

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XV
Abkürzungsverzeichnis	XVII
Variablenverzeichnis	XIX
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Zeit als Wettbewerbsfaktor	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
<b>2 Die Durchlaufzeit als Planungsproblem</b>	<b>3</b>
2.1 Strategische Bedeutung der Durchlaufzeit	3
2.2 Möglichkeiten der Durchlaufzeitgestaltung	5
2.3 Wirkungsweise der Gestaltungsmöglichkeiten	10
2.4 Modellalternativen für das Produktionssystem	11
<b>3 Eingabedaten eines Modells</b>	<b>14</b>
3.1 Das klinisch-chemische Labor: Charakterisierung als Fertigungstyp	14
3.2 Spezifikation des Systemdesigns	15
3.2.1 Systembestandteile	16
3.2.1.1 Identifikation der Systembestandteile	16
3.2.1.2 Gerätedefinition	16
3.2.1.2.1 Differenzierung der Tätigkeiten	17
3.2.1.2.2 Gerätetypologie	18
3.2.1.2.3 Gerätespezifikation	21
3.2.2 Beziehungen der Systembestandteile	23
3.2.3 Zeiterfassung	26
3.3 Erfassung des Auftragsstromes	29
3.3.1 Auftragsdaten	29
3.3.2 Saisonalität der Auftragsankünfte	30

3.3.3	Berechnung der auftragsspezifischen Bearbeitungszeiten	31
3.3.3.1	Die Gefäße eines Auftrages und ihr Routing durch das Labor	31
3.3.3.2	Die Bearbeitungszeiten für Gefäße	34
<b>4</b>	<b>Entwicklung eines Simulationsmodells</b>	<b>39</b>
4.1	Blickwinkel der Simulation	40
4.2	Konzeption der Simulation	43
4.3	Implementierung des konzeptionellen Modells	45
4.4	Simulationsläufe	49
4.5	Ergebnisberechnung	50
4.6	Modellvalidierung	51
<b>5</b>	<b>Entwicklung allgemeiner analytischer Formeln</b>	<b>54</b>
5.1	Vorbemerkungen	54
5.1.1	Grundzüge der Warteschlangentheorie	55
5.1.2	Anforderungen an das analytische Modell	60
5.1.3	Validierung der allgemeinen analytischen Formeln	60
5.2	Modellierung einzelner Knoten	64
5.2.1	Knoten mit sequentieller Bearbeitung	64
5.2.1.1	Das G/G/1-Modell	65
5.2.1.2	Erweiterung zum G/G/c-Modell	70
5.2.1.2.1	Bearbeitung eines Auftrages an einem Server	71
5.2.1.2.2	Bearbeitung eines Auftrages an mehreren Servern	73
5.2.1.3	Erweiterung zum G/G/c-Modell mit Prioritäten	76
5.2.1.3.1	Non-Preemptive Priority	76
5.2.1.3.2	Preemptive Resume	82
5.2.1.4	Zusammenfassung	84
5.2.1.4.1	Berechnungsvorschriften für die Wartezeit	85
5.2.1.4.2	Anwendung auf das Labor	87
5.2.1.4.3	Berechnung der Durchlaufzeit	92
5.2.2	Knoten mit paralleler Bearbeitung	95
5.2.2.1	Knoten ohne Kapazitätsbeschränkung	96
5.2.2.2	Knoten mit Kapazitätsbeschränkung	102
5.2.2.3	Erweiterung um parallele Server	106
5.2.2.4	Erweiterung um Prioritätsklassen	109
5.2.2.4.1	Prioritäten bei Knoten ohne Kapazitätsbeschränkung	109
5.2.2.4.2	Prioritäten bei Knoten mit Kapazitätsbeschränkung	114

5.2.2.5	Zusammenfassung	118
5.2.2.5.1	Berechnungsvorschriften für die Wartezeit	118
5.2.2.5.2	Anwendung auf das Labor	122
5.2.2.5.3	Berechnung der Durchlaufzeit	125
5.3	Modellierung der Durchlaufzeit bei serieller Bearbeitung auf mehreren Knoten	129
5.3.1	Vorbemerkungen	129
5.3.2	Dekompositionsapproximation	131
5.3.3	Berücksichtigung des Bedienpersonals	142
5.4	Modellierung der Durchlaufzeit bei paralleler Bearbeitung auf mehreren Knoten	151
5.4.1	Erweiterung des Warteschlangennetzes um Synchronisationsknoten	151
5.4.2	Ableitung des Multiplikators	154
5.4.2.1	Aggregation von zwei parallelen Wegen	154
5.4.2.2	Aggregation mehrerer paralleler Wege	156
5.5	Modellierung von Mischformen	158
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>164</b>
Literaturverzeichnis		167
Nachwort		179

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2 - 1:	Ziele der Unternehmung	4
Abbildung 2 - 2:	Grundstruktur eines Modells	11
Abbildung 2 - 3:	Einsatz der Modellarten im Entscheidungsprozeß	13
Abbildung 3 - 1:	Allgemeine Definition einer Workcell	16
Abbildung 3 - 2:	Verteilungsannahme manueller Tätigkeiten	18
Abbildung 3 - 3:	Gerätetypologie	20
Abbildung 3 - 4:	Zusammenfassung der Gerätedefinition	21
Abbildung 3 - 5:	Taktzeit und technische Verzögerungszeit eines Gerätes	22
Abbildung 3 - 6:	Beziehungsstruktur zwischen den Systembestandteilen	24
Abbildung 3 - 7:	Definition der Personalzeit	28
Abbildung 3 - 8:	Beziehung der Personalbindung zur Bearbeitungszeit	29
Abbildung 3 - 9:	Saisonalität der Auftragsankünfte eines Labors	30
Abbildung 3 - 10:	Gefäße eines Beispielauftrages	32
Abbildung 3 - 11:	Lebenszyklus eines Beispielgefäßes	33
Abbildung 3 - 12:	Bearbeitungszeit eines Gefäßes: unselektiv - unverschachtelt	36
Abbildung 3 - 13:	Bearbeitungszeit eines Gefäßes: selektiv - unverschachtelt	36
Abbildung 3 - 14:	Bearbeitungszeit eines Gefäßes: selektiv - verschachtelt	37
Abbildung 4 - 1:	Phasen des Modellbildungsprozesses	39
Abbildung 4 - 2:	Identifikation relevanter Events	40
Abbildung 4 - 3:	Beziehungsstruktur der Events und Routinen der Laborsimulation	42

Abbildung 4 - 4:	Implementierung des konzeptionellen Modells	46
Abbildung 4 - 5:	Analyse der Auslastungen und Durchlaufzeiten	47
Abbildung 4 - 6:	Warteschlangenanalyse	48
Abbildung 4 - 7:	Vergleich der Durchlaufzeiten eines Labors und der Simulationsergebnisse	52
Abbildung 4 - 8:	Gegenüberstellung der Histogramme der Durchlaufzeiten	53
Abbildung 5 - 1:	Das elementare Warteschlangensystem	54
Abbildung 5 - 2:	Übergangsgraph des M/M/1-Warteschlangensystems	57
Abbildung 5 - 3:	Identifikation der Anlaufphase über die <i>crossing-of-the-mean</i> -Methode	62
Abbildung 5 - 4:	Einteilung der Outputzeitreihe in N Batches	63
Abbildung 5 - 5:	Bearbeitungsknoten einer Workcell	64
Abbildung 5 - 6:	Parameter der Dreiecksverteilung	68
Abbildung 5 - 7:	Wartezeit für das G/G/1-Warteschlangensystem	69
Abbildung 5 - 8:	Approximation des Multi-Server-Systems	71
Abbildung 5 - 9:	Durchlaufzeit für das G/G/c-Warteschlangensystem	73
Abbildung 5 - 10:	Bearbeitungszyklen eines Auftrages	73
Abbildung 5 - 11:	Durchlaufzeit bei paralleler Bearbeitung eines Auftrages auf mehreren Servern	75
Abbildung 5 - 12:	Komposition zweier Ankunftsprozesse	79
Abbildung 5 - 13:	Wartezeit bei sequentieller Bearbeitung von zwei Auftragsklassen ohne Verdrängung	81
Abbildung 5 - 14:	Durchlaufzeit bei sequentieller Bearbeitung von zwei Auftragsklassen mit Verdrängung	84
Abbildung 5 - 15:	Komponenten der Wartezeit vor einem Knoten mit paralleler Bearbeitung	95

Abbildung 5 - 16:	Unterteilung der Bearbeitungszeit eines Knotens ohne Kapazitätsbeschränkung	96
Abbildung 5 - 17:	Zeit bis zum Erreichen der Startbatchgröße ( $B = 4$ )	97
Abbildung 5 - 18:	Auseinanderfallen von Auftragsankunft und Start des Gerätes	98
Abbildung 5 - 19:	Durchlaufzeit eines parallel bearbeitenden Knotens ohne Kapazitätsbeschränkung	100
Abbildung 5 - 20:	Approximationsansatz für Knoten mit Kapazitätsbeschränkung	103
Abbildung 5 - 21:	Durchlaufzeit eines parallel bearbeitenden Knotens mit Kapazitätsbeschränkung	105
Abbildung 5 - 22:	Durchlaufzeit eines Multi-Server-Systems mit parallel bearbeitendem Knoten ohne Kapazitätsbeschränkung	108
Abbildung 5 - 23:	Gleiche Wartezeiten der Auftragsklassen an einem Knoten ohne Kapazitätsbeschränkung	109
Abbildung 5 - 24:	Unterschiedliche Wartezeiten der Auftragsklassen an einem Knoten ohne Kapazitätsbeschränkung	110
Abbildung 5 - 25:	Approximationsansatz für Prioritäten bei Knoten ohne Kapazitätsbeschränkung	111
Abbildung 5 - 26:	Durchlaufzeit eines parallel bearbeitenden Knotens ohne Kapazitätsbeschränkung für zwei Auftragsklassen	113
Abbildung 5 - 27:	Approximationsansatz für Prioritäten bei Knoten mit Kapazitätsbeschränkung	114
Abbildung 5 - 28:	Wartezeit eines parallel bearbeitenden Knotens mit Kapazitätsbeschränkung für zwei Auftragsklassen	116
Abbildung 5 - 29:	Iteratives Verfahren zur Bestimmung der Anzahl der Ankünfte während der Geräteblockierung	124
Abbildung 5 - 30:	Informationsübermittlung der Aufträge mit der letzten Bearbeitungsstation an einem parallel bearbeitenden Knoten	125
Abbildung 5 - 31:	Klassifikation der analytischen Verfahren	130
Abbildung 5 - 32:	Interaktionen zwischen den Bearbeitungsknoten eines Warteschlangennetzes	132

Abbildung 5 - 33:	Abschätzung des Variationskoeffizienten des Abgangsprozesses	135
Abbildung 5 - 34:	Eliminierung der direkten Rückkoppelungen eines Knotens	137
Abbildung 5 - 35:	Iteratives Verfahren nach Kuehn	138
Abbildung 5 - 36:	Task-Präzedenzgraph und Verzögerungsglieder bei serieller Bearbeitung	139
Abbildung 5 - 37:	Geräteausstattung und Materialflüsse eines Laborauschnittes	140
Abbildung 5 - 38:	Durchlaufzeit durch einen Knoten unter Berücksichtigung des Bedienpersonals	143
Abbildung 5 - 39:	Approximationsansatz zur Berücksichtigung des Bedienpersonals	143
Abbildung 5 - 40:	Iteratives Verfahren zur Berücksichtigung des Bedienpersonals	149
Abbildung 5 - 41:	Task-Präzedenzgraph eines Auftrages mit parallelen Bearbeitungsschritten	152
Abbildung 5 - 42:	Teilbereich eines Synchronisationsnetzes für den Auftrag mit parallelen Bearbeitungsschritten	152
Abbildung 5 - 43:	Ersatz der seriellen Bearbeitungsschritte innerhalb des Fork-Join-Knotens im Synchronisationsnetz	153
Abbildung 5 - 44:	Aggregation mehrerer paralleler Wege ( $V = 4$ )	157
Abbildung 5 - 45:	Task-Präzedenzgraph zur Abbildung der Mischformen	158
Abbildung 5 - 46:	Teilbereich eines Fork-Join-Warteschlangennetzes für einen Auftrag	159
Abbildung 5 - 47:	Verzögerungsglieder des Beispielauftrages	159
Abbildung 5 - 48:	Aggregation der seriellen Verzögerungsglieder innerhalb der parallelen Wege	160
Abbildung 5 - 49:	Eliminierung des unsynchronisierten Fork-Knotens	161
Abbildung 5 - 50:	Zusammenfassung weiterer serieller Verzögerungsglieder	161
Abbildung 5 - 51:	Ergebnis der sukzessiven Zusammenfassung des Warteschlangennetzes	162

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 3 - 1:	Äquivalenz zwischen Fertigung und Labor	15
Tabelle 3 - 2:	Bearbeitungszeiten für Endgeräte	27
Tabelle 3 - 3:	Bearbeitungszeiten für gefäßbezogene Geräte	27
Tabelle 3 - 4:	Personalbearbeitung (Personalbindung) der Geräte	28
Tabelle 5 - 1:	Notation zur Beschreibung von Warteschlangensystemen	56
Tabelle 5 - 2:	Gleichungssystem für ein M/M/1-Warteschlangensystem	58
Tabelle 5 - 3:	Auftragsdurchlaufzeit bei serieller Bearbeitung auf mehreren Knoten	141
Tabelle 5 - 4:	Durchlaufzeit der Anforderungsmuster bei serieller Bearbeitung auf mehreren Knoten	142
Tabelle 5 - 5:	Auftragsdurchlaufzeit bei serieller Bearbeitung unter Berücksichtigung des Bedienpersonals	150
Tabelle 5 - 6:	Durchlaufzeit der Anforderungsmuster bei serieller Bearbeitung unter Berücksichtigung des Bedienpersonals	150
Tabelle 5 - 7:	Durchlaufzeit durch den Fork-Join-Knoten für zwei parallele Wege	156
Tabelle 5 - 8:	Durchlaufzeit durch den Fork-Join-Knoten für mehrere parallele Wege	157
Tabelle 5 - 9:	Auftragsdurchlaufzeit bei serieller und paralleler Bearbeitung auf mehreren Knoten	162