Interviews in die Tabelle 12 werden in den Protokollen kursiv gekennzeichnete Texte in normalen Text überführt. Zum besseren Verständnis werden zusätzliche Informationen zu den Antworten in eckige Klammern eingefügt, um so den Bezug zu den gestellten Fragen herzustellen. Die wörtlichen Antworten sind in den protokollierten Interviews RUDEL (2014a), RUDEL (2014b), RUDEL (2014c) im Anhang unter den in der Tabelle 12 angegebenen Fundstellen nachzulesen.

Zur besseren Weiterverarbeitbarkeit wird in die Tabelle 12 die Spalte „Nr.“ mit einer laufenden Nummer eingefügt.

Interview	Kodierung	Text	Fundstelle	Nr.
Heiland	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Termingerechtigkeit: 5	H10.20	19
Heiland	Ausrichtung	[kennen/messen von] Durchlaufzeit der Aufträge: nie	H11.5	20
Heiland	Ausrichtung	[kennen/messen von] Auslastungsgrad Maschinen: nie	H11.6	21
Heiland	Ausrichtung	[kennen/messen von] Auslastungsgrad Mitarbeiter: nie	H11.7	22
Heiland	Ausrichtung	[kennen/messen von] Termintreue bei Produktionsaufträgen: nie	H11.8	23
Heiland	Ausrichtung	manche [Maschinen] können im Produktionsprozess nicht ausgetauscht werden	H12.2	24
Heiland	Ausrichtung	[Prozess-Simulation könnte leisten] Termin genau zusagen, das auch einhalten	H16.1	25
Heiland	Ausrichtung	[Anwendung von Prozess-Simulation vorstellbar] in der Fertigung	H17.1	26
Heiland	Ausrichtung	sehr eilige Aufträge werden auch schon mal dazwischen geschoben, Rüstzeit dann „egal“	HWA6-HWA7	27
Heiland	Ausrichtung	nutzt ein selbst programmiertes Access-Werkzeug, gibt dort Auftrag ein, errechnet Material, Termin wann fertig ist, welcher Auftrag auf welcher Maschine läuft	HWA11-HWA13	28
Heiland	Ausrichtung	im Keller weitere Maschinen, ein Materiallager	HPB7	29
Heiland	Ausrichtung	macht viel „aus dem Bauch“, z.B. auch Materialverbrauch planen	HPB9	30
Heiland	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] alles CNC: Fräsmaschinen, Drehmaschinen, Dreh-/Fräszentren	H13.1	31
Heiland	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] Gleitschleifmaschinen	H13.2	32
Heiland	Vorbehalte	[bisher von Prozess-Simulation gehört] mehr Aufwand als Nutzen	H14.2	33
Heiland	Vorbehalte	[bisher von Prozess-Simulation gehört] muss viel eingegeben werden	H14.3	34
Heiland	Vorbehalte	[kein Interesse an Prozess-Simulation weil] muss man viel eingeben, dann kommt was ganz genaues raus, das auf ungenauen Zahlen basiert und nie mit der Realität übereinstimmt	H15.2-H15.3	35
Heiland	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] genaues Erfassen von „geschätzten Daten“	H18.1	36
Heiland	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] unvorhersehbare „Zusatzaufträge“, z.B. Anruf, wenn schon auf Maschine → kann Programm gar nicht	H18.2-H18.3	37
Heiland	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] kann „Bauchentscheidungen“ nicht toppen	H18.4	38
Heiland	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] Flexibilität geht verloren, wenn ich erst alles eingeben muss	H18.5	39
Zilske	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] Angebot+Terminzusage (Termin wird später teils/teils gehalten)	Z2.2	40

Interview	Kodierung	Text	Fundstelle	Nr.
Zilske	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] evtl. extern zur Weiterbearbeitung geben	Z2.7	41
Zilske	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Liefertreue: 4	Z10.3	42
Zilske	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Auslastung der Mitarbeiter: 4	Z10.4	43
Zilske	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Auftragsreihenfolgen planen, um effizienter abzuwickeln: 5	Z10.15	44
Zilske	Ausrichtung	[Wichtigkeit] besser vorher wissen, wann welche Maschine belegt ist: 5	Z10.17	45
Zilske	Ausrichtung	[kennen/messen von] Auslastungsgrad Maschinen: nie	Z11.6	46
Zilske	Ausrichtung	[kennen/messen von] Auslastungsgrad Mitarbeiter: nie	Z11.7	47
Zilske	Ausrichtung	[Prozess-Simulation anwenden in] Auftragsablauf	Z17.1	48
Zilske	Bausteine	[wichtigste Maschinen im Unternehmen] 3 CNC-Fräsmaschinen	Z12.1	49
Zilske	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] CNC-Drehmaschinen, manuelle Dreh-/Fräsen	Z13.1	50
Zilske	Vorbehalte	[kein Interesse an Prozess-Simulation wegen] mit Daten füttern, pflegen, zu großer Aufwand	Z15.2	51
Zilske	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] viel Aufwand für Eingabe+Pflege, lohnt sich Aufwand?	Z18.1	52
Zilske	Rahmenbedingungen	Zeitaufwand wichtiger als Anschaffungskosten	ZWA1	53
Markl	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] aufwändige Teile, braucht viele verschiedene Maschinen	M2.10	54
Markl	Ausrichtung	Termine werden geschätzt, verschoben sich; Bestimmung über Plantafel, wird aber kaum genutzt	M2.15-M2.16	55
Markl	Ausrichtung	[Optimierungspotential in Produktion und Logistik] Plantafel hat Zusatzmodule, aber viele Infos „im Kopf“, z.B. Fähigkeiten Mitarbeiter, Urlaubsplanung, Krankheiten (extrahieren in Programm?)	M4.1-M4.2	56
Markl	Ausrichtung	[Optimierungspotential in Produktion und Logistik] weniger Werkzeuge auf Vorrat (Wert!)	M4.3	57
Markl	Ausrichtung	[Optimierungspotential in Produktion und Logistik] Plantafel plant keine Mitarbeiter	M4.5	58
Markl	Ausrichtung	[größte Probleme in Produktion] Freitags Fertigungsplanung → Montag ändert sich weil krank, Zusatzaufträge, ...	M5.4	59
Markl	Ausrichtung	[größte Probleme in Produktion] wenn 4 statt 3 Tage braucht (wie vorher geplant), verschiebt sich Alles weil mehrere Maschinen belegt	M5.5-M5.6	60
Markl	Ausrichtung	[Wichtigkeit] niedrige Durchlaufzeiten der Aufträge: 5	M10.1	61
Markl	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Auslastung der Mitarbeiter: 5	M10.4	62
Markl	Ausrichtung	[Wichtigkeit] gleichmäßige Auslastung Mitarbeiter: 5	M10.5	63

Interview	Kodierung	Text	Fundstelle	Nr.
Markl	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Auftragsreihenfolgen planen, um effizienter abzuwickeln: 5	M10.15	64
Markl	Ausrichtung	[kennen/messen von] Durchlaufzeit der Aufträge: nie	M11.5	65
Markl	Ausrichtung	[Termintreue bei Produktionsaufträgen messen] könnte System, aber wird Termin nicht gepflegt; nicht dokumentiert; [misst] täglich mit Lieferschein („sehe ich ja dann“)	M11.13- M11.14	66
Markl	Ausrichtung	[Prozess-Simulation anwenden in] Produktion	M17.1	67
Markl	Ausrichtung	Einrüstzeiten werden auch eingeplant, per Hand	MWA14	68
Markl	Bausteine	[wichtigste Maschinen im Unternehmen] 5-Achs-Fräsmaschine CNC (teuerste) 5x vorhanden	M12.1	69
Markl	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] Fräsmaschine, Drehmaschine (CNC und konventionell)	M13.1	70
Markl	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] Schleifmaschine, Bohrmaschine (konventionell)	M13.2	71
Markl	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] Gleitschleif-Maschine (Trowalisieren) zum Entgraten („Waschmaschine“)	M13.3	72
Markl	Vorbehalte	Plantafel hat Zusatzmodule, aber viele Infos „im Kopf“, z.B. Fähigkeiten Mitarbeiter, Urlaubsplanung, Krankheiten (extrahieren in Programm?)	M4.1- M4.2	73
Markl	Rahmenbedingungen	Schnittstellen sind das Problem (viel IT, untypisch für diese Größe), verschiedene Software, wenn was geändert wird müssen Schnittstellen angepasst werden	MWA1- MWA3	74
Markl	Rahmenbedingungen	ERP kostet ca. 20 TEUR („nicht so teuer“), zusätzliche Module wie z.B. Zeitverwaltung „teuer“	MWA5- MWA6	75
Markl	Rahmenbedingungen	IT-Software für ca. 400 TEUR im Betrieb	MWA7	76

Tabelle 12: Auswertetabelle mit extrahierten Texten

7. Schritt: Überarbeitung, gegebenenfalls Revision von Kategoriensystem und Kategoriendefinition

Dieser 7. Schritt entfällt, da keine Überarbeitung des Kategoriensystems nötig ist.

8. Schritt: Paraphrasierung des extrahierten Materials

In diesem 8. Schritt werden die extrahierten Texte paraphrasiert.

Die folgende Tabelle 13 listet die Paraphrasen auf.

Nr.	Kodierung	Text	Paraphrase
1	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] Auftragsbestätigung mit Terminzusage (Lieferzeit wird von Access berechnet, wird aber nicht genutzt, entscheidet Geschäftsführer „aus dem Bauch“)	Die Lieferzeit wird geschätzt und an den Kunden weitergegeben.
2	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] wenn andere Stationen benötigt evtl. „Zwischenlager“	Ein Produktionsauftrag durchläuft unter Umständen mehrere Stationen und Zwischenlager.
3	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] Oberflächenbearbeitung (wird extern gemacht [...])	Eine Station eines Produktionsauftrags ist unter Umständen extern.
4	Ausrichtung	[größtes Optimierungspotential in Produktion und Logistik] zugesagte Termine halten können	Die Termintreue könnte verbessert werden.
5	Ausrichtung	[Probleme in Produktion] eine Maschine ist überlastet, mit Platz könnte eine zweite dieses Typs angeschafft werden	Eine Maschine ist überlastet, wegen des Platzproblems kann keine zweite dieses Typs angeschafft werden.
6	Ausrichtung	[Probleme in Logistik] Maschinen sind teilweise im Keller	Wegen des Platzproblems stehen die Maschinen teilweise im Keller.
7	Ausrichtung	[Probleme in Logistik] dass Maschinen [nicht] richtig stehen	Wegen des Platzproblems sind die Maschinen nicht optimal zueinander aufgestellt.
8	Ausrichtung	[meiste Schwierigkeiten mit Produktionsaufträgen] wenn viele Aufträge im Eingangskorb „warten“ auf Systemeingabe, „schlechtes Gefühl“ wenn dann noch ein Auftrag kommt	Die teilweise fehlende Übersicht über die Aufträge verunsichert bei der Annahme von neuen Aufträgen.
9	Ausrichtung	[in Kundenumfrage] Termintreue schlechter	Die Termintreue ist schlecht.
10	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Lieferfähigkeit: 5	Die hohe Lieferfähigkeit ist sehr wichtig.
11	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Liefertreue: 5	Die hohe Liefertreue ist sehr wichtig.
12	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Auslastung der Mitarbeiter: 4	Die hohe Auslastung der Mitarbeiter ist wichtig.
13	Ausrichtung	[Wichtigkeit] gleichmäßige Auslastung Mitarbeiter: 5	Die gleichmäßige Auslastung der Mitarbeiter ist sehr wichtig.
14	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Auslastung der Maschinen: 4	Die hohe Auslastung der Maschinen ist wichtig.
15	Ausrichtung	[Wichtigkeit] gleichmäßige Auslastung Maschinen: 4	Die gleichmäßige Auslastung der Maschinen ist wichtig.
16	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Flaschenhalse im Produktionsprozess identifizieren: 4	Die Flaschenhalse im Produktionsprozess zu identifizieren ist wichtig.

Nr.	Kodierung	Text	Paraphrase
17	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Auftragsreihenfolgen planen, um effizienter abzuwickeln: 4	Die Auftragsreihenfolgen zu planen, um effizienter abzuwickeln, ist wichtig.
18	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Produktionsprozess anschaulich abbilden: 4	Den Produktionsprozess anschaulich abzubilden ist wichtig.
19	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Termingerechtigkeit: 5	Die Termingerechtigkeit ist sehr wichtig.
20	Ausrichtung	[kennen/messen von] Durchlaufzeit der Aufträge: nie	Die Durchlaufzeit der Aufträge wird nie gemessen und ist daher nicht bekannt.
21	Ausrichtung	[kennen/messen von] Auslastungsgrad Maschinen: nie	Der Auslastungsgrad der Maschinen wird nie gemessen und ist daher nicht bekannt.
22	Ausrichtung	[kennen/messen von] Auslastungsgrad Mitarbeiter: nie	Der Auslastungsgrad der Mitarbeiter wird nie gemessen und ist daher nicht bekannt.
23	Ausrichtung	[kennen/messen von] Termintreue bei Produktionsaufträgen: nie	Die Termintreue bei Produktionsaufträgen wird nie gemessen und ist daher nicht bekannt.
24	Ausrichtung	manche [Maschinen] können im Produktionsprozess nicht ausgetauscht werden	Manche Maschinen können im Produktionsprozess nicht ausgetauscht werden.
25	Ausrichtung	[Prozess-Simulation könnte leisten] Termin genau zusagen, das auch einhalten	Mit Prozess-Simulation könnten Termine genau zugesagt werden und diese Termine auch eingehalten werden.
26	Ausrichtung	[Anwendung von Prozess-Simulation vorstellbar] in der Fertigung	Prozess-Simulation könnte in der Fertigung angewendet werden.
27	Ausrichtung	sehr eilige Aufträge werden auch schon mal dazwischen geschoben, Rüstzeit dann „egal“	Sehr eilige Aufträge werden teilweise eingeschoben ohne Beachtung der Rüstzeit.
28	Ausrichtung	nutzt ein selbst programmiertes Access-Werkzeug, gibt dort Auftrag ein, errechnet Material, Termin wann fertig ist, welcher Auftrag auf welcher Maschine läuft	Ein Access-Werkzeug wird eingesetzt für die Material-, Termin- und Auftragsplanung.
29	Ausrichtung	im Keller weitere Maschinen, ein Materiallager	Im Keller befinden sich weitere Maschinen und ein Materiallager.
30	Ausrichtung	macht viel „aus dem Bauch“, z.B. auch Materialverbrauch planen	Viele Entscheidungen beruhen auf Schätzungen.
31	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] alles CNC: Fräsmaschinen, Drehmaschinen, Dreh-/Fräszentren	Typische Maschinen sind CNC-Fräsmaschinen, CNC-Drehmaschinen, CNC-Dreh-/Fräszentren.
32	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] Gleitschleifmaschinen	Typische Maschinen sind Gleitschleifmaschinen.
33	Vorbehalte	[bisher von Prozess-Simulation gehört] mehr Aufwand als Nutzen	Prozess-Simulation verursacht mehr Aufwand als Nutzen.
34	Vorbehalte	[bisher von Prozess-Simulation gehört] muss viel eingegeben werden	Bei Prozess-Simulation müssen viele Daten eingegeben werden.

Nr.	Kodierung	Text	Paraphrase
35	Vorbehalte	[kein Interesse an Prozess-Simulation weil] muss man viel eingeben, dann kommt was ganz genaues raus, das auf ungenauen Zahlen basiert und nie mit der Realität übereinstimmt	Bei Prozess-Simulation müssen viele Daten eingegeben werden, die nicht genau bekannt sind. Die Ergebnisse stimmen nicht mit der Realität überein.
36	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] genaues Erfassen von „geschätzten Daten“	Bei Prozess-Simulation müssen Daten eingegeben werden, die nicht genau bekannt sind.
37	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] unvorhersehbare „Zusatzaufträge“, z.B. Anruf, wenn schon auf Maschine → kann Programm gar nicht	Prozess-Simulation kann für einen Zusatzauftrag gar nicht mehr genutzt werden, wenn der Auftrag bereits produziert wird.
38	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] kann „Bauchentscheidungen“ nicht toppen	Prozess-Simulation kann nicht besser sein als die Einschätzungen eines Experten.
39	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] Flexibilität geht verloren, wenn ich erst alles eingeben muss	Prozess-Simulation erfordert viel Dateneingabe, das verhindert Flexibilität.
40	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] Angebot+Terminzusage (Termin wird später teils/teils gehalten)	Mit dem Angebot wird der geschätzte Termin an den Kunden zugesagt. Der Termin wird später teilweise eingehalten.
41	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] evtl. extern zur Weiterbearbeitung geben	Eine Station eines Produktionsauftrags ist unter Umständen extern.
42	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Liefertreue: 4	Die hohe Liefertreue ist wichtig.
43	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Auslastung der Mitarbeiter: 4	Die hohe Auslastung der Mitarbeiter ist wichtig.
44	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Auftragsreihenfolgen planen, um effizienter abzuwickeln: 5	Die Auftragsreihenfolgen planen, um effizienter abzuwickeln, ist sehr wichtig.
45	Ausrichtung	[Wichtigkeit] besser vorher wissen, wann welche Maschine belegt ist: 5	Besser vorher zu wissen, wann welche Maschine belegt ist, ist sehr wichtig.
46	Ausrichtung	[kennen/messen von] Auslastungsgrad Maschinen: nie	Der Auslastungsgrad der Maschinen wird nie gemessen und ist daher nicht bekannt.
47	Ausrichtung	[kennen/messen von] Auslastungsgrad Mitarbeiter: nie	Der Auslastungsgrad der Mitarbeiter wird nie gemessen und ist daher nicht bekannt.
48	Ausrichtung	[Prozess-Simulation anwenden in] Auftragsablauf	Prozess-Simulation könnte in der Planung des Auftragsablaufs angewendet werden.
49	Bausteine	[wichtigste Maschinen im Unternehmen] 3 CNC-Fräsmaschinen	3 CNC-Fräsmaschinen sind die wichtigsten Maschinen im Unternehmen.
50	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] CNC-Drehmaschinen, manuelle Dreh-/Fräsen	Typische Maschinen sind CNC-Drehmaschinen, manuelle Drehmaschinen und manuelle Fräsmaschinen.
51	Vorbehalte	[kein Interesse an Prozess-Simulation wegen] mit Daten füttern, pflegen, zu großer Aufwand	Prozess-Simulation erfordert viel Aufwand, es müssen viele Daten eingegeben und gepflegt werden.

Nr.	Kodierung	Text	Paraphrase
52	Vorbehalte	[Bedenken bezüglich Prozess-Simulation] viel Aufwand für Eingabe+Pfleger, lohnt sich Aufwand?	Prozess-Simulation erfordert viel Aufwand für Dateneingabe und -pflege, steht das im Verhältnis zum Nutzen?
53	Rahmenbedingungen	Zeitaufwand wichtiger als Anschaffungskosten	Der Zeitaufwand für Prozess-Simulation ist wichtiger als die Anschaffungskosten.
54	Ausrichtung	[Station im Auftragsablauf] aufwändige Teile, braucht viele verschiedene Maschinen	Ein Produktionsauftrag durchläuft mehrere Maschinen.
55	Ausrichtung	Termine werden geschätzt, verschieben sich; Bestimmung über Plantafel, wird aber kaum genutzt	Termine werden geschätzt und verschieben sich.
56	Ausrichtung	[Optimierungspotential in Produktion und Logistik] Plantafel hat Zusatzmodule, aber viele Infos „im Kopf“, z.B. Fähigkeiten Mitarbeiter, Urlaubsplanung, Krankheiten (extrahieren in Programm?)	Viele Informationen sind Expertenwissen, die nicht in der Software enthalten sind. Beispiele sind Fähigkeiten der Mitarbeiter, Urlaubsplanung oder Krankheit von Mitarbeitern.
57	Ausrichtung	[Optimierungspotential in Produktion und Logistik] weniger Werkzeuge auf Vorrat (Wert!)	Der Werkzeugvorrat könnte verringert werden.
58	Ausrichtung	[Optimierungspotential in Produktion und Logistik] Plantafel plant keine Mitarbeiter	Die eingesetzte Software plant den Mitarbeitereinsatz nicht.
59	Ausrichtung	[größte Probleme in Produktion] Freitags Fertigungsplanung → Montag ändert sich weil krank, Zusatzaufträge, ...	Sich ändernde Rahmenbedingungen machen große Probleme bei der Fertigungsplanung.
60	Ausrichtung	[größte Probleme in Produktion] wenn 4 statt 3 Tage braucht (wie vorher geplant), verschiebt sich Alles weil mehrere Maschinen belegt	Sich ändernde Produktionszeiten machen große Probleme bei der Fertigungsplanung wegen der Belegung unterschiedlicher Maschinen.
61	Ausrichtung	[Wichtigkeit] niedrige Durchlaufzeiten der Aufträge: 5	Die niedrige Durchlaufzeit der Aufträge ist sehr wichtig.
62	Ausrichtung	[Wichtigkeit] hohe Auslastung der Mitarbeiter: 5	Die hohe Auslastung der Mitarbeiter ist sehr wichtig.
63	Ausrichtung	[Wichtigkeit] gleichmäßige Auslastung Mitarbeiter: 5	Die gleichmäßige Auslastung der Mitarbeiter ist sehr wichtig.
64	Ausrichtung	[Wichtigkeit] Auftragsreihenfolgen planen, um effizienter abzuwickeln: 5	Die Auftragsreihenfolge zu planen, um effizienter abzuwickeln, ist sehr wichtig.
65	Ausrichtung	[kennen/messen von] Durchlaufzeit der Aufträge: nie	Die Durchlaufzeit der Aufträge wird nie gemessen und ist daher nicht bekannt.
66	Ausrichtung	[Termintreue bei Produktionsaufträgen messen] könnte System, aber wird Termin nicht gepflegt; nicht dokumentiert; [misst] täglich mit Lieferschein („sehe ich ja dann“)	Die Termintreue wird nicht gemessen und ist daher nicht bekannt.
67	Ausrichtung	[Prozess-Simulation anwenden in] Produktion	Die Prozess-Simulation könnte in der Produktion angewendet werden.

Nr.	Kodierung	Text	Paraphrase
68	Ausrichtung	Einrüstzeiten werden auch eingeplant, per Hand	Einrüstzeiten werden geschätzt und eingeplant.
69	Bausteine	[wichtigste Maschinen im Unternehmen] 5-Achs-Fräsmaschine CNC (teuerste) 5x vorhanden	Wichtigste Maschinen im Unternehmen sind CNC-5-Achs-Fräsmaschinen.
70	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] Fräsmaschine, Drehmaschine (CNC und konventionell)	Typische Maschinen sind CNC- und manuelle Fräsmaschinen sowie CNC- und manuelle Drehmaschinen.
71	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] Schleifmaschine, Bohrmaschine (konventionell)	Typische Maschinen sind manuelle Schleifmaschinen und manuelle Bohrmaschinen.
72	Bausteine	[typische Maschinen für Unternehmen dieser Branche und Größe] Gleitschleif-Maschine (Trowalisieren) zum Entgraten („Waschmaschine“)	Eine typische Maschine ist eine Gleitschleifmaschine.
73	Vorbehalte	Plantafel hat Zusatzmodule, aber viele Infos „im Kopf“, z.B. Fähigkeiten Mitarbeiter, Urlaubsplanung, Krankheiten (extrahieren in Programm?)	Viele Informationen sind Expertenwissen, die nicht in der Software enthalten sind. Beispiele sind Fähigkeiten der Mitarbeiter, Urlaubsplanung oder Krankheit von Mitarbeitern.
74	Rahmenbedingungen	Schnittstellen sind das Problem (viel IT, untypisch für diese Größe), verschiedene Software, wenn was geändert wird müssen Schnittstellen angepasst werden	Die Schnittstellen-Pflege zwischen der verschiedenen eingesetzten Software ist pflegeintensiv.
75	Rahmenbedingungen	ERP kostet ca. 20 TEUR („nicht so teuer“), zusätzliche Module wie z.B. Zeitverwaltung „teuer“	Kosten von ca. 20 TEUR werden als nicht so teuer genannt.
76	Rahmenbedingungen	IT-Software für ca. 400 TEUR im Betrieb	Das Unternehmen nutzt Software im Wert von ca. 400 TEUR.

Tabelle 13: Auswertetabelle mit Paraphrasen

9. Schritt: Zusammenfassung pro Kategorie

Da lediglich die Hauptkategorie Bedingungen in Unterkategorien konkretisiert wurde, wird dieser 9. Schritt übersprungen und die Zusammenfassung der Unterkategorien der Hauptkategorie Bedingungen im 10. Schritt mit ausgeführt.

10. Schritt: Zusammenfassung pro Hauptkategorie

Im 10. Schritt werden die Paraphrasen der drei Hauptkategorien Ausrichtung, Bausteine und Bedingungen jeweils zusammengefasst²⁸⁸.

Für die Hauptkategorie Ausrichtung²⁸⁹ ergibt sich folgende Tabelle 14:

Zusammenfassung	Nr.
Die Lieferzeit wird geschätzt und an den Kunden weitergegeben.	1, 55
Ein Produktionsauftrag durchläuft unter Umständen mehrere Stationen/Maschinen (auch extern) und mehrere Zwischenlager.	2, 3, 41, 54, 60
Die Termintreue/Liefertreue könnte verbessert werden.	4, 9, 11, 19, 23, 25, 40, 42, 55, 66
Die Maschinen sind nicht optimal zueinander aufgestellt.	6, 7, 29
Teilweise fehlt die Übersicht über die Aufträge.	8, 10
Die Auslastung der Mitarbeiter ist wichtig und sollte transparenter zu durchschauen sein.	12, 13, 22, 43, 47, 58, 62, 63
Die Auslastung der Maschinen ist wichtig und sollte transparenter zu durchschauen sein.	14, 15, 21, 24, 45, 46
Den Produktionsprozess transparenter zu durchschauen (Engpässe, Auftragsplanung, Auftragsreihenfolge, Auftragsablauf, Durchlaufzeiten, Rüstzeiten, Maschinenbelegung) ist wichtig.	16, 17, 18, 20, 27, 44, 48, 61, 64, 65, 68
Viele Entscheidungen beruhen auf Schätzungen.	30
Verschiedenes Expertenwissen wird derzeit nicht erfasst, wie z.B. Fähigkeiten der Mitarbeiter, Urlaubsplanung, Krankheit.	56
Der Werkzeugvorrat könnte verringert werden.	57
Sich ändernde Rahmenbedingungen machen große Probleme in der Fertigungsplanung (z.B. Krankheit von Mitarbeitern, Zusatzaufträge, sich ändernde Produktionszeiten).	59, 60

Tabelle 14: Zusammenfassung der Hauptkategorie Ausrichtung

288 Die Paraphrasen sind teilweise mehreren Zusammenfassungen zugeordnet. Die Paraphrasen 26, 30, 53, 67 und 74 werden nicht in die Zusammenfassung übernommen, da sie nach Einschätzung der Autorin der Dissertation für die Anforderungen Praxis zu allgemein sind. Die Paraphrasen 5, 28 und 57 werden nicht in die Zusammenfassung übernommen, da sie nach Einschätzung der Autorin der Dissertation zu spezifisch für die Anforderungen Praxis sind. Die Paraphrasen 75 und 76 werden nicht in die Zusammenfassung übernommen, da sie nach eigener Einschätzung des befragten Unternehmens untypisch für Unternehmen dieser Größe sind und daher die Anforderungen Praxis verfälschen würden.

Die Aussage zur Lieferfähigkeit (Nr. 10) wurde der Zusammenfassung „Teilweise fehlt die Übersicht über die Aufträge.“ zugeordnet.

289 Die Hauptkategorie Ausrichtung entspricht der Kodierung Ausrichtung, vgl. Tabelle 11, S. 66.

Für die Hauptkategorie Bausteine²⁹⁰ ergibt sich folgende Tabelle 15.

Zusammenfassung	Nr.
CNC-Fräsmaschine	31, 49, 69, 70
CNC-Drehmaschine	31, 50, 70
CNC-Dreh-/Fräszentrum	31
Gleitschleifmaschine	32, 72
Manuelle Drehmaschine	50, 70
Manuelle Fräsmaschine	50, 70
Manuelle Schleifmaschine	71
Manuelle Bohrmaschine	71

Tabelle 15: Zusammenfassung der Hauptkategorie Bausteine

Für die Hauptkategorie Bedingungen²⁹¹ ergibt sich folgende Tabelle 16.

Zusammenfassung	Nr.
Prozess-Simulation verursacht mehr Aufwand als Nutzen.	33
Prozess-Simulation verursacht hohen Aufwand.	51, 52
Bei Prozess-Simulation müssen viele Daten eingegeben werden.	34, 39, 51, 52
Bei Prozess-Simulation müssen Daten eingegeben werden, die nicht genau bekannt sind.	35, 36
Prozess-Simulation kann für einen Zusatzauftrag gar nicht mehr genutzt werden, wenn der Auftrag bereits produziert wird.	37
Prozess-Simulation kann nicht besser sein als die Einschätzungen eines Experten.	38, 73
Prozess-Simulation verhindert wegen der notwendigen Dateneingabe Flexibilität.	39
Der Zeitaufwand für Prozess-Simulation ist wichtiger als die Anschaffungskosten.	53
Die Schnittstellen-Pflege zwischen der verschiedenen eingesetzten Software ist pflegeintensiv.	74

Tabelle 16: Zusammenfassung der Hauptkategorie Bedingungen

²⁹⁰ Die Hauptkategorie Bausteine entspricht der Kodierung Bausteine, vgl. Tabelle 11, S. 66.

²⁹¹ Die Hauptkategorie Bedingungen entspricht den Kodierungen Vorbehalte und Rahmenbedingungen, vgl. Tabelle 11, S. 66.

An diesem Punkt endet das Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung und es greift wieder das allgemeine inhaltsanalytische Ablaufmodell²⁹². Dieses wird im Folgenden wieder angewendet.

Zusammenstellung der Ergebnisse und Interpretation in Richtung der Fragestellung

In diesem Schritt werden aus den zusammengefassten Ergebnissen je Hauptkategorie die Anforderungen Praxis abgeleitet.

Die folgende Tabelle 17 zeigt die abgeleiteten Anforderungen Praxis.

Hauptkategorie	Zusammenfassung	abgeleitete Anforderung
Ausrichtung	Die Lieferzeit wird geschätzt und an den Kunden weitergegeben.	Der Liefertermin eines Auftrags sollte ersichtlich sein.
Ausrichtung	Ein Produktionsauftrag durchläuft unter Umständen mehrere Stationen/Maschinen (auch extern) und mehrere Zwischenlager.	Es sollten mehrere Maschinen und Lager kombinierbar sein.
Ausrichtung	Die Termintreue/Liefertreue könnte verbessert werden.	Verschiebungen des Liefertermins sollten ersichtlich sein.
Ausrichtung	Die Maschinen sind nicht optimal zueinander aufgestellt.	Die Aufstellung der Maschinen zueinander sollte prüfbar sein.
Ausrichtung	Teilweise fehlt die Übersicht über die Aufträge.	Die Aufträge (geplante, wartende und solche in Produktion) sollten übersichtlich dargestellt sein.
Ausrichtung	Die Auslastung der Mitarbeiter ist wichtig und sollte transparenter zu durchschauen sein.	Die Auslastung der Mitarbeiter sollte prüfbar sein.
Ausrichtung	Die Auslastung der Maschinen ist wichtig und sollte transparenter zu durchschauen sein.	Die Auslastung der Maschinen sollte prüfbar sein.
Ausrichtung	Den Produktionsprozess transparenter zu durchschauen (Engpässe, Auftragsplanung, Auftragsreihenfolge, Auftragsablauf, Durchlaufzeit, Rüstzeiten, Maschinenbelegung) ist wichtig.	Der Produktionsprozess sollte bezüglich Engpässen, Auftragsplanung, Auftragsreihenfolge, Auftragsablauf, Durchlaufzeiten, Rüstzeiten und Maschinenbelegung prüfbar sein.
Ausrichtung	Verschiedenes Expertenwissen wird derzeit nicht erfasst, wie z.B. Fähigkeiten der Mitarbeiter, Urlaubsplanung, Krankheit.	Fähigkeiten der Mitarbeiter, Urlaubsplanung, Krankheit sollten in das Simulationswerkzeug eingebunden werden.

292 Vgl. Abbildung 17, S. 60. Der 10. Schritt des Ablaufmodells der inhaltlichen Strukturierung überschneidet sich mit dem Schritt „Zusammenfassung der Ergebnisse und Interpretation in Richtung der Fragestellung“ im allgemeinen inhaltsanalytischen Ablaufmodell. Die Zusammenfassung der Ergebnisse wird in der Dissertation im 10. Schritt des Ablaufmodells der inhaltlichen Strukturierung durchgeführt, die Interpretation der Ergebnisse in Richtung der Fragestellung wird in dem Schritt „Zusammenstellung der Ergebnisse und Interpretation in Richtung der Fragestellung“ im allgemeinen inhaltsanalytischen Ablaufmodell durchgeführt.

Hauptkategorie	Zusammenfassung	abgeleitete Anforderung
Ausrichtung	Sich ändernde Rahmenbedingungen machen große Probleme in der Fertigungsplanung (z.B. Krankheit von Mitarbeitern, Zusatzaufträge, sich ändernde Produktionszeiten).	Der Produktionsprozess sollte bezüglich Krankheiten von Mitarbeitern, Zusatzaufträgen, Produktionszeiten überprüfbar sein.
Bausteine	CNC-Fräsmaschine	Baustein: CNC-Fräsmaschine
Bausteine	CNC-Drehmaschine	Baustein: CNC-Drehmaschine
Bausteine	CNC-Dreh-/Fräszentrum	Baustein: CNC-Dreh-/Fräszentrum
Bausteine	Gleitschleifmaschine	Baustein: Gleitschleifmaschine
Bausteine	Manuelle Drehmaschine	Baustein: Manuelle Drehmaschine
Bausteine	Manuelle Fräsmaschine	Baustein: Manuelle Fräsmaschine
Bausteine	Manuelle Schleifmaschine	Baustein: Manuelle Schleifmaschine
Bausteine	Manuelle Bohrmaschine	Baustein: Manuelle Bohrmaschine
Bedingungen	Prozess-Simulation verursacht mehr Aufwand als Nutzen.	Der Aufwand muss in angemessenem Verhältnis zum Nutzen stehen.
Bedingungen	Prozess-Simulation verursacht hohen Aufwand.	Der Aufwand muss gering bleiben.
Bedingungen	Bei Prozess-Simulation müssen viele Daten eingegeben werden.	Der Aufwand für Dateneingabe muss sich in Grenzen halten.
Bedingungen	Bei Prozess-Simulation müssen Daten eingegeben werden, die nicht genau bekannt sind.	Es muss auch möglich sein, „ungefähre Werte“ einzugeben.
Bedingungen	Eine Software zur Prozess-Simulation kann für einen Zusatzauftrag gar nicht mehr genutzt werden, wenn der Auftrag bereits produziert wird.	Auch für bereits laufende Aufträge soll das Simulationswerkzeug nutzbar sein.
Bedingungen	Eine Software zur Prozess-Simulation kann nicht besser sein als die Einschätzungen eines Experten.	Der Experte muss weiterhin geschätzt werden, das Simulationswerkzeug darf ihn nicht ersetzen.
Bedingungen	Prozess-Simulation verhindert wegen der notwendigen Dateneingabe Flexibilität.	Der Aufwand für die Dateneingabe darf die Flexibilität nicht einschränken.

Tabelle 17: Ableitung der Anforderungen Praxis

Anwendung der inhaltsanalytischen Gütekriterien

Da es sich bei der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) um eine wissenschaftliche Methode handelt, müssten die Ergebnisse mit Hilfe von Gütekriterien²⁹³ überprüft werden²⁹⁴. Da der Fokus der Dissertation jedoch nicht auf der sozialwissenschaftlichen Forschung²⁹⁵, sondern auf der Erstellung eines praxisorientierten Werkzeugs zur Prozess-Simulation liegt, wird in der Dissertation auf die Anwendung der Gütekriterien verzichtet²⁹⁶.

3.3.7 Auswahl der Anforderungen aus der Fachliteratur

In diesem Kapitel wird die in Kapitel 1.2 genannte Fachliteratur zum Einsatz der Prozess-Simulation in KMU²⁹⁷ systematisch ausgewertet und es werden die „Anforderungen aus der Fachliteratur“²⁹⁸ erarbeitet.

Im Folgenden werden zunächst die für die Auswahl relevanten Aussagen aus der Fachliteratur extrahiert.

Aus den Arbeiten O.V. (1999) und RABE et al. (2001), die im Rahmen des Projekts MOSIM entstanden, werden keine Aussagen extrahiert.

Aus der Arbeit SOMMER et al. (2004) werden die folgenden Aussagen extrahiert:

- niedrige Anschaffungskosten²⁹⁹,
- geringer Schulungsbedarf³⁰⁰ sowie
- schnelle Nutzbarkeit³⁰¹.

Aus der Arbeit SCHNEIDER (2005) werden die folgenden Aussagen extrahiert:

- die Anforderungen von KMU an Simulationswerkzeuge müssen erforscht werden³⁰²,

293 Man unterscheidet zwischen den klassischen Gütekriterien Validität, Reliabilität und Objektivität; vgl. PRZYBORSKI et al. (2008), S. 35–42. Die Anwendung der klassischen Gütekriterien auf die qualitative Inhaltsanalyse wird allerdings in der sozialwissenschaftlichen Fachliteratur kritisch diskutiert (vgl. MAYRING (2010), S. 117–118), weshalb immer wieder eigene Gütekriterien für die qualitative Forschung entwickelt werden; vgl. MAYRING (2010), S. 119. Von MAYRING (2010), S. 118–122, werden für die qualitative Inhaltsanalyse die Gütekriterien nach KUGELER et al. (1998), S. 158, vorgeschlagen.

294 Vgl. MAYRING (2010), S. 116.

295 Die qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) ist eine Methode der sozialwissenschaftlichen Forschung.

296 MAYRING (2010), S. 116, führt selbst an, dass die Anwendung der Gütekriterien sogar in der sozialwissenschaftlichen Forschung und vor allem bei Inhaltsanalysen eher selten erfolgt.

297 Ausgewertet werden die Arbeiten des Bereichs 1 des Standes der Wissenschaft, vgl. Kapitel 1.2 ab Seite 3.

298 Die „Anforderungen aus der Fachliteratur“ werden im Folgenden kurz als „Anforderungen Fachliteratur“ bezeichnet.

299 Diese Aussage leitet die Autorin der Dissertation aus der Forderung der Autoren nach geringem Investitionsvolumen für das Simulationswerkzeug und Schulungen ab; vgl. SOMMER et al. (2004), S. 304. Das Investitionsvolumen für das Simulationswerkzeug interpretiert die Autorin der Dissertation als Anschaffungskosten, die Forderung nach geringem Investitionsvolumen für Schulungen wird nicht übernommen; vgl. hierzu auch die Ausführungen in Fn. 83, S. 17.

300 Vgl. SOMMER et al. (2004), S. 304.

301 Vgl. SOMMER et al. (2004), S. 304.

302 Vgl. SCHNEIDER (2005), S. 7.

- es müssen Musterlösungen entworfen werden³⁰³,
- hierarchisches Baukastensystem zur einfachen Anpassung der Simulationsmodelle³⁰⁴,
- Optimierung der Rechenzeit des Simulationswerkzeugs³⁰⁵ sowie
- die Benutzeroberfläche muss an die Nutzergruppe angepasst werden³⁰⁶.

Aus der Arbeit BIRSCHENK et al. (2005) werden die folgenden Aussagen extrahiert:

- es sollten niedrige Anschaffungskosten entstehen³⁰⁷,
- durch die Nutzung sollten Planungsergebnisse abgesichert werden können³⁰⁸ sowie
- das Einbinden der Software Excel wäre von Vorteil³⁰⁹.

Aus der Arbeit BÖS (2008) werden die folgenden Aussagen extrahiert:

- niedrige Anschaffungskosten für das Simulationswerkzeug³¹⁰,
- Einsatz von Baukastensystemen³¹¹ sowie
- Vermeidung von Programmierarbeit durch den Anwender³¹².

Aus der Arbeit DETTMERING et al. (2010) werden die folgenden Aussagen extrahiert:

- die Orientierung am Office-Standard wäre von Vorteil³¹³,

303 Vgl. SCHNEIDER (2005), S. 7.

304 Vgl. SCHNEIDER (2005), S. 35.

305 Vgl. SCHNEIDER (2005), S. 35.

306 Vgl. SCHNEIDER (2005), S. 39. Der Autor schreibt im Detail, es „müssen sich GUIs idealerweise den vom User bei seinem Kerngeschäft verwendeten Systemoberflächen angleichen“; SCHNEIDER (2005), S. 39.

307 Diese Aussage leitet die Autorin der Dissertation daraus ab, dass als die beiden größten Hindernisse, die die Einführung der Prozess-Simulation im eigenen Unternehmen verhindern, in der Breitenbefragung von 48% der befragten Unternehmen Einführungskosten und von 46% der befragten Unternehmen Softwarekosten genannt wurden; vgl. BIRSCHENK et al. (2005), S. 25.

Es wird in der Arbeit von BIRSCHENK et al. (2005) nicht spezifiziert, was in den Einführungskosten im Vergleich zu den Softwarekosten enthalten ist. Daher wird von der Autorin der Dissertation nur das Hindernis der hohen Softwarekosten übernommen und diese Softwarekosten werden als Anschaffungskosten des Simulationswerkzeugs interpretiert. Vgl. hierzu auch die Ausführungen in Fn. 83, S. 17.

308 Diese Aussage leitet die Autorin der Dissertation daraus ab, dass in der Breitenbefragung im Bezug auf den Nutzen eines Simulationswerkzeugs abgesicherte Planungsergebnisse die meisten Nennungen erhalten haben (diese Antwort nannten 69% der befragten Unternehmen); vgl. BIRSCHENK et al. (2005), S. 27.

309 Diese Aussage leitet die Autorin der Dissertation daraus ab, dass die meisten Nennungen im Bezug auf die bisher im Unternehmen eingesetzte Software zur Planung der Prozesse die Software Excel erhalten hat (diese Antwort nannten 66% der befragten Unternehmen); vgl. BIRSCHENK et al. (2005), S. 30. Wenn in dem neuen Baukastensystem Excel ebenfalls eingebunden wäre, würde das die Wahrscheinlichkeit der Anwendung des Baukastensystems in der Praxis erhöhen, da die Unternehmen mit der Software Excel bereits vertraut sind.

310 Vgl. BÖS (2008), S. 410.

311 Vgl. BÖS (2008), S. 411.

312 Vgl. BÖS (2008), S. 412.

313 Diese Aussage leitet die Autorin der Dissertation aus der folgenden Aussage ab: „Eingesetzte Werkzeuge und vorhandene IT-Systemumgebung orientieren sich [in KMU] zumeist am Office-Standard“; DETTMERING et al. (2010), S. 490. Die Autoren spezifizieren nicht genauer, was mit „Office-Standard“ gemeint ist; die Autorin der Dissertation interpretiert als Office-Standard die Software des Unternehmens Microsoft Office (typische Software ist z.B. Excel, Word, PowerPoint, Outlook). Wenn sich das neue Baukastensystem ebenfalls am Office-Standard orientieren würde, würde das die Wahrscheinlichkeit der Anwendung des Baukastensystems in der Praxis erhöhen, da die Unternehmen mit dem Office-Standard bereits vertraut sind.

- es sollten „vorkonfigurierte Lösungen“³¹⁴ enthalten sein sowie
- die „schnelle, preiswerte Implementierung“³¹⁵ sollte möglich sein.

Anschließend werden in der folgenden Tabelle 18 die extrahierten Aussagen zusammengefasst und in die Hauptkategorien³¹⁶ eingeordnet³¹⁷.

Quelle	extrahierte Aussage	abgeleitete Anforderung	Hauptkategorie
BIERSCHENK et al. (2005)	durch die Nutzung sollten Planungsergebnisse abgesichert werden können	Durch die Nutzung sollten Planungsergebnisse abgesichert werden können.	Ausrichtung
SOMMER et al. (2004)	niedrige Anschaffungskosten	Die Anschaffungskosten sollten niedrig sein.	Bedingungen
BIERSCHENK et al. (2005)	es sollten niedrige Anschaffungskosten entstehen		
Bös (2008)	niedrige Anschaffungskosten für das Simulationswerkzeug		
DETTMERING et al. (2010)	die „schnelle, preiswerte Implementierung“ sollte möglich sein		
SOMMER et al. (2004)	geringer Schulungsbedarf	Der Schulungsbedarf sollte niedrig sein.	Bedingungen
SOMMER et al. (2004)	schnelle Nutzbarkeit	Das Simulationswerkzeug sollte nach der Installation schnell genutzt werden können.	Bedingungen
DETTMERING et al. (2010)	die „schnelle, preiswerte Implementierung“ sollte möglich sein	Die Implementierung sollte schnell möglich sein.	Bedingungen
SCHNEIDER (2005)	die Anforderungen von KMU an Simulationswerkzeuge müssen erforscht werden	Die Anforderungen von KMU an Simulationswerkzeuge sollten erforscht werden.	Bedingungen
SCHNEIDER (2005)	es müssen Musterlösungen entworfen werden	Es sollten Musterlösungen entworfen und implementiert werden.	Bedingungen
DETTMERING et al. (2010)	es sollten „vorkonfigurierte Lösungen“ enthalten sein		
SCHNEIDER (2005)	hierarchisches Baukastensystem zur einfachen Anpassung der Simulationsmodelle	Es sollte ein hierarchisch aufgebautes Baukastensystem eingesetzt werden.	Bedingungen
Bös (2008)	Einsatz von Baukastensystemen		

314 DETTMERING et al. (2010), S. 490.

315 DETTMERING et al. (2010), S. 490.

316 Die Hauptkategorien Ausrichtung, Bausteine und Bedingungen werden aus Kapitel 3.3.6 übernommen; vgl. Tabelle 11, Seite 66.

317 Aus einigen Aussagen werden mehrere Anforderungen abgeleitet.

Quelle	extrahierte Aussage	abgeleitete Anforderung	Hauptkategorie
SCHNEIDER (2005)	hierarchisches Baukastensystem zur einfachen Anpassung der Simulationsmodelle	Die Simulationsmodelle sollten einfach angepasst werden können.	Bedingungen
SCHNEIDER (2005)	Optimierung der Rechenzeit des Simulationswerkzeugs	Die Rechenzeit, die ein im Simulationswerkzeug erstelltes Simulationsmodell für die Simulation benötigt, sollte möglichst gering sein.	Bedingungen
SCHNEIDER (2005)	die Benutzeroberfläche muss an die Nutzergruppe angepasst werden	Die Benutzeroberfläche sollte an die Nutzergruppe angepasst sein.	Bedingungen
BIERSCHENK et al. (2005)	das Einbinden der Software Excel wäre von Vorteil	Das Einbinden der Software Excel wäre von Vorteil.	Bedingungen
DETTMERING et al. (2010)	die Orientierung am Office-Standard wäre von Vorteil	Die Orientierung am Office-Standard wäre von Vorteil.	Bedingungen
Bös (2008)	Vermeidung von Programmierarbeit durch den Anwender	Programmierarbeit durch den Anwender sollte vermieden werden.	Bedingungen

Tabelle 18: Zusammenfassung und Einordnung der extrahierten Aussagen aus der Fachliteratur zum Einsatz der Prozess-Simulation in kleinen und mittleren Unternehmen

3.3.8 Produkt: Anforderungskatalog

In der folgenden Tabelle 19 sind die abgeleiteten Anforderungen Praxis³¹⁸ (in Tabelle 19 aufgelistet als Anforderungen 1 bis 25) sowie die Anforderungen Fachliteratur³¹⁹ (in Tabelle 19 aufgelistet als Anforderungen 26 bis 39) im Anforderungskatalog zusammengefasst. Dieser Anforderungskatalog stellt das Produkt der Phase Auswahl dar und wird bei der Modellierung des neuen Baukastensystems berücksichtigt.

Anforderung	Beschreibung	Hauptkategorie
1	Der Liefertermin eines Auftrags sollte ersichtlich sein.	Ausrichtung
2	Es sollten mehrere Maschinen und Läger kombinierbar sein.	Ausrichtung
3	Verschiebungen des Liefertermins sollten ersichtlich sein.	Ausrichtung
4	Die Aufstellung der Maschinen zueinander sollte prüfbar sein.	Ausrichtung
5	Die Aufträge (geplante, wartende und solche in Produktion) sollten übersichtlich dargestellt sein.	Ausrichtung
6	Die Auslastung der Mitarbeiter sollte prüfbar sein.	Ausrichtung
7	Die Auslastung der Maschinen sollte prüfbar sein.	Ausrichtung
8	Der Produktionsprozess sollte bezüglich Engpässen, Auftragsplanung, Auftragsreihenfolge, Auftragsablauf, Durchlaufzeiten, Rüstzeiten und Maschinenbelegung prüfbar sein.	Ausrichtung
9	Fähigkeiten der Mitarbeiter, Urlaubsplanung, Krankheit sollten in das Simulationswerkzeug eingebunden werden.	Ausrichtung
10	Der Produktionsprozess sollte bezüglich Krankheiten von Mitarbeitern, Zusatzaufträgen, Produktionszeiten überprüfbar sein.	Ausrichtung
11	Baustein: CNC-Fräsmaschine	Bausteine
12	Baustein: CNC-Drehmaschine	Bausteine
13	Baustein: CNC-Dreh-/Fräszentrum	Bausteine
14	Baustein: Gleitschleifmaschine	Bausteine
15	Baustein: Manuelle Drehmaschine	Bausteine
16	Baustein: Manuelle Fräsmaschine	Bausteine
17	Baustein: Manuelle Schleifmaschine	Bausteine
18	Baustein: Manuelle Bohrmaschine	Bausteine
19	Der Aufwand muss in angemessenem Verhältnis zum Nutzen stehen.	Bedingungen
20	Der Aufwand muss gering bleiben.	Bedingungen
21	Der Aufwand für Dateneingabe muss sich in Grenzen halten.	Bedingungen
22	Es muss auch möglich sein, „ungefähre Werte“ einzugeben.	Bedingungen
23	Auch für bereits laufende Aufträge soll das Simulationswerkzeug nutzbar sein.	Bedingungen
24	Der Experte muss weiterhin geschätzt werden, das Simulationswerkzeug darf ihn nicht ersetzen.	Bedingungen

318 Vgl. Tabelle 17 ab Seite 79.

319 Vgl. Tabelle 18 ab Seite 83.

Anforderung	Beschreibung	Hauptkategorie
25	Der Aufwand für die Dateneingabe darf die Flexibilität nicht einschränken.	Bedingungen
26	Durch die Nutzung sollten Planungsergebnisse abgesichert werden können.	Ausrichtung
27	Die Anschaffungskosten sollten niedrig sein.	Bedingungen
28	Der Schulungsbedarf sollte niedrig sein.	Bedingungen
29	Das Simulationswerkzeug sollte nach der Installation schnell genutzt werden können.	Bedingungen
30	Die Implementierung sollte schnell möglich sein.	Bedingungen
31	Die Anforderungen von KMU an Simulationswerkzeuge sollten erforscht werden.	Bedingungen
32	Es sollten Musterlösungen entworfen und implementiert werden.	Bedingungen
33	Es sollte ein hierarchisch aufgebautes Baukastensystem eingesetzt werden.	Bedingungen
34	Die Simulationsmodelle sollten einfach angepasst werden können.	Bedingungen
35	Die Rechenzeit, die ein im Simulationswerkzeug erstelltes Simulationsmodell für die Simulation benötigt, sollte möglichst gering sein.	Bedingungen
36	Die Benutzeroberfläche sollte an die Nutzergruppe angepasst sein.	Bedingungen
37	Das Einbinden der Software Excel wäre von Vorteil.	Bedingungen
38	Die Orientierung am Office-Standard wäre von Vorteil.	Bedingungen
39	Programmierarbeit durch den Anwender sollte vermieden werden.	Bedingungen

Tabelle 19: Anforderungskatalog

3.4 Phase Analyse

3.4.1 Analyse der existierenden Baukastensysteme

In diesem Kapitel werden die existierenden Baukastensysteme analysiert³²⁰ und es wird geprüft, ob Merkmale³²¹ für die Erstellung des neuen Baukastensystems übernommen werden können³²². Die relevanten Ergebnisse aus der Analyse sind im Folgenden aufgeführt³²³.

320 Es werden die Baukastensysteme analysiert, die im Stand der Wissenschaft, vgl. Kapitel 1.2, für den Bereich 1, den Bereich 2 Ausprägung 2 sowie den Bereich 3 genannt sind. Die Baukastensysteme des Bereichs 2 Ausprägung 1 können nicht analysiert werden, da die Autorin der Dissertation keinen Zugriff auf die dort genannten (kostenpflichtigen) Simulationswerkzeuge hat.

321 Auf Ebene der Baukastensysteme kann ein Merkmal in diesem Zusammenhang beispielsweise die Einteilung der Bausteine in Rubriken sein.

Auf Ebene der Bausteine können Merkmale in diesem Zusammenhang beispielsweise Parameter sowie gültige Werte von Parametern für die Eingabe von Daten der Bausteine sein.

322 Aus der Analyse der Quellen MERTINS et al. (1996), GÜNTNER (2001), KADACHI (2004), VOIGT (2004), HEINRICH et al. (2006), RABE et al. (2006), KÖNIG et al. (2007), STEINHÄUER (2007), CLAUSING et al. (2008), STEINHÄUER (2008), FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT (2010) und MAYER et al. (2010) ergaben sich keine übertragbaren Merkmale.

323 Es werden jeweils nur die Merkmale aufgeführt, die voraussichtlich übernommen werden. Auf die Nennung und Diskussion der voraussichtlich nicht übernommenen Merkmale wird an dieser Stelle verzichtet.

Die Autoren nutzen in den analysierten Arbeiten für einige Bausteine unterschiedliche Begriffe. Auf diese unterschiedlichen Begriffe wird in der Dissertation nicht eingegangen. Stattdessen werden in der Dissertation für die betreffenden Bausteine einheitlich die Begriffe Werkstücke, Werker, Bearbeitungsstation, Lager und Puffer verwendet.

NOCHE et al. (1993), S. 270, nehmen eine Einteilung der Bausteine in bewegliche Elemente, ortsfeste Elemente und organisatorische Elemente vor. Als bewegliche Elemente werden unter anderem Werkstücke³²⁴ genannt, als ortsfeste Elemente werden unter anderem Bearbeitungsstationen³²⁵ und Puffer³²⁶ genannt und als organisatorische Elemente werden unter anderem Pausen, Störungen, Personaleinsatz, Arbeitspläne und Stücklisten³²⁷ genannt.

ZELEWSKI (1995d) modelliert Werker³²⁸ und Werkstücke³²⁹ jeweils als Marken mit Attributen im Petrinetz-Graphen³³⁰.

NOCHE (1997), S. 428, nennt als mögliche organisatorische Elemente Steuerungen, Arbeitspläne, Störmuster und Schichtmodelle. Des Weiteren nennt er Standardstatistiken wie beispielsweise³³¹:

- Auslastungsdiagramme, welche die Zustände zu Bearbeitungsstationen oder Werkern aufzeigen, wie z.B. Bearbeitung, Wartezeit und Rüstzeit,
- Belegungsdiagramme, die unter anderem den Füllstand von Lagern darstellen, sowie
- Statistiken zur Durchlaufzeit von Werkstücken.

ZIMMERMANN (1997) nennt Zielgrößen, an denen die Prozess-Simulation³³² ausgerichtet werden sollte. Diese Zielgrößen können die Auslastung von Bearbeitungsstationen, Pufferfüllstände oder Durchlaufzeiten³³³ sein.

NOCHE (1998) schlägt die Bereitstellung unter anderem folgender Regeln vor³³⁴:

- Regeln zur Weitergabe der Werkstücke zwischen den Bausteinen³³⁵ sowie

324 Vgl. NOCHE et al. (1993), S. 270.

325 Bisher wurde in der Dissertation der Begriff Maschine verwendet. Diese Benennung wird ab hier zum Begriff Bearbeitungsstation erweitert. Eine Bearbeitungsstation kann sowohl eine Maschine als auch z.B. ein Prüfplatz sein.

326 Vgl. NOCHE et al. (1993), S. 270.

327 Vgl. NOCHE et al. (1993), S. 270.

328 Vgl. ZELEWSKI (1995d), S. 94–110.

329 Vgl. ZELEWSKI (1995d), S. 7–19.

330 Die Marken sind dynamische Netzelemente und entsprechen daher beweglichen Elementen, vgl. Kapitel 2.4.2.2 und Kapitel 2.4.2.4.

331 Vgl. NOCHE (1997), S. 429.

332 Da hier von Prozess-Simulation und nicht von Bausteinen die Rede ist, scheint dieses Merkmal für die Erstellung des Baukastensystems auf den ersten Blick keine Relevanz zu besitzen. Um jedoch die Ausrichtung der später vom Anwender zu erstellenden Prozess-Simulationen auf eine Zielgröße zu ermöglichen, muss das Baukastensystem diese Möglichkeit bieten. Daher wird die Möglichkeit zur Ausrichtung auf Zielgrößen bei der Erstellung des Baukastensystems berücksichtigt.

333 Vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 11.

334 Der Autor teilt die Regeln in Operationsregeln, Steuerungsregeln, Dispositionsregeln und Administrationsregeln ein. Auf diese Unterteilung wird in der Dissertation nicht näher eingegangen. Die Regeln können sowohl in den Bausteinen selbst als auch übergeordnet hinterlegt werden.

335 NOCHE (1998) fasst diese als Steuerungsregeln zusammen und nennt First In - First Out (FIFO), kürzester Zeitverbrauch, vom Füllgrad bestimmter Bausteine gesteuert (dies kann beispielsweise der vorhergehende oder der nachfolgende Baustein sein), Zufallsentscheidung, Pulkweitergabe sowie Prioritätsregeln; vgl. NOCHE (1998), S. 136.

- Regeln zur Zuordnung der Werkstücke auf Bearbeitungsstationen³³⁶.

Den Bausteinen ordnet NOCHE (1998), S. 137, Zustandsvariablen zu, ein Baustein kann die Zustände wartet, gestört, arbeitet oder rüstet annehmen. Außerdem werden Parametermasken gezeigt, welche bei den Bausteinen der Bearbeitungsstationen und Werker zum Einsatz kommen können³³⁷.

Bei FRIEDLAND et al. (2000) werden die Bausteine nach Funktionen unter anderem in die Rubriken Fertigen, Lagern, Prüfen und Montieren eingeteilt. Bausteine der gleichen Rubriken werden mit jeweils gleichen Symbolen dargestellt³³⁸.

Die Einteilung der Bausteine in Rubriken ist bei BADER (2005) ebenfalls zu finden, wobei er unter anderem die Rubriken Fertigen und Lagern³³⁹ verwendet. Auch er kennzeichnet Bausteine der gleichen Rubrik mit gleichen Symbolen³⁴⁰.

STEINHAEUER (2006) nennt verschiedene Auswertungsmöglichkeiten wie das Messen der Auslastung von Bearbeitungsstationen und Werkern, der Analyse der Liefertreue sowie die Analyse der Puffer zwischen Bearbeitungsstationen³⁴¹.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011) teilt die Bausteine in ortsfeste Bausteine (Lager, Puffer, Bearbeitungsstationen) und bewegliche Bausteine (Werker und Werkstücke) ein³⁴². Den Lagerbausteinen kann eine maximale Kapazität zugewiesen werden³⁴³, der Kundenbedarf an Werkstücken kann periodisch verteilt eingegeben werden³⁴⁴ und die Bearbeitungsstationen erhalten optional eine Prioritätsregel für die Bearbeitung von Werkstücken³⁴⁵. Des Weiteren werden verschiedene Auswertungsmöglichkeiten für die Auslastung der Bearbeitungsstationen, Liefertreue und Durchlaufzeit aufgezeigt³⁴⁶.

SPIECKERMANN et al. (2010), S. 142, schlagen als mögliche Ausrichtung einer Prozess-Simulation die Ausrichtung auf kritische Ressourcen unter Beachtung von vorgegebenen Arbeitsreihenfolgen vor.

336 NOCHE (1998) fasst diese als Dispositionsregeln zusammen und nennt Prioritätsregeln, kürzester Zeitverbrauch, rüstzeit-optimale Zuordnung sowie termingesteuerte Zuordnung; vgl. NOCHE (1998), S. 135–136.

337 Vgl. NOCHE (1998), S. 140. Es können beispielsweise Rüstzeiten der Bearbeitungsstationen sowie Qualifikationen der Werker mittels der Parametermasken in den Baustein eingepflegt werden.

338 Vgl. FRIEDLAND et al. (2000), S. 144.

339 Vgl. BADER (2005), S. 57.

340 Vgl. BADER (2005), S. 57.

341 Vgl. STEINHAEUER (2006), S. 9–10.

342 Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 408.

343 Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 410.

344 Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 415.

345 Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 419–420.

346 Vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 444–456.

In der folgenden Tabelle 20 werden die analysierten Merkmale aufgelistet und in Kategorien eingeordnet. Diese Kategorien orientieren sich an den bereits im vorhergehenden Kapitel 3.3 verwendeten Kategorien, es wird jedoch die Kategorie Auswertung hinzugefügt und die Kategorie Bausteine um Unterkategorien³⁴⁷ ergänzt.

Quelle	analysiertes Merkmal	Hauptkategorie	Unterkategorie
NOCHE et al. (1993)	Werkstücke	Bausteine	--
	Bearbeitungsstation	Bausteine	--
	Puffer	Bausteine	--
	bewegliche Elemente: Werkstücke	Bausteine	Einteilung
	ortsfeste Elemente: Bearbeitungsstationen und Puffer	Bausteine	Einteilung
	organisatorische Elemente: Pausen, Störungen, Personaleinsatz, Arbeitspläne, Stücklisten	Bausteine	Einteilung
ZELEWSKI (1995d)	Werker	Baustein	--
	Werkstücke	Baustein	--
	bewegliche Elemente: Werker, Werkstücke	Baustein	Einteilung
NOCHE (1997)	organisatorische Elemente: Steuerungen, Arbeitspläne, Störmuster, Schichtmodelle	Baustein	Einteilung
	Auslastung Werker: Bearbeitungszeit, Wartezeit, Rüstzeit	Auswertung	--
	Auslastung Bearbeitungsstationen: Bearbeitungszeit, Wartezeit, Rüstzeit	Auswertung	--
	Belegungsdiagramm Lager	Auswertung	--
	Werkstücke: Durchlaufzeit	Auswertung	--
ZIMMERMANN (1997)	Auslastung Bearbeitungsstationen	Ausrichtung	--
	Pufferfüllstände	Ausrichtung	--
	Durchlaufzeiten	Ausrichtung	--
NOCHE (1998)	Bearbeitungsstation: wartet, gestört, arbeitet, rüstet	Bausteine	Zustände
	Bearbeitungsstation: Werkstückweitergabe, Werkstückzuordnung, Rüstzeiten	Bausteine	Parameter
	Werker: Qualifikation	Bausteine	Parameter
FRIEDLAND et al. (2000)	Rubriken der Bausteine: Fertigen, Lagern, Prüfen, Montieren	Bausteine	Einteilung
	Bausteine der gleichen Rubrik mit gleichen Symbolen darstellen	Bausteine	Kennzeichnung
BADER (2005)	Rubriken der Bausteine: Fertigen, Lagern	Bausteine	Einteilung
	Bausteine der gleichen Rubrik mit gleichen Symbolen kennzeichnen	Bausteine	Kennzeichnung

³⁴⁷ Es werden die Unterkategorien Einteilung, Kennzeichnung, Zustände und Parameter ergänzt. Diese Unterkategorien sind nicht identisch mit den in Kapitel 3.3.6 in der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) festgelegten Unterkategorien.

Quelle	analysiertes Merkmal	Hauptkategorie	Unterkategorie
STEINHAEUER (2006)	Auslastung Bearbeitungsstationen	Auswertung	--
	Auslastung Werker	Auswertung	--
	Liefertreue	Auswertung	--
	Puffer	Auswertung	--
FRAUNHOFER- INSTITUT FÜR PRODUKTIONS- TECHNIK UND AUTOMATISIE- RUNG (IPA) (2011)	Lager	Bausteine	--
	Puffer	Bausteine	--
	Bearbeitungsstation	Bausteine	--
	Werker	Bausteine	--
	Werkstücke	Bausteine	--
	ortsfeste Elemente: Lager, Puffer, Bear- beitungsstationen	Bausteine	Einteilung
	bewegliche Elemente: Werker, Werkstücke	Bausteine	Einteilung
	Lager: maximale Kapazität	Bausteine	Parameter
	Werkstücke: periodisch verteilter Kunden- bedarf	Bausteine	Parameter
	Bearbeitungsstation: Prioritätsregeln	Bausteine	Parameter
	Auslastung Bearbeitungsstationen	Auswertung	--
	Liefertreue	Auswertung	--
	Werkstücke: Durchlaufzeit	Auswertung	--
SPIECKERMANN et al. (2010)	kritische Ressourcen	Ausrichtung	--

Tabelle 20: Auflistung und Einordnung der analysierten Merkmale aus der Fachliteratur zu Baukastensystemen

3.4.2 Produkt: Katalog der zu übertragenden Merkmale

In der folgenden Tabelle 21 werden die analysierten Merkmale aus der Fachliteratur zu Baukastensystemen in den Katalog der zu übertragenden Merkmale zusammengefasst. Dieser Katalog stellt das Produkt der Phase Analyse dar und wird in der nächsten Phase, der Realisierung des neuen Baukastensystems, berücksichtigt.

Merkm- mal	Beschreibung	Quelle	Hauptkategorie	Unterkategorie
I	Werker	ZELEWSKI (1995d); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	--

Merkmal	Beschreibung	Quelle	Hauptkategorie	Unterkategorie
II	Werkstücke	NOCHE et al. (1993); ZELEWSKI (1995d); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	--
III	Bearbeitungsstation	NOCHE et al. (1993); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	--
IV	Puffer	NOCHE et al. (1993); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	--
V	Lager	FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	--
VI	bewegliche Elemente: Werker, Werkstücke	NOCHE et al. (1993); ZELEWSKI (1995d); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	Einteilung
VII	ortsfeste Elemente: Bearbeitungsstation, Puffer, Lager	NOCHE et al. (1993); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	Einteilung
VIII	organisatorische Elemente: Steuerungen, Pausen, Störungen, Personalein- satz, Arbeitspläne, Stück- listen, Schichtmodelle	NOCHE et al. (1993); NOCHE (1997)	Bausteine	Einteilung
IX	Rubriken der Bausteine: Fertigen, Lagern, Prüfen, Montieren	FRIEDLAND et al. (2000); BADER (2005)	Bausteine	Einteilung
X	Bausteine gleicher Rubri- ken mit gleichen Symbo- len kennzeichnen	FRIEDLAND et al. (2000); BADER (2005)	Bausteine	Kennzeichnung
XI	Bearbeitungsstation: wartet, gestört, arbeitet, rüstet	NOCHE (1998)	Bausteine	Zustände
XII	Werkstücke: periodisch verteilter Kundenbedarf	FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	Parameter
XIII	Bearbeitungsstation: Werkstückweitergabe, Werkstückzuordnung, Rüstzeiten, Prioritätsre- geln	NOCHE (1998); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	Parameter
XIV	Werker: Qualifikation	NOCHE (1998)	Bausteine	Parameter

Merkmal	Beschreibung	Quelle	Hauptkategorie	Unterkategorie
XV	Lager: maximale Kapazität	FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Bausteine	Parameter
XVI	kritische Ressourcen	SPIECKERMANN et al. (2010)	Ausrichtung	--
XVII	Auslastung Bearbeitungsstationen	ZIMMERMANN (1997)	Ausrichtung	--
XVIII	Pufferfüllstände	ZIMMERMANN (1997)	Ausrichtung	--
XIX	Durchlaufzeiten	ZIMMERMANN (1997)	Ausrichtung	--
XX	Auslastung Werker: Bearbeitungszeit, Wartezeit, Rüstzeit	NOCHE (1997); STEINHAUER (2006)	Auswertung	--
XXI	Auslastung Bearbeitungsstationen: Bearbeitungszeit, Wartezeit, Rüstzeit	NOCHE (1997); STEINHAUER (2006); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Auswertung	--
XXII	Lager und Puffer: Belegungsdiagramm	NOCHE (1997); STEINHAUER (2006)	Auswertung	--
XXIII	Werkstücke: Durchlaufzeit	NOCHE (1997); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Auswertung	--
XXIV	Liefertreue	STEINHAUER (2006); FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)	Auswertung	--

Tabelle 21: Katalog der zu übertragenden Merkmale

3.5 Phase Realisierung

3.5.1 Konkretisierung der Phase Realisierung

In der Phase Realisierung werden die Bausteine in PACE³⁴⁸ mittels einer Methode³⁴⁹ unter Beachtung der Anforderungen und der zu übertragenden Merkmale modelliert. Die PACE-Bausteine werden entwicklungsbegleitend validiert und verifiziert.

Parallel dazu werden ergänzende Dateien, ebenfalls unter Beachtung der Anforderungen und der zu übertragenden Merkmale, erstellt³⁵⁰. Abschließend werden die PACE-Bausteine sowie die ergänzenden Dateien in das neue Baukastensystem zusammengefasst.

348 Die Bausteine werden im Folgenden als PACE-Bausteine bezeichnet.

349 Die ausgewählte Methode lehnt sich an die Methode zur Modellerstellung nach SPUR et al. (1993) an; vgl. Kapitel 3.5.2.1.

350 Die Methode wird lediglich auf die zu erstellenden PACE-Bausteine angewandt, da nur diese *modelliert* werden. Bei der *Erstellung* der ergänzenden Dateien wird die Methode nicht angewandt.

Die folgenden Abbildung 19 visualisiert die Konkretisierung der Phase Realisierung.

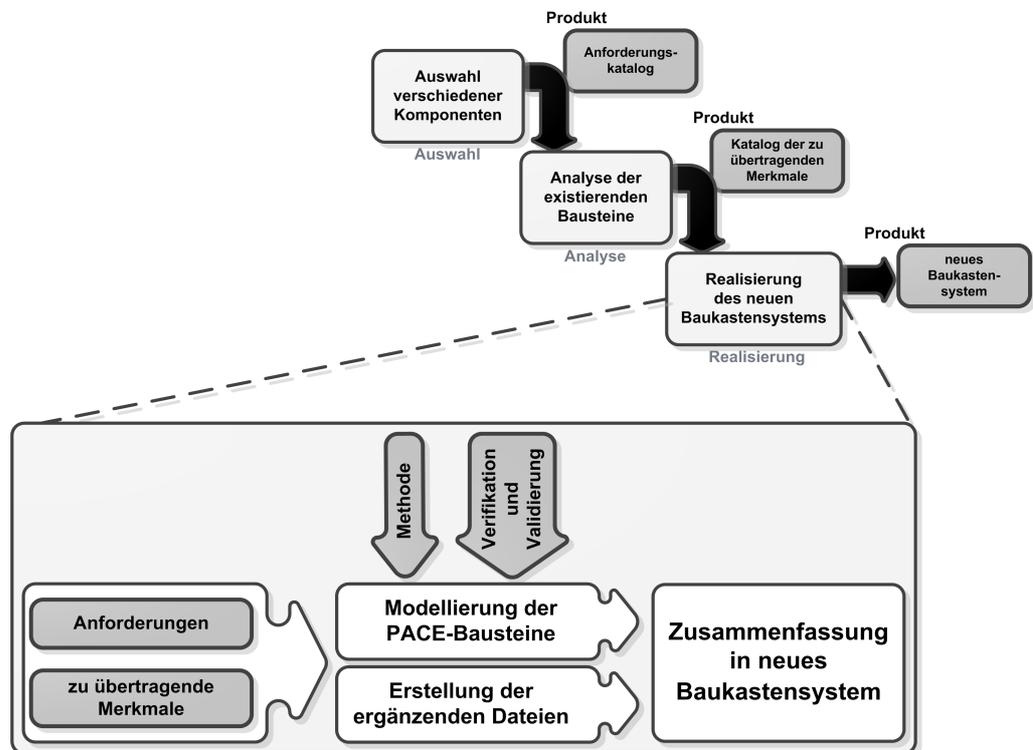


Abbildung 19: Konkretisierung der Phase Realisierung

3.5.2 Methode

3.5.2.1 Auswahl der Methode

Die Modellierung der PACE-Bausteine erfolgt angelehnt an die Methode zur Modellerstellung von SPUR et al. (1993)³⁵¹.

SPUR et al. (1993), S. 53, unterteilen ihre Methode in die Vorgehensweise und die Konstrukte. Die Vorgehensweise enthält Strategien und Prinzipien zur Modellerstellung, während als Konstrukte Elemente sowie Regeln zur Verknüpfung der Elemente bezeichnet werden³⁵².

³⁵¹ Vgl. SPUR et al. (1993), S. 53. Der Autor nutzt seine Methode, um aus bestehenden Bausteinen ein Simulationsmodell zu erstellen. Da in der Dissertation noch keine Bausteine vorhanden sind, sondern ebendiese modelliert werden, kann die Methode nicht direkt übernommen werden. Daher lehnt sich die angewandte Methode der Dissertation an die Methode von SPUR et al. (1993) an.

Die Methode von SPUR et al. (1993) wird ausgewählt, da sie nach subjektiver Meinung der Autorin der Dissertation die am besten geeignete Methode für den vorliegenden Anwendungsfall ist. Eine interessante alternative Methode zur Modellerstellung böte möglicherweise die VDI Richtlinie 4465, welche konkret den Modellbildungsprozess in logistischen Systemen beschreiben soll und bereits im Jahr 2011 hätte erscheinen sollen; vgl. TEN HOMPEL et al. (2007), S. 29; WENZEL (2010), S. 547. Im Juni 2015 war die Richtlinie allerdings bei einer Suche auf der Webseite des VDI <https://www.vdi.de/technik/richtlinien/> weder als veröffentlicht noch als angekündigt noch als zurückgezogen auffindbar.

³⁵² Vgl. SPUR et al. (1993), S. 53.

Die folgende Abbildung 20 visualisiert die Unterteilung der Methode.

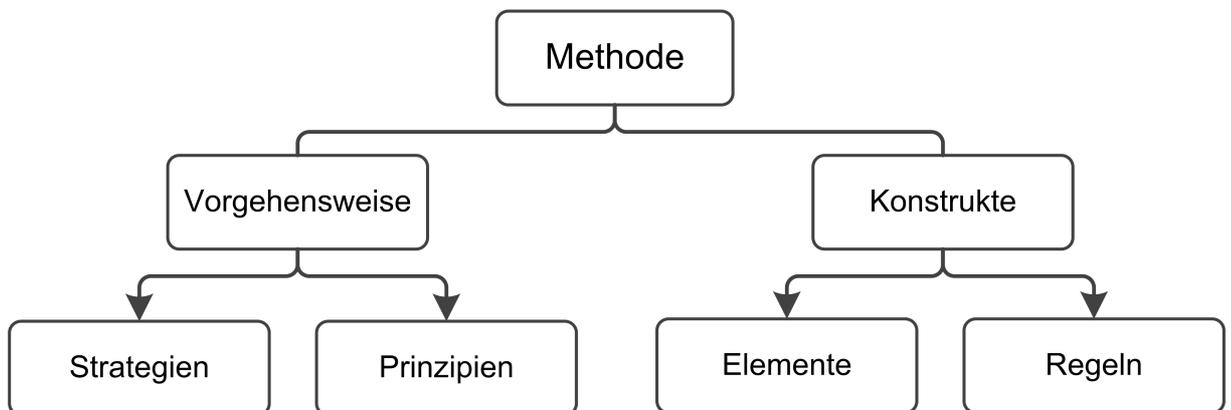


Abbildung 20: Methode zur Modellerstellung nach SPUR et al. (1993), S. 53

Im Folgenden wird die Methode detailliert vorgestellt.

3.5.2.2 Strategien

Es wird zunächst in PACE ein dynamischer Petrinetz-Graph erstellt, aus dem anschließend die PACE-Bausteine als Elemente extrahiert werden.

Die Strategie zur Erstellung des dynamischen Petrinetz-Graphen lehnt sich an die Strategie von BALZERT (2009) zur schrittweisen Erstellung von hierarchischen Petrinetz-Graphen an³⁵³. Es wird zunächst ein statischer Petrinetz-Graph eines Elementaren Netzes³⁵⁴ erstellt³⁵⁵. Dieser statische Petrinetz-Graph stellt die Netzelemente der obersten hierarchischen Ebene dar. Anschließend werden diese Netzelemente im Top-down-Ansatz³⁵⁶ verfeinert³⁵⁷ und das Markenspiel hinzugefügt³⁵⁸, wodurch der dynamische Petrinetz-Graph entsteht.

353 Eine allgemein anerkannte Methode zur Erstellung speziell von Petrinetz-Graphen findet sich in der Literatur nicht, vgl. BALZERT (2009), S. 322. Der Autor schlägt daher ein Vorgehen zur Erstellung eines hierarchischen Petrinetz-Graphen in acht Schritten vor; vgl. BALZERT (2009), S. 323–327.

354 Vgl. Kapitel 2.4.3.2.

355 Dies entspricht den Schritten 1 und 2 nach BALZERT (2009); vgl. BALZERT (2009), S. 323–326.

356 MÖHRLE (1989) empfiehlt dieses Vorgehen bei neu zu erstellenden Modellen und besonders bei Petrinetz-Graphen; vgl. MÖHRLE (1989), S. 79–80. Weitere Diskussionen zum Thema Top-down, Bottom-up und Middle-out bieten WENZEL et al. (2008), S. 127; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 67.

357 Dies entspricht den Schritten 3 bis 5 und dem Schritt 7 nach BALZERT (2009); vgl. BALZERT (2009), S. 327. Der Autor legt in seiner Strategie den Netztyp erst im 6. Schritt fest (vgl. BALZERT (2009), S. 327). In der Dissertation ist dagegen der Netztyp bereits vor dem 1. Schritt der Erstellung des hierarchischen Petrinetz-Graphen festgelegt. Daher entfällt der 6. Schritt nach BALZERT (2009).

PACE verwendet den Netztyp der Attribuierten Petrinetze. Attribuierte Petrinetze sind ein Netztyp der Höheren Netze, vgl. Fn. 250, S. 55, sowie Kapitel 2.4.3.

358 Dies entspricht dem Schritt 8 nach BALZERT (2009); vgl. BALZERT (2009), S. 327.

3.5.2.3 Prinzipien

3.5.2.3.1 Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung

Ein realer Prozess kann in einem Simulationsmodell unterschiedlich dargestellt werden³⁵⁹. Eine Möglichkeit zur Vermeidung dieser unterschiedlichen Darstellungen und damit zur Vereinheitlichung der Modellierung stellen die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM) dar³⁶⁰. Zur Erhöhung des Qualitätsniveaus³⁶¹ der PACE-Bausteine werden daher bei der Erstellung als ein Prinzip die GoM angewendet. Die einzelnen Grundsätze³⁶² sowie konkrete, messbare Maßnahmen zu den jeweiligen Grundsätzen werden im Folgenden vorgestellt. Die Maßnahmen werden in Tabelle 22, S. 100, zusammengefasst.

Grundsatz der Richtigkeit

Der Grundsatz der Richtigkeit wird unterteilt in die syntaktische Richtigkeit und die semantische Richtigkeit³⁶³. Syntaktisch richtig ist ein Modell³⁶⁴, wenn es die Regeln der Modellierungssprache einhält³⁶⁵. Semantisch richtig ist ein Modell, wenn es den realen Prozess sowohl in der Struktur als auch im Verhalten korrekt wiedergibt³⁶⁶.

359 Vgl. ZIMMERMANN (1997), S. 21; VAN DER AALST et al. (2011), S. 91; BECKER et al. (2012), S. 3.

360 Die GoM werden in der Literatur in zwei Varianten beschrieben. Die erste Variante wurde in BECKER et al. (1995), S. 437 sowie ROSEMANN (1996) als GoM vorgestellt. Die zweite Variante wurde von SCHÜTTE (1998) als GoM II vorgestellt. Die Formulierung der GoM II hatte gegenüber den GoM die Zielsetzung „Theoriedefizite zu eliminieren“ (SCHÜTTE (1998), S. 111) und die Anwendbarkeit in der Praxis zu fördern; vgl. SCHÜTTE (1998), S. 111. In Bezug auf die Anwendbarkeit in der Praxis scheint dieses Ziel jedoch nicht erreicht worden zu sein, da zum einen sogar der Autor selbst später darauf hinweist, dass die GoM II für den Anwender weniger verständlich sind; vgl. SCHÜTTE (1999), S. 192. Zum anderen sind praktische Anwendungen der GoM II in der Literatur nur vereinzelt wiederzufinden vgl. z.B. ZELLNER (2003), S. 159–171; BECKER et al. (2004), S. 65–170; HOCHSTEIN et al. (2004). Die GoM hingegen erfahren mehr praktische Anwendungen, vgl. z.B. BRAUN et al. (2003), S. 40–47; BECKER et al. (2004), S. 65–170; SCHEUCH (2004); WENZEL et al. (2008), S. 126; FRAUCHIGER (2010), S. 11–35; WEDDELING et al. (2010), S. 263; BÜHRIG (2011), S. 54–55; BECKER et al. (2012), S. 143–214, LEIMEISTER (2012), S. 189–223.

Die Schlussfolgerung der Autorin der Dissertation ist, dass die GoM II zwar wissenschaftlich fundierter formuliert sein mögen, sich in der Praxis jedoch mangels Verständlichkeit für den Anwender nicht durchsetzen. Da in der Dissertation ein Baukastensystem als Instrument für die Praxis entwickelt wird, werden in der Dissertation die praxisnäheren GoM angewandt.

361 BECKER et al. (1995), S. 437 leiten aus der Einschränkung der Freiheitsgrade bei der Modellierung eine Erhöhung der Modellqualität ab.

362 Die GoM sind aufgeteilt in Grundsätze der Richtigkeit, der Relevanz, der Wirtschaftlichkeit, der Klarheit, der Vergleichbarkeit und des systematischen Aufbaus; vgl. BECKER et al. (1995), S. 437–439.

363 Vgl. ROSEMANN et al. (2012), S. 49.

364 In der Dissertation wird i.d.R. von Simulationsmodellen gesprochen, in diesem Kapitel 3.5.2.3.1 wird dagegen auch allgemein vom Modell gesprochen. Der Hintergrund ist, dass die GoM nicht nur für Simulationsmodelle sondern allgemein auf Modelle angewendet werden können und in der Dissertation zunächst für die Anwendung auf Simulationsmodelle konkretisiert werden.

365 Vgl. ROSEMANN et al. (2012), S. 49.

366 Vgl. ROSEMANN et al. (2012), S. 49.

Als Maßnahme³⁶⁷ zum Erreichen der syntaktischen Richtigkeit eines Modells fordert SCHEUCH (2004), S. 30, die Einhaltung der Regeln der Modellierungssprache³⁶⁸. Diese Maßnahmen wird in der Dissertation als Maßnahme GoM1 übernommen.

Als Maßnahme zum Erreichen der semantischen Richtigkeit eines Modells wird von BECKER et al. (1995), S. 438, BRAUN et al. (2003), S. 40, und BECKER et al. (2012), S. 181–183, die Einhaltung von Namenskonventionen³⁶⁹ genannt. In der Dissertation werden diese Namenskonventionen³⁷⁰ mit der Ausprägung *Allgemein* bezeichnet und als Maßnahme GoM2 übernommen. Die Maßnahme GoM2 beinhaltet folgende sprachliche Vorgaben zur Benennung der Netzelemente:

- Die Verwendung von Synonymen und Homonymen wird vermieden, soweit es Sicht der Autorin der Dissertation möglich und sinnvoll ist³⁷¹.
- Module³⁷² und Stellen werden mit Substantiv im Singular oder Plural, gegebenenfalls plus Adjektiv, beschriftet³⁷³.

367 SCHEUCH (2004) gibt in seinem Artikel zu jedem GoM „messbare Merkmale“ (SCHEUCH (2004), S. 30) an. Allerdings vermischt SCHEUCH (2004) Merkmale des fertigen Modells mit Maßnahmen, wobei sich die Maßnahmen weiterhin unterscheiden lassen in Maßnahmen, die bei der Modellerstellung zu beachten sind, und Maßnahmen, mit denen das fertige Modell auf die Einhaltung der GoM überprüft werden kann. Eine explizite Unterscheidung der Merkmale von den Maßnahmen nimmt SCHEUCH (2004) nicht vor.

Vom wissenschaftlichen Standpunkt her beurteilt die Autorin der Dissertation den Artikel von SCHEUCH (2004) daher als unpräzise. Die Arbeit von SCHEUCH (2004) wird in der Dissertation dennoch verwendet, da sie eine der wenigen praxisnahen Beiträge zu den GoM mit Nennung konkreter, messbarer Maßnahmen ist.

368 Die Einhaltung der Regeln der Modellierungssprache Petrinetze schließt auch die Einhaltung der mathematischen Notation und der mathematischen Syntax ein, auf die in Kapitel 2.4.2.2 nicht eingegangen wurde.

369 ROSEMANN (1996), S. 101, weist darauf hin, dass die Namenskonventionen in harmonischer Beziehung zum Grundsatz der Klarheit stehen.

370 Alle Namenskonventionen werden in der Dissertation nur auf den Objektebenen berücksichtigt (zu den Objektebenen vgl. Fn. 393, S. 97). Das hat den Grund, dass die Module, Stellen und Transitionen auf den Objektebenen konsequent beschriftet werden, da diese Ebenen vom späteren Anwender des Baukastensystems genutzt werden. In den tiefer liegenden Ablaufebenen erfolgt die Beschriftung von Modulen, Stellen und Transitionen nur bedarfsweise.

371 Vgl. BECKER et al. (2012), S. 182–183.

372 Abweichend von den in Kapitel 2.4.2.2 vorgestellten Netzelementen der Modellierungssprache Petrinetze enthält das Simulationswerkzeug PACE zusätzlich das Netzelement Modul. Dieses wird zur Hierarchisierung von Petrinetz-Graphen verwendet; vgl. auch Kapitel 3.5.5.1.

373 Diese sprachliche Vorgabe wird in der Tabelle 35, S. 192, als *grammatikalischer Aufbau* bezeichnet.

Grundsatz der Relevanz

Der Grundsatz der Relevanz besagt zum einen, dass nur die Aspekte der Realität modelliert werden sollen, die für das Ziel der Modellierung relevant sind³⁷⁴. Die Ziele der Modellierung stellen im Falle des Baukastensystems die zu beantwortenden Fragestellungen dar, die in den Anforderungen 1 bis 10 und 26³⁷⁵ sowie den Merkmalen XVI bis XIX³⁷⁶ erfasst und dort als Ausrichtung bezeichnet wurden. Als Maßnahme GoM3 wird in der Dissertation daher festgelegt, dass in den Bausteinen³⁷⁷ nur diejenigen Aspekte der Realität modelliert werden, die für die Ausrichtungen des Baukastensystems relevant sind.

Zum anderen fordert der Grundsatz der Relevanz, dass keine Aspekte im Modell dargestellt werden, welche so nicht auch in der Realität existieren³⁷⁸. Aus dieser Forderung wird die Maßnahme GoM4 abgeleitet, nur Aspekte darzustellen, die so auch in der Realität existieren.

Grundsatz der Wirtschaftlichkeit

Der Grundsatz der Wirtschaftlichkeit fordert allgemein ein angemessenes Verhältnis der Modellierungskosten zum Nutzen der Modellierung³⁷⁹. BECKER et al. (2012), S. 34 schreibt genauer, dass die Kosten einer Modellverfeinerung den monetären Nutzen, den die Verfeinerung ergibt, nicht übersteigen sollen. Die Maßnahmen zur Einhaltung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit zielen darauf ab, den Aufwand für die Modellerstellung möglichst gering zu halten³⁸⁰. Als Maßnahmen werden in der Literatur die Verwendung von Modellierungswerkzeugen³⁸¹ sowie die Wiederverwendung von Bausteinen³⁸² vorgeschlagen.

Als Maßnahme GoM5 wird in der Dissertation zur Einhaltung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit ein Simulationswerkzeug zur Erstellung der Bausteine verwendet.

Als Maßnahme GoM6 werden, soweit möglich, Merkmale bereits existierender Bausteine übernommen.

Auch innerhalb des Baukastensystems werden als Maßnahme GoM7 Merkmale von neu erstellten PACE-Bausteinen, soweit möglich, mehrfach verwendet.

374 Vgl. SCHEUCH (2004), S. 30; BECKER et al. (2012), S. 33; ROSEMANN et al. (2012), S. 49–50.

375 Vgl. Tabelle 19, S. 85.

376 Vgl. Tabelle 21, S. 91.

377 Vgl. die Anforderungen 11 bis 18 (Tabelle 19, S. 85), sowie die Merkmale I bis V (Tabelle 21, S. 91).

378 Vgl. BECKER et al. (2012), S. 34.

379 Vgl. ROSEMANN et al. (2012), S. 50. Die Modellierungskosten sind verhältnismäßig einfach zu erfassen, während der Nutzen einer Modellierung nur schwer in monetären Werten auszudrücken ist, vgl. ROSEMANN et al. (2012), S. 50.

380 Vgl. BECKER et al. (1995), S. 442. Die Autoren spezifizieren genauer, dass „Ein Modell [...] so lange verfeinert werden [soll], bis die zusätzlichen Kosten der Verfeinerung gerade dem zusätzlichen Nutzen, der aus der Verfeinerung resultiert, gleich kommen“; BECKER et al. (2012), S. 34. Diese Forderung ist allerdings nur schwer umzusetzen, da der Nutzen einer Verfeinerung eines Modells nur schwer in monetären Vorteil umgerechnet werden kann; vgl. ROSEMANN et al. (2012), S. 50. Vgl. auch die Fn. 379, S. 96.

381 Vgl. BECKER et al. (1995), S. 442.

382 BRAUN et al. (2003), S. 41, schreiben von der Wiederverwendung von Strukturbausteinen und Prozessbausteinen, SCHEUCH (2004), S. 30, schreibt von der Wiederverwendung von Strukturbausteinen.

Grundsatz der Klarheit

Der Grundsatz der Klarheit fordert eine möglichst verständliche Darstellung des Modells³⁸³.

Die Verwendung der Modellierungssprache Petrinetze unterstützt als Maßnahme GoM8 den Grundsatz der Klarheit³⁸⁴.

Als Maßnahme GoM9 werden die PACE-Bausteine funktionsorientiert in Gruppen eingeteilt³⁸⁵ und die PACE-Bausteine der jeweils gleichen Gruppen mit gleichen Symbolen gekennzeichnet.

Als Maßnahme GoM10 werden die PACE-Bausteine, soweit möglich, nach einem einheitlichen Konstruktionsprinzip modelliert³⁸⁶.

Als Maßnahme GoM11 werden Namenskonventionen³⁸⁷ in der Ausprägung *Zielgruppenorientierte Fachsprache*³⁸⁸ eingehalten.

Der graphischen Anordnung der Elemente wird ein wesentlicher Anteil an der Lesbarkeit eines Modells zugeschrieben³⁸⁹. Zur Verbesserung der Lesbarkeit werden daher als Maßnahme GoM12 die Netzelemente auf der Ablaufebene³⁹⁰ vertikal von oben nach unten angeordnet³⁹¹.

Als Maßnahme GoM13 werden die Netzelemente auf allen Ebenen so angeordnet, dass sie sich möglichst nicht überlappen oder kreuzen³⁹². Auf den Objektebenen³⁹³ ist keine Kantenbeschriftung zu sehen³⁹⁴.

383 Vgl. SCHEUCH (2004), S. 30. Genauer formuliert geht es um die „Lesbarkeit, Anschaulichkeit und Verständlichkeit“ (BECKER et al. (2012), S. 35) eines Modells, um die intuitive Lesbarkeit (vgl. ROSEMAN et al. (2012), S. 50) oder dass „ein Modell ohne große Schwierigkeiten verständlich ist“ (LEIMEISTER (2012), S. 196).

384 Vgl. auch Kapitel 2.4.4, wo die Eignung des Petrinetz-Konzepts für den Laien auf dem Gebiet des Petrinetz-Konzepts diskutiert wird.

385 Vgl. NOCHE et al. (1993), S. 273; FRIEDLAND et al. (2000), S. 144; BADER (2005), S. 57; MÜLLER et al. (2007), S. 27.

386 Vgl. MÜLLER et al. (2007), S. 29–30. Diese Maßnahme GoM10 steht in starkem Zusammenhang mit der Maßnahme GoM7, die dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit zugeordnet ist.

387 Alle Namenskonventionen werden in der Dissertation nur auf der Objektebene berücksichtigt, vgl. Fn. 370, S. 95.

388 Vgl. BRAUN et al. (2003), S. 40; SCHEUCH (2004), S. 30; BECKER et al. (2012), S. 182. In den genannten Quellen wird vom „Fachbegriffsmodell“ gesprochen, auf das in der Dissertation nicht näher eingegangen wird. Genauer zum Fachbegriffsmodell vgl. z.B. KUGELER et al. (1998).

389 Vgl. ROSEMAN (1996), S. 101.

390 Vgl. Fn. 393, S. 97.

391 Für die Objektebenen (vgl. Fn. 393, S. 97) wird keine Maßnahme zur Anordnung der Netzelemente festgelegt. Vielmehr werden die Netzelemente dort möglichst übersichtlich für den Anwender angeordnet; vgl. LEIMEISTER (2012), S. 197, obgleich LEIMEISTER (2012) dies dem Grundsatz des systematischen Aufbaus zuordnet (vgl. auch S. 99). Die möglichst übersichtliche Anordnung der Netzelemente erfolgt nach dem subjektiven Empfinden der Autorin der Dissertation.

392 Vgl. LEIMEISTER (2012), S. 196.

393 Die PACE-Bausteine werden auf den oberen hierarchischen Ebenen als Objekte modelliert, diese Ebenen werden in der Dissertation als *Objektebenen* bezeichnet. Hierarchisch tiefer liegende Ebenen werden ablauforientiert modelliert, diese Ebenen werden in der Dissertation als *Ablaufebenen* bezeichnet. Durch dieses Vorgehen werden die Vorteile der Objektorientierung mit den Stärken des Petrinetz-Konzepts kombiniert, da die Darstellung von Objekten, die so auch in der Realität vorkommen, die Klarheit beim Anwender erhöht (vgl. Fn. 405, S. 99), zugleich aber die ablauforientierte Modellierung den Vorzügen des Petrinetz-Konzepts Rechnung trägt, da Petrinetz-Graphen Abläufe gut darstellen können (vgl. DESEL et al. (1996), S. 359).

394 Vgl. BECKER et al. (2012), S. 61. Auf den Ablaufebenen ist ein Ausblenden der Attribute in PACE systemtechnisch nicht möglich, daher sind auf den Ablaufebenen eben diese Attribute als Kantenbeschriftung sichtbar.

Grundsatz der Vergleichbarkeit

Der Grundsatz der Vergleichbarkeit lässt sich in die syntaktische und in die semantische Vergleichbarkeit untergliedern³⁹⁵. Die syntaktische Vergleichbarkeit bezeichnet die Vergleichbarkeit von Modellen, die mit unterschiedlichen Ansätzen³⁹⁶ erstellt wurden³⁹⁷. Die semantische Vergleichbarkeit dagegen bezeichnet die Vergleichbarkeit innerhalb eines Modells.

In der Dissertation wird der Grundsatz der Vergleichbarkeit auf die semantische Vergleichbarkeit beschränkt, welche auf die Vergleichbarkeit der PACE-Bausteine untereinander angewendet wird. Zur Erfüllung des Grundsatzes der Vergleichbarkeit werden als Maßnahme GoM14 Namenskonventionen³⁹⁸ in der Ausprägung *Ähnlichkeiten* beachtet³⁹⁹.

Grundsatz des systematischen Aufbaus

Der Grundsatz des systematischen Aufbaus wird in der Literatur unterschiedlich ausgelegt. Diese Auslegungen und die daraus festgelegten konkreten Maßnahmen werden im Folgenden erläutert.

In der ursprünglichen Auslegung von ROSEMANN (1996), S. 103, wird gefordert, dass Modelle, die in mehreren Sichten⁴⁰⁰ modelliert werden, in sich konsistent sind⁴⁰¹. Da in dem Baukastensystem lediglich eine Sicht, nämlich die Prozesssicht⁴⁰², modelliert wird, werden in der Dissertation für den Grundsatz des systematischen Aufbaus in dieser ursprünglichen Auslegung nach ROSEMANN (1996) keine konkreten Maßnahmen formuliert.

395 Vgl. z.B. BECKER et al. (1995), S. 441; VON UTHMANN (2001), S. 123.

396 BECKER et al. (1995), S. 439, schreibt von Methoden, GI-FACHGRUPPE 5.2 (1998), S. 6, von Modellierungsverfahren, SCHEUCH (2004), S. 30, von Modellierungsmethoden, BECKER et al. (2012), S. 36, von Modellierungssprachen. Diese unterschiedlichen Begriffe werden an dieser Stelle als „unterschiedliche Ansätze“ zusammengefasst.

397 Vgl. BECKER et al. (1995), S. 439; VON UTHMANN (2001), S. 123; BECKER et al. (2012), S. 36.

398 Alle Namenskonventionen werden in der Dissertation nur auf den Objektebenen berücksichtigt, vgl. Fn. 370, S. 95.

399 BECKER et al. (1995), S. 444, weisen darauf hin, dass sich die Vergleichbarkeit sowie die Klarheit von Modellen erhöhen ließe, wenn die Ähnlichkeit von Vorgängen aus deren Benennung hervorgehen würde. Dieser Aspekt wird in der Dissertation dem Grundsatz der Vergleichbarkeit zugeordnet und als Namenskonvention *Ähnlichkeiten* bezeichnet.

400 Diese unterschiedlichen Sichten können z.B. die Organisationssicht, die Funktionssicht und die Datensicht sein, vgl. GI-FACHGRUPPE 5.2 (1998), S. 7.

401 Diese Auslegung des Grundsatzes des systematischen Aufbaus findet sich auch bei GI-FACHGRUPPE 5.2 (1998), S. 7, und BECKER et al. (2012), S. 36.

402 Zur Prozesssicht vgl. BECKER et al. (1995), S. 437; BECKER et al. (2012), S. 42; ROSEMANN et al. (2012), S. 65.

LEIMEISTER (2012) legt den Grundsatz des systematischen Aufbaus anders aus, er fordert dass „die Elemente eines Modells logisch angeordnet werden, so dass die Prozesse für den Betrachter schnell zugänglich sind“⁴⁰³. Dem Ansatz von LEIMEISTER (2012) folgend werden in der Dissertation als Maßnahme GoM15 die PACE-Bausteine hierarchisch⁴⁰⁴ einem objektorientierten Ansatz⁴⁰⁵ folgend modelliert.

VON UTHMANN (2001) ordnet dem Grundsatz des systematischen Aufbaus die Trennung von Funktionen und Daten zu⁴⁰⁶. In der Dissertation wird diese Trennung von Funktionen und Daten nach VON UTHMANN (2001) als Maßnahme GoM16 übernommen.

In der folgenden Tabelle 22 werden die konkreten Maßnahmen GoM1 bis GoM16 zusammengefasst.

Nr.	Grundsatz	konkrete Maßnahme
GoM1	syntaktische Richtigkeit	Es werden die Regeln der Modellierungssprache Petrinetze eingehalten.
GoM2	semantische Richtigkeit	Es werden Namenskonventionen in der Ausprägung <i>Allgemein</i> eingehalten.
GoM3	Relevanz	Es werden nur diejenigen Aspekte der Realität modelliert, die für die Ausrichtungen des Baukastensystems relevant sind.
GoM4	Relevanz	Es werden nur Aspekte dargestellt, die so auch in der Realität existieren.
GoM5	Wirtschaftlichkeit	Es wird ein Simulationswerkzeug zur Erstellung der Bausteine verwendet.
GoM6	Wirtschaftlichkeit	Es werden Merkmale bereits existierender Bausteine übernommen.
GoM7	Wirtschaftlichkeit	Merkmale neu erstellter PACE-Bausteine werden, soweit möglich, mehrfach verwendet.
GoM8	Klarheit	Es wird die Modellierungssprache Petrinetze verwendet.
GoM9	Klarheit	Die PACE-Bausteine werden funktionsorientiert in Gruppen eingeteilt und die Bausteine gleicher Gruppen werden mit gleichen Symbolen gekennzeichnet.
GoM10	Klarheit	Die PACE-Bausteine werden, soweit möglich, nach einem einheitlichen Konstruktionsprinzip modelliert.
GoM11	Klarheit	Es werden Namenskonventionen in der Ausprägung <i>Zielgruppenorientierte Fachsprache</i> eingehalten.
GoM12	Klarheit	Die Netzelemente werden auf der Ablaufebene vertikal von oben nach unten angeordnet.
GoM13	Klarheit	Die Netzelemente werden möglichst überlappungs- und kreuzungsfrei angeordnet, auf Objektebene sind keine Kantenbeschriftungen zu sehen.
GoM14	semantische Vergleichbarkeit	Es werden Namenskonventionen in der Ausprägung <i>Ähnlichkeiten</i> eingehalten.

403 LEIMEISTER (2012), S. 197.

404 Vgl. FEHLING (1992), S. 14; BECKER et al. (2000), S. 32–33.

405 Durch die Anwendung des objektorientierten Ansatzes werden Objekte der Realwelt direkt im Simulationswerkzeug abgebildet; vgl. BECKER et al. (2000), S. 42; BADER (2005), S. 31–32. Ein solches Objekt kann beispielsweise eine CNC-Drehmaschine sein. Aus der Objektorientierung resultiert Verständlichkeit, vgl. BECKER et al. (2000), S. 46; BERNROIDER et al. (2006), S. 53.

406 Vgl. VON UTHMANN (2001), S. 123. WENZEL et al. (2008), S. 136, schlägt ebenfalls die Trennung der Daten vom Modell vor, ordnet diese Maßnahmen jedoch nicht den GoM zu.

Nr.	Grundsatz	konkrete Maßnahme
GoM15	systematischer Aufbau	Die PACE-Bausteine werden hierarchisch einem objektorientierten Ansatz folgend modelliert.
GoM16	systematischer Aufbau	Es wird die Trennung der Daten von den Funktionen eingehalten.

Tabelle 22: Konkrete Maßnahmen zur Umsetzung der Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung

Die Untersuchung zur Umsetzung der GoM wird in Kapitel 4.6.1 durchgeführt.

3.5.2.3.2 Weitere Prinzipien

Neben den GoM werden bei der Erstellung der PACE-Bausteine einige weitere Prinzipien angewendet. Auch diese werden mit konkreten Maßnahmen hinterlegt.

Als ein Prinzip werden Parametermasken eingesetzt⁴⁰⁷, durch die dem Anwender bei der späteren Erstellung eines Simulationsmodells aus dem Baukastensystem die Dateneingabe erleichtert werden soll. Als Maßnahme wP1 werden daher, soweit möglich, Parametermasken zur Eingabe der Daten implementiert.

Ein weiteres Prinzip ist es, Programmierarbeit für den Anwender des Baukastensystems weitgehend zu vermeiden⁴⁰⁸. Als Maßnahme wP2 werden die PACE-Bausteine daher so modelliert, dass bei der späteren Erstellung eines Simulationsmodells aus dem Baukastensystem keine Programmierarbeit durch den Anwender erforderlich ist.

Als abschließendes Prinzip wird auf die Dokumentation der Entwicklung des Baukastensystems großer Wert gelegt⁴⁰⁹. Als Maßnahme wP3 wird daher sowohl in den PACE-Bausteinen selbst eine Dokumentation hinterlegt, als auch eine separate, schriftliche Dokumentation der PACE-Bausteine erstellt.

407 Auch NOCHE et al. (1993), S. 270, sowie WENZEL et al. (2008), S. 161, weisen auf die Verwendung von Parametermasken hin, wenngleich nicht unter dem Hintergrund der leichteren Dateneingabe.

408 Vgl. das Fazit des Kapitels 2.4.4.

409 Vgl. NOCHE (1998), S. 135.

In der folgenden Tabelle 23 werden die konkreten Maßnahmen zur Umsetzung der weiteren Prinzipien wP1 bis wP3 zusammengefasst.

Nr.	konkrete Maßnahme
wP1	Es werden, soweit möglich, Parametermasken eingesetzt.
wP2	Programmierarbeit bei der späteren Erstellung eines Simulationsmodells aus dem Baukastensystem wird vermieden.
wP3	Die Entwicklung der PACE-Bausteine wird dokumentiert.

Tabelle 23: Konkrete Maßnahmen zur Umsetzung der weiteren Prinzipien

Die Untersuchung zur Umsetzung der weiteren Prinzipien wird in Kapitel 4.6.2 durchgeführt.

3.5.2.4 Elemente

Die PACE-Bausteine werden als eigenständige Elemente modelliert⁴¹⁰. Die Bausteine können dann bei der späteren Erstellung eines Simulationsmodells aus dem Baukastensystem unter der Einhaltung von Regeln individuell zusammengesetzt werden⁴¹¹.

3.5.2.5 Regeln

Um bei der späteren Erstellung eines Simulationsmodells aus dem Baukastensystem die Verknüpfung der einzelnen PACE-Bausteine miteinander zu erleichtern, werden die PACE-Bausteine jeweils mit einem Anschlussknoten versehen⁴¹². Dieser Anschlussknoten dient als Platzhalter für später anzuschließende Netzelemente⁴¹³.

3.5.3 Berücksichtigung der Anforderungen

Die Anforderungen aus dem Anforderungskatalog⁴¹⁴ werden bei der Realisierung des Baukastensystems berücksichtigt. Die Untersuchung zur Umsetzung der Anforderungen wird in Kapitel 4.4 durchgeführt.

410 An diesem Punkt weicht das verwendete Modell von dem von SPUR et al. (1993), S. 53, ab. SPUR et al. (1993) listet in dieser Kategorie die Bausteine auf, aus denen das Simulationsmodell erstellt wird. In der Dissertation werden in dieser Kategorie die modellierten PACE-Bausteine aufgelistet.

411 Vgl. ZSIFKOVITS et al. (2007), S. 65.

412 Dieses Konstrukt ist angelehnt an FEHLING (1992), S. 128–131. Der Begriff „Anschlussknoten“ ist direkt von FEHLING (1992) übernommen, die weiteren Bezeichnungen wie „Rumpf“ oder „Bausteinkopf“ werden in der Dissertation nicht übernommen; vgl. FEHLING (1992), S. 129.

413 Durch dieses Vorgehen soll sichergestellt werden, dass die Verknüpfung der PACE-Bausteine durch den Anwender ohne Informationsverlust möglich ist.

414 Vgl. Tabelle 19, S. 85.

3.5.4 Berücksichtigung der zu übertragenden Merkmale

Die zu übertragenden Merkmale⁴¹⁵ werden bei der Realisierung des Baukastensystems berücksichtigt. Die Untersuchung zur Übertragung der Merkmale wird in Kapitel 4.5 durchgeführt.

3.5.5 Modellierte PACE-Bausteine

3.5.5.1 Erläuterung der Elemente der Petrinetz-Graphen in PACE

Die folgende Abbildung 21 zeigt einen Petrinetz-Graphen in PACE. Anhand dieser Abbildung werden im Folgenden die Elemente des Petrinetz-Graphen in PACE erläutert⁴¹⁶.

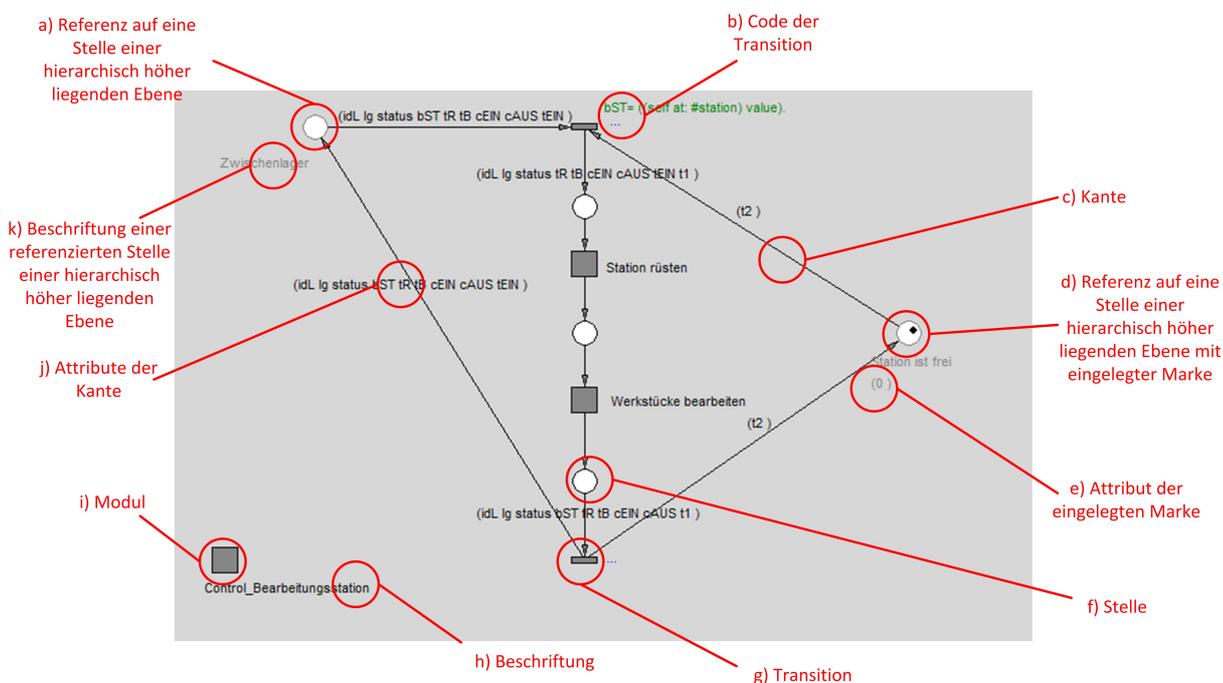


Abbildung 21: In PACE verwendete Elemente

a) Referenz auf eine Stelle einer hierarchisch höher liegenden Ebene

Wird eine Transition mittels eines Moduls verfeinert⁴¹⁷, werden die referenzierten Stellen (die Stellen, an denen das Modul angebunden ist) der hierarchisch höher liegenden Ebene als grau umrandeter Kreis (statt als schwarz umrandeter Kreis) dargestellt.

415 Vgl. Tabelle 21, S. 91.

416 An dieser Stelle werden nur die wichtigsten Elemente erläutert. Der interessierte Leser sei auf das ausführliche PACE-Handbuch verwiesen; vgl. EICHENAUER (2008).

417 Zur Hierarchisierung mittels Modulen vgl. Abbildung 22, S. 104.

b) Code der Transition

An den Transitionen kann in PACE Code ausgeführt werden. Dieser Code wird mittels der Programmiersprache Smalltalk im *Condition Code* (grüne Schrift, hier werden Bedingungen hinterlegt), *Delay Code* (rote Schrift, hier werden Verzögerungen hinterlegt) oder *Action Code* (blaue Schrift, hier werden Aktionen hinterlegt) der Transitionen hinterlegt. Langer Code kann ausgeblendet werden, dann weisen die Zeichen „...“ auf den ausgeblendeten Code hin.

c) Kante⁴¹⁸

d) Referenz auf eine Stelle einer hierarchisch höher liegenden Ebene mit eingelegter Marke

Siehe a) Referenz auf Stelle einer hierarchisch höher liegenden Ebene. Die Marke⁴¹⁹ wird unverändert in schwarz dargestellt.

e) Attribut der eingelegten Marke

Die Marken in PACE können attributiert werden, wodurch Eigenschaften an Marken angeheftet und so mit der Marke durch das Netz transportiert werden⁴²⁰. Diese Attribute werden in PACE bei der jeweiligen Marke in Klammern angezeigt.

f) Stelle⁴²¹g) Transition⁴²²

h) Beschriftung

i) Modul⁴²³

j) Attribute der Kante

Die Kanten können in PACE ebenfalls mit Attributen versehen werden, diese Attribute werden an der Kante in Klammern angezeigt. Sofern eine Marke entsprechend attributiert ist, werden diese Attribute mit der Marke über die Kante weitergegeben.

418 Zur Erläuterung der Standard-Elemente vgl. Kapitel 2.4.2.2 und Kapitel 2.4.2.3.

419 Zur Erläuterung der Standard-Elemente vgl. Kapitel 2.4.2.2 und Kapitel 2.4.2.3.

420 Vgl. auch Fn. 250, S. 55.

421 Zur Erläuterung der Standard-Elemente vgl. Kapitel 2.4.2.2 und Kapitel 2.4.2.3.

422 Zur Erläuterung der Standard-Elemente vgl. Kapitel 2.4.2.2 und Kapitel 2.4.2.3.

423 Zusätzlich zu den in Kapitel 2.4.2.2 vorgestellten Elementen der Modellierungssprache Petrinetze benutzt PACE als Vertreter der Höheren Netze als weiteres Netzelement die Module. Diese Module dienen der Hierarchisierung der Simulationsmodelle, da sich in Modulen Teilnetze tiefer liegender Ebenen zusammenfassen lassen. Das Simulationsmodell kann so auf der obersten hierarchischen Ebene übersichtlicher dargestellt werden. Zur Hierarchisierung vgl. Abbildung 22, S. 104.

k) Beschriftung einer referenzierten Stelle einer hierarchisch höher liegenden Ebene

Wird eine Transition mittels eines Moduls verfeinert, werden die Beschriftungen der referenzierten Stellen (die Stellen, an denen das Modul angebunden ist) der hierarchisch höher liegenden Ebene als graue Schrift (statt als schwarze Schrift) dargestellt.

Die folgende Abbildung 22 zeigt das Prinzip der Hierarchisierung mittels Modulen.

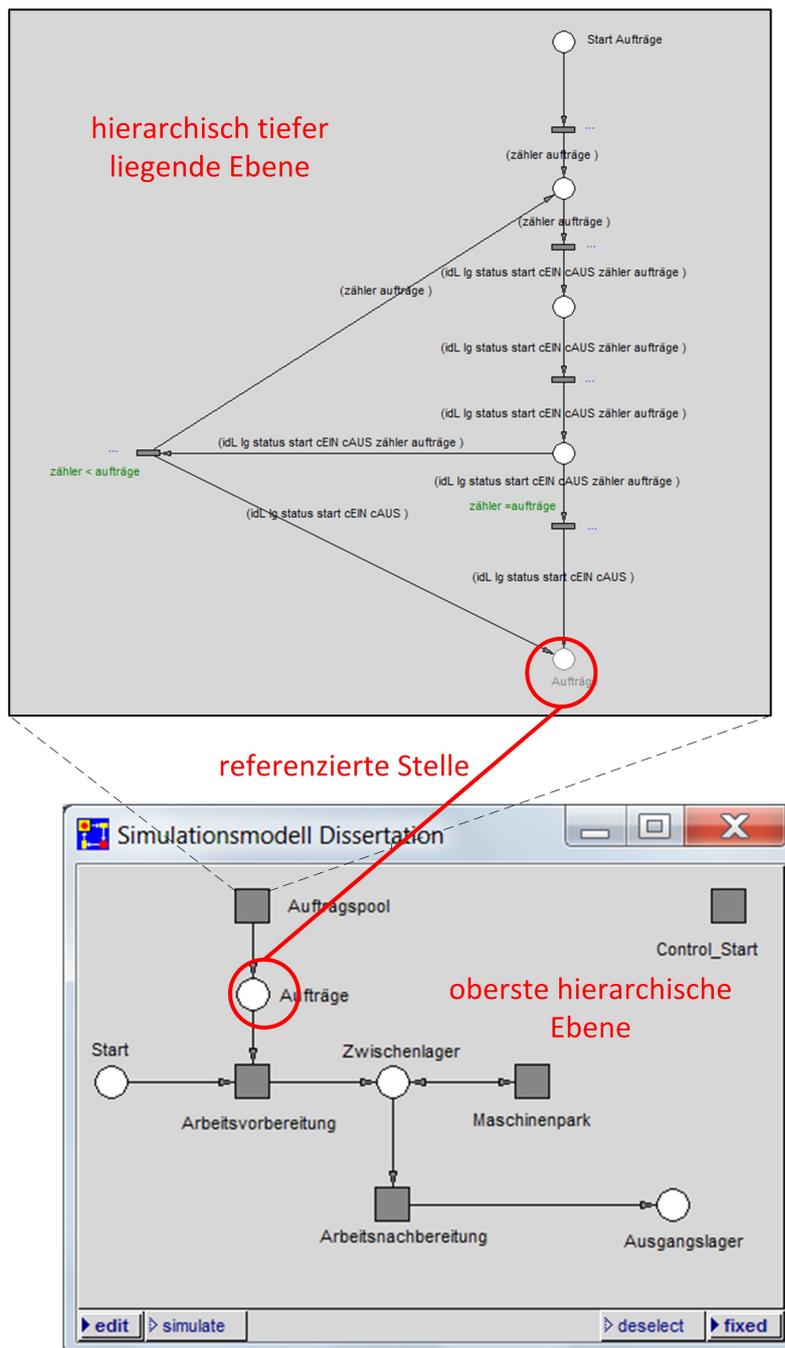


Abbildung 22: Prinzip der Hierarchisierung mittels Modulen in PACE

3.5.5.2 Petrinetz-Graph

Es wurde die PACE-Datei *Simulationsmodell Dissertation* erstellt⁴²⁴.

Die folgende Abbildung 23 zeigt den zunächst erstellten statischen Petrinetz-Graphen.

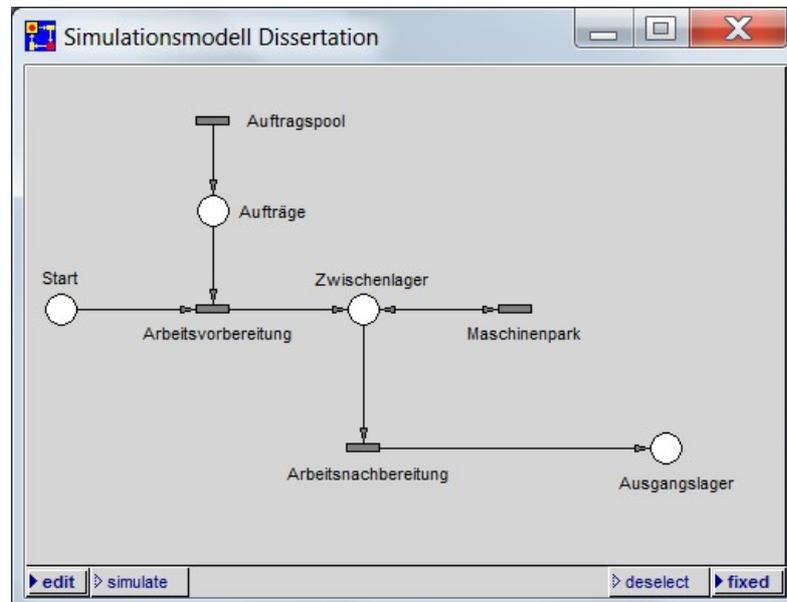


Abbildung 23: Statischer Petrinetz-Graph des Simulationsmodells Dissertation

Der statische Petrinetz-Graph wurde anschließend hierarchisch im Top-down-Ansatz verfeinert. Zu diesem Zweck wurden zunächst die Transitionen durch Module ersetzt. Abschließend wurde das Modul *Control_Start* eingefügt⁴²⁵ und es wurde das Markenspiel hinzugefügt.

⁴²⁴ Die Strategie zur Erstellung des dynamischen Petrinetz-Graphen wird in Kapitel 3.5.2.2 erläutert. Das *Simulationsmodell Dissertation* enthält den dynamischen Petrinetz-Graphen.

⁴²⁵ Das Modul *Control_Start* ist ein Hilfsmodul und wird zu Beginn des Simulationslaufs ausgeführt, um unter anderem verschiedene Daten aus der Excel-Datei *Befüllung* einzulesen. Zur genauen Erläuterung der Module vgl. das Dokument RUDEL (2016b) im Anhang unter der jeweiligen *Purpose Description* der Module, zur Excel-Datei *Befüllung* vgl. Kapitel 3.5.6.1.

Die folgende Abbildung 24 zeigt den so entstandenen dynamischen Petrinetz-Graphen auf der obersten hierarchischen Ebene.

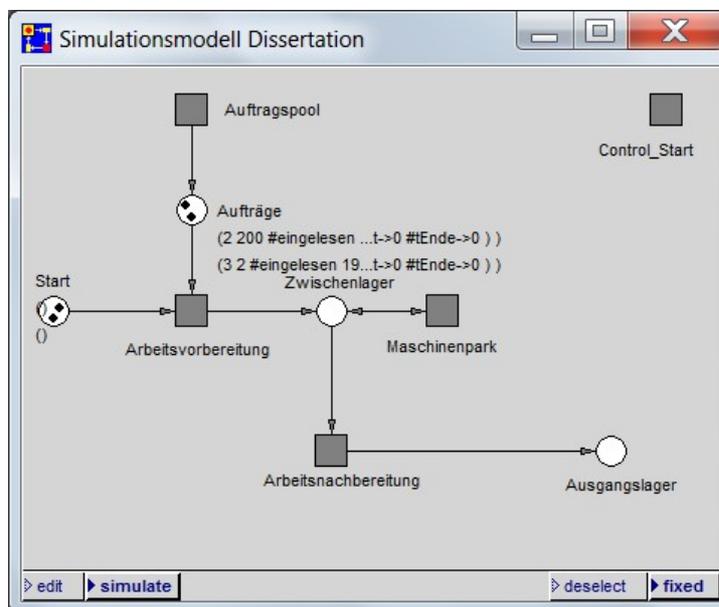


Abbildung 24: Dynamischer Petrinetz-Graph des Simulationsmodells Dissertation auf der obersten hierarchischen Ebene

Die Dokumentation des *Simulationsmodells Dissertation* besteht aus zwei Dokumenten. Diese sind als Dokumente RUDEL (2016b)⁴²⁶ und RUDEL (2016d)⁴²⁷ im Anhang abgedruckt.

3.5.5.3 PACE-Baustein *Kategorie Bearbeitungsstation*

Aus dem *Simulationsmodell Dissertation* wurde der PACE-Baustein *Kategorie Bearbeitungsstation* extrahiert. Dieser PACE-Baustein kann in das Modul Maschinenpark eingefügt und mittels Nutzung des Anschlussknotens an das Zwischenlager angebunden werden. Der PACE-Baustein ist universell für alle Kategorien von Bearbeitungsstationen verwendbar, die Individualisierung auf die jeweilige Kategorie wird über die Umbenennung der Modulvariablen #station sowie der sichtbaren Beschriftung vorgenommen.

⁴²⁶ Das Dokument ist eine aus PACE automatisch erzeugte Dokumentation.

⁴²⁷ Dies ist ein von der Autorin der Dissertation erstelltes Dokument.

Da die PACE-Datei *Simulationsmodell Dissertation* nur im Zusammenspiel mit der Excel-Datei *Befüllung* (vgl. Kapitel 3.5.6.1) lauffähig ist, beinhaltet RUDEL (2016d) auch die Dokumentation ebendieser Excel-Datei. Ebenfalls ist in RUDEL (2016d) bereits auf die Icon-Datei *Icons* verwiesen, da diese Bestandteil der PACE-Datei *Simulationsmodell Dissertation* ist.

Es ist die Individualisierung auf folgende Kategorien möglich:

- *CNC-Drehmaschinen*
- *CNC-Fräsmaschinen*
- *CNC-Dreh-Fräszentren⁴²⁸*
- *Manuelle Drehmaschinen*
- *Manuelle Fräsmaschinen*
- *Manuelle Bohrmaschinen*
- *Manuelle Schleifmaschinen*
- *Montage*
- *Gleitschleifmaschinen*
- *Prüfplätze*
- *Externe Bearbeitung*

Die folgende Abbildung 25 zeigt den PACE-Baustein *Kategorie Bearbeitungsstation*.

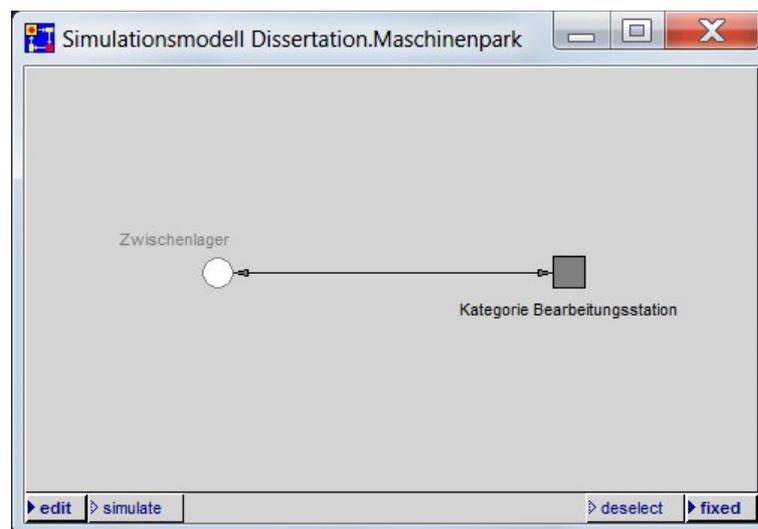


Abbildung 25: PACE-Baustein *Kategorie Bearbeitungsstation*

⁴²⁸ In der Dissertation wird die Beschriftung CNC-Dreh-/Fräszentren verwendet, in PACE wird die Beschriftung CNC-Dreh-Fräszentren verwendet. Diese Abweichung ist systemtechnisch bedingt, da in PACE bei der Beschriftung von Bausteinen das Zeichen / nicht verwendet werden darf.

3.5.5.4 PACE-Baustein *Bearbeitungsstation*

Aus dem *Simulationsmodell Dissertation* wurde der PACE-Baustein *Bearbeitungsstation* extrahiert. Dieser Baustein ist universell für alle Bearbeitungsstationen verwendbar, eine Individualisierung auf die Kategorie *Bearbeitungsstation* ist nicht nötig⁴²⁹. Der PACE-Baustein *Bearbeitungsstation* wird in beliebiger Anzahl in einen PACE-Baustein *Kategorie Bearbeitungsstation* eingefügt und mittels Nutzung des Anschlussknotens an das Zwischenlager angebunden.

Die folgende Abbildung 26 zeigt den PACE-Baustein *Bearbeitungsstation*.

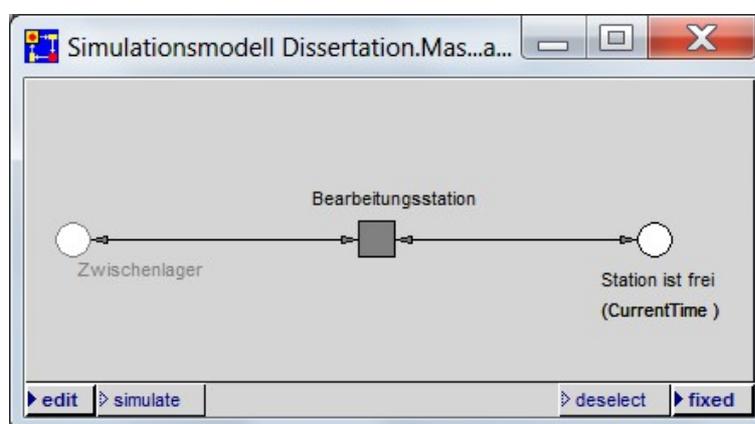


Abbildung 26: PACE-Baustein *Bearbeitungsstation*

3.5.5.5 Zusammenfassung in den PACE-Baustein *Basisbaustein*

Aus dem *Simulationsmodell Dissertation* sowie den PACE-Bausteinen *Bearbeitungsstation* und *Kategorie Bearbeitungsstation* wurde der PACE-Baustein *Basisbaustein* erstellt.

Der PACE-Baustein *Basisbaustein* wird vom Anwender bei der späteren Erstellung eines Simulationsmodells aus dem Baukastensystem in ein neues Netz in PACE eingefügt und anschließend entpackt⁴³⁰.

⁴²⁹ Die Individualisierung erfolgt über den PACE-Baustein *Kategorie Bearbeitungsstation* der höher liegenden Ebene.

⁴³⁰ Entpackt bildet der PACE-Baustein *Basisbaustein* im Sinne des objektorientierten Ansatzes die Werkstatt des Unternehmens ab.

Die folgende Abbildung 27 zeigt die oberste hierarchische Ebene des PACE-Bausteins *Basisbaustein*.

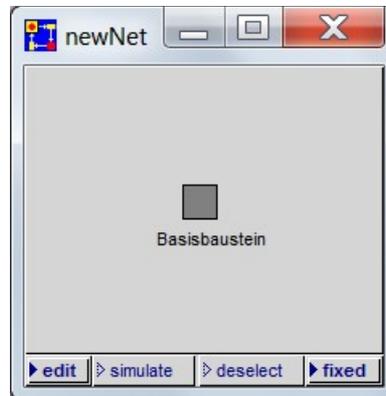


Abbildung 27: PACE-Baustein Basisbaustein

Die folgende Abbildung 28 zeigt den PACE-Baustein *Basisbaustein* nach dem Entpacken.

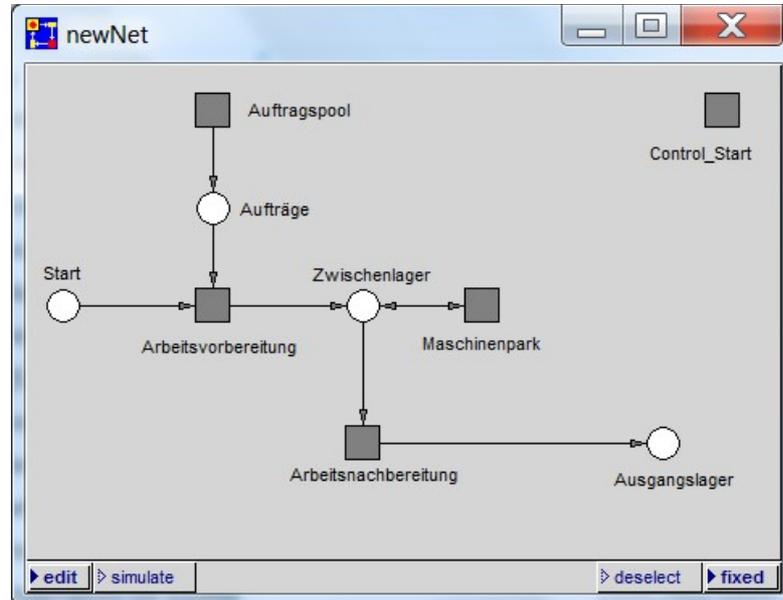


Abbildung 28: Entpackter PACE-Baustein Basisbaustein

In dem PACE-Baustein *Basisbaustein* wurde jede mögliche Kategorie von Bearbeitungsstationen eingefügt⁴³¹. Jede der Kategorien enthält jeweils eine Bearbeitungsstation.

Die folgende Abbildung 29 zeigt die im PACE-Baustein *Basisbaustein* enthaltenen Kategorien von Bearbeitungsstationen.

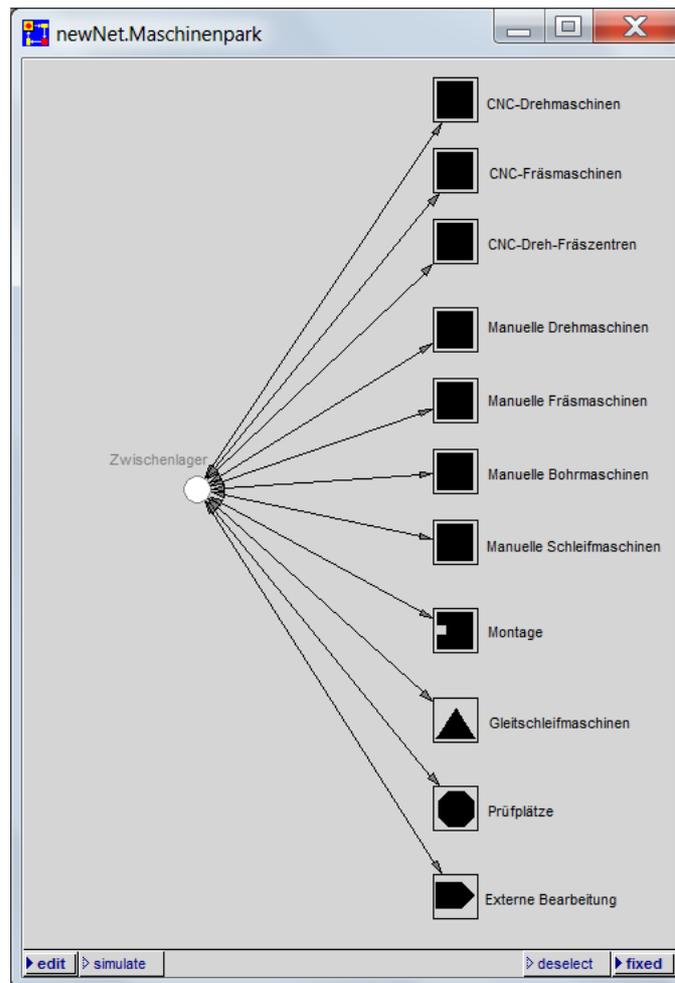


Abbildung 29: Im PACE-Baustein *Basisbaustein* enthaltene Kategorien von Bearbeitungsstationen

431 Vgl. die Liste in Kapitel 3.5.5.3.

Die folgende Abbildung 30 zeigt stellvertretend die hierarchisch tiefer liegende Ebene einer der Kategorien von Bearbeitungsstationen.

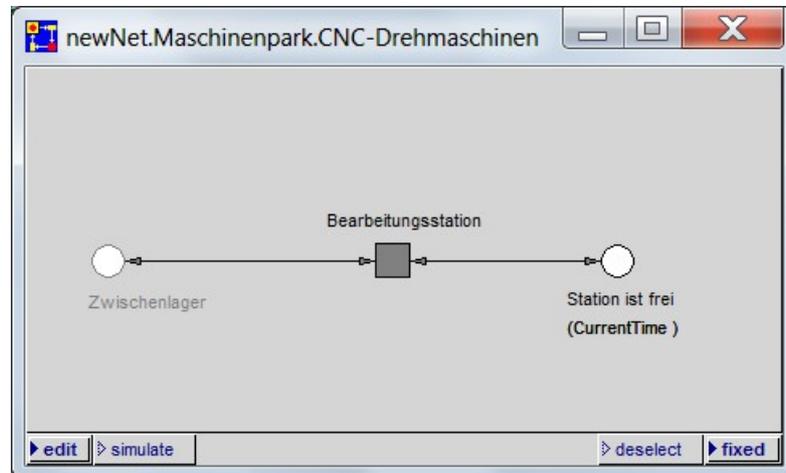


Abbildung 30: Hierarchisch tiefer liegende Ebene einer der Kategorien von Bearbeitungsstationen

3.5.6 Erstellte ergänzende Dateien

3.5.6.1 Excel-Datei *Befüllung*

Um die Ein- und Ausgabe von Daten anwenderfreundlich zu gestalten, wurde die Excel-Datei *Befüllung* erstellt⁴³². Die vollständige Dokumentation der Excel-Datei ist als Dokument RUDEL (2016d)⁴³³ im Anhang abgedruckt. Detaillierte Informationen zur Benutzung der Excel-Datei beinhaltet auch das Nutzerhandbuch, welches als Dokument RUDEL (2016a) im Anhang abgedruckt ist.

Im Folgenden wird eine Übersicht über die Excel-Datei gegeben⁴³⁴.

⁴³² Die Datei wird im Folgenden kurz als Excel-Datei bezeichnet.

⁴³³ Da die Excel-Datei nur im Zusammenspiel mit einem in PACE erstellten Simulationsmodell, in diesem Fall dem *Simulationsmodell Dissertation* (vgl. Kapitel 3.5.5.2), ausführbar ist, beinhaltet RUDEL (2016d) auch die Dokumentation ebendieser PACE-Datei *Simulationsmodell Dissertation*. Ebenfalls ist in RUDEL (2016d) bereits auf die Icon-Datei *Icons* verwiesen, da diese Bestandteil der PACE-Datei *Simulationsmodell Dissertation* ist; vgl. auch Fn. 427, S. 106.

Da es sich bei dem Dokument RUDEL (2016d) um eine technische Dokumentation handelt, entspricht es weder formell noch inhaltlich dem wissenschaftlichen Niveau der Dissertation.

⁴³⁴ Es handelt sich teilweise um wörtliche Auszüge aus dem Dokument RUDEL (2016d) sowie dem Dokument RUDEL (2016a). Diese Auszüge sind nicht als Zitate gekennzeichnet.

Die Excel-Datei besteht aus 10 Tabellenblättern. Die Funktionen der einzelnen Tabellenblätter sind der folgenden Tabelle 24 zu entnehmen.

Tabellenblatt	Funktion	Erläuterung Funktion	Anmerkung
<i>Anmerkungen</i>	Hilfsblatt Anwender	Hier werden Informationen und Einschränkungen zur Dateneingabe aufgelistet.	geschützt
<i>Umrechnung</i>	Hilfsblatt Anwender	Dies ist ein Hilfsblatt zum Umrechnen von Bearbeitungszeiten in Dezimalzeiten sowie von Tagen in Minuten (dezimal).	teilweise geschützt
<i>Betriebszeiten</i>	Eingabe	Hier werden vom Anwender die Betriebszeiten sowie eventuelle Betriebsschließungen eingegeben.	teilweise geschützt
<i>Aufträge</i>	Eingabe	Hier werden vom Anwender die Daten der Aufträge, das Startdatum der Simulation und optional ein Abbruchdatum der Simulation eingegeben.	teilweise geschützt
<i>Ergebnisse_Aufträge</i>	Ausgabe	Hier werden nach dem Simulationslauf die aufbereiteten Ergebnisse pro Auftrag aufgelistet. (Quelle: Tabellenblatt <i>PACE_AUS</i>)	geschützt
<i>Ergebnisse_Stationen</i>	Ausgabe	Hier werden nach dem Simulationslauf die aufbereiteten Ergebnisse pro Bearbeitungsstation aufgelistet. (Quelle: Tabellenblatt <i>PACE_AUS_Masch</i>)	geschützt
<i>PACE_EIN</i>	Hilfsblatt PACE	Hier werden die Daten des Tabellenblattes <i>Aufträge</i> für PACE aufbereitet zur Verfügung gestellt. (PACE liebt hier aus)	ausgeblendet
<i>PACE_AUS</i>	Hilfsblatt PACE	Hier schreibt PACE während des Simulationslaufs die Ergebnisse pro Auftrag hinein.	ausgeblendet
<i>PACE_AUS_Masch</i>	Hilfsblatt PACE	Hier schreibt PACE während des Simulationslaufs die Ergebnisse pro Bearbeitungsstation hinein.	ausgeblendet
<i>Eingabewerte</i>	Hilfsblatt Excel	Hier werden die Listenparameter für die Bearbeitungsstationen sowie für die Schwankungen festgelegt.	ausgeblendet

Tabelle 24: Funktionen der Tabellenblätter der Excel-Datei

Die Tabellenblätter sind in verschiedenen Farben gestaltet. Thematisch zusammengehörende Tabellenblätter sind in der gleichen Farbe gestaltet. Dies soll dem Anwender die Nutzung der Excel-Datei durch das Erfassen der Zusammenhänge erleichtern.

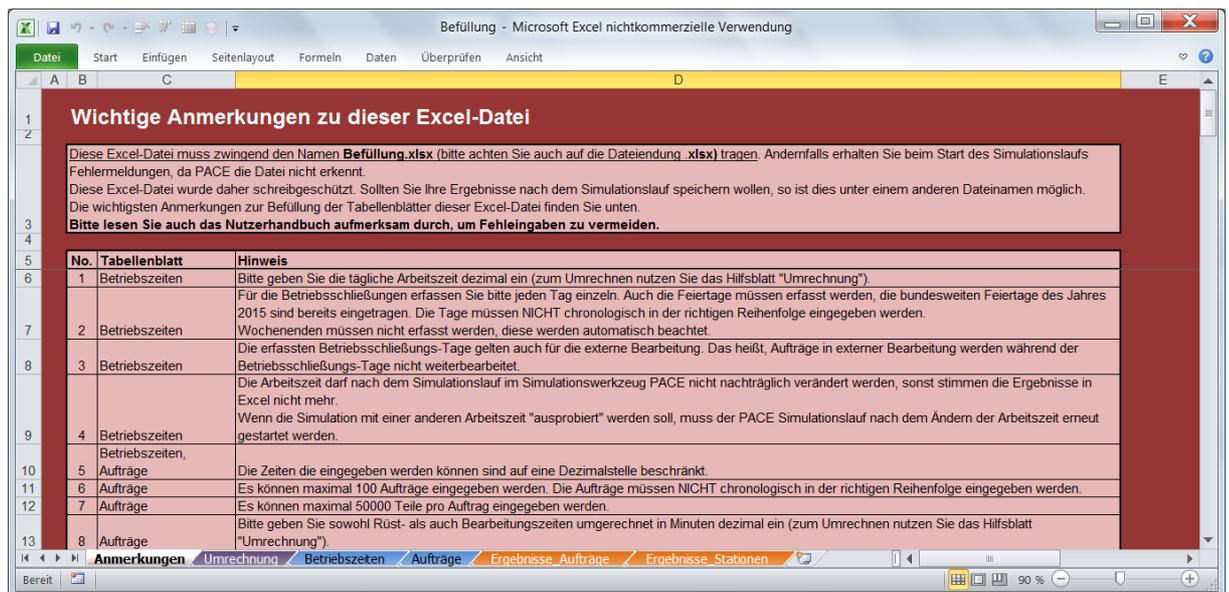
Des Weiteren sind die Tabellenblätter teilweise in farbige und weiße Bereiche unterteilt. Die Tabellenblätter sind so geschützt, dass nur die weißen Bereiche vom Anwender ausgefüllt werden können.

Im Folgenden werden die Tabellenblätter im Einzelnen kurz beschrieben.

Tabellenblatt *Anmerkungen*

Im Tabellenblatt *Anmerkungen* sind Informationen und Einschränkungen aufgelistet, die dem Anwender die Nutzung der Excel-Datei erleichtern sollen.

Die folgende Abbildung 31 zeigt das Tabellenblatt *Anmerkungen*.



Wichtige Anmerkungen zu dieser Excel-Datei

Diese Excel-Datei muss zwingend den Namen **Befüllung.xlsx** (bitte achten Sie auch auf die Dateierweiterung **.xlsx**) tragen. Andernfalls erhalten Sie beim Start des Simulationslaufs Fehlermeldungen, da PACE die Datei nicht erkennt.
 Diese Excel-Datei wurde daher schreibgeschützt. Sollten Sie Ihre Ergebnisse nach dem Simulationslauf speichern wollen, so ist dies unter einem anderen Dateinamen möglich.
 Die wichtigsten Anmerkungen zur Befüllung der Tabellenblätter dieser Excel-Datei finden Sie unten.
Bitte lesen Sie auch das Nutzerhandbuch aufmerksam durch, um Fehleingaben zu vermeiden.

No.	Tabellenblatt	Hinweis
1	Betriebszeiten	Bitte geben Sie die tägliche Arbeitszeit dezimal ein (zum Umrechnen nutzen Sie das Hilfsblatt "Umrechnung").
2	Betriebszeiten	Für die Betriebsschließungen erfassen Sie bitte jeden Tag einzeln. Auch die Feiertage müssen erfasst werden, die bundesweiten Feiertage des Jahres 2015 sind bereits eingetragen. Die Tage müssen NICHT chronologisch in der richtigen Reihenfolge eingegeben werden.
3	Betriebszeiten	Wochenenden müssen nicht erfasst werden, diese werden automatisch beachtet.
4	Betriebszeiten	Die erfassten Betriebsschließungs-Tage gelten auch für die externe Bearbeitung. Das heißt, Aufträge in externer Bearbeitung werden während der Betriebsschließungs-Tage nicht weiterbearbeitet.
5	Betriebszeiten	Die Arbeitszeit darf nach dem Simulationslauf im Simulationswerkzeug PACE nicht nachträglich verändert werden, sonst stimmen die Ergebnisse in Excel nicht mehr.
6	Betriebszeiten, Aufträge	Wenn die Simulation mit einer anderen Arbeitszeit "ausprobiert" werden soll, muss der PACE Simulationslauf nach dem Ändern der Arbeitszeit erneut gestartet werden.
7	Aufträge	Die Zeiten die eingegeben werden können sind auf eine Dezimalstelle beschränkt.
8	Aufträge	Es können maximal 100 Aufträge eingegeben werden. Die Aufträge müssen NICHT chronologisch in der richtigen Reihenfolge eingegeben werden.
9	Aufträge	Es können maximal 50000 Teile pro Auftrag eingegeben werden.
10	Aufträge	Bitte geben Sie sowohl Rüst- als auch Bearbeitungszeiten umgerechnet in Minuten dezimal ein (zum Umrechnen nutzen Sie das Hilfsblatt "Umrechnung").

Abbildung 31: Tabellenblatt *Anmerkungen*

Tabellenblatt *Umrechnung*

Im Tabellenblatt *Umrechnung* kann der Anwender Bearbeitungszeiten in Dezimalzeiten sowie Tage in Minuten (dezimal) umrechnen.

Die folgende Abbildung 32 zeigt das Tabellenblatt *Umrechnung*.

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'Umrechnung' worksheet selected. The worksheet has a purple background and contains two tables for time conversion. The first table (rows 4-8) converts hours, minutes, and seconds to decimal minutes. The second table (rows 13-15) converts days to decimal minutes. The 'Umrechnung' tab is selected in the bottom ribbon.

Stunden	Minuten	Sekunden	Dezimal	Kommentar
			0,0	
			0,0	
			0,0	
			0,0	
			0,0	

Bei externer Bearbeitung

Tage	Minuten (Dezimal)	Kommentar
	0,0	
	0,0	
	0,0	

Abbildung 32: Tabellenblatt *Umrechnung*

Tabellenblatt *Aufträge*

Im Tabellenblatt *Aufträge* werden vom Anwender die Daten der Aufträge eingegeben. Des Weiteren wird hier das Startdatum der Simulation eingegeben. Optional kann zusätzlich ein Datum für den Abbruch der Simulation eingegeben werden.

Die folgende Abbildung 34 zeigt das Tabellenblatt *Aufträge*.

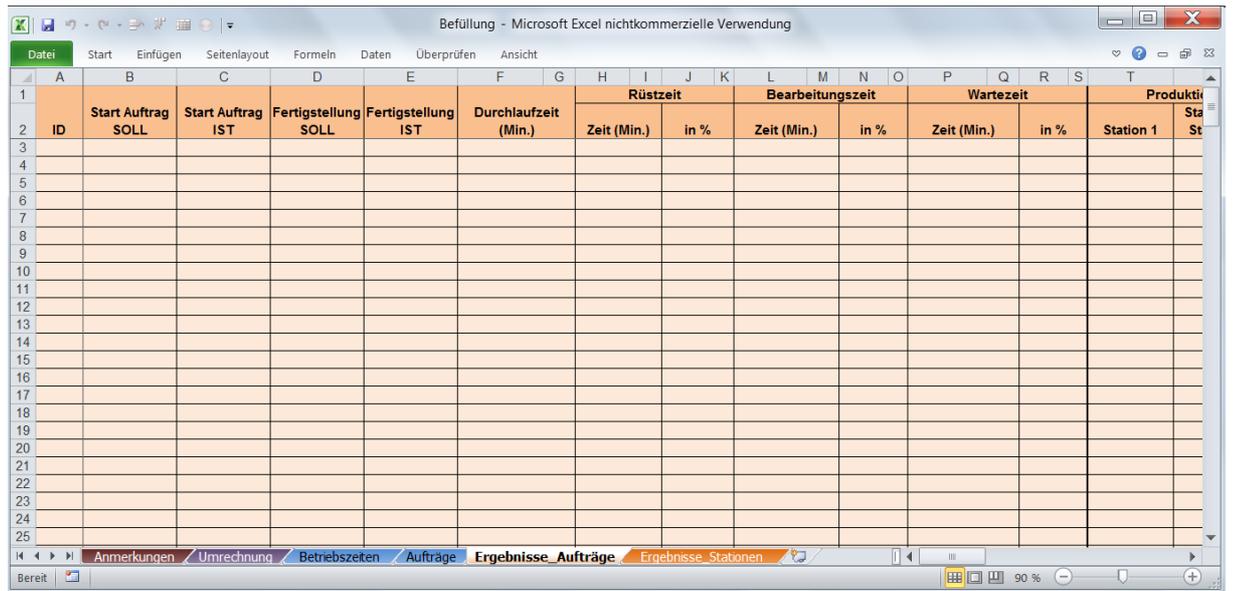
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T			
1	Aufträge gesamt		0	Start der Simulation (morgens)					03.01.00												Abbruch (abends, optional)		
2																							
3	ID	Losgröße	Start	Fertig soll (optional)	1. Station	Rüstzeit /Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)	2. Station	Rüstzeit/Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)										
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							

Abbildung 34: Tabellenblatt *Aufträge* (Ausschnitt)

Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge*

Im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* werden nach dem Simulationslauf die aufbereiteten Ergebnisse (basierend auf dem Tabellenblatt *PACE_AUS*) für die Aufträge ausgegeben.

Die folgende Abbildung 35 zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge*.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1		Start Auftrag	Start Auftrag	Fertigstellung	Fertigstellung	Durchlaufzeit		Rüstzeit		Bearbeitungszeit		Wartezeit		Produkti							
2	ID	SOLL	IST	SOLL	IST	(Min.)		Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Station 1	Sta						
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					

Abbildung 35: Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* (Ausschnitt)

Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen*

Im Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* werden nach dem Simulationslauf die aufbereiteten Ergebnisse (basierend auf dem Tabellenblatt *PACE_AUS_Masch*) für die Bearbeitungsstationen ausgegeben.

Die folgende Abbildung 36 zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen*.

Befüllung - Microsoft Excel nichtkommerzielle Verwendung									
Datei Start Einfügen Seitenlayout Formeln Daten Überprüfen Ansicht									
A1 Simulierte Zeit									
0,0 Min.									
	Kategorie	Betriebszeit	Rüstzeit		Bearbeitungszeit		Wartezeit		
	Bearbeitungsstation	Stationen	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Anzahl
5	cncDreh								0
6	cncFräs								0
7	cncDrehFräs								0
8	manDreh								0
9	manFräs								0
10	manBohr								0
11	manSchleif								0
12	gleitSchleif								0
13	montage								0
14	prüf								0
15	extern								0

Abbildung 36: Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen*

Tabellenblatt *PACE_EIN*

PACE greift auf dieses Tabellenblatt PACE_EIN zu und liest Daten aus. Daher werden in diesem Tabellenblatt die Daten für PACE aufbereitet zur Verfügung gestellt.

Das Tabellenblatt ist ausgeblendet und somit für den Anwender nicht sichtbar.

Die folgende Abbildung 37 zeigt das Tabellenblatt PACE_EIN.

Los ID	Losgröße	Start Auftrag	1. Station	Rüstzeit/Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)	2. Station	Rüstzeit/Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/-	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung g Bearbeitung 3. Sta
4	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
5	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
6	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
7	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
8	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
9	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
10	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
11	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
12	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
13	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
14	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
15	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
16	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
17	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
18	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
19	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
20	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
21	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
22	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
23	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
24	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
25	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #
26	0		#NV	0,0	0	0,0	0	#NV	0,0	0	0,0	0 #

Abbildung 37: Tabellenblatt *PACE_EIN* (Ausschnitt)

Tabellenblatt *PACE_AUS*

PACE greift auf dieses Tabellenblatt *PACE_AUS* zu und trägt während des Simulationslaufs die Ergebnisse der simulierten Aufträge ein.

Das Tabellenblatt ist ausgeblendet und somit für den Anwender nicht sichtbar.

Die folgende Abbildung 38 zeigt das Tabellenblatt *PACE_AUS*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1				Los											
2	ID	Start Los	Warte	Rüst	Bearb	Ende	DLZ	Station 1	Start auf Station	Station 2	Start auf Stati	Station 3	Start auf Stati	Station 4	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

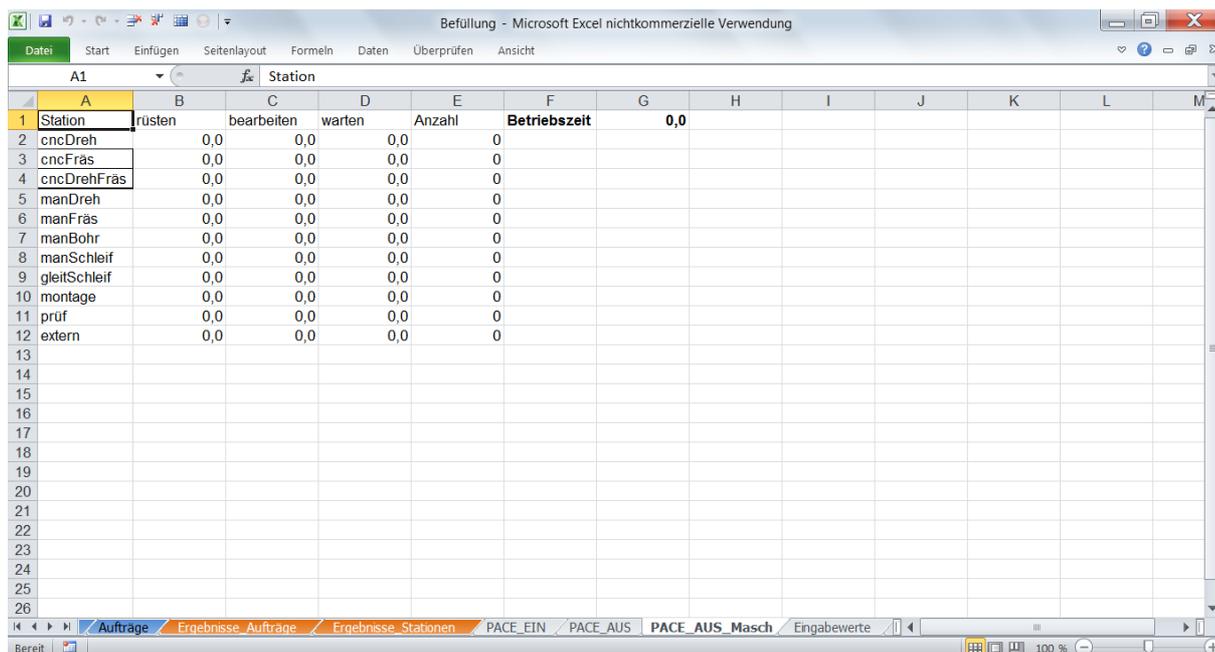
Abbildung 38: Tabellenblatt *PACE_AUS* (Ausschnitt)

Tabellenblatt *PACE_AUS_Masch*

PACE greift auf dieses Tabellenblatt *PACE_AUS_Masch* zu und trägt während des Simulationslaufs die Ergebnisse der Bearbeitungsstationen ein.

Das Tabellenblatt ist ausgeblendet und somit für den Anwender nicht sichtbar.

Die folgende Abbildung 39 zeigt das Tabellenblatt *PACE_AUS_Masch*.



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Station	rüsten	bearbeiten	warten	Anzahl	Betriebszeit
cncDreh	0,0	0,0	0,0	0	0
cncFräs	0,0	0,0	0,0	0	0
cncDrehFräs	0,0	0,0	0,0	0	0
manDreh	0,0	0,0	0,0	0	0
manFräs	0,0	0,0	0,0	0	0
manBohr	0,0	0,0	0,0	0	0
manSchleif	0,0	0,0	0,0	0	0
gleitSchleif	0,0	0,0	0,0	0	0
montage	0,0	0,0	0,0	0	0
prüf	0,0	0,0	0,0	0	0
extern	0,0	0,0	0,0	0	0

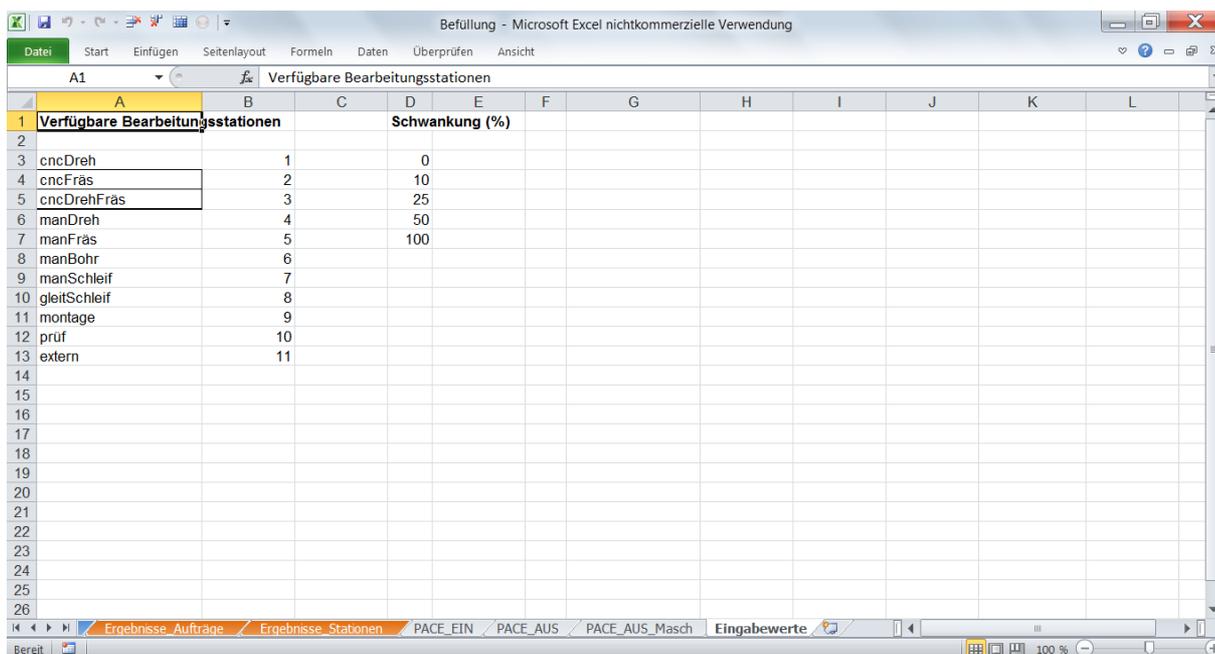
Abbildung 39: Tabellenblatt *PACE_AUS_Masch*

Tabellenblatt *Eingabewerte*

Im Tabellenblatt *Eingabewerte* werden die Listenparameter festgelegt.

Das Tabellenblatt ist ausgeblendet und somit für den Anwender nicht sichtbar.

Die folgende Abbildung 40 zeigt das Tabellenblatt *Eingabewerte*.



1	Verfügbare Bearbeitungsstationen		Schwankung (%)								
2											
3	cncDreh	1	0								
4	cncFräs	2	10								
5	cncDrehFräs	3	25								
6	manDreh	4	50								
7	manFräs	5	100								
8	manBohr	6									
9	manSchleif	7									
10	gleitSchleif	8									
11	montage	9									
12	prüf	10									
13	extern	11									
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											

Abbildung 40: Tabellenblatt *Eingabewerte*

3.5.6.2 Individuelle Icons

Für die PACE-Bausteine *Kategorie Bearbeitungsstation* wurden in PACE individuelle Icons erstellt. Diese individuellen Icons gruppieren die PACE-Bausteine *Kategorie Bearbeitungsstation* funktionsorientiert.

Die folgende Abbildung 41 zeigt die individuellen Icons.

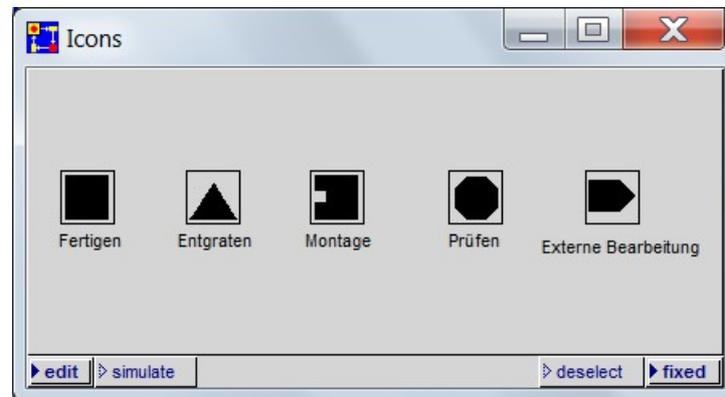


Abbildung 41: Individuelle Icons

Die Icons wurden aus dem *Simulationsmodell Dissertation* als PACE-Datei *Icons* extrahiert.

Die PACE-Datei *Icons* wird vom Anwender bei der späteren Erstellung eines Simulationsmodells aus dem Baukastensystem zusammen mit dem PACE-Baustein *Basisbaustein* in ein neues Netz in PACE eingefügt⁴³⁵.

3.5.6.3 Nutzerhandbuch

Um die Anwendung des Baukastensystems zu erleichtern, wurde ein Nutzerhandbuch erstellt⁴³⁶. Dieses Nutzerhandbuch ist als Dokument RUDEL (2016d) im Anhang abgedruckt.

3.5.7 Verifikation und Validierung

Um die Qualität der PACE-Bausteine zu sichern⁴³⁷, wurden sie entwicklungsbegleitend verifiziert⁴³⁸ und validiert⁴³⁹.

435 Die PACE-Bausteine *Kategorie Bearbeitungsstation* werden in PACE zunächst mit einem weißen Standardicon von PACE angezeigt (voreingestellt durch PACE). Durch das Hinzuladen der PACE-Datei *Icons* werden dann die individuell erstellten Icons angezeigt.

436 Da das Nutzerhandbuch für den späteren Anwender des Baukastensystems in KMU gedacht ist, wurde es in der „Anwendersprache“ erstellt und entspricht nicht dem wissenschaftlichen Niveau der Dissertation.

437 WENZEL et al. (2008), S. 4 zählt V&V zu den fünf wichtigsten Qualitätskriterien bei der Prozess-Simulation. Auf die Bedeutung der V&V insbesondere bei der Entwicklung von Bausteinsystemen weist RABE et al. (2008), S. 130 hin.

Es wird von verschiedenen Autoren darauf hingewiesen, dass die Fehlerfreiheit eines Modells durch V&V nicht nachgewiesen, sondern lediglich die Glaubwürdigkeit eines Modells erreicht werden kann; vgl. RABE et al. (2008), S. 1; RABE et al. (2008), S. 3; RABE et al. (2008), S. 93; WENZEL et al. (2008), S. 31–32.

438 Die Verifizierung eines Modells hinterfragt, ob *das Modell richtig ist*; vgl. TROST (2007), S. 25; RABE et al. (2008), S. 14. Es wird also geprüft, ob die Regeln der Modellierungssprache korrekt angewendet wurden.

439 Die Validierung eines Modells hinterfragt, ob das *richtige Modell* entwickelt wurde, also ob der reale Prozess im Modell korrekt wiedergegeben wird; vgl. AHRENS et al. (1993), S. 69; SCHMIDT et al. (1993), S. 81–82; TROST (2007), S. 25; RABE et al. (2008), S. 15.

RABE et al. (2008), S. 96, fassen für die V&V verschiedene Techniken zusammen. Die folgende Tabelle 25 listet diese Techniken auf.

Deutsche Bezeichnung	Englische Bezeichnung
Animation	Animation
Begutachtung	Review
Dimensionstest	Dimensional Consistency Test
Ereignisvaliditätstest	Event Validity Test
Festwerttest	Fixed Value Test
Grenzwerttest	Extreme-Condition Test
Monitoring	Monitoring, Operational Graphics
Schreibtischtest	Desk Checking
Sensitivitätsanalyse	Sensitivity Analysis
Statistische Techniken	Statistical Techniques
Strukturiertes Durchgehen	Structured Walkthrough
Test der internen Validität	Internal Validity Test
Test von Teilmodellen	Submodel Testing
Trace-Analyse	Trace Analysis
Turing-Test	Turing Test
Ursache-Wirkungs-Graph	Cause-Effect Graph
Validierung im Dialog	Face Validity
Validierung von Vorhersagen	Predictive Validation
Vergleich mit anderen Modellen	Comparison to other Models
Vergleich mit aufgezeichneten Daten	Historical Data Validation

Tabelle 25: Techniken der Verifikation und Validierung (RABE et al. (2008), S. 96)

Aus diesen Techniken wurden die Techniken Animation⁴⁴⁰, Festwerttest⁴⁴¹, Grenzwerttest⁴⁴², Sensitivitätsanalyse⁴⁴³, Statistische Techniken⁴⁴⁴ und Trace-Analyse⁴⁴⁵ ausgewählt⁴⁴⁶ und mittels Tests angewendet. Die Ergebnisse der Tests wurden dokumentiert⁴⁴⁷.

440 Vgl. RABE et al. (2008), S. 95–97.

441 Vgl. RABE et al. (2008), S. 99–100.

442 Vgl. RABE et al. (2008), S. 100–101.

443 Vgl. RABE et al. (2008), S. 102–103.

444 Vgl. RABE et al. (2008), S. 103–104, wobei diese in der Dissertation nur in vereinfachter Form angewendet wurden.

445 Vgl. RABE et al. (2008), S. 107.

446 Diese Techniken sind nach subjektiver Ansicht der Autorin der Dissertation am besten für die V&V der PACE-Bausteine geeignet.

447 Die Dokumentation der Tests lehnt sich an die von RABE et al. (2008), S. 124, vorgeschlagenen Aspekte an. Neben der schriftlichen Dokumentation der Tests wurden auch die Ergebnisse der Tests in Dateien gespeichert.

Die folgenden Tabellen 26 und 27 zeigen die dokumentierten V&V-Tests.

Nr.	V&V-Technik	Test	erwartetes Ergebnis	Datum
V&V1	--	PACE auf Computer installieren, Bausteine laden	funktioniert alles	28.04.2015
V&V2	Animation, Trace-Analyse	mehrere Aufträge mit verschiedenen Bearbeitungsstationen eingeben	korrekter Markenfluss in PACE	28.04.2015
V&V3	Festwerttest	einige Aufträge eingeben, Simulationslauf durchführen	Fertigstellung IST stimmt (ausrechnen, PACE-Marken und Excel-Ergebnisse prüfen)	05.05.2015
V&V4	Festwerttest	einige Aufträge eingeben, Simulationslauf durchführen	Maschinenauslastung stimmt (PACE-Module und Excel-Ergebnisse prüfen, ausrechnen)	06. bis 07.05.2015
V&V5	Festwerttest	einige Aufträge eingeben, Simulationslauf durchführen	Produktionsplanung stimmt (PACE-Marken und Excel-Ergebnisse prüfen, ausrechnen)	06. bis 07.05.2015
V&V6	Grenzwerttest	mehrere Aufträge um jeweils einen Tag versetzt mit jeweils 1 Teil mit allen Bearbeitungsstationen eingeben, auf jeder Maschine 1 Minute Rüsten. Simulationslauf durchführen	Fertigstellung IST sollte jeweils auf gleichen Tag wie Startdatum des Auftrags fallen	28.05.2015
V&V7	Grenzwerttest	100 Aufträge mit jeweils 50000 Teilen auf allen Bearbeitungsstationen eintragen, Simulationslauf durchführen	gute Performance	12.05.2015
V&V8	Grenzwerttest	Hintergrundlauf ausführen, Performance prüfen	stürzt nicht ab, einigermaßen zügig	12. bis 13.05.2015
V&V9	statistische Techniken	Schwankungen bei Rüstzeiten eingeben, mehrere Simulationsläufe durchführen	ähnliche Ergebnisse	28.04.2015
V&V10	statistische Techniken	Schwankungen bei Bearbeitungszeiten eingeben, mehrere Simulationsläufe durchführen	ähnliche Ergebnisse	28.04.2015
V&V11	Sensitivitätsanalyse	viele freie Tage eintragen und Simulationslauf durchführen; Tage verändern und erneut Simulationslauf durchführen	Fertigstellung IST stimmt (ausrechnen, PACE-Marken und Excel-Ergebnisse prüfen)	08. bis 11.05.2015

Tabelle 26: Dokumentierte Verifikations- und Validierungs-Tests (Teil 1)

Nr.	Details	Handlungsbedarf	Dokumentation
V&V1	Programm auf C: Benutzer installiert; neues Netz erstellt, Basisbaustein zugeladen; in Mitte platziert, refine; ist ohne Icons da; Icons über Extras-load individual Icons zugeladen, alle da; Simulationslauf durchgeführt; Rückgabe Aufträge in Excel funktioniert nicht (keine Fehlermeldung!)	Action Code in Arbeitsnachbereitung geändert, Kanall1 wird dort jetzt nochmal geöffnet (hat Marke unterwegs "verloren")	--
V&V2	Aufträge mit Stationen eingetragen, die nicht in PACE sind - Aufträge blieben erwartungsgemäß im Zwischenlager hängen; auch tiefer liegende Module auf korrekten Markenfluss geprüft	--	Lauf 13
V&V3	Anfangszeit stimmt nicht, passiert wenn man die Arbeitszeit in Excel NACH dem Lauf verändert, siehe Lauf 9	Hinweis in Excel geschrieben	Lauf 9 bis Lauf 12
V&V4	--	--	Lauf 22 bis Lauf 24
V&V5	merkwürdiges Ergebnis in Lauf 14, Komma-Zahlen drin; siehe Lauf 15, kommt durch die 2,67	Zeiten in Excel generell auf eine Dezimalstelle beschränkt; Test siehe Lauf 16 Los 1 Station 1, Lauf 18 Station 1 und im Gegensatz Lauf 19 Station 1, war aber nicht ausreichend; daher geändert auf Tabellenblatt PACE_EIN alles per Formel gerundet auf 1 Nachkommastelle, siehe Lauf 20	Lauf 14 bis Lauf 16; Lauf 18 bis Lauf 20
V&V6	--	--	Lauf 13
V&V7	Lauf 28: nur Rüsten, lief ca. 1,5 Stunden; Lauf 30 lief ca. 3 Stunden	--	Lauf 28 bis Lauf 30
V&V8	Lauf 17 mit jeweils 1; Lauf 31 (je 50000 Teile 100 Aufträge, alle Maschinen+Schwankungen) Start 22:45 Ende 00:51 Uhr	--	Lauf 17
V&V9	für 10 Aufträge mit 10% Schwankung eingegeben, Ergebnisse Aufträge und Bearbeitungsstationen stimmen	--	Lauf 1 bis Lauf 5; Lauf1-5_Auswertung
V&V10	für 10 Aufträge mit 10% Schwankung eingegeben, Ergebnisse Aufträge und Bearbeitungsstationen stimmen	--	Lauf 6 bis Lauf 8; Lauf6-8_Auswertung
V&V11	Fertigstellung IST verschiebt sich korrekt zu der Veränderung der Betriebsschließungen oder der täglichen Arbeitszeit	--	Lauf 25 bis Lauf 27

Tabelle 27: Dokumentierte Verifikations- und Validierungs-Tests (Teil 2)

3.5.8 Zusammenfassung in neues Baukastensystem

Abschließend wurden die Bausteine sowie die ergänzenden Dateien in das neue Baukastensystem zusammengefasst.

Zur Strukturierung wurden zwei Dateiodner erstellt:

- *Ergänzende Dateien*
- *PACE-Bausteine*

Die Dateien *Befüllung*, *Icons* und das *Nutzerhandbuch* wurden in den Dateiodner *Ergänzende Dateien* eingefügt.

Die beiden PACE-Bausteine *Basisbaustein* und *Bearbeitungsstation* wurden in den Dateiodner *PACE-Bausteine* eingefügt. Der PACE-Baustein *Kategorie Bearbeitungsstation* wurde für jede mögliche Kategorie *Bearbeitungsstation*⁴⁴⁸ individualisiert und jeweils als neuer PACE-Baustein extrahiert. Diese neuen PACE-Bausteine wurden in einen, dem Dateiodner *PACE-Bausteine* untergeordneten, Dateiodner *Kategorien von Bearbeitungsstationen* eingefügt.

Des Weiteren wurde eine Textdatei *Version* erstellt.

Die folgende Abbildung 42 zeigt den Inhalt der Textdatei *Version*.



Abbildung 42: Textdatei *Version*

Zuletzt wurde das neue Baukastensystem als Baukastensystem *KMUSimMetall*⁴⁴⁹ bezeichnet und als Zip-Datei verpackt.

448 Vgl. die Liste in Kapitel 3.5.5.3.

449 Der Name *KMUSimMetall* ist ein Konstrukt aus den Bezeichnungen *KMU*, *Simulation* und *Metall* und soll aussagen, dass das Baukastensystem speziell für KMU zur Prozess-Simulation im Wirtschaftszweig „Herstellung von Metallzeugnissen“ erstellt wurde.

3.5.9 Produkt: neues Baukastensystem

Die Zip-Datei Baukastensystem *KMUSimMetall* stellt das Produkt der Phase Realisierung dar.

Die folgende Abbildung 43 zeigt die Struktur des neuen Baukastensystems *KMUSimMetall*⁴⁵⁰.

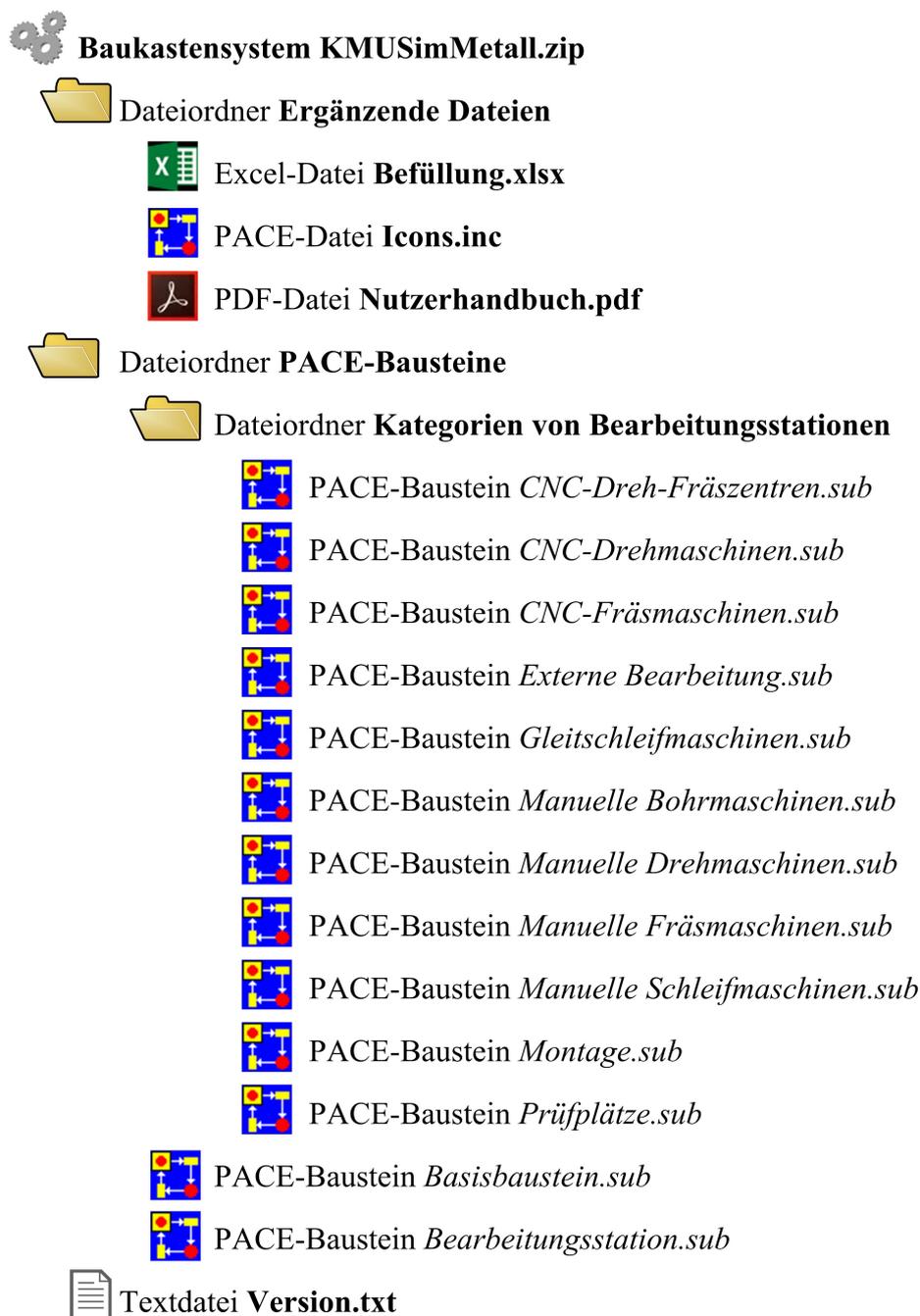


Abbildung 43: Struktur des neuen Baukastensystems *KMUSimMetall*

⁴⁵⁰ Die Sortierung im Dateiordner „Kategorien von Bearbeitungsstationen“ wird systemtechnisch vorgegeben und entspricht daher nicht der sonst verwendeten Sortierung.

4 Überprüfung der Ergebnisse mittels einer Fallstudie

4.1 Musterunternehmen

Für die Fallstudie⁴⁵¹ dient ein Musterunternehmen mit den folgenden Eckdaten:

- kleines Unternehmen mit 14 Mitarbeitern in München, Bayern
- die tägliche Arbeitszeit beträgt 8 Stunden
- folgende Bearbeitungsstationen sind vorhanden:
 - 4 CNC-Drehmaschinen
 - 3 CNC-Fräsmaschinen
 - 1 CNC-Dreh-/Fräszentrum
 - 2 manuelle Bohrmaschinen
 - 1 manuelle Schleifmaschine
 - 2 Montageplätze
 - 2 Gleitschleifmaschinen
 - 1 Prüfplatz
- es wird mit 1 externen Partner für die Eloxierung zusammengearbeitet

4.2 Erarbeitung des Simulationsmodells aus dem Baukastensystem

Mit Hilfe des Nutzerhandbuchs wird aus dem Baukastensystem das *Simulationsmodell Musterunternehmen* erarbeitet. Dabei werden zunächst die folgenden Schritte chronologisch nacheinander ausgeführt:

- Simulationswerkzeug PACE installieren, Lizenz eingetragen
- neues Netz *Musterunternehmen* öffnen
- PACE-Baustein *Basisbaustein* einfügen und entpacken
- Netzfenster Maschinenpark öffnen
- PACE-Datei *Icons* einfügen

⁴⁵¹ Die Fallstudie deckt nicht alle Fälle ab, die für die Untersuchung der Anforderungen, der zu übertragenden Merkmale und der Prinzipien nötig wären. Vielmehr werden in der Fallstudie beispielhaft Fragestellungen behandelt, wie sie in KMU der Branche „Herstellung von Metallerzeugnissen“ auftreten können.

- Kategorien Bearbeitungsstation löschen:
 - *Manuelle Drehmaschinen*
 - *Manuelle Fräsmaschinen*

Die folgende Abbildung 44 zeigt den so angepassten Maschinenpark des *Simulationsmodells Musterunternehmen*.

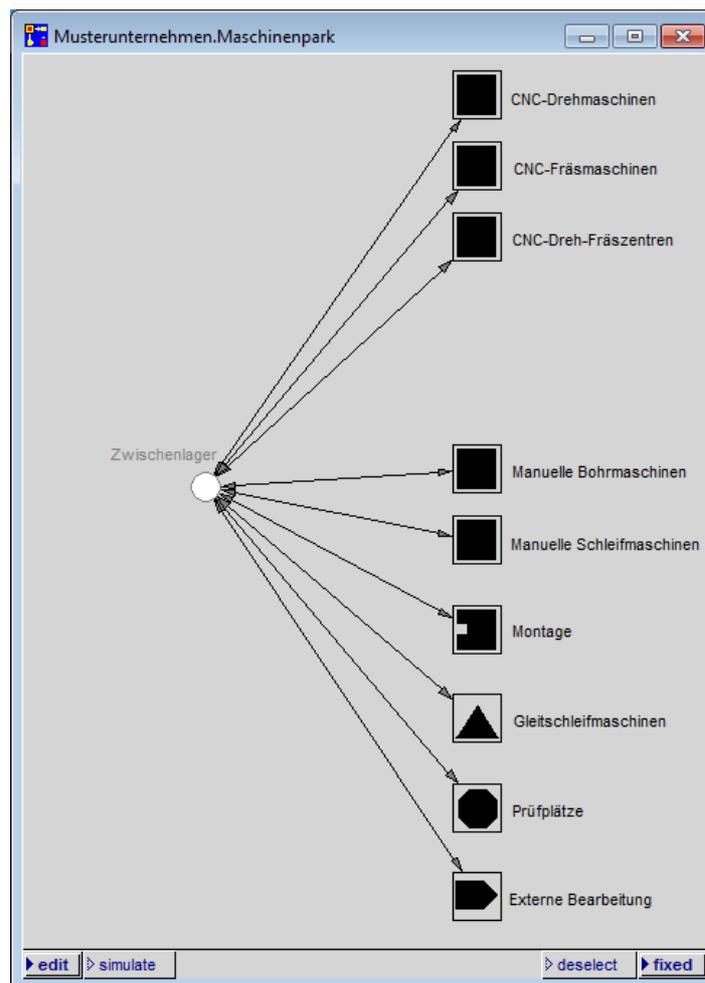


Abbildung 44: Angepasster Maschinenpark des Simulationsmodells Musterunternehmen

Die jeweilige Anzahl der Bearbeitungsstationen in den einzelnen Kategorien wird entsprechend den Vorgaben⁴⁵² angepasst.

452 Vgl. Kapitel 4.1.

Die folgende Abbildung 45 zeigt die angepasste Kategorie *CNC-Drehmaschinen*.

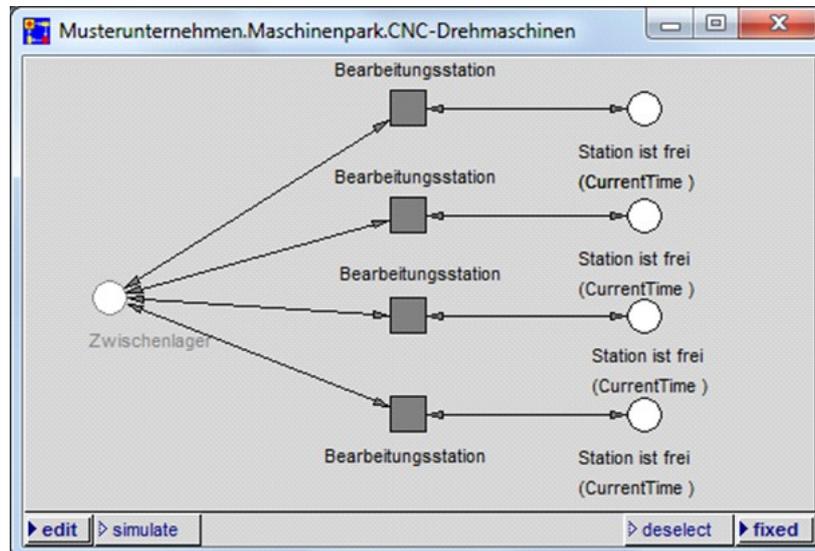


Abbildung 45: Angepasste Kategorie CNC-Drehmaschinen

Die folgende Abbildung 46 zeigt die angepasste Kategorie *CNC-Fräsmaschinen*.

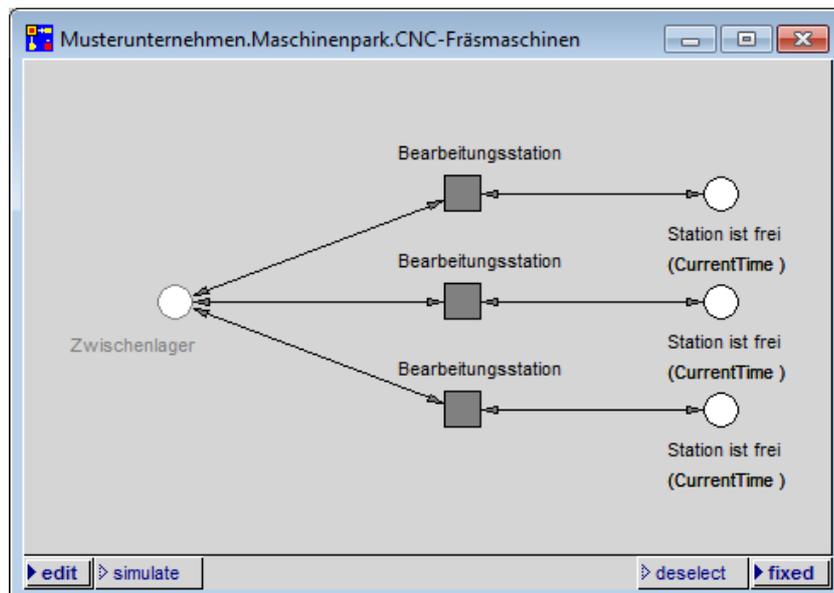


Abbildung 46: Angepasste Kategorie CNC-Fräsmaschinen

Die folgende Abbildung 47 zeigt die angepasste Kategorie *CNC-Dreh-Fräszentren*.

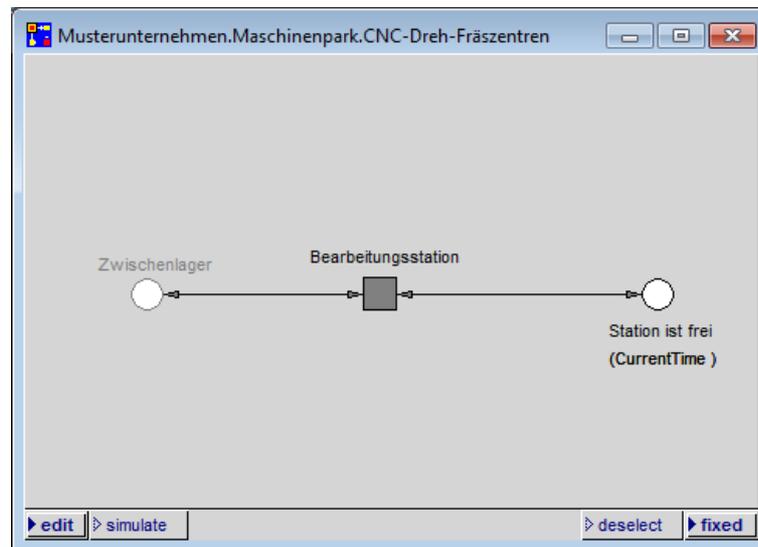


Abbildung 47: Angepasste Kategorie *CNC-Dreh-Fräszentren*

Die folgende Abbildung 48 zeigt die angepasste Kategorie *Manuelle Bohrmaschinen*.

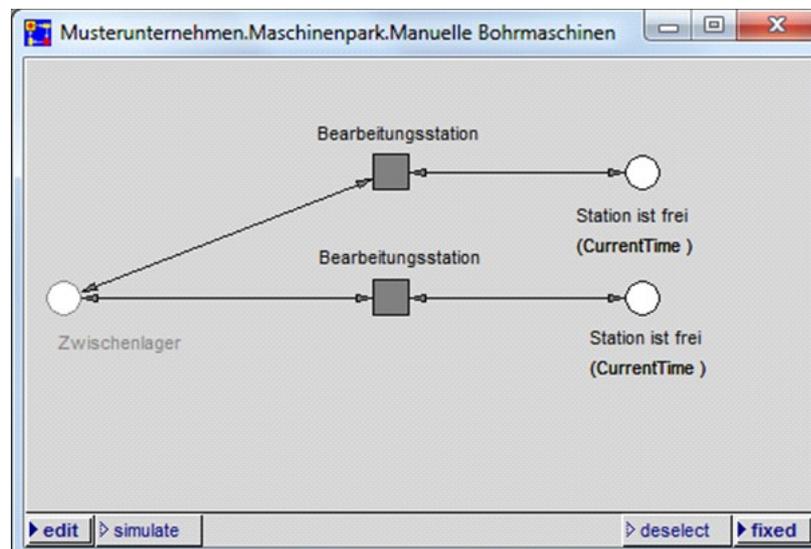


Abbildung 48: Angepasste Kategorie *Manuelle Bohrmaschinen*

Die folgende Abbildung 49 zeigt die angepasste Kategorie *Manuelle Schleifmaschinen*.

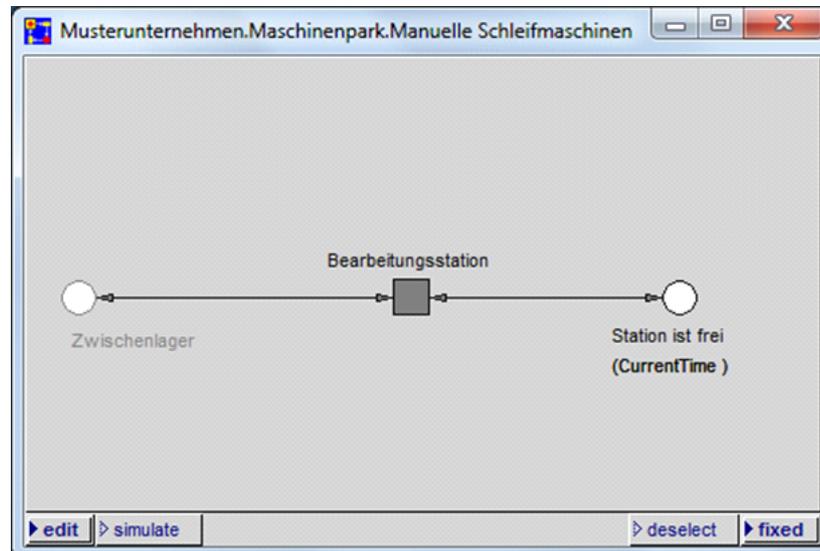


Abbildung 49: Angepasste Kategorie *Manuelle Schleifmaschinen*

Die folgende Abbildung 50 zeigt die angepasste Kategorie *Montage*.

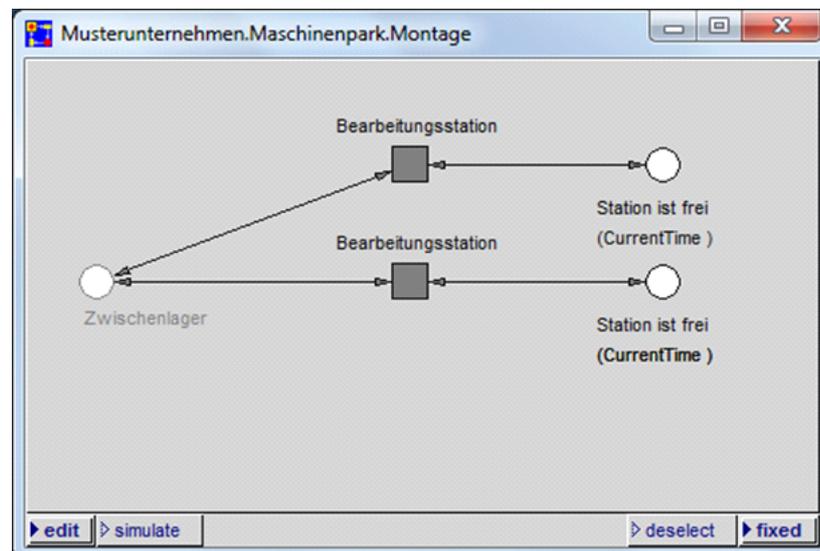


Abbildung 50: Angepasste Kategorie *Montage*

Die folgende Abbildung 51 zeigt die angepasste Kategorie *Gleitschleifmaschinen*.

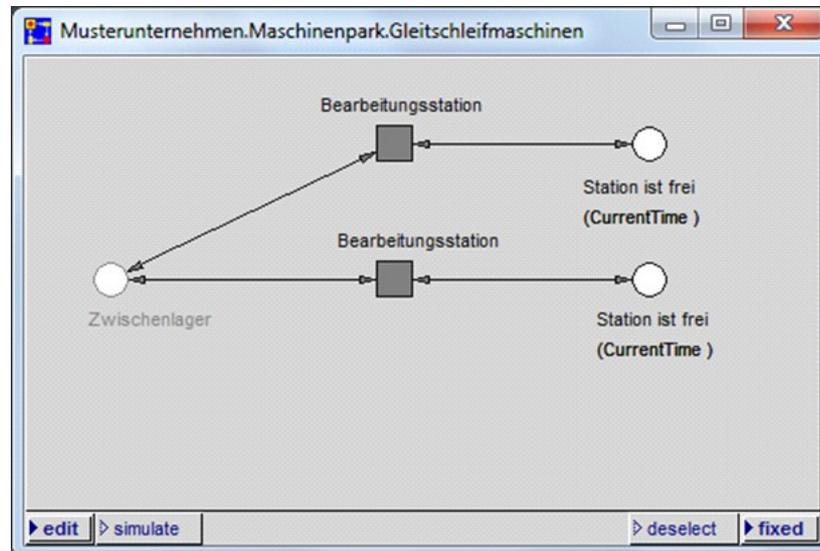


Abbildung 51: Angepasste Kategorie Gleitschleifmaschinen

Die folgende Abbildung 52 zeigt die angepasste Kategorie *Prüfplätze*.

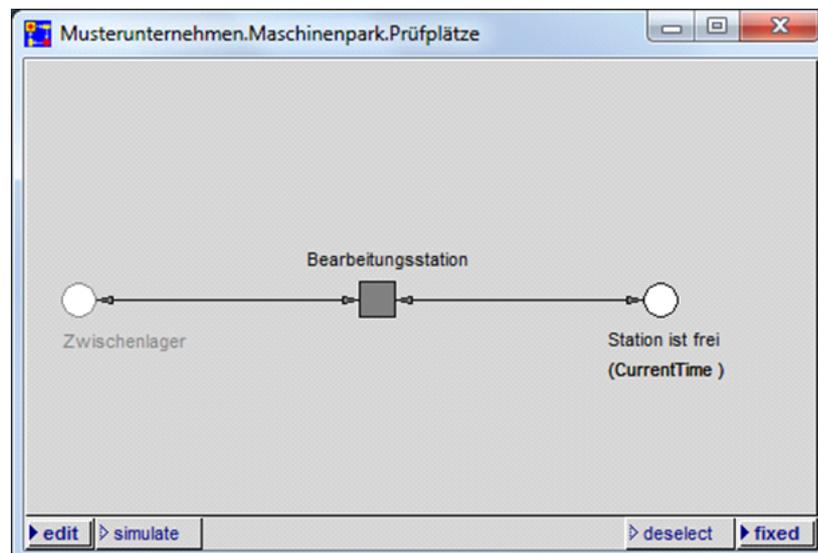


Abbildung 52: Angepasste Kategorie Prüfplätze

Die folgende Abbildung 53 zeigt die angepasste Kategorie *Externe Bearbeitung*.

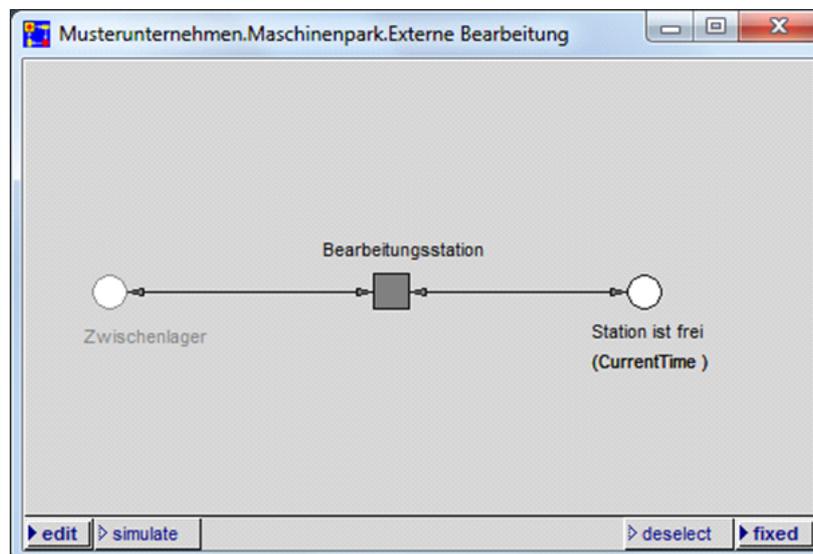


Abbildung 53: Angepasste Kategorie Externe Bearbeitung

Die folgende Abbildung 54 zeigt die Bildschirmansicht des fertig erstellten *Simulationsmodells Musterunternehmen*.

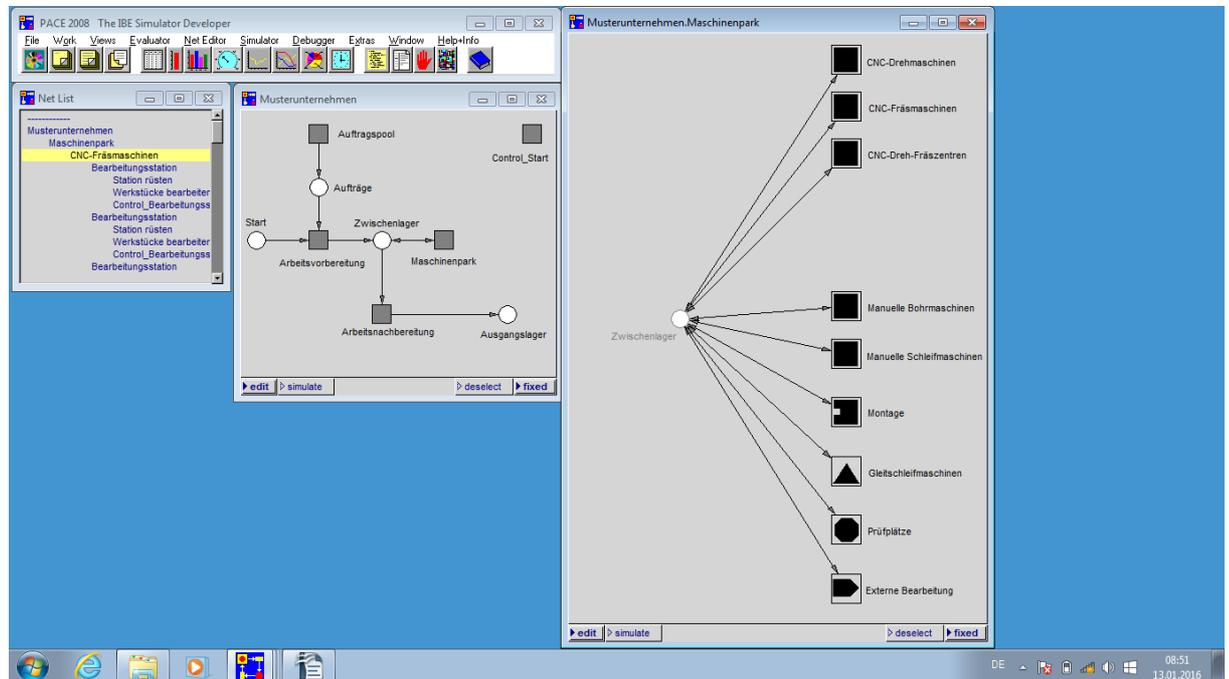


Abbildung 54: Bildschirmansicht des fertig erstellten Simulationsmodells *Musterunternehmen*

Die Dokumentation des *Simulationsmodells Musterunternehmen* ist als Dokument RUDEL (2016c)⁴⁵³ im Anhang abgedruckt.

4.3 Simulationsläufe

4.3.1 Basisbefüllung

Zunächst werden in der Excel-Tabelle *Befüllung* die Basisdaten⁴⁵⁴ eingegeben.

Dazu wird im Tabellenblatt *Betriebszeiten* die tägliche Arbeitszeit mit 8 Stunden eingetragen. Des Weiteren werden ergänzend zu den bundesweiten Feiertagen die bayerischen Feiertage eingepflegt.

⁴⁵³ Das Dokument ist eine aus PACE automatisch erzeugte Dokumentation.

⁴⁵⁴ Vgl. Kapitel 4.1.

Die folgende Abbildung 55 zeigt das basisbefüllte Tabellenblatt *Betriebszeiten*.

The screenshot shows the 'Betriebszeiten' worksheet in Microsoft Excel. The worksheet is divided into two main sections. The top section is a summary area with input fields for 'Arbeitszeit' (8,0), 'Stunden/Tag' (480), and 'Arbeitsminuten/Tag'. Below this is a table of business closure dates, with the first two columns being 'Datum' and 'Text (optional)'. The dates range from 01.01.15 to 01.11.15, with various holidays listed in the 'Text' column. The bottom section of the worksheet is a large blue area, likely representing a simulation model or data table.

Datum	Text (optional)
01.01.15	Neujahr
03.04.15	Karfreitag
05.04.15	Ostersonntag
06.04.15	Ostermontag
01.05.15	Maifeiertag
14.05.15	Christi Himmelfahrt
24.05.15	Pfingstsonntag
25.05.15	Pfingstmontag
03.10.15	Tag der deutschen Einheit
25.12.15	Erster Weihnachtsfeiertag
26.12.15	Zweiter Weihnachtsfeiertag
06.01.15	Heilige Drei Könige
04.06.15	Fronleichnam
15.08.15	Maria Himmelfahrt
01.11.15	Allerheiligen

Abbildung 55: Basisbefülltes Tabellenblatt *Betriebszeiten*

Für das Tabellenblatt *Aufträge* wird festgelegt, dass das Unternehmen den gleichen Auftrag von einem Auftraggeber A immer wieder in unregelmäßigen Abständen mit einer Stückzahl von 200 Teilen erhält und bearbeitet. Für die Aufträge wird vom Musterunternehmen jeweils eine Lieferzeit von 10 Werktagen ab Teileanlieferung durch den Auftraggeber⁴⁵⁵ zugesagt.

⁴⁵⁵ Das bedeutet, dass die Teile am 11. Tag, der auf den Tag der Teileanlieferung folgt, fertig bearbeitet sind und zur Abholung durch den Auftraggeber bereitstehen.

Die folgende Tabelle 28 zeigt chronologisch von oben nach unten in der Bearbeitungsreihenfolge die Bearbeitungsstationen mit den Daten für die Aufträge⁴⁵⁶.

Bearbeitungsstation	Rüstzeit /Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)
CNC-Drehmaschine	20,0 Min.		0,8 Min.	
CNC-Fräsmaschine	15,0 Min.		1,5 Min.	
Manuelle Bohrmaschine	5,0 Min.		3,0 Min.	50,00%
Gleitschleifmaschine	120,0 Min.			
Prüfen			0,3 Min.	50,00%
Externe Bearbeitung	960,0 Min.			
Montage	15,0 Min.		4,0 Min.	50,00%

Tabelle 28: Daten der Aufträge

Die Aufträge werden mit unregelmäßigen, zufällig ausgewählten Startzeiten zwischen dem 12.01.2015 und dem 19.05.2015 eingetragen.

Als Start der Simulation wird der 12.01.2015 eingegeben, das Feld Abbruch bleibt frei.

⁴⁵⁶ Dem aufmerksamen Leser mag auffallen, dass Schwankungen bei den Bearbeitungszeiten eingegeben werden, jeweils jedoch nur 1 Simulationslauf durchgeführt und ausgewertet wird. Genaugenommen haben diese Ergebnisse des Simulationslaufs keine Gültigkeit, dies wäre erst durch die Erstellung einer ausreichenden Anzahl von Replikationen der Fall (als Replikationen werden Simulationsläufe eines Simulationsmodells mit unterschiedlichen, erzeugten Zufallszahlen bezeichnet; vgl. RABE et al. (2008), S. 13; WENZEL et al. (2008), S. 139); vgl. RABE et al. (2008), S. 12. Die Aussagen in der Literatur, wie viele Replikationen nötig sind, damit ein Ergebnis statistisch verlässlich und damit gültig ist, variieren. So schreiben beispielsweise RABE et al. (2008), S. 12, allgemein von mehrfachen Wiederholungen, WENZEL et al. (2008), S. 143, schreiben von einigen Dutzend bis einigen Hundert Wiederholungen.

Die Autorin der Dissertation hält die Ergebnisse der Simulationsläufe dennoch für gültig, da pro Simulationslauf für jeden Auftrag 200 Teile simuliert werden, bei denen jeweils die Bearbeitungszeiten schwanken. Es wird daher argumentiert, dass es sich hier um Replikationen der Aufträge handelt. Mit der Anzahl von 200 liegen die Wiederholungen im oben genannten Maß von RABE et al. (2008) und WENZEL et al. (2008).

Bei den Rüstzeiten wird bewusst keine Schwankung eingegeben, da diese pro Auftrag und Bearbeitungsstation nur *einmal* genutzt wird und damit die Anzahl der Wiederholungen nur bei 1 liegt. Zur Schwankung der Rüstzeit vgl. Kapitel 4.3.8.

Die folgende Abbildung 56 zeigt einen Ausschnitt des basisbefüllten Tabellenblattes *Aufträge*.

1		19		Start der Simulation (morgens)		12.01.15		Abbruch (abends, optional)				
ID	Losgröße	Start	Fertig soll (optional)	1. Station	Rüstzeit /Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)	2. Station	Rüstzeit/Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)
1	200	12.01.15	27.01.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
2	200	16.01.15	02.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
3	200	27.01.15	11.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
4	200	29.01.15	13.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
5	200	06.02.15	23.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
6	200	12.02.15	27.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
7	200	24.02.15	11.03.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
8	200	27.02.15	16.03.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
9	200	12.03.15	27.03.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
10	200	20.03.15	08.04.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
11	200	24.03.15	10.04.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
12	200	27.03.15	15.04.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
13	200	10.04.15	27.04.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
14	200	16.04.15	04.05.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
15	200	27.04.15	13.05.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
16	200	05.05.15	21.05.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
17	200	08.05.15	27.05.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
18	200	13.05.15	01.06.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
19	200	19.05.15	05.06.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.

Abbildung 56: Ausschnitt des basisbefüllten Tabellenblattes *Aufträge*

Zu dieser Basisbefüllung wurden verschiedene Fragestellungen ausgearbeitet, die in Simulationen geprüft werden. Diese Fragestellungen sind in den folgenden Kapiteln 4.3.2 bis 4.3.8 genauer beschrieben.

Am Tag der Fragestellungen ist jeweils der 20.05.2015.

4.3.2 Fragestellung: Auslastung der Bearbeitungsstationen

Das Musterunternehmen möchte wissen, wie die Auslastung der Bearbeitungsstationen im laufenden Jahr 2015 bisher war.

Es müssen zur Basisbefüllung keine zusätzlichen Daten in die Excel-Datei *Befüllung* eingepflegt werden. Es wird ein Simulationslauf durchgeführt. Zur Beantwortung der Frage muss nach dem Simulationslauf das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* geprüft werden.

Die folgende Abbildung 57 zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* nach dem Simulationslauf.

Simulierte Zeit								
44827,2 Min.								
Kategorie	Betriebszeit	Rüstzeit		Bearbeitungszeit		Wartezeit		Anzahl
Bearbeitungsstation	Stationen	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	
cncDreh	3421,6 Min.	380,0 Min.	0,3 %	3041,6 Min.	1,7 %	175887,2 Min.	98,1 %	4
cncFräs	5985,0 Min.	285,0 Min.	0,3 %	5700,0 Min.	4,3 %	128496,6 Min.	95,6 %	3
cncDrehFräs	0,0 Min.	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	44827,2 Min.	100,0 %	1
manDreh								0
manFräs								0
manBohr	11545,2 Min.	95,0 Min.	0,2 %	11450,2 Min.	12,8 %	78109,2 Min.	87,2 %	2
manSchleif	0,0 Min.	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	44827,2 Min.	100,0 %	1
gleitSchleif	2280,0 Min.	2280,0 Min.	2,6 %			87374,4 Min.	97,5 %	2
montage	15432,2 Min.	285,0 Min.	0,4 %	15147,2 Min.	16,9 %	74222,2 Min.	82,8 %	2
prüf	1141,0 Min.	0,0 Min.	0,0 %	1141,0 Min.	2,6 %	43686,2 Min.	97,5 %	1
extern	18240,0 Min.	18240,0 Min.	40,7 %			26587,2 Min.	59,4 %	1

Abbildung 57: Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* nach dem Simulationslauf, Fragestellung Auslastung der Bearbeitungsstationen

Die Frage nach der Auslastung der Bearbeitungsstationen kann aus dem Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* direkt abgelesen werden.

4.3.3 Fragestellung: Fertigstellungstermin eines Auftrags

Der Auftraggeber A fragt, ob er die Teile des am 13.05.2015 angelieferten Auftrags ausnahmsweise schon nach 6 Werktagen, also am 26.05.2015, abholen kann, da A einen Teile-Engpass hat.

Es müssen zur Basisbefüllung keine zusätzlichen Daten in die Excel-Datei *Befüllung* eingepflegt werden. Es wird ein Simulationslauf durchgeführt. Bei dem Auftrag handelt es sich um Auftrag 18. Zur Beantwortung der Frage muss nach dem Simulationslauf der Auftrag 18 im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* geprüft werden.

Die folgende Abbildung 58 zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* nach dem Simulationslauf.

ID	Start Auftrag SOLL	Start Auftrag IST	Fertigstellung SOLL	Fertigstellung IST	Durchlaufzeit (Min.)	Rüstzeit		Bearbeitungszeit		Wartezeit		Produktion	
						Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Station 1	Sta
1	12.01.15	12.01.15	27.01.15	20.01.15	3084,6 Min.	1135,0 Min.	36,8 %	1949,6 Min.	63,2 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12
2	16.01.15	16.01.15	02.02.15	26.01.15	3045,3 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1910,3 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16
3	27.01.15	27.01.15	11.02.15	04.02.15	3036,3 Min.	1135,0 Min.	37,4 %	1901,3 Min.	62,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	23
4	29.01.15	29.01.15	13.02.15	06.02.15	3069,1 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1934,1 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	28
5	06.02.15	06.02.15	23.02.15	16.02.15	3047,6 Min.	1135,0 Min.	37,2 %	1912,6 Min.	62,8 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	06
6	12.02.15	12.02.15	27.02.15	20.02.15	3071,6 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1936,6 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12
7	24.02.15	24.02.15	11.03.15	04.03.15	3053,8 Min.	1135,0 Min.	37,2 %	1918,8 Min.	62,8 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	24
8	27.02.15	27.02.15	16.03.15	09.03.15	3029,3 Min.	1135,0 Min.	37,5 %	1894,3 Min.	62,5 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
9	12.03.15	12.03.15	27.03.15	20.03.15	3072,1 Min.	1135,0 Min.	36,9 %	1937,1 Min.	63,1 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12
10	20.03.15	20.03.15	08.04.15	30.03.15	3072,9 Min.	1135,0 Min.	36,9 %	1937,9 Min.	63,1 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	20
11	24.03.15	24.03.15	10.04.15	01.04.15	3057,4 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1922,4 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	24
12	27.03.15	27.03.15	15.04.15	08.04.15	3065,4 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1930,4 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
13	10.04.15	10.04.15	27.04.15	20.04.15	3045,4 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1910,4 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	10
14	16.04.15	16.04.15	04.05.15	24.04.15	3032,6 Min.	1135,0 Min.	37,4 %	1897,6 Min.	62,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16
15	27.04.15	27.04.15	13.05.15	06.05.15	3056,6 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1921,6 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
16	05.05.15	05.05.15	21.05.15	13.05.15	3039,3 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1904,3 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	05
17	08.05.15	08.05.15	27.05.15	19.05.15	3062,2 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1927,2 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	08
18	13.05.15	13.05.15	01.06.15	22.05.15	3036,4 Min.	1135,0 Min.	37,4 %	1901,4 Min.	62,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	13
19	19.05.15	19.05.15	05.06.15	28.05.15	3067,2 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1932,2 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	19

Abbildung 58: Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* nach dem Simulationslauf, Fragestellung Fertigstellungstermin eines Auftrags

Die Analyse des Auftrags 18 im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* ergibt, dass der Auftrag bereits am 22.05.2015 fertiggestellt sein wird. Die Frage, ob Auftraggeber A die Teile des am 13.05.2015 angelieferten Auftrags schon am 26.05.2015 abholen kann, ist also positiv zu beantworten.

4.3.4 Fragestellung: Flaschenhals

Das Musterunternehmen möchte wissen, welche Bearbeitungsstation den Flaschenhals⁴⁵⁷ darstellt.

Es müssen zur Basisbefüllung keine zusätzlichen Daten in die Excel-Datei *Befüllung* eingepflegt werden. Es wird ein Simulationslauf durchgeführt. Zur Beantwortung der Frage muss nach dem Simulationslauf das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* geprüft werden.

⁴⁵⁷ Als Flaschenhals werden in der Produktion die Bearbeitungsstationen mit der höchsten Auslastung bezeichnet; vgl. JEZIOREK (1994), S. 90. Der Flaschenhals einer Produktion wird auch als die Engpassstelle bezeichnet; vgl. JEZIOREK (1994), S. 90.

Die folgende Abbildung 59 zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* nach dem Simulationslauf⁴⁵⁸.

Befüllung_Basis - Microsoft Excel nichtkommerzielle Verwendung									
Datei Start Einfügen Seitenlayout Formeln Daten Überprüfen Ansicht									
1 Simulierte Zeit 44827,2 Min.									
4	Kategorie	Betriebszeit	Rüstzeit		Bearbeitungszeit		Wartezeit		
			Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Anzahl
5	cncDreh	3421,6 Min.	380,0 Min.	0,3 %	3041,6 Min.	1,7 %	175887,2 Min.	98,1 %	4
6	cncFräs	5985,0 Min.	285,0 Min.	0,3 %	5700,0 Min.	4,3 %	128496,6 Min.	95,6 %	3
7	cncDrehFräs	0,0 Min.	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	44827,2 Min.	100,0 %	1
8	manDreh								0
9	manFräs								0
10	manBohr	11545,2 Min.	95,0 Min.	0,2 %	11450,2 Min.	12,8 %	78109,2 Min.	87,2 %	2
11	manSchleif	0,0 Min.	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	44827,2 Min.	100,0 %	1
12	gleitSchleif	2280,0 Min.	2280,0 Min.	2,6 %			87374,4 Min.	97,5 %	2
13	montage	15432,2 Min.	285,0 Min.	0,4 %	15147,2 Min.	16,9 %	74222,2 Min.	82,8 %	2
14	prüf	1141,0 Min.	0,0 Min.	0,0 %	1141,0 Min.	2,6 %	43686,2 Min.	97,5 %	1
15	extern	18240,0 Min.	18240,0 Min.	40,7 %			26587,2 Min.	59,4 %	1

Abbildung 59: Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* nach dem Simulationslauf, Fragestellung Flaschenhals

Die Analyse des Tabellenblattes *Ergebnisse_Stationen* zeigt, dass die Bearbeitungsstation *Externe Bearbeitung* mit 59,4% die geringste Wartezeit und damit die höchste Auslastung hat⁴⁵⁹. Die Frage, welche Bearbeitungsstation den Flaschenhals darstellt, ist also mit „die externe Bearbeitung“ zu beantworten.

4.3.5 Fragestellung: Freinehmen durch einen Mitarbeiter

Der Mitarbeiter des Musterunternehmens, der für die Prüfung zuständig ist, fragt, ob er Freitag, den 22.06.2015, freinehmen kann.

⁴⁵⁸ Die „Rüstzeit“ und die „Bearbeitungszeit“ werden jeweils aus dem Tabellenblatt *PACE_AUS_Masch* entnommen (In dieses Tabellenblatt trägt PACE während des Simulationslaufs die Ergebnisse der Bearbeitungsstationen ein, vgl. auch Abbildung 39, S. 121. Die Anzahl der Bearbeitungsstationen ist in den beiden Werten „Rüstzeit“ und „Bearbeitungszeit“ bereits berücksichtigt.). Die „Betriebszeit“ ergibt sich jeweils aus der Addition der „Rüstzeit“ und der „Bearbeitungszeit“. Die „Wartezeit“ ergibt sich aus der Multiplikation des Wertes „Simulierte Zeit“ mit der jeweiligen „Anzahl“ und anschließender Subtraktion der jeweiligen „Betriebszeit“.

Die %-Angaben („in %“) ergeben sich aus der Division der jeweiligen Zeit („Rüstzeit“, „Bearbeitungszeit“ oder „Wartezeit“) durch 1% des Produktes aus der Multiplikation des Wertes „Simulierte Zeit“ mit der jeweiligen „Anzahl“. Die %-Angaben in diesem Tabellenblatt werden auf eine Stelle nach dem Komma gerundet (die „in %“-Werte werden an dieser Stelle bewusst *aufgerundet*, um zu verhindern, dass bei einer Bearbeitungsstation zwar eine positive Zeit, die „in %“-Angabe dann aber mit 0,0% angegeben wird), wodurch es zu Rundungsfehlern kommen kann.

Für Details zu den Berechnungen vgl. RUDEL (2016d), Kapitel 3.4.2.

⁴⁵⁹ Vgl. Fn. 457, S. 141.

Es müssen zur Basisbefüllung keine zusätzlichen Daten in die Excel-Datei *Befüllung* eingepflegt werden. Es wird ein Simulationslauf durchgeführt. Um die Frage zu beantworten, muss nach dem Simulationslauf das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* geprüft werden.

Die folgende Abbildung 60 zeigt den rechten Ausschnitt des Tabellenblattes *Ergebnisse_Aufträge*.

ID	Station	Start auf Station										
1	prüf	14.01.15	extern	14.01.15	montage	16.01.15						
2	prüf	20.01.15	extern	20.01.15	montage	22.01.15						
3	prüf	29.01.15	extern	29.01.15	montage	02.02.15						
4	prüf	02.02.15	extern	02.02.15	montage	04.02.15						
5	prüf	10.02.15	extern	10.02.15	montage	12.02.15						
6	prüf	16.02.15	extern	16.02.15	montage	18.02.15						
7	prüf	26.02.15	extern	26.02.15	montage	02.03.15						
8	prüf	03.03.15	extern	03.03.15	montage	05.03.15						
9	prüf	16.03.15	extern	16.03.15	montage	18.03.15						
10	prüf	24.03.15	extern	24.03.15	montage	26.03.15						
11	prüf	26.03.15	extern	26.03.15	montage	30.03.15						
12	prüf	31.03.15	extern	31.03.15	montage	02.04.15						
13	prüf	14.04.15	extern	14.04.15	montage	16.04.15						
14	prüf	20.04.15	extern	20.04.15	montage	22.04.15						
15	prüf	29.04.15	extern	29.04.15	montage	04.05.15						
16	prüf	07.05.15	extern	07.05.15	montage	11.05.15						
17	prüf	12.05.15	extern	12.05.15	montage	15.05.15						
18	prüf	18.05.15	extern	18.05.15	montage	20.05.15						
19	prüf	21.05.15	extern	21.05.15	montage	26.05.15						

Abbildung 60: Rechter Ausschnitt des Tabellenblattes *Ergebnisse_Aufträge* nach dem Simulationslauf, Fragestellung Freinehmen durch einen Mitarbeiter

Die Analyse des Tabellenblattes *Ergebnisse_Aufträge* im Hinblick auf die Bearbeitungsstation *Prüfung* zeigt, dass am 21.05.2015 die Prüfung des nächsten Auftrags 19 startet und auch abgeschlossen wird⁴⁶⁰. Die Frage, ob der Mitarbeiter am 22.05.2015 freinehmen kann, ist also positiv zu beantworten, da er an diesem Tag keine Prüfung vornehmen muss.

4.3.6 Fragestellung: Zusätzlicher Auftrag

Das Musterunternehmen möchte wissen, ob am 26.05.2015 ein zusätzlicher, identischer Auftrag von Auftraggeber B angenommen werden kann, ohne dass sich die zugesagte Lieferzeit für den Auftrag 19 des Auftraggebers A verschiebt.

⁴⁶⁰ Da die darauf folgende Bearbeitungsstation, nämlich die externe Bearbeitung, ebenfalls am 21.05.2015 startet, wird abgeleitet, dass die Prüfung am 21.05.2015 abgeschlossen wird.

Um die Frage zu beantworten, wird zunächst mit der basisbefüllten Excel-Datei *Befüllung* ein Simulationslauf durchgeführt. Nach erfolgtem Simulationslauf wird die Excel-Datei unter dem Namen *Befüllung_Vor* abgespeichert. Anschließend wird die basisbefüllte Excel-Datei *Befüllung* wieder geöffnet und der zusätzliche Auftrag von Auftraggeber B als Auftrag 20 in das Tabellenblatt *Aufträge* eingetragen.

Die folgende Abbildung 61 zeigt das ergänzte Tabellenblatt *Aufträge*.

ID	Losgröße	Start	Fertig soll (optional)	1. Station	Rüstzeit /Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)	2. Station	Rüstzeit/Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)
1	200	12.01.15	27.01.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
2	200	16.01.15	02.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
3	200	27.01.15	11.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
4	200	29.01.15	13.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
5	200	06.02.15	23.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
6	200	12.02.15	27.02.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
7	200	24.02.15	11.03.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
8	200	27.02.15	16.03.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
9	200	12.03.15	27.03.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
10	200	20.03.15	08.04.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
11	200	24.03.15	10.04.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
12	200	27.03.15	15.04.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
13	200	10.04.15	27.04.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
14	200	16.04.15	04.05.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
15	200	27.04.15	13.05.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
16	200	05.05.15	21.05.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
17	200	08.05.15	27.05.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
18	200	13.05.15	01.06.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
19	200	19.05.15	05.06.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.
20	200	26.05.15	11.06.15	cncDreh	20,0 Min.		0,8 Min.		cncFräs	15,0 Min.		1,5 Min.

Abbildung 61: Ergänztes Tabellenblatt *Aufträge*, Fragestellung *Zusätzlicher Auftrag*

Es wird ein neuer Simulationslauf durchgeführt. Zur Beantwortung der Frage wird nach den Simulationsläufen das Tabellenblatt *Ergebnisse* bezüglich des Auftrags 19 geprüft.

Die folgende Abbildung 62 zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung*.

ID	Start Auftrags SOLL	Start Auftrags IST	Fertigstellung SOLL	Fertigstellung IST	Durchlaufzeit (Min.)	Rüstzeit		Bearbeitungszeit		Wartezeit		Station 1	Produktion
						Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %		
1	12.01.15	12.01.15	27.01.15	20.01.15	3051,0 Min.	1135,0 Min.	37,2 %	1916,0 Min.	62,8 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12
2	16.01.15	16.01.15	02.02.15	26.01.15	3063,7 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1928,7 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16
3	27.01.15	27.01.15	11.02.15	04.02.15	3055,0 Min.	1135,0 Min.	37,2 %	1920,0 Min.	62,8 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
4	29.01.15	29.01.15	13.02.15	06.02.15	3046,1 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1911,1 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	29
5	06.02.15	06.02.15	23.02.15	16.02.15	3059,0 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1924,0 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	06
6	12.02.15	12.02.15	27.02.15	20.02.15	3092,5 Min.	1135,0 Min.	36,7 %	1957,5 Min.	63,3 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12
7	24.02.15	24.02.15	11.03.15	04.03.15	3085,3 Min.	1135,0 Min.	36,8 %	1950,3 Min.	63,2 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	24
8	27.02.15	27.02.15	16.03.15	09.03.15	3026,2 Min.	1135,0 Min.	37,5 %	1891,2 Min.	62,5 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
9	12.03.15	12.03.15	27.03.15	20.03.15	3057,8 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1922,8 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12
10	20.03.15	20.03.15	08.04.15	30.03.15	3022,0 Min.	1135,0 Min.	37,6 %	1887,0 Min.	62,4 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	20
11	24.03.15	24.03.15	10.04.15	01.04.15	3045,6 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1910,6 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	24
12	27.03.15	27.03.15	15.04.15	08.04.15	3056,4 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1921,4 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
13	10.04.15	10.04.15	27.04.15	20.04.15	3049,3 Min.	1135,0 Min.	37,2 %	1914,3 Min.	62,8 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	10
14	16.04.15	16.04.15	04.05.15	24.04.15	3040,5 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1905,5 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16
15	27.04.15	27.04.15	13.05.15	06.05.15	3076,6 Min.	1135,0 Min.	36,9 %	1941,6 Min.	63,1 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
16	05.05.15	05.05.15	21.05.15	13.05.15	3045,1 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1910,1 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	05
17	08.05.15	08.05.15	27.05.15	19.05.15	3072,0 Min.	1135,0 Min.	36,9 %	1937,0 Min.	63,1 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	08
18	13.05.15	13.05.15	01.06.15	22.05.15	3041,0 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1906,0 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	13
19	19.05.15	19.05.15	05.06.15	28.05.15	3065,2 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1930,2 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	19
20	26.05.15	26.05.15	11.06.15	03.06.15	3041,3 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1906,3 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	26

Abbildung 62: Tabellenblatt Ergebnisse_Aufträge der Excel-Datei Befüllung nach dem Simulationslauf, Fragestellung Zusätzlicher Auftrag

Zusätzlich wird die vorher abgespeicherte Excel-Datei Befüllung_Vor geöffnet.

Die folgende Abbildung 63 zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung_Vor*.

ID	Start Auftrag SOLL	Start Auftrag IST	Fertigstellung SOLL	Fertigstellung IST	Durchlaufzeit (Min.)	Rüstzeit		Bearbeitungszeit		Wartezeit		Produktion	
						Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Station 1	Station 2
1	12.01.15	12.01.15	27.01.15	20.01.15	3084,6 Min.	1135,0 Min.	36,8 %	1949,6 Min.	63,2 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12
2	16.01.15	16.01.15	02.02.15	26.01.15	3045,3 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1910,3 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16
3	27.01.15	27.01.15	11.02.15	04.02.15	3036,3 Min.	1135,0 Min.	37,4 %	1901,3 Min.	62,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	23
4	29.01.15	29.01.15	13.02.15	06.02.15	3069,1 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1934,1 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	28
5	06.02.15	06.02.15	23.02.15	16.02.15	3047,6 Min.	1135,0 Min.	37,2 %	1912,6 Min.	62,8 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	06
6	12.02.15	12.02.15	27.02.15	20.02.15	3071,6 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1936,6 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12
7	24.02.15	24.02.15	11.03.15	04.03.15	3053,8 Min.	1135,0 Min.	37,2 %	1918,8 Min.	62,8 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	24
8	27.02.15	27.02.15	16.03.15	09.03.15	3029,3 Min.	1135,0 Min.	37,5 %	1894,3 Min.	62,5 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
9	12.03.15	12.03.15	27.03.15	20.03.15	3072,1 Min.	1135,0 Min.	36,9 %	1937,1 Min.	63,1 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12
10	20.03.15	20.03.15	08.04.15	30.03.15	3072,9 Min.	1135,0 Min.	36,9 %	1937,9 Min.	63,1 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	20
11	24.03.15	24.03.15	10.04.15	01.04.15	3057,4 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1922,4 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	24
12	27.03.15	27.03.15	15.04.15	08.04.15	3065,4 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1930,4 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
13	10.04.15	10.04.15	27.04.15	20.04.15	3045,4 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1910,4 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	10
14	16.04.15	16.04.15	04.05.15	24.04.15	3032,6 Min.	1135,0 Min.	37,4 %	1897,6 Min.	62,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16
15	27.04.15	27.04.15	13.05.15	06.05.15	3056,6 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1921,6 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	27
16	05.05.15	05.05.15	21.05.15	13.05.15	3039,3 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1904,3 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	05
17	08.05.15	08.05.15	27.05.15	19.05.15	3062,2 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1927,2 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	08
18	13.05.15	13.05.15	01.06.15	22.05.15	3036,4 Min.	1135,0 Min.	37,4 %	1901,4 Min.	62,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	13
19	19.05.15	19.05.15	05.06.15	28.05.15	3067,2 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1932,2 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	19

Abbildung 63: Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung_Vor*, Fragestellung *Zusätzlicher Auftrag*

Anschließend werden die Termine *Fertigstellung IST* des Auftrags 19 in den beiden Dateien verglichen.

Die folgende Tabelle 29 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs.

	Fertigstellung IST	
ID	Befüllung.xlsx	Befüllung_Vor.xlsx
19	28.05.15	28.05.15

Tabelle 29: Vergleich Termine *Fertigstellung IST*, Fragestellung *Zusätzlicher Auftrag*

Die Tabelle 29 zeigt, dass sich der Liefertermin für den Auftrag 19 nicht verändert. Die Frage, ob der zusätzliche Auftrag von Auftraggeber B angenommen werden kann, ohne dass sich die zugesagte Lieferzeit für den Auftrag 19 von Auftraggeber A verschiebt, ist also positiv zu beantworten.

4.3.7 Fragestellung: Alternative Maschine

Das Musterunternehmen möchte wissen, wie sich die Produktion auf dem CNC-Dreh-/Fräszentrum als Alternative zu den beiden Einzelmaschinen CNC-Drehmaschine und CNC-Fräsmaschine auf den Fertigstellungstermin der Aufträge auswirken würde.

Um die Frage zu beantworten, wird zunächst mit der basisbefüllten Excel-Datei *Befüllung* ein Simulationslauf durchgeführt. Nach erfolgtem Simulationslauf wird die Excel-Datei unter dem Namen *Befüllung_Vor* abgespeichert. Anschließend wird die basisbefüllte Excel-Datei *Befüllung* wieder geöffnet und es werden im Tabellenblatt *Aufträge* die Daten der Bearbeitungsstationen geändert. Dazu werden die beiden Bearbeitungsstationen CNC-Drehmaschine und CNC-Fräsmaschine durch eine Bearbeitungsstation CNC-Dreh-/Fräszentrum ersetzt.

Die folgende Tabelle 30 zeigt die Bearbeitungszeiten des CNC-Dreh-/Fräszentrums.

Bearbeitungsstation	Rüstzeit /Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)
CNC-Dreh-/Fräszentrum	50,0 Min.		1,5 Min.	

Tabelle 30: Daten des CNC-Dreh-/Fräszentrums, Fragestellung Alternative Maschine

Die folgende Abbildung 64 zeigt das geänderte Tabellenblatt *Aufträge*⁴⁶¹.

ID	Losgröße	Start	Fertig soll (optional)	1. Station	Rüstzeit /Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)	2. Station	Rüstzeit/Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	S B je
1	200	12.01.15	27.01.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
2	200	16.01.15	02.02.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
3	200	27.01.15	11.02.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
4	200	29.01.15	13.02.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
5	200	06.02.15	23.02.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
6	200	12.02.15	27.02.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
7	200	24.02.15	11.03.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
8	200	27.02.15	16.03.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
9	200	12.03.15	27.03.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
10	200	20.03.15	08.04.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
11	200	24.03.15	10.04.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
12	200	27.03.15	15.04.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
13	200	10.04.15	27.04.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
14	200	16.04.15	04.05.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
15	200	27.04.15	13.05.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
16	200	05.05.15	21.05.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
17	200	08.05.15	27.05.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
18	200	13.05.15	01.06.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						
19	200	19.05.15	05.06.15	cncDrehFräs	50,0 Min.		1,5 Min.						

Abbildung 64: Geändertes Tabellenblatt *Aufträge*, Fragestellung *Alternative Maschine*

Es wird ein neuer Simulationslauf durchgeführt. Zur Beantwortung der Frage muss nach dem Simulationslauf das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* geprüft werden.

⁴⁶¹ Die 1. Station wurde jeweils von der *CNC-Drehmaschine* in das *CNC-Dreh-/Fräszentrum* mit den in Tabelle 30 dargestellten Daten ausgetauscht, die 2. Station wurde herausgenommen. Die Stationen 3 bis 7 blieben unverändert.

Die folgende Abbildung 65 zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	ID	Start Auftrag SOLL	Start Auftrag IST	Fertigstellung SOLL	Fertigstellung IST	Durchlaufzeit (Min.)		Rüstzeit		Bearbeitungszeit		Wartezeit		Produktion						
2								Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Station 1	Stai					
3	1	12.01.15	12.01.15	27.01.15	20.01.15	2933,1 Min.	1150,0 Min.	39,2 %	1783,1 Min.	60,8 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	12						
4	2	16.01.15	16.01.15	02.02.15	26.01.15	2898,9 Min.	1150,0 Min.	39,7 %	1748,9 Min.	60,3 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	16						
5	3	27.01.15	27.01.15	11.02.15	03.02.15	2875,6 Min.	1150,0 Min.	40,0 %	1725,6 Min.	60,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	21						
6	4	29.01.15	29.01.15	13.02.15	06.02.15	2919,1 Min.	1150,0 Min.	39,4 %	1769,1 Min.	60,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	25						
7	5	06.02.15	06.02.15	23.02.15	16.02.15	2905,9 Min.	1150,0 Min.	39,6 %	1755,9 Min.	60,4 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	06						
8	6	12.02.15	12.02.15	27.02.15	20.02.15	2886,0 Min.	1150,0 Min.	39,8 %	1736,0 Min.	60,2 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	12						
9	7	24.02.15	24.02.15	11.03.15	04.03.15	2913,7 Min.	1150,0 Min.	39,5 %	1763,7 Min.	60,5 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	24						
10	8	27.02.15	27.02.15	16.03.15	09.03.15	2907,0 Min.	1150,0 Min.	39,6 %	1757,0 Min.	60,4 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	27						
11	9	12.03.15	12.03.15	27.03.15	20.03.15	2910,0 Min.	1150,0 Min.	39,5 %	1760,0 Min.	60,5 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	12						
12	10	20.03.15	20.03.15	08.04.15	30.03.15	2941,2 Min.	1150,0 Min.	39,1 %	1791,2 Min.	60,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	20						
13	11	24.03.15	24.03.15	10.04.15	01.04.15	2925,5 Min.	1150,0 Min.	39,3 %	1760,0 Min.	60,2 %	15,2 Min.	0,5 %	cncDrehFras	24						
14	12	27.03.15	27.03.15	15.04.15	08.04.15	2887,6 Min.	1150,0 Min.	39,8 %	1737,6 Min.	60,2 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	27						
15	13	10.04.15	10.04.15	27.04.15	20.04.15	2888,8 Min.	1150,0 Min.	39,8 %	1738,8 Min.	60,2 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	10						
16	14	16.04.15	16.04.15	04.05.15	24.04.15	2922,2 Min.	1150,0 Min.	39,4 %	1772,2 Min.	60,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	16						
17	15	27.04.15	27.04.15	13.05.15	06.05.15	2906,2 Min.	1150,0 Min.	39,6 %	1756,2 Min.	60,4 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	27						
18	16	05.05.15	05.05.15	21.05.15	13.05.15	2904,4 Min.	1150,0 Min.	39,6 %	1754,4 Min.	60,4 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	05						
19	17	08.05.15	08.05.15	27.05.15	19.05.15	2921,8 Min.	1150,0 Min.	39,4 %	1771,8 Min.	60,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	08						
20	18	13.05.15	13.05.15	01.06.15	22.05.15	2918,6 Min.	1150,0 Min.	39,4 %	1768,6 Min.	60,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	13						
21	19	19.05.15	19.05.15	05.06.15	28.05.15	2911,3 Min.	1150,0 Min.	39,5 %	1761,3 Min.	60,5 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFras	19						

Abbildung 65: Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung* nach dem Simulationslauf, Fragestellung *Alternative Maschine*

Anschließend wird zusätzlich die vorher abgespeicherte Excel-Datei *Befüllung_Vor* geöffnet.

Die folgende Abbildung 66 zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung_Vor*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1		Start Auftrag	Start Auftrag	Fertigstellung	Fertigstellung	Durchlaufzeit		Rüstzeit		Bearbeitungszeit		Wartezeit		Produktion							
2	ID	SOLL	IST	SOLL	IST	(Min.)		Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Zeit (Min.)	in %	Station 1	Sta						
3	1	12.01.15	12.01.15	27.01.15	20.01.15	3084,6 Min.	1135,0 Min.	36,8 %	1949,6 Min.	63,2 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12					
4	2	16.01.15	16.01.15	02.02.15	26.01.15	3045,3 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1910,3 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16					
5	3	27.01.15	27.01.15	11.02.15	04.02.15	3036,3 Min.	1135,0 Min.	37,4 %	1901,3 Min.	62,6 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	21					
6	4	29.01.15	29.01.15	13.02.15	06.02.15	3069,1 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1934,1 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	25					
7	5	06.02.15	06.02.15	23.02.15	16.02.15	3047,6 Min.	1135,0 Min.	37,2 %	1912,6 Min.	62,8 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	06					
8	6	12.02.15	12.02.15	27.02.15	20.02.15	3071,6 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1936,6 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12					
9	7	24.02.15	24.02.15	11.03.15	04.03.15	3053,3 Min.	1135,0 Min.	37,2 %	1918,8 Min.	62,8 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	24					
10	8	27.02.15	27.02.15	16.03.15	09.03.15	3029,3 Min.	1135,0 Min.	37,5 %	1894,3 Min.	62,5 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	21					
11	9	12.03.15	12.03.15	27.03.15	20.03.15	3072,1 Min.	1135,0 Min.	36,9 %	1937,1 Min.	63,1 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	12					
12	10	20.03.15	20.03.15	08.04.15	30.03.15	3072,9 Min.	1135,0 Min.	36,9 %	1937,9 Min.	63,1 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	20					
13	11	24.03.15	24.03.15	10.04.15	01.04.15	3057,4 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1922,4 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	24					
14	12	27.03.15	27.03.15	15.04.15	08.04.15	3065,4 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1930,4 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	21					
15	13	10.04.15	10.04.15	27.04.15	20.04.15	3045,4 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1910,4 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16					
16	14	16.04.15	16.04.15	04.05.15	24.04.15	3032,6 Min.	1135,0 Min.	37,4 %	1897,6 Min.	62,6 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16					
17	15	27.04.15	27.04.15	13.05.15	06.05.15	3056,6 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1921,6 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	21					
18	16	05.05.15	05.05.15	21.05.15	13.05.15	3039,3 Min.	1135,0 Min.	37,3 %	1904,3 Min.	62,7 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	06					
19	17	08.05.15	08.05.15	27.05.15	19.05.15	3062,2 Min.	1135,0 Min.	37,1 %	1927,2 Min.	62,9 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	06					
20	18	13.05.15	13.05.15	01.06.15	22.05.15	3036,4 Min.	1135,0 Min.	37,4 %	1901,4 Min.	62,6 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	13					
21	19	19.05.15	19.05.15	05.06.15	28.05.15	3067,2 Min.	1135,0 Min.	37,0 %	1932,2 Min.	63,0 %	0,0 Min.	0,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDreh	16					

Abbildung 66: Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung_Vor*, Fragestellung *Alternative Maschine*

Anschließend werden die Termine *Fertigstellung IST* der Aufträge in den beiden Dateien verglichen.

Die folgende Tabelle 31 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs.

ID	Fertigstellung IST	
	Befüllung.xlsx	Befüllung_Vor.xlsx
1	20.01.15	20.01.15
2	26.01.15	26.01.15
3	03.02.15	03.02.15
4	06.02.15	06.02.15
5	16.02.15	16.02.15
6	20.02.15	20.02.15
7	04.03.15	04.03.15
8	09.03.15	09.03.15
9	20.03.15	20.03.15
10	30.03.15	30.03.15
11	01.04.15	01.04.15
12	08.04.15	08.04.15
13	20.04.15	20.04.15
14	24.04.15	24.04.15
15	06.05.15	06.05.15
16	13.05.15	13.05.15
17	19.05.15	19.05.15
18	22.05.15	22.05.15
19	28.05.15	28.05.15

Tabelle 31: Termine Fertigstellung IST im Vergleich, Fragestellung Alternative Maschine

Die Tabelle 31 zeigt, dass sich die Termine *Fertigstellung IST* nicht verändern. Die Frage, wie sich die Produktion auf dem CNC-Dreh-/Fräszentrum als Alternative zu den beiden Einzelmaschinen CNC-Drehmaschine und CNC-Fräsmaschine auf den Fertigstellungstermin der Aufträge auswirken würde, ist also mit „gar nicht“ zu beantworten.

4.3.8 Fragestellung: Schwankung der Rüstzeiten

Das Musterunternehmen stellt fest, dass die Rüstzeiten für die Montage um ca. 50% schwanken. Es möchte wissen, wie sich dies auf den Fertigstellungstermin der Aufträge auswirkt.

Um die Frage zu beantworten, wird zunächst mit der basisbefüllten Excel-Datei *Befüllung* ein Simulationslauf durchgeführt. Nach erfolgtem Simulationslauf wird die Excel-Datei unter dem Namen *Befüllung_Vor* abgespeichert. Anschließend wird die basisbefüllte Excel-Datei *Befüllung* wieder geöffnet und es werden im Tabellenblatt *Aufträge* die Daten der Bearbeitungsstationen geändert. Zu diesem Zweck wird jeweils bei der Rüstzeit der *Montage* eine Schwankung von 50% eingegeben.

Die folgende Abbildung 67 zeigt den geänderten Teil des Tabellenblattes *Aufträge*.

ID	Losgröße	Start	7. Station	Rüstzeit/Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)	8. Station	Rüstzeit/Los (Min.)	Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)	Bearbeitung /Stück (Min.)	Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)
1	200	12.01.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
2	200	16.01.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
3	200	27.01.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
4	200	29.01.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
5	200	06.02.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
6	200	12.02.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
7	200	24.02.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
8	200	27.02.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
9	200	12.03.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
10	200	20.03.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
11	200	24.03.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
12	200	27.03.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
13	200	10.04.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
14	200	16.04.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
15	200	27.04.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
16	200	05.05.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
17	200	08.05.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
18	200	13.05.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					
19	200	19.05.15	montage	15,0 Min.	50 %	4,0 Min.	50 %					

Abbildung 67: Geänderter Teil des Tabellenblattes *Aufträge*, Fragestellung Schwankung der Rüstzeiten

Anschließend werden 20 Replikationen⁴⁶² durchgeführt, welche jeweils als Excel-Datei unter den Namen *Replikation1* bis *Replikation20* abgespeichert werden.

Zur Beantwortung der Frage müssen nach den Simulationsläufen die Tabellenblätter *Ergebnisse_Aufträge* und *Ergebnisse_Stationen* ausgewertet werden. Zunächst wird im Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* die Rüstzeiten der Kategorie *Montage* in den 21 Dateien⁴⁶³ verglichen.

⁴⁶² Zur Definition des Begriffs Replikation vgl. Fn. 456, S. 138. Die Anzahl von 20 Replikationen kann als nicht ausreichend kritisiert werden, da für eine statistisch verlässliche und damit gültige Aussage eine höhere Anzahl von Replikationen nötig wäre; vgl. Fn. 456, S. 138. Allerdings kann aus den 20 durchgeführten Replikation ein Trend herausgelesen werden.

⁴⁶³ Die Excel-Datei *Befüllung_Vor* sowie die 20 Excel-Dateien *Replikation1-Replikation20*.

Die folgende Tabelle 32 zeigt die Ergebnisse dieses Vergleichs.

	Rüstzeit Montage (Min.)
Befüllung_Vor	285,0 Min.
Replikation 1	289,4 Min.
Replikation 2	302,5 Min.
Replikation 3	298,6 Min.
Replikation 4	294,8 Min.
Replikation 5	295,9 Min.
Replikation 6	289,7 Min.
Replikation 7	269,1 Min.
Replikation 8	278,3 Min.
Replikation 9	279,6 Min.
Replikation 10	271,3 Min.
Replikation 11	304,7 Min.
Replikation 12	285,5 Min.
Replikation 13	270,4 Min.
Replikation 14	280,6 Min.
Replikation 15	281,5 Min.
Replikation 16	275,2 Min.
Replikation 17	279,4 Min.
Replikation 18	273,3 Min.
Replikation 19	284,4 Min.
Replikation 20	290,0 Min.

Tabelle 32: Rüstzeiten der Montage im Vergleich, Fragestellung Schwankung der Rüstzeiten

Anschließend werden im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* die Termine *Fertigstellung IST* der Aufträge in den 21 Excel-Dateien verglichen.

Die folgende Tabelle 33 zeigt die Ergebnisse dieses Vergleichs.

	Befüllung_Vor	Replikation 1	Replikation 2	Replikation 3	Replikation 4	Replikation 5	Replikation 6	Replikation 7	Replikation 8	Replikation 9	Replikation 10
ID	Fertigstellung IST										
1	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15
2	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15
3	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15
4	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15
5	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15
6	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15
7	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15
8	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15
9	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15
10	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15
11	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15
12	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15
13	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15
14	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15
15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15
16	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15
17	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15
18	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15
19	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15

	Replikation 11	Replikation 12	Replikation 13	Replikation 14	Replikation 15	Replikation 16	Replikation 17	Replikation 18	Replikation 19	Replikation 20
ID	Fertigstellung IST									
1	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15	20.01.15
2	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15	26.01.15
3	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15	04.02.15
4	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15	06.02.15
5	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15	16.02.15
6	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15	20.02.15
7	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15	04.03.15
8	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15	09.03.15
9	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15	20.03.15
10	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15	30.03.15
11	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15	01.04.15
12	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15	08.04.15
13	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15	20.04.15
14	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15	24.04.15
15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15
16	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15	13.05.15
17	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15	19.05.15
18	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15	22.05.15
19	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15	28.05.15

Tabelle 33: Termine Fertigstellung IST im Vergleich, Fragestellung Schwankung der Rüstzeiten

Die Tabelle 32 zeigt, dass die Rüstzeit der Montage zwischen 269,1 Min. und 304,7 Min. schwankt. Die Tabelle 33 zeigt, dass sich durch diese Schwankung jedoch in keiner der Replikationen der Termin *Fertigstellung IST* verschiebt.

Die Frage, wie sich die Schwankungen der Rüstzeiten für die Montage auf den Fertigstellungstermin der Aufträge auswirkt, ist also mit „gar nicht“ zu beantworten⁴⁶⁴.

464 Es ist dabei zu beachten, dass sich diese Aussage lediglich auf einen Trend bezieht, vgl. Fn. 462, S. 152.

4.4 Untersuchung zur Umsetzung der Anforderungen

4.4.1 Anforderung 1

Beschreibung

Der Liefertermin eines Auftrags sollte ersichtlich sein.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 1 wurde in der Spalte *Fertigstellung IST* im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt und in der Fallstudie mittels der Fragestellung Fertigstellungstermin eines Auftrags⁴⁶⁵ untersucht.

Die Abbildung 58, S. 141, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* nach dem Simulationslauf. In der Spalte *Fertigstellung IST* wird das Datum des Liefertermins dargestellt.

4.4.2 Anforderung 2

Beschreibung

Es sollten mehrere Maschinen und Läger kombinierbar sein.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 2 wurde nur teilweise umgesetzt.

Die Anforderung, mehrere Maschinen kombinieren zu können, wurde in den PACE-Bausteinen umgesetzt und in der Fallstudie mittels der Erarbeitung des *Simulationsmodells Musterunternehmen*⁴⁶⁶ untersucht.

Die Abbildung 44, S. 130, zeigt die Möglichkeit, mehrere Kategorien von Bearbeitungsstationen zu kombinieren, die Abbildungen 45 bis 53, S. 131 bis 135, zeigen die Möglichkeit, die Anzahl der Bearbeitungsstationen in den einzelnen Kategorien zu variieren.

Die Anforderung, mehrere Läger kombinieren zu können wurde nicht umgesetzt, da Läger

⁴⁶⁵ Vgl. Kapitel 4.3.3.

⁴⁶⁶ Vgl. Kapitel 4.2.

nicht als Bausteine modelliert wurden. Stattdessen wurden in den *Basisbaustein* zwei Stellen *Zwischenlager* und *Ausgangslager* fix implementiert⁴⁶⁷.

4.4.3 Anforderung 3

Beschreibung

Verschiebungen des Liefertermins sollten ersichtlich sein.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 3 wurde in der Spalte *Fertigstellung IST* im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt und mittels der Fallstudie in der Fragestellung Fertigstellungstermin eines Auftrags⁴⁶⁸ untersucht.

Die Abbildung 58, S. 141, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* nach dem Simulationslauf. In der Spalte *Fertigstellung IST* wird das Datum des Liefertermins farblich dargestellt. Für den Fall, dass der Auftrag vor oder zu dem geplanten Liefertermin fertiggestellt wird, wird das Datum *Fertigstellung IST* grün dargestellt, für den Fall, dass der Auftrag nach dem geplanten Liefertermin fertiggestellt wird, wird das Datum *Fertigstellung IST* rot dargestellt⁴⁶⁹.

4.4.4 Anforderung 4

Beschreibung

Die Aufstellung der Maschinen zueinander sollte prüfbar sein.

Hauptkategorie

Ausrichtung

⁴⁶⁷ Dieses Vorgehen liegt in der Methodik der Modellierungssprache Petrinetze begründet.

So dient das Zwischenlager als Wartestation für die Aufträge vor und zwischen den Bearbeitungsschritten auf den einzelnen Bearbeitungsstationen. Die Implementierung als *eine Stelle* stellt sicher, dass stets der nächste, fällige Auftrag in den Maschinenpark gegeben wird.

Das Ausgangslager dient als Sammelstelle für fertiggestellte Aufträge. Aus dieser Stelle Ausgangslager besteht keine Verbindung zum Modul Maschinenpark, die Marken der fertiggestellten Aufträge befinden sich also in ihrer Endmarkierung.

Zur Methodik der Modellierungssprache Petrinetze vgl. die Kapitel 2.4.2.2 bis 2.4.2.4 sowie für Details REISIG (2010), S. 7–97.

⁴⁶⁸ Vgl. Kapitel 4.3.3.

⁴⁶⁹ Vgl. auch RUDEL (2016d).

Umsetzung

Die Anforderung 4 wurde nicht umgesetzt, da keine Wege⁴⁷⁰ modelliert wurden und somit bezüglich der Aufstellung der Maschinen zueinander keine Aussage getroffen werden kann.

4.4.5 Anforderung 5

Beschreibung

Die Aufträge (geplante, wartende und solche in Produktion) sollten übersichtlich dargestellt sein.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 5 wurde aus Gründen der Anwenderfreundlichkeit nicht umgesetzt⁴⁷¹.

4.4.6 Anforderung 6

Beschreibung

Die Auslastung der Mitarbeiter sollte prüfbar sein.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 6 wurde nicht umgesetzt, da dies zu Problemen mit der Gewerkschaft führen kann⁴⁷².

470 Der Begriff Wege bezeichnet in diesem Fall die räumlichen Abstände zwischen den Bearbeitungsstationen sowie zum Zwischen- und Ausgangslager.

471 Um die Zustände der Aufträge darzustellen, wäre es nötig, in PACE mit graphischen Ausgabefenstern zu arbeiten. Auf die Implementierung graphischer Ein- und Ausgabefenster in PACE wurde jedoch verzichtet, da diese vom Anwender des Baukastensystems im Rahmen der Erstellung des Simulationsmodells selbst erzeugt werden müssten, was Expertenwissen in PACE voraussetzen würde. Dies würde den Anforderungen 19 bis 21, den Aufwand gering zu halten, widersprechen.

Da die Autorin der Dissertation die Anforderungen 19 bis 21 als gewichtiger einstufte als die Anforderung 5, wurde diese Anforderung 5 nicht umgesetzt.

472 Die Leistungsmessung einzelner Mitarbeiter bedarf der Zustimmung des Betriebsrates, vgl. BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2001/2013), S. 29.

4.4.7 Anforderung 7

Beschreibung

Die Auslastung der Maschinen sollte prüfbar sein.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 7 wurde im Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt und in der Fallstudie mittels der Fragestellung Auslastung der Bearbeitungsstationen⁴⁷³ untersucht.

Die Abbildung 57, S. 140, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* nach dem Simulationslauf. Die Auslastung der Maschinen kann aus dem Tabellenblatt direkt abgelesen werden.

4.4.8 Anforderung 8

Beschreibung

Der Produktionsprozess sollte bezüglich Engpässen, Auftragsplanung, Auftragsreihenfolge, Auftragsablauf, Durchlaufzeiten, Rüstzeiten und Maschinenbelegung prüfbar sein.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 8 wurde bezüglich der Prüfbarkeit von Engpässen im Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt und in der Fallstudie mittels der Fragestellung Flaschenhals⁴⁷⁴ untersucht. Die Abbildung 59, S. 142, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* nach dem Simulationslauf. Die Kategorie von Bearbeitungsstationen mit der geringsten Wartezeit hat die höchste Auslastung und stellt damit den Engpass dar⁴⁷⁵.

473 Vgl. Kapitel 4.3.2.

474 Vgl. Kapitel 4.3.4.

475 Vgl. auch Fn. 457, S. 141.

Die Anforderung 8 wurde bezüglich der Prüfbarkeit der Auftragsplanung, der Auftragsreihenfolge und des Auftragsablaufes in den Tabellenblättern *Aufträge* und *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt. Es können in dem Tabellenblatt *Aufträge* bis zu 100 Aufträge mit jeweils bis zu 10 Bearbeitungsstationen eingetragen, simuliert und anschließend im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* geprüft werden. Dieses Vorgehen mit geänderten Auftragsdaten kann mehrfach wiederholt werden. So können die Auftragsplanung, die Auftragsreihenfolge und der Auftragsablauf geprüft werden, ohne in die laufende Produktion eingreifen zu müssen. Die Abbildung 34, S. 116, zeigt das Tabellenblatt *Aufträge* und die Abbildung 35, S. 117, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge*.

Die Anforderung 8 wurde bezüglich der Prüfbarkeit von Durchlaufzeiten der Aufträge in dem Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* in der Spalte *Durchlaufzeit (Min.)* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt. Die Abbildung 58, S. 141, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* nach einem Simulationslauf. In der Spalte *Durchlaufzeit (Min.)* wird die Durchlaufzeit der Aufträge dargestellt.

Die Anforderung 8 wurde bezüglich der Prüfbarkeit der Rüstzeiten für die Bearbeitungsstationen in dem Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt. Die Abbildung 57, S. 140, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* nach einem Simulationslauf. Die Rüstzeiten der Bearbeitungsstationen können aus dem Tabellenblatt direkt abgelesen werden.

Die Anforderung 8 wurde bezüglich der Prüfbarkeit der Rüstzeiten für die Aufträge in dem Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* in den Spalten *Rüstzeit Zeit (Min.)* und *Rüstzeit in %* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt. Die Abbildung 58, S. 141, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* nach einem Simulationslauf. In der Spalte *Rüstzeit Zeit (Min.)* wird die Rüstzeit der Aufträge in Minuten und in der Spalte *Rüstzeit in %* wird die Rüstzeit der Aufträge in Prozent dargestellt.

Die Anforderung 8 wurde bezüglich der Prüfbarkeit der Maschinenbelegung in dem Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* in den Spalten *Produktionsplanung*⁴⁷⁶ umgesetzt.

⁴⁷⁶ Die Spalten *Produktionsplanung* sind rechts im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* enthalten und geben für bis zu 10 Stationen jeweils die Station sowie das Startdatum des Auftrags auf der Station an.

Die folgende Abbildung 68 zeigt den betreffenden Ausschnitt des Tabellenblattes *Ergebnisse_Aufträge* nach einem Simulationslauf. Die Maschinenbelegung kann aus dem Tabellenblatt aus den Spalten *Produktionsplanung* direkt abgelesen werden.

Gesamtzeit		Wartezeit		Produktionsplanung										
ID	in %	Zeit (Min.)	in %	Station 1	Start auf Station	Station 2	Start auf Station	Station 3	Start auf Station	Station 4	Start auf Station	Station 5	Start auf Station	Station
1	80,8 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	12.01.15	manBohr	12.01.15	gleitSchleif	13.01.15	prüf	14.01.15	extern	14.01.15	montag
2	60,3 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	16.01.15	manBohr	16.01.15	gleitSchleif	19.01.15	prüf	20.01.15	extern	20.01.15	montag
3	60,0 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	27.01.15	manBohr	27.01.15	gleitSchleif	28.01.15	prüf	29.01.15	extern	29.01.15	montag
4	60,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	29.01.15	manBohr	29.01.15	gleitSchleif	30.01.15	prüf	02.02.15	extern	02.02.15	montag
5	60,4 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	06.02.15	manBohr	06.02.15	gleitSchleif	09.02.15	prüf	10.02.15	extern	10.02.15	montag
6	60,2 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	12.02.15	manBohr	12.02.15	gleitSchleif	13.02.15	prüf	16.02.15	extern	16.02.15	montag
7	60,5 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	24.02.15	manBohr	24.02.15	gleitSchleif	25.02.15	prüf	26.02.15	extern	26.02.15	montag
8	60,4 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	27.02.15	manBohr	27.02.15	gleitSchleif	02.03.15	prüf	03.03.15	extern	03.03.15	montag
9	60,5 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	12.03.15	manBohr	12.03.15	gleitSchleif	13.03.15	prüf	16.03.15	extern	16.03.15	montag
10	60,9 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	20.03.15	manBohr	20.03.15	gleitSchleif	24.03.15	prüf	24.03.15	extern	24.03.15	montag
11	60,2 %	15,2 Min.	0,5 %	cncDrehFräs	24.03.15	manBohr	24.03.15	gleitSchleif	25.03.15	prüf	26.03.15	extern	26.03.15	montag
12	60,2 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	27.03.15	manBohr	27.03.15	gleitSchleif	30.03.15	prüf	31.03.15	extern	31.03.15	montag
13	60,2 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	10.04.15	manBohr	10.04.15	gleitSchleif	13.04.15	prüf	14.04.15	extern	14.04.15	montag
14	60,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	16.04.15	manBohr	16.04.15	gleitSchleif	20.04.15	prüf	20.04.15	extern	20.04.15	montag
15	60,4 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	27.04.15	manBohr	27.04.15	gleitSchleif	28.04.15	prüf	29.04.15	extern	29.04.15	montag
16	60,4 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	05.05.15	manBohr	05.05.15	gleitSchleif	06.05.15	prüf	07.05.15	extern	07.05.15	montag
17	60,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	08.05.15	manBohr	08.05.15	gleitSchleif	11.05.15	prüf	12.05.15	extern	12.05.15	montag
18	60,6 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	13.05.15	manBohr	13.05.15	gleitSchleif	15.05.15	prüf	18.05.15	extern	18.05.15	montag
19	60,5 %	0,0 Min.	0,0 %	cncDrehFräs	19.05.15	manBohr	19.05.15	gleitSchleif	20.05.15	prüf	21.05.15	extern	21.05.15	montag
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														

Abbildung 68: Umsetzung der Anforderung 8 bezüglich der Prüfbarkeit der Maschinenbelegung

4.4.9 Anforderung 9

Beschreibung

Fähigkeiten der Mitarbeiter, Urlaubsplanung, Krankheit sollten in das Simulationswerkzeug eingebunden werden.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 9 wurde nicht explizit⁴⁷⁷ umgesetzt, da keine Werker modelliert wurden⁴⁷⁸.

⁴⁷⁷ In der Fragestellung Freinehmen durch einen Mitarbeiter in Kapitel 4.3.5 wurde jedoch eine ähnliche Fragestellung behandelt.

⁴⁷⁸ Zur Begründung vgl. Kapitel 4.5.1.

4.4.10 Anforderung 10

Beschreibung

Der Produktionsprozess sollte bezüglich Krankheiten von Mitarbeitern, Zusatzaufträgen, Produktionszeiten überprüfbar sein.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 10 wurde bezüglich der Prüfbarkeit des Produktionsprozesses bei Krankheiten von Mitarbeitern nicht explizit⁴⁷⁹ umgesetzt, da keine Werker modelliert wurden⁴⁸⁰.

Die Anforderung 10 wurde bezüglich der Prüfbarkeit des Produktionsprozesses bei Zusatzaufträgen in den Tabellenblättern *Aufträge* und *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt und in der Fallstudie mittels der Fragestellung *Zusätzlicher Auftrag*⁴⁸¹ untersucht. Die Abbildung 63, S. 146, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung_Vor*⁴⁸² nach dem Simulationslauf. Die Abbildung 62, S. 145, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung*⁴⁸³ nach dem Simulationslauf. Die Tabelle 29, S. 146, zeigt den Vergleich der beiden Tabellenblätter bezüglich des Zusatzauftrags.

4.4.11 Anforderung 11

Beschreibung

Baustein: CNC-Fräsmaschine

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Die Anforderung 11 wurde im PACE-Baustein *CNC-Fräsmaschinen* umgesetzt. Die Abbildung 43, S. 128, zeigt, dass dieser als Kategorie im Baukastensystem *KMUSimMetall* enthalten ist.

479 In der Fragestellung *Freinehmen* durch einen Mitarbeiter in Kapitel 4.3.5 wurde jedoch eine ähnliche Fragestellung behandelt.

480 Zur Begründung vgl. Kapitel 4.5.1.

481 Vgl. Kapitel 4.3.6.

482 Vor der Eingabe des Zusatzauftrags.

483 Nach der Eingabe des Zusatzauftrags.

4.4.12 Anforderung 12

Beschreibung

Baustein: CNC-Drehmaschine

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Die Anforderung 12 wurde im PACE-Baustein *CNC-Drehmaschinen* umgesetzt. Die Abbildung 43, S. 128, zeigt, dass dieser als Kategorie im Baukastensystem *KMUSimMetall* enthalten ist.

4.4.13 Anforderung 13

Beschreibung

Baustein: CNC-Dreh-/Fräszentrum

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Die Anforderung 13 wurde im PACE-Baustein *CNC-Dreh-Fräszentren* umgesetzt. Die Abbildung 43, S. 128, zeigt, dass dieser als Kategorie im Baukastensystem *KMUSimMetall* enthalten ist.

4.4.14 Anforderung 14

Beschreibung

Baustein: Gleitschleifmaschine

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Die Anforderung 14 wurde im PACE-Baustein *Gleitschleifmaschinen* umgesetzt. Die Abbildung 43, S. 128, zeigt, dass dieser als Kategorie im Baukastensystem *KMUSimMetall* enthalten ist.

4.4.15 Anforderung 15**Beschreibung**

Baustein: Manuelle Drehmaschine

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Die Anforderung 15 wurde im PACE-Baustein *Manuelle Drehmaschinen* umgesetzt. Die Abbildung 43, S. 128, zeigt, dass dieser als Kategorie im Baukastensystem *KMUSimMetall* enthalten ist.

4.4.16 Anforderung 16**Beschreibung**

Baustein: Manuelle Fräsmaschine

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Die Anforderung 16 wurde im PACE-Baustein *Manuelle Fräsmaschinen* umgesetzt. Die Abbildung 43, S. 128, zeigt, dass dieser als Kategorie im Baukastensystem *KMUSimMetall* enthalten ist.

4.4.17 Anforderung 17**Beschreibung**

Baustein: Manuelle Schleifmaschine

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Die Anforderung 17 wurde im PACE-Baustein *Manuelle Schleifmaschinen* umgesetzt. Die Abbildung 43, S. 128, zeigt, dass dieser als Kategorie im Baukastensystem *KMUSimMetall* enthalten ist.

4.4.18 Anforderung 18**Beschreibung**

Baustein: Manuelle Bohrmaschine

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Die Anforderung 18 wurde im PACE-Baustein *Manuelle Bohrmaschinen* umgesetzt. Die Abbildung 43, S. 128, zeigt, dass dieser als Kategorie im Baukastensystem *KMUSimMetall* enthalten ist.

4.4.19 Anforderung 19**Beschreibung**

Der Aufwand muss in angemessenem Verhältnis zum Nutzen stehen.

Hauptkategorie

Bedingungen

Umsetzung

Die Umsetzung der Anforderung 19 kann nicht untersucht werden, da die Anforderung ungenau formuliert wurde und eine Definition fehlt, was der Anwender als „ein angemessenes Verhältnis“ erachtet. Des Weiteren kann nicht beurteilt werden, wie hoch der Aufwand sowie der Nutzen vom Anwender angesehen werden⁴⁸⁴.

⁴⁸⁴ Zum Aufwand für den Anwender vgl. auch Kapitel 4.5.1, Kapitel 4.5.8, Kapitel 4.5.12, Kapitel 4.5.16 sowie die Fn. 471, S. 157. Ob die Anforderung 19 umgesetzt wurde, wird sich nach Meinung der Autorin der Dissertation daran zeigen, ob das Baukastensystem *KMUSimMetall* in der Praxis angewendet wird.

4.4.20 Anforderung 20

Beschreibung

Der Aufwand muss gering bleiben.

Hauptkategorie

Bedingungen

Umsetzung

Die Umsetzung der Anforderung 20 kann nicht untersucht werden, da die Anforderung ungenau formuliert ist und eine Definition fehlt, was der Anwender als „geringen Aufwand“ erachtet⁴⁸⁵.

4.4.21 Anforderung 21

Beschreibung

Der Aufwand für Dateneingabe muss sich in Grenzen halten.

Hauptkategorie

Bedingungen

Umsetzung

Die Umsetzung der Anforderung 21 kann nicht untersucht werden, da die Anforderung ungenau formuliert ist und eine Definition fehlt, was der Anwender als ein „noch zumutbaren Aufwand für die Dateneingabe“ erachtet⁴⁸⁶.

4.4.22 Anforderung 22

Beschreibung

Es muss auch möglich sein, „ungefähre Werte“ einzugeben.

Hauptkategorie

Bedingungen

485 Zum Aufwand für den Anwender vgl. auch Kapitel 4.5.1, Kapitel 4.5.8, Kapitel 4.5.12, Kapitel 4.5.16 sowie die Fn. 471, S. 157. Ob die Anforderung 20 umgesetzt wurde, wird sich nach Meinung der Autorin der Dissertation daran zeigen, ob das Baukastensystem *KMUSimMetall* in der Praxis angewendet wird.

486 Zum Aufwand für den Anwender vgl. auch Kapitel 4.5.1, Kapitel 4.5.8, Kapitel 4.5.12, Kapitel 4.5.16 sowie die Fn. 471, S. 157. Ob die Anforderung 21 umgesetzt wurde, wird sich nach Meinung der Autorin der Dissertation daran zeigen, ob das Baukastensystem *KMUSimMetall* in der Praxis angewendet wird.

Umsetzung

Die Anforderung 22 wurde im Tabellenblatt *Aufträge* in den Spalten *Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)* und *Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt.

Soll beispielsweise die Bearbeitungszeit eines Auftrags auf der Gleitschleifmaschine „so ungefähr zwischen 5 und 15 Minuten dauern“, wird im Tabellenblatt *Aufträge* in der Spalte *Bearbeitung/Stück (Min.)* die Bearbeitungszeit von 10 Minuten eingegeben und in der Spalte *Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)* eine Schwankung von 50% ausgewählt.

Die Abbildung 34, S. 116, zeigt das Tabellenblatt *Aufträge* mit den Spalten *Schwankung Rüstzeit, jeweils +/- (%)* und *Schwankung Bearbeitung, jeweils +/- (%)* der Excel-Datei *Befüllung*.

4.4.23 Anforderung 23

Beschreibung

Auch für bereits laufende Aufträge soll das Simulationswerkzeug nutzbar sein.

Hauptkategorie

Bedingungen

Umsetzung

Die Anforderung 23 wurde in den Tabellenblättern *Aufträge* und *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt.

So kann beispielsweise für einen Auftrag, der sich bereits in der Produktion befindet, eine Erhöhung der Stückzahl geprüft werden. Dazu wird zunächst die Excel-Datei *Befüllung* nach dem Simulationslauf als Kopie unter dem Namen *Befüllung_Vor* gespeichert. Anschließend wird in der Excel-Datei *Befüllung* die erhöhte Stückzahl für den Auftrag in das Tabellenblatt *Aufträge* eingepflegt und ein neuer Simulationslauf durchgeführt. Durch den Vergleich der beiden Excel-Dateien *Befüllung_Vor* und *Befüllung* können die Auswirkungen der Veränderung des Auftrags bezüglich der Maschinenbelegung sowie der Fertigstellungstermine der Aufträge analysiert werden.

Die Abbildung 34, S. 116, zeigt das Tabellenblatt *Aufträge* der Excel-Datei *Befüllung* und die Abbildung 35, S. 117, zeigt das Tabellenblatt *Aufträge_Ergebnisse* der Excel-Datei *Befüllung*.

4.4.24 Anforderung 24

Beschreibung

Der Experte muss weiterhin geschätzt werden, das Simulationswerkzeug darf ihn nicht ersetzen.

Hauptkategorie

Bedingungen

Umsetzung

Die Anforderung 24 wurde umgesetzt und in den Fragestellungen der Fallstudie untersucht⁴⁸⁷. Anhand der Fallstudie ist nachvollziehbar, dass das Baukastensystem mit dem daraus erstellten Simulationsmodell sowie der Datei *Befüllung* nur Werkzeuge zur Prozess-Simulation darstellen. Nach erfolgtem Simulationslauf ist stets die Interpretation der Ergebnisse durch einen Experten nötig.

4.4.25 Anforderung 25

Beschreibung

Der Aufwand für die Dateneingabe darf die Flexibilität nicht einschränken.

Hauptkategorie

Bedingungen

Umsetzung

Die Anforderung 25 wurde nicht umgesetzt.

Durch den Aufwand für die Dateneingabe wird die Flexibilität eingeschränkt, da ohne Eingabe der Daten in die Datei *Befüllung* und einen anschließenden Simulationslauf keine Aussage bezüglich der Auswirkungen eines veränderten oder zusätzlichen Auftrags möglich ist⁴⁸⁸.

4.4.26 Anforderung 26

Beschreibung

Durch die Nutzung sollten Planungsergebnisse abgesichert werden können.

487 Vgl. die Kapitel 4.3.2 bis 4.3.8.

488 Eine Einschränkung der Flexibilität ist zugunsten erhöhter Planungssicherheit nach Einschätzung der Autorin der Dissertation nicht zu vermeiden.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Die Anforderung 26 wurde in den Spalten *Start Auftrag SOLL*, *Start Auftrag IST*, *Fertigstellung SOLL* und *Fertigstellung IST* im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* der Excel-Datei *Be-füllung* umgesetzt und kann an der Fallstudie⁴⁸⁹ mittels der Fragestellung *Zusätzlicher Auf-trag*⁴⁹⁰ nachvollzogen werden.

Die Abbildung 58, S. 141, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* nach dem Simulati-onslauf. Zur näheren Erläuterung wird der Auftrag 18⁴⁹¹ herausgegriffen. In der Tabellenspal-te *Start Auftrag SOLL* ist zu sehen, dass der Auftrag 18 laut Planung am 13.05.2015 starten soll; die Tabellenspalte *Start Auftrag IST* zeigt ebenfalls den 13.05.2015, womit das Pla-nungsergebnis des Starttermins abgesichert ist.

In der Tabellenspalte *Fertigstellung SOLL* ist zu sehen, dass der Auftrag 18 laut Planung am 01.06.2015 fertiggestellt sein soll, die Tabellenspalte *Fertigstellung IST* zeigt den 22.05.2015, womit das Planungsergebnis des Fertigstellungstermins ebenfalls abgesichert ist⁴⁹².

4.4.27 Anforderung 27**Beschreibung**

Die Anschaffungskosten sollten niedrig sein.

Hauptkategorie

Bedingung

Umsetzung

Die Anforderung 27 wurde umgesetzt. Die Umsetzung kann anhand des Kapitels 3.3.3 nach-vollzogen werden.

In Kapitels 3.3.3 wurde das Simulationswerkzeug, auf dem das Baukastensystem basiert, an-hand einer NWA ausgewählt. Als K.o.-Kriterium wurden in der NWA Anschaffungskosten von unter 5 TEUR netto festgelegt⁴⁹³; dieser Betrag wird von der Autorin der Dissertation als niedrige Anschaffungskosten angesehen⁴⁹⁴.

489 Vgl. Kapitel 4.

490 Vgl. Kapitel 4.3.6.

491 Der Auftrag 18 ist in der Abbildung 58, S. 141, mit „ID 18“ bezeichnet.

492 Das Planungsergebnis ist abgesichert da der Auftrag bereits vor dem geplanten Termin fertiggestellt ist und somit zum geplanten Termin in jedem Fall zur Verfügung steht.

493 Vgl. auch Fn. 234, S. 49.

494 Vgl. auch Fn. 85, S. 17.

4.4.28 Anforderung 28

Beschreibung

Der Schulungsbedarf sollte niedrig sein.

Hauptkategorie

Bedingung

Umsetzung

Die Anforderung wurde berücksichtigt und in der KMU-gerechten Auswahl und Ausgestaltung der Bausteine für das Baukastensystem umgesetzt⁴⁹⁵. Die Auswahl und die Ausgestaltung der Bausteine kann in Kapitel 3 nachvollzogen werden.

4.4.29 Anforderung 29

Beschreibung

Das Simulationswerkzeug sollte nach der Installation schnell genutzt werden können.

Hauptkategorie

Bedingung

Umsetzung

Die Anforderung 29 wurde umgesetzt. Das Baukastensystem unterstützt die schnelle Nutzbarkeit des Simulationswerkzeugs, indem mit dem Baukastensystem eine praxisnahe und leicht zu bedienende Anwendung zur Verfügung steht⁴⁹⁶. Des Weiteren wurde das Nutzerhandbuch RUDEL (2016a) erstellt, welches die Nutzung des Baukastensystems Schritt für Schritt beschreibt und damit ebenfalls die schnelle Nutzbarkeit unterstützt.

4.4.30 Anforderung 30

Beschreibung

Die Implementierung sollte schnell möglich sein.

Hauptkategorie

Bedingung

⁴⁹⁵ Aus der Forderung von SOMMER et al. (2004), aus der die Anforderung 28 abgeleitet wurde, wurde bereits in Kapitel 1.3 als „erstes spezielles Erfordernis“ die KMU-gerechte Auswahl und Ausgestaltung der Bausteine für das Baukastensystem abgeleitet.

⁴⁹⁶ Es ist für den Anwender nicht nötig, sich erst zeitaufwändig in das Simulationswerkzeug PACE einzuarbeiten; vielmehr kann der Anwender das Baukastensystem direkt nutzen.

Umsetzung

Die Anforderung 30 wurde umgesetzt; um die schnelle Implementierung zu unterstützen wurde das Nutzerhandbuch RUDEL (2016a) erstellt und darin das Vorgehen zur Implementierung Schritt für Schritt beschrieben.

Zum Nachweis der Umsetzung der Anforderung 30 wurde die Installation des Simulationswerkzeugs PACE sowie die Implementierung des Baukastensystems mit einem Laien auf dem Gebiet der Simulationswerkzeuge getestet. Bei diesem Test⁴⁹⁷ wurde mit Hilfe des Nutzerhandbuchs das Simulationswerkzeug PACE auf dem Laptop des Laien installiert und das Baukastensystem implementiert. Anschließend wurde ein Simulationsmodell für ein imaginäres KMU erstellt. Die insgesamt benötigte Zeitspanne bis zum simulationsfähigen Modell belief sich auf ca. 3 Stunden. Die Autorin der Dissertation ist der Meinung, dass diese Zeitspanne auch für andere Laien als ungefähre Zeitspanne ansetzbar ist und interpretiert dies als schnelle Implementierung.

4.4.31 Anforderung 31

Beschreibung

Die Anforderungen von KMU an Simulationswerkzeuge sollten erforscht werden.

Hauptkategorie

Bedingung

Umsetzung

Die Anforderung 31 wurde umgesetzt, es wurden sowohl die Anforderungen von KMU an Simulationswerkzeuge aus der Praxis⁴⁹⁸ als auch aus der Fachliteratur zum Einsatz der Prozesssimulation in KMU⁴⁹⁹ erforscht und im Anforderungskatalog in Kapitel 3.3.8 zusammengefasst.

4.4.32 Anforderung 32

Beschreibung

Es sollten Musterlösungen entworfen und implementiert werden.

Hauptkategorie

Bedingung

497 Der Test fand am 29.05.2015 in Unterhaching statt. Die Installation und die Implementierung durch den Laien erfolgte ausschließlich auf Basis des Nutzerhandbuchs, das der Laie las und befolgte.

498 Vgl. Kapitel 3.3.6.

499 Vgl. Kapitel 3.3.7.

Umsetzung

Die Anforderung 32 wurde nur teilweise umgesetzt.

Die in Kapitel 4 erstellte Fallstudie kann als entworfene Musterlösung interpretiert werden, jedoch wurde diese Musterlösung nicht in das Baukastensystem implementiert.

4.4.33 Anforderung 33**Beschreibung**

Es sollte ein hierarchisch aufgebautes Baukastensystem eingesetzt werden.

Hauptkategorie

Bedingung

Umsetzung

Die Anforderung 33 wurde umgesetzt⁵⁰⁰. Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Musterunternehmen*. Die Abbildungen 71 bis 73, S. 188 bis 190, zeigen die hierarchischen Ebenen 1 bis 3 des *Simulationsmodells Musterunternehmen*⁵⁰¹.

4.4.34 Anforderung 34**Beschreibung**

Die Simulationsmodelle sollten einfach angepasst werden können.

Hauptkategorie

Bedingung

⁵⁰⁰ Die Anforderung 33 steht in starkem Zusammenhang mit der Maßnahme GoM15; zur Umsetzung der Maßnahme GoM15 vgl. Kapitel 4.6.1.15.

⁵⁰¹ Die 3. hierarchische Ebene ist nur einmal in Abbildung 73, S. 190, stellvertretend für alle Kategorien von Bearbeitungsstationen abgebildet.

Umsetzung

Die Anforderung 34 wurde umgesetzt⁵⁰². Die Bausteine *Kategorie Bearbeitungsstation* und *Bearbeitungsstation* sind jeweils universell verwendbar⁵⁰³. Durch diese universelle Verwendbarkeit ist es für den Anwender möglich, sowohl die Kategorien der Bearbeitungsstationen als auch die Anzahl von Bearbeitungsstationen in den Kategorien der Bearbeitungsstationen im Simulationsmodell einfach anzupassen. Zur Unterstützung der Anwender bei diesen Anpassungen wurde das Nutzerhandbuch RUDEL (2016a) erstellt und darin das nötige Vorgehen Schritt für Schritt beschrieben.

4.4.35 Anforderung 35

Beschreibung

Die Rechenzeit, die ein im Simulationswerkzeug erstelltes Simulationsmodell für die Simulation benötigt, sollte möglichst gering sein.

Hauptkategorie

Bedingung

Umsetzung

Die Anforderung 35 wurde umgesetzt. Das Baukastensystem wurde so gestaltet, dass die Laufzeit des erstellten Simulationsmodells möglichst gering gehalten wird. Zur Nachweisführung wird im Folgenden beispielhaft das Modellierungskonzept der Werkstücke als Marken erläutert.

Die Werkstücke werden in dem PACE-Baustein *Basisbaustein* zunächst als Auftragsmarken erzeugt. Aus diesen Auftragsmarken werden erst später im Simulationslauf die Werkstückmarken erzeugt⁵⁰⁴.

502 Die Anforderung 33 steht in starkem Zusammenhang mit der Maßnahme GoM10; zur Umsetzung der GoM10 vgl. Kapitel 4.6.1.15.

503 Die Details dazu sind den Kapiteln 3.5.5.3 und 3.5.5.4 nachzulesen.

504 In den Auftragsmarken wird die jeweilige Anzahl der Werkstücke mittels des Attributs „lg“ hinterlegt. Für Details bezüglich der verwendeten Attribute vgl. das Kapitel 4.2 des Dokuments RUDEL (2016d).

Die folgende Abbildung 69 zeigt beispielhaft einen entpackten *Basisbaustein* mit zwei Auftragsmarken.

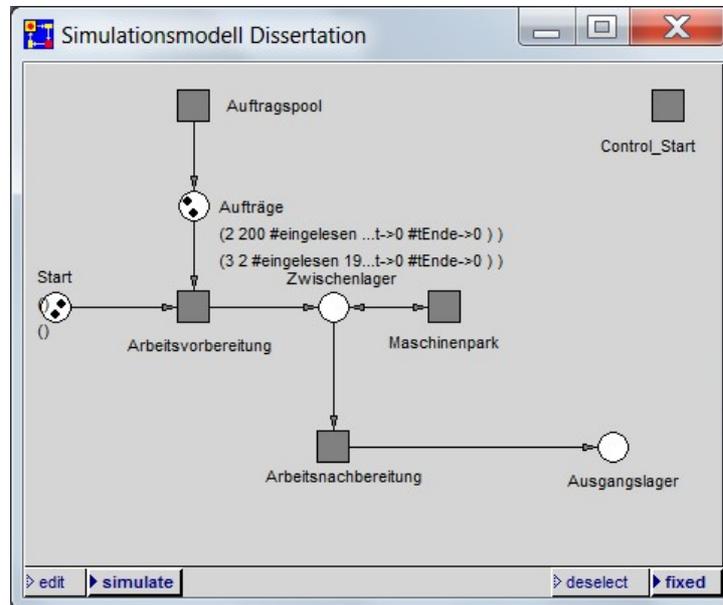


Abbildung 69: Entpackter Basisbaustein mit den Auftragsmarken

Auf der Stelle „Aufträge“ sind zwei Auftragsmarken zu sehen. Die obere der beiden Auftragsmarken besitzt die Attribute „(2 200 #eingelesen ...t->0 #Ende->0)“, was bedeutet, dass in diesem Auftrag 200 Werkstücke bearbeitet werden⁵⁰⁵. Diese 200 Werkstücke werden als Werkstückmarken zu Beginn des Moduls *Werkstücke bearbeiten*⁵⁰⁶ aus der Auftragsmarke erzeugt⁵⁰⁷; später in dem selben Modul werden die 200 Werkstückmarken wieder in *eine* Auftragsmarke zusammengefasst⁵⁰⁸.

505 Für Details bezüglich der verwendeten Attribute vgl. das Kapitel 4.2 des Dokuments RUDEL (2016d).

506 Dieses Modul ist im PACE-Baustein *Bearbeitungsstation* enthalten.

507 Die Werkstückmarken werden aus der Auftragsmarke mittels einer Schleife und der Hilfsvariablen „zähler“ erzeugt; vgl. Abbildung 70, S. 174.

508 Die Werkstücke werden aus der Auftragsmarke einzeln erzeugt, um schwankende Bearbeitungszeiten der Werkstücke simulieren und auswerten zu können. Die tatsächlichen Bearbeitungszeiten der einzelnen Werkstücke werden nach der Simulation der Bearbeitungszeit in den Attributen der Marke mittels der *Ordered Collection* „cAUS“ hinterlegt und später ausgelesen; vgl. Abbildung 70, S. 174. Zu Details der *Ordered Collection* vgl. das Kapitel 4.2 des Dokuments RUDEL (2016d).

Die folgende Abbildung 70 zeigt das Modul *Werkstücke bearbeiten*.

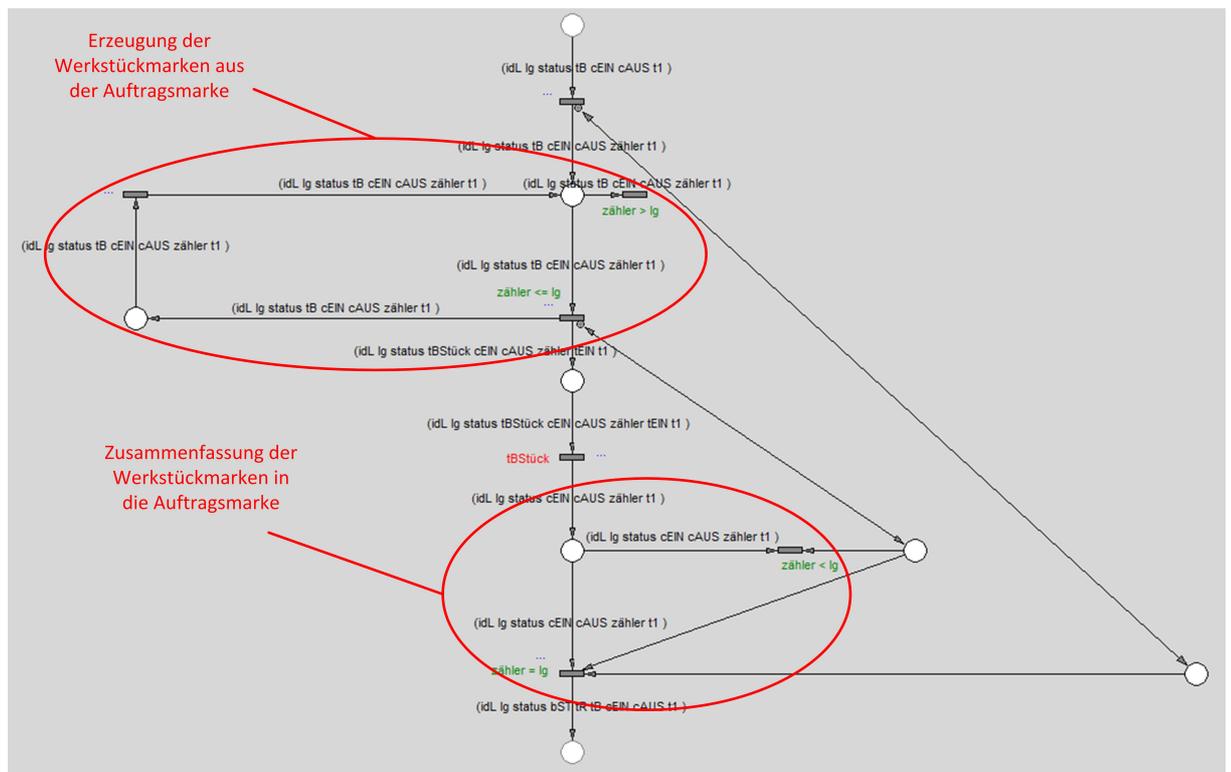


Abbildung 70: Erzeugung der Werkstückmarken sowie Zusammenfassung in die Auftragsmarke im Modul *Werkstück bearbeiten*

Durch die Anwendung dieses Modellierungskonzepts wird die Anzahl der Marken, die während des Markenspiels durch den Petrinetz-Graphen transportiert werden, deutlich verringert, was die Laufzeit des Simulationsmodells erheblich reduziert⁵⁰⁹.

4.4.36 Anforderung 36

Beschreibung

Die Benutzeroberfläche sollte an die Nutzergruppe angepasst sein.

Hauptkategorie

Bedingung

⁵⁰⁹ Die Reduzierung der Laufzeit ist abhängig von der Anzahl der eingegebenen Aufträge sowie der Werkstücke dieser Aufträge und kann daher nicht genau angegeben werden. Es kann jedoch allgemein formuliert werden, dass die Laufzeit eines Simulationsmodells in PACE umso höher ist, je mehr Marken während des Markenspiels durch den Petrinetz-Graphen transportiert werden, da sich die Anzahl der Schaltvorgänge mit der Anzahl der Marken proportional erhöht und die Anzahl der Schaltvorgänge die Laufzeit des Simulationsmodells in PACE maßgeblich beeinflusst.

Umsetzung

Die Anforderung 36 wurde nicht umgesetzt, da die Benutzeroberfläche des Simulationswerkzeugs PACE systemseitig vorgegeben ist.

4.4.37 Anforderung 37**Beschreibung**

Das Einbinden der Software Excel wäre von Vorteil.

Hauptkategorie

Bedingung

Umsetzung

Die Anforderung 37 wurde in der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt, welche Bestandteil des Baukastensystems *KMUSimMetall* ist. Die Tabellenblätter der Excel-Datei sind in den Abbildungen 31 bis 40 auf den Seiten 113 bis 122 abgebildet.

4.4.38 Anforderung 38**Beschreibung**

Die Orientierung am Office-Standard wäre von Vorteil.

Hauptkategorie

Bedingung

Umsetzung

Die Anforderung 38 wurde umgesetzt⁵¹⁰, indem die Ein- und die Ausgabe der Daten des Simulationsmodells über die Excel-Datei *Befüllung* erfolgt⁵¹¹. Die Tabellenblätter der Excel-Datei sind in den Abbildungen 31 bis 40 auf den Seiten 113 bis 122 abgebildet.

4.4.39 Anforderung 39**Beschreibung**

Programmierarbeit durch den Anwender sollte vermieden werden.

510 Die Anforderung 38 steht in starkem Zusammenhang zur Anforderung 37; zur Umsetzung der Anforderung 37 vgl. Kapitel 4.4.37.

511 Excel ist eine Software des Unternehmens Microsoft Office und stellt damit nach Interpretation der Autorin der Dissertation einen Office-Standard dar; vgl. Fn. 313, S. 81.

Hauptkategorie

Bedingung

Umsetzung

Die Anforderung 39 wurde umgesetzt⁵¹², der Anwender muss keine Programmierarbeit vornehmen. Zur Nachweisführung dient die Erstellung des *Simulationsmodells Musterunternehmen* in Kapitel 4.2.

4.5 Untersuchung zur Übertragung der Merkmale**4.5.1 Merkmal I****Beschreibung**

Werker

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Das Merkmal I wurde nicht übertragen, es wurde kein Baustein für die Werker modelliert. Der Grund hierfür ist, dass die Modellierung eines Bausteines für die Werker erhebliche Mehreingaben von Daten durch den Anwender in die Excel-Datei *Befüllung* erfordert hätte. Die Eingabe von vielen Daten läuft jedoch den Anforderungen 19 bis 21 entgegen und birgt somit die Gefahr, dass das Baukastensystem vom Anwender nicht akzeptiert wird. Um einem möglichen Akzeptanzproblem entgegenzuwirken, wurde in der Version 1.0 des Baukastensystems *KMUSimMetall* der Fokus darauf gelegt, dass die Anwendung des Baukastensystems bei möglichst geringer Dateneingabe durch den Anwender erste verwertbare Ergebnisse aufzeigt⁵¹³.

4.5.2 Merkmal II**Beschreibung**

Werkstücke

512 Die Anforderung 39 steht in starkem Zusammenhang zu dem Prinzip wP2; zur Umsetzung des Prinzips wP2 vgl. Kapitel 4.6.2.2.

513 Sobald das Baukastensystem bei den Anwendern Akzeptanz findet, soll das Baukastensystem auf Basis von Anwenderanforderungen weiterentwickelt werden. In einer solchen Weiterentwicklung kann dann z.B. ein Baustein für die Werker modelliert werden.

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Das Merkmal II wurde übertragen, die Werkstücke wurden als Marken modelliert⁵¹⁴.

Die Marken sind als Anfangsmarkierung in dem PACE-Baustein *Basisbaustein* enthalten und werden beim Durchführen eines Simulationslaufs systemseitig aktiviert⁵¹⁵.

Die Abbildung 24, S. 106, zeigt den entpackten *Basisbaustein* mit den Marken.

4.5.3 Merkmal III**Beschreibung**

Bearbeitungsstation

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Das Merkmal III wurde übertragen und im PACE-Baustein *Bearbeitungsstation* umgesetzt; die Abbildung 26, S. 108, zeigt diesen auf der Objektebene.

4.5.4 Merkmal IV**Beschreibung**

Puffer

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Das Merkmal IV wurde nicht übertragen, es wurden keine Puffer als Bausteine modelliert. Stattdessen wurden ein Zwischenlager als zentrale Stelle sowie ein Ausgangslager modelliert⁵¹⁶.

514 Um die Laufzeit des Simulationsmodells zu verbessern, werden in dem PACE-Baustein *Basisbaustein* jedoch zunächst Auftragsmarken erzeugt, aus denen im Simulationslauf erst später die Werkstückmarken erzeugt werden. Für Details zu diesem Modellierungskonzept vgl. die Ausführungen in Kapitel 4.4.35.

515 Durch das Ausführen eines Simulationslaufs wird das Markenspiel ausgeführt, vgl. Kapitel 2.4.2.4.

516 Vgl. Kapitel 4.4.2, insbesondere die Fn. 467, S. 156.

4.5.5 Merkmal V

Beschreibung

Lager

Hauptkategorie

Bausteine

Umsetzung

Das Merkmal V wurde übertragen und im PACE-Baustein *Basisbaustein* umgesetzt. Die Abbildung 27, S. 109, zeigt den PACE-Baustein *Basisbaustein* auf der Objektebene, die Abbildung 28, S. 109, zeigt den entpackten PACE-Baustein *Basisbaustein* auf der Objektebene.

4.5.6 Merkmal VI

Beschreibung

Bewegliche Elemente: Werker, Werkstücke

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Einteilung

Umsetzung

Das Merkmal VI wurde nur teilweise übertragen.

Bezüglich der Werker wurde das Merkmal nicht übertragen, da keine Werker modelliert wurden⁵¹⁷.

Bezüglich der Werkstücke wurde das Merkmal übertragen, die Werkstücke wurden als Marken⁵¹⁸ modelliert⁵¹⁹.

517 Zur Begründung vgl. Kapitel 4.5.1.

518 Marken sind dynamische Netzelemente und somit im Rahmen des Markenspiels beweglich, vgl. Kapitel 2.4.2.4.

519 Vgl. Kapitel 4.5.2.

4.5.7 Merkmal VII

Beschreibung

Ortsfeste Elemente: Bearbeitungsstation, Puffer, Lager

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Einteilung

Umsetzung

Das Merkmal VII wurde nur teilweise übertragen.

Bezüglich der Bearbeitungsstation und des Lagers wurde das Merkmal VII übertragen, diese Elemente wurden als ortsfeste Elemente modelliert⁵²⁰.

Bezüglich der Puffer wurde das Merkmal VII nicht übertragen, da keine Puffer modelliert wurden⁵²¹.

4.5.8 Merkmal VIII

Beschreibung

Organisatorische Elemente: Steuerungen, Pausen, Störungen, Personaleinsatz, Arbeitspläne, Stücklisten, Schichtmodelle

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Einteilung

Umsetzung

Das Merkmal VIII wurde nicht übertragen, es wurden keine organisatorischen Elemente modelliert. Der Grund hierfür ist, dass diese organisatorischen Elemente erhebliche Mehreingaben von Daten durch den Anwender nötig gemacht hätten⁵²².

520 Diese wurden als statische Netzelemente modelliert, was als ortsfest interpretiert werden kann.

521 Vgl. Kapitel 4.5.4.

522 Zur Begründung vgl. Kapitel 4.5.1.

4.5.9 Merkmal IX

Beschreibung

Rubriken der Bausteine: Fertigen, Lagern, Prüfen, Montieren

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Einteilung

Umsetzung

Das Merkmal IX wurde teilweise übertragen und erweitert.

Die Rubrik Lagern wurde nicht übertragen, da Läger nicht als Bausteine modelliert wurden⁵²³.

Die Rubriken Fertigen und Prüfen wurden direkt übertragen, die Rubrik Montieren wurde als Rubrik Montage übertragen. Zusätzlich wurden die Rubriken Entgraten und Externe Bearbeitung für die Bausteine festgelegt. Die Abbildung 41, S. 123, zeigt die Rubriken der Bausteine⁵²⁴.

4.5.10 Merkmal X

Beschreibung

Bausteine gleicher Rubriken mit gleichen Symbolen kennzeichnen

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Kennzeichnung

Umsetzung

Das Merkmal X wurde übertragen und in den individuellen Icons der Bausteine Fertigen, Entgraten, Montage, Prüfen und Externe Bearbeitung umgesetzt⁵²⁵. Die Abbildung 41, S. 123, zeigt die individuellen Icons der Rubriken der Bausteine.

523 Zur Begründung vgl. Kapitel 4.4.2, insbesondere die Fn. 467, S. 156.

524 In der Strukturierung des Baukastensystems (vgl. Abbildung 43, S. 128) wurden die Rubriken nicht umgesetzt, da dies die Übersichtlichkeit der Dateistruktur reduziert hätte.

525 Die Symbole lehnen sich an die von FRIEDLAND et al. (2000), S. 144, verwendeten Symbole an.

4.5.11 Merkmal XI

Beschreibung

Bearbeitungsstation: wartet, gestört, arbeitet, rüstet

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Zustände

Umsetzung

Das Merkmal XI wurde nicht übertragen, da zur Darstellung der Zustände der Bearbeitungsstationen graphische Ausgabefenster benötigt würden. Auf die Implementierung graphischer Ein- und Ausgabefenster in PACE wurde jedoch verzichtet⁵²⁶.

4.5.12 Merkmal XII

Beschreibung

Werkstücke: Periodisch verteilter Kundenbedarf

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Parameter

Umsetzung

Das Merkmal XII wurde nicht übertragen. Der Grund hierfür ist, dass das Einbinden von periodisch verteiltem Kundenbedarf erhebliche Mehreingaben von Daten durch den Anwender nötig gemacht hätten⁵²⁷.

4.5.13 Merkmal XIII

Beschreibung

Bearbeitungsstation: Werkstückweitergabe, Werkstückzuordnung, Rüstzeiten, Prioritätsregeln

⁵²⁶ Zur Begründung vgl. Fn. 471, S. 157.

⁵²⁷ Zur Begründung vgl. Kapitel 4.5.1.

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Parameter

Umsetzung

Das Merkmal XIII wurde nur teilweise übertragen.

Bezüglich der Regeln zur Weitergabe und zur Priorisierung von Werkstücken wurde das Merkmal XIII aus systemtechnischen Gründen⁵²⁸ nicht übertragen⁵²⁹.

Bezüglich der Regeln zur Werkstückzuordnung wurde das Merkmal XIII in dem Sinne übertragen, dass die Werkstücke der passenden Kategorie von Bearbeitungsstationen zugeordnet werden. Eine Zuordnung auf eine bestimmte Bearbeitungsstation innerhalb einer Kategorie von Bearbeitungsstationen wurde jedoch nicht umgesetzt.

Bezüglich der Rüstzeiten wurde das Merkmal XIII übertragen und im Tabellenblatt *Aufträge* in der Spalte *Rüstzeit/Los (Min.)* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt; dort können für jede Bearbeitungsstation in jedem Auftrag die Rüstzeiten eingetragen werden. Die Abbildung 34, S. 116, zeigt das Tabellenblatt *Aufträge* mit der Spalte *Rüstzeit/Los (Min.)*.

4.5.14 Merkmal XIV**Beschreibung**

Werker: Qualifikation

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Parameter

Umsetzung

Das Merkmal XIV wurde nicht übertragen, da keine Werker modelliert wurden⁵³⁰.

528 Die Modellierung dieser Regel in PACE ist nicht trivial und wurde von der Autorin der Dissertation zur Umsetzung in einer späteren Version zurückgestellt; vgl. auch Fn. 513, S. 176.

529 Das Simulationswerkzeug PACE wendet systemtechnisch die FIFO-Regel in den Stellen an. Die FIFO-Regel führt in der Regel dazu, dass die Durchlaufzeit der Aufträge abnimmt; vgl. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011), S. 419.

530 Zur Begründung vgl. Kapitel 4.5.1.

4.5.15 Merkmal XV

Beschreibung

Lager: Maximale Kapazität

Hauptkategorie

Bausteine

Unterkategorie

Parameter

Umsetzung

Das Merkmal XV wurde aus systemtechnischen Gründen nicht übertragen⁵³¹.

4.5.16 Merkmal XVI

Beschreibung

Kritische Ressourcen

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Das Merkmal XVI wurde nicht übertragen. Der Grund hierfür ist, dass die Implementierung von Ressourcen erhebliche Mehreingaben von Daten durch den Anwender nötig gemacht hätten⁵³².

4.5.17 Merkmal XVII

Beschreibung

Auslastung Bearbeitungsstationen

531 In dem PACE-Baustein *Basisbaustein* wurden als Lager die beiden Stellen Zwischenlager und Ausgangslager modelliert; vgl. Kapitel 4.4.2 sowie insbesondere die Fn. 467, S. 156.

Die Stelle Zwischenlager speichert alle Aufträge zwischen den jeweiligen Bearbeitungsschritten und erfüllt daher weniger die Funktion eines physikalischen Lagers, sondern übernimmt vielmehr eine organisatorische Funktion im Petrinetz-Graphen.

Im Falle des Ausgangslager erfolgt kein Abfluss der Marken durch Abholung der Waren durch den Kunden.

Für die beiden Stellen Zwischenlager und Ausgangslager sieht die Autorin der Dissertation daher eine Beschränkung der Kapazität als nicht sinnvoll an.

532 Zur Begründung vgl. Kapitel 4.5.1.

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Das Merkmal XVII wurde übertragen und im Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* in der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt. Die Abbildung 36, S. 118, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen*. Dort kann die Auslastung der Bearbeitungsstationen bezüglich der Rüst-, Bearbeitungs- und Wartezeiten direkt abgelesen werden.

4.5.18 Merkmal XVIII**Beschreibung**

Pufferfüllstände

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Das Merkmal XVIII wurde nicht übertragen, da für das Baukastensystem keine Puffer modelliert wurden⁵³³.

4.5.19 Merkmal XIX**Beschreibung**

Durchlaufzeiten

Hauptkategorie

Ausrichtung

Umsetzung

Das Merkmal XIX wurde übertragen und im Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* in der Spalte *Durchlaufzeit (Min.)* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt. Die Abbildung 35, S. 117, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge*. Dort kann die Durchlaufzeit der Aufträge direkt abgelesen werden.

⁵³³ Vgl. Kapitel 4.5.4.

4.5.20 Merkmal XX

Beschreibung

Auslastung Werker: Bearbeitungszeit, Wartezeit, Rüstzeit

Hauptkategorie

Auswertung

Umsetzung

Das Merkmal XX wurde nicht übertragen, da keine Werker modelliert wurden⁵³⁴.

4.5.21 Merkmal XXI

Beschreibung

Auslastung Bearbeitungsstationen: Bearbeitungszeit, Wartezeit, Rüstzeit

Hauptkategorie

Auswertung

Umsetzung

Das Merkmal XXI wurde übertragen und im Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen* in der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt. Die Abbildung 36, S. 118, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Stationen*. Dort kann die Auslastung der Bearbeitungsstationen bezüglich der Bearbeitungszeit, der Wartezeit und der Rüstzeit direkt abgelesen werden.

4.5.22 Merkmal XXII

Beschreibung

Lager und Puffer: Belegungsdiagramm

Hauptkategorie

Auswertung

⁵³⁴ Zur Begründung vgl. Kapitel 4.5.1, insbesondere Fn. 471, S. 157.

Umsetzung

Das Merkmal XXII wurde nicht übertragen. Bezüglich der Puffer wurde das Merkmal nicht übertragen, da keine Puffer modelliert wurden⁵³⁵. Bezüglich der Läger wurde das Merkmal nicht übertragen, da keine Diagramme implementiert wurden⁵³⁶.

4.5.23 Merkmal XXIII**Beschreibung**

Werkstücke: Durchlaufzeit

Hauptkategorie

Auswertung

Umsetzung

Das Merkmal XXIII wurde nicht übertragen, da die Werkstücke stets als komplettes Los auf einer Bearbeitungsstation bearbeitet werden⁵³⁷ und eine Auswertung auf Werkstückeebene im Vergleich zur Auswertung auf Auftragsebene⁵³⁸ daher keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn erwarten lässt.

4.5.24 Merkmal XXIV**Beschreibung**

Liefertreue

Hauptkategorie

Auswertung

Umsetzung

Das Merkmal XXIV wurde übertragen und in dem Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge* in den Spalten *Fertigstellung SOLL* und *Fertigstellung IST* der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt. Um die Liefertreue auswerten zu können, werden diese beiden Spalten miteinander verglichen. Die Abbildung 35, S. 117, zeigt das Tabellenblatt *Ergebnisse_Aufträge*.

535 Vgl. Kapitel 4.5.4.

536 Zur Begründung vgl. Kapitel 4.4.5.

537 Die Unterbrechung laufender Lose auf einer Bearbeitungsstation wäre in einer späteren Version besonders im Hinblick auf die Regeln zur Weitergabe und Priorisierung von Werkstücken interessant, vgl. Kapitel 4.5.13. Vgl. hierzu auch Fn. 528, S. 182, sowie Fn. 513, S. 176.

538 Vgl. Kapitel 4.5.19.

4.6 Untersuchung zur Umsetzung der Prinzipien

4.6.1 Untersuchung zur Umsetzung der Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung

4.6.1.1 GoM1

Grundsatz

Syntaktische Richtigkeit

Konkrete Maßnahme

Es werden die Regeln der Modellierungssprache Petrinetze eingehalten.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM1 wurde umgesetzt.

Die Regeln der Modellierungssprache Petrinetze wurden in der Dissertation eingehend in Kapitel 2.4.2.2 beschrieben. Die Abbildung 4, S. 27, zeigt die im Kapitel 2.4.2.2 beschriebenen Bestandteile der Modellierungssprache Petrinetze.

Die Regeln zur mathematischen Notation sowie zur mathematischen Syntax wurden eingehalten, da diese im Simulationswerkzeug PACE systemseitig implementiert sind und angewendet werden.

Die Regeln zur graphischen Notation wurden eingehalten, da das Simulationswerkzeug PACE systemtechnisch nur die gültigen Netzelemente zur Modellierung zur Verfügung stellt.

Die Regeln zur statischen graphischen Syntax wurden eingehalten, da das Simulationswerkzeug PACE systemtechnisch die Verknüpfung von Netzelementen nur zulässt, wenn die Verknüpfung den Regeln entspricht.

Die Regeln zur dynamischen graphischen Syntax wurden eingehalten, da die Schaltregeln im Simulationswerkzeug PACE systemtechnisch implementiert sind und angewendet werden.

4.6.1.2 GoM2

Grundsatz

Semantische Richtigkeit

Konkrete Maßnahme

Es werden Namenskonventionen in der Ausprägung *Allgemein* eingehalten.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM2 wurde umgesetzt. Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Musterunternehmen*⁵³⁹.

Die folgenden Abbildungen 71 bis 73 zeigen die Objektebenen des *Simulationsmodells Musterunternehmen*⁵⁴⁰.

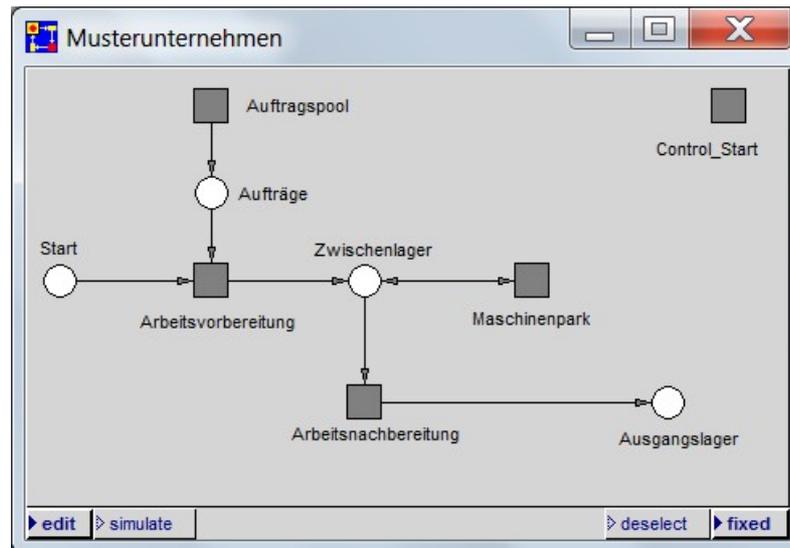


Abbildung 71: 1. Objektebene des Simulationsmodells Musterunternehmen

⁵³⁹ Vgl. Kapitel 4.2 sowie das Dokument RUDEL (2016c) im Anhang.

⁵⁴⁰ Die 3. Objektebene ist nur einmal in Abbildung 73 stellvertretend für alle Kategorien von Bearbeitungsstationen abgebildet.

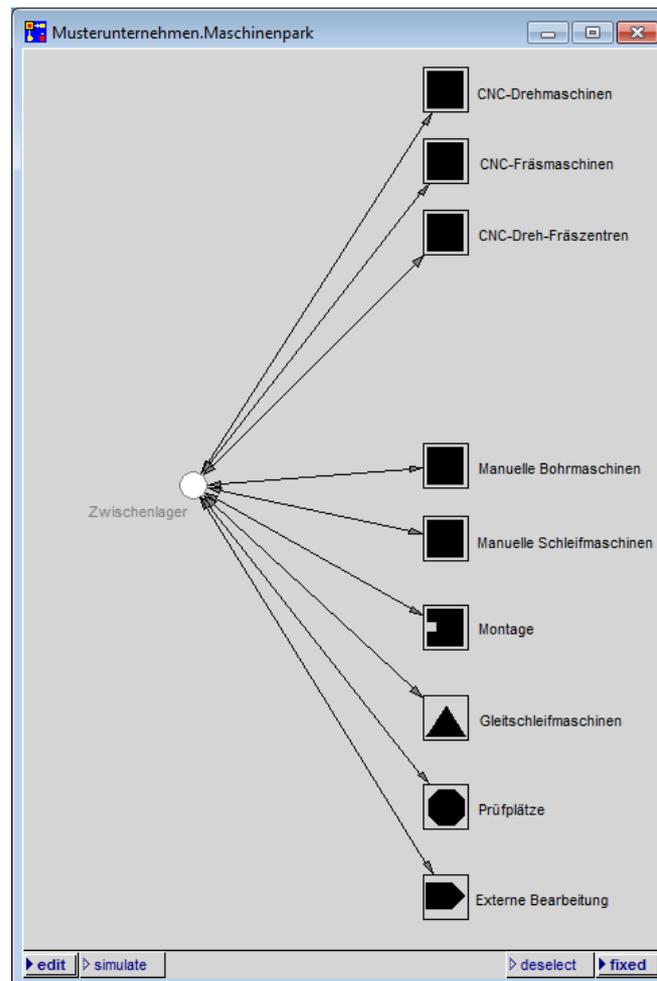


Abbildung 72: 2. Objektebene des Simulationsmodells Musterunternehmen

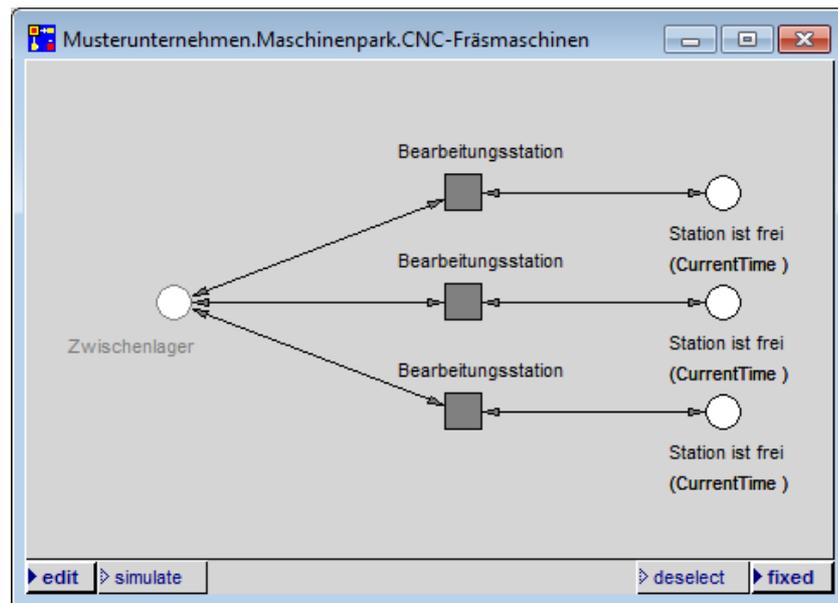


Abbildung 73: 3. Objektebene des Simulationsmodells Musterunternehmen

Die auf den Objektebenen enthaltenen Benennungen der Netzelemente⁵⁴¹ sind in der folgenden Tabelle 34 zusammengefasst.

1. Objektebene	2. Objektebene	3. Objektebene
Start	CNC-Drehmaschinen	Bearbeitungsstation
Auftragspool	CNC-Fräsmaschinen	Station ist frei
Aufträge	CNC-Dreh-Fräszentren	Zwischenlager (referenziert)
Arbeitsvorbereitung	Manuelle Bohrmaschinen	
Zwischenlager	Manuelle Schleifmaschinen	
Maschinenpark	Montage	
Arbeitsnachbereitung	Gleitschleifmaschinen	
Ausgangslager	Prüfplätze	
Control_Start	Externe Bearbeitung	
	Zwischenlager (referenziert)	

Tabelle 34: Auf den Objektebenen des Simulationsmodells Musterunternehmen enthaltene Benennungen der Netzelemente

⁵⁴¹ Vgl. die Abbildungen 71 bis 73, S. 188 bis 190. Die Benennung (CurrentTime) in der Abbildung 73, S. 190, ist eine von PACE angezeigte Bezeichnung, die systemtechnisch nicht ausgeblendet werden kann.

Die Untersuchung der auf S. 95 festgelegten Namenskonventionen der Ausprägung *Allgemein* wird in der folgenden Tabelle 35 aufgelistet.

Benennung	Synonym?	Homonym?	grammatikalischer Aufbau
Start	nein	nein	Substantiv
Auftragspool	nein	nein	Substantiv
Aufträge	nein	nein	Substantiv
Arbeitsvorbereitung	nein	nein	Substantiv
Zwischenlager	nein	nein	Substantiv
Maschinenpark	Ja, auf der 3. Objektebene wird statt der Bezeichnung Maschine die Bezeichnung Bearbeitungsstation verwendet. Begründung: Der Begriff Maschinenpark ist ein feststehender Begriff in der Fachsprache der Zielgruppe, vgl. auch GoM11.	nein	Substantiv
Arbeitsnachbereitung	nein	nein	Substantiv
Ausgangslager	nein	nein	Substantiv
Control_Start	nein	nein	systemtechnisches Konstrukt Begründung: Durch den abweichenden grammatikalischen Aufbau soll gezeigt werden, dass dieses Modul für den Anwender des Baukastensystems nicht relevant ist und keinem Objekt der Realität entspricht.
CNC-Drehmaschinen	Ja, auf der 3. Objektebene wird statt der Bezeichnung Maschine die Bezeichnung Bearbeitungsstation verwendet. Begründung: Die Begriffe Drehmaschine und Fräsmaschine sind feststehende Begriffe in der Fachsprache der Zielgruppe, vgl. auch GoM11.	nein	Substantiv
CNC-Fräsmaschinen		nein	Substantiv
CNC-Dreh-Fräszentren	Ja, auf der 3. Objektebene wird statt der Bezeichnung Zentrum die Bezeichnung Bearbeitungsstation verwendet. Begründung: Der Begriff CNC-Dreh-/Fräszentrum ist ein feststehender Begriff in der Fachsprache der Zielgruppe, vgl. auch GoM11.	nein	Substantiv
Manuelle Bohrmaschinen	Ja, auf der 3. Objektebene wird statt der Bezeichnung Maschine	nein	Adjektiv plus Substantiv

Benennung	Synonym?	Homonym?	grammatikalischer Aufbau
Manuelle Schleifmaschinen	die Bezeichnung Bearbeitungsstation verwendet. Begründung: Die Begriffe Bohrmaschine und Schleifmaschine sind feststehende Begriffe in der Fachsprache der Zielgruppe, vgl. auch GoM11.	nein	Adjektiv plus Substantiv
Montage	nein	nein	Substantiv
Gleitschleifmaschinen	Ja, auf der 3. Objektebene wird statt der Bezeichnung Maschine die Bezeichnung Bearbeitungsstation verwendet. Begründung : Der Begriff Gleitschleifmaschine ist ein feststehender Begriff in der Fachsprache der Zielgruppe, vgl. auch GoM11.	nein	Substantiv
Prüfplätze	nein	nein	Substantiv
Externe Bearbeitung	nein	nein	Adjektiv plus Substantiv
Bearbeitungsstation	Ja, auf der 2. Objektebene wird teilweise die Bezeichnung Maschine verwendet. Begründung : Der Begriff Bearbeitungsstation kann universell für alle Maschinentypen als auch für Prüfplätze, Montage und die externe Bearbeitung verwendet werden.	nein	Substantiv
Station ist frei	Ja, auf der 2. Objektebene wird teilweise die Bezeichnung Maschine verwendet Auf der 3. Objektebene wird die Bezeichnung Bearbeitungsstation verwendet. Begründung: Station ist die Kurzform von Bearbeitungsstation, von einer Verwechslung ist nicht auszugehen.	nein	Substantiv plus Adjektiv

Tabelle 35: Untersuchung der Umsetzung der Maßnahme GoM2

4.6.1.3 GoM3

Grundsatz

Relevanz

Konkrete Maßnahme

Es werden nur diejenigen Aspekte der Realität modelliert, die für die Ausrichtungen des Baukastensystems relevant sind.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM3 wurde umgesetzt⁵⁴². So wurden beispielsweise keine Büroräume, kein Pausenraum, keine Materialbeschaffung und keine Rechnungslegung modelliert, da diese Aspekte für die Ausrichtungen des Baukastensystems nicht relevant sind. Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Musterunternehmen*⁵⁴³. Die Abbildungen 71 bis 73, S. 188 bis 190, zeigen die Objektebenen des *Simulationsmodells Musterunternehmen*, aus denen die modellierten Aspekte der Realität direkt ersichtlich sind.

4.6.1.4 GoM4

Grundsatz

Relevanz

Konkrete Maßnahme

Es werden nur Aspekte dargestellt, die so auch in der Realität existieren.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM4 wurde auf den Objektebenen, mit drei Ausnahmen⁵⁴⁴, umgesetzt. Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Musterunternehmen*⁵⁴⁵. Die Abbildungen 71 bis 73, S. 188 bis 190, zeigen die Objektebenen des *Simulationsmodells Musterunternehmen*, aus denen die modellierten Aspekte der Realität direkt ersichtlich sind.

4.6.1.5 GoM5

Grundsatz

Wirtschaftlichkeit

542 Zu den Ausrichtungen des Baukastensystems vgl. die Ausführungen zur Maßnahme GoM3, S. 96.

543 Vgl. Kapitel 4.2 sowie das Dokument RUDEL (2016c) im Anhang.

544 Die Netzelemente *Start*, *Control_Start* und *Station ist frei* existieren so nicht in der Realität.

Die Stellen *Start* und *Station ist frei* wurden modelliert, um das Verständnis des Anwenders für den dynamischen Petri-netz-Graphen zu erhöhen. Das Modul *Control_Start* wurde aus systemtechnischen Gründen modelliert.

545 Vgl. Kapitel 4.2 sowie das Dokument RUDEL (2016c) im Anhang.

Konkrete Maßnahme

Es wird ein Simulationswerkzeug zur Erstellung der Bausteine verwendet.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM5 wurde umgesetzt, indem das Simulationswerkzeug PACE für die Modellierung der Bausteine verwendet wurde. Die Abbildungen 27 bis 30, S. 109 bis 111, zeigen die Bausteine im Simulationswerkzeug PACE.

4.6.1.6 GoM6**Grundsatz**

Wirtschaftlichkeit

Konkrete Maßnahme

Es werden Merkmale bereits existierender Bausteine übernommen.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM6 wurde umgesetzt.

Die bereits existierenden Bausteine wurden in Kapitel 3.4 analysiert und die zu übertragenden Merkmale wurden in einem Katalog in Tabelle 21, S. 91, zusammengefasst. Die Untersuchung zur Übertragung der Merkmale wurde im Kapitel 4.5 geführt.

4.6.1.7 GoM7**Grundsatz**

Wirtschaftlichkeit

Konkrete Maßnahme

Merkmale neu erstellter PACE-Bausteine werden, soweit möglich, mehrfach verwendet.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM7 wurde umgesetzt, indem einige Programmiersprachen-Elemente in den *Action Codes* der Transitionen der neu erstellten PACE-Bausteine mehrfach verwendet wurden.

Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Dissertation*⁵⁴⁶. Die Programmiersprachenelemente des *Simulationsmodells Dissertation* werden in der folgenden Tabelle 36 zusammengefasst⁵⁴⁷.

Nr.	Kommentierung	PACE-Baustein	Seite
1	"#warten Bearbeitungsstation aktualisieren"	<i>Bearbeitungsstation</i>	11
	"#rüsten Bearbeitungsstation aktualisieren"	<i>Bearbeitungsstation</i>	16
	"#bearbeiten Bearbeitungsstation aktualisieren"	<i>Bearbeitungsstation</i>	21
2	"Warten Los in cAUS schieben"	<i>Bearbeitungsstation</i>	11
	"Rüstzeit in cAUS schieben"	<i>Bearbeitungsstation</i>	16
	"Bearbeitungszeit in cAUS schieben"	<i>Bearbeitungsstation</i>	21
	"Durchlaufzeit in cAUS schieben"	<i>Basisbaustein</i>	45
3	"Rüstzeit und Schwankung auslesen und ausrechnen"	<i>Bearbeitungsstation</i>	16
	"Bearbeitungszeit und Schwankung auslesen und ausrechnen"	<i>Bearbeitungsstation</i>	20
4	"Status Los umsetzen"	<i>Bearbeitungsstation</i>	11
	"Status Los umsetzen"	<i>Bearbeitungsstation</i>	12
	"Status Los umsetzen"	<i>Bearbeitungsstation</i>	20
	"Status Los umsetzen"	<i>Basisbaustein</i>	41
	"Status Los umsetzen"	<i>Basisbaustein</i>	45
5	"Nächste Bearbeitungsstation aus cEIN rauslegen, sonst #ende eintragen"	<i>Bearbeitungsstation</i>	19
	"Nächste Bearbeitungsstation aus cEIN rauslegen, sonst #ende eintragen"	<i>Basisbaustein</i>	40

Tabelle 36: Untersuchung der Umsetzung der Maßnahme GoM7

4.6.1.8 GoM8

Grundsatz

Klarheit

Konkrete Maßnahme

Es wird die Modellierungssprache Petrinetze verwendet.

⁵⁴⁶ Vgl. das Dokument RUDEL (2016b) im Anhang.

⁵⁴⁷ Die kompletten Wortlaute der Codefragmente werden in der Tabelle nicht aufgeführt, sind jedoch im Dokument RUDEL (2016b) im Anhang der Dissertation auf der jeweiligen angegebenen Seite nachzulesen.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM8 wurde umgesetzt, indem das Simulationswerkzeug PACE verwendet wurde, welches mit der Modellierungssprache Petrinetze arbeitet. Die Abbildungen 27 bis 30, S. 109 bis 111, zeigen die Bausteine im Simulationswerkzeug PACE, welche mit der Modellierungssprache Petrinetze erstellt wurden.

4.6.1.9 GoM9**Grundsatz**

Klarheit

Konkrete Maßnahme

Die PACE-Bausteine werden funktionsorientiert in Gruppen eingeteilt und die Bausteine gleicher Gruppen werden mit gleichen Symbolen gekennzeichnet.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM9 wurde umgesetzt, indem die PACE-Bausteine in die Gruppen Fertigen, Entgraten, Montage, Prüfen und Externe Bearbeitung eingeteilt und die Bausteine gleicher Gruppen mit gleichen, individuell erstellten Icons gekennzeichnet wurden⁵⁴⁸. Die Abbildung 41, S. 123, zeigt die individuellen Icons der Kategorien der Bausteine.

4.6.1.10 GoM10**Grundsatz**

Klarheit

Konkrete Maßnahme

Die PACE-Bausteine werden, soweit möglich, nach einem einheitlichen Konstruktionsprinzip modelliert.

⁵⁴⁸ Vgl. Kapitel 4.5.9 sowie Kapitel 4.5.10.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM10 wurde in den beiden PACE-Bausteinen *Bearbeitungsstation* und *Kategorie Bearbeitungsstation* umgesetzt, indem diese jeweils universell und damit nach einem einheitlichen Konstruktionsprinzip aufgebaut wurden⁵⁴⁹. Die Abbildung 25, S. 107, und die Abbildung 26, S. 108, zeigen die beiden PACE-Bausteine *Bearbeitungsstation* und *Kategorie Bearbeitungsstation*.

4.6.1.11 GoM11

Grundsatz

Klarheit

Konkrete Maßnahme

Es werden Namenskonventionen in der Ausprägung *Zielgruppenorientierte Fachsprache* eingehalten.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM11 wurde auf den Objektebenen umgesetzt.

Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Musterunternehmen*⁵⁵⁰. Die Abbildungen 71 bis 73, S. 188 bis 190, zeigen die Objektebenen des *Simulationsmodells Musterunternehmen*. Die Tabelle 34, S. 190, listet alle verwendeten Benennungen der Objektebenen auf. Davon sind die Begriffe Arbeitsvorbereitung, Zwischenlager, Maschinenpark, Arbeitsnachbereitung, Ausgangslager, CNC-Drehmaschinen, CNC-Fräsmaschinen, CNC-Dreh-Fräszentren, Manuelle Bohrmaschinen, Manuelle Schleifmaschinen, Montage, Gleitschleifmaschinen und Prüfplätze der *zielgruppenorientierten Fachsprache* zuzuordnen.

4.6.1.12 GoM12

Grundsatz

Klarheit

Konkrete Maßnahme

Die Netzelemente werden auf der Ablaufebene vertikal von oben nach unten angeordnet.

⁵⁴⁹ Der PACE-Baustein *Bearbeitungsstation* wurde so aufgebaut, dass er universell für alle Bearbeitungsstationen verwendbar ist; vgl. Kapitel 3.5.5.4. Der PACE-Baustein *Kategorie Bearbeitungsstation* wurde so aufgebaut, dass er universell für alle Kategorien von Bearbeitungsstationen verwendbar ist; vgl. Kapitel 3.5.5.3.

⁵⁵⁰ Vgl. Kapitel 4.2 sowie das Dokument RUDEL (2016c) im Anhang.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM12 wurde prinzipiell umgesetzt. Zur Verbesserung der Lesbarkeit der Petri-Netz-Graphen auf der Ablaufebene wurde die Maßnahme GoM12 jedoch nicht strikt umgesetzt, sondern es wurden einige Netzelemente horizontal angeordnet⁵⁵¹.

Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Dissertation*⁵⁵².

Die folgenden Abbildungen 74 bis 81 zeigen die Ablaufebenen des *Simulationsmodells Dissertation*, aus denen die Anordnung der Netzelemente auf den Ablaufebenen direkt ersichtlich ist.

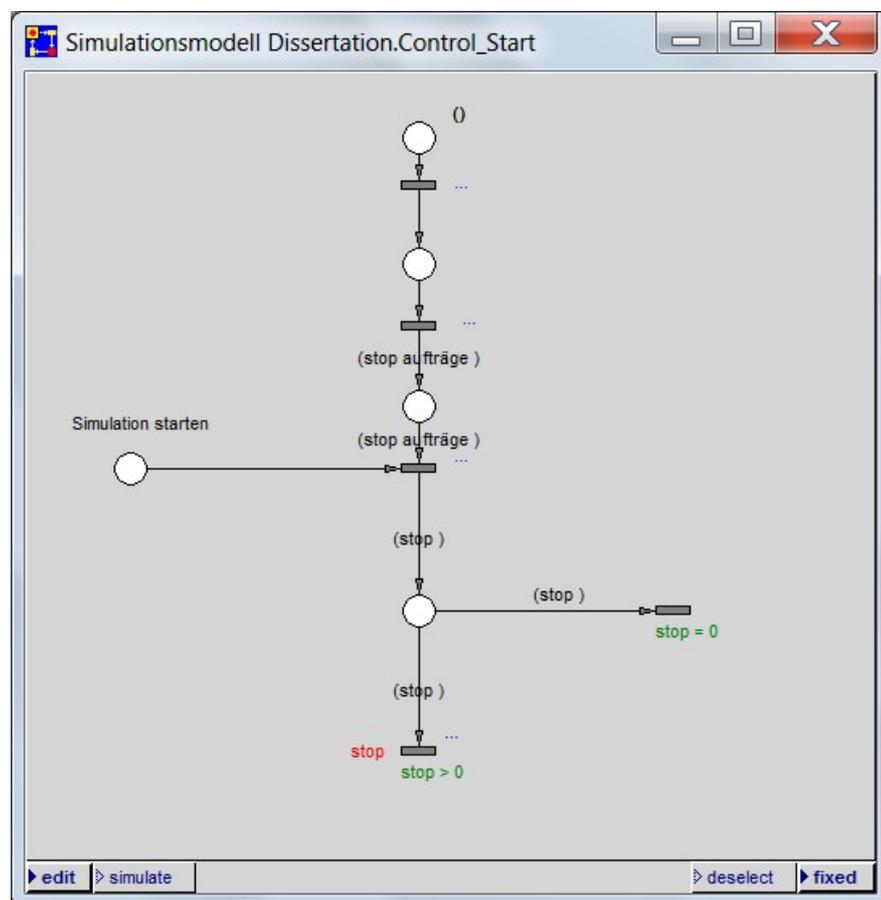


Abbildung 74: Ablaufebene des Moduls Control_Start des Simulationsmodells Dissertation

⁵⁵¹ Dies gilt insbesondere fur referenzierte Stellen (in den Abbildungen mit grauer Umrandung und grauer Schrift dargestellt, vgl. auch Kapitel 3.5.5.1), fur Schleifen sowie fur Zu- und Abflusse.

⁵⁵² Vgl. Kapitel 3.5.5 sowie das Dokument RUDEL (2016b) im Anhang.

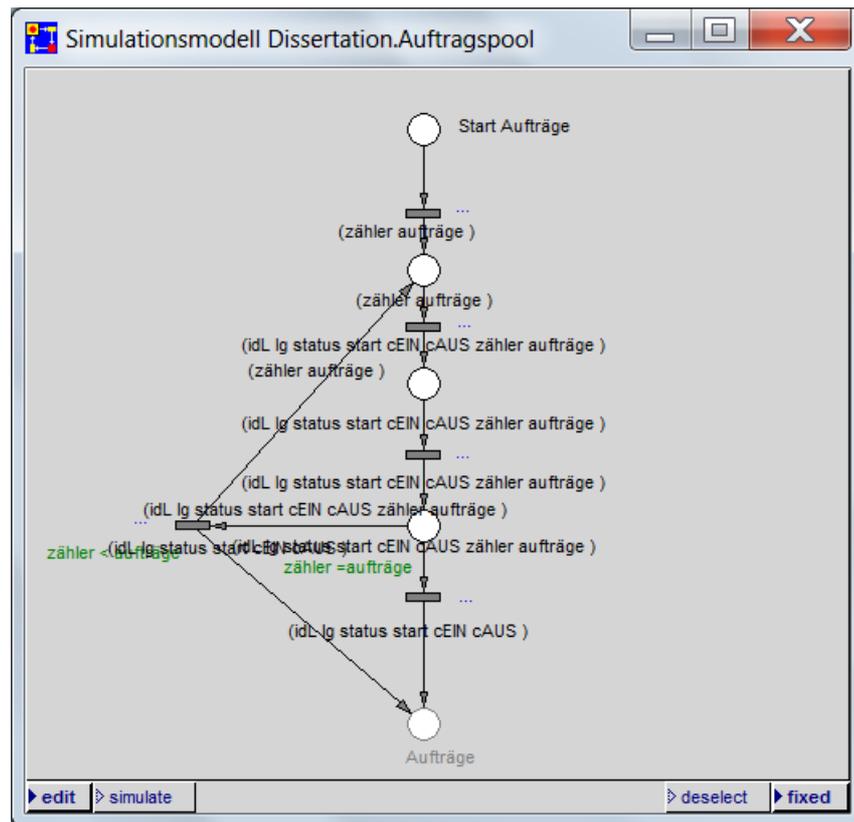


Abbildung 75: Ablaufebene des Moduls Auftragspool des Simulationsmodells Dissertation

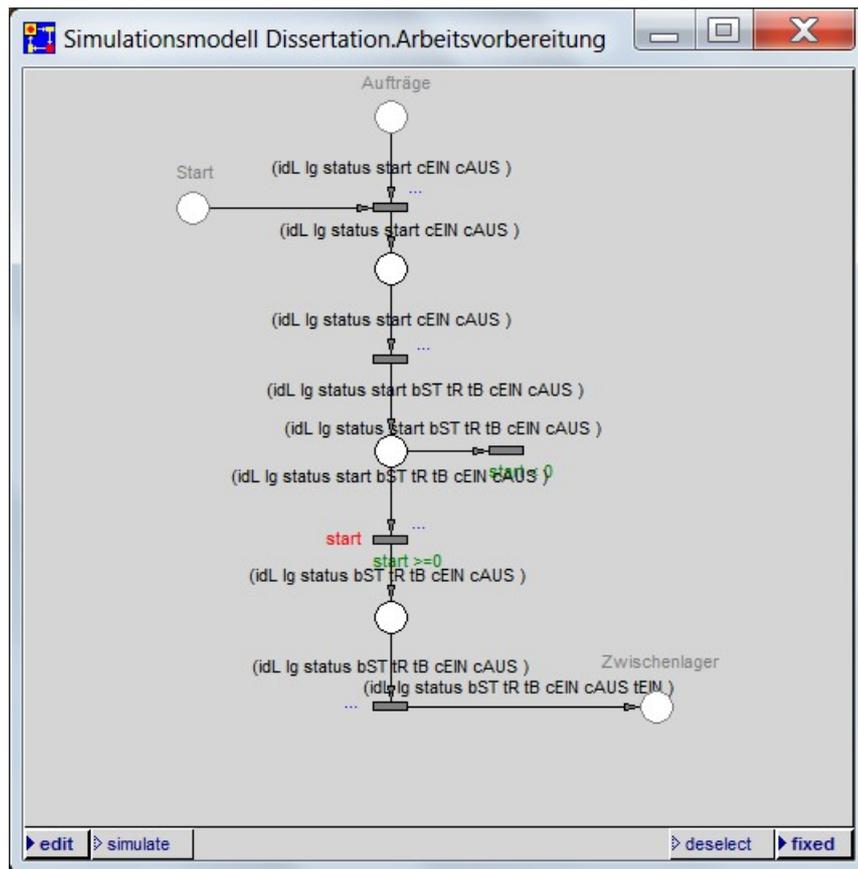


Abbildung 76: Ablaufebene des Moduls Arbeitsvorbereitung des Simulationsmodells Dissertation

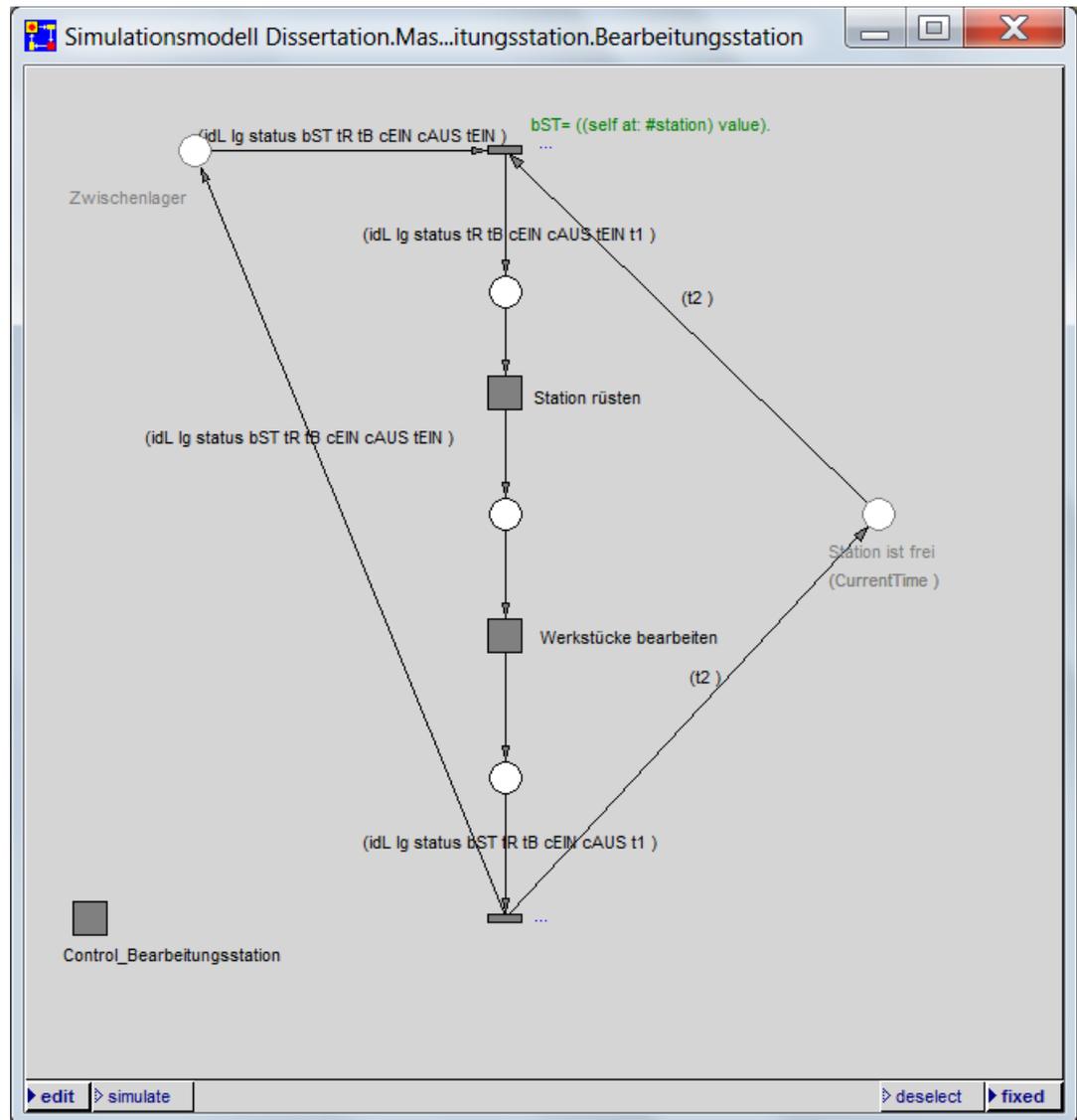


Abbildung 77: Ablaufebene des Moduls Bearbeitungsstation des Simulationsmodells Dissertation

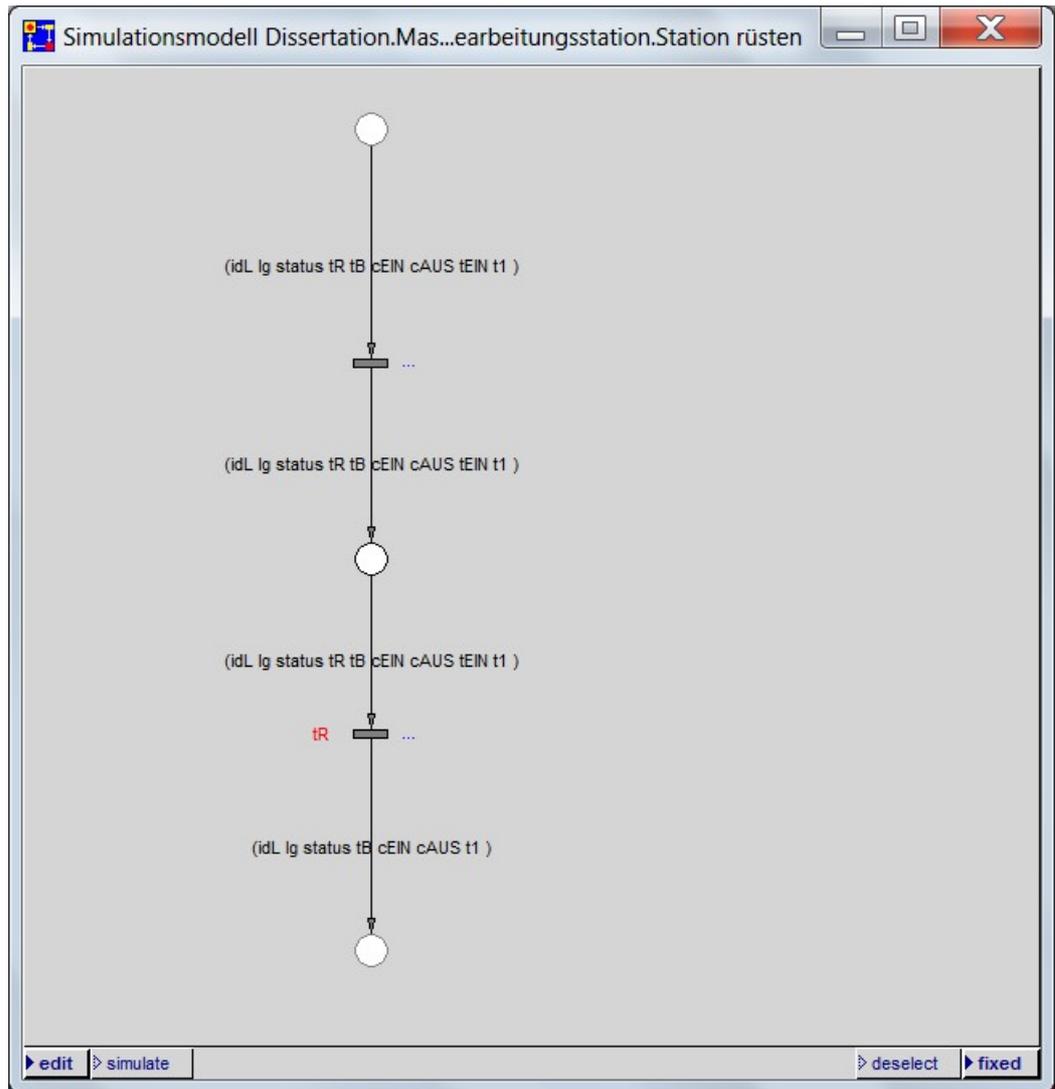


Abbildung 78: Ablaufebene des Moduls Station rüsten des Simulationsmodells Dissertation

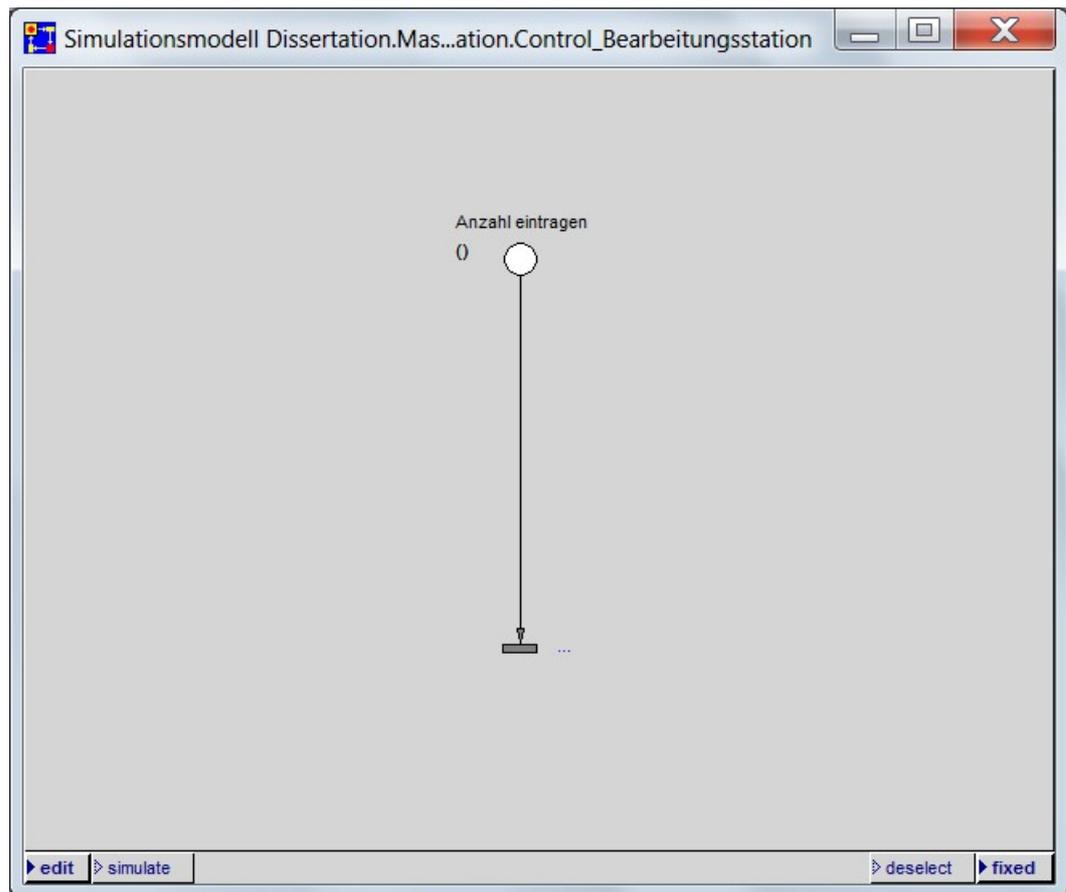


Abbildung 80: Ablaufebene des Moduls *Control_Bearbeitungsstation* des Simulationsmodells *Dissertation*

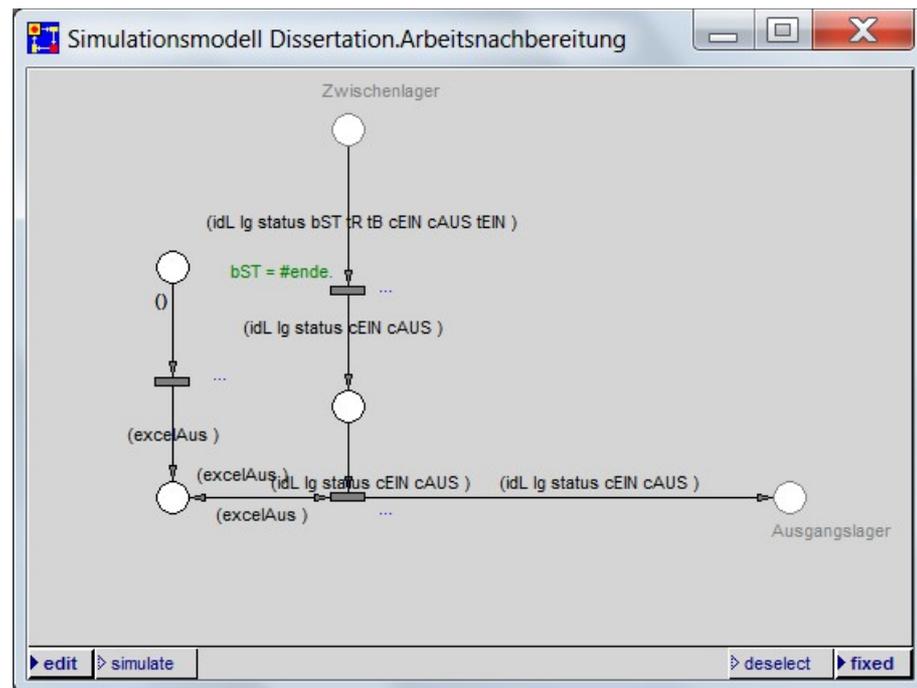


Abbildung 81: Ablaufebene des Moduls Arbeitsnachbereitung des Simulationsmodells Dissertation

4.6.1.13 GoM13

Grundsatz

Klarheit

Konkrete Maßnahme

Die Netzelemente werden möglichst überlappungs- und kreuzungsfrei angeordnet, auf Objektebene sind keine Kantenbeschriftungen zu sehen.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM13 wurde umgesetzt⁵⁵³.

Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Dissertation*⁵⁵⁴.

Die Abbildungen 71 bis 73, S. 188 bis 190, zeigen die Objektebenen, die Abbildungen 74 bis 81, S. 198 bis 205, zeigen die Ablaufebenen des *Simulationsmodells Dissertation*. Aus den Abbildungen ist die Umsetzung der Maßnahme GoM13 direkt ersichtlic.

⁵⁵³ Durch die Attribute, welche PACE systemtechnisch bedingt automatisch an die Kanten schreibt, ist ein Überlappen der Beschriftungen auf den Ablaufebenen nicht immer zu vermeiden.

⁵⁵⁴ Vgl. Kapitel 3.5.5 sowie das Dokument RUDEL (2016b) im Anhang.

4.6.1.14 GoM14

Grundsatz

Semantische Vergleichbarkeit

Konkrete Maßnahme

Es werden Namenskonventionen in der Ausprägung *Ähnlichkeiten* eingehalten.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM14 wurde auf den Objektebenen umgesetzt.

Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Musterunternehmen*⁵⁵⁵. Die Abbildungen 71 bis 73, S. 188 bis 190, zeigen die Objektebenen des Simulationsmodells.

Die Tabelle 34, S. 190, listet alle auf den Objektebenen verwendete Bezeichnungen auf. Davon sind die folgenden Begriffe zueinander ähnlich:

- Arbeitsvorbereitung, Arbeitsnachbereitung
- Control_Start, Control_Bearbeitungsstation
- CNC-Drehmaschine, CNC-Fräsmaschine, CNC-Dreh-Fräszentrum
- Manuelle Bohrmaschine, Manuelle Schleifmaschine

4.6.1.15 GoM15

Grundsatz

Systematischer Aufbau

Konkrete Maßnahme

Die PACE-Bausteine werden hierarchisch einem objektorientierten Ansatz folgend modelliert.

⁵⁵⁵ Vgl. Kapitel 4.2 sowie das Dokument RUDEL (2016c) im Anhang.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM15 wurde umgesetzt. Zur Nachweisführung dient das *Simulationsmodell Musterunternehmen*⁵⁵⁶. Die Abbildungen 71 bis 73, S. 188 bis 190, zeigen die Objektebenen 1 bis 3 des *Simulationsmodells Musterunternehmen*⁵⁵⁷. Diese Objektebenen 1 bis 3 entsprechen den hierarchischen Ebenen 1 bis 3 und zeigen den objektorientierten Ansatz.

4.6.1.16 GoM16

Grundsatz

Systematischer Aufbau

Konkrete Maßnahme

Es wird die Trennung der Daten von den Funktionen eingehalten.

Umsetzung

Die Maßnahme GoM16 wurde umgesetzt. Die Funktionen wurden in den PACE-Bausteinen umgesetzt, die Dateneingabe durch den Anwender und die Datenausgabe erfolgt ausschließlich mittels der Excel-Datei *Befüllung*⁵⁵⁸. Zur Nachweisführung dient das Dokument RUDEL (2016d) im Anhang.

4.6.2 Untersuchung zur Umsetzung der weiteren Prinzipien

4.6.2.1 wP1

Konkrete Maßnahme

Es werden, soweit möglich, Parametermasken eingesetzt.

Umsetzung

Die Maßnahme wP1 wurde aus Gründen der Anwenderfreundlichkeit nicht umgesetzt⁵⁵⁹.

556 Vgl. Kapitel 4.2 sowie das Dokument RUDEL (2016c) im Anhang.

557 Die 3. Objektebene ist nur einmal in Abbildung 73, S. 190, stellvertretend für alle Kategorien von Bearbeitungsstationen abgebildet.

558 PACE und Excel wurden über eine Schnittstelle miteinander gekoppelt, wobei der Datenaustausch von PACE aus gesteuert wird. Von PACE werden während des Simulationslaufs sowohl Daten aus Excel eingelesen als auch Ergebnisse nach Excel zurückgeschrieben. Für Details vgl. Kapitel 3.5.6.1 sowie das Dokument RUDEL (2016d) im Anhang.

559 Um Parametermasken in PACE zu implementieren, wäre es nötig, dass diese Parametermasken vom Anwender des Baukastensystems im Rahmen der Erstellung des Simulationsmodells selbst erzeugt würden. Dies würde Expertenwissen in PACE voraussetzen und läuft den Anforderungen 19 bis 21, den Aufwand gering zu halten, entgegen. Da die Autorin der Dissertation die Anforderungen 19 bis 21 als gewichtiger einstuft als die Maßnahme wP1, wurde diese Maßnahme wP1 in den PACE-Bausteinen nicht umgesetzt. Stattdessen wurden die Parametermasken in der Excel-Datei *Befüllung* umgesetzt, vgl. Kapitel 3.5.6.1 sowie das Dokument RUDEL (2016d) im Anhang.

4.6.2.2 wP2

Konkrete Maßnahme

Programmierarbeit bei der späteren Erstellung eines Simulationsmodells aus dem Baukastensystem wird vermieden.

Umsetzung

Die Maßnahme wP2 wurde umgesetzt. Der Anwender des Baukastensystems muss keine Programmierarbeit bei der Erstellung eines Simulationsmodells vornehmen. Zur Nachweisführung dient die Erstellung des *Simulationsmodells Musterunternehmen*⁵⁶⁰.

4.6.2.3 wP3

Konkrete Maßnahme

Die Entwicklung der PACE-Bausteine wird dokumentiert.

Umsetzung

Die Maßnahme wP3 wurde mittels der *Development Info*, der *Purpose Description*, der umgangssprachlichen Erläuterung der Codefragmente in den *Action Codes* der Transitionen sowie den Dokumenten RUDEL (2016b) und RUDEL (2016d) umgesetzt.

In PACE wurde für jedes Modul eine *Development Info*⁵⁶¹ hinterlegt⁵⁶².

Die folgende Abbildung 82 zeigt beispielhaft eine solche *Development Info*.



Abbildung 82: *Development Info* des Moduls *Maschinenpark*

⁵⁶⁰ Vgl. Kapitel 4.2.

⁵⁶¹ Im Simulationswerkzeug PACE lautet die Bezeichnung *Development Info*, in der Dokumentation RUDEL (2016b) lautet die Bezeichnung *Development Comment* (beide Bezeichnungen sind von PACE systemtechnisch vergeben).

⁵⁶² Die jeweilige *Development Info* für alle Module ist dem Dokument RUDEL (2016b) im Anhang zu entnehmen.

Ebenfalls wurde in PACE für jedes Modul eine *Purpose Description* hinterlegt⁵⁶³.

Die folgende Abbildung 83 zeigt beispielhaft eine solche *Purpose Description*.



Abbildung 83: *Purpose Description* des Moduls *Arbeitsvorbereitung*

In den *Action Codes*, welche an den Transitionen des Petrinetz-Graphen ausgeführt werden, wurde der Zweck des jeweiligen Codefragments „auskommentiert“ umgangssprachlich erläutert⁵⁶⁴.

⁵⁶³ Die jeweilige *Purpose Description* für alle Module ist dem Dokument RUDEL (2016b) im Anhang zu entnehmen.

⁵⁶⁴ Die jeweilige *Purpose Description* für alle Module ist dem Dokument RUDEL (2016b) im Anhang zu entnehmen.

Die folgende Abbildung 84 zeigt beispielhaft solche „auskommentierten“ umgangssprachlichen Erläuterungen von Codefragmenten.

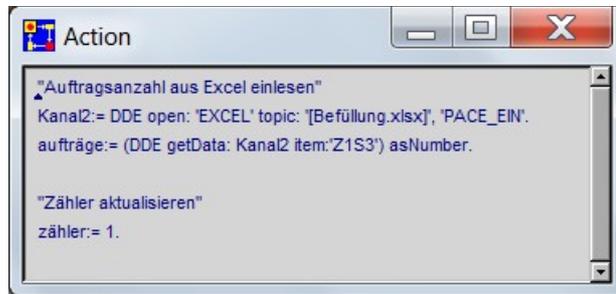


Abbildung 84: „Auskommentierte“ umgangssprachliche Erläuterung von Codefragmenten

Des Weiteren wurden die Dokumente RUDEL (2016b) und RUDEL (2016d) erstellt, welche im Anhang abgedruckt sind.

5 Fazit

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden Dissertation wurde festgestellt, dass ein Instrument fehlt, das KMU beim Einsatz der Prozess-Simulation unterstützt. Es wurde die Einschränkung auf das Instrument der Baukastensysteme getroffen.

Um die Lücke zu schließen, wurde ein Baukastensystem in einem Simulationswerkzeug für KMU eines ausgewählten Wirtschaftszweigs als solches Instrument erstellt, womit das **wissenschaftlich intendierte Ergebnis** der Dissertation als erreicht angesehen werden kann.

Daneben ergaben sich in der Dissertation zahlreiche Teilergebnisse. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Das **erste Teilergebnis** ist eine Untersuchung von 38 Simulationswerkzeugen im Hinblick darauf, ob Baukastensysteme für Produktion und Logistik enthalten sind und ob diese Baukastensysteme konkret auf KMU ausgerichtet sind.

Da der Begriff Petrinetze in der Fachliteratur in unterschiedlichen Bedeutungen verwendet wird, wurde als **zweites Teilergebnis** für die verschiedenen Aspekte der Petrinetze die Begriffe Petrinetz-Konzept, Modellierungssprache Petrinetze, Petrinetz-Graphen und Markenspiel festgelegt.

Des Weiteren wurde die Eignung des Petrinetz-Konzepts für den Laien diskutiert. Als **drittes Teilergebnis** hält die Autorin der Dissertation das Petrinetz-Konzept grundsätzlich für den Laien geeignet, insofern das angewendete Petrinetz-Konzept möglichst einfach ist und auf Programmiersprachen-Elemente im Petrinetz-Graphen möglichst verzichtet wird.

Als **viertes Teilergebnis** wurde mittels einer NWA aus einer Liste von 13 mit Petrinetzen arbeitenden Simulationswerkzeugen das Simulationswerkzeug PACE als das für KMU am besten geeignete ausgewählt.

Als **fünftes Teilergebnis** wurde der Wirtschaftszweig „Herstellung von Metallerzeugnissen“ ausgewählt, für deren Unternehmen das Baukastensystem erstellt werden sollte.

Für die Befragung der Unternehmen des ausgewählten Wirtschaftszweigs wurde als **sechstes Teilergebnis** der Leitfaden für Experteninterviews RUDEL (2014d) erstellt.

Als **Teilergebnisse sieben, acht und neun** entstanden die Experteninterviews RUDEL (2014a), RUDEL (2014c) und RUDEL (2014b).

Als **zehntes Teilergebnis** ergab sich ein Anforderungskatalog, der sowohl die Anforderungen aus der Praxis der KMU (25 Anforderungen) als auch die Anforderungen aus der Fachliteratur zum Einsatz der Prozess-Simulation in KMU (14 Anforderungen) beinhaltet.

Aus der existierenden Fachliteratur zu Baukastensystemen wurde außerdem als **elftes Teilergebnis** ein Katalog mit 24 zu übertragenden Merkmalen festgelegt.

Als ein Prinzip wurden bei der Erstellung der Bausteine die GoM angewendet, wobei die allgemein formulierten GoM auf den speziellen Anwendungsfall konkretisiert und mit messbaren Maßnahmen hinterlegt wurden. Als **zwölftes Teilergebnis** entstand so ein Katalog mit 16 konkreten Maßnahmen zur Umsetzung der GoM.

Da die GoM aus Sicht der Autorin der Dissertation nicht alle Prinzipien abdeckten, wurden weitere Prinzipien festgelegt und mit messbaren Maßnahmen hinterlegt. Als **dreizehntes Teilergebnis** entstand ein Katalog mit 3 konkreten Maßnahmen zur Umsetzung der weiteren Prinzipien.

Als **vierzehntes, fünfzehntes und sechzehntes Teilergebnis** entstand im Rahmen der Realisierung des Baukastensystems das *Simulationsmodell Dissertation* mit den Dokumentationen RUDEL (2016b) und RUDEL (2016d).

Des Weiteren wurde als **siebzehntes Teilergebnis** für das Baukastensystem das Nutzerhandbuch RUDEL (2016a) erstellt.

Anschließend entstand als **achtzehntes und neunzehntes Teilergebnis** das *Simulationsmodell Musterunternehmen* mit der Dokumentation RUDEL (2016c). Anhand einer Fallstudie wurden am *Simulationsmodell Musterunternehmen* sieben konkreten Fragestellungen, wie sie nach Erfahrung der Autorin der Dissertation typischerweise in der Praxis der KMU auftreten, analysiert. Als **zwanzigstes Teilergebnis** konnten alle sieben Fragestellungen beantwortet werden.

Abschließend wurde untersucht, ob das Baukastensystem die festgelegten Anforderungen erfüllt, ob die festgelegten Merkmale übertragen wurden und ob die GoM sowie die weiteren Prinzipien eingehalten wurden. Als **einundzwanzigstes, zweiundzwanzigstes, dreiundzwanzigstes und vierundzwanzigstes Teilergebnis** lässt sich Folgendes festhalten:

- Von den 39 festgelegten Anforderungen wurden 27 umgesetzt, 3 teilweise umgesetzt und 6 nicht umgesetzt; die Umsetzung von 3 der festgelegten Anforderungen konnte wegen ungenauer Formulierung nicht geprüft werden.
- Von den 24 festgelegten Merkmalen wurden 8 übertragen, 4 teilweise übertragen und 12 nicht übertragen.

- Von den 16 festgelegten GoM wurden 14 umgesetzt und 2 mit Einschränkungen umgesetzt.
- Von den 3 festgelegten weiteren Maßnahmen wurden 2 umgesetzt und 1 nicht umgesetzt.

5.2 Kritische Betrachtung

Die Regeln guter wissenschaftlicher Praxis erfordern es, jede wissenschaftliche Arbeit kritisch auf Schwächen zu prüfen⁵⁶⁵. Die Schwächen der vorliegenden Dissertation werden im Folgenden diskutiert⁵⁶⁶.

In der Definition auf S. 41 wurde gefordert, dass praxisorientierte Anwendungen des Petri-netz-Konzepts, die für Laien auf dem Gebiet des Petri-netz-Konzepts erstellt werden, möglichst einfach sein sollten und die erstellten Petri-netz-Graphen möglichst wenig Programmiersprachen-Elemente beinhalten sollten. Die in PACE erstellten Bausteine widersprechen diesem Prinzip, wie das Dokument RUDEL (2016b) zeigt⁵⁶⁷. Jedoch soll erwähnt werden, dass die Programmiersprachen-Elemente auf den Objektebenen konsequent vermieden wurden. Sofern das Baukastensystem in seinem Originalzustand angewendet wird, ist für den Anwender kein Kontakt mit den Programmiersprachen-Elementen nötig.

Die Auswahl des Simulationswerkzeugs stellt ebenfalls einen kritisch zu hinterfragenden Punkt dar. Die Liste der Simulationswerkzeuge auf PETRI NETS WORLD (o.J.a) wurde von der Autorin der Dissertation weder auf Vollständigkeit überprüft, noch wurden die dort hinterlegten Eintragungen zu den einzelnen Simulationswerkzeugen auf Korrektheit überprüft. Daher ist es möglich, dass die Abfrage PETRI NETS WORLD (2013) die falschen Simulationswerkzeuge auflistete oder unvollständig war und damit die NWA mit falschen Ausgangswerten durchgeführt wurde. Folglich wäre es möglich, dass das ausgewählte Simulationswerkzeug PACE nicht das am besten geeignete für den vorliegenden Anwendungsfall darstellt.

565 Vgl. DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (2013), S. 15.

566 Die Aufzählung kann keinesfalls als vollständig angesehen werden, sondern stellt vielmehr eine Auswahl der kritischen Punkte nach subjektiver Meinung der Autorin der Dissertation dar.

567 Tatsächlich scheint es aus Sicht der Autorin der Dissertation kaum möglich, einen Petri-netz-Graphen in diesem Anwendungszweck ohne Programmiersprachen-Elemente zu modellieren, da ein solcher Petri-netz-Graph ohne Programmiersprachen-Elemente in der Folge sehr groß und sehr unübersichtlich werden würde.

In Bezug auf die Auswahl der Unternehmen für die Experteninterviews kann kritisiert werden, dass diese Unternehmen nicht repräsentativ ausgewählt wurden; für eine repräsentative Auswahl wäre eine empirische Untersuchung nötig gewesen. Daher muss eingeschränkt werden, dass das Baukastensystem genaugenommen nur für drei die befragten Unternehmen gelten kann.

Des Weiteren sei in diesem Zusammenhang kritisiert, dass keines der drei befragten Unternehmen der Gruppe der mittleren Unternehmen angehört. Vielmehr wurden ein Unternehmen aus der Gruppe der Kleinstunternehmen und zwei Unternehmen aus der Gruppe der kleinen Unternehmen befragt. Auch hier muss also eingeschränkt werden, dass das Baukastensystem streng genommen nur für Kleinstunternehmen und kleine Unternehmen gelten kann.

Auch wird für die Unternehmen, die das Baukastensystem anwenden, nicht klar herausgestellt, dass ein einmaliger Simulationslauf bei eingegebenen Schwankungen kein gültiges Ergebnis darstellt. Hier ist die Anzahl von Replikationen wichtig⁵⁶⁸. Außerdem bietet das Baukastensystem keine Möglichkeit, automatisiert eine vorher festgelegte Anzahl an Replikationen zu erstellen; die Erstellung von Replikationen stellt also erheblichen manuellen Aufwand dar, wie die Fragestellung Schwankung der Rüstzeiten in Kapitel 4.3.8 gezeigt hat.

5.3 Ausblick

Das erstellte Baukastensystem bietet aus Sicht der Autorin der Dissertation Potential für weitere Forschungsfragen.

So könnten auf Basis des Baukastensystems *KMUSimMetall* weitere Baukastensysteme für KMU anderer Wirtschaftszweige entwickelt werden, um auch diese Unternehmen beim Einsatz der Prozess-Simulation zu unterstützen.

Die Autorin der Dissertation würde es ferner begrüßen, wenn das Baukastensystem *KMUSimMetall* in einer repräsentativen wissenschaftlichen Untersuchung auf seine tatsächliche Eignung für die KMU des Wirtschaftszweigs „Herstellung von Metallerzeugnissen“ untersucht werden würde. Insbesondere die Frage, ob das Baukastensystem auch für mittlere Unternehmen anwendbar ist, wäre hier interessant.

⁵⁶⁸ Vgl. auch Fn. 456, S. 138.

Literaturverzeichnis

AHRENS et al. (1993)

AHRENS, V./RABE, M./SCHLÜTER, K./SKUDELNY, C.: Anwendungen der Simulation in der Layoutplanung. In: KUHN, A./REINHARDT, A./WIENDAHL, H.-P. (Hrsg.): Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik. Vieweg: Braunschweig et al. 1993, S. 43–72.

ALBERT (1999)

ALBERT, J.: Software-Architektur für virtuelle Maschinen. Dissertation, Technische Universität München, 1998. Utz: München 1999.

ARNDT (2015)

ARNDT, H.: Logistikmanagement. Springer Gabler: Wiesbaden 2015.

ARNOLD (2006)

ARNOLD, D.: Einleitung des Herausgebers. In: ARNOLD, D. (Hrsg.): Intralogistik – Potentiale, Perspektiven, Prognosen. Springer: Berlin et al. 2006, S. 1–4.

BADER (2005)

BADER, U.: Simulationsbaukasten für die Halbleiter- und Flachbildschirmfertigung – Ein Beitrag zur wirtschaftlichen Planung, Auslegung und Optimierung automatisierter Materialflusssysteme. Dissertation, Universität Stuttgart. Jost Jetter Verlag: Heimsheim 2005.

BALZERT (2009)

BALZERT, H.: Lehrbuch der Softwaretechnik: Basiskonzepte und Requirements Engineering. 3. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg 2009.

BAMBERG et al. (2012)

BAMBERG, G./COENENBERG, A. G./KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 15. Auflage, Vahlen: München 2012.

BANKS et al. (2014)

BANKS, J./CARSON LL, J. S./NELSON, B. L./NICOL, D. M.: Discrete-Event System Simulation. 5. Auflage, Pearson Education Limited: Harlow, Essex, England 2014.

BARTSCH (2010)

BARTSCH, C.: Modellierung und Simulation von IT-Dienstleistungsprozessen. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT). KIT Scientific Publishing: Karlsruhe 2010.

BAUMGARTEN (1996)

BAUMGARTEN, B.: Petri-Netze – Grundlagen und Anwendungen. 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg et al. 1996.

BECKER et al. (1995)

BECKER, J./ROSEMANN, M./SCHÜTTE, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. In: Wirtschaftsinformatik, Vol. 37 (1995), No. 5, S. 435–445.

BECKER et al. (2000)

BECKER, M./BRENNER, C./ERKOLLAR, A./JOHEM, R./KLUSSMANN, J.: Beschreibungsmethoden für Referenzmodelle. In: WENZEL, S. (Hrsg.): Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. SCS-Europe BVBA: Ghent 2000, S. 31–54.

BECKER et al. (2004)

BECKER, J./SCHÜTTE, R.: Handelsinformationssysteme – Domänenorientierte Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 2. Auflage, Redline Wirtschaft bei Verlag Moderne Industrie: München 2004.

BECKER et al. (2012)

BECKER, J./PROBANDT, W./VERING, O.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung – Konzeption und Praxisbeispiel für ein effizientes Prozessmanagement. Springer Gabler: Berlin et al. 2012.

BERGMANN et al. (2010)

BERGMANN, S./FIEDLER, A./STEFFEN STRASSBURGER: Generierung und Integration von Simulationsmodellen unter Verwendung des Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) Information Model. In: ZÜLCH, G./STOCK, P. (Hrsg.): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. 14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, 07.-08.10.2010 in Karlsruhe, Tagungsband. KIT Scientific Publishing: Karlsruhe 2010, S. 461–468.

BERNROIDER et al. (2006)

BERNROIDER, E./STIX, V.: Grundzüge der Modellierung. 2. Auflage, Facultas: Wien 2006.

BIERSCHENK et al. (2005)

BIERSCHENK, S./KUHLMANN, T./RITTER, A.: Stand der Digitalen Fabrik bei kleinen und mittelständischen Unternehmen – Auswertung einer Breitenbefragung. Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart 2005.

BODE et al. (1992)

BODE, J./ZELEWSKI, S.: Die Produktion von Dienstleistungen – Ansätze zu einer Produktionswirtschaftslehre der Dienstleistungsunternehmen? In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, Vol. 44 (1992), No. 6, S. 594–607.

Bös (2008)

Bös, M.: Methoden der Digitalen Fabrikplanung – ein praxisorientierter Ansatz für KMU. In: RABE, M. (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Zugleich 13. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Berlin, 01.-02.10.2008, Tagungsband. Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart 2008, S. 407–415.

Bös (2014a)

Bös, M.: AW: Ihre Software Dosimis-3 und FAD. E-Mail an Stefanie Rudel, 15.01.2014.

Bös (2014b)

Bös, M.: AW: Ihre Software SimAL und SIMPRO. E-Mail an Stefanie Rudel, 17.01.2014.

BRAUN et al. (2003)

BRAUN, R./GEHLERT, A./GREIFFENBERG, S.: SMF-Methode. Version 3.0. o.O. 2003. Online verfügbar unter <http://wise.wiwi.tu-dresden.de/~gehlert/publikationen/paper/smfmethode2003.pdf>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

BÜHRIG (2011)

BÜHRIG, J.: Referenzmodelle in IT-Einführungsprojekten – Anforderungsorientierte Gestaltung des HISinOne Referenzmodells. In: DEGKWITZ, A./KLAPPER, F. (Hrsg.): Prozessorientierte Hochschule – Allgemeine Aspekte und Praxisbeispiele. Bock+Herchen: Bad Honnef 2011, S. 51–66.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2001/2013)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Betriebsverfassungsgesetz. Betriebsverfassungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. September 2001 (BGBl. I S. 2518), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 4 des Gesetzes vom 20. April 2013 (BGBl. I S. 868) geändert worden ist. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: o.O. 2001/2013.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2010)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Alfred Zilske, Präzisionsmechanik GmbH Taufkirchen – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.10.2008 bis zum 30.09.2009. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: München 2010.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2011a)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Alfred Zilske, Präzisionsmechanik GmbH Taufkirchen – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.10.2009 bis zum 30.09.2010. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: München 2011.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2011b)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Max und Franz Heiland GmbH Unterhaching – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2010. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Unterhaching 2011.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2012a)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Alfred Zilske, Präzisionsmechanik GmbH Taufkirchen – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.10.2010 bis zum 30.09.2011. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: München 2012.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2012b)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Feinmechanische Werkstätte Thomas Markl GmbH Oberhaching, Ortsteil Deisenhofen – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2010. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Deisenhofen 2012.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2013a)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Alfred Zilske, Präzisionsmechanik GmbH Taufkirchen – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.10.2011 bis zum 30.09.2012. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: München 2013.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2013b)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Max und Franz Heiland GmbH Unterhaching – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2012 bis zum 31.12.2012. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Unterhaching 2013.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2014a)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Feinmechanische Werkstätte Thomas Markl GmbH Oberhaching, Ortsteil Deisenhofen – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2012 bis zum 31.12.2012. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Deisenhofen 2014.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2014b)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Max und Franz Heiland GmbH Unterhaching – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2013 bis zum 31.12.2013. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Unterhaching 2014.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2015a)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Feinmechanische Werkstätte Thomas Markl GmbH Oberhaching, Ortsteil Deisenhofen – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2013 bis zum 31.12.2013. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Deisenhofen 2015.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2015b)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Max und Franz Heiland GmbH Unterhaching – Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2014 bis zum 31.12.2014. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Unterhaching 2015.

CIARDO et al. (2014)

CIARDO, G./KINDLER, E. (Hrsg.): Application and Theory of Petri Nets and Concurrency – 35th international conference, PETRI NETS 2014, Tunis, Tunisia, June 23-27, 2014. Proceedings. Springer: Heidelberg et al. 2014.

CLAUSING et al. (2008)

CLAUSING, M./HEINRICH, S.: Mensch, Maschine, Material – die Standardisierung der Ablaufsimulation in der Automobilindustrie. In: ProduktDatenJornal, Vol. 15 (2008), No. 1, S. 23–25.

DAHRENDORF (1965)

DAHRENDORF, R.: Gesellschaft und Demokratie in Deutschland. R. Piper & Co. Verlag: München 1965.

DANGELMAIER (2001)

DANGELMAIER, W.: Fertigungsplanung – Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung; Grundlagen, Algorithmen und Beispiele. 2. Auflage, Springer: Berlin et al. 2001.

DECKER et al. (2011)

DECKER, B./KHAN, I./MEIREN, T.: Modellierung und Simulation von Dienstleistungen. In: SPATH, D./GANZ, W. (Hrsg.): Am Puls wirtschaftlicher Entwicklung – Dienstleistungstrends. Carl Hanser Verlag: München 2011, S. 43–50.

DESEL et al. (1996)

DESEL, J./OBERWEIS, A.: Petri-Netze in der Angewandten Informatik – Einführung, Grundlagen und Perspektiven. In: Wirtschaftsinformatik, Vol. 38 (1996), No. 4, S. 359–366.

DESEL et al. (2001)

DESEL, J./JUHÁS, G.: "What Is a Petri Net?" – Informal Answers for the Informed Reader. In: EHRIG, H./JUHÁS, G./PADBERG, J./ROZENBERG, G. (Hrsg.): Unifying Petri Nets – Advances in Petri Nets. Springer: Berlin et al. 2001, S. 1–25.

DETTMERING et al. (2010)

DETTMERING, H./NASS, A./REITER, R.: Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik für den Mittelstand. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 105 (2010), No. 5, S. 489–493.

DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (2013)

DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT: Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis – Safeguarding Good Scientific Practice. Ergänzte Auflage, Wiley-VCH: Weinheim 2013.

DEUTSCHER INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMERTAG E.V. (2012)

DEUTSCHER INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMERTAG E.V.: Umfeld schwierig – Mittelstand robust – DIHK-Mittelstandsreport Jahresbeginn 2012. Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V.: Berlin et al. 2012. Online verfügbar unter <http://www.dihk.de/ressourcen/downloads/mittelstandsreport-03-2012>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

DEVILLERS et al. (2015)

DEVILLERS, R./VALMARI, A. (Hrsg.): Application and Theory of Petri Nets and Concurrency – 36th International Conference, PETRI NETS 2015, Brussels, Belgium, June 21-26, 2015. Proceedings. Springer: Heidelberg et al. 2015.

EICHENAUER (1997)

EICHENAUER, B.: Ein Verfahren zur einheitlichen Bearbeitung von Analyse- und Entwicklungsvorhaben. IBE Simulation Engineering GmbH. Glonn 1997.

EICHENAUER et al. (2003)

EICHENAUER, B./SCHERER, K.: Modellierung und Simulation von intelligenten Gebäudesystemen mit attribuierten Petri-Netzen. In: GÜRLEBECK, K./HEMPEL, L./KÖNKE, C. (Hrsg.): Proceedings 16th International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering. 10.-12.06.2003 in Weimar. Bauhaus-Universität: Weimar 2003, o.S.

EICHENAUER (2004)

EICHENAUER, B.: Ein Verfahren zur Optimierung von Geschäftsprozessen mit attribuierten Petri-Netzen. In: BIETHAHN, J. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe – Neue Werkzeuge und Anwendungen aus der Praxis. 9. Symposium, 15.-17.03.2004 in Braunlage, Tagungsband. Institut für Wirtschaftsinformatik: Göttingen 2004, S. 323–338.

EICHENAUER (2008)

EICHENAUER, B.: PACE Handbuch – Modellierung und Simulation PACE 2008. IBE Simulation Engineering GmbH. Glonn 2008.

EU-KOMMISSION (2003)

EU-KOMMISSION: Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen. In: Amtsblatt der Europäischen Union, Vol. 46 (2003), No. L 124, S. 36–41.

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006)

EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.): Die neue KMU-Definition – Benutzerhandbuch und Mustererklärung. Europäische Gemeinschaften. o.O. 2006. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sme/files/sme_definition/sme_user_guide_de.pdf, zuletzt geprüft am 06.07.2015.

FEHLING (1992)

FEHLING, R.: Hierarchische Petrinetze – Beiträge zur Theorie und formale Basis für zugehörige Werkzeuge. Dissertation, Universität Dortmund. Kovac: Hamburg 1992.

FEIKE (2014a)

FEIKE, M.: Delmia Quest. Telefonische Auskunft an Stefanie Rudel, 13.02.2014.

FEIKE (2014b)

FEIKE, M.: Delmia Quest. E-Mail an Stefanie Rudel, 13.02.2014.

FLEISCHMANN (2008)

FLEISCHMANN, B.: Begriffliche Grundlagen. A 1.1. In: ARNOLD, D./ISERMANN, H./KUHN, A./TEMPELMEIER, H./FURMANS, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3. Auflage. Springer: Berlin et al. 2008, S. 3–12.

FÖDISCH (2013)

FÖDISCH, R.: Preis Artifex. Telefonische Auskunft an Stefanie Rudel, 13.06.2013.

FORTMANN et al. (2007)

FORTMANN, K.-M./KALLWEIT, A.: Logistik. 2. Auflage, Kohlhammer: Stuttgart 2007.

FRAUCHIGER (2010)

FRAUCHIGER, D.: Ein auf Petri-Netzen basierendes Geschäftsprozessmodell und dessen Anwendung im E-Commerce. Dissertation. Universität Freiburg (Schweiz): Freiburg (Schweiz) 2010.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT (2010)

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT: Erschwingliche Fabrikdaten-Simulation – Wirtschaftsthemen 16.12.2010. Pressemeldung. Fraunhofer-Gesellschaft. o.O. 2010. Online verfügbar unter <http://www.fraunhofer.de/presse/presseinformationen/2010/12/cloud-fabrikdaten-simulation.jsp>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (2011)

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (IPA) (Hrsg.): Abschlussbericht simKMU – Internet- und webbasierte Simulationsdienste – Forschungsergebnisse im Teilvorhaben »Grundlagen, Konzeption und Intralogistik« des Verbundprojekts simKMU. Stuttgart 2011. Online verfügbar unter https://fabriksimulation.ipa.fraunhofer.de/CAL/20110729_Foerderkennz-01MR08005_simKMU-Abschlussbericht.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

FREISEISEN (2008)

FREISEISEN, W.: Geleitwort – Auf die Ziele kommt es an. In: ENGELHARDT-NOWITZKI, C./NOWITZKI, O./KRENN, B. (Hrsg.): Praktische Anwendung der Simulation im Materialflussmanagement – Erfolgsfaktoren und Implementierungsszenarien. Gabler: Wiesbaden 2008, S. V–VII.

FRIEDLAND et al. (2000)

FRIEDLAND, R./KÜHLING, M.: Referenzmodell für Fertigungssysteme. In: WENZEL, S. (Hrsg.): Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. SCS-Europe BVBA: Ghent 2000, S. 133–150.

GEIGER (1930)

GEIGER, T.: Panik im Mittelstand. In: Die Arbeit, Vol. 7 (1930), No. 10, S. 637–654.

GEIGER (1967)

GEIGER, T.: Die soziale Schichtung des deutschen Volkes – Soziographischer Versuch auf statistischer Grundlage. Unveränderter reprografischer Nachdruck der Ausgabe Stuttgart 1932, Ferdinand Enke Verlag: Stuttgart 1967.

GEISSLER (2014)

GEISSLER, R.: Die Sozialstruktur Deutschlands. 7. Auflage, Springer VS: Wiesbaden 2014.

GENRICH et al. (1979)

GENRICH, H. J./LAUTENBACH, K.: The Analysis of Distributed Systems by means of Predicate/Transition-Nets. In: KAHN, G. (Hrsg.): Semantics of Concurrent Computation – Proceedings of the International Symposium, Evian, France, July 2-4, 1979. Springer: Berlin et al. 1979, S. 123–146.

GENRICH et al. (1981)

GENRICH, H./LAUTENBACH, K.: System modelling with high-level Petri nets. In: Theoretical Computer Science, Vol. 13 (1981), No. 1, S. 109–136.

GENRICH (1991)

GENRICH, H.: Predicate/Transition Nets. In: JENSEN, K./ROZENBERG, G. (Hrsg.): High-level Petri Nets – Theory and Application. Springer: Berlin et al. 1991, S. 3–43.

GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V. (2014)

GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V. (Hrsg.): Petri Net Newsletter, Volume 83. Augsburg 2014.

GI-FACHGRUPPE 5.2 (1998)

GI-FACHGRUPPE 5.2 (Hrsg.): Informationssystem-Architekturen. Koblenz 1998. Online verfügbar unter http://www.wi-inf.uni-duisburg-essen.de/MobisPortal/pages/rundbrief/rundbrief2_98.html, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

GLÄSER et al. (2010)

GLÄSER, J./LAUDEL, G.: Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. 4. Auflage, VS Verlag für Sozialwissenschaften: Wiesbaden 2010.

GRAF et al. (2008)

GRAF, K.-R./KLINGLER, F.: Ein Simulationskonzept für die Supply Chain im World Wide Web. In: ENGELHARDT-NOWITZKI, C./NOWITZKI, O./KRENN, B. (Hrsg.): Praktische Anwendung der Simulation im Materialflussmanagement – Erfolgsfaktoren und Implementierungsszenarien. Gabler: Wiesbaden 2008, S. 21–33.

GREEN et al. (1999)

GREEN, P./ROSEMANN, M.: An Ontological Analysis of Integrated Process Modelling. In: JARKE, M./OBERWEIS, A. (Hrsg.): Advanced information systems engineering – 11th International Conference, CAiSE'99, Heidelberg, Germany, June 14-18, 1999, Proceedings. Springer: Berlin et al. 1999, S. 225–240.

GRUDE (1988)

GRUDE, U.: Petri-Netze – eine informelle Einführung in die Grundideen. o.O. 1988. Online verfügbar unter <http://public.beuth-hochschule.de/~grude/Petrinetze.pdf>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

GUDEHUS (2012)

GUDEHUS, T.: Logistik 1 – Grundlagen, Verfahren und Strategien. 4. Auflage, Springer: Berlin et al. 2012.

GÜNTERBERG et al. (2002)

GÜNTERBERG, B./WOLTER, H.-J.: Unternehmensgrößenstatistik 2001/2002 – Daten und Fakten. Institut für Mittelstandsforschung Bonn. Bonn 2002. Online verfügbar unter http://www.ifm-bonn.org/uploads/tx_ifmstudies/IfM-Materialien-157_2003.pdf, zuletzt geprüft am 06.07.2015.

GÜNTERBERG (2012)

GÜNTERBERG, B.: Unternehmensgrößenstatistik – Unternehmen, Umsatz und sozialversicherungspflichtig Beschäftigte 2004 bis 2009 in Deutschland, Ergebnisse des Unternehmensregisters (URS 95). Daten und Fakten Nr. 2. Institut für Mittelstandsforschung Bonn. Bonn 2012. Online verfügbar unter http://www.ifm-bonn.org/uploads/tx_ifmstudies/Daten-und-Fakten-2_2012.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

GÜNTHER (2006)

GÜNTHER, P.: Intralogistik – eine starke Branche stellt sich vor. In: ARNOLD, D. (Hrsg.): Intralogistik – Potentiale, Perspektiven, Prognosen. Springer: Berlin et al. 2006, S. 5–16.

GÜNTHER et al. (2014)

GÜNTHER, H.-O./TEMPELMEIER, H.: Produktion und Logistik – Supply Chain und Operations Management. 11. Auflage, Books on Demand: Norderstedt 2014.

GÜNTHNER (2001)

GÜNTHNER, W. A. (Hrsg.): Simulationsgestützte Planung und Nutzung von Getränke-Abfüllanlagen. Abschlussbericht zu Projekt-Nr. 12265-N. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik an der Technischen Universität München. München 2001. Online verfügbar unter <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1188204/1188204.pdf>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

GÜNTHNER (2011)

GÜNTHNER, W. A.: Re: Frage bezüglich einer Publikation. E-Mail an Stefanie Rudel, 12.11.2011.

HAMPEL (2014a)

HAMPEL, D.: AW: Ihre Software Simcron MODELLER. E-Mail an Stefanie Rudel, 31.01.2014.

HAMPEL (2014b)

HAMPEL, D.: AW: Noch eine Detailfrage zum Simcron MODELLER. E-Mail an Stefanie Rudel, 18.02.2014.

HEDTSTÜCK (2013)

HEDTSTÜCK, U.: Simulation diskreter Prozesse – Methoden und Anwendungen. Springer Vieweg: Berlin et al. 2013.

HEINRICH et al. (2006)

HEINRICH, S./MAYER, G.: Ablaufsimulation im VDA – ein Bericht aus der Arbeitsgruppe. In: WENZEL, S. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2006. 12. Fachtagung, 26.-27.09.2006 in Kassel, Tagungsband. SCS Publishing House: San Diego et al. 2006, S. 423–428.

HELLINGRATH (1998)

HELLINGRATH, B.: Hemmnisse des Simulationseinsatzes in kleinen und mittleren Unternehmen und deren Überwindung. In: MERTINS, K./RABE, M. (Hrsg.): Erfahrungen aus der Zukunft. 8. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, 16.-17.02.1998 in Berlin, Tagungsband. IPK Eigenverlag: Berlin 1998, S. 235–241.

HELLINGRATH et al. (2001)

HELLINGRATH, B./RABE, M.: Einleitung. In: RABE, M./HELLINGRATH, B. (Hrsg.): Handlungsanleitung Simulation in Produktion und Logistik – Ein Leitfaden mit Beispielen für kleinere und mittlere Unternehmen. SCS International: San Diego 2001, S. 1–4.

HILLAH et al. (2009)

HILLAH, L./KINDLER, É./KORDON, F./PETRUCCI, L./TRÈVES, N.: A primer on the Petri Net Markup Language and ISO/IEC 15909-2 (originally presented at the 10th International Workshop on Practical Use of Colored Petri Nets and the CPN Tools – CPN'09). In: GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V. (Hrsg.): Petri Net Newsletter, Volume 76. Augsburg 2009, S. 9–28.

HOCHSTEIN et al. (2004)

HOCHSTEIN, A./ZARNEKOW, R./BRENNER, W.: ITIL als Common-Practice-Referenzmodell für das IT-Service-Management – Formale Beurteilung und Implikationen für die Praxis. In: Wirtschaftsinformatik, Vol. 46 (2004), No. 5, S. 382–389.

IBE SIMULATION ENGINEERING GMBH (2013)

IBE SIMULATION ENGINEERING GMBH: Prices and Conditions for the Licensing of the Simulator–Development-Environment PACE2008. IBE Simulation Engineering GmbH: Glonn 2013.

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG IAW, INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT MANNHEIM IFM (2007)

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG IAW, INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT MANNHEIM IFM: Neue Datenquelle „Unternehmensregister“ – Mehr Informationen über den Mittelstand ohne neue Bürokratie. Abschlussbericht an das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg. Institut für Angewandte Wirtschaftsforschung IAW, Institut für Mittelstandsforschung der Universität Mannheim ifm: Tübingen et al. 2007. Online verfügbar unter http://www.institut-fuer-mittelstandsforschung.de/kos/WNetz?art=File.download&id=246&name=Abschlussbericht_Unternehmensregister.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG BONN (2015)

INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG BONN: Mittelstandsdefinition. Institut für Mittelstandsforschung Bonn. Bonn 2015. Online verfügbar unter <http://www.ifm-bonn.org/mittelstandsdefinition/>, zuletzt geprüft am 06.07.2015, am 18.01.2016 nicht mehr verfügbar.

JENSEN (1981)

JENSEN, K.: Coloured Petri Nets and the Invariant Method. In: Theoretical Computer Science, Vol. 14 (1981), S. 317–336.

JENSEN (1983)

JENSEN, K.: High Level Petri Nets. In: PAGNONI, A./ROZENBERG, G. (Hrsg.): Application and Theory of Nets. Springer: Berlin et al. 1983, S. 166–180.

JENSEN (1987)

JENSEN, K.: Coloured Petri Nets. In: BRAUER, W./REISIG, W./ROZENBERG, G. (Hrsg.): Petri Nets: Central Models and Their Properties – Advances in Petri Nets 1986, Part I, Proceedings of an Advanced Course, Bad Honnef, 8.-19. September 1986. Springer: Berlin et al. 1987, S. 248–299.

JENSEN et al. (1991)

JENSEN, K./ROZENBERG, G. (Hrsg.): High-level Petri Nets – Theory and Application. Springer: Berlin et al. 1991.

JENSEN (1992)

JENSEN, K.: Coloured Petri nets – Basic concepts, analysis methods and practical use. Volume 1. Springer: Berlin et al. 1992.

JENSEN et al. (2009)

JENSEN, K./KRISTENSEN, L. M.: Coloured Petri Nets – Modelling and Validation of Concurrent Systems. Springer: Berlin et al. 2009.

JEZIOREK (1994)

JEZIOREK, O.: Lean Production – Vergleich mit anderen Konzepten zur Produktionsplanung und -steuerung. Vieweg: Wiesbaden 1994.

JÜNEMANN et al. (1989)

JÜNEMANN, R./DAUM, M.: Materialfluß und Logistik – Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen. Springer: Berlin et al. 1989.

KADACHI (2004)

KADACHI, M.: Kriterien für eine simulationskonforme Abbildung von Materialflusssystemen. Dissertation, Technische Universität München. Utz: München 2004.

KERN (1992)

KERN, W.: Industrielle Produktionswirtschaft. 5. Auflage, Poeschel: Stuttgart 1992.

KERN (1996)

KERN, W.: Produktionswirtschaft: Objektbereich und Konzepte. In: KERN, W./SCHRÖDER, H.-H./WEBER, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Auflage. Schäffer-Poeschel: Stuttgart 1996, Sp. 1629–1642.

KNOCHE (2012)

KNOCHE, F.: Preis COSA BPM Suite. Telefonische Auskunft an Stefanie Rudel, 05.07.2012.

KÖNIG et al. (2007)

KÖNIG, M./BEISSERT, U./BARGSTÄDT, H.-J.: Ereignis-diskrete Simulation von Trockenbauarbeiten – Konzept, Implementierung und Anwendung. In: FRANZ, V. (Hrsg.): Simulation in der Bauwirtschaft. 1. IBW Workshop, 13.09.2007 an der Universität Kassel, Tagungsband. Kassel University Press: Kassel 2007, S. 15–28.

KREIMEIER (2014)

KREIMEIER, D.: WG: Ihre Software mobileit-s. E-Mail an Stefanie Rudel, 16.01.2014.

KUGELER et al. (1998)

KUGELER, M./ROSEMANN, M.: Fachbegriffsmodellierung für betriebliche Informationssysteme und zur Unterstützung der Unternehmenskommunikation. In: GI-FACHGRUPPE 5.2 (Hrsg.): Informationssystem-Architekturen. Koblenz 1998, S. 8–15.

KUHN et al. (1998)

KUHN, A./RABE, M.: Simulation in Produktion und Logistik – Fallbeispielsammlung. Springer: Berlin et al. 1998.

KÜPPER et al. (2004)

KÜPPER, H.-U./HELBER, S.: Ablauforganisation in Produktion und Logistik. 3. Auflage, Schäffer-Poeschel: Stuttgart 2004.

LAMNEK et al. (2010)

LAMNEK, S./KRELL, C.: Qualitative Sozialforschung. 5. Auflage, Beltz: Weinheim 2010.

LEBSANFT (2012)

LEBSANFT, E.: Preis INCOME Suite. Telefonische Auskunft an Stefanie Rudel, 22.06.2012.

LEIMEISTER (2012)

LEIMEISTER, J. M.: Dienstleistungsengineering und -management. Springer Gabler: Berlin et al. 2012.

LIEBL (1992)

LIEBL, F.: Simulation – Problemorientierte Einführung. Oldenbourg: München et al. 1992.

MAYER et al. (2010)

MAYER, G./PÖGE, C.: Auf dem Weg zum Standard – Von der Idee zur Umsetzung des VDA Automotive Bausteinkastens – The Road to Standardisation – from the Idea to the Realisation of the VDA Automotive Toolkit. In: ZÜLCH, G./STOCK, P. (Hrsg.): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. 14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, 07.-08.10.2010 in Karlsruhe, Tagungsband. KIT Scientific Publishing: Karlsruhe 2010, S. 29–36.

MAYRING (2010)

MAYRING, P.: Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken. 11. Auflage, Beltz: Weinheim et al. 2010.

MERTINS et al. (1996)

MERTINS, K./RABE, M./FRIEDLAND, R.: Referenzmodell Fertigungssysteme – Effizientere Simulation bei größerem Nutzen. In: KRUG, W. (Hrsg.): Simulationstechnik – 10. Symposium in Dresden, September 1996, Tagungsband. Vieweg: Braunschweig et al. 1996, S. 95–100.

MEUSER et al. (1991)

MEUSER, M./NAGEL, U.: ExpertInneninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht – Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. In: GARZ, D./KRAIMER, K. (Hrsg.): Qualitativ-empirische Sozialforschung – Konzepte, Methoden, Analysen. Westdeutscher Verlag: Opladen 1991, S. 441–471.

MEUSER et al. (2009)

MEUSER, M./NAGEL, U.: Das Experteninterview — konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage. In: PICKEL, S./PICKEL, G./LAUTH, H.-J./JAHN, D. (Hrsg.): Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft – Neue Entwicklungen und Anwendungen. VS Verlag für Sozialwissenschaften: Wiesbaden 2009, S. 465–479.

MÖHRLE (1989)

MÖHRLE, M.: Petrinetze in der Produktionstechnik – Integration von Planung, Simulation und Steuerung von Produktionsanlagen. Dissertation. Ruhr-Universität: Bochum 1989.

MOTTA et al. (2008)

MOTTA, M./WAGNITZ, A./HELLINGRATH, B./WELLER, R.: Gestaltung logistischer Netzwerke – ein Praxisbericht. In: RABE, M. (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Zugleich 13. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Berlin, 01.-02.10.2008, Tagungsband. Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart 2008, S. 21–30.

MÜLLER et al. (2007)

MÜLLER, E./NÄSER, P./ACKERMANN, J./EGDMANN, M.: Integrative, simulationsgestützte Logistikstruktur- und Produktionsstättenplanung. In: ENGELHARDT-NOWITZKI, C./NOWITZKI, O./KRENN, B. (Hrsg.): Management komplexer Materialflüsse mittels Simulation – State-of-the-Art und innovative Konzepte. Deutscher Universitäts-Verlag: Wiesbaden 2007, S. 23–37.

NOCHE et al. (1993)

NOCHE, B./BERNHARD, W./KRAUTH, J./MEYER, R./WENZEL, S.: Simulationsinstrumente im Überblick. In: KUHN, A./REINHARDT, A./WIENDAHL, H.-P. (Hrsg.): Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik. Vieweg: Braunschweig et al. 1993, S. 267–308.

NOCHE (1997)

NOCHE, B.: Simulation von Standardmodellen in der Logistik. In: KUHN, A./WENZEL, S. (Hrsg.): Simulationstechnik. 11. Symposium November 1997 in Dortmund, Tagungsband. Vieweg: Braunschweig et al. 1997, S. 427–435.

NOCHE (1998)

NOCHE, B.: Flexible Standardsimulatoren ohne Programmierung. In: MERTINS, K./RABE, M. (Hrsg.): Erfahrungen aus der Zukunft. 8. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, 16.-17.02.1998 in Berlin, Tagungsband. IPK Eigenverlag: Berlin 1998, S. 133–142.

NYHUIS et al. (2012)

NYHUIS, P./WIENDAHL, H.-P.: Logistische Kennlinien – Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 3. Auflage, Springer: Berlin et al. 2012.

o.V. (o.J.)

o.V.: Internetbasierte Simulationsanwendungen für KMU – Projekt-Flyer. simKMU. o.O. o.J. Online verfügbar unter <https://www.simkmu.de/simkmu/media?id=111&cat=FLYER>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

o.V. (1999)

o.V.: MOSIM – Modellversuch Simulationstechnik für den Mittelstand. Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Projektträger Karlsruhe Produktion und Fertigungstechnologien (PT-KA-PFT). o.O. 1999. Online verfügbar unter http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.htm?VP_ID=105, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

o.V. (2011)

o.V.: Preise Plant Simulation. Telefonische Auskunft an Stefanie Rudel, 04.11.2011.

o.V. (2013)

o.V.: Preis EXSPECT-Lizenzen. o.O. 2013. Online verfügbar unter <http://www.exspect.com/>, zuletzt geprüft am 10.06.2013.

PARTSCH (2010)

PARTSCH, H. A.: Requirements-Engineering systematisch – Modellbildung für softwaregestützte Systeme. 2. Auflage, Springer: Heidelberg et al. 2010.

PATRIGNANI (2013)

PATRIGNANI, M.: Re: Your Software GDToolkit. E-Mail an Stefanie Rudel, 17.06.2013.

PETRI (1962)

PETRI, C. A.: Kommunikation mit Automaten. Dissertation. Technische Hochschule Darmstadt: Darmstadt 1962.

PETRI NETS WORLD (o.J.a)

PETRI NETS WORLD: Petri Nets Tool Database. University of Hamburg, Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Department of Informatics, TGI Group. Hamburg o.J. Online verfügbar unter <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/db.html>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

PETRI NETS WORLD (o.J.b)

PETRI NETS WORLD: Petri Nets World. University of Hamburg, Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Department of Informatics, TGI Group. Hamburg o.J. Online verfügbar unter <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

PETRI NETS WORLD (2013)

PETRI NETS WORLD: Abfrage Petri Nets Tool Database vom 13.06.2013. University of Hamburg, Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Department of Informatics, TGI Group. Hamburg 2013. Online verfügbar unter <http://www.informatik.uni-hamburg.de/cgi-bin/TGI/tools/search>, zuletzt geprüft am 13.06.2013.

PFOHL et al. (1981)

PFOHL, H.-C./BRAUN, G. E.: Entscheidungstheorie – Normative und deskriptive Grundlagen des Entscheidens. Verlag Moderne Industrie: Landsberg am Lech 1981.

PFOHL (2010)

PFOHL, H.-C.: Logistiksysteme – Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 8. Auflage, Springer: Heidelberg et al. 2010.

POSPISCHIL (2014)

POSPISCHIL, S.: Re: Referenzmodell Fertigungssysteme. E-Mail an Stefanie Rudel, 03.03.2014.

PRZYBORSKI et al. (2008)

PRZYBORSKI, A./WOHLRAB-SAHR, M.: Qualitative Sozialforschung – Ein Arbeitsbuch. Oldenbourg: München 2008.

RABE et al. (1997)

RABE, M./MÜLLER, W./OHLE, F.: Modellierung mit dem Referenzmodell Fertigungssysteme – ein Erfahrungsbericht. In: KUHN, A./WENZEL, S. (Hrsg.): Simulationstechnik. 11. Symposium November 1997 in Dortmund, Tagungsband. Vieweg: Braunschweig et al. 1997, S. 422–426.

RABE et al. (2001)

RABE, M./HELLINGRATH, B. (Hrsg.): Handlungsanleitung Simulation in Produktion und Logistik – Ein Leitfaden mit Beispielen für kleinere und mittlere Unternehmen. SCS International: San Diego 2001.

RABE et al. (2006)

RABE, M./MERTINS, K.: Fraunhofer Simulation Reference Models. In: BERNUS, P./MERTINS, K./SCHMIDT, G. (Hrsg.): Handbook of Architectures of Information Systems. 2. Auflage. Springer: Berlin et al. 2006, S. 693–704.

RABE et al. (2008)

RABE, M./SPIECKERMANN, S./WENZEL, S.: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik – Vorgehensmodelle und Techniken. Springer: Berlin et al. 2008.

REISIG (1982)

REISIG, W.: Petrinetze – Eine Einführung. Springer: Berlin et al. 1982.

REISIG (1985a)

REISIG, W.: Petri nets with individual tokens. In: Theoretical Computer Science, Vol. 41 (1985), S. 185–213.

REISIG (1985b)

REISIG, W.: Systementwurf mit Netzen. Springer: Berlin et al. 1985.

REISIG (1987)

REISIG, W.: Place/transition systems. In: BRAUER, W./REISIG, W./ROZENBERG, G. (Hrsg.): Petri Nets: Central Models and Their Properties – Advances in Petri Nets 1986, Part I, Proceedings of an Advanced Course, Bad Honnef, 8.-19. September 1986. Springer: Berlin et al. 1987, S. 117–141.

REISIG (2010)

REISIG, W.: Petrinetze – Modellierungstechnik, Analysemethoden, Fallstudien. Vieweg+Teubner Verlag: Wiesbaden 2010.

RENKEN (2014)

RENKEN, H.: Re: Ihr Simulationstool d3 FACT insight. E-Mail an Stefanie Rudel, 25.01.2014.

ROSEMANN (1996)

ROSEMANN, M.: Komplexitätsmanagement in Prozeßmodellen – Methodenspezifische Gestaltungsempfehlungen für die Informationsmodellierung. Dissertation, Universität Münster. Gabler: Wiesbaden 1996.

ROSEMANN et al. (2012)

ROSEMANN, M./SCHWEGMANN, A./DELFMANN, P.: Vorbereitung der Prozessmodellierung. In: BECKER, J./KUGLER, M./ROSEMANN, M. (Hrsg.): Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. 7. Auflage. Springer Gabler: Berlin et al. 2012, S. 47–111.

ROSENSTENGEL et al. (1991)

ROSENSTENGEL, B./WINAND, U.: Petri-Netze – Eine anwendungsorientierte Einführung. 4. Auflage, Vieweg: Braunschweig 1991.

RUDEL (2014a)

RUDEL, S.: Experteninterview Heiland. Unterhaching 2014.

RUDEL (2014b)

RUDEL, S.: Experteninterview Markl. Unterhaching 2014.

RUDEL (2014c)

RUDEL, S.: Experteninterview Zilske. Unterhaching 2014.

RUDEL (2014d)

RUDEL, S.: Leitfaden für Experteninterview – Vorlage. Version 1.0. Unterhaching 2014.

RUDEL (2016a)

RUDEL, S.: Nutzerhandbuch – Baukastensystem KMUSimMetall. Version 1.0. Unterhaching 2016.

RUDEL (2016b)

RUDEL, S.: PACE model: Simulationsmodell Dissertation – January 20, 2016 2:55:12 pm. Version 1.0. Unterhaching 2016.

RUDEL (2016c)

RUDEL, S.: PACE model: Simulationsmodell Musterunternehmen – January 13, 2016 10:23:21 am. Version 1.0. Unterhaching 2016.

RUDEL (2016d)

RUDEL, S.: Simulationsmodell Dissertation – Dokumentation. Version 1.0. Unterhaching 2016.

SARSHAR et al. (2005)

SARSHAR, K./LOOS, P.: Modellierung überbetrieblicher Behandlungsprozesse durch Objekt-Petrinetze. In: Wirtschaftsinformatik, Vol. 47 (2005), No. 3, S. 203–210.

SCHEUCH (2004)

SCHEUCH, R.: Mit der UML 2.0 Geschäftsprozesse modellieren: Ein Vergleich marktrelevanter Methoden und Alternativen. In: Objektspektrum, Vol. 3 (2004), No. 3, S. 29–32.

SCHMIDT (1988)

SCHMIDT, B.: Simulation von Produktionssystemen. In: FELDMANN, K./SCHMIDT, B. (Hrsg.): Simulation in der Fertigungstechnik – Fachbereich Simulation, Band 10. Springer: Berlin et al. 1988, S. 1–45.

SCHMIDT et al. (1993)

SCHMIDT, U./TRIEMER, S.: Anwendung der Simulation in der Materialflußplanung. In: KUHN, A./REINHARDT, A./WIENDAHL, H.-P. (Hrsg.): Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik. Vieweg: Braunschweig et al. 1993, S. 75–91.

SCHMIDT (2000)

SCHMIDT, B.: Einführung in die Simulation mit SIMPLEX3. SCS-Europe BVBA: Ghent 2000.

SCHNEIDER (2005)

SCHNEIDER, J.: Effektive Integration und effiziente Nutzung betrieblicher Simulationsmethoden und -werkzeuge im operativen Geschäft von Industrieunternehmen – Bericht über Verlauf und Ergebnisse eines Forschungssemesters im SS 2005. Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven. o.O. 2005. Online verfügbar unter http://www.fh-oow.de/forschungsdatenbank/docs/Forschungsbericht_20092006120632.pdf, zuletzt geprüft am 02.03.2012, am 18.01.2016 nicht mehr verfügbar.

SCHULTE (2013)

SCHULTE, C.: Logistik – Wege zur Optimierung des Material- und Informationsflusses. 6. Auflage, Vahlen: München 2013.

SCHULZ et al. (2007)

SCHULZ, A./ZÜFLE, E./SOMMER, L./HAUG, M.: Simulation in der operativen Produktionsplanung – Erfolgsfaktoren für KMU. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 102 (2007), Nos. 1–2, S. 32–36.

SCHÜTTE (1998)

SCHÜTTE, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung – Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Dissertation, Universität Münster (Westfalen), 1997. Gabler: Wiesbaden 1998.

SCHÜTTE (1999)

SCHÜTTE, R.: Literaturauffassungen zur Bewertung von Informationsmodellen. In: KASCHEK, R. (Hrsg.): Entwicklungsmethoden für Informationssysteme und deren Anwendung – EMISA' 99 Fachtagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), September 1999 in Fischbachau. Tagungsband. Teubner: Stuttgart et al. 1999, S. 175–195.

SCHWEITZER (1994)

SCHWEITZER, M.: Industrielle Fertigungswirtschaft. In: SCHWEITZER, M. (Hrsg.): Industriebetriebslehre – Das Wirtschaften in Industrieunternehmungen. 2. Auflage. Vahlen: München 1994, S. 569–746.

SCHWIEGELSHOHN (2014)

SCHWIEGELSHOHN, U.: Re: Ihre Software COSIMIR. E-Mail an Stefanie Rudel, 16.01.2014.

SIBERTIN-BLANC (2013)

SIBERTIN-BLANC, C.: Re: Software SYROCO. E-Mail an Stefanie Rudel, 14.06.2013.

SOMMER et al. (2004)

SOMMER, L./PLANKENHORN, A.: Simulation – Verborgene Chancen für den Mittelstand. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 99 (2004), No. 6, S. 303–305.

SPIECKERMANN (2005)

SPIECKERMANN, S.: Diskrete, ereignisorientierte Simulation in Produktion und Logistik – Herausforderungen und Trends. In: SCHULZE, T./HOTON, G./PREIM, B./SCHLECHTWEG, S. (Hrsg.): Simulation und Visualisierung 2005 – SimVis. 03.-04.03.2005 am Institut für Simulation und Graphik der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg, Tagungsband. SCS Publishing House: Erlangen 2005, S. 3–14.

SPIECKERMANN (2008)

SPIECKERMANN, S.: Durchgängige Planungsbegleitung mit Simulation im Mittelstand. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 103 (2008), Nos. 1–2, S. 83–85.

SPIECKERMANN et al. (2010)

SPIECKERMANN, S./HABENICHT, I./ZELLER, G./ZIMMERMANN, J.: Simulationen zur Prüfung von Montage- und Logistikabläufen. SimPlan AG. Maintal 2010. Online verfügbar unter http://www.simplan.de/images/stories/download/Mefisto%20Kongress_Beitrag%20Spieckermann.pdf?ml=4&mlt=system&tmpl=component, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

SPUR et al. (1993)

SPUR, G./MERTINS, K./JOCHEM, R.: Integrierte Unternehmensmodellierung – Entwicklungen zur Normung von CIM. Beuth Verlag: Berlin et al. 1993.

STARKE (1990)

STARKE, P. H.: Analyse von Petri-Netz-Modellen. Teubner: Stuttgart 1990.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2008)

STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Klassifikation der Wirtschaftszweige – Mit Erläuterungen. Wiesbaden 2008.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2014)

STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 2014. Wiesbaden 2014.

STEIGLEDER (2007)

STEIGLEDER, S.: Die strukturierende qualitative Inhaltsanalyse im Praxistest – Eine konstruktiv kritische Studie zur Auswertemethodik von Philipp Mayring. Dissertation, Universität Trier. Tectum Verlag: Marburg 2007.

STEINHAUER (2006)

STEINHAUER, D.: Simulation im Schiffbau – Unterstützung von Werftplanung, Produktionsplanung und Produktentwicklung bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft. In: WENZEL, S. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2006. 12. Fachtagung, 26.-27.09.2006 in Kassel, Tagungsband. SCS Publishing House: San Diego et al. 2006, S. 1–14.

STEINHAUER (2007)

STEINHAUER, D.: Simulation im Schiffbau und Kooperation mit der Bauhaus-Universität Weimar. In: FRANZ, V. (Hrsg.): Simulation in der Bauwirtschaft. 1. IBW Workshop, 13.09.2007 an der Universität Kassel, Tagungsband. Kassel University Press: Kassel 2007, S. 1–13.

STEINHAUER (2008)

STEINHAUER, D.: Simulationsgestützte Optimierung in der schiffbaulichen Produktionsplanung. In: RABE, M. (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Zugleich 13. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Berlin, 01.-02.10.2008, Tagungsband. Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart 2008, S. 459–467.

STEVEN (2007)

STEVEN, M.: Handbuch Produktion – Theorie – Management – Logistik – Controlling. Kohlhammer: Stuttgart 2007.

STRASSBURGER et al. (2010)

STRASSBURGER, S./BERGMANN, S./MÜLLER-SOMMER, H.: Modellgenerierung im Kontext der Digitalen Fabrik – Stand der Technik und Herausforderungen. In: ZÜLCH, G./STOCK, P. (Hrsg.): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. 14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, 07.-08.10.2010 in Karlsruhe, Tagungsband. KIT Scientific Publishing: Karlsruhe 2010, S. 37–44.

STUCKY et al. (1996)

STUCKY, W./WINAND, U.: Anwendungen von Petri-Netzen – Editorial zum Schwerpunktthema. In: Wirtschaftsinformatik, Vol. 38 (1996), No. 4, S. 357–358.

TANENBAUM et al. (2014)

TANENBAUM, A. S./VAN STEEN, M.: Distributed Systems – Principles and Paradigms. 2. Auflage, Pearson Education Limited: Harlow, Essex, England 2014.

TEN HOMPEL et al. (2007)

TEN HOMPEL, M./GÜNTNER, W. A. (Hrsg.): Simulationsgestützte Grobplanung von Kommissioniersystemen. Forschungsbericht zu Projekt-Nr. 14601N. Fraunhofer Institut Materialfluss und Logistik, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Dortmund et al. 2007. Online verfügbar unter http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/Ulbrich_14601_Abschlussbericht.pdf, zuletzt geprüft am 06.07.2015, am 18.01.2016 nicht mehr verfügbar.

THOMMEN et al. (2012)

THOMMEN, J.-P./ACHLEITNER, A.-K.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre – Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht. 7. Auflage, Springer Gabler: Wiesbaden 2012.

TRIVEDI (2013)

TRIVEDI, K. S.: Re: Your Software SPNP. E-Mail an Stefanie Rudel, 13.06.2013.

TROST (2007)

TROST, M.: Gesamtheitliche Anlagenmodellierung und -analyse auf Basis stochastischer Netzverfahren. Dissertation. Universität Stuttgart: Stuttgart 2007.

VAN DER AALST et al. (2011)

VAN DER AALST, W./STAHL, C.: Modeling Business Processes – A Petri Net-Oriented Approach. The MIT Press: Cambridge et al. 2011.

VOGT (2004)

VOGT, C.: Informatik – Eine Einführung in Theorie und Praxis. Spektrum Akademischer Verlag: München 2004.

VOIGT (2004)

VOIGT, T.: Neue Methoden für den Einsatz der Informationstechnologie bei Getränkeabfüllanlagen. Dissertation, Technische Universität München. VDI-Verlag: Düsseldorf 2004.

VON UTHMANN (2001)

VON UTHMANN, C.: Geschäftsprozesssimulation von Supply Chains – Ein Praxisleitfaden für die Konstruktion von Management-orientierten Modellen integrierter Material- und Informationsflüsse. Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg. SCS Europe Publishing House: Ghent 2001.

WACHSMANN (2006)

WACHSMANN, J.: Kennliniengestützte Durchführung von Logistiksimulationen. Dissertation. Universität Hannover: Hannover 2006. Online verfügbar unter <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh06/517145944.pdf>, zuletzt geprüft am 06.07.2015.

WEBER (2002)

WEBER, M.: Allgemeine Konzepte zur software-technischen Unterstützung verschiedener Petri-Netz-Typen. Dissertation. Humboldt-Universität Berlin: Berlin 2002. Online verfügbar unter <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/weber-michael-2002-12-16/PDF/Weber.pdf>, zuletzt geprüft am 06.07.2015.

WEDDELING et al. (2010)

WEDDELING, M./BACKHAUS, K./BECKER, J./BEVERUNGEN, D./FROHS, M./KNACKSTEDT, R./MÜLLER, O./STEINER, M.: Vermarktung hybrider Leistungsbündel – Das ServPay-Konzept. Springer: Heidelberg et al. 2010.

WENZEL et al. (2008)

WENZEL, S./WEISS, M./COLLISI-BÖHMER, S./PITSCH, H./ROSE, O.: Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik. Springer: Berlin et al. 2008.

WENZEL (2009)

WENZEL, S.: Modellbildung und Simulation in Produktion und Logistik – Stand und Perspektiven. In: ELST, G. (Hrsg.): Tagungsband zum ASIM-Treffen STS/GMMS 2009. DASS 2009 in Dresden, 05.-06.03.2009. Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart 2009, S. 7–16.

WENZEL (2010)

WENZEL, S.: VDI-Richtlinien zur Modellbildung und Simulation. In: ZÜLCH, G./STOCK, P. (Hrsg.): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. 14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, 07.-08.10.2010 in Karlsruhe, Tagungsband. KIT Scientific Publishing: Karlsruhe 2010, S. 543–550.

WESTKÄMPER et al. (2006)

WESTKÄMPER, E./DECKER, M.: Einführung in die Organisation der Produktion. Springer: Berlin et al. 2006.

WIECZORREK et al. (2011)

WIECZORREK, H. W./MERTENS, P.: Management von IT-Projekten – Von der Planung zur Realisierung. 4. Auflage, Springer: Berlin et al. 2011.

WIENDAHL (1991)

WIENDAHL, H.-P.: Funktionen in Produktionsunternehmen. In: WIENDAHL, H.-P. (Hrsg.): Analyse und Neuordnung der Fabrik. Springer: Berlin et al. 1991, S. 16–42.

WIRTH et al. (1974)

WIRTH, S./ZEIDLER, H.: Untersuchungen zur Entwicklung und Anwendung von Bausteinen in der technologischen Betriebsprojektierung unter besonderer Berücksichtigung ihrer Schnittparameter. Dissertation B. Technische Universität Dresden: Dresden 1974.

XU (2013)

XU, D.: Re: Your Software Mista. E-Mail an Stefanie Rudel, 13.06.2013.

ZANGEMEISTER (1976)

ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. 4. Auflage, Wittemannsche Buchhandlung: München 1976.

ZANGEMEISTER (2014)

ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. 5. Auflage, Zangemeister & Partner: Winnemark 2014.

ZAPF et al. (2000)

ZAPF, M./HEINZL, A.: Ansätze zur Integration von Petri-Netzen und objektorientierten Konzepten. In: Wirtschaftsinformatik, Vol. 42 (2000), No. 1, S. 36–48.

ZELEWSKI (1987)

ZELEWSKI, S.: Das Petrinetz-Konzept – Ansätze zu seiner inhaltlichen Charakterisierung. Internes Dokument. Industrieseminar der Universität zu Köln: Köln 1987. Online verfügbar unter http://www.pim.wiwi.uni-due.de/uploads/tx_itochair3/publications/Petrinetz-Konzept.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

ZELEWSKI (1995a)

ZELEWSKI, S.: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme – Band 1: Exposition. Universität Leipzig: Leipzig 1995. Online verfügbar unter http://www.pim.wiwi.uni-due.de/uploads/tx_itochair3/publications/leipzig_arbeitsbericht_nr_5.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

ZELEWSKI (1995b)

ZELEWSKI, S.: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme – Band 3: Einführung in Stelle/Transition-Netze. Universität Leipzig: Leipzig 1995. Online verfügbar unter http://www.pim.wiwi.uni-due.de/uploads/tx_itochair3/publications/leipzig_arbeitsbericht_nr_7.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

ZELEWSKI (1995c)

ZELEWSKI, S.: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme – Band 5.1: Einführung in Synthetische Netze – Das Kernkonzept Synthetischer Netze. Universität Leipzig: Leipzig 1995. Online verfügbar unter http://www.pim.wiwi.uni-due.de/uploads/tx_itochair3/publications/leipzig_arbeitsbericht_nr_9.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

ZELEWSKI (1995d)

ZELEWSKI, S.: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme – Band 7: Fallstudie. Universität Leipzig: Leipzig 1995. Online verfügbar unter http://www.pim.wiwi.uni-due.de/uploads/tx_itochair3/publications/leipzig_arbeitsbericht_nr_12.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

ZELEWSKI (1995e)

ZELEWSKI, S.: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme – Band 9: Beurteilung des Petrinetz-Konzepts. Universität Leipzig: Leipzig 1995. Online verfügbar unter http://www.pim.wiwi.uni-due.de/uploads/tx_itochair3/publications/leipzig_arbeitsbericht_nr_14.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

ZELEWSKI (1996)

ZELEWSKI, S.: Eignung von Petrinetzen für die Modellierung komplexer Realsysteme – Beurteilungskriterien. In: Wirtschaftsinformatik, Vol. 38 (1996), No. 4, S. 369–381.

ZELLNER (2003)

ZELLNER, G.: Leistungsprozesse im Kundenbeziehungsmanagement – Identifizierung und Modellierung für ausgewählte Kundentypen. Dissertation. Universität St. Gallen: St. Gallen 2003. Online verfügbar unter <http://www.alexandria.unisg.ch/export/DL/214000.pdf>, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

ZIMMERMANN (1997)

ZIMMERMANN, A.: Modellierung und Bewertung von Fertigungssystemen mit Petri-Netzen. Dissertation. Technische Universität Berlin: Berlin 1997. Online verfügbar unter http://www.researchgate.net/publication/34933862_Modellierung_und_Bewertung_von_Fertigungssystemen_mit_Petri-Netzen_, zuletzt geprüft am 18.01.2016.

ZIMMERMANN (2013)

ZIMMERMANN, A.: Re: Informationen zu TimeNet. E-Mail an Stefanie Rudel, 18.06.2013.

ZSIFKOVITS et al. (2007)

ZSIFKOVITS, H./KRENN, B.: Beherrschung von komplexen Systemen durch Modellbildung und Simulation. In: ENGELHARDT-NOWITZKI, C./NOWITZKI, O./KRENN, B. (Hrsg.): Management komplexer Materialflüsse mittels Simulation – State-of-the-Art und innovative Konzepte. Deutscher Universitäts-Verlag: Wiesbaden 2007, S. 55–70.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere durch meine Unterschrift an Eides statt, dass ich die vorstehende Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und alle Stellen, die ich wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen habe, als solche kenntlich gemacht habe, mich auch keiner anderen als der angegebenen Literatur oder sonstiger Hilfsmittel bedient habe. Die Dissertation hat in dieser oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Unterhaching, den 27.01.2016

Stefanie Rudel

Anhang

Anhang A1:	RUDEL (2014d)	Leitfaden für Experteninterview
Anhang A2:	RUDEL (2014a)	Experteninterview Heiland
Anhang A3:	RUDEL (2014c)	Experteninterview Zilske
Anhang A4:	RUDEL (2014b)	Experteninterview Markl
Anhang A5:	RUDEL (2016d)	Simulationsmodell Dissertation (Dokumentation der Autorin der Dissertation)
Anhang A6:	RUDEL (2016b)	Simulationsmodell Dissertation (Automatische Dokumentation aus PACE)
Anhang A7:	RUDEL (2016c)	Simulationsmodell Musterunternehmen (Automatische Dokumentation aus PACE)
Anhang A8:	RUDEL (2016a)	Nutzerhandbuch