

Martin Kaupp (Hrsg.)

Simulation im Luftverkehr

Analyse - Modellierung -
Implementierung - Ergebnisse

DeutscherUniversitäts Verlag

Inhaltsverzeichnis

System - Simulation - Systemsimulation

Martin Kaupp

1	System.....	3
1.1	Der Systembegriff.....	3
1.1.1	Arten von Systemen.....	4
1.1.2	Systemstruktur und Systemzustand.....	5
1.1.3	System und Systemumgebung.....	7
1.1.4	Mehrstufigkeit der Systembetrachtung.....	8
1.2	Systemeigenschaften.....	9
1.2.1	Offenheit.....	10
1.2.2	Dynamik.....	10
1.2.3	Determiniertheit.....	11
1.2.4	Kompliziertheit und Komplexität.....	12
1.3	Das Verhalten kybernetischer Systeme.....	13
1.4	Steuerung und Regelung als Mechanismen zur Zielerreichung.....	15
1.4.1	Steuerung.....	15
1.4.2	Regelung.....	16
1.4.3	Systemstabilität aufgrund von Steuerung und Regelung.....	18
1.4.4	Vernaschte Regelkreise und Hierarchie von Regelkreisen.....	19
1.5	Anpassung.....	20
1.6	Systemzweck und Systemziel.....	23
1.7	Systemtheorie und Systemdenken.....	24
1.7.1	Der Systemansatz.....	24
1.7.2	Das systemtheoretische, ganzheitliche Denken.....	24
1.7.3	Anwendung in der Betriebswirtschaft.....	25
2	Simulation.....	27
2.1	Der Begriff Simulation.....	27
2.2	Systemanalyse und Modellbildung.....	28
2.2.1	Systemanalyse.....	29

2.2.2	Modellbildung als wissenschaftlicher Erkenntnisprozess.....	30
2.2.3	Das abstrakte Modell.....	31
2.2.4	Das reale Modell.....	33
2.2.4.1	Aufbau des realen Modells.....	33
2.2.4.2	Klassifikation der realen Modelle.....	34
2.3	Untersuchung des Systemverhaltens.....	36
2.4	Validierung und Gültigkeit von Modellen und Ergebnissen.....	37
2.4.1	Modellvalidierung und Modellgültigkeit.....	37
2.4.2	Anwendbarkeit der Modelle und der Modellergebnisse.....	39
2.5	Charakterisierung der Simulation.....	40
3	Systemsimulation.....	41
3.1	Das Unternehmen als System.....	42
3.1.1	Systemeigenschaften eines Unternehmens.....	43
3.1.2	Die Abbildung des Unternehmens in einem kybernetischen Modell.....	44
3.2	Ziele der betriebswirtschaftlichen Systemsimulation.....	46
3.3	Vorgehen bei der Systemsimulation.....	47
3.3.1	Definitions- und Analysephase.....	48
3.3.2	Modellierungsphase.....	51
3.3.3	Entwurf und Aufbau des abstrakten Modells.....	52
3.3.4	Der Black-Box-Ansatz.....	52
3.3.5	Entwurf und Aufbau des realen Modells - die EDV-Implementierung ..	55
3.3.6	Simulationsphase.....	56
3.3.7	Umsetzungsphase.....	57
3.3.8	Systemsimulation und Software-Engineering.....	58
3.4	Der Einsatz von EDV-Systemen.....	59
3.4.1	Simulationsmodelle und Entscheidungsunterstützungssysteme.....	59
3.4.2	EDV-Werkzeuge zur Implementierung des Simulationsmodells.....	61
4	Anwendungsbeispiel zur Systemsimulation.....	63
4.1	Problembeschreibung und Zielsetzung.....	63
4.1.1	Das Problemfeld der Produktionsplanung und -Steuerung.....	64
4.1.2	Ziele der Produktionsplanung und -Steuerung.....	65
4.1.3	Analyse des Produktionsunternehmens und der Produktions- bedingungen.....	66
4.1.3.1	Produktionsanlagen und Produktionsprozess.....	66

4.1.3.2	Faktorbezogene Eigenschaften der Produktion.....	67
4.1.3.3	Ablauf der Auftragsdisposition und der Maschinenbelegungs- planung.....	68
4.1.3.4	Definition des Planungsproblems in dem Unternehmen.....	68
4.1.3.5	Operationalisierung der Ziele.....	69
4.1.3.6	Informationsbedarfs- und Datenbestandsanalyse.....	69
4.2	Der Modellaufbau.....	70
4.2.1	Problemdekomposition und Komplexitätsreduktion.....	70
4.2.2	Durchlauforientiertes Produktionsmodell.....	71
4.2.3	Die Modellform.....	72
4.2.4	Grundmodell des Simulationsprogramms.....	72
4.2.5	Die Generierung und Einplanung der Aufträge.....	74
4.2.5.1	Produktbezogene Anlagenauswahl.....	75
4.2.5.2	Auftragsbezogene Anlagenauswahl.....	75
4.2.5.3	Simulation der Auftragseinlastung.....	75
4.2.6	Heuristische Verfahren der Grobplanung.....	75
4.2.6.1	Trennung in Termin- und Normalaufträge.....	76
4.2.6.2	Einplanung der Terminaufträge.....	76
4.2.6.3	Einplanung der Normalaufträge.....	78
4.2.6.4	Einplanung der Reinigungszeiten.....	79
4.2.6.5	Zusammenfassung der Grobplanung.....	79
4.2.7	Feinplanung.....	81
4.2.8	Die Simulationskomponenten des Modells.....	81
4.2.8.1	Anwendung der Monte-Carlo-Methode.....	81
4.2.8.2	Methoden zur Abbildung stochastischer und deterministischer Modellbestandteile.....	82
4.2.8.3	Variation der Input-Daten.....	83
4.2.8.4	Zusammenfassende Darstellung der Simulationskomponenten.....	84
4.2.9	Implementierung des Modells.....	85
4.3	Die Simulationsexperimente.....	85
4.3.1	Klassifikation der Simulationsexperimente.....	85
4.3.2	Vorgehen bei den Simulationsexperimenten.....	86
4.3.3	Die Simulationsergebnisse.....	87
4.3.3.1	Simulation alternativer Anteile von Terminaufträgen an dem Auftragsbestand.....	87
4.3.3.2	Untersuchung unterschiedlicher Prioritätsregeln zur Ein- planung der Normalaufträge.....	88
4.3.3.3	Untersuchung von internen Zufallseinflüssen.....	89

4.3.3.4	Variation der Modellstruktur.....	89
4.4	Umsetzungsphase unter Einsatz des Simulationsmodells.....	91
5	Betriebswirtschaftliche Systemsimulation.....	95
5.1	Die Integration eines Simulationsmodells in das Controllingsystem eines Unternehmens.....	95
5.1.1	Aufgaben und Instrumente des Controlling.....	95
5.1.2	Einsatz des Simulationsmodells als Controllinginstrument.....	95
5.2	Entscheidungsunterstützung als Ziel betriebswirtschaftlicher Systemsimulation	97
5.2.1	Unterstützung operativer Entscheidungen.....	98
5.2.2	Unterstützung strategischer Entscheidungen.....	99
5.3	Beurteilung der betriebswirtschaftlichen Systemsimulation.....	101
5.3.1	Simulation als Methode.....	101
5.3.2	Simulation als Vorgehensweise.....	101
	Literaturverzeichnis.....	104

Simulationsgestützte Besatzungseinsatzplanung einer Luftverkehrsgesellschaft

Martin Kaupp/Markus Pauly/Richard Pibernik

1	Simulationsgestützte Produktionsplanung und -Steuerung einer Luftverkehrsgesellschaft.....	111
1.1	Der Produktionsprozeß in Luftverkehrsgesellschaften.....	111
1.1.1	Aggregierte Gesamtplanung.....	112
1.1.2	Kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung.....	113
1.1.3	Detaillierte Ressourceneinsatzplanung.....	113
1.1.4	Segmentspezifische Feinplanung und-Steuerung.....	114
1.2	Der Einsatz von Simulationsmodellen zur Unterstützung von Produktionsplanungs-und-Steuerungssystemen.....	115
1.3	Simulationsmodell zur Unterstützung der Personaleinsatzplanung und -Steuerung bei der Deutschen Lufthansa AG.....	117
2	Die Besatzungseinsatzplanung einer Luftverkehrsgesellschaft.....	119

2.1	Das fliegende Personal einer Luftverkehrsgesellschaft.....	119
2.2	Allgemeine Darstellung der Besetzungseinsatzplanung.....	119
2.3	Ablauf der Besetzungseinsatzplanung.....	121
2.3.1	Ablauf der unpersönlichen Planungsphase.....	122
2.3.1.1	Zielkriterien in der unpersönlichen Phase.....	122
2.3.1.2	Erstellung der Maschinenumlaufpläne.....	123
2.3.1.3	Erstellung der Besetzungsumläufe.....	124
2.3.2	Ablauf der persönlichen Planungsphase.....	125
2.3.2.1	Zielkriterien der persönlichen Phase.....	125
2.3.2.2	Aufteilung der Besetzung in Kleingruppen.....	126
2.3.2.3	Erstellung der Dienstpläne.....	127
2.3.2.4	Planverwaltung.....	129
2.4	Die Reserveplanung im Rahmen der Besetzungseinsatzplanung.....	130
2.4.1	Zielkriterien der Reserveplanung.....	130
2.4.2	Reservedimensionierung.....	131
2.4.3	Einplanung der Reserven.....	132
3	Entwurf des Simulationsmodells zur Analyse der Besetzungseinsatzplanung.....	135
3.1	Der Realitätsausschnitt.....	135
3.2	Der Simulationsablauf.....	135
3.3	Informationsbedarfsanalyse.....	137
3.3.1	Datenanforderung.....	137
3.3.2	Datenerhebung.....	138
3.3.2.1	Produktionsprogrammdateien.....	138
3.3.2.2	Personalkapazitäts- und -bedarfsdaten.....	139
3.3.2.3	Personalverfügbarkeitsdaten.....	141
4	Simulation der persönlichen Planungsphase.....	143
4.1	Einplanung individueller Restriktionen.....	143
4.1.1	Urlaub der Flugbegleiter.....	144
4.1.1.1	Bezahlter Urlaub.....	144
4.1.1.2	Unbezahlter Urlaub.....	145
4.1.1.3	Mutterschaftsurlaub.....	145
4.1.2	Krankheit der Flugbegleiter.....	145
4.1.3	Teilzeit und sonstige langfristige NichtVerfügbarkeiten.....	146
4.1.4	Sonstige Tätigkeiten der Flugbegleiter.....	146

4.2	Einplanung der Requests.....	147
4.2.1	Off-Tage-Requests.....	147
4.2.2	Umlauf-Requests.....	147
4.3	Einplanung von Reserven.....	148
4.4	Einplanung von Besatzungsumläufen.....	148
4.5	Abbildung tarifvertraglicher Restriktionen.....	148
4.5.1	Flugzeit, Flugdienstzeit und Arbeitszeit.....	149
4.5.2	Ruhezeiten.....	150
4.5.3	Freie Tage.....	151
4.5.4	Sonstige tarifvertragliche Restriktionen.....	151
4.6	Darstellung des Planungsalgorithmus.....	152
4.6.1	Problembeschreibung.....	152
4.6.1.1	Zuordnungsproblem.....	152
4.6.1.2	Problem der ungleichen Flugstundenverteilung.....	153
4.6.2	Heuristisches Lösungsverfahren des Zuordnungsproblems.....	154
4.6.2.1	Sortierung der Umläufe.....	156
4.6.2.2	Änderung der Flugbegleiterreihenfolge.....	157
4.6.3	Verbesserungsverfahren.....	158
4.6.3.1	Verdichtungsstrategie.....	158
4.6.3.2	Zielwertverfahren.....	158
4.6.3.3	Parametervariationen.....	159
5	Simulation der Planabarbeitung.....	161
5.1	Simulation von Störereignissen.....	161
5.1.1	Störungen durch Krankheiten.....	161
5.1.1.1	Dateninput.....	161
5.1.1.2	Generierung der Krankheitsfälle.....	162
5.1.1.3	Auswirkung eines Krankheitsfalls auf einen begonnenen Flugeinsatz.....	162
5.1.2	Operationelle Störereignisse.....	162
5.1.2.1	Crewcalls für B-737 -Umläufe.....	163
5.1.2.2	Crewcalls für B-747-Umläufe.....	163
5.1.2.3	Auswirkung der Operationellen Störungen auf den Flugbetrieb.....	164
5.1.2.4	Folgestörungen.....	164
5.2	Simulation des Reserveeinsatzes.....	164

5.2.1	Differenzierung des Reserveeinsatzes hinsichtlich der zeitlichen Dringlichkeit.....	164
5.2.2	Umwandlungsmöglichkeiten von Reserven.....	165
5.2.3	Umverteilung von Flugstunden und Ruhezeiten durch den Einsatz von Reserven.....	165
5.2.4	Ablauf der Simulation der Planabarbeitung.....	165
6	Auswertung und Auswertungskriterien der Planung und der Planabarbeitung.....	169
6.1	Auswertung der veröffentlichten Pläne.....	170
6.2	Auswertung der abgearbeiteten Pläne.....	172
6.3	Gesamtbewertung der Simulationsexperimente.....	172
7	Modellimplementierung.....	175
7.1	Aufbau der Programmbestandteile.....	175
7.2	Eingesetzte Software.....	177
7.3	Eingesetzte Hardware.....	178
8	Modellvalidierung.....	179
8.1	Validierung des Planungsprogramms.....	179
8.2	Validierung der Planabarbeitungssimulation.....	180
9	Anwendung des Simulationsmodells zur Analyse der Personaleinsatzplanung und-Steuerung.....	183
9.1	Untersuchung der Reserveplanung.....	183
9.1.1	Untersuchungen zur Minimierung des Reservevorhalts.....	183
9.1.1.1	Simulationsumfang der Studien.....	184
9.1.1.2	Untersuchung der Reserveblockstrukturen.....	184
9.1.1.3	Untersuchung der Verfahrensweise mit Stichtagskranken.....	186
9.1.2	Auswertung der Reservemodelle.....	187
9.1.2.1	Kennzahlen für die Auswertung.....	187
9.1.2.2	Auswertung und Beurteilung der verschiedenen Planungsalternativen.....	187
9.1.3	Untersuchung einer weiteren Reserveabsenkung unter Kosten- und Risikogesichtspunkten.....	192
9.1.3.1	Simulationsumfang der Studien.....	193

9.1.3.2	Simulation der Ist-Situation.....	193
9.1.3.3	Simulation der Einsatzplanung ohne Reservevorhalt.....	193
9.1.3.4	Simulation der Einsatzplanung mit einer schrittweisen Reduzierung des Reserveeinsatzes.....	194
9.1.3.5	Auswertung und Beurteilung der Untersuchungen.....	195
9.2	Untersuchung einzelner Planungsrestriktionen.....	196
9.2.1	Darstellung des Planungsproblems.....	197
9.2.2	Anpassung des Planungsprogramms.....	197
9.2.3	Simulationsumfang der Studien.....	197
9.2.4	Simulation des Planungsmonats.....	198
9.2.4.1	Vergleich der Ausgangslage in der Planungssimulation mit der realen Planung.....	198
9.2.4.2	Durchführung der Planung mit Personalaufstockung.....	199
9.2.4.3	Untersuchung der Planungsrestriktionen.....	199
9.2.5	Beurteilung der Simulationsexperimente.....	200
9.2.6	Untersuchung der Arbeitsstruktur.....	200
9.2.6.1	Untersuchung der Arbeitsverteilung in der Ausgangs- situation.....	200
9.2.6.2	Untersuchung der Arbeitsverteilung bei modifizierten Umlaufdaten.....	202
9.2.7	Schlußfolgerung für die Einsatzplanung stundenintensiver Monate.....	204
9.3	Untersuchung tarifvertraglicher Restriktionen.....	204
9.3.1	Problemstellung.....	205
9.3.2	Untersuchung der modifizierten tarifvertraglichen Restriktionen hin- sichtlich ihrer Auswirkungen auf die Planbarkeit.....	206
9.3.2.1	Umfang der Untersuchungen.....	206
9.3.2.2	Untersuchung der Planbarkeit mit den ursprünglichen Restriktionen.....	206
9.3.2.3	Untersuchung der Planbarkeit mit den modifizierten Restriktionen.....	207
9.3.2.4	Beurteilung der Ergebnisse.....	207
10	Schlußbemerkung.....	209
	Literaturverzeichnis.....	210

Simulationsanalyse der Luftfrachtumschlagsprozesse

Martin Kaupp/Thorsten Teigeier

1	Einleitung.....	215
1.1	Umschlagsprozesse in der Luftfrachttransportkette.....	215
1.2	Zielsetzung der Simulationsstudie.....	217
2	Der Luftfrachtumschlag im Lufthansa Cargo Center Frankfurt.....	218
2.1	Bereiche des Lufthansa Cargo Center.....	218
2.2	Die Luftfrachtumschlagsprozesse innerhalb des LCC.....	219
2.3	Die Objekte des Luftfrachtumschlags.....	220
3	Operationalisierung der Zielkriterien.....	223
3.1	Inanspruchnahme der Umschlagsfläche und der Infrastruktur.....	223
3.2	Einhaltung des Serviceniveaus.....	223
3.3	Kosten der Umschlagsprozesse.....	224
3.4	Übersicht über die Einflußfaktoren und Kennzahlen zur Operationalisierung der Zielkriterien.....	224
4	Die Simulationsstudie.....	225
4.1	Der Aufbau der Simulationsmodelle.....	225
4.2	Die Modellimplementierung des Ist-Modells.....	226
4.2.1	Das Wegenetz des Ist-Modells.....	227
4.2.2	Einsatz von Transportmitteln.....	230
4.2.3	Die Umschlagsprozesse und das Layout des Ist-Modells.....	230
4.3	Validierung des Ist-Modells.....	233
4.4	Implementierung des Plan-Modells.....	236
4.4.1	Eingangsdaten des Plan-Modells.....	236
4.4.2	Das Wegenetz des Plan-Modells.....	237
4.4.3	Die Umschlagsprozesse und das Layout des Plan-Modells.....	237
4.5	Auswertung der Simulationsexperimente.....	238
5	Weitere Anwendungsmöglichkeiten des Simulationsmodells.....	247
	Literaturverzeichnis.....	249

Simulationsanalyse der Flugzeugabfertigungsprozesse am Flughafen Frankfurt

Martin Kaupp/Holger Müller-Kästner

1	Die Flugabfertigung.....	253
1.1	Die Analyse der verschiedenen Abfertigungsprozesse auf der Station Frankfurt.....	253
1.2	Die Teilbereiche der Flugzeugabfertigung.....	254
1.3	Die Problemstellung der Flugzeugabfertigung.....	254
2	Die Simulationsstudie.....	257
2.1	Aufgaben und Ziele der Simulationsstudie.....	257
2.2	Entwicklung eines 3-Ebenen-Modells zur Analyse von Abfertigungsprozessen.....	257
2.3	Ablauf der Simulationsexperimente.....	259
3	Modellebene 1 - Prototyp eines Entscheidungsunterstützungssystems.....	261
3.1	Ablauf eines modellgestützten Entscheidungsprozesses am Beispiel der Auswahl einer Alternativposition.....	261
3.2	Ergebnisse der Modellierung des Entscheidungsunterstützungsprototypen.....	265
4	Modellebene 2 - Analyse der Vorgangsinterdependenzen.....	267
4.1	Intention der Analyse.....	267
4.2	Ergebniskennzahlen.....	268
4.3	Simulationsexperimente der Modellebene 2.....	268
4.3.1	Auswirkungen alternativer Steuerungsstrategien bei zufälliger Auswahl einer freien möglichen Alternativposition.....	268
4.3.2	Simulationsergebnisse.....	269
4.3.3	Einflüsse von Störungen auf den Ressourcenbedarf.....	271
5	Modellebene 3 - Sensitivitätsanalyse der Einzelaktivitäten.....	273
5.1	Ermittlung des Datenmaterials für die Simulationsstudien.....	273
5.2	Architektur, Implementierung und Funktionen der Modellebene 3.....	273
5.3	Einzelvorgänge der Flugabfertigung.....	277

5.4	Simulationsexperimente der Modellebene 3.....	278
5.4.1	Vergleich der Zeitdauern der verknüpften Einzelvorgänge mit der Standard-Ground-Time.....	279
5.4.2	Ermittlung der kritischen Vorgänge.....	280
5.4.3	Analyse der kritischen Pfade.....	280
5.4.3.1	Kritischer Standardpfad - Bereitstellung.....	282
5.4.3.2	Kritischer Standardpfad - Umkehrflug.....	283
5.4.3.3	Kritischer Standardpfad - Abzug.....	284
5.4.4	Stabilität der kritischen Standardpfade.....	285
6	Anwendung der Simulationsergebnisse.....	286
6.1	Vorgaben für die Implementierung eines Betriebsdatenerfassungssystems.....	286
6.2	Vorgaben für ein Steuerungskonzept.....	286
	Literaturverzeichnis.....	290