

**Personalbestandsplanung und  
aggregierte Personaleinsatzplanung  
in Inbound Call Centern**

**INAUGURAL-DISSERTATION**

ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN GRADES  
EINES DOKTORS DER WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFT  
DES FACHBEREICHS WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFT  
DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

von

Nicole Rossi

aus Kassel

eingereicht im Dezember 2006

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr. Christoph Haehling von Lanzenauer

Zweitgutachter: Univ.-Prof. Dr. Peter Mevert

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jörg Sydow

Tag der Disputation: 21. Mai 2007

## Danksagung

Diese Arbeit wäre in der vorliegenden Form ohne die Zusammenarbeit mit dem Call Center der Mercedes-Benz Niederlassung Berlin nicht möglich gewesen. An dieser Stelle möchte ich ganz herzlich Herrn Michael Zuth danken. Er stand einer Zusammenarbeit offen gegenüber, engagierte sich sehr und hat damit einen maßgeblichen Anteil am Gelingen des praxisbezogenen Teils. Darüber hinaus bin ich Frau Martina Roggatz sehr verbunden. Sie stellte die maßgeblichen Fragen und gab damit der Arbeit die entscheidenden Anregungen. Weiterhin möchte ich Frau Bollinger, Frau Brandt, Herrn Jossen, Frau Gärtner und Herrn Ohnemus meinen Dank aussprechen für ihre Unterstützung und Bereitschaft zur Beantwortung der zahlreichen Fragen.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Christoph Haehling von Lanzenauer. Er weckte in mir die Begeisterung für das Thema der Personaleinsatzplanung und verstand es, die Motivation auch in schwierigen Zeiten aufrecht zu erhalten. Er stand mir mit seinen Ideen und seiner Expertise zur Seite und nahm sich immer Zeit für die Belange der Arbeit. Mein spezieller Dank gilt Herrn Prof. Dr. Peter Mevert für seine stets vorhandene Hilfsbereitschaft, die wertvollen fachlichen Anregungen zur mathematischen Optimierung und die Begutachtung der Arbeit.

Darüber hinaus gibt es viele Menschen, die mich während der Entstehung meiner Arbeit tatkräftig unterstützt haben. Allen voran möchte ich mich bei Dr. Raik Stolletz für die kritische und konstruktive Auseinandersetzung sowie für die wertvollen Diskussionen und Kommentare bedanken. Dr. Monika Huesmann und Dr. Uta Bronner danke ich für ihre strukturellen Anregungen. Dank möchte ich ebenfalls meinem Vater, Bernhard Schmidt und Daniela Berner für ihren Einsatz beim Korrekturlesen der Arbeit aussprechen.

Mein größter Dank jedoch gebührt meinem Mann Hanjo für seine fachlichen Anregungen und seine Motivation. Er kompensierte mit viel Geduld meinen Zeitmangel für die Familie und verzichtete auf viele gemeinsame Aktivitäten.

*Nicole Rossi*



---

## Inhaltsverzeichnis

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.      | Einleitung .....  | 1  |
| 2.      | Charakterisierung eines Inbound Call Centers und Problematik der Abstimmung von Angebot und Nachfrage ..... | 6  |
| 2.1     | Begriffsdefinition und Einordnung .....   | 7  |
| 2.2     | Spezifische Ressourcen eines Call Centers .....   | 11 |
| 2.3     | Darstellung des Anrufablaufs .....  | 15 |
| 2.4     | Ziele von Inbound Call Centern und Maßzahlen zu deren Umsetzung .....                                       | 17 |
| 2.4.1   | Kosten versus Service .....   | 17 |
| 2.4.2   | Kundenzufriedenheit .....   | 18 |
| 2.4.2.1 | Definition der Kundenzufriedenheit .....  | 18 |
| 2.4.2.2 | Maßzahlen .....   | 22 |
| 2.4.2.3 | Aggregation der Maßzahlen .....   | 27 |
| 2.4.3   | Kosten .....  | 28 |
| 2.4.4   | Gewinn .....  | 31 |
| 2.4.5   | Umgang mit konkurrierenden Zielen .....   | 32 |
| 2.5     | Synchronisation von Angebot und Nachfrage .....   | 34 |
| 2.5.1   | Nachfrageverlauf .....  | 34 |
| 2.5.2   | Beeinflussung der Nachfrage .....   | 37 |
| 2.5.3   | Anpassung des Personalangebotes an die Nachfrage .....  | 40 |
| 2.5.3.1 | Personalbedarf .....  | 40 |
| 2.5.3.2 | Anpassungsmaßnahmen .....   | 42 |
| 2.5.3.3 | Rechtliche Rahmenbedingungen .....  | 48 |
| 2.5.4   | Bedeutung der Übereinstimmung von Personalbedarf und Personalangebot .....                                  | 51 |
| 2.6     | Abstimmung von Personalbestand und Personaleinsatz .....  | 51 |
| 2.6.1   | Definition der Personalbestands- und der Personaleinsatzplanung .....                                       | 52 |
| 2.6.2   | Notwendigkeit einer kombinierten Personalbestands- und Personaleinsatzplanung .....                         | 57 |
| 2.7     | Überblick über den weiteren Verlauf der Arbeit .....  | 62 |
| 3.      | Personalbedarfsermittlung als Basis der Personalbestands- und Personaleinsatzplanung .....                  | 66 |
| 3.1     | Determinanten des Personalbedarfs .....   | 67 |
| 3.2     | Vorhersage der Nachfrage .....  | 69 |
| 3.3     | Anforderungen an die Methoden der Personalbedarfsermittlung .....   | 73 |

---

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 3.4       | Methoden zur Ermittlung des kurzfristigen Personalbedarfs .....                                      | 75  |
| 3.4.1     | Regressionsanalyse .....   | 76  |
| 3.4.2     | Warteschlangenmodelle .....  | 77  |
| 3.4.2.1   | Charakterisierung eines Warteschlangenmodells für Call Center mit homogenen Kunden und Agenten ..... | 78  |
| 3.4.2.2   | Auswahl eines geeigneten Warteschlangenmodells .....   | 81  |
| 3.4.2.3   | Beschreibung des $M/M/c/K+M$ -Warteschlangenmodells .....  | 82  |
| 3.4.2.4   | Personalbedarfsermittlung basierend auf dem Warteschlangenmodell .....                               | 87  |
| 3.4.2.5   | Beispiele und Anwendungen .....  | 90  |
| 3.5       | Methode zur Ermittlung des mittelfristigen Personalbedarfs .....                                     | 96  |
| 3.6       | Zusammenfassung der Ergebnisse der Personalbedarfsermittlung .....                                   | 100 |
| 4.        | Literaturüberblick zur Personaleinsatz- und Personalbestandsplanung .....                            | 102 |
| 4.1       | Personaleinsatzplanung .....   | 103 |
| 4.1.1     | Einordnung .....   | 103 |
| 4.1.2     | Set Covering Formulierungen für die Personaleinsatzplanung .....                                     | 106 |
| 4.1.2.1   | Das Set Covering Modell von Dantzig .....  | 106 |
| 4.1.2.2   | Variation der Zielfunktion und zusätzliche Nebenbedingungen .....                                    | 108 |
| 4.1.2.3   | Modellformulierungen bei gegebenem Personalbestand .....   | 110 |
| 4.1.3     | Lösbarkeit der Set Covering Formulierung .....   | 114 |
| 4.1.3.1   | Modellstruktur .....   | 114 |
| 4.1.3.2   | Anzahl an Variablen .....  | 115 |
| 4.1.4     | Ansätze zur Reduktion der Arbeitszeitmuster .....  | 119 |
| 4.1.5     | Lösungsverfahren .....   | 125 |
| 4.1.5.1   | Einordnung der Lösungsverfahren .....  | 126 |
| 4.1.5.2   | Exakte Verfahren .....   | 129 |
| 4.1.5.3   | Heuristische Lösungsverfahren des Set Covering Ansatzes ...  | 132 |
| 4.1.5.3.1 | Grundlegende Prinzipien der Heuristiken .....  | 132 |
| 4.1.5.3.2 | Konstruktive Verfahren und serielle Dekompositionsansätze .....                                      | 137 |
| 4.1.5.3.3 | LP-basierte Verfahren .....  | 140 |
| 4.1.5.3.4 | Metaheuristiken .....  | 144 |
| 4.1.5.3.5 | Beurteilung der heuristischen Verfahren .....  | 150 |
| 4.1.5.4   | Implizite Modellierung .....   | 155 |
| 4.1.6     | Simultane Personalbedarfs- und Personaleinsatzplanung .....  | 164 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 4.2       | Komponenten der Personalbestandsplanung.....  | 165 |
| 4.2.1     | Dynamische Personalbestandsplanung.....   | 166 |
| 4.2.1.1   | Einfache Modelle .....  | 167 |
| 4.2.1.2   | Mehrperiodenmodelle .....   | 168 |
| 4.2.2     | Jahresarbeitszeitverteilung und geplante Fehlzeiten .....   | 171 |
| 4.2.3     | Zusammensetzung der vereinbarten Arbeitszeiten.....   | 176 |
| 4.3       | Zusammenfassung .....   | 177 |
| 5.        | Modelle zur Personalbestands- und Personaleinsatzplanung.....   | 181 |
| 5.1       | Modell zur Personalbestands- und aggregierten Personaleinsatzplanung<br><i>PBaPEP</i> .....                   | 182 |
| 5.1.1     | Modellannahmen .....  | 182 |
| 5.1.2     | Beschreibung des Modells.....   | 193 |
| 5.1.2.1   | Zeitachsen des Modells .....  | 194 |
| 5.1.2.2   | Definition der Mengen, Parameter und<br>Entscheidungsvariablen.....   | 196 |
| 5.1.2.3   | Mathematische Formulierung des Modells .....  | 199 |
| 5.1.3     | Auswahl eines Lösungsverfahrens .....   | 204 |
| 5.1.4     | Heuristische Lösungsverfahren für das Modell <i>PBaPEP</i> .....  | 209 |
| 5.1.4.1   | Lösungsverfahren <i>trelBrJo</i> mit sequentieller Erweiterung<br>der Ganzzahligkeitsfenster .....            | 209 |
| 5.1.4.2   | Lösungsverfahren <i>reLLB</i> mittels Aufrunden der Lower<br>Bounds der Schichtvariablen.....                 | 213 |
| 5.1.4.3   | Kombiniertes Lösungsverfahren <i>LBBBrJo</i> .....  | 216 |
| 5.1.4.4   | Vergleich der Lösungsverfahren .....  | 217 |
| 5.2       | Modell zur wöchentlichen Personaleinsatzplanung bei gegebenem<br>Personalbestand <i>PEP<sub>w</sub></i> ..... | 218 |
| 5.3       | Zusammenfassung der Modelle.....  | 225 |
| 6.        | Numerische Untersuchungen .....   | 227 |
| 6.1       | Funktionsfähigkeit der vorgeschlagenen Lösungsverfahren des Modells<br><i>PBaPEP</i> .....                    | 228 |
| 6.1.1     | Testprobleme .....  | 228 |
| 6.1.1.1   | Personalbedarf.....   | 229 |
| 6.1.1.1.1 | Personalbedarf der Mercedes-Benz<br>Niederlassung Berlin.....   | 229 |
| 6.1.1.1.2 | Künstlich erzeugter Personalbedarf.....   | 234 |
| 6.1.1.2   | Festsetzung der verbleibenden Parameter .....   | 238 |

---

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 6.1.2   | Numerische Untersuchung der Testprobleme mittels der beschriebenen Lösungsverfahren .....   | 241 |
| 6.1.2.1 | Vergleich der Lösungsverfahren .....  | 242 |
| 6.1.2.2 | Verfahrensvarianten der Heuristik <i>reLLB</i> .....  | 245 |
| 6.1.2.3 | Personalbestand der unterschiedlichen Heuristiken .....                                     | 247 |
| 6.2     | Analyse des Testproblems <i>real</i> und Parametervariationen .....                         | 251 |
| 6.2.1   | Untersuchung des Testproblems <i>real</i> .....   | 251 |
| 6.2.1.1 | Analyse der Arbeitszeit .....   | 252 |
| 6.2.1.2 | Analyse der geplanten Fehlzeiten.....   | 256 |
| 6.2.2   | Parametervariationen .....  | 259 |
| 6.2.2.1 | Ausschließlicher Einsatz von Vollzeitagenten .....  | 260 |
| 6.2.2.2 | Mindestanzahl an Vollzeitagenten .....  | 262 |
| 6.2.2.3 | Überstunden.....  | 264 |
| 6.2.2.4 | Ausgleichszeitraum .....  | 265 |
| 6.2.2.5 | Fixkosten .....   | 267 |
| 6.2.2.6 | Schichtzuordnung.....   | 269 |
| 6.3     | Untersuchung der Personaleinsatzplanung basierend auf dem ermittelten Personalbestand ..... | 271 |
| 6.3.1   | Festsetzung der Parameter .....   | 272 |
| 6.3.2   | Umsetzung der Personaleinsatzplanung für ausgewählte Wochen .....                           | 275 |
| 6.4     | Zusammenfassung der Ergebnisse der numerischen Untersuchung .....                           | 290 |
| 7.      | Resümee .....   | 293 |
| 8.      | Literaturverzeichnis.....   | 298 |
| 9.      | Anhang .....  | 316 |
| 9.1     | Maßzahlen der Kundenzufriedenheit bei unterschiedlicher Nachfrage .....                     | 316 |
| 9.2     | Darstellung der Saisonfaktoren .....  | 319 |
| 9.3     | Ergebnisse der Verfahrensvarianten der Heuristik <i>reLLB</i> .....                         | 320 |
| 9.4     | Abwesenheitspläne des Testproblems <i>real</i> für die unterschiedlichen Heuristiken .....  | 323 |
| 9.5     | Personaleinsatzplan der Woche 17 für die Tage Dienstag bis Freitag .....                    | 326 |



## Abbildungsverzeichnis

|                |   |     |
|----------------|---|-----|
| Abbildung 2.1: | Schematische Darstellung eines Anrufablaufs in einem Call Center mit homogenen Anrufern und Agenten.....  | 16  |
| Abbildung 2.2: | Zusammenhang zwischen bedienten, ankommenden und anrufenden Kunden.....   | 17  |
| Abbildung 2.3: | Wochenverlauf des realisierten Anrufaufkommens in 30 Minuten Intervallen der Deutschen Telegate AG vom 19.-25.10.1998 .....   | 36  |
| Abbildung 2.4: | Tagesverlauf der Anrufe der Deutschen Telegate AG im 30 Minuten Intervall aus dem Jahr 1998 .....   | 37  |
| Abbildung 3.1: | Zusammenhang zwischen der nominellen, der realen und der produktiv nutzbaren Arbeitszeit eines Agenten.....   | 69  |
| Abbildung 3.2: | Übergänge des Geburts- und Sterbeprozesses.....   | 83  |
| Abbildung 3.3: | Zusammenhang zwischen Anrufvolumen und Durchschnittsertrag bei der minimalen Anzahl benötigter Agenten zur Erreichung des angestrebten Service Levels von 80/20 ..... | 93  |
| Abbildung 4.1: | Übersicht über die Teilgebiete der Personaleinsatzplanung.....  | 104 |
| Abbildung 4.2: | Ansätze zur Reduzierung der Anzahl an betrachteten Arbeitszeitmustern.....  | 120 |
| Abbildung 4.3: | Einteilung der Lösungsverfahren des Shift und Tour Scheduling.....  | 128 |
| Abbildung 5.1: | Einteilung der Agenten in Kategorieilmengen .....   | 189 |
| Abbildung 5.2: | Parallele Zeitachsen und dazugehörige Variablen des Modells <i>PBaPEP</i> .....   | 195 |
| Abbildung 5.3: | Ablaufschema des Lösungsverfahrens <i>relBrJo</i> .....   | 211 |
| Abbildung 5.4: | Ablaufschema des Lösungsverfahrens <i>relLB</i> .....   | 215 |
| Abbildung 5.5: | Ablaufschema des Lösungsverfahrens <i>LBBBrJo</i> .....   | 217 |
| Abbildung 6.1: | Wöchentliche und durchschnittliche Nachfrage einer Gruppe des Call Centers der Mercedes-Benz Niederlassung für ein Jahr .....   | 230 |
| Abbildung 6.2: | Anteilige Nachfrage der Wochentage am Nachfragevolumen der Woche für Wochen ohne Feiertage .....  | 231 |
| Abbildung 6.3: | Jahresdurchschnittlicher Anteil an Anrufen für die Stundenintervalle der Wochentage.....  | 232 |
| Abbildung 6.4: | Verläufe der Saisonfaktoren der wöchentlichen Nachfrage der Testprobleme .....  | 234 |
| Abbildung 6.5: | Verteilung der wöchentlichen Nachfrage auf die einzelnen Wochentage .....   | 236 |
| Abbildung 6.6: | Verteilung der täglichen Nachfrage auf die Stunden eines Tages.....   | 237 |
| Abbildung 6.7: | Darstellung der Kosten der Verfahrensvarianten der Heuristik <i>relLB</i> für ausgewählte Testprobleme.....   | 247 |

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| Abbildung 6.8:  | Zusammenhang zwischen der Wochenarbeitszeit und dem Personalangebot.....   | 252 |
| Abbildung 6.9:  | Vergleich des Personalbedarfs mit der Sollarbeitszeit und den geplanten Fehlzeiten für die Lösung der Heuristik <i>LBBrJo<sub>10</sub></i> ..... | 252 |
| Abbildung 6.10: | Personalbedarf, Mehr- bzw. Minderarbeitsstunden und geplante Fehlzeiten des Ergebnisses der Heuristik <i>LBBrJo<sub>10</sub></i> .....           | 253 |
| Abbildung 6.11: | Vergleich des Personalbedarfs mit dem Personalangebot für das Ergebnis der Heuristik <i>LBBrJo<sub>10</sub></i> .....                            | 254 |
| Abbildung 6.12: | Ergebnisse der geplanten Fehlzeiten für die betrachteten Heuristiken .....   | 255 |
| Abbildung 6.13: | Ergebnisse der geplanten Fehlzeiten und Minderarbeitszeiten vermindert um die Mehrarbeitszeiten für die betrachteten Heuristiken .....           | 256 |

## Tabellenverzeichnis

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Tabelle 2.1: | Maßzahlen der Kundenzufriedenheit im Call Center .....   | 27  |
| Tabelle 3.1: | Mittels Warteschlangenmodell berechnete Maßzahlen der Kundenzufriedenheit bei einer Anrufrate von $\lambda=100/1800$ ..... | 90  |
| Tabelle 3.2: | Vergleich der Berechnung der Anzahl der Agenten und des Service Levels bei unterschiedlichen Periodenlängen.....           | 95  |
| Tabelle 4.1: | Mögliche Arbeitsregeln der betrachteten Personaleinsatzplanungsprobleme.....   | 117 |
| Tabelle 4.2: | Anzahl an Arbeitszeitmustern der Teilprobleme bei unterschiedlichen Szenarien .....  | 118 |
| Tabelle 4.3: | Kriterien zum Hinzufügen von Arbeitszeitmustern anhand eines Unterdeckungskriteriums.....                                  | 134 |
| Tabelle 4.4: | Kriterien zur Eliminierung von Arbeitszeitmustern aus einer zulässigen Lösung anhand der Überdeckung .....                 | 136 |
| Tabelle 4.5: | Set Covering Formulierung des Beispiels .....  | 158 |
| Tabelle 4.6: | Implizite Formulierung des Beispiels.....  | 158 |
| Tabelle 5.1: | Beispielhafte Einteilung der Agenten in Kategorien und deren mögliche Schichtlängen.....                                   | 190 |
| Tabelle 5.2: | Übersicht über die Anzahl der verwendeten Variablen des Modells <i>PBaPEP</i> .....  | 205 |
| Tabelle 5.3: | Mögliche Schichten des Beispiels zum Lösungsverfahren <i>treBrJo</i> .....   | 212 |
| Tabelle 5.4: | Beispiel zum Lösungsverfahren <i>treBrJo</i> .....   | 212 |
| Tabelle 6.1: | Übersicht über die Nachfragestruktur und den Personalbedarf der Testprobleme .....   | 238 |
| Tabelle 6.2: | Wöchentliche Arbeitszeit und Schichtlängen der betrachteten Mitarbeiterkategorien .....                                    | 239 |
| Tabelle 6.3: | Zuordnung der Arbeitszeiten und der Pausen zu den Schichtenlängen.....   | 239 |
| Tabelle 6.4: | Relative Abweichungen $Gap^{LP}$ der untersuchten Heuristiken für die erzeugten Testprobleme.....                          | 243 |
| Tabelle 6.5: | Lösungsdauern der untersuchten Heuristiken für die erzeugten Testprobleme .....  | 244 |
| Tabelle 6.6: | Darstellung der relativen Abweichungen $Gap^{LP}$ der Verfahrensvarianten der Heuristik <i>reLB</i> .....                  | 246 |
| Tabelle 6.7: | Ergebnisse des Personalbestandes der LP-Lösung und der unterschiedlichen Heuristiken .....                                 | 248 |
| Tabelle 6.8: | Absolute Abweichungen der Mitarbeiterzusammensetzung der Lösungsheuristiken von der LP-Lösung.....                         | 249 |
| Tabelle 6.9: | Anzahl der Agenten der Kategoriemenge $Kat_{taegl}$ .....  | 250 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Tabelle 6.10: | Möglicher Abwesenheitsplan für den Personalbestand der Heuristik $LBBrJo_{10}$ .....  | 258 |
| Tabelle 6.11: | Übersicht über die untersuchten Parametervariationen des Testproblems $real$ .....  | 260 |
| Tabelle 6.12: | Ergebnisse beim ausschließlichen Einsatz von Vollzeitagenten.....   | 261 |
| Tabelle 6.13: | Ergebnisse des Personalbestandes bei Variation der Mindestanzahl von Vollzeitagenten.....   | 262 |
| Tabelle 6.14: | Anzahl der Arbeitnehmer und mit ihnen vereinbarte Wochenstundenzahl bei Variation der Mindestanzahl der Vollzeitagenten.....              | 263 |
| Tabelle 6.15: | Zielfunktionswerte des relaxierten Problems und relative Abweichungen $Gap^{LP}$ bei Variation der Mindestanzahl der Vollzeitagenten..... | 263 |
| Tabelle 6.16: | Ergebnisse des Personalbestandes bei Variation der jährlichen Überstunden.....  | 264 |
| Tabelle 6.17: | Relative Abweichungen $Gap^{LP}$ , Wochenstunden und Überstunden bei Variation der jährlichen Überstunden.....                            | 265 |
| Tabelle 6.18: | Ergebnisse des Personalbestandes bei Variation des Ausgleichszeitraumes.....  | 266 |
| Tabelle 6.19: | Relative Kostenabweichungen bei Variation des Ausgleichszeitraums.....  | 267 |
| Tabelle 6.20: | Ergebnisse des Personalbestandes bei Variation der Fixkosten.....   | 267 |
| Tabelle 6.21: | Relative Abweichungen $Gap^{LP}$ , Fixkostenanteile und Überstunden bei Variation der Fixkosten.....                                      | 268 |
| Tabelle 6.22: | Betrachtete Szenarien der Arbeitszeit und der dazugehörigen Schichtlängen.....  | 270 |
| Tabelle 6.23: | Ergebnisse des Personalbestandes bei unterschiedlicher Zuordnung der Schichten zu den Mitarbeiterkategorien.....                          | 270 |
| Tabelle 6.24: | Zuordnung der Schichtlängen zu den Mitarbeiterkategorien.....   | 273 |
| Tabelle 6.25: | Schichtlängen, Arbeitszeiten und Pausen der betrachteten Schichttypen.....  | 273 |
| Tabelle 6.26: | Ergebnisse des Modells $PEP_w$ für die Wochen der ausgewählten Ausgleichszeiträume der Tage Montag bis Freitag.....                       | 277 |
| Tabelle 6.27: | Wöchentliche Arbeitszeiten der Agenten der Mitarbeiterkategorie zwei für die Wochen der ausgewählten Ausgleichszeiträume.....             | 279 |
| Tabelle 6.28: | Tägliche Anwesenheitszeiten der Agenten der Mitarbeiterkategorie zwei für die Wochen der ausgewählten Ausgleichszeiträume.....            | 281 |
| Tabelle 6.29: | Wöchentliche Arbeitszeiten der Agenten der Mitarbeiterkategorie drei für die Wochen der ausgewählten Ausgleichszeiträume.....             | 283 |
| Tabelle 6.30: | Tägliche Anwesenheitszeiten der Agenten der Mitarbeiterkategorie drei in den Wochen der betrachteten Ausgleichszeiträume.....             | 285 |

---

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| Tabelle 6.31: | Personaleinsatzplan am Montag der Woche 17.....  | 287 |
| Tabelle 6.32: | Personaleinsatzplan am Mittwoch der Woche 6..... | 289 |

## Symbolverzeichnis

|                 |  |
|-----------------|--|
| $\beta$         | Prozentsatz zurückscheuender Anrufer   |
| $\lambda$       | Ankunftsrate   |
| $\lambda_n$     | Geburtsrate  |
| $\lambda_{eff}$ | effektive Ankunftsrate   |
| $\mu$           | Bearbeitungsrate   |
| $\mu_n$         | Sterberate   |
| $\nu$           | Auflegerate  |
| $\pi$           | maximaler Anteil an Teilzeitmitarbeitern   |
| $A$             | Koeffizientenmatrix der Set Covering Formulierung  |
| $a$             | Grenze eines Ganzzahligkeitsfensters beim Lösungsalgorithmus <i>trelBrJo</i>   |
| $ABW_t$         | Abweichung zwischen der bereits eingesetzten Anzahl an Arbeitsperioden und dem Personalbedarf der Periode $t \in T$                      |
| $a_{s,t}$       | Vektor des Arbeitszeitmusters $s \in S$ , der angibt, ob in Periode $t \in T$ gearbeitet wird ( $a_{s,t}=1$ ) oder nicht ( $a_{s,t}=0$ ) |
| $Arbtagew$      | Anzahl der Arbeitstage in der Woche $w \in W$ von Montag bis Freitag   |
| $Arbk$          | aus dem Modell <i>PBaPEP</i> vorgegebene Summe der eingeplanten Arbeitszeit der Agenten der Mitarbeiterkategorie $k$                     |
| $Arbzt_s$       | Arbeitszeit der Schicht $s \in S$ inklusive der dazugehörigen Bildschirmpause(n)   |
| $A_{min}$       | minimale Arbeitszeit einer Schicht   |
| $AU$            | Ereignis des Auflegens   |
| $Ausgl$         | Länge des Ausgleichszeitraums für Mehr- und Minderarbeitszeiten in Wochen  |
| $B$             | Ereignis des Blockierens eines Anrufers  |
| $B_t$           | Personalbedarf in der Periode $t \in T$  |
| $b_t$           | Anzahl aufeinanderfolgender Blöcke von Einsen in der Zeile $t$ der Koeffizientenmatrix   |
| $B_{t,d}$       | Personalbedarf in der Periode $t \in T$ , am Tag $d \in D$   |
| $B_{t,d,w}$     | Personalbedarf in der Periode $t \in T$ , am Tag $d \in D$ in der Woche $w \in W$  |
| $Bm_t$          | minimal akzeptierte Anzahl an Arbeitnehmern in Periode $t$   |
| $BP_s$          | Anzahl der Bildschirmpausen des Schichttyps $s \in ST$   |
| $Bound1$        | Hilfsparameter zum Setzen der Lower Bound im Lösungsalgorithmus <i>reLLB</i>   |
| $Bound2$        | Hilfsparameter zum Setzen der Lower Bound im Lösungsalgorithmus <i>reLLB</i>   |
| $c$             | Anzahl an eingesetzten Agenten   |

---

|               |  |
|---------------|--|
| $c_s$         | Arbeitskosten des Arbeitszeitmusters $s \in S$   |
| $c_{max}$     | maximal aufzuwendende Arbeitskosten  |
| $calls_{t,d}$ | Anzahl an Anrufen in Periode $t \in T$ am Tag $d \in D$  |
| $cf_k$        | Fixkosten eines Agenten der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$   |
| $ct_s$        | Kosten des Schichttyps $s \in ST$  |
| $cv_k$        | variable Gehaltskosten pro Stunde der Mitarbeiterkategorie $k \in K$   |
| $D$           | Menge der Öffnungstage der Woche   |
| $D_{WT[w]}$   | Menge der Wochentage der Woche $w \in W$ ohne Wochenendtage und Feiertage  |
| $D_{WE[w]}$   | Menge der Wochenendtage und Feiertage der Woche $w \in W$  |
| $D_{[w]}$     | Menge der Öffnungstage des Call Centers in der Woche $w \in W$ , mit $D_{[w]} = D_{WT[w]} \cup D_{WE[w]}$  |
| $e$           | untere Grenze eines Ganzzahligkeitsfensters beim Lösungsalgorithmus <i>trelBrJo</i>  |
| $E_t$         | bereits eingesetzte Arbeitnehmer in Periode $t \in T$  |
| <i>Faktor</i> | Faktor des Überstundenzuschlages ( <i>Faktor</i> > 1)  |
| $f$           | Faktor der gewichteten Arbeitszeit am Wochenende und den Feiertagen  |
| $Gap^{LP}$    | relative Abweichung der heuristischen Lösung von der optimalen Lösung des relaxierten Problems   |
| $h$           | Stunde   |
| $i$           | früheste Periode, in der eine Pause für alle Schichttypen beginnen kann  |
| $i_F$         | früheste Periode des Frühstückspausenbeginns für alle Schichttypen   |
| $i_M$         | früheste Periode des Mittagspausenbeginns für alle Schichttypen mit $i_M \subset T$  |
| $j$           | späteste Periode der Pause für alle Schichttypen   |
| $j_F$         | späteste Periode der Frühstückspause für alle Schichttypen   |
| $j_M$         | späteste Periode der Mittagspause für alle Schichttypen mit $j_M \subset T$  |
| $K$           | Anzahl an Telefonleitungen   |
| $k_{t,j}$     | der inkrementelle Anstieg in der erwarteten Anzahl an zusätzlich bedienten Kunden mit Bedienung innerhalb des tolerierten Wartezeitlimits durch den Einsatz des $Bm_t + j$ -ten Agenten in Periode $t$ |
| <i>Kat</i>    | Menge der Mitarbeiterkategorien  |
| $Kat_{taegl}$ | Kategorierteilmenge der Mitarbeiterkategorien mit Arbeitstagen von Montag bis Freitag ohne Feiertag, wobei $Kat_{taegl} \subseteq Kat$   |
| $Kat_{wechs}$ | Kategorierteilmenge der Mitarbeiterkategorien mit Arbeitstagen an allen möglichen Wochentagen, wobei $Kat_{wechs} \subseteq Kat$ sowie $Kat_{wechs} \cup Kat_{taegl} = Kat$                            |
| $L$           | Warteschlangenlänge  |

---

|                   |   |
|-------------------|---|
| $labor_{max}$     | maximale Anzahl an einzuplanenden Schichten   |
| $lb_{y_{d,w,s}}$  | Lower Bound der Schichtvariable $y_{d,w,s}$ am Tag $d \in D_{[w]}$ in der Woche $w \in W$ und Schicht $s \in S$   |
| $m_{max}$         | maximal auftretender Restbedarf einer Periode   |
| $MaxAnz_k$        | maximal zu beschäftigende Anzahl an Agenten der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$  |
| $MaxPause$        | Periode mit der spätest möglichen Pause eines Tages   |
| $Max\_Std^+$      | maximale Überstunden im Ausgleichszeitraum  |
| $Max\_Std_{Jahr}$ | maximale Überstunden vermindert um die Unterstunden eines Agenten im Planungszeitraum   |
| $MinAnz_k$        | minimal zu beschäftigende Anzahl an Agenten der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$  |
| $MinPause$        | Periode mit der frühestmöglichen Pause eines Tages  |
| $MZ_{t,d}$        | Maßzahl der Kundenzufriedenheit analog der Anzahl an Anrufen und des Personalbedarfs in der Periode $t \in T$ am Tag $d \in D$                                    |
| $MZ_{t,d,j}^+$    | Anstieg der Maßzahl der Kundenzufriedenheit durch den Einsatz des $j$ -ten über den Bedarf $B_{t,d}$ hinausgehenden Agenten in Periode $t \in T$ am Tag $d \in D$ |
| $P_E$             | Menge der möglichen Endzeitpunkte aller Pausenfenster   |
| $P_{EM}$          | Menge der letztmöglichen Startzeitpunkt aller Mittagspausenfenster  |
| $P_{EF}$          | Menge der möglichen Endzeitpunkte aller Frühstückspausenfenster   |
| $P_S$             | Menge der möglichen Startzeitpunkte aller Pausenfenster   |
| $P_{SF}$          | Menge der möglichen Startzeitpunkte aller Frühstückspausenfenster   |
| $P_{SM}$          | Menge der möglichen Startzeitpunkte aller Mittagspausenfenster  |
| $P(B)$            | Wahrscheinlichkeit einen anrufenden Kunden zu blockieren  |
| $P(Z)$            | Wahrscheinlichkeit eines anrufenden Kunden vor der Warteschlange zurückzusehen  |
| $P(A)$            | Wahrscheinlichkeit eines anrufenden Kunden aufzulegen   |
| $P(SV)$           | Wahrscheinlichkeit eines anrufenden Kunden bedient zu werden  |
| $p_n$             | stationäre Wahrscheinlichkeit bzw. Zustandswahrscheinlichkeit für $n$ Anrufer im System   |
| $Pause_s$         | Pausenzeit in Stunden der Schicht $s \in S$   |
| $PBeg_k$          | Menge aller Schichttypen mit Pausenfenster zwischen $k$ und der spätestmöglichen Pausenperiode $j$  |
| $PBegF_k$         | Menge aller Schichttypen mit Frühstückspausenfenster zwischen $k$ und der spätestmöglichen Frühstückspausenperiode $j_F$  |
| $PBegM_k$         | Menge aller Schichttypen mit Mittagspausenfenster zwischen $k$ und der spätestmöglichen Mittagspausenperiode $j_M$  |



---

|              |  |
|--------------|--|
| $PEnd_k$     | Menge aller Schichttypen mit Pausenfenster zwischen der frühestmöglichen Pause und $k$   |
| $PEndF_k$    | Menge aller Schichttypen mit Frühstückspausenfenster zwischen der frühestmöglichen Pause und $k$                                       |
| $PEndM_k$    | Menge aller Schichttypen mit Mittagspausenfenster zwischen der frühestmöglichen Pause und $k$  |
| $q$          | Anzahl an Warteplätzen im Call Center  |
| $q_n$        | bedingte Wahrscheinlichkeit für $n$ Anrufer im System unter der Bedingung, dass ein Anrufer gerade ankommt                             |
| $Q$          | Anzahl an Schichten eines Tages mit maximaler Schichtlänge   |
| $R_t$        | Restbedarf der Periode $t \in T$ sofern im Verlauf der Einsatzplanung eine bestimmte Anzahl von Arbeitnehmern bereits eingesetzt wurde |
| $RS$         | Rechte Seite   |
| $S$          | Menge der möglichen Schichten bzw. Arbeitszeitmuster eines Tages   |
| $S_k$        | Menge der zulässigen Schichten für die Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$  |
| $S_M$        | Menge der Schichten mit Mittagspause   |
| $s_{max}$    | maximaler Index der Menge $S$  |
| $S_{taegl}$  | Menge der Schichten für Mitarbeiter der Mitarbeiterkategorien $Kat_{taegl}$ , wobei $S_{taegl} \subseteq S$                            |
| $S_{wechs}$  | Menge der Schichten für die Mitarbeiter der Mitarbeiterkategorien $Kat_{wechs}$ , wobei $S_{wechs} \subseteq S$                        |
| $S_{TZ}$     | Menge der Arbeitszeitmuster für Teilzeitmitarbeiter  |
| $Schul$      | Anzahl an Schulungswochen eines Agenten  |
| $SL$         | Menge der möglichen Schichtlängen  |
| $sl_{max}$   | maximale Schichtlänge  |
| $ST$         | Menge der möglichen Schichttypen   |
| $ST_k$       | Menge der zulässigen Schichttypen für die Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$   |
| $ST_M$       | Menge der Schichttypen mit Mittagspause  |
| $ST_{wechs}$ | Menge der Schichttypen für die Mitarbeiter der Kategorie $Kat_{wechs}$ mit $ST_{wechs} \subseteq ST$                                   |
| $SV$         | Ereignis, bedient zu werden  |
| $T$          | Menge der Perioden eines Tages   |
| $T_{BP}$     | Menge der möglichen Perioden für die Bildschirmpause   |
| $T_{max}$    | letzte Planungsperiode eines Tages   |
| $U$          | Auslastung der Agenten   |
| $u_{t,j}^+$  | Angabe der Überschreitung des benötigten Bedarfs einer Periode   |
| $U_t$        | Unterdeckung des Personalbedarfs in der Periode $t$  |

---

|                   |  |
|-------------------|--|
| $ub_{y_{d,w,s}}$  | Upper Bound der Schichtvariable $y_{d,w,s}$  |
| $UE_t$            | Überdeckung des Personalbedarfs in der Periode $t$   |
| $Urlaub$          | Mindesturlaub eines Agenten in Wochen  |
| $W$               | Menge der Wochen des Planungszeitraums   |
| $w_t$             | Anzahl an Arbeitnehmern, die über den minimal akzeptierten Arbeitnehmerbedarf für Periode $t$ hinausgehen und einen Zuwachs in der Anzahl an Kunden generieren, die innerhalb des Wartezeitlimits bedient werden |
| $w_{t,d}$         | Anzahl der über den Personalbedarf für Periode $t$ am Tag $d$ hinausgehenden und Zuwachs in der Maßzahl der Kundenzufriedenheit generierenden Arbeitnehmer   |
| $W_{Ausgl}$       | Menge der Wochen zu Beginn des Ausgleichszeitraums $Ausgl$ mit $W_{Ausgl} := \{1, 1+Ausgl, \dots, W-Ausgl+1\}$   |
| $Wochenstd_k$     | vereinbarte wöchentliche Arbeitszeit eines Mitarbeiters der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$   |
| $Wuensche_{k,w}$  | Anzahl an Mitarbeitern der Kategorie $k \in Kat$ mit Urlaubswunsch in Woche $w \in W$  |
| $WZ$              | Wartezeit  |
| $x_{anz_k}$       | Anzahl an Agenten der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$   |
| $x_{anw_{k,w}}$   | Anzahl der in Woche $w \in W$ anwesenden Agenten der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$  |
| $x_{anw_k}$       | Anzahl der anwesenden Agenten der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$   |
| $x_{abw_{k,w}}$   | Anzahl der in Woche $w \in W$ abwesenden Agenten der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$  |
| $x^+_{Std_{k,w}}$ | Überstunden der Agenten der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$ im Ausgleichszeitraum $w \in W_{Ausgl}$   |
| $x^-_{Std_{k,w}}$ | Unterstunden der Agenten der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$ im Ausgleichszeitraum $w \in W_{Ausgl}$  |
| $y_s$             | Anzahl der im Arbeitszeitmuster $s \in S$ arbeitenden Arbeitnehmer   |
| $y_{d,s}$         | Anzahl der im Schichttyp $s \in ST$ arbeitenden Agenten am Tag $d \in D$   |
| $y_{d,w,s}$       | Anzahl der in Schicht $s \in S$ arbeitenden Agenten am Tag $d \in D_{[w]}$ der Woche $w \in W$   |
| $yf_{t,d}$        | Anzahl der Agenten mit Frühstückspause in Periode $t$ am Tag $d$   |
| $ym_{t,d}$        | Anzahl der Agenten mit Mittagspausenende in Periode $t$ am Tag $d$   |
| $yp_t$            | Anzahl der Agenten mit Pause in Periode $t$  |
| $yt_s$            | Anzahl der im Schichttyp $s \in ST$ arbeitenden Agenten  |
| $Z$               | Ereignis, dass ein anrufender Kunde vor der Warteschlange zurückscheut   |
| $z$               | Zählindex  |
| $z_{Anz}$         | vordefinierte Anzahl an Lösungen des relaxierten Problems  |

$z^{heur}$ 

Zielfunktionswert der heuristischen Lösung

 $z^{LP}$ 

Zielfunktionswert der optimalen Lösung des relaxierten Problems

## Abkürzungsverzeichnis

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| ACD-Anlage                  | Automatic Call Distribution  |
| ArbZG                       | Arbeitszeitgesetz  |
| BGB                         | Bürgerliches Gesetzbuch  |
| BildscharbV                 | Bildschirmarbeitsverordnung  |
| BUrlG                       | Bundesurlaubsgesetz  |
| <i>DSCM</i>                 | Set Covering Formulierung von Dantzig (1954)   |
| CTI                         | Computer Telephone Integration   |
| IP                          | Integer Programming  |
| <i>IPEP</i>                 | implizites Personaleinsatzplanungsmodell von Bechtold und Jacobs (1990), (1991)  |
| IVR                         | Interactive Voice Response   |
| <i>K</i>                    | Verfahren von Keith (1979)   |
| <i>LBBrJo</i>               | Kombination der Lösungsansätze <i>relLB</i> und <i>trelBrJo</i>  |
| <i>LBBrJo<sub>i</sub></i>   | Verfahrensvarianten mit $z_{Anz} = i$ mit $i \in \mathbb{N}$   |
| LP                          | Lineares Planungsproblem   |
| MIP                         | Mixed Integer Problem  |
| <i>MS</i>                   | Verfahren von Morris/ Showalter (1983).  |
| NachwG                      | Nachweisgesetz   |
| <i>PBaPEP</i>               | lineares Entscheidungsmodell zur Lösung der Personalbestands- und aggregierten Personaleinsatzplanung  |
| <i>PBaPEP<sub>rel</sub></i> | relaxiertes Entscheidungsmodell <i>PBaPEP</i>  |
| <i>PEP<sub>w</sub></i>      | Modell der Personaleinsatzplanung für die Woche $w$ bei gegebenem Personalbestand, das die Modelle <i>CLSM-SRV</i> und <i>IPEP</i> miteinander verbindet |
| <i>relLB</i>                | Lösungsansatz durch wiederholtes Lösen des relaxierten Modells und anschließender Erhöhung einiger Lower Bounds $lb_{y_{d,w,s}}$ der Schichtvariablen    |
| <i>Std</i>                  | Stunden  |
| <i>trelBrJo</i>             | teilrelaxierter Lösungsansatz, der dem relaxierten Modell sequentiell neue Ganzzahligkeitsrestriktionen hinzufügt  |
| TzBfG                       | Teilzeit- und Befristungsgesetz  |
| <i>VZÄ</i>                  | Methode der Vollzeitäquivalente  |