

Produktion und Logistik

RESEARCH

Eicke Bastian Möller

Prozessplanung in Akut-Krankenhäusern

Robuste zyklische Operationspläne
mit szenariobasierter Modellierung
von Unsicherheit



Springer Gabler

Produktion und Logistik

Herausgegeben von

C. Bierwirth, Halle, Deutschland
B. Fleischmann, Augsburg, Deutschland
M. Fleischmann, Mannheim, Deutschland
M. Grunow, München, Deutschland
H.-O. Günther, Berlin, Deutschland
S. Helber, Hannover, Deutschland
K. Inderfurth, Magdeburg, Deutschland
H. Kopfer, Bremen, Deutschland
H. Meyr, Stuttgart, Deutschland
K. Schimmelpfeng, Stuttgart, Deutschland
Th. S. Spengler, Braunschweig, Deutschland
H. Stadtler, Hamburg, Deutschland
H. Tempelmeier, Köln, Deutschland
G. Wäscher, Magdeburg, Deutschland

Diese Reihe dient der Veröffentlichung neuer Forschungsergebnisse auf den Gebieten der Produktion und Logistik. Aufgenommen werden vor allem herausragende quantitativ orientierte Dissertationen und Habilitationsschriften. Die Publikationen vermitteln innovative Beiträge zur Lösung praktischer Anwendungsprobleme der Produktion und Logistik unter Einsatz quantitativer Methoden und moderner Informationstechnologie.

Herausgegeben von

Professor Dr. Christian Bierwirth
Universität Halle

Professor Dr. Herbert Kopfer
Universität Bremen

Professor Dr. Bernhard Fleischmann
Universität Augsburg

Professor Dr. Herbert Meyr
Universität Hohenheim

Professor Dr. Moritz Fleischmann
Universität Mannheim

Professor Dr. Katja Schimmelpfeng
Universität Hohenheim

Professor Dr. Martin Grunow
Technische Universität München

Professor Dr. Thomas S. Spengler
Technische Universität Braunschweig

Professor Dr. Hans-Otto Günther
Technische Universität Berlin

Professor Dr. Hartmut Stadler
Universität Hamburg

Professor Dr. Stefan Helber
Universität Hannover

Professor Dr. Horst Tempelmeier
Universität Köln

Professor Dr. Karl Inderfurth
Universität Magdeburg

Professor Dr. Gerhard Wäscher
Universität Magdeburg

Kontakt

Professor Dr. Thomas S. Spengler
Technische Universität Braunschweig
Institut für Automobilwirtschaft
und Industrielle Produktion
Mühlenpfordtstraße 23
38106 Braunschweig

Eicke Bastian Möller

Prozessplanung in Akut-Krankenhäusern

Robuste zyklische Operationspläne
mit szenariobasierter Modellierung
von Unsicherheit

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Stefan Helber

Eicke Bastian Möller
Hamburg, Deutschland

Dissertation Universität Hannover, 2015

Produktion und Logistik
ISBN 978-3-658-11389-6 ISBN 978-3-658-11390-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-11390-2

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Gabler

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Fachmedien Wiesbaden ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Geleitwort

In den wirtschaftlich weit entwickelten Staaten stellt typischerweise der Gesundheitssektor einen der größten und für die gesellschaftliche Wohlfahrt auch wichtigsten Wirtschaftszweige dar. Einen erheblichen Anteil an den Kosten und der Wertschöpfung im Gesundheitswesen haben dabei Akut-Krankenhäuser. Innerhalb derartiger Krankenhäuser wird ein erheblicher Teil der Prozesse sowie der Kosten durch das Geschehen in den Operationssälen oder Operationsräumen beeinflusst. Aus diesem Grund kommt einer effizienten Nutzung der teuren Krankenhausressource des Operationssaals eine große praktische Bedeutung zu.

Innerhalb der wissenschaftlichen Literatur des Operations Management sowie des Operations Research im Gesundheitswesen finden die damit verbundenen betriebswirtschaftlichen Entscheidungs- und Optimierungsprobleme seit einigen Jahren erhebliches Interesse. Die von Herrn Möller vorgelegte Dissertation beschäftigt sich mit der Frage, auf welche Art und Weise für die Operationssäle in Akut-Krankenhäusern in zyklischen Operationsplänen die Unsicherheit hinsichtlich der Operationsdauer und der Bettenbelegungsdauer systematisch berücksichtigt werden kann. Mit seinen umfassenden und sorgfältig dargestellten Modellentwicklungen führt er die betriebswirtschaftliche Grundlagenforschung in diesem Bereich weiter und leistet dadurch wertvolle Grundlagenarbeit für die Entwicklung computergestützter Planungssysteme für einen effizienten Ressourceneinsatz in Akutkrankenhäusern.

Ich wünsche dieser sehr gehaltvollen und kenntnisreich verfassten interdisziplinär orientierten Schrift eine gute Aufnahme in den verschiedenen durch sie angesprochenen Wissenschaftsbereichen.

Hannover, im Mai 2015
Prof. Dr. Stefan Helber

Vorwort

Die nachstehende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als externer Doktorand am Institut für Produktionswirtschaft der Leibniz Universität Hannover.

Zunächst bedanke ich mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Stefan Helber für die beständige wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit. Durch die fruchtbare und vertrauensvolle Zusammenarbeit konnte ich mich nicht nur in wissenschaftlicher Hinsicht weiterbilden, die Zeit am Institut für Produktionswirtschaft hat mich auch als Person in besonderem Maße gefordert und gefördert.

Herrn Prof. Dr. J.-Matthias Graf von der Schulenburg danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens, die dafür aufgewendete Zeit und die intensive Diskussion im Rahmen meiner Disputation. In diesem Zusammenhang danke ich auch Herrn Prof. Dr. Florian Sahling für die Annahme des Vorsitzes meiner Prüfungskommission und Frau Dr. Svenja Lagershausen für ihre beratende Teilnahme.

Im Übrigen gilt mein Dank allen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für die kritischen Auseinandersetzungen, Gedankenanstöße und Mitschriften während der vielen Seminare und Vorträge, die ich in meinem Promotionsstudium halten durfte und durch die sich meine Arbeit stets positiv fortentwickeln konnte. Auch bedanke ich mich herzlich bei Frau Prof. Dr. Schimmelpfeng für ihre wertvollen Ratschläge. Zudem danke ich Herrn Alexander Kressner für den sich im Rahmen meiner Schlussphase entwickelten Gedankenaustausch und seine Korrekturlesung und den damit verbundenen Zeitaufwand, aufgrund dessen ich meine Arbeit weiter ausbauen konnte.

Auch möchte ich Herrn Jan Schmidt und Herrn Helge Vogt zusammen mit ihrem Team für die Unterstützung der letzten Jahre danken, für die Flexibilität und die Chancen und Perspektiven, die sich mir durch diesen Weg ermöglichten.

Einen ganz besonderen Dank spreche ich meinen Eltern Kirsten und Rolf, meinen beiden Brüdern Klaas und Jan und meiner Partnerin Claudia aus für ihren fortwährenden Rückhalt, ihr Interesse und die positiven Worte, die sie für mich in schwierigen Situationen stets finden.

Hamburg, im Mai 2015
Eicke Bastian Möller

Zusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit dem Problem der taktischen Planung von Operationsabteilungen in (Akut-)Krankenhäusern. Für Krankenhäuser ist die sich periodisch wiederholende Erstellung von Plänen für Operationsabteilungen ein zeitaufwendiger, mühsamer und komplexer Prozess. Dies wird durch stochastische Durchführungszeiten der chirurgischen Eingriffe und den unsicheren Verweildauern der Patienten zusätzlich erschwert. Dabei ist zu beachten, dass unausgewogen geplante Prozesse in Operationsräumen häufig Nachfrageschwankungen in anderen Abteilungen verursachen, wie insbesondere auf Betten- und Intensivstationen.

Ein Ansatz zur Lösung dieses Problems sind die sich in einem Turnus von ein bis zwei Wochen wiederholenden Hauptoperationspläne, in denen oftmals durchzuführende elektive Operationen zyklisch einbezogen werden. Ein solcher Plan wird für einen mittelfristigen Zeitraum aufgestellt und erst bei sich verändernden Rahmenbedingungen angepasst. Die Problemstellung wird in dieser Arbeit als gemischt-ganzzahliges lineares Programm formuliert. Die stochastischen Einwirkungen der Verweil- und Operationsdauer werden mithilfe der Modellierung von Szenarien abgebildet. Die technische Umsetzung erfolgt in GAMS, wobei zur Lösung der Modellinstanzen die Standardsoftware CPLEX eingesetzt wird.

Zur Beurteilung der Approximationsgenauigkeit und damit der praktischen Einsetzbarkeit der generierten zyklischen Pläne wird ein Verfahren vorgestellt, das die mit den Szenario-Ansätzen approximierten Wahrscheinlichkeitsfunktionen der kumulierten Nachfrage nach Betten und Operationszeit ihren „tatsächlichen“ analytisch hergeleiteten Funktionen gegenüberstellt. Das Gesamtkonzept wird mit praxisbezogenen Instanzen für mittelgroße Krankenhäuser beziehungsweise Krankenhausabteilungen getestet.

Im Ergebnis liefert das Planungskonzept robuste zyklische Hauptoperationspläne, die für die Anschlussplanung der verbundenen Abteilungen möglichst verlässliche Grundlagen bereitstellen.

Schlüsselwörter: Management im Gesundheitswesen, Planung von Operationsräumen, Gemischt-ganzzahlige Programmierung, Robuste Optimierung, Stochastische Nachfrage, Bettenplanung im Krankenhaus

Abstract

This thesis is attending to the tactical scheduling of operating rooms in (acute care) hospitals. The cyclic repetitive elaboration of schedules for operating room departments is a time-consuming, arduous, and highly complex process for hospitals which is further complicated by stochastic implementation times of surgical intervention and the patients' uncertain period of hospitalization. It should be noted that an imbalance in the planning of processes in operating rooms causes fluctuations in demand in other departments, especially in departments such as the inpatient ward or intensive care unit.

Master surgical schedules which are planned in a repetitive cycle of one to two weeks and which are frequently including elective operations are an approach to resolving this problem. These schedules are set up for medium term and will be adjusted only to changing circumstances. This thesis is formulating the problem as a mixed integer linear program. The stochastic impacts of the period of hospitalization and the surgery time are modeled via sample average approximation. The technical implementation is made in GAMS, while the standard software CPLEX is employed to resolve model instances.

A method contrasting probability functions of the cumulated demand for beds and surgery time approximated by scenario-based approaches with their "actual" analytically derived functions is implied in order to assess the accuracy of approximation and with that, the applicability of the generated cyclic schedules. The overall concept with practice-related instances is tested for medium scale hospitals or hospital departments.

The planning concept ultimately delivers robust cyclic master surgical schedules which are providing the most reliable basics for subsequent planning processes of mutually influenced departments.

Keywords: health care management, operating room scheduling, mixed integer programming, robust optimization, stochastic demand, hospital bed management

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XVII
Tabellenverzeichnis	XIX
Abkürzungsverzeichnis	XXIII
Symbolverzeichnis	XXIX
1 Einleitung	1
2 Rahmenbedingungen bei der Planung von Operationsabteilungen	7
2.1 Überblick	7
2.2 Kennzeichnung und Abgrenzung von Krankenhäusern	7
2.2.1 Aufgaben und Leistungen von Krankenhäusern	8
2.2.2 Grundlagen des deutschen Krankenhauswesens	11
2.2.3 Klassifikationsmerkmale von Krankenhäusern	14
2.2.4 Klassifikationsmerkmale von Krankenhauspatienten	20
2.2.5 Zielsystem von Krankenhäusern	25
2.3 Leistungserstellung in Krankenhäusern	26
2.3.1 Grundlagen der Produktionstheorie zu Krankenhäusern	26
2.3.2 Bewertung der Krankenhausleistung und Qualität	28
2.4 Finanzierung von Krankenhäusern	32
2.4.1 Laufende Betriebskosten	32
2.4.2 Krankenhausplanung und Investitionen	34
2.5 Organisation in Krankenhäusern	35
2.5.1 Aufbauorganisation in Krankenhäusern	35
2.5.2 Ablauforganisation in Krankenhäusern	37
2.6 Organisation von Operationsabteilungen	41
2.6.1 Bauliche Infrastruktur des Operationsbereichs	41
2.6.2 Aufbauorganisation von Operationsabteilungen	44
2.6.3 Ablauforganisation von Operationsabteilungen	45
2.7 Zwischenfazit	51

3 Zyklische Hauptoperationspläne als mittelfristiger Planungsgegenstand	53
3.1 Überblick	53
3.2 Beschreibung des zu untersuchenden Forschungsgegenstands	53
3.2.1 Operationsplanung als Herausforderung zur Effizienzsteigerung	54
3.2.2 Gliederung der Operationsplanung	59
3.2.2.1 Literaturüberblick und Taxonomien	59
3.2.2.2 Strategische Operationsplanung	63
3.2.2.3 Taktische Operationsplanung	64
3.2.2.4 Operative Operationsplanung	66
3.2.3 Gestaltung mittelfristiger Operationsplanung in einem zyklischen Planungsansatz	69
3.2.3.1 Ausgangslage und Rahmenbedingungen	70
3.2.3.2 Zentrale Elemente einer zyklischen Operationsplanung	71
3.2.3.3 Eingliederung in ein übergeordnetes Planungssystem	72
3.2.3.4 Berücksichtigung von Unsicherheit	73
3.2.4 Zyklische Planungsmodelle und -verfahren in der wissenschaftlichen Literatur	75
3.3 Modellierung eines zyklischen Hauptoperationsplans ohne stochastische Einflüsse	83
3.3.1 Annahmen für die Modellformulierung	84
3.3.2 Berechnung des Bettenbelegungskoeffizienten	85
3.3.3 Formulierung des CMSS-Modells als Grundlage für die weiteren Untersuchungen	89
3.3.4 Zusätzliche Restriktionen für das CMSS-Modell	94
3.4 Zwischenfazit	97
4 Robuste zyklische Hauptoperationspläne bei unsicherer Verweildauer	99
4.1 Überblick	99
4.2 Entwicklung des RCMSS-Konzepts anhand eines Beispiels	99
4.2.1 Grundgedanke und deterministisches Modell	100
4.2.2 Einfluss einer unsicheren Operationsdauer auf das Planungsergebnis	102
4.2.3 Ermittlung robuster Pläne durch eine szenariobasierte Modellierung von Unsicherheit	105
4.2.4 Methoden zur Generierung der Szenarien	107
4.2.5 Analytische Bewertung gegebener robuster Pläne	113
4.3 Ausgangslage und Annahmen für die RCMSS-Modelle	117
4.4 Anpassung des Bettenbelegungskoeffizienten	119
4.5 Formulierung von RCMSS-Modellen bei unsicherer Verweildauer	120
4.5.1 Kompensationsmodell RCMSS-B ^K	121

4.5.2 Peak-Minimierungsmodell RCMSS-B ^P	125
4.5.3 Chance-Constrained-Modell RCMSS-B ^C	128
4.6 Analytische Bewertung von RCMSS-Plänen bei unsicherer Verweildauer	132
4.7 Zwischenfazit	141
5 Erweiterung der RCMSS-Modelle bei unsicherer Operationsdauer	143
5.1 Überblick	143
5.2 Einführende Erläuterungen und Modifizierung der Annahmen	143
5.3 Formulierung von RCMSS-Modellen bei unsicherer Operationsdauer	146
5.3.1 Kompensationsmodell RCMSS-B ^{KO^K}	146
5.3.2 Chance-Constrained-Modell RCMSS-B ^{KO^C}	149
5.3.3 Kombinationen und weitere Modellvarianten	153
5.4 Analytische Bewertung von RCMSS-Plänen bei unsicherer Operationsdauer	155
5.5 Zwischenfazit	162
6 Experimentelle Untersuchungen	165
6.1 Überblick	165
6.2 Rahmenbedingungen und Testinstanzen	165
6.3 Skalierung der Szenarioanzahl und Szenarioauswahl	170
6.3.1 Testaufbau und Vorgehen	171
6.3.2 Allgemeine Ergebnisse	174
6.3.3 Approximation der stochastischen Verweildauer	175
6.3.4 Approximation der stochastischen Operationsdauer	179
6.3.5 Beurteilung	184
6.4 Auswirkungen der einzelnen Modellvarianten auf die Zielgrößen	185
6.4.1 Testaufbau und Vorgehen	185
6.4.2 Allgemeine Ergebnisse und Minimierung der OR-Rüstkosten	188
6.4.3 Minimierung der Kosten bei Nutzung von OR-Kapazität	189
6.4.4 Minimierung der Kosten bei Nutzung von Bettenkapazitäten	191
6.4.5 Beurteilung	193
6.5 Variation von Instanzgröße und Spannweite der Verteilungen	194
6.5.1 Testaufbau und Vorgehen	194
6.5.2 Allgemeine Ergebnisse und Untersuchung zur Zielerreichung	196
6.5.3 Genauigkeit der Approximation	198
6.5.4 Beurteilung	200
6.6 Skalierung der vorhandenen Ressourcen	200
6.6.1 Testaufbau und Ergebnisse zur Variation der Bettenkapazität	201
6.6.2 Testaufbau und Ergebnisse zur Variation der OR-Kapazität	202
6.6.3 Beurteilung	204

6.7 Struktur der eingeplanten Operationen	205
6.7.1 Testaufbau und Vorgehen	205
6.7.2 Ergebnisse zur Struktur der Operationspläne	206
6.7.3 Beurteilung	211
6.8 Zwischenfazit	212
7 Fortentwicklung des RCMSS-Modellkonzepts und künftige Forschungsgebiete	215
7.1 Überblick	215
7.2 Formulierung von Restriktionen zur Beschränkung des Lösungsraums	215
7.3 Optionale Integration von Präferenzen	220
7.4 Zwischenfazit	222
8 Zusammenfassung und Ausblick	223
Literaturverzeichnis	227
A Algorithmus zur Berechnung des Bettenbelegungskoeffizienten	241
B Nachweis der fehlerhaften Darstellung des Bettenbelegungskoeffizienten bei Oostrum u. a. (2008)	243
C Beispiel zur Modellierung unterschiedlich ausgestatteter Operationsräume	247

Abbildungsverzeichnis

2.1	Organisatorische Beziehungen im deutschen Krankenhauswesen	13
2.2	Gliederungskriterien für Krankenhäuser	15
2.3	Verteilung der allgemeinen Krankenhäuser nach Anzahl der Fachabteilungen im Jahr 2012	16
2.4	Verteilung der Krankenhäuser nach Anzahl der Betten im Jahr 1991 und 2012	17
2.5	Verteilung der Krankenhäuser nach Trägerschaft im Jahr 1991 und 2012 . . .	18
2.6	Verhältnis der Krankenhäuser nach Trägerschaft im Jahr 1991 und 2012 . . .	19
2.7	Aufteilung der Krankenhausbetten nach Trägerschaft im Jahr 2012	19
2.8	Wesentliche Klassifikationsdimensionen von Behandlungsfällen	21
2.9	Gruppierung nach G-DRG, Teil 1	22
2.10	Gruppierung nach G-DRG, Teil 2	23
2.11	Erweitertes Grundmodell der medizinischen Leistungserstellung nach Schönherr	27
2.12	Die drei Dimensionen der evidenzbasierten Medizin	31
2.13	Entwicklung der KHG-Förderung von 1991 bis 2010	35
2.14	Beispielhafte Aufbauorganisation eines Krankenhauses	37
2.15	Beispielhafte Wertschöpfungskette eines Krankenhauses	39
2.16	Operationsbereich mit traditioneller Bauweise	42
2.17	Operationsbereich mit moderner Bauweise	43
2.18	Zentral organisierte Aufbauorganisation mit OP-Management	44
2.19	OP-Prozess aus der Perspektive der Patientenlogistik mit seinen wesentlichen Zeitpunkten	46
2.20	OP-Prozess aus der Perspektive der Anästhesie mit seinen wesentlichen Zeit- punkten	47
2.21	OP-Prozess aus der Perspektive der operierenden Abteilung mit seinen wesent- lichen Zeitpunkten	49
3.1	Wechselbeziehungen in und mit der Operationsabteilung	56
3.2	Konzeptueller Rahmen für die Ablaufplanung chirurgischer Prozesse	61
3.3	Berücksichtigung von Operationen vorangehender Zyklen am Beispiel	86

4.1	Beispiel für den Vergleich von approximierter und analytisch berechneter Wahrscheinlichkeitsfunktion	116
4.2	Beispiel für den Vergleich von approximierter und analytisch berechneter Wahrscheinlichkeitsfunktion der kumulierten Bettenbelegung an einem Tag	140
5.1	Beispiel für den Vergleich von approximierter und analytisch berechneter Wahrscheinlichkeitsfunktion der kumulierten Operationsdauer an einem Tag	162
6.1	Beispiel für die analytisch berechneten und approximierten Wahrscheinlichkeitsfunktionen der kumulierten Bettennachfrage beim Descriptive Sampling – Tag 1, Bettentyp 1, Versuch 1	180
6.2	Beispiel für die analytisch berechneten und approximierten Wahrscheinlichkeitsfunktionen der kumulierten Nachfrage nach Operationszeit beim Descriptive Sampling – Tag 1, OR 1, Versuch 1	183
6.3	Rechenzeiten und für alle Szenarien durchschnittliche Gesamtauslastung bei Veränderung der Bettenkapazität	202
6.4	Rechenzeiten und für alle Szenarien durchschnittliche Gesamtauslastung bei Veränderung der OR-Kapazität	203
6.5	Anzahl der Operationen an einem Tag, mittlere Operationsdauer und mittlere Verweildauer der Operationen jedes Tages – Mittelwerte für alle Szenarien und Versuche	209
6.6	Kumulierte Nachfrage nach Operationszeit je Tag und Szenario – Mittelwerte für alle Szenarien und Versuche	210
6.7	Kumulierte Nachfrage nach Betten je Tag und Szenario – Mittelwerte für alle Szenarien und Versuche	210

Tabellenverzeichnis

2.1	Qualitätsdimensionen einiger ausgewählter Qualitätsmanagementmodelle . . .	30
3.1	Ziele, Hintergründe und beteiligte Akteure der Operationsplanung	56
3.2	Beispiel für die Berechnung des Bettenbelegungsparameters	88
4.1	Alternative Pläne und ihre Kosten für das Beispiel	101
4.2	Mögliche Szenarien der Nachfrage nach Operationszeit für das Beispiel	102
4.3	Alternative Pläne und ihre Kosten für das Beispiel	103
4.4	Beispiel für die empirische Verteilung der Operationsdauer einer Operation . .	109
4.5	Beispiel für die Generierung von Szenarien mithilfe des Random Sampling . .	110
4.6	Beispiel für die Generierung von Szenarien mithilfe des Descriptive Sampling .	111
4.7	Vertauschung der Szenario-Elemente beim Descriptive Sampling	112
4.8	Ausprägungen und Wahrscheinlichkeiten der empirischen Verteilungen für das Beispiel	114
4.9	Mit dem Random Sampling gezogene Szenarien für das Beispiel	114
4.10	Ausprägungen und Wahrscheinlichkeiten der analytisch berechneten Wahr- scheinlichkeitsfunktion der kumulierten Nachfrage nach Operationszeit für das Beispiel	115
4.11	Beispiel für empirische Wahrscheinlichkeitsfunktionen der Bettennachfrage an einem Tag des zyklischen Planungszeitraums	134
4.12	Beispiel für zufällig aus den empirischen Wahrscheinlichkeitsfunktionen der Bettennachfrage gezogene Bettenbelegungskoeffizienten	134
4.13	Beispiel für mithilfe von Szenarioziehungen approximierte Wahrscheinlichkeits- funktionen der kumulierten Bettennachfrage an einem Tag des zyklischen Pla- nungszeitraums	135
4.14	Der Parameter $z_{d,ot}^*$ als Output des RCMSS-B-Modells	137
4.15	Beispiel für die analytische Berechnung der Wahrscheinlichkeitsfunktion der Zufallsvariablen für die kumulierte Bettenbelegung	139
5.1	Klassifikation und Bezeichnung robuster zyklischer Hauptoperationspläne in Abhängigkeit der berücksichtigten Unsicherheitsaspekte	153
5.2	Klassifikation und Bezeichnung robuster zyklischer Hauptoperationspläne in Abhängigkeit der modellierten Zielsetzungen	154

5.3	Zusammenfassung der entwickelten Modellvarianten	155
5.4	Beispiel für empirische Wahrscheinlichkeitsfunktionen der Nachfrage nach Operationszeit an einem Tag des zyklischen Planungszeitraums	157
5.5	Beispiel für zufällig aus den empirischen Wahrscheinlichkeitsfunktionen der Nachfrage nach Operationszeit gezogene Koeffizienten	157
5.6	Beispiel für mithilfe von Szenarioziehungen approximierte Wahrscheinlichkeitsfunktionen der kumulierten Nachfrage nach Operationszeit an einem Tag des zyklischen Planungszeitraums	158
5.7	Beispiel für die analytische Berechnung der Wahrscheinlichkeitsfunktion der Zufallsvariablen für die kumulierte Operationsdauer	160
6.1	Anzahl der Operationen je Instanzgröße und Operationstyp	167
6.2	Nachgefragter Bettentyp je Operationstyp	167
6.3	Gerundeter Mittelwert, Standardabweichung, minimale und maximale Verweildauer je Operationstyp	168
6.4	Bettenkapazität und mittlere Bettennachfrage nach Bettentyp und Instanzgröße je Tag	168
6.5	Mittelwert, Standardabweichung, minimale und maximale Operationsdauer je Operationstyp	169
6.6	OR-Kapazität und -Nachfrage in Fünf-Minuten-Intervallen	170
6.7	Werte der Zielfunktionskoeffizienten	170
6.8	Testaufbau für die Untersuchung zur Güte der Approximation	171
6.9	Angaben zu den GAMS-Modellgrößen für die Untersuchung zur Güte der Approximation	172
6.10	Abkürzungen der Ergebnisparameter für die Auswertung zur Güte der Approximation	173
6.11	Rechenzeiten in Sekunden und relative Entfernung der Lösung vom theoretischen Optimum	174
6.12	Relative Abweichungen der approximierten von den analytisch berechneten Mittelwerten für alle Tage und Bettentypen	176
6.13	Relative Abweichungen der approximierten von den analytisch berechneten Standardabweichungen für alle Tage und Bettentypen	177
6.14	Abweichungen der approximierten von den analytisch berechneten 95%-Konfidenzintervallen in Betten für alle Tage und Bettentypen	178
6.15	Relative Abweichungen der approximierten von den analytisch berechneten Mittelwerten für alle Tage und Operationsräume	179
6.16	Relative Abweichungen der approximierten von den analytisch berechneten Standardabweichungen für alle Tage und Operationsräume	181

6.17	Abweichungen der approximierten von den analytisch berechneten 95%-Konfidenzintervallen in OP-Zeitintervallen für alle Tage und Operationsräume . . .	182
6.18	Testaufbau für die Untersuchung der Zielerreichung	186
6.19	Angaben zu den GAMS-Modellgrößen für die Untersuchung der Zielerreichung	186
6.20	Abkürzungen der Ergebnisparameter für die Auswertung der Zielerreichung . .	187
6.21	Rechenzeiten, Optimalität, Anteil der genutzten Operationsräume	188
6.22	Relativer Anteil der genutzten Tag-OR-Kombinationen mit eingeplanter Kapazitätsüberschreitung	190
6.23	Maximale relative Auslastung der Tag-OR-Kombinationen	191
6.24	Relativer Anteil der genutzten Tag-Bettentyp-Kombinationen mit eingeplanter Kapazitätsüberschreitung	192
6.25	Maximale relative Auslastung der Tag-Bettentyp-Kombinationen	193
6.26	Testaufbau für die Untersuchung der Variation von Instanzgröße und Spannweite der Verteilungen	195
6.27	Angaben zu den GAMS-Modellgrößen für die Untersuchung der Variation von Instanzgröße und Spannweite der Verteilungen	195
6.28	Gerundeter Mittelwert, Standardabweichung, minimale und maximale Verweildauer je Operationstyp – schmale Spannweite	195
6.29	Mittelwert, Standardabweichung, minimale und maximale Operationsdauer je Operationstyp – schmale Spannweite	196
6.30	Rechenzeiten, Optimalität, Anteil der genutzten Operationsräume	196
6.31	Relativer Anteil der jeweils genutzten Tag-OR- und Tag-Bettentyp-Kombinationen mit eingeplanter Kapazitätsüberschreitung	197
6.32	Maximale relative Auslastung der Tag-OR- und Tag-Bettentyp-Kombinationen	198
6.33	Relative Abweichungen der approximierten von den analytisch berechneten Mittelwerten für alle Tage und Operationsräume beziehungsweise Bettentypen	198
6.34	Relative Abweichungen der approximierten von den analytisch berechneten Standardabweichungen für alle Tage und Operationsräume beziehungsweise Bettentypen	199
6.35	Abweichungen der approximierten von den analytisch berechneten 95%-Konfidenzintervallen für alle Tage und Operationsräume beziehungsweise Bettentypen	199
6.36	Testaufbau und Angaben zu der GAMS-Modellgröße für die Untersuchung der Veränderung der verfügbaren Bettenanzahl	201
6.37	Testaufbau und Angaben zu der GAMS-Modellgröße für die Untersuchung der Veränderung der verfügbaren Operationszeit	203

6.38	Testaufbau und Angaben zu der GAMS-Modellgröße für die Untersuchung der Struktur der Operationspläne	205
6.39	Abkürzungen der Ergebnisparameter für die Auswertung der Struktur der Operationspläne	206
6.40	Rechenzeiten und Optimalität	207
6.41	Anzahl der Operationen je Wochentag	207
6.42	Durchschnittlich nachgefragte Operationszeit und Verweildauer jeder Operation eines Tages je Szenario – Ergebnisse für alle Szenarien und Versuche	208
6.43	Kumulierte Nachfrage nach Operationszeit je Tag und Szenario – Ergebnisse für alle Szenarien und Versuche	209
6.44	Kumulierte Nachfrage nach Betten je Tag und Szenario – Ergebnisse für alle Szenarien und Versuche	211
B.1	Beispiel für die Berechnung des Bettenbelegungskoeffizienten nach Oostrum u. a. (2008)	245
B.2	Beispiel für die Berechnung des Bettenbelegungskoeffizienten	245

Abkürzungsverzeichnis

95%_ANT	Anteil von Tag-Bettentyp- beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen mit Abweichungen des approximierten von dem analytischen 95%-Konfidenzintervall für alle Tag-Bettentyp-beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen
95%_ANZ	Anzahl von Tag-Bettentyp- beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen mit Abweichungen des approximierten von dem analytischen 95%-Konfidenzintervall
95%_MAX	Abweichung in Betten beziehungsweise OP-Zeitintervallen des approximierten von dem analytischen 95%-Konfidenzintervall – Maximum für alle Tag-Bettentyp- beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen
95%_MW	Mittelwert der Abweichungen in Betten beziehungsweise OP-Zeitintervallen des approximierten von dem analytischen 95%-Konfidenzintervall für alle Tag-Bettentyp- beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen
95%_SUM	Summe der Abweichungen in Betten beziehungsweise OP-Zeitintervallen des approximierten von dem analytischen 95%-Konfidenzintervall für alle Tag-Bettentyp- beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen
ANT_OR	Anteil der genutzten Tag-OR-Kombinationen
ANZ_OP _d	Anzahl der an einem Tag <i>d</i> eingeplanten Operationen
AOLG	Arbeitsgruppe Krankenhauswesen der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
AZQ	Ärztlichen Zentralstelle Qualitätssicherung
CCL	Complication and Comorbidity Level (Schweregrad einer Diagnose)
CMSS	Cyclic Master Surgical Schedule (zyklischer Hauptoperationsplan)
CPU	Central Processing Unit (Hauptprozessor)
DIN	Deutsches Institut für Normung
DS	Descriptive Sampling
DRG	Diagnosis Related Groups

EbM	evidenzbasierte Medizin
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EFQM	European Foundation of Quality Management
EN	Europäische Normungsbehörde
GAMS	General Algebraic Modeling System
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GSG	Gesundheitsstrukturgesetz
G-DRG	German Diagnosis Related Groups
InEK	Institut für das Entgeltsystem im Krankenhaus
ISO	International Organisation for Standardisation
JCAHO	Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organisations
KAPÜSG_MAX	Anteil der genutzten Tag-OR- beziehungsweise Tag-Bettentyp-Kombinationen mit eingeplanter Kapazitätsüberschreitung je Szenario – Maximum für alle Szenarien
KAPÜSG_MW	Anteil der genutzten Tag-OR- beziehungsweise Tag-Bettentyp-Kombinationen mit eingeplanter Kapazitätsüberschreitung je Szenario – Mittelwert für alle Szenarien
KAPÜSG_STD	Anteil der genutzten Tag-OR- beziehungsweise Tag-Bettentyp-Kombinationen mit eingeplanter Kapazitätsüberschreitung je Szenario – Standardabweichung für alle Szenarien
KIS	Krankenhausinformationssystem
KH	Krankenhaus
KHEntgG	Gesetz über die Entgelte für voll- und teilstationäre Krankenhausleistungen (Krankenhausentgeltgesetz)
KHG	Gesetz zur wirtschaftlichen Sicherung der Krankenhäuser und zur Regelung der Krankenhauspflegesätze (Krankenhausfinanzierungsgesetz)
KTQ	Kooperation für Transparenz und Qualität im Gesundheitswesen
KV	Kassenärztliche Vereinigung
KZV	Kassenzahnärztliche Vereinigung
MAX	Maximaler Wert für alle Versuche
MAXAUSL_MAX	Maximale relative Auslastung der Tag-OR- beziehungsweise Tag-Bettentyp-Kombinationen je Szenario – Maximum für alle Szenarien
MAXAUSL_MIN	Maximale relative Auslastung der Tag-OR- beziehungsweise Tag-Bettentyp-Kombinationen je Szenario – Minimum für alle Szenarien

MAXAUSL_MW	Maximale relative Auslastung der Tag-OR- beziehungsweise Tag-Bettentyp-Kombinationen je Szenario – Mittelwert für alle Szenarien
MAXAUSL_STD	Maximale relative Auslastung der Tag-OR- beziehungsweise Tag-Bettentyp-Kombinationen je Szenario – Standardabweichung für alle Szenarien
MDC	Major Diagnostic Category (Hauptdiagnosegruppe)
MIN	Minimaler Wert für alle Versuche
MIP	Mixed Integer Program (Gemischt-ganzzahliges Programm)
MSS	Master Surgical Schedule (Hauptoperationsplan)
MW	Mittelwert für alle Versuche
MW_MAX	Relative Abweichung des approximierten von dem analytischen Mittelwert – Maximum für alle Tag-Bettentyp- beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen
MW_MW	Relative Abweichung des approximierten von dem analytischen Mittelwert – Mittelwert für alle Tag-Bettentyp- beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen
ND	Nebendiagnose
NSZ	Naht-Schnitt-Zeit
OP	Operation
OPTCR	Relativer Abstand der aktuellen ganzzahligen Lösung vom theoretischen Optimum
OPZMW_MAX _d	Durchschnittlich nachgefragte Operationszeit jeder Operation eines Tages d je Szenario – Maximum für alle Szenarien
OPZMW_MIN _d	Durchschnittlich nachgefragte Operationszeit jeder Operation eines Tages d je Szenario – Minimum für alle Szenarien
OPZMW_MW _d	Durchschnittlich nachgefragte Operationszeit jeder Operation eines Tages d je Szenario – Mittelwert für alle Szenarien
OPZMW_STD _d	Durchschnittlich nachgefragte Operationszeit jeder Operation eines Tages d je Szenario – Standardabweichung für alle Szenarien
OPZN_MAX _d	Nachfrage nach Operationszeit an einem Tag d je Szenario – Maximum für alle Szenarien
OPZN_MIN _d	Nachfrage nach Operationszeit an einem Tag d je Szenario – Minimum für alle Szenarien
OPZN_MW _d	Nachfrage nach Operationszeit an einem Tag d je Szenario – Mittelwert für alle Szenarien
OPZN_STD _d	Nachfrage nach Operationszeit an einem Tag d je Szenario – Standardabweichung für alle Szenarien
OR	Operationsraum

PCCL	Patient Clinical Complexity Level (Schweregrad eines Patienten)
POBE	Perioperative Behandlungseinheiten
QMK	Qualitätsmodell Krankenhaus
RCMSS	Robust Master Surgical Schedule (robuster zyklischer Hauptoperationsplan)
RCMSS-B ^K	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Verweildauer als Kompensationsvariante
RCMSS-B ^P	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Verweildauer als Peak-Minimierungsvariante
RCMSS-B ^C	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Verweildauer als Chance-Constrained-Variante
RCMSS-O ^K	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Operationsdauer als Kompensationsvariante
RCMSS-O ^C	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Operationsdauer als Chance-Constrained-Variante
RCMSS-B ^K O ^K	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Verweildauer und einer unsicheren Operationsdauer jeweils als Kompensationsvariante
RCMSS-B ^K O ^C	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Verweildauer als Kompensationsvariante und einer unsicheren Operationsdauer als Chance-Constrained-Variante
RCMSS-B ^P O ^K	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Verweildauer als Peak-Minimierungsvariante und einer unsicheren Operationsdauer als Kompensationsvariante
RCMSS-B ^P O ^C	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Verweildauer als Peak-Minimierungsvariante und einer unsicheren Operationsdauer als Chance-Constrained-Variante
RCMSS-B ^C O ^K	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Verweildauer als Chance-Constrained-Variante und einer unsicheren Operationsdauer als Kompensationsvariante
RCMSS-B ^C O ^C	RCMSS-Modell mit Berücksichtigung einer unsicheren Verweildauer und einer unsicheren Operationsdauer jeweils als Chance-Constrained-Variante
RESUSD	Rechenzeit in Sekunden
ROZ	Reine Operationszeit
RS	Random Sampling
SAA	Sample Average Approximation (Approximation der Mittelwerte von Zufallsvariablen mithilfe von Szenarien)
SächsKHG	Sächsisches Krankenhausgesetz

SGB V	Sozialgesetzbuch Fünftes Buch – Gesetzliche Krankenversicherung –
SNZ	Schnitt-Naht-Zeit
STD	Standardabweichung für alle Versuche
STD_MAX	Relative Abweichung der approximierten von der analytischen Standardabweichung – Maximum für alle Tag-Bettentyp- beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen
STD_MW	Relative Abweichung der approximierten von der analytischen Standardabweichung – Mittelwert für alle Tag-Bettentyp- beziehungsweise Tag-OR-Kombinationen
VWDMW_MAX _d	Durchschnittlich nachgefragte Verweildauer jeder Operation eines Tages d je Szenario – Maximum für alle Szenarien
VWDMW_MIN _d	Durchschnittlich nachgefragte Verweildauer jeder Operation eines Tages d je Szenario – Minimum für alle Szenarien
VWDMW_MW _d	Durchschnittlich nachgefragte Verweildauer jeder Operation eines Tages d je Szenario – Mittelwert für alle Szenarien
VWDMW_STD _d	Durchschnittlich nachgefragte Verweildauer jeder Operation eines Tages d je Szenario – Standardabweichung für alle Szenarien
VWDN_MAX _d	Nachfrage nach Betten an einem Tag d je Szenario – Maximum für alle Szenarien
VWDN_MIN _d	Nachfrage nach Betten an einem Tag d je Szenario – Minimum für alle Szenarien
VWDN_MW _d	Nachfrage nach Betten an einem Tag d je Szenario – Mittelwert für alle Szenarien
VWDN_STD _d	Nachfrage nach Betten an einem Tag d je Szenario – Standardabweichung für alle Szenarien
ZFDL	Zentrale Funktionsdienstleitung

Symbolverzeichnis

Symboldefinitionen aus Kapitel 3

Mengen und Indizes

$b \in B$	Bettentypen, geordnete Menge – je niedriger der Wert, desto höher die Ausstattung
$d, \tilde{d} \in D$	Tage des zyklischen Planungszeitraums, geordnete Menge – mit $\tilde{d}$ für den Tag der Einplanung einer Operation
$o \in O$	Operationen, geordnete Menge
$og \in OG$	Operationsgruppen für Operationen mit Konfliktpotenzial bei unterschiedlicher Raumzuordnung und Einplanung am gleichen Tag, geordnete Menge
$OOG_{og} \subset O$	Menge von Operationen der Operationsgruppe og , geordnete Menge
$OOS_{os} \subset O$	Menge von Operationen der Operationsabteilung os , geordnete Menge
$OOT_{ot} \subset O$	Menge von Operationen des Operationstyps ot , geordnete Menge
$os \in OS$	Operationsabteilungen, geordnete Menge
$ot \in OT$	Operationstypen, geordnete Menge
$r \in R$	Operationsräume, geordnete Menge – gleiche Ausstattung

Parameter

$bc_{b,d}$	Maximale Bettenkapazität von Typ b an einem Tag d
$bd_{b,d,\tilde{d},ot}$	Bettenbelegungsparameter beziehungsweise -koeffizient – Anzahl der nachgefragten Betten vom Typ b an einem Tag d des zyklischen Planungszeitraums bei Einplanung einer Operation des Typs ot an einem Tag $\tilde{d}$
$bdlos_{b,ot}$	Verweildauer von Patienten auf Bettenstation b bei Durchführung eines Eingriffs von Operationstyp ot
$bdmod_{b,ot}$	Platzhalter für die Funktion $(bdlos_{b,ot} \bmod card(d))$
$bigm$	Hinreichend große Zahl
pbc_b	Strafterm in der Zielfunktion – Kosten für die Überschreitung der maximalen Bettenkapazität von Typ b je Bett und Tag

prc	Strafterm in der Zielfunktion – Kosten je Einheit (hier: je Fünf-Minuten-Intervall) für die Überschreitung der maximal verfügbaren Operationszeit je Operationsraum und Tag
pru	Strafterm – Kosten für die Öffnung beziehungsweise Nutzung eines Operationsraums an einem Tag
$rc_{d,r}$	Verfügbare Operationszeit an einem Tag d in Operationsraum r
$rd_{d,os,r}$	Zugewiesene Blocklänge an einem Tag d für Operationsabteilung os in Raum r
rd_o	Operationsdauer für Operation o
rd_{ot}	Operationsdauer für Operationen des Typs ot
$z_{d,o,r}^*$	Wert der binären Entscheidungsvariable $Z_{d,o,r}$ nach der Optimierung, 1 bei Einplanung der Operation o in Operationssaal r an einem Tag d , sonst 0

Operatoren

$\text{card}(\ast)$	Operator zur Angabe der Mächtigkeit beziehungsweise der Anzahl der Elemente einer Menge $\ast$
$\ast \bmod \ast \ast$	Operator zur Angabe des Modulo eines Quotienten mit Divisor $\ast$ und Divident $\ast \ast$ – Berechnung des Teilerrestes des Bruchs $\frac{\ast}{\ast \ast}$, Rückgabe als ganze Zahl
$\text{ord}(\ast)$	Operator zur Angabe der Position eines Elements innerhalb einer geordneten Menge $\ast$

Variablen

$E_{d,r}$	Ganzzahlige Entscheidungsvariable zur Bestimmung der Überschreitung der verfügbaren Operationszeit von Operationsraum r an einem Tag d
$G_{b,d}$	Ganzzahlige Entscheidungsvariable zur Bestimmung der Überschreitung der verfügbaren Bettenkapazität des Typs b an einem Tag d
$X_{d,r}$	Binäre Entscheidungsvariable, 1 bei Öffnung beziehungsweise Nutzung von Operationsraum r an einem Tag d , sonst 0
$Y_{d,og,r}$	Binäre Hilfsvariable, 1 bei Einplanung einer Operation der Gruppe og in Operationsraum r an einem Tag d , sonst 0
$Z_{d,o,r}$	Binäre Entscheidungsvariable, 1 bei Einplanung der Operation o in Operationssaal r an einem Tag d , sonst 0

Symboldefinitionen aus Kapitel 4

Mengen und Indizes

$d, \hat{d} \in D$	Tag des zyklischen Planungszeitraums, geordnete Menge
$i \in \mathbb{Z}_0^+$	Index zur Bestimmung der Anzahl von an einem Tag durchzuführenden Operationen eines Typs
$o, \hat{o} \in O$	Operationen, geordnete Menge
$ot, \hat{ot} \in OT$	Operationstypen, geordnete Menge
$s, \tilde{s} \in S$	Szenarien, geordnete Menge

Parameter

$BD_{b,d}$	Zufallsvariable der kumulierten Bettennachfrage für Bettentyp b an einem Tag d
$bd_{b,d}$	Ausprägungen der Zufallsvariable $BD_{b,d}$
$P(bd_{b,d})$	Wahrscheinlichkeit $P(BD_{b,d} = bd_{b,d})$
$P^{Approx}(bd_{b,d})$	Approximation der Wahrscheinlichkeit $P(bd_{b,d})$
$bd_{b,d}^s$	kumulierte Bettennachfrage für Bettentyp b an einem Tag d in Szenario s als Output des RCMSS-Modells
$bd_{b,d,\tilde{d},o}^s$	Bettenbelegungsparameter beziehungsweise -koeffizient – Anzahl der nachgefragten Betten vom Typ b an einem Tag d des zyklischen Planungszeitraums bei Einplanung einer Operation o an einem Tag $\tilde{d}$ in Szenario s
$BD_{b,d,\tilde{d},ot}$	Zufallsvariable der Bettennachfrage für Bettentyp b und Tag d bei Einplanung einer Operation vom Typ ot an einem Tag $\tilde{d}$
$bd_{b,d,\tilde{d},ot}$	Ausprägungen der Zufallsvariable $BD_{b,d,\tilde{d},ot}$
$P(bd_{b,d,\tilde{d},ot})$	Wahrscheinlichkeit $P(BD_{b,d,\tilde{d},ot} = bd_{b,d,\tilde{d},ot})$
$BDLOS_{b,ot}$	Zufallsvariable der Verweildauer auf Bettentyp b einer Operation vom Typ ot
$bdlos_{b,ot}$	Ausprägungen der Zufallsvariable $BDLOS_{b,ot}$
$P(bdlos_{b,ot})$	Wahrscheinlichkeit $P(BDLOS_{b,ot} = bdlos_{b,ot})$
$bdlos_{b,o}^s$	Verweildauer eines Patienten auf Bettenstation b bei Durchführung von Operation o in Szenario s
$bdmod_{b,o}^s$	Platzhalter für die Funktion $(bdlos_{b,o}^s \bmod \text{card}(d))$
m_b	Parameter für die über alle Szenarien maximal erlaubte Überschreitung der Bettenkapazität von Typ b
p^s	Eintrittswahrscheinlichkeit von Szenario s
pbp_b	Strafterm in der Zielfunktion – Kosten je Bett am Tag der maximalen Bettenbelastung im Planungszyklus für die Bettennachfrage vom Typ b
prc^+	Kosten je Überstunde

prc^-	Opportunitätskosten je Stunde verfallener OR-Kapazität
rc	Verfügbare Operationszeit
RD	Zufallsvariable der Operationsdauer einer Operation
rd	Ausprägung der Zufallsvariable RD
$F(RD)$	Kumulierte Wahrscheinlichkeitsfunktion der Zufallsvariable RD
$F(rd)$	Wahrscheinlichkeit für $RD \leq rd$, also $F(RD = rd)$
$P(RD)$	Wahrscheinlichkeitsfunktion der Zufallsvariable RD
$P(rd)$	Wahrscheinlichkeit für Ausprägung rd , also $P(RD = rd)$
RD_o	Zufallsvariable der Operationsdauer einer Operation o
rd_o	Operationsdauer einer Operation o
$rd_{o,s}$	Operationsdauer einer Operation o in Szenario s
rd_s	Operationsdauer in Szenario s
rv_s	Zufällige Zahl zwischen 0 und 1 für ein Szenario s
$sca1$	Zählparameter
$sca2$	Zählparameter
$sca3$	Zählparameter für die Ordnung der Indexmenge $\tilde{d} \in D$
$sca4$	Zählparameter für die Ordnung der Indexmenge $ot \in OT$
$sca5$	Zählparameter für die Anzahl $z_{\tilde{d},ot}^*$ der mit sich selbst zu faltenden Zufallsvariablen $BD_{b,d,\tilde{d},ot}$
X^+	(Abgeleitete) Zufallsvariable zur Messung der Überschreitung der OR-Kapazität
X^-	(Abgeleitete) Zufallsvariable zur Messung der Unterschreitung der OR-Kapazität
$z_{d,ot}^*$	Parameter zur Angabe der Anzahl von an einem Tag d durchzuführenden Operationen des Typs ot
α_b	Mindestanteil der Szenarien mit Einhaltung der Bettenkapazität von Bettentyp b im Planungszyklus, $0 < \alpha_b \leq 1$

Operatoren

$\min(* : **)$	Operator zur Angabe der kleinsten Ausprägung der Menge $*$ mit der Bedingung $**$
----------------	---

Variablen

$G_{b,d}^s$	Ganzzahlige Entscheidungsvariable zur Bestimmung der Überschreitung der verfügbaren Bettenkapazität des Typs b an einem Tag d in Szenario s
H_b^s	Ganzzahlige Entscheidungsvariable zur Bestimmung der maximalen Bettenauslastung je Bettentyp b in Szenario s