

6. Numerische Untersuchungen

Nach der Darstellung des in Kapitel 5 beschriebenen Modells *PBaPEP* und der Erarbeitung von Ansätzen zu dessen Lösung, findet im Rahmen dieses Kapitels eine Untersuchung der Umsetzbarkeit des Modells und dessen Lösungsansätzen statt. Dazu findet im Abschnitt 6.1 eine Untersuchung der vorgeschlagenen Lösungsverfahren anhand von Testproblemen statt. Die Testprobleme beinhalten verschiedene Nachfrageverläufe, die auf unterschiedlichen realen und künstlich erzeugten Nachfragestrukturen basieren. Eine reale Nachfragestruktur basiert auf den Daten eines kleinen Call Centers der Mercedes-Benz Niederlassung in Berlin. Die über die Nachfragestruktur hinaus benötigten Parameter des Modells werden ebenfalls den realen Daten des genannten Call Centers entnommen. Dieses Call Center dient somit als Basisfall im Rahmen der numerischen Untersuchung. Anhand der Ergebnisse aller Testprobleme erfolgt eine Auswahl von einem bzw. mehreren vielversprechenden Lösungsverfahren, die im weiteren Verlauf der Untersuchung zur Anwendung kommen.

Nach der Auswahl der geeigneten Lösungsverfahren findet im Abschnitt 6.2 eine genaue Analyse der Ergebnisse des realen Testproblems hinsichtlich der Arbeitszeiten und der Abwesenheitszeiten der beschäftigten Agenten statt. Darüber hinaus wird überprüft, inwieweit Parametervariationen Auswirkungen auf den Personalbestand haben. Diese Parametervariationen umfassen den ausschließlichen Einsatz von Vollzeitagenten, den Mindesteinsatz einer bestimmten Anzahl von Vollzeitagenten, die Modifikation der möglichen Überstunden der Agenten, die Variation der Ausgleichszeiträume, die Variation der Fixkosten der Arbeitnehmer sowie die Veränderung der Zuordnung der Schichten und Arbeitszeiten zu den Mitarbeiterkategorien.

Abschließend bleibt zu analysieren, inwieweit mit Hilfe des durch das Modell *PBaPEP* ermittelten Personalbestandes ein zufriedenstellender wöchentlicher Einsatzplan für die Wochen des Planungszeitraums erzeugt werden kann. Diese Aufgabe ist Gegenstand des Abschnitts 6.3. Zu diesem Zweck wird das im Abschnitt 5.2 vorgestellte Modell zur wöchentlichen Personaleinsatzplanung PEP_w auf die Ergebnisse des Modells *PBaPEP* angewendet. Dabei gehen Anzahl der anwesenden Agenten und deren Arbeitszeiten der jeweiligen Woche als Daten in die wöchentliche Einsatzplanung ein. Die Umsetzung der Personaleinsatzplanung erfolgt exemplarisch für die Wochen von zwei ausgewählten Ausgleichszeiträumen. Der abschließende Abschnitt 6.4 des Kapitels fasst die Ergebnisse der numerischen Untersuchung nochmals zusammen.

6.1 Funktionsfähigkeit der vorgeschlagenen Lösungsverfahren des Modells *PBaPEP*

Nachfolgend soll gezeigt werden, dass die vorgeschlagenen Lösungsverfahren *treLBrJo*, *reLLB* sowie deren Kombination *LBBrJo* für das Modell zur Personalbestands- und aggregierten Personaleinsatzplanung bei sehr unterschiedlichen Call Center spezifischen Nachfragestrukturen gute Ergebnissen erzielen. Die Funktionsfähigkeit der entwickelten Algorithmen wird an mehreren Testbeispielen demonstriert. Zu diesem Zweck werden Testprobleme generiert, welche zum Teil aus der betrieblichen Praxis stammen und zum Teil künstlich erzeugt sind.

6.1.1 Testprobleme

Testprobleme für die Personalbestandsplanung sind in der wissenschaftlichen Literatur nicht beschrieben, für die Personaleinsatzplanung sind sie hingegen verfügbar. Die meisten Testprobleme der Personaleinsatzplanung gehen auf einen Vorschlag von Bechtold und Showalter zurück.³⁹⁷ Sie haben künstliche Bedarfsmuster für eine Woche erzeugt. Die Muster folgen unterschiedlichen Verteilungen, differenzieren sich in ihrem mittleren Personalbedarf pro Periode und weisen unterschiedliche Öffnungszeiten auf. Die von ihnen erzeugten Verteilungen unterscheiden sich aber deutlich vom Verlauf des täglichen Nachfragevolumens eines Call Centers, so dass diese unberücksichtigt bleiben. Darüber hinaus existieren in der Literatur reale Personalbedarfsmuster von Call Centern.³⁹⁸ Diese Bedarfsmuster zählen jedoch zu den mittelgroßen Call Centern oder haben Öffnungszeiten rund um die Uhr und sind für die Analyse von kleinen Call Centern nicht geeignet. Darüber hinaus sind alle für die Personaleinsatzplanung entwickelten Testprobleme und realen Personalbedarfsmuster für den Planungshorizont einer Woche ausgelegt. Eine Übernahme dieser Testprobleme für die Zwecke der Personalbestandsplanung ist aufgrund des benötigten Bedarfsmusters für den Zeitraum eines Jahres nicht zweckmäßig. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit neue Testprobleme erzeugt.

Die Testprobleme beinhalten die für das Modell *PBaPEP* benötigten Parameter. Sie konkretisieren sich in dem Personalbedarf, der für die einzelnen Perioden der

³⁹⁷ Vgl. Bechtold/ Showalter (1987). Sie haben 36 Testprobleme mit unterschiedlichen Verteilung generiert. Ihre Bedarfsmuster werden in vielen Veröffentlichungen verwendet. Vgl. Brusco (1998), Bursco/ Johns (1996), Brusco/ Jacobs (1995b) und (1993a, b), Bechtold/ Brusco (1994a, b), Bechtold/ Brusco/ Showalter (1991) und Easton/ Rossin (1991a, b).

³⁹⁸ Vgl. beispielsweise Lin/ Lai/ Hung (2000), McGinnis/ Culver/ Deane (1978) und Buffa/ Cosgrove/ Luce (1976).

Öffnungszeiten des Call Centers für den Zeitraum eines Jahres benötigt wird. Darüber hinaus sind die Mitarbeiterkategorien, die dazugehörigen Schichten, die Anzahl der Urlaubs- und Schulungswochen, die Überstundenregelungen, die Ausgleichszeiträume sowie die fixen und variablen Arbeitskosten festzulegen. Im Rahmen der Testprobleme erfolgt eine Variation des Verlaufs der Nachfrage, der mittleren Nachfrage sowie der Öffnungszeiten. Die erzeugte Nachfrage wird anhand der Bearbeitungszeiten, der Geduld der Anrufer, der Leitungskapazitäten sowie der Maßzahl der Kundenzufriedenheit mittels Warteschlangenmodell in einen Personalbedarf transformiert. Dabei gilt die Annahme, dass für die zugrunde liegende Periodenlänge von einer Stunde der Ankunftsprozess stationär ist. Die verbleibenden Parameter sind für alle Testprobleme identisch.

Im Folgenden findet die Beschreibung der Testprobleme statt. Zu diesem Zweck werden im Abschnitt 6.1.1.1 die den Testproblemen zugrunde liegenden Nachfrageverläufe veranschaulicht. Ein Testproblem basiert auf dem Nachfrageverlauf des Call Centers der Mercedes-Benz Niederlassung Berlin, dessen Darstellung im Abschnitt 6.1.1.1.1 nachzulesen ist. Für die weiteren Testprobleme werden teilweise künstliche Nachfragemuster erzeugt, deren Beschreibung im Abschnitt 6.1.1.1.2 erfolgt. Anschließend kommt es im Abschnitt 6.1.1.2 zur Festlegung der übrigen Parameter des Modells *PBaPEP*. Diese orientieren sich ebenfalls an den Gegebenheiten des Call Centers der Mercedes-Benz Niederlassung.

6.1.1.1 Personalbedarf

6.1.1.1.1 Personalbedarf der Mercedes-Benz Niederlassung Berlin

Bei dem realen Call Center handelt es sich um ein kleines Call Center der Mercedes-Benz Niederlassung in Berlin. Für eine homogene Gruppe von Agenten dieses Call Centers, deren Anzahl weniger als 20 Mitarbeiter beträgt, liegen die Daten der ACD-Anlage für den Zeitraum Juni 2001 bis Mai 2002 vor. Die verwendeten Daten zur Berechnung des Personalbedarfs umfassen die Nachfrage der einzelnen Perioden der Öffnungszeit, die durchschnittlichen Bearbeitungszeiten, das Warteverhalten des betrachteten Zeitraums, die Leitungskapazitäten sowie die verwendete Maßzahl der Kundenzufriedenheit.

Das betrachtete Call Center bietet seine Dienstleistung von Montag bis Freitag jeweils an 15,5 aufeinanderfolgenden Stunden an. Samstags ist es lediglich für acht Stunden geöffnet. An Sonn- und Feiertagen bleibt das Call Center geschlossen. Die Nachfrage basiert auf der Summe der Anrufe im Stunden-Intervall für den Zeitraum eines Jahres. Dabei wird das

Anrufvolumen der letzten halben Stunde der Öffnungszeit von Montag bis Freitag als die Nachfrage einer Stunde interpretiert, um eine Abbildung des Problems auf Stundenbasis zu ermöglichen.

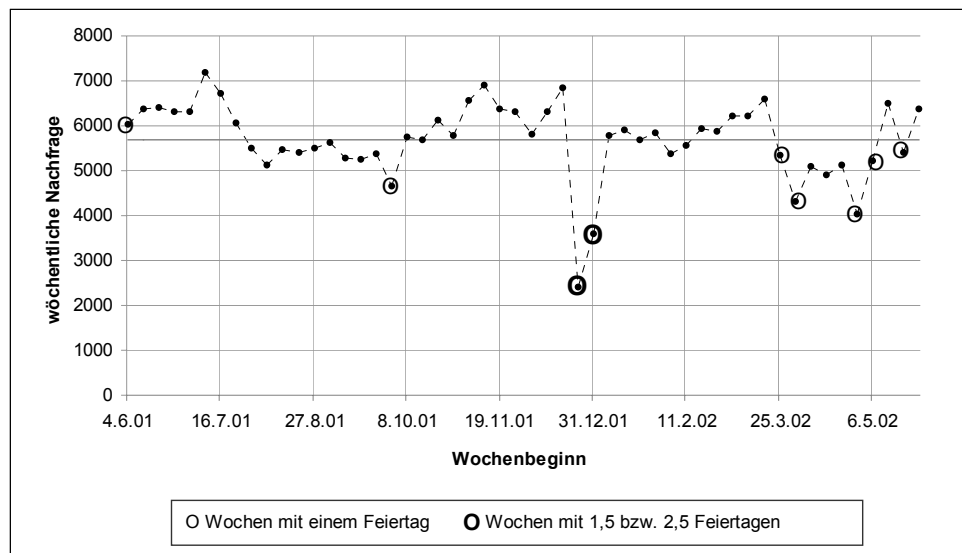


Abbildung 6.1: Wöchentliche und durchschnittliche Nachfrage einer Gruppe des Call Centers der Mercedes-Benz Niederlassung für ein Jahr

Abbildung 6.1 zeigt die wöchentliche Nachfrage im Verlauf des Jahreszeitraums sowie die durchschnittliche Wochennachfrage von 5700 Anrufen. Sofern in den dargestellten Wochen an einem Arbeitstag ein Feiertag war, wurde die wöchentliche Nachfrage mit einem Kreis versehen.³⁹⁹ Am 24. und 31. Dezember findet das Dienstleistungsangebot des Call Centers halbtags statt, diese Tage werden in der Abbildung jeweils als halber Feiertag gewertet. In den Wochen, in denen an den Tagen Montag bis Freitag ein Feiertag vorkam, sinkt die Nachfrage im Vergleich zur mittleren Nachfrage der umliegenden Wochen aufgrund der geringeren Anzahl an Öffnungstagen. Zwar staut sich an den Feiertagen ein Teil der Nachfrage auf, so dass an den Tagen nach dem Feiertag die Nachfrage höher ist als gewöhnlich, jedoch wird sie bei dem betrachteten Call Center nicht vollständig nachgeholt. Eine Spitzennachfrage ist bei dem vorliegenden Datensatz in den Wochen vor dem Sommerferienbeginn des Bundeslandes Berlin (Wochenbeginn 9./16.7.01), beim ersten Frost sowie in der Vorweihnachtswoche vorhanden. Von der zweiten Sommerferienwoche (Wochenbeginn 30.7.01) bis Anfang Oktober sowie zwischen Ostern und Himmelfahrt (Wochenbeginn 25.3.-6.5.02) ist eine unterdurchschnittliche Nachfrage vorhanden.

³⁹⁹ Um den Verlauf der Nachfrage oder anderen Datenreihen zu verdeutlichen, werden in den folgenden Abbildungen die diskreten Ausprägungen miteinander verbunden.

Betrachtet man den Anteil der täglichen Nachfrage am Nachfragevolumen einer Woche, so ergibt sich das in Abbildung 6.2 ersichtliche Muster. Dabei wurden aufgrund des Effektes der aufgestauten Nachfrage nur Wochen ohne Feiertage berücksichtigt.⁴⁰⁰ In der Abbildung lässt sich die bereits im Abschnitt 2.5.1 beschriebene Verteilung der Wochennachfrage auf die einzelnen Wochentage erkennen. Tendenziell sinkt das tägliche Nachfragevolumen im Verlauf der Woche. Während montags der höchste Anteil der Wochennachfrage das Call Center erreicht, ist freitags der Anteil zumeist niedriger als an den vorherigen Wochentagen. Der Samstag verzeichnet den geringsten Anteil. Die Wochentage Dienstag bis Donnerstag haben einen Verlauf der anteiligen Nachfrage pro Tag, der sich nicht sehr stark unterscheidet.

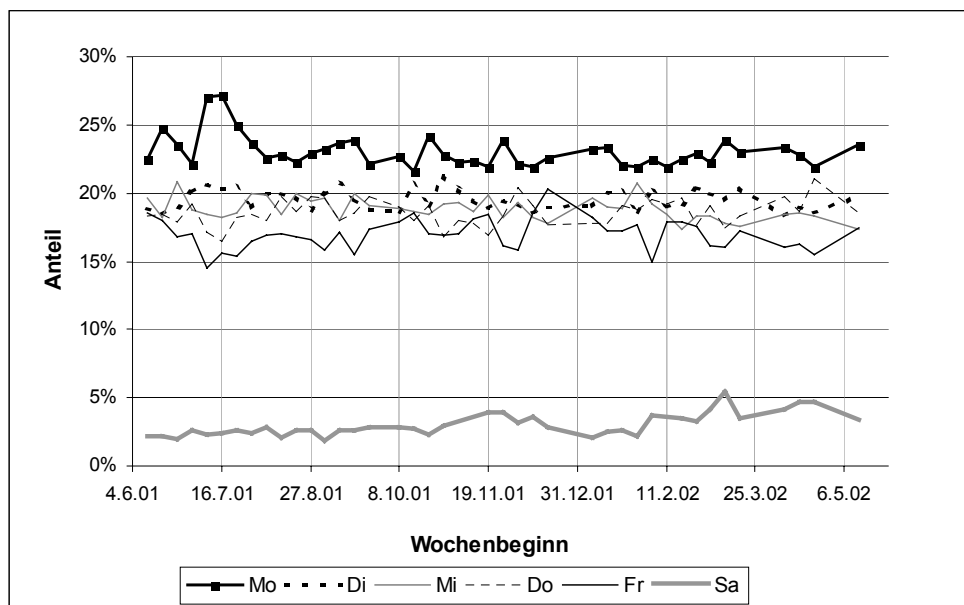


Abbildung 6.2: Anteilige Nachfrage der Wochentage am Nachfragevolumen der Woche für Wochen ohne Feiertage

Verteilt man die tägliche Nachfrage auf die Stundenintervalle der Öffnungszeiten, so erkennt man in Abbildung 6.3 einen ähnlichen Verlauf für die Tage Dienstag bis Donnerstag. Dabei lässt sich am Vormittag des Montags ein höherer Anteil, am Nachmittag hingegen ein niedrigerer Anteil als an den Tagen Dienstag bis Donnerstag feststellen. Freitags sinkt der Anteil während der Mittagszeit nicht so stark ab wie an den anderen Wochentagen. Samstags ist aufgrund der geringeren Öffnungszeit ein völlig anderer Verlauf vorhanden.

⁴⁰⁰ Wochen mit Feiertagen lassen sich in Abbildung 6.2 durch die größeren Abstände zwischen zwei Wochen der Montagsreihe erkennen. Siehe z.B. den Wochenbeginn vom 17.12.01, dem der des 7.1.02 folgt.

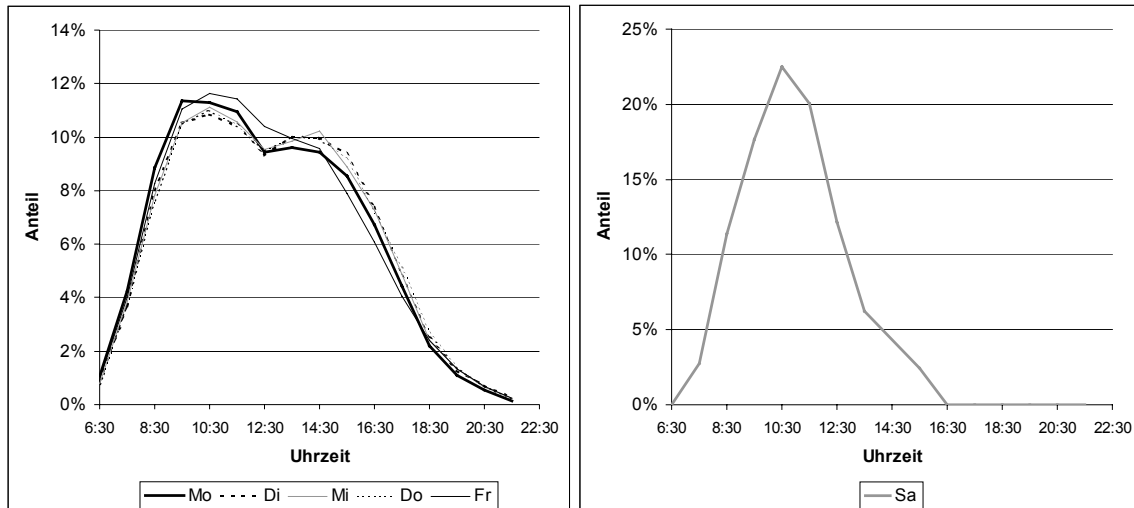


Abbildung 6.3: Jahresdurchschnittlicher Anteil an Anrufen für die Stundenintervalle der Wochentage

Die Bearbeitungszeit beinhaltet in dem betrachteten Call Center die Gesprächszeit und die Nachbearbeitungszeit. Die Dauer der jeweils geführten Gespräche lässt sich anhand der vorliegenden Daten der ACD-Anlage nicht direkt ermitteln, da diese nur die Summe der Gesprächszeiten eines Intervalls speichert. Die Anzahl der beantworteten Gespräche wird ebenfalls aufgezeichnet, so dass die Möglichkeit besteht, die durchschnittlichen Gesprächszeiten zu berechnen. Die mittlere Gesprächsdauer variiert in Abhängigkeit von der Uhrzeit. Die Gesprächsdauer ist von Montag bis Freitag morgens und abends geringer als während des Tages. Für die durchschnittliche Gesprächsdauer lässt sich der Tag in drei Abschnitte unterteilen. Für die Zeit von 6:30 Uhr bis 7:30 Uhr beträgt die durchschnittliche Gesprächsdauer 45 Sekunden, im sich anschließenden Tagesverlauf bis 19:30 Uhr beträgt sie 75 Sekunden, nach diesem Zeitraum fällt sie auf 55 Sekunden.

Die aufgezeichneten Nachbearbeitungszeiten können hingegen nicht verwendet werden. In dem Call Center lassen sich die Agenten, die Sonderaufgaben ausführen und den Anrufern nicht zur Verfügung stehen, für diese Zeit in der ACD-Anlage mit dem Modus „Nachbearbeitungszeit“ registrieren. Demnach ist die tatsächliche Zeit, die zur Nachbearbeitung eines Gespräches verwendet wird, erheblich geringer, als dies die ACD-Anlage beschreibt. Anhand einer Stichprobe ließ sich ermitteln, dass die tatsächlichen durchschnittlichen Nachbearbeitungszeiten ungefähr fünf Sekunden betragen.⁴⁰¹ Erhöht man die mittleren Gesprächsdauern um die mittlere Nachbearbeitungszeit, so ergeben sich im Verlauf eines Tages mittlere Bearbeitungsdauern von 50, 80 respektive 60 Sekunden. Aufgrund der

⁴⁰¹ Das bedeutet, dass sie sehr gering sind und somit zu den Bearbeitungszeiten gezählt werden können. Vgl. die Ausführungen im Abschnitt 3.4.2.1 unter der Rubrik c).

aggregierten Daten lässt sich keine Verteilung der Bearbeitungszeiten über die Daten der ACD-Anlage ermitteln. Aus diesem Grund wird eine Exponentialverteilung unterstellt.

Die durchschnittliche Wartezeit bis zum Auflegen beträgt 25 Sekunden. Hier wird ebenfalls eine Exponentialverteilung unterstellt. Die Nachfrage umfasst alle Anrufer, wobei die Kunden unberücksichtigt bleiben, die vor der Warteschlange zurückscheuen. Demnach beträgt der Anteil der Kunden, die ohne zu Warten auflegen, 0%. Es existieren unabhängig von der Anzahl der eingesetzten Agenten $q = 5$ Warteplätze im Call Center, d.h. $K = c + 5$.

Die zugrunde gelegte Maßzahl der Kundenzufriedenheit umfasst den Prozentsatz aller empfangenen Gespräche. Es wird der minimale Personalbedarf ermittelt, der notwendig ist, um 76% aller empfangenen Gespräche innerhalb von 20 Sekunden zu beantworten.⁴⁰² Die Nachfrage pro Stunde für die Wochentage Montag bis Freitag wird anhand der eben genannten Daten in einen Personalbedarf umgewandelt. Die Transformation erfolgt anhand des in den Abschnitten 3.4.2.3 und 3.4.2.4 beschriebenen $M/M/c/K+M$ -Warteschlangenmodells. Von dieser Vorgehensweise gibt es zwei Abweichungen. Diese resultieren aus der Tatsache, dass es im Call Center der Mercedes-Benz Niederlassung Zeiten gibt, in denen die Nachfrage generell gering ist, das Call Center aber dennoch den Anspruch hat, seine Dienstleistung anzubieten. Dies betrifft die Öffnungszeiten in den letzten beiden Perioden an den Tagen Montag bis Freitag. Für diese Zeiten wird der Personalbedarf unabhängig von der Anzahl der empfangenen Gespräche auf eins gesetzt. Dies entspricht in fast allen Fällen dem Personalbedarf, der auch für die Anzahl an eingegangenen Gesprächen mit der Maßzahl der Kundenzufriedenheit berechnet worden wäre. Für den Samstag besteht ebenfalls eine Vorgabe für den Personalbedarf seitens des Call Centers. Dieser beträgt an allen Samstagen für die ersten vier Stunden der Öffnungszeit einen Agent, für die verbleibenden Stunden zwei Agenten. Im Vorhinein eingeplante Pausenzeiten bestehen für diesen Tag nicht, vielmehr nehmen die Agenten die Pausenzeiten in nachfrageschwachen Zeiten selbständig wahr, wenn zwei Agenten anwesend sind. Die Agenten akzeptieren diese „Besetzung“ des Call Centers am Samstag und befriedigen so im Normalfall die Nachfrage mit den gewünschten Maßzahlen der Kundenzufriedenheit. Der beschriebene stündliche Personalbedarf findet Eingang in das Testproblem mit der Bezeichnung *real*.

⁴⁰² Dies entspricht im betrachteten Call Center ungefähr der Kombination der Erreichbarkeit von 80% sowie der Beantwortung von 90% der abgefragten Gespräche innerhalb von 20 Sekunden.

6.1.1.1.2 Künstlich erzeugter Personalbedarf

Zusätzlich zum Personalbedarf des Call Centers der Mercedes-Benz Niederlassung werden Testprobleme anhand von weiteren, meist künstlichen Nachfrageverläufen erzeugt. Bei ihnen lässt sich vereinfachend auf die Modellierung von Feiertagen verzichten. Die Funktionsfähigkeit des Modells unter Berücksichtigung der Feiertage wird bereits für das Testproblem *real* demonstriert. Die künstlichen Testprobleme lassen sich durch unterschiedliche Zusammensetzungen hinsichtlich der mittleren Nachfrage pro Woche, den wöchentlichen Saisonfaktoren, der Verteilung der wöchentlichen Nachfrage auf die einzelnen Perioden sowie den Öffnungszeiten des Call Centers charakterisieren.

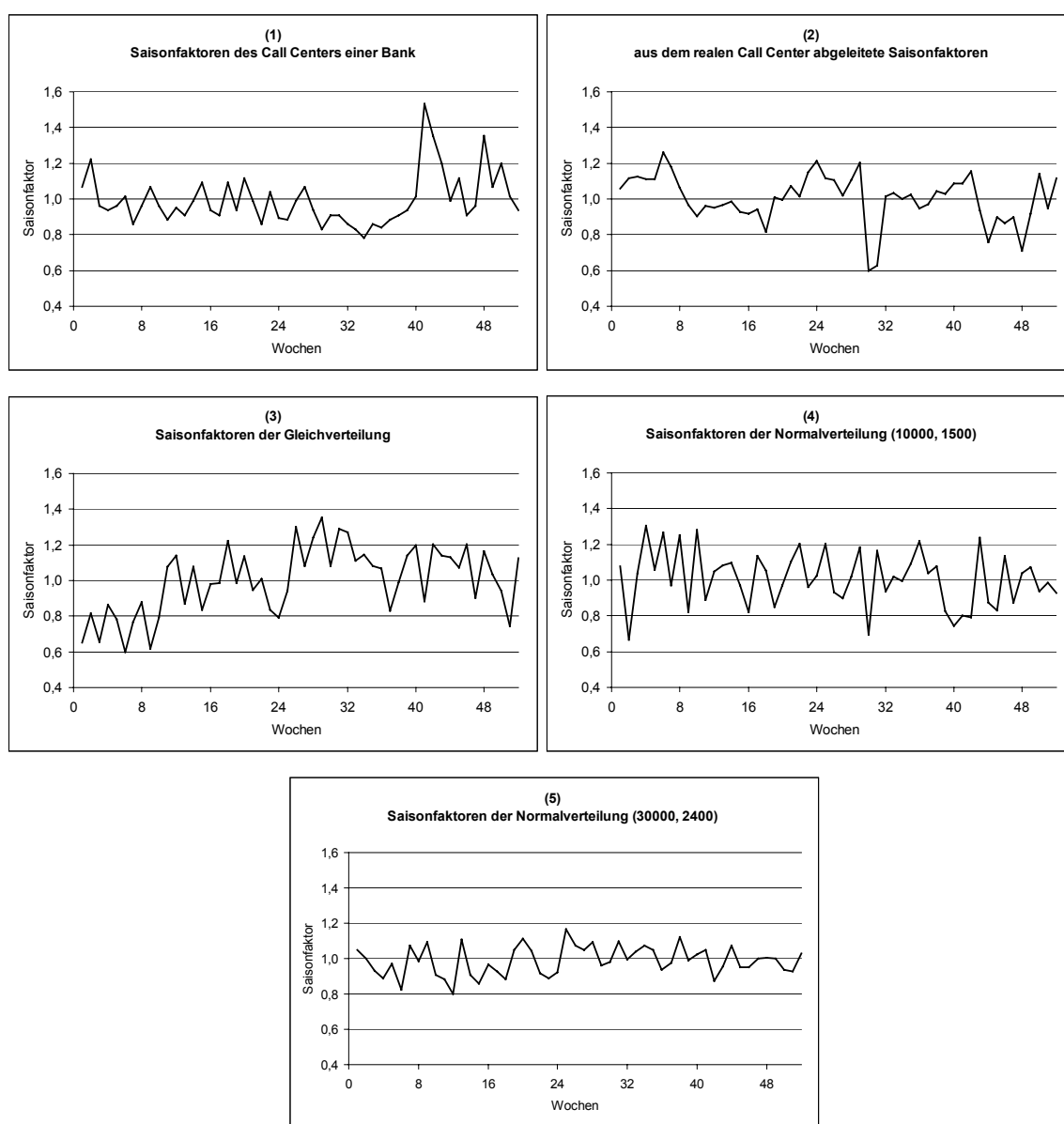


Abbildung 6.4: Verläufe der Saisonfaktoren der wöchentlichen Nachfrage der Testprobleme

Die Testprobleme basieren auf einer mittleren wöchentlichen Nachfrage für zwei unterschiedliche Niveaus: 10.000 und 30.000 Anrufe. Die wöchentliche Nachfrage schwankt um die angegebenen Mittelwerte. Zur Beschreibung der Schwankungen wird auf Saisonfaktoren zurückgegriffen. Diese zeigen das Verhältnis der wöchentlichen Nachfrage zur durchschnittlichen Wochennachfrage des Testproblems. Für die Testprobleme wurden fünf verschiedene Verläufe von Saisonfaktoren innerhalb eines Jahres zugrunde gelegt. Abbildung 6.4 gibt den Verlauf der jeweiligen Saisonfaktoren im Überblick wieder. Die Saisonfaktoren sind tabellarisch im Anhang 9.2 dargestellt.

Der erste ausgewählte Verlauf der wöchentlichen Saisonfaktoren stellt die Realisation der Daten eines Call Centers einer Bank dar. Er zeigt zwei Wochen mit einer extrem hohen Nachfrage, die verbleibenden Wochen verlaufen eher mit geringen Schwankungen. Der zweite ausgewählte Verlauf der Saisonfaktoren wird aus den prozentualen Anteilen der wöchentlichen Nachfrage des im Abschnitt 6.1.1.1 dargestellten Call Centers der Mercedes-Benz Niederlassung abgeleitet. Dabei wird die realisierte wöchentliche Nachfrage ohne Berücksichtigung von Feiertagen ins Verhältnis zur durchschnittlichen wöchentlichen Nachfrage gesetzt. Der dritte Saisonfaktor lässt sich über eine Gleichverteilung für unterschiedliche Intervalle generieren. Um mehrere aufeinanderfolgende Wochen mit über- bzw. unterdurchschnittlicher Nachfrage zu erhalten, wird für die ersten 10 Wochen des Jahres der Saisonfaktor anhand einer Gleichverteilung zufällig aus dem Intervall $[0,6; 0,9]$ ausgewählt, in den Wochen 26 bis 35 aus dem Intervall $[1,1; 1,4]$ und für die verbleibenden Wochen aus dem Intervall $[0,75; 1,25]$. Die Saisonfaktoren vier und fünf basieren auf der Annahme einer normalverteilten wöchentlichen Nachfrage. Für die Normalverteilung mit den Parametern $(10.000, 1.500)$ sowie $(30.000, 2.400)$ werden jeweils 52 Realisationen als die wöchentliche Nachfrage eines Jahres unterstellt. Für diesen Nachfrageverlauf erfolgt die Berechnung der Saisonfaktoren, indem die realisierte Nachfrage ins Verhältnis zum Mittelwert gesetzt wird.

Die Testprobleme basieren auf zwei verschiedenen Öffnungszeiten. Für die meisten Testprobleme werden die Öffnungszeiten von Montag bis Freitag mit 16 Stunden sowie samstags mit 8 Stunden angenommen. Darüber hinaus unterstellt man bei einigen Testproblemen eine 18-stündige Öffnungszeiten an allen Wochentagen von Montag bis Sonntag. Die sich anhand des Mittelwertes und der Saisonfaktoren ergebende wöchentliche Nachfrage wird im Rahmen der zugrunde gelegten Öffnungszeiten anteilig zunächst auf die Wochentage und anschließend auf die jeweiligen Stunden des Tages verteilt. Es wird

unterstellt, dass das Nachfragevolumen im Verlauf einer Woche abnimmt. Die Verteilung der wöchentlichen Nachfrage der verschiedenen Öffnungszeiten auf die einzelnen Wochentage ist in der Abbildung 6.5 ersichtlich.

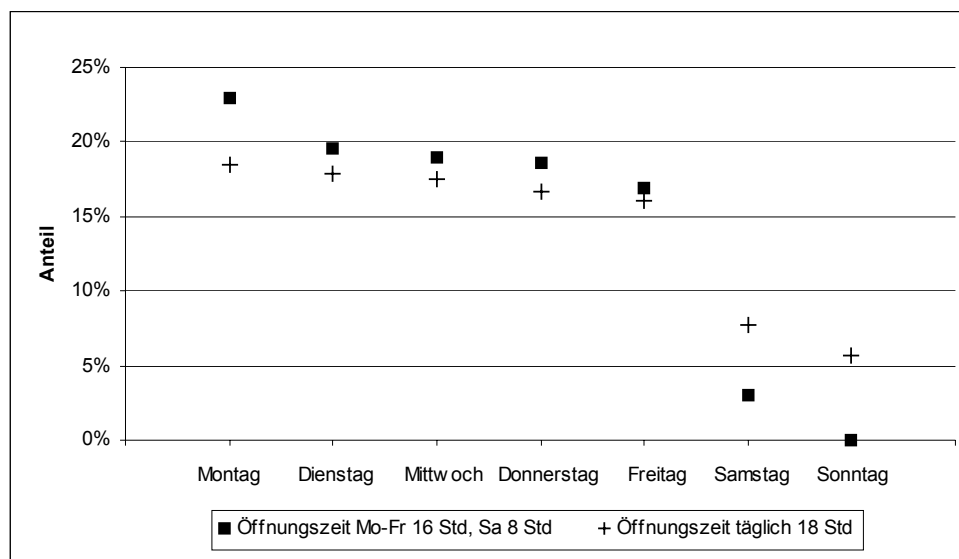


Abbildung 6.5: Verteilung der wöchentlichen Nachfrage auf die einzelnen Wochentage

Die angegebenen Prozentsätze, welche die wöchentliche Nachfrage auf die einzelnen Wochentage verteilen, sind bei einigen Testproblemen fix, bei anderen Testproblemen variieren sie in den einzelnen Wochen um einen Prozentsatz. Sofern der Tagesanteil variiert, wird eine Gleichverteilung zugrunde gelegt, die das 0,95- bis 1,05-Fache des angegebenen Anteils annehmen kann. Eine anschließende Normierung der Prozentsätze stellt die Verteilung der vorgegebenen Wochennachfrage sicher. Die Variation des Prozentsatzes soll zeigen, dass sich ein Ergebnis mit dem entwickelten Algorithmus auch dann erzielen lässt, wenn keine identische Verteilung des Anteils auf den jeweiligen Wochentag in jeder Woche existiert.

Die Verteilung der täglichen Nachfrage auf die jeweiligen Stunden des Tages erfolgt ebenfalls anhand des für Call Center üblichen Musters. Die zugrunde gelegten Prozentsätze sind in der Abbildung 6.6 dargestellt. Die Prozentsätze ergeben sich – wie die Verteilung der wöchentlichen Nachfrage auf die einzelnen Wochentage – für die sechstägige Öffnungszeit aus den durchschnittlichen Daten des Call Centers der Mercedes-Benz Niederlassung. Für die siebentägige Öffnungszeit wurde der in Hauenschild beschriebene Wochenverlauf auf eine 18-stündige Öffnungszeit abgewandelt.⁴⁰³ Die dargestellten

⁴⁰³ Vgl. Hauenschild (2000), S. 9.

Prozentsätze variieren anhand einer Gleichverteilung um das 0,99- bis 1,01-Fache. Die Vorgehensweise gestaltet sich analog zu dem eben beschriebenen Vorgehen bei der Aufteilung der wöchentlichen Nachfrage auf die Tage der Woche.

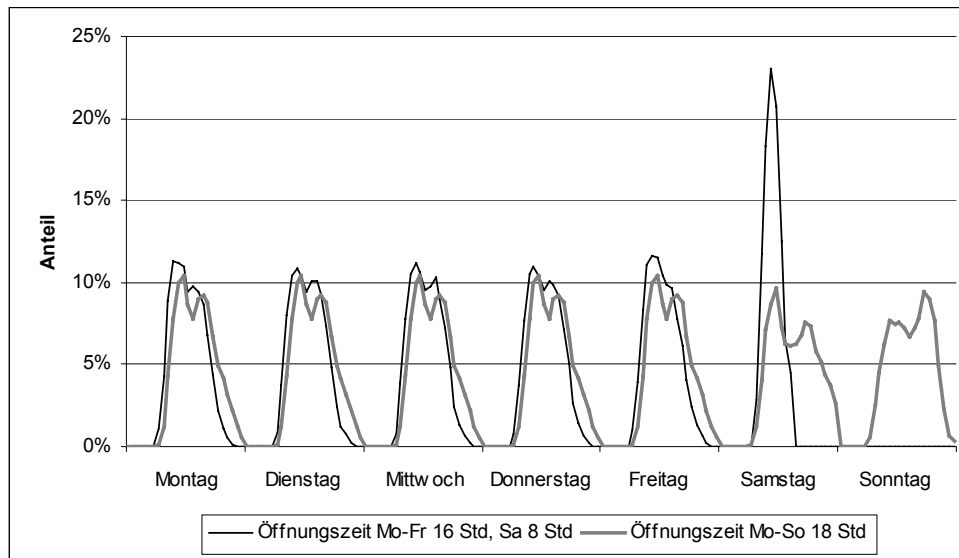


Abbildung 6.6: Verteilung der täglichen Nachfrage auf die Stunden eines Tages

Für die beschriebenen Nachfrageverläufe wurde die jeweilige Nachfrage pro Stunde anhand des beschriebenen $M/M/c/K+M$ -Warteschlangenmodells in einen Personalbedarf umgewandelt. Dabei bildeten die im Abschnitt 6.1.1.1.1 dargestellten Daten des realen Call Centers die Grundlage für die mittlere Bearbeitungszeit, die mittlere Zeit bis zum Auflegen, die Anzahl der Warteplätze sowie die Maßzahlen der Kundenzufriedenheit.

Die Testprobleme, die sich aus dem künstlichen Verlauf des stündlichen Personalbedarfs für ein Jahr ergeben, erhalten die Bezeichnungen $künstl_i$ ($i = 1, \dots, 14$). Die aus den unterschiedlichen Zusammensetzungen resultierenden 14 Testprobleme sowie das Testproblem *real* sind in der Tabelle 6.1 dargestellt. Hier werden die mittlere Wochenachfrage, der verwendete Saisonfaktor, die Öffnungszeiten, die Verwendung eines fixen bzw. variablen Tagesanteils sowie der aus den Daten resultierende minimale, maximale und mittlere Personalbedarf in Stunden angegeben. Dabei ist zu beachten, dass die Saisonfaktoren, die sich aus dem Personalbedarf ergeben, von denen der Nachfrage aufgrund der nichtlinearen Transformation der Nachfrage in einen Personalbedarf abweichen. So weisen beispielsweise die Saisonfaktoren bei (1) ein Maximum von 1,53 auf. Berechnet man den maximalen Saisonfaktor jedoch anhand des Personalbedarfs des Testproblems $künstl_6$, so ergibt sich ein maximaler Wert in Relation zum Mittelwert von lediglich 1,479, beim Testproblem $künstl_1$ beträgt er hingegen lediglich 1,336. Je höher die wöchentliche

Nachfrage ist, desto höher ist der maximale Saisonfaktor des Personalbedarfs und liegt umso näher an dem der Nachfrage.

Test- problem	mittlere Wochen- nachfrage	Saison- faktor	Öffnungszeiten	Tages- anteil fix	wöchentlicher Personalbedarf [Std]				
					Minimum	Maximum	Mittelwert	Maximum/ Mittelwert	Minimum/ Mittelwert
<i>real</i>	5.700	-	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	-	105	250	217,2	115,1%	48,3%
<i>künstl</i> ₁	10.000	(1)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	ja	257	404	302,5	133,6%	85,0%
<i>künstl</i> ₂	10.000	(2)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	ja	229	356	303,5	117,3%	75,4%
<i>künstl</i> ₃	10.000	(3)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	ja	227	370	304,3	121,6%	74,6%
<i>künstl</i> ₄	10.000	(4)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	ja	239	363	305,7	118,8%	78,2%
<i>künstl</i> ₅	10.000	(1)	Mo-So 18 Std	ja	314	446	351,3	127,0%	89,4%
<i>künstl</i> ₆	30.000	(1)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	nein	584	1057	714,6	147,9%	81,7%
<i>künstl</i> ₇	30.000	(2)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	nein	459	882	719,5	122,6%	63,8%
<i>künstl</i> ₈	30.000	(3)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	nein	468	941	719,8	130,7%	65,0%
<i>künstl</i> ₉	30.000	(5)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	nein	592	830	711,4	116,7%	83,2%
<i>künstl</i> ₁₀	30.000	(1)	Mo-So 18 Std	ja	606	1059	734,4	144,2%	82,5%
<i>künstl</i> ₁₁	30.000	(1)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	ja	585	1059	714,7	148,2%	81,9%
<i>künstl</i> ₁₂	30.000	(2)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	ja	464	886	719,3	123,2%	64,5%
<i>künstl</i> ₁₃	30.000	(3)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	ja	464	946	719,7	131,4%	64,5%
<i>künstl</i> ₁₄	30.000	(5)	Mo-Fr 16 Std, Sa 8 Std	ja	590	828	711,1	116,4%	83,0%

Tabelle 6.1: Übersicht über die Nachfragestruktur und den Personalbedarf der Testprobleme

6.1.1.2 Festsetzung der verbleibenden Parameter

Bisher wurde der Verlauf der Nachfrage und des daraus resultierenden Personalbedarfs im Planungszeitraum für die Testprobleme beschrieben. Im Folgenden findet die Festlegung der Mitarbeiterkategorien, der Zuordnung der Schichten zu den Kategorien, der Anzahl der Urlaubs- und Schulungswochen, der Überstundenregelungen, der Ausgleichszeiträume sowie der fixen und variablen Arbeitskosten statt. Diese Parameter, die in allen 15 Testproblemen verwendet werden, orientieren sich am betrachteten Mercedes-Benz Call Center.

Insgesamt gibt es drei Mitarbeiterkategorien mit einer durchschnittlichen wöchentlichen Arbeitszeit von 36, 30 bzw. 15 Stunden. Den Mitarbeiterkategorien werden unterschiedliche Schichtlängen in Stunden zugeordnet, deren Darstellung in Tabelle 6.2 erfolgt.⁴⁰⁴ Es existieren Schichtlängen zwischen vier und neun Stunden. Die Schichtlänge umfasst die Anwesenheitszeit eines Agenten. Die Schichten können zu jeder Stunde beginnen, für die gewährleistet ist, dass die Schicht im Rahmen der Öffnungszeiten beendet werden kann.

⁴⁰⁴ Diese Zuordnung existiert bei dem realen Call Center nicht, ist aber für das erstellte Modell unabdingbar.

Mitarbeiter-kategorie	wöchentliche Arbeitszeit	Kategorie-teilmenge	Schichtlängen Mo bis Fr	Schichtlängen Sa, So, Feiertag
1	36 Std	Kat_{taegl}	9, 8	-
2	30 Std	Kat_{taegl}	7, 6	-
3	15 Std	Kat_{wechs}	5, 4	9, 8, 7, 6, 5, 4

Tabelle 6.2: Wöchentliche Arbeitszeit und Schichtlängen der betrachteten Mitarbeiterkategorien

Die Pausen, die in den Schichten enthalten sind, beinhalten je nach Schichtlänge eine unterschiedliche Anzahl von zehnminütigen Kurzpausen, den sogenannten Bildschirm-pausen, eine Frühstückspause sowie eine Mittagspause. Für tägliche Arbeitszeiten von drei bis sechs Stunden ist den Agenten eine 15-minütige Frühstückspause zu gewähren. Übersteigt die tägliche Arbeitszeit eine Länge von sechs Stunden, so beträgt die Pause insgesamt 45 Minuten. Sie wird in eine Frühstückspause von 15 Minuten und eine Mittags-pause von 30 Minuten aufgeteilt. Die Bildschirm-pausen haben eine Länge von jeweils zehn Minuten. Ab einer Arbeitszeit von mehr als 7,5 Stunden stehen den Agenten drei Bildschirm-pausen zu. Beträgt die Arbeitszeit zwischen 6 und 7,5 Stunden, so haben die dazugehörigen Agenten Anspruch auf zwei Bildschirm-pausen, bei einer geringeren Arbeitszeit steht den Agenten dieser Schichten eine Bildschirm-pause zu. Die Übersicht über die Pausenzuordnungen zu den dazugehörigen Schichtlängen und den Arbeitszeiten sind der Tabelle 6.3 zu entnehmen. Die Arbeitszeiten ergeben sich aus der Schichtlänge vermindert um die Frühstücks- und Mittagspause. Kurzpausen sind der Arbeitszeit zuzu-ordnen. Die Summe der Pausenzeiten der ausgewählten Schichten müssen in der entsprechenden Höhe $Pause_s$ als Puffer in der Gleichung (5.14) berücksichtigt werden. Dabei werden die Pausenpuffer nur für die Tage Montag bis Freitag einbezogen. An den Arbeitstagen des Wochenendes wird die Einplanung der Pausen von den Agenten selbständig vorgenommen und im Modell vernachlässigt.

Schichtlänge [Std]	4	5	6	7	8	9
Arbeitszeit [Std]	3,75	4,75	5,75	6,25	7,25	8,25
Frühstückspause [Std]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Mittagspause [Std]	-	-	-	0,5	0,5	0,5
Kurzpausen [Std]	1/6	1/6	1/6	1/3	1/3	1/2
Summe der Pausenzeiten [Std]	0,42	0,42	0,42	1,083	1,083	1,25

Tabelle 6.3: Zuordnung der Arbeitszeiten und der Pausen zu den Schichtenlängen

Durch die vereinbarte Wochenarbeitszeit sowie die zugeordneten Schichten in jeder Kategorie sind die Mehrarbeitszeiten einer Woche für jeden Mitarbeiter automatisch begrenzt. Die maximale Arbeitszeit der Mitarbeiter der Kategorie Kat_{taegl} ergibt sich aus den höchstens fünf Arbeitstagen einer Woche multipliziert mit der maximalen Schichtlänge, die der jeweiligen Kategorie zugeordnet werden kann. Während die Agenten der ersten Mitarbeiterkategorie demnach nicht mehr als 5,25 ($= 5 \cdot 8,25 - 36$) Stunden Mehrarbeit pro Woche arbeiten können, betragen diese bei denen der zweiten Kategorie 1,25 Stunden, in der dritten Kategorie fallen maximal 19,475 Stunden Mehrarbeit pro Agent und Woche an.⁴⁰⁵ Für die letztgenannte Kategorie bedeutet dies, dass die Mehrarbeitszeiten die vereinbarte Wochenstundenzahl übersteigen können. Generell sind die Mehr- und Minderarbeitszeiten innerhalb des Ausgleichszeitraums auszugleichen. Der Ausgleichszeitraum für die Mehr- und Minderarbeitszeiten umfasst jeweils vier Wochen. Überstunden, d.h. Mehrarbeitszeiten, die im Ausgleichszeitraum nicht durch Minderarbeitszeiten ausgeglichen werden, sind begrenzt. Die Überstundenbegrenzung beträgt für jeden anwesenden Agenten 25 Stunden im vierwöchigen Ausgleichszeitraum. Somit trifft diese Begrenzung nur für die Mitarbeiter der Kategorie drei zu, da die Begrenzung der Mehrarbeitszeiten der Agenten der Mitarbeiterkategorie eins und zwei durch die zugeordneten Schichten geringer ist.⁴⁰⁶ Innerhalb eines Jahres sollen die eingeplanten wöchentlichen Arbeitszeiten im Durchschnitt nicht mehr als eine Stunde von der vereinbarten Arbeitszeit eines Agenten abweichen. Daher dürfen innerhalb eines Jahres die Überstunden vermindert um die Unterstunden 45 Stunden pro Agent nicht überschreiten.

Jeder Agent erhält sechs Wochen Urlaub sowie eine Woche Schulung. Urlaubswünsche der Mitarbeiter werden im Rahmen der Testprobleme vernachlässigt. Die Festlegung einer Mindestanzahl an Arbeitnehmern einer Mitarbeiterkategorie für die Testprobleme unterbleibt – abweichend von den Wünschen des realen Call Centers – zunächst.

Die variablen Arbeitskosten betragen für jede Mitarbeiterkategorie 8 € je Stunde. Die Kosten einer Überstunde machen das 1,3-Fache des Stundenlohns aus. Die Agenten des Call Centers benötigen keine fachspezifische Qualifikation, so dass für alle Mitarbeiterkategorien die wöchentlichen Arbeitskosten eines Vollzeitmitarbeiters als Fixkosten

⁴⁰⁵ Die 19,475 Stunden Mehrarbeit erfolgen aufgrund der Gewichtung der Arbeitszeit am Wochenende mit dem Faktor 1,3, d.h. $19,475 = 5 \cdot 4,75 + 8,25 \cdot 1,3 - 15$.

⁴⁰⁶ Dies geht konform mit den Ausführungen des Abschnitts 2.5.3.2 hinsichtlich der geringeren Flexibilität der Vollzeitkräfte. Diese stoßen schnell an die gesetzlichen Grenzen der Arbeitszeit.

unterstellt werden.⁴⁰⁷ Der Faktor der gewichteten Arbeitszeit am Wochenende und an den Feiertagen beträgt ebenfalls das 1,3-Fache der tatsächlichen Arbeitszeit.

Die beschriebenen Personalbedarfsverläufe sowie die eben beschriebenen Parameter bilden die Testprobleme *real* sowie *künstl₁* bis *künstl₄*. Die Lösungsansätze *treLBrJo*, *reLLB* sowie *LBBrJo* werden im Folgenden auf diese Testprobleme angewendet.

6.1.2 Numerische Untersuchung der Testprobleme mittels der beschriebenen Lösungsverfahren

Im Rahmen der numerischen Untersuchung sollen die Lösungsverfahren *reLLB* und *treLBrJo* sowie die Kombination beider Lösungsansätze *LBBrJo* anhand der vorgestellten Testprobleme untersucht werden. Für den Lösungsansatz *reLLB* existieren mehrere Verfahrensvarianten, die sich anhand der Lösung der vordefinierten Anzahl von relaxierten Problemen z_{Anz} unterscheiden.⁴⁰⁸ Die Anzahl z_{Anz} wird in dieser Arbeit in 5-er Schritten von 10 bis 50 variiert, so dass insgesamt neun Verfahrensvarianten zur Betrachtung kommen. Die Verfahrensvariante, die den geringsten Zielfunktionswert für ein Testproblem aufweist, wird in den Ergebnissen der numerischen Untersuchung dargestellt. Ist die beste ganzzahlige Lösung der Verfahrensvariante $z_{Anz} = 50$ zuzuordnen, so erfolgt die Betrachtung einer zusätzlichen Verfahrensvariante mit $z_{Anz} = 60$. Sofern diese ein besseres Ergebnis liefert, wird sie in den Ergebnissen dargestellt. Beim Lösungsansatz *LBBrJo* wird ein geringes z_{Anz} gewählt. Hier kommen die zwei Verfahrensvarianten $z_{Anz} = 0$ und $z_{Anz} = 10$ zum Einsatz. Die dazugehörigen Lösungsverfahren erhalten im Folgenden die Bezeichnung *LBBrJo₀* und *LBBrJo₁₀*.

Die Bewertung der Lösungsansätze findet durch die relative Abweichung Gap^{LP} statt. Diese beschreibt die absolute Abweichung der Zielfunktionswerte der gefundenen heuristischen Lösung z^{heur} von dem der optimalen Lösung des relaxierten Problems z^{LP} bezogen auf den der optimalen Lösung des relaxierten Problems.

$$Gap^{LP} = (z^{heur} - z^{LP}) / z^{LP}$$

Eine optimale Lösung kann für alle Testprobleme des relaxierten Modells *PBaPEP_{rel}* angegeben werden. Zusätzlich zur relativen Abweichung Gap^{LP} spielt die Lösungszeit der jeweiligen Heuristik eine entscheidende Rolle.

⁴⁰⁷ Die Fixkosten konnten vom realen Call Center nicht beziffert werden.

⁴⁰⁸ Vgl. dazu Abschnitt 5.1.4.2.

Die Berechnungen erfolgten mit der Optimierungssoftware ILOG CPLEX 7.5 und dem Modellgenerator AMPL. Sie wurden auf einem Rechner mit einem 3200+ AMD Athlon64 Prozessor und 1024 MB Arbeitsspeicher durchgeführt.

Bei der Größe und der Komplexität der Testprobleme ist nicht anzunehmen, dass die gemischt-ganzzahligen Teilprobleme innerhalb der Heuristik *treLBrJo* und *LBBrJo* sowie das gemischt-ganzzahlige Problem *reLLB* mit heraufgesetzten Lower Bounds der Schichtvariablen in vertretbarer Zeit optimal gelöst werden können. Aus diesem Grund erfolgt kein Beweis der Optimalität der Lösung dieser Probleme. Vielmehr ist die Lösung anhand von unterschiedlichen Kriterien zu beenden unter Verwendung der bis dahin besten Lösung. Während bei der Heuristik *reLLB* eine optimale Lösung der vollständig relaxierten Teilprobleme im Sekundenbereich erzielt wird, erfolgt der Abbruch des sich anschließenden gemischt-ganzzahligen Problems mit den fixierten Lower Bounds der Schichtvariablen nach einer Laufzeit von 15 Minuten. Die beste gefundene Lösung verbessert sich nach dieser Zeit – wie Voruntersuchungen ergaben – nur geringfügig. Die Heuristiken *treLBrJo* und *LBBrJo* brechen ein teilrelaxiertes Problem eines bestimmten Ganzzahligkeitsfensters entweder nach einer Laufzeit von 30 Minuten ab oder wenn die Ganzzahligkeitslücke kleiner als 0,5% ist. Auch dies beschreibt eine Zeitvorgabe, in der zumeist eine gute Lösung des betrachteten Teilproblems erzeugt wurde. Für beide Heuristiken bewegt sich die Anzahl der zu lösenden Teilprobleme in Abhängigkeit von den angenommenen Öffnungszeiten zwischen neun und elf. Schlechtestenfalls werden alle Teilproblem einer Heuristik nach einer Laufzeit von 30 Minuten abgebrochen, so dass sich eine Lösungszeit zwischen 4,5 und 5,5 Stunden ergibt. In Anbetracht der Lösung einer Jahresplanung sind diese Lösungszeiten aber moderat.

6.1.2.1 Vergleich der Lösungsverfahren

Mit allen Heuristiken lassen sich für die Testprobleme gute Ergebnisse erzeugen. Tabelle 6.4 stellt die relativen Abweichungen Gap^{LP} in komprimierter Form dar. Dabei werden für die Heuristik *reLLB* die Ergebnisse der besten Verfahrensvariante eines Testproblems gemäß z_{Anz} aufgeführt. Die ausführlichen Ergebnisse der einzelnen Verfahrensvarianten sind dem Anhang 9.3 zu entnehmen. Das jeweils beste Ergebnis eines Testproblems ist fett gedruckt. Die relative Abweichung Gap^{LP} der Lösungsheuristiken unterscheidet sich im Durchschnitt nur geringfügig. Das Verfahren *reLLB* erzeugt geringfügig bessere Ergebnisse, die verbleibenden Verfahren können hinsichtlich des Zielfunktionswertes als gleichwertig angesehen werden. Bis auf einen Ausreißer der Lösung des Testproblems *künstl₁*,

das mit der Heuristik *treBrJo* erzeugt wurde, streuen die Ergebnisse der Testprobleme innerhalb der Heuristik ähnlich. Während die Heuristik *relLB* für fünf und die Heuristik *treBrJo* für sechs Testprobleme die besten Ergebnisse erzeugen, ist dies bei den beiden Verfahrensvarianten der kombinierten Heuristik *LBBrJo* für jeweils 2 Testprobleme der Fall. Vergleicht man den Durchschnitt der jeweils besten erzeugten Ergebnisse über alle Heuristiken eines jeden Testproblems, so lässt sich mit dem Wert von 2,2% nochmals verdeutlichen, dass alle Verfahren sehr gute Ergebnisse liefern, da ihr Durchschnitt nicht bedeutend von diesem Wert abweicht.

Testproblem	z^{LP}	z_{Anz}	Gap^{LP}				bestes Ergebnis
			<i>relLB</i>	<i>treBrJo</i>	<i>LBBrJo</i> ₀	<i>LBBrJo</i> ₁₀	
<i>real</i>	116615	30	3,8%	3,7%	3,6%	3,4%	3,4%
<i>künstl</i> ₁	157371	10	3,8%	9,4%	4,0%	4,4%	3,8%
<i>künstl</i> ₂	157401	35	3,1%	4,6%	3,2%	4,1%	3,1%
<i>künstl</i> ₃	157916	15	5,0%	3,3%	4,5%	5,5%	3,3%
<i>künstl</i> ₄	158502	10	5,1%	3,8%	4,6%	5,2%	3,8%
<i>künstl</i> ₅	185210	35	2,2%	3,0%	3,2%	2,5%	2,2%
<i>künstl</i> ₆	373808	35	1,6%	1,4%	2,2%	2,0%	1,4%
<i>künstl</i> ₇	373314	10	1,4%	1,6%	1,6%	1,5%	1,4%
<i>künstl</i> ₈	374004	40	2,1%	1,6%	1,4%	1,5%	1,4%
<i>künstl</i> ₉	368742	15	2,5%	1,4%	1,4%	2,4%	1,4%
<i>künstl</i> ₁₀	385091	25	2,4%	1,8%	1,8%	1,7%	1,7%
<i>künstl</i> ₁₁	373816	60	1,6%	1,1%	1,9%	2,0%	1,1%
<i>künstl</i> ₁₂	373076	35	1,5%	1,7%	2,8%	1,7%	1,5%
<i>künstl</i> ₁₃	374259	20	1,7%	1,4%	1,6%	1,7%	1,4%
<i>künstl</i> ₁₄	368417	50	2,4%	2,0%	4,8%	2,7%	2,0%
Mittelwert	-	-	2,7%	2,8%	2,8%	2,8%	2,2%

Tabelle 6.4: Relative Abweichungen Gap^{LP} der untersuchten Heuristiken für die erzeugten Testprobleme

Bei den Testproblemen *real* und *künstl*₁ bis *künstl*₅, deren durchschnittliche Wochennachfrage kleiner oder gleich 10.000 Anrufen ist, liegt der beste Gap^{LP} eines Testproblems jeweils über 2%. Für die Testprobleme *künstl*₆ bis *künstl*₁₄ mit durchschnittlich 30.000 Anrufen erreicht er nur einmal 2% und ist ansonsten geringer. Demnach scheint sich auch für die Personalbestands- und aggregierte Personaleinsatzplanung zu bestätigen, dass bei einer höheren Nachfrage eine geringere Überdeckung benötigt wird als bei einer niedrigeren Nachfrage.

Test- problem	Lösungsdauer [Min]				
	<i>relLB</i>	<i>relLB</i> (Σz_{Anz})	<i>treBrJo</i>	<i>LBBrJo</i> ₀	<i>LBBrJo</i> ₁₀
<i>real</i>	16,4	148,6	160,1	69,6	70,6
<i>künstl</i> ₁	16,7	155,1	60,4	33,7	4,8
<i>künstl</i> ₂	17,0	151,1	79,6	10,3	2,8
<i>künstl</i> ₃	16,1	139,3	57,2	11,0	3,2
<i>künstl</i> ₄	16,0	151,5	67,1	45,2	3,4
<i>künstl</i> ₅	20,2	161,5	59,4	10,3	15,5
<i>künstl</i> ₆	18,9	168,4	35,1	32,5	4,9
<i>künstl</i> ₇	16,8	119,6	34,1	5,0	3,9
<i>künstl</i> ₈	17,3	153,4	39,0	2,9	3,1
<i>künstl</i> ₉	16,1	109,1	42,9	12,4	3,4
<i>künstl</i> ₁₀	16,7	151,9	18,1	37,6	6,6
<i>künstl</i> ₁₁	18,2	177,0	34,0	2,3	4,0
<i>künstl</i> ₁₂	16,7	127,1	37,8	33,2	13,1
<i>künstl</i> ₁₃	18,3	161,7	37,8	3,0	2,4
<i>künstl</i> ₁₄	17,2	150,0	110,1	32,2	31,3
Mittelwert	17,2	148,4	58,2	22,7	11,5

Tabelle 6.5: Lösungsdauern der untersuchten Heuristiken für die erzeugten Testprobleme

Die Lösungsdauern der jeweiligen Heuristiken sind für die Testprobleme in Tabelle 6.5 abgebildet. Bezüglich der Lösungsdauer ist die Lösung der jeweils ausgewählten Verfahrensvariante der Heuristik *relLB* wesentlich kürzer als die der Heuristik *treBrJo*. Dies resultiert aus der Tatsache, dass sich die Anzahl der zu lösenden Teilprobleme in der Heuristik *treBrJo* zwischen neun und elf bewegt. Sofern die Ganzzahligkeitslücke von 0,5% nicht erreicht wird, findet der Abbruch der Teilprobleme erst nach einer Laufzeit von 30 Minuten statt. Bei der Heuristik *relLB* hingegen ist nur ein einziges gemischt-ganzzahliges Problem zu lösen, dessen beste ganzzahlige Lösung bereits nach 15 Minuten verwendet wird. Somit ist ersichtlich, dass die Lösungszeit der Heuristik *treBrJo* im Vergleich zur Heuristik *relLB* deutlich höher liegt. Allerdings sind bei der Heuristik *relLB* insgesamt neun Verfahrensvarianten für jedes Testproblem zu berechnen.⁴⁰⁹ Demnach wird zwar im Vergleich zur Heuristik *treBrJo* schneller die Lösung einer einzelnen Verfahrensvariante erzeugt, aufgrund der Anzahl der zu lösenden Verfahrensvarianten gestaltet sich die Summe der Lösungszeit aller Verfahrensvarianten Σz_{Anz} mit durchschnittlich 148,4 Minuten aber erheblich höher als der Durchschnitt von 58,2 Minuten der

⁴⁰⁹ Falls die beste ganzzahlige Lösung für $z_{Anz} = 50$ gefunden wird, erhöht sich die Anzahl der Verfahrensvarianten auf zehn.

Heuristik *treBrJo*. Die beiden Verfahrensvarianten des kombinierten Verfahrens lösen die Testprobleme im Durchschnitt am schnellsten. Dabei ist festzustellen, dass die Verfahrensvariante *LBBrJo₁₀* im Mittel doppelt so schnell löst, wie die Verfahrensvariante *LBBrJo₀*. Dies resultiert aus der höheren Anzahl an heraufgesetzten Lower Bounds, die dazu führen, dass sich die Freiheitsgrade im Modell reduzieren. Da sich beide Verfahrensvarianten hinsichtlich des mittleren Gap^{LP} s sowie der Anzahl der besten erzeugten Lösungen nicht unterscheiden, ist der Verfahrensvariante *LBBrJo₁₀* aufgrund der geringeren Lösungszeit der Vorzug zu geben.

Mit Ausnahme der Testprobleme *real* und *künstl₁₄*, deren Lösungszeit im Vergleich zu der ausgewählten Verfahrensvariante der Heuristik *reLLB* deutlich höher liegt, löst das kombinierte Verfahren *LBBrJo* der bevorzugten Verfahrensvariante $z_{Anz} = 10$ die Testprobleme am schnellsten. Berücksichtigt man die summierte Lösungsdauer aller Verfahrensvarianten der Heuristik *reLLB*, so liefert die kombinierte Heuristik *treBrJo₁₀* mit Abstand am schnellsten eine Lösung, deren Zielfunktionswert im Durchschnitt genauso gut abschneidet wie bei der Heuristik *treBrJo* und nur geringfügig schlechter im Vergleich zur Heuristik *reLLB*. Die Heuristiken *treBrJo* und *treBrJo₁₀* sind hinsichtlich der Lösungsdauern zu bevorzugen. Da sie sich in Bezug auf den Zielfunktionswert ebenfalls nicht unterscheiden, zählen sie aus modelltheoretischer Sicht zu den zu favorisierenden Heuristiken.

6.1.2.2 Verfahrensvarianten der Heuristik *reLLB*

Bei der Heuristik *reLLB* erzeugen sehr unterschiedliche Verfahrensvarianten die beste Lösung für die einzelnen Testprobleme. In Abhängigkeit von der Anzahl der zu lösenden relaxierten Probleme, z_{Anz} , kommen unterschiedliche Ergebnisse zustande, die keinerlei Systematik hinsichtlich der besten Anzahl z_{Anz} aufweisen. Die einzelnen Verfahrensvarianten unterscheiden sich teilweise erheblich in ihrer relativen Abweichung Gap^{LP} .

In Tabelle 6.6 sind die schlechteste und beste relative Kostenabweichung der Verfahrensvarianten sowie deren Differenz für jedes Testproblem abgebildet. Die Differenz der besten von der schlechtesten relativen Abweichung Gap^{LP} der Verfahrensvarianten eines Testproblems gestalten sich sehr unterschiedlich. Während die Verfahrensvarianten des Testproblems *künstl₁₁* Lösungen mit Zielfunktionswerten erzeugen, deren Gap^{LP} um lediglich bis zu 0,2% voneinander abweichen, ist diese Differenz für das Testproblem *künstl₂* bei 9,5%, bei dem Testproblem *real* sind es sogar 14,9%. Für die Testprobleme, bei denen die Differenz zwischen bester und schlechtester relativer Abweichung aller betrachteten Verfahrensvarianten gering ausfällt, ergeben sich für die Verfahrensvarianten

ähnliche Ergebnisse, die sich nur geringfügig in den Kosten unterscheiden.

Testproblem	Gap^{LP} der Verfahrensvarianten		
	beste	schlechteste	Differenz zwischen bester und schlechtester Variante
<i>real</i>	3,8%	18,7%	14,9%
<i>künstl</i> ₁	3,8%	7,0%	3,2%
<i>künstl</i> ₂	3,1%	12,7%	9,5%
<i>künstl</i> ₃	5,0%	12,5%	7,5%
<i>künstl</i> ₄	5,1%	10,0%	4,9%
<i>künstl</i> ₅	2,2%	9,0%	6,8%
<i>künstl</i> ₆	1,6%	2,8%	1,2%
<i>künstl</i> ₇	1,4%	2,5%	1,1%
<i>künstl</i> ₈	2,1%	3,1%	1,0%
<i>künstl</i> ₉	2,5%	7,4%	4,8%
<i>künstl</i> ₁₀	2,4%	6,0%	3,6%
<i>künstl</i> ₁₁	1,6%	1,8%	0,2%
<i>künstl</i> ₁₂	1,5%	6,2%	4,7%
<i>künstl</i> ₁₃	1,7%	4,3%	2,6%
<i>künstl</i> ₁₄	2,4%	5,9%	3,5%
Mittelwert	2,7%	7,3%	4,6%

Tabelle 6.6: Relative Abweichungen Gap^{LP} der Verfahrensvarianten der Heuristik *reLLB*

Geringfügige Kostenunterschiede der einzelnen Verfahrensvarianten wie im Beispiel des Testproblems *künstl*₁₁ weisen auf identische Personalbestände hin. In Abbildung 6.7 sind für ausgewählte Testprobleme die Kosten der einzelnen Verfahrensvarianten abgebildet. Die linke Seite der Abbildung zeigt für das Testproblem *künstl*₁₁ ein Beispiel mit einem identischen Personalbestand für alle Verfahrensvarianten. Die damit verbundene geringfügige Differenz der Kosten ergibt sich durch eine unterschiedliche Anzahl und Verteilung der Überstunden. Damit einher gehen verschiedene Urlaubspläne der Mitarbeiterkategorien für die einzelnen Wochen. Bei den Testproblemen *künstl*₈ und *künstl*₁₀ weichen die Kosten bei der Verfahrensvariante $z_{Anz} = 10$ sichtbar ab. Für diese Verfahrensvariante sind die Kosten höher als bei den verbleibenden Varianten. Sie entstehen durch erhöhte Fix- und Arbeitskosten für einen abweichenden Personalbestand sowie durch unterschiedliche Überstundenkosten. Die rechte Seite der Abbildung 6.7 stellt die Kosten für die untersuchten Verfahrensvarianten der Testprobleme *künstl*₉ und *künstl*₁₂ dar. Hier sind erhebliche Kostenabweichungen in den Verfahrensvarianten zu sehen. Während für das Testproblem *künstl*₉ identische Personalbestände für z_{Anz} von 20, 25, 30, 35 und 40 erzeugt wurden, die sich lediglich in den Überstundenkosten unterscheiden, lassen sich bei dem

Testproblem $künstl_{12}$ erhebliche Abweichungen der Kosten für diese Verfahrensvarianten erkennen. Diese sind insbesondere auf unterschiedliche Fix- und Arbeitskosten aufgrund unterschiedlicher Personalbestände zurückzuführen, aber auch auf verschiedene Überstundenkosten. Vergleicht man die Verfahrensvariante bei $z_{Anz} = 15$ der Testprobleme $künstl_9$ und $künstl_{12}$, so lassen sich gegenläufige Kostenentwicklungen feststellen. Während bei dem Testproblem $künstl_{12}$ für diese Verfahrensvariante die höchsten Kosten erreicht werden, stellt sie bei dem Testproblem $künstl_9$ die Variante mit den geringsten Kosten dar.

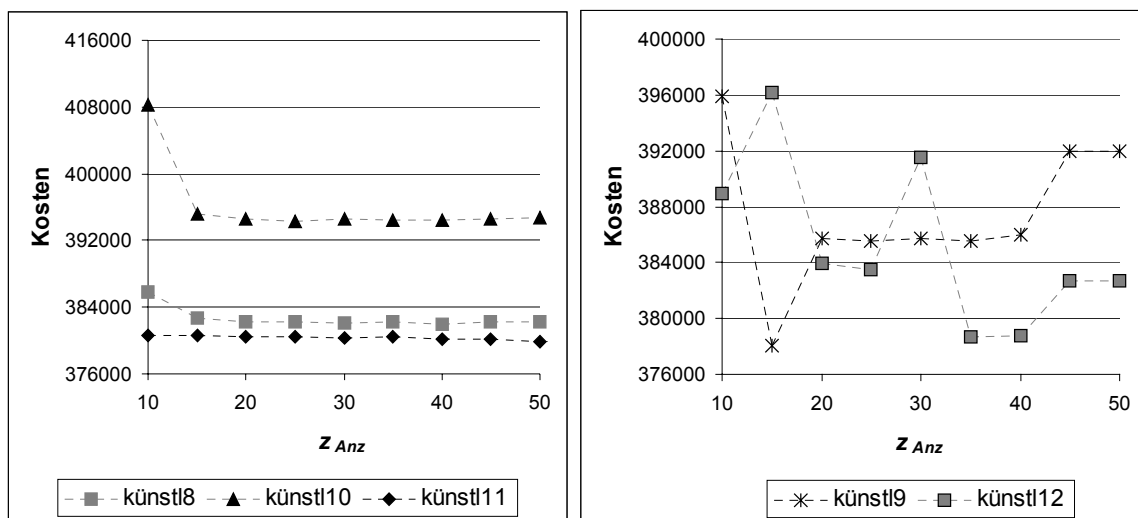


Abbildung 6.7: Darstellung der Kosten der Verfahrensvarianten der Heuristik *relLB* für ausgewählte Testprobleme

Da im Vorhinein weder prognostiziert werden kann, welche Verfahrensvariante bei einem Testproblem den besten oder schlechtesten Gap^{LP} erzeugt, noch vorhergesagt werden kann, wie groß die Differenz zwischen einer guten und einer schlechten Verfahrensvariante eines Testproblems ist, lässt sich keine generelle Aussage darüber treffen, welche Verfahrensvariante zu empfehlen ist. Diese Aussage kann erst nach der Berechnung der zu betrachtenden Verfahrensvarianten getroffen werden.

6.1.2.3 Personalbestand der unterschiedlichen Heuristiken

Im Folgenden wird der Personalbestand der Lösungen des LP's sowie der unterschiedlichen Heuristiken für die Testprobleme analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.7 zusammengestellt. Dabei lässt sich ein Unterschied für die Heuristik *relLB* und für die kombinierte Heuristik *LBBrJo*, deren Lösungsansatz auf dem relaxierten Modell beruht, im Vergleich zur Heuristik *trElBrJo* erkennen. Bei den Heuristiken, deren Lösungsansatz auf dem relaxierten Modell basieren, wird eine Anzahl an Mitarbeitern in den jeweiligen Kategorien erzeugt, die denen der LP-Lösung sehr ähnlich sind. Häufig

besteht die Lösung dieser Heuristiken in der Rundung der Anzahl der Arbeitnehmer der einzelnen Mitarbeiterkategorien der LP-Lösung. Dies resultiert aus der Tatsache, dass diese Heuristiken auf der Rundung der Lower Bounds der Schichtvariablen beruhen, die aufgrund des Ergebnisses einer LP-Lösung erfolgt. Betrachtet man beispielsweise die Ergebnisse des Testproblems *künstl*₅, so werden 0,2, 11,3 bzw. 5,8 Mitarbeiter der Kategorien eins bis drei eingesetzt. Die Ergebnisse der Heuristiken *relLB* und *LBBrJo* mit der Verfahrensvariante $z_{Anz} = 10$ ergeben jeweils 0, 11 und 7 Mitarbeiter, die Heuristik *LBBrJo* der Verfahrensvariante $z_{Anz} = 0$ hingegen 1, 10 und 7 Mitarbeiter. Demnach wurde die Anzahl der zwei ersten Mitarbeiterkategorien auf- bzw. abgerundet, wobei keine Systematik der Auf- oder Abrundung festzustellen ist. Die Anzahl der Mitarbeiter der dritten Kategorie hingegen ergibt sich zumeist aus den noch fehlenden Schichten innerhalb der einzelnen Wochen. Sie ist zumeist wesentlich höher als das aufgerundete Ergebnis der LP-Lösung. Die Ergebnisse der Heuristik *trElBrJo* hingegen weisen einen von der LP-Lösung sehr abweichenden Personalbestand auf.

Test- problem	Anzahl an Arbeitnehmern der Mitarbeiterkategorie <i>k</i> im Lösungsweg														
	LP			<i>relLB</i>			<i>trElBrJo</i>			<i>LBBrJo</i> ₀			<i>LBBrJo</i> ₁₀		
	<i>k</i> =1	<i>k</i> =2	<i>k</i> =3	<i>k</i> =1	<i>k</i> =2	<i>k</i> =3	<i>k</i> =1	<i>k</i> =2	<i>k</i> =3	<i>k</i> =1	<i>k</i> =2	<i>k</i> =3	<i>k</i> =1	<i>k</i> =2	<i>k</i> =3
<i>real</i>	0,8	4,2	7,6	0	4	10	3	2	7	0	4	10	0	4	10
<i>künstl</i> ₁	7,5	0,0	6,6	8	0	6	7	1	8	7	0	8	8	0	6
<i>künstl</i> ₂	3,5	6,9	2,5	3	7	4	4	5	6	3	6	6	3	7	4
<i>künstl</i> ₃	6,6	3,0	2,9	7	3	3	6	3	5	6	4	3	7	3	3
<i>künstl</i> ₄	2,3	8,3	2,7	2	8	5	4	5	6	2	8	5	2	9	3
<i>künstl</i> ₅	0,2	11,3	5,8	0	11	7	4	6	8	1	10	7	0	11	7
<i>künstl</i> ₆	4,7	0,0	45,0	5	0	46	3	1	48	5	1	44	5	0	46
<i>künstl</i> ₇	19,1	0,0	12,4	19	0	13	13	5	17	19	0	13	19	0	13
<i>künstl</i> ₈	17,4	0,0	16,2	18	0	16	9	7	22	17	0	17	17	0	18
<i>künstl</i> ₉	7,2	14,4	11,3	7	15	12	7	13	15	7	14	13	7	15	12
<i>künstl</i> ₁₀	8,0	15,4	9,6	8	16	10	9	14	11	8	15	11	8	15	11
<i>künstl</i> ₁₁	5,1	0,0	44,9	5	0	46	3	2	46	5	1	44	5	0	46
<i>künstl</i> ₁₂	17,2	2,8	11,4	17	3	12	15	4	15	7	14	11	17	3	12
<i>künstl</i> ₁₃	15,4	0,0	20,9	16	0	20	12	3	23	15	0	22	16	0	20
<i>künstl</i> ₁₄	2,0	21,0	10,4	2	21	12	9	13	11	3	21	11	2	21	12

Tabelle 6.7: Ergebnisse des Personalbestandes der LP-Lösung und der unterschiedlichen Heuristiken

Summiert man für jede Heuristik die absolute Abweichung der Anzahl der Arbeitnehmer jeder Mitarbeiterkategorie im Vergleich zur LP-Lösung, so wird nochmals deutlich, dass sich die Lösungen der Heuristik *relLB* sowie *LBBrJo* beider Verfahrensvarianten nur

geringfügig von denen der LP-Lösung unterscheiden. Die absolute Abweichung ist in Tabelle 6.8 dargestellt. Während die mittlere absolute Abweichung der Mitarbeiterzusammensetzung der Heuristik *relLB* von der LP-Lösung 1,5 beträgt, steigt sie bei der Heuristik *treLBrJo* bereits auf 8,3. Das Ergebnis der Verfahrensvariante *LBBrJo*, bei dem die Anzahl der gelösten relaxierten Modelle größer ist, weist ebenfalls eine größere Nähe zur LP-Lösung auf. Während für die Verfahrensvariante $z_{Anz} = 10$ die absolute Abweichung zur LP-Lösung 1,5 beträgt, steigt sie bei einer geringeren Anzahl von gerundeten Lower Bounds auf 3,6. Zwar ist bei *LBBrJo₀* die hohe Abweichung im Wesentlichen auf das Ergebnis des Testproblems *künstl₁₂* zurückzuführen, jedoch ist die Abweichung auch bei Vernachlässigung des Ausreißers mit einem Mittelwert von 2,3 höher als bei der anderen Variante.

Test-problem	absolute Abweichung zur LP-Lösung			
	<i>relLB</i>	<i>treLBrJo</i>	<i>LBBrJo₀</i>	<i>LBBrJo₁₀</i>
<i>real</i>	3,3	5,0	3,3	3,3
<i>künstl₁</i>	1,1	2,9	1,9	1,1
<i>künstl₂</i>	2,1	5,9	4,9	2,1
<i>künstl₃</i>	0,6	2,7	1,6	0,6
<i>künstl₄</i>	2,9	8,3	2,9	1,4
<i>künstl₅</i>	1,6	11,3	3,3	1,6
<i>künstl₆</i>	1,3	5,7	2,3	1,3
<i>künstl₇</i>	0,7	15,7	0,7	0,7
<i>künstl₈</i>	0,8	21,2	1,2	2,2
<i>künstl₉</i>	1,5	5,3	2,3	1,5
<i>künstl₁₀</i>	1,1	3,8	1,9	1,9
<i>künstl₁₁</i>	1,2	5,2	2,0	1,2
<i>künstl₁₂</i>	1,0	7,0	21,9	1,0
<i>künstl₁₃</i>	1,5	8,5	1,5	1,5
<i>künstl₁₄</i>	1,6	15,5	1,6	1,6
Mittelwert	1,5	8,3	3,6	1,5

Tabelle 6.8: Absolute Abweichungen der Mitarbeiterzusammensetzung der Lösungsheuristiken von der LP-Lösung

Der Personalbestand der LP-basierten Verfahren *relLB* und *LBBrJo* unterscheidet sich im Vergleich zu der Heuristik *treLBrJo* teilweise deutlich. Dennoch kann gezeigt werden, dass sich die Lösungen, die mit unterschiedlichen Heuristiken erzielt wurden, hinsichtlich der Mitarbeiterzahl der Kategoriemenge *Kat_{taegl}* nur geringfügig unterscheiden. Diese Kategoriemenge umfasst die Arbeitnehmer, deren wöchentliche Arbeitszeit nahe derer

eines Vollzeitarbeitsvertrages oder mit ihr identisch ist. Tabelle 6.9 beinhaltet für alle Testprobleme die Summe der Anzahl der eingesetzten Arbeitnehmer der Mitarbeiterkategorien eins und zwei, d.h. den Mitarbeiterkategorien, die der Kategoriemenge Kat_{taegl} zugeordnet werden. Bei den LP-basierten Heuristiken weicht die Anzahl der Mitarbeiter der Kategoriemenge Kat_{taegl} innerhalb eines Testproblems um maximal einen Mitarbeiter ab. Die Heuristik $trelBrJo$ weicht in einigen Testproblemen um zwei Mitarbeiter ab. Dennoch lässt sich aus den Ergebnissen auch bei unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich der Arbeitnehmerzusammensetzung schließen, wie viele Arbeitnehmer der Kategoriemenge Kat_{taegl} zu beschäftigen sind. Das bedeutet, dass für die Kategoriemenge, mit der geringsten Flexibilität hinsichtlich der Arbeitszeit, eine Aussage über die Anzahl der Mitarbeiter unabhängig von der Lösungsheuristik getroffen werden kann.

Testproblem	Anzahl der Arbeitnehmer Kat_{taegl}			
	$relLB$	$trelBrJo$	$LBBrJo_0$	$LBBrJo_{10}$
<i>real</i>	4	5	4	4
<i>künstl₁</i>	8	8	7	8
<i>künstl₂</i>	10	9	9	10
<i>künstl₃</i>	10	9	10	10
<i>künstl₄</i>	10	9	10	11
<i>künstl₅</i>	11	10	11	11
<i>künstl₆</i>	5	4	6	5
<i>künstl₇</i>	19	18	19	19
<i>künstl₈</i>	18	16	17	17
<i>künstl₉</i>	22	20	21	22
<i>künstl₁₀</i>	24	23	23	23
<i>künstl₁₁</i>	5	5	6	5
<i>künstl₁₂</i>	20	19	21	20
<i>künstl₁₃</i>	16	15	15	16
<i>künstl₁₄</i>	23	22	24	23
Summe	205	192	203	204

Tabelle 6.9: Anzahl der Agenten der Kategoriemenge Kat_{taegl}

Die numerische Untersuchung der unterschiedlichen Testprobleme hat gezeigt, dass alle Heuristiken in der Lage sind, einen kostengünstigen Personalbestand für das Modell $PBaPEP$ zu ermitteln. Die Lösungszeiten der Lösungsverfahren sind angesichts des Planungshorizontes des dazugehörigen Modells recht kurz. Dabei treten Unterschiede im

resultierenden Personalbestand der einzelnen Lösungsverfahren auf. Diese sind als alternative Möglichkeiten zu verstehen, den Personalbestand eines Call Centers zu gestalten. Letztlich weicht jedoch die Anzahl der Agenten, deren Arbeitszeiten nahe denen eines Vollzeitarbeitsvertrages liegen, für die unterschiedlichen Lösungsverfahren kaum voneinander ab. Demnach lassen sich mit Hilfe des Modells quantitative Aussagen über die Anzahl der Agenten machen, die zumeist einen täglichen Einsatz im Verlauf der Woche von Montag bis Freitag haben. Die Anzahl der Agenten der Mitarbeiterkategorie drei, die entsprechend flexibel eingesetzt werden können, ergibt sich aus dem noch zu deckenden Restbedarf.

6.2 Analyse des Testproblems *real* und Parametervariationen

6.2.1 Untersuchung des Testproblems *real*

Nachdem gezeigt wurde, dass die vorgestellten Heuristiken in der Lage sind, in vertretbarer Zeit gute Lösungen zu erzeugen, sollen zunächst die Ergebnisse des Testproblems *real* einer Untersuchung bezüglich der Arbeitszeiten sowie dem Zusammenhang zwischen Personalbedarf, Mehr- und Minderarbeitszeiten, geplanten Fehlzeiten und der möglichen Urlaubsgewährung unterzogen werden. Die Analyse des Testproblems *real* basiert auf den einzelnen Wochen des 52-wöchigen Planungszeitraums. Aus diesem Grund bezieht sich innerhalb dieses Abschnitts der Begriff Personalbedarf auf die über alle Perioden einer Woche summierten Personalbedarfsstunden. Darüber hinaus sind vor der Analyse einige der zu untersuchenden Begrifflichkeiten zu erläutern, die ebenfalls auf Stundenbasis beruhen. Die Sollarbeitszeit bezeichnet die nominelle Arbeitszeit aller anwesenden Agenten. Sie setzt sich aus der Summe der durchschnittlich vereinbarten Wochenarbeitszeiten aller Agenten, vermindert um die Wochenarbeitszeiten derjenigen Agenten, die aufgrund von Urlaub oder Schulung abwesend sind, zusammen. Die summierten nominellen Wochenarbeitszeiten der abwesenden Agenten entsprechen den geplanten Fehlzeiten. Erhöht man die Sollarbeitszeit um die summierten Mehrarbeitszeiten und vermindert sie um die summierten Minderarbeitszeiten aller Agenten und vermindert sie zusätzlich um die Zeiten der Bildschirmpausen, die zwar zur Arbeitszeit zählen, jedoch nicht produktiv genutzt werden können, so ergibt sich das Personalangebot. Es beschreibt die Summe der produktiv nutzbaren Arbeitszeit aller Agenten in der Woche. Die ungeplanten Fehlzeiten werden in diesem Teil der Arbeit nicht berücksichtigt, da sie im Modell nicht enthalten sind. Diese Zusammenhänge werden in der Abbildung 6.8 verdeutlicht.

	Summe der nominellen Wochenarbeitszeit aller Agenten
-	geplante Fehlzeiten
=	Sollarbeitszeit
+	Mehrarbeitszeiten
-	Minderarbeitszeiten
-	Zeiten für die Bildschirmpausen
=	Personalangebot

Abbildung 6.8: Zusammenhang zwischen der Wochenarbeitszeit und dem Personalangebot

6.2.1.1 Analyse der Arbeitszeit

Zunächst erfolgt die Analyse der Ergebnisse der – hinsichtlich der Kosten – besten Heuristik des Testproblems *real*, *LBBrJo₁₀*. Abbildung 6.9 stellt den benötigten Personalbedarf, die Summe der nominellen Wochenarbeitszeit der Agenten, die Sollarbeitszeit der anwesenden Agenten sowie die geplanten Fehlzeiten für die 52 Wochen in Stunden dar.

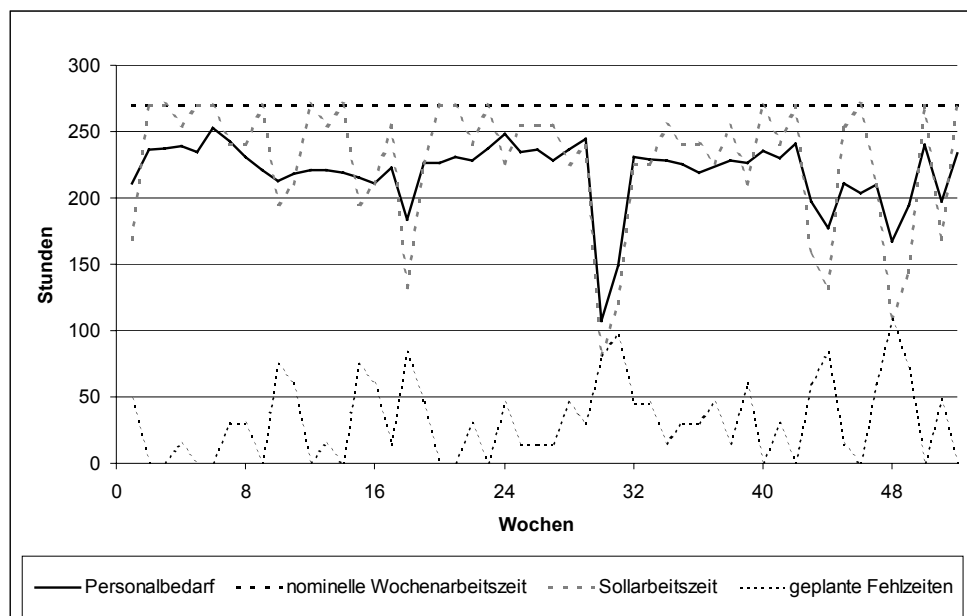


Abbildung 6.9: Vergleich des Personalbedarfs mit der Sollarbeitszeit und den geplanten Fehlzeiten für die Lösung der Heuristik *LBBrJo₁₀*

Die Summe der nominellen Wochenarbeitszeit aller Agenten ist aufgrund des gleich bleibenden Personalbestandes konstant. Vergleicht man die nominelle Wochenarbeitszeit mit dem benötigten Personalbedarf, so übersteigt diese in jeder Woche den Personalbedarf. Die Sollarbeitszeit, die sich aus der nominellen Wochenarbeitszeit vermindert um die geplanten Fehlzeiten ergibt, verläuft aufgrund der Konstanz der Wochenarbeitszeit konträr zur Datenreihe der geplanten Fehlzeiten. Die Sollarbeitszeit ist in einigen Wochen geringer

als der Personalbedarf in Stunden. Um in diesen Wochen den Personalbedarf decken zu können, ist die Einplanung von Mehrarbeitszeiten für die anwesenden Agenten erforderlich. In Wochen, in denen die Sollarbeitszeit der anwesenden Agenten erheblich höher ist als der Personalbedarf, wird nicht die Sollarbeitszeit der anwesenden Agenten eingeplant, vielmehr sind Minderarbeitszeiten notwendig.

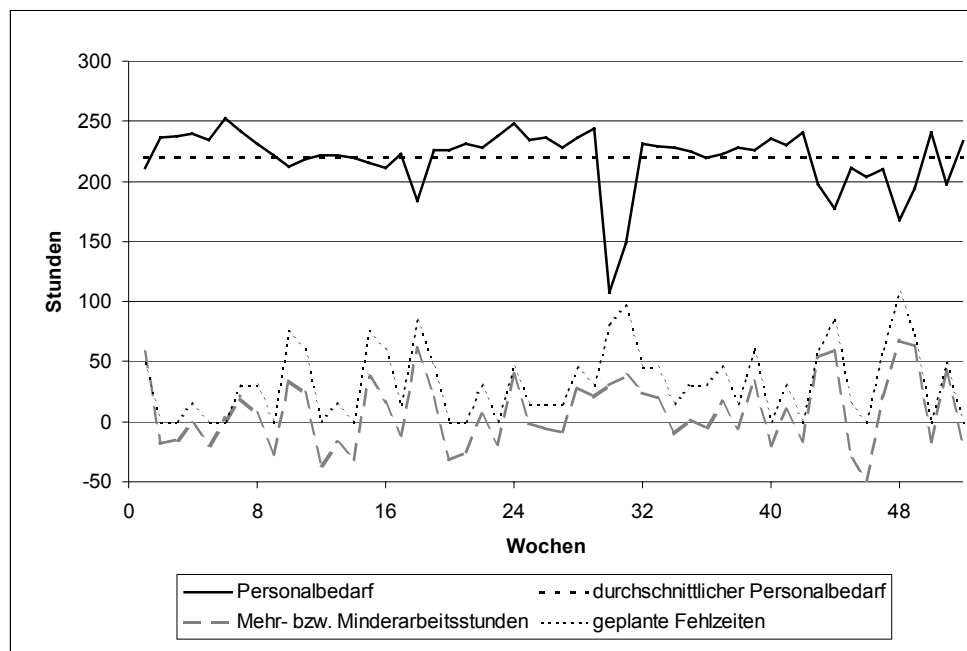


Abbildung 6.10: Personalbedarf, Mehr- bzw. Minderarbeitsstunden und geplante Fehlzeiten des Ergebnisses der Heuristik *LBBrJo₁₀*

In Abbildung 6.10 ist der Zusammenhang zwischen dem Personalbedarf, den Mehr- und Minderarbeitszeiten sowie den geplanten Fehlzeiten der Agenten dargestellt. Beim Vergleich der Datenreihen lässt sich die Tendenz erkennen, in Zeiten unterdurchschnittlichen Personalbedarfs überdurchschnittlich viele Fehlzeiten und gleichzeitig überdurchschnittliche Mehrarbeit zu gewähren. Ist in einer Woche im Ergebnis keine bzw. nur eine geringe Fehlzeit vorgesehen, geht dies mit Minderarbeitszeiten in der entsprechenden Woche einher (z.B. Wochen 45 und 46). Das bedeutet, dass in diesen Wochen für die anwesenden Agenten nicht die Sollarbeitszeit verplant wird, vielmehr erfolgt ihr Einsatz mit einer geringeren Anzahl von Arbeitsstunden. Der Verlauf der Mehr- und Minderarbeitszeiten sowie der geplanten Fehlzeiten ähnelt sich. Die Datenreihen befinden sich allerdings auf unterschiedlichem Niveau. Die beschriebenen Zusammenhänge zwischen dem Personalbedarf, den Mehr- und Minderarbeitszeiten sowie den geplanten Fehlzeiten, lassen sich auch bei den Ergebnissen der anderen untersuchten Heuristiken feststellen.

Die Berücksichtigung der geplanten Fehlzeiten sowie der Mehr- und Minderarbeitszeiten hat zur Folge, dass das Personalangebot den Personalbedarf in jeder Woche übersteigt. Dies ist in Abbildung 6.11 erkennbar. Das bedeutet für jede Woche die Einplanung von mehr Arbeitsstunden als dies der Personalbedarf vorgibt. In Wochen mit geringem Personalbedarf ist die Überdeckung sehr klein im Vergleich zu Wochen mit höherem Personalbedarf.

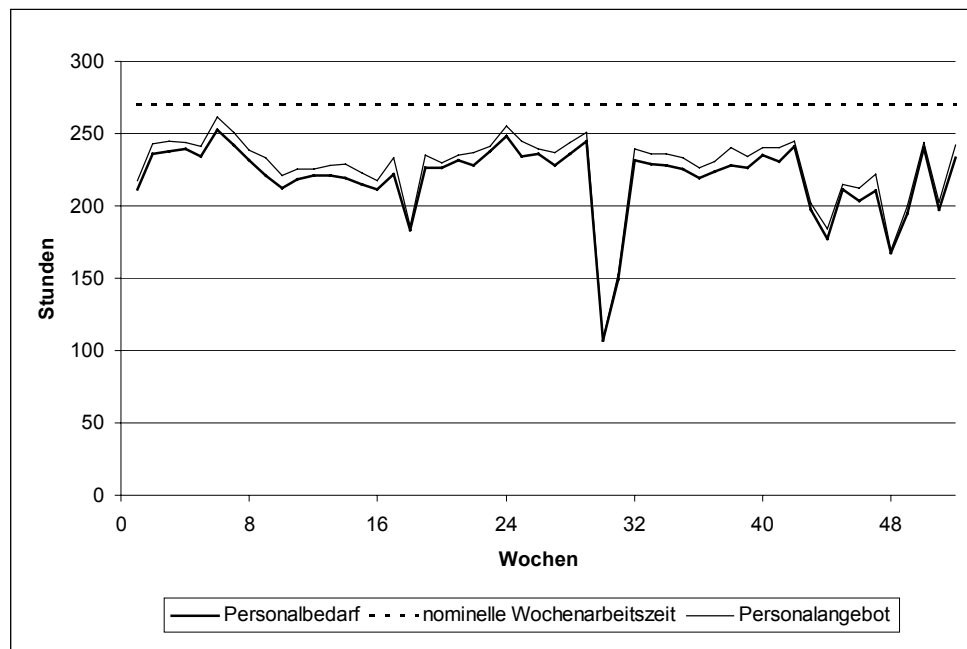


Abbildung 6.11: Vergleich des Personalbedarfs mit dem Personalangebot für das Ergebnis der Heuristik *LBBrJo₁₀*

Die Ergebnisse der angewandten Heuristiken bezüglich der Aufteilung zwischen geplanten Fehlzeiten sowie der Mehr- und Minderarbeitszeiten in den einzelnen Wochen variieren teilweise erheblich. Sowohl der Verlauf der geplanten Fehlzeiten als auch deren Höhe in den einzelnen Wochen, die in Abbildung 6.12 dargestellt sind, weisen große Unterschiede auf. Dabei lässt sich für die Wochen mit sehr niedrigem Personalbedarf (Wochen 18, 30, 31, 44, 48, 51) für alle Heuristiken eine übereinstimmend hohe Anzahl von geplanten Fehlzeiten feststellen. In den Wochen 47-52 sind die Verläufe der geplanten Fehlzeiten sogar fast identisch. Der Verlauf der Mehr- und Minderarbeitszeiten für die betrachteten Heuristiken weist ähnlich große Unterschiede auf.

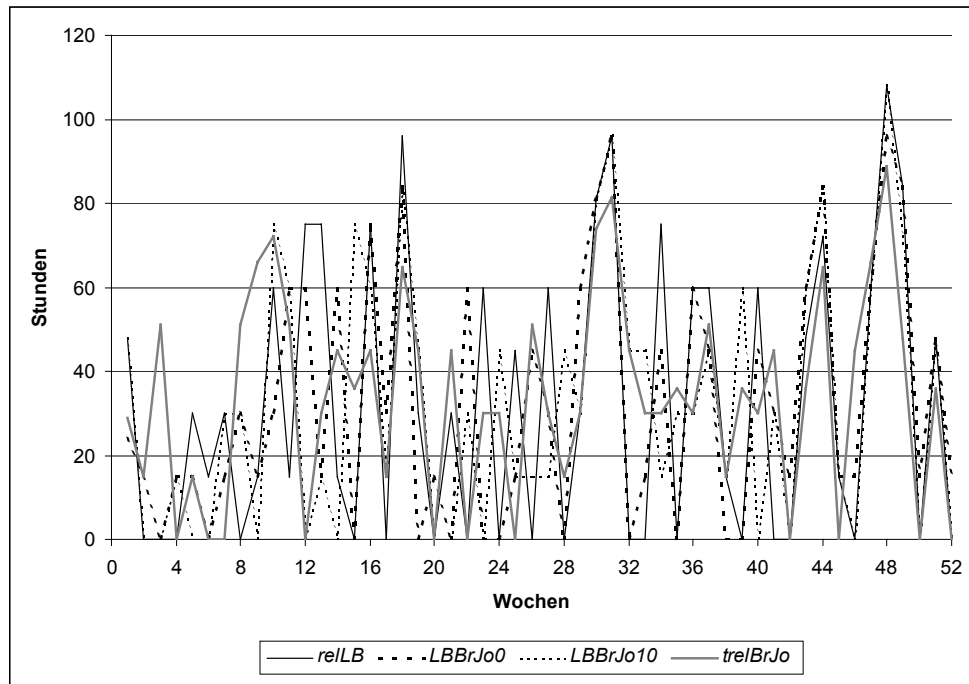


Abbildung 6.12: Ergebnisse der geplanten Fehlzeiten für die betrachteten Heuristiken

Trotz der großen Unterschiede im Verlauf der geplanten Fehlzeiten sowie der Mehr- und Minderarbeitszeiten für die einzelnen Heuristiken gestaltet sich die Summe aus geplanten Fehlzeiten und Minderarbeitszeiten vermindert um die Mehrarbeitszeiten jedoch für jede Woche ähnlich. Diese Daten sind in Abbildung 6.13 dargestellt. Da sich sowohl die Summe der nominellen Wochenarbeitszeiten für die jeweiligen Heuristiken nur geringfügig unterscheiden (270 bzw. 273 Stunden) als auch die Zeiten für die Bildschirm-pausen kaum variieren, bedeutet das, dass sich nicht nur die Höhe, sondern auch der wöchentliche Verlauf des Personalangebotes aller Heuristiken für das Testproblem *real* fast identisch gestalten. Daraus lässt sich schließen, dass, obwohl sich bei der Anwendung der einzelnen Lösungsverfahren teilweise ein unterschiedlicher Personalbestand ergibt, dem Call Center im Ergebnis ein sehr ähnliches Personalangebot zur Verfügung steht. Somit existieren alternative Personalbestände, die eine gegebene Nachfragestruktur gleich gut befriedigen können. Dabei liegt der Gap^{LP} der Ergebnisse der unterschiedlichen Heuristiken mit 3,4% bis 3,8% sehr nahe beieinander. Da die Heuristiken *relLB*, *LBBrJo₀* und *LBBrJo₁₀* einen identischen Personalbestand im Ergebnis liefern, kann daraus geschlossen werden, dass mit diesem Personalbestand sehr verschiedene Aufteilungen sowohl für die geplanten Fehlzeiten als auch für die Mehr- und Minderarbeitszeiten sowie die daraus resultierenden Überstunden möglich sind. Die unterschiedlichen Zielfunktionswerte bei identischem Personalbestand sind auf eine verschieden hohe Anzahl an Gesamtüberstunden zurückzuführen.

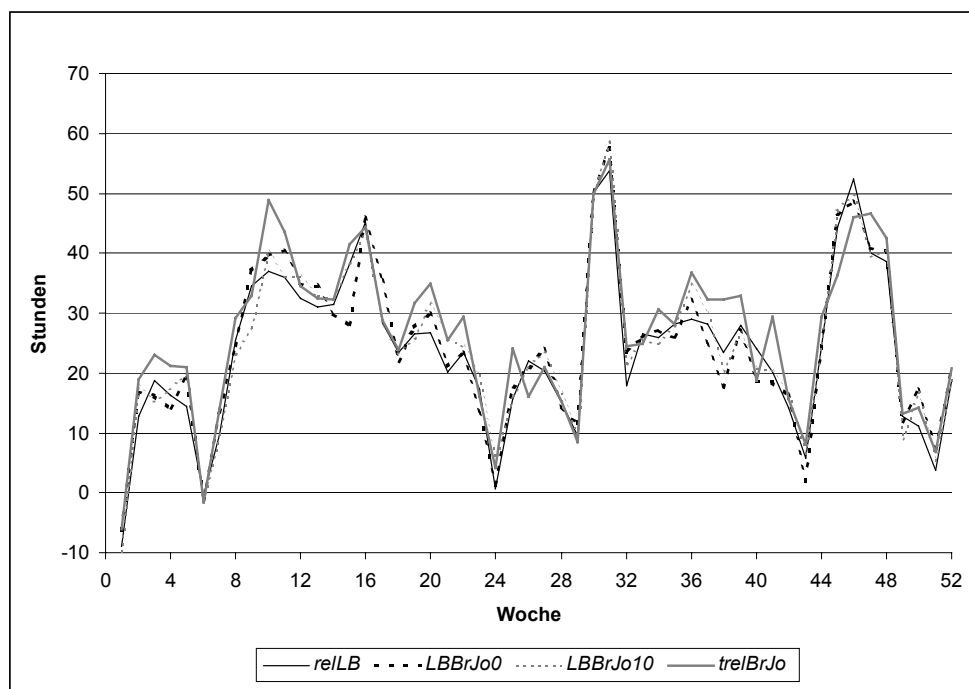


Abbildung 6.13: Ergebnisse der geplanten Fehlzeiten und Minderarbeitszeiten vermindert um die Mehrarbeitszeiten für die betrachteten Heuristiken

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich der Verlauf der Mehr- und Minderarbeitszeiten und der geplanten Fehlzeiten ähnelt. In Zeiten einer hohen Anzahl von geplanten Fehlzeiten steigt die Mehrarbeit an. Die Einplanung von Minderarbeit in einer Woche hingegen fällt mit geringen bzw. ausbleibenden geplanten Fehlzeiten zusammen. Das Niveau des jeweiligen Verlaufs der Stunden der Mehr- und Minderarbeit und der Fehlzeiten ist abhängig von dem jeweiligen Personalbedarf der Woche. Demnach passt sich das Personalangebot der einzelnen Wochen an den Personalbedarf an. Die Summe aus geplanten Fehlzeiten und Minderarbeitszeiten vermindert um die Zeiten der Mehrarbeit im Verlauf des Jahres gestaltet sich für alle Heuristiken nahezu identisch. Gleiches gilt für das Personalangebot, das durch einen unterschiedlichen Personalbestand zustande kommt.

6.2.1.2 Analyse der geplanten Fehlzeiten

Der vorangegangene Abschnitt hat gezeigt, dass es durch eine Variation der geplanten Fehlzeiten sowie der Mehr- und Minderarbeitszeiten möglich ist, alternative Urlaubs- und Schulungspläne zu erstellen. Diese führen teilweise zu unterschiedlichen Kosten aufgrund einer verschiedenen Überstundenanzahl. Die Pläne werden im weiteren Verlauf der Arbeit als Abwesenheitspläne bezeichnet, da eine geplante Fehlzeit eines Agenten durch seine Abwesenheit charakterisiert wird. Alternative Abwesenheitspläne sind insbesondere dann von Vorteil, wenn einer Mitarbeiterkategorie lediglich ein oder zwei Mitarbeiter zuge-

ordnet werden, so dass die Verteilung der geplanten Fehlzeiten dazu führen kann, dass sich für diese Mitarbeiter der gesetzliche Anspruch auf zwei aufeinanderfolgende Urlaubswochen nicht verwirklichen lässt. Ein alternativer Abwesenheitsplan bei gleichbleibendem Personalbestand kann entweder durch die Vertauschung von Abwesenheitswochen zwischen einzelnen Mitarbeiterkategorien oder durch die Verschiebung von Mehr- bzw. Minderarbeitszeiten und von geplanten Fehlzeiten in einzelnen Wochen innerhalb einer Kategorie zustande kommen. Da bei der gewählten Schichtzuordnung zu den Mitarbeiterkategorien die Überstunden insbesondere in den ersten beiden Mitarbeiterkategorien begrenzt sind, ist die Verschiebung von Überstunden und geplanten Fehlzeiten innerhalb dieser Kategorien nur begrenzt realisierbar. So können die vorgegebenen Fehlzeiten dazu führen, dass sich spezielle Urlaubswünsche von Arbeitnehmern für Wochen, die mit einem überdurchschnittlich hohen Personalbedarf zusammenfallen, nicht realisieren lassen. Es ist daher vertretbar, dass einem Agenten der Urlaub verweigert werden kann, wenn betriebliche Erfordernisse dagegen sprechen.

Die mit den angewandten Heuristiken erzielten Ergebnisse für die Variable $x_{abw_{k,w}}$ für die Anzahl an abwesenden Agenten der Kategorie k in der Woche w ermöglichen jedem Agenten einen zusammenhängenden Urlaub von mindestens zwei Wochen. Die Realisation eines Abwesenheitsplans basierend auf dem Ergebnis der Heuristik *LBBrJo₁₀*, der insgesamt sieben Wochen Urlaub und Schulung für jeden Agenten des Personalbestandes vorsieht, ist in Tabelle 6.10 dargestellt.⁴¹⁰ Dabei setzt sich der Personalbestand aus vier Agenten der Mitarbeiterkategorie zwei und zehn Agenten der Mitarbeiterkategorie drei zusammen. Der Mitarbeiterkategorie eins wurde kein Agent zugeordnet. Die Agenten jeder Mitarbeiterkategorie werden der Einfachheit halber mit eins beginnend durchnummeriert.

⁴¹⁰ Mögliche Abwesenheitspläne für die verbleibenden Heuristiken sind im Anhang 9.4 dargestellt.

Woche w	$x_{abw_{2,w}}$	Agent Nr.				$x_{abw_{3,w}}$	Agent Nr.													
		1	2	3	4		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	2	■			■	0														
2	0					0														
3	0					0														
4	0					1								■						
5	0					0								■						
6	0					0														
7	0					2			■	■										
8	0					2			■	■										
9	0					0														
10	0					5		■				■	■	■					■	
11	0					4		■				■	■		■					
12	0					0														
13	0					1			■											
14	0					0				■										
15	0					5				■	■				■	■	■			
16	0					4				■	■				■	■		■		
17	0					1									■		■		■	
18	3	■	■	■		1														■
19	1	■				1														■
20	0					0														
21	0					0														
22	1				■	0														
23	0					0														
24	0					3		■								■	■			
25	0					1			■											
26	0					1			■											
27	0					1			■	■										
28	0					3				■	■									
29	0					2				■	■									
30	4	■	■	■	■	1														
31	4	■	■	■	■	0														
32	0					3								■	■	■				
33	0					3								■	■	■				
34	0					1			■											
35	0					2													■	■
36	0					2														■
37	0					3			■	■										■
38	0					1														■
39	0					4						■			■	■				
40	0					0														
41	0					2			■											
42	0					0														
43	2		■	■		1						■								
44	3		■	■	■	1						■								
45	0					1														
46	0					0														
47	0					4			■	■										■
48	4	■	■	■	■	1								■						■
49	3	■	■	■		0														
50	0					0														
51	1	■				2								■			■			
52	0					0														

Tabelle 6.10: Möglicher Abwesenheitsplan für den Personalbestand der Heuristik $LBBrJo_{10}$

Eine Spalte des Agenten Nr. i repräsentiert den Abwesenheitsplan des Agenten i der entsprechenden Mitarbeiterkategorie, wobei die schwarz markierten Wochen in der jeweiligen Spalte die Abwesenheit des Agenten darstellen. Eine einzelne Abwesenheitswoche für jeden Agenten wird für Schulungszwecke verwendet, die verbleibenden Abwesenheitswochen stellen Urlaub dar. Bei der Erstellung des Abwesenheitsplanes wurde versucht, möglichst viele zusammenhängende zwei- bzw. dreiwöchige Urlaubswochen für jeden Agenten zu generieren. Selbst bei der geringen Anzahl an Mitarbeitern – wie bei der Kategorie zwei – lässt sich für die Fehlzeiten, die sich aus der Heuristik ergeben, jedem Agenten mindestens zweimal ein zweiwöchiger Urlaub zuordnen. Je größer die Anzahl der Mitarbeiter einer Kategorie ist, desto mehr Freiheitsgrade existieren in der möglichen Zuordnung des Urlaubs. Dies gilt sowohl für die Anzahl an zusammenhängenden Urlaubswochen als auch für die Anzahl der Urlaube mit mindestens zwei zusammenhängenden Wochen. In dem Beispiel lassen sich auch Urlaubswünsche realisieren, die einen Zeitraum von mehr als drei Wochen umfassen. In den Wochen 15 bis 19 könnte ein Mitarbeiter der Mitarbeiterkategorie drei einen Urlaub von bis zu fünf Wochen Länge erhalten. In dem abgebildeten Abwesenheitsplan wurde jedoch bevorzugt, vier Mitarbeitern einen jeweils mindestens zweiwöchigen Urlaub zuzuteilen. Sofern der Abstand zwischen zwei Urlaubswochen zu groß ist, kann eine paarweise Vertauschung vorgenommen werden.

6.2.2 Parametervariationen

Nachdem gezeigt wurde, dass die vorgestellten Heuristiken in der Lage sind, in vertretbarer Zeit gute Lösungen zu erzeugen, die in Abhängigkeit des Niveaus des Personalbedarfs bestimmten Prinzipien folgen, zeigen die folgenden Ausführungen die Auswirkungen von Parametervariationen auf das Modell *PBaPEP*. Diese werden ebenfalls für das Testproblem *real* untersucht. Dabei sollen Einsichten erlangt werden, welche Auswirkungen eine Parametervariation mit sich bringt. Es erfolgt eine Variation der Mindestanzahl der Vollzeitagenten, der jährlich möglichen Überstunden eines Agenten, des Ausgleichszeitraums für die Berechnung der Überstunden, der Fixkosten sowie der Schichtzuordnung. Die einzelnen Modifikationen lassen sich in der folgenden Tabelle 6.11 ablesen.

Die Lösung des Modells mit den veränderten Parametern werden mit den Heuristiken *LBBrJo* und *trElBrJo* durchgeführt. Für beide Heuristiken sind die Lösungszeiten geringer als bei der Untersuchung sämtlicher Verfahrensvarianten von *reLLB*. Darüber hinaus

ergeben sich für die Heuristiken unterschiedliche Ergebnisse des Personalbestandes mit ähnlichen Zielfunktionswerten. Während das Lösungsverfahren *LBBrJo* einen Personalbestand empfiehlt, der sich an der Struktur der LP-Lösung orientiert, unterscheidet sich der Personalbestand, der mittels des Lösungsverfahrens *treBrJo* erzielt wird, teilweise erheblich von dem Personalbestand der LP-Lösung. Somit erfolgt der Rückgriff auf zwei Lösungsverfahren, die im Mittel gleichwertige Lösungen erzielen, sich im Personalbestand jedoch unterscheiden. Bei der Heuristik *LBBrJo* wird die Verfahrensvariante $z_{Anz} = 10$ zugrunde gelegt.

Problem	Arbeitszeit Mitarbeiterkategorie k			Schichtlängen Mitarbeiterkategorie k			Max_Std_{Jahr}	$MinAnz_1$	Fixkosten	Ausgl
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$				
<i>real</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	0	288	4
<i>realVZ₁</i>	36	-	-	9, 8, (4)	-	-	45	0	288	4
<i>realVZ₂</i>	36	-	-	9, 8, 7, (4)	-	-	45	0	288	4
<i>realVZ₃</i>	36	-	-	8, 7, (4)	-	-	45	0	288	4
<i>realMin₁</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	2	288	4
<i>realMin₂</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	4	288	4
<i>realMin₃</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	6	288	4
<i>realÜst₁</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	0	0	288	4
<i>realÜst₂</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	10	0	288	4
<i>realÜst₃</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	90	0	288	4
<i>realAusgl₁</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	0	288	13
<i>realAusgl₂</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	0	288	52
<i>realFix₁</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	0	0	4
<i>realFix₂</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	0	2 * 288	4
<i>realFix₃</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	0	5 * 288	4
<i>realFix₄</i>	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4	45	0	10 * 288	4
<i>realZuo₁</i>	36	30	15	8, 7	6	(8, 7, 6,) 5, 4	45	0	288	4
<i>realZuo₂</i>	36	30	15	8	7, 6	(8, 7, 6,) 5, 4	45	0	288	4
<i>realZuo₃</i>	36	30	15	8	6	(8, 6,) 5, 4	45	0	288	4
<i>realZuo₄</i>	36,25	28,75	15	8	6	(8, 6,) 5, 4	45	0	288	4

Tabelle 6.11: Übersicht über die untersuchten Parametervariationen des Testproblems *real*

6.2.2.1 Ausschließlicher Einsatz von Vollzeitagenten

Zunächst wird die Anzahl der benötigten Vollzeitagenten ermittelt, sofern ausschließlich Agenten der Mitarbeiterkategorie 1 zum Einsatz kommen. Das bedeutet, dass die Anzahl der Agenten durch $MaxAnz_k = 0$ für die Kategorien $k = 2, 3$ durch die Gleichung (5.15) beschränkt werden. Um den Bedarf am Wochenende decken zu können, ist es notwendig, Vollzeitagenten auch am Samstag einzusetzen. Die Gleichung (5.10) zur Berechnung der

Überstunden ist demnach um die Arbeitsstunden sowie den zeitlichen Zuschlag für die Schichten am Wochenende anzupassen. Dies geschieht unter der Annahme, dass die Agenten der Mitarbeiterkategorie eins samstags zusätzlich eine Schicht von vier Stunden arbeiten können. Um den Agenten zwei freie Tage pro Woche zu gewähren, wird eine zusätzliche Restriktion eingeführt. Diese beschränkt die Anzahl der in einer Woche zugeordneten Schichten auf das Fünffache der Anzahl der anwesenden Agenten. Sofern eine Woche einen Feiertag beinhaltet, reduziert sich die Anzahl der zugeordneten Schichten entsprechend.

Darüber hinaus werden die jeweiligen Schichtlängen, in denen die Mitarbeiter innerhalb der Woche tätig sein können, variiert. Die daraus resultierenden Probleme werden mit $realVZ_i$ mit $i = 1, \dots, 3$ bezeichnet. Die möglichen Schichtlängen sowie die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 6.12 abgebildet. Dabei stellen die eingeklammerten Schichtlängen diejenigen Schichten dar, die ausschließlich an Wochenenden zum Einsatz kommen. Während die Vollzeitmitarbeiter beim Problem $realVZ_1$ innerhalb der Woche in Schichten arbeiten, deren Längen denen des Testproblems $real$ entsprechen, erfahren sie bei den Problemen $realVZ_2$ und $realVZ_3$ eine Variation. Die Probleme $realVZ_i$ mit $i = 1, \dots, 3$ werden lediglich mit dem Lösungsansatz $LBBrJo_{10}$ gelöst, da aufgrund der Betrachtung von nur einer Mitarbeiterkategorie mit der Heuristik $relBrJo$ kein alternativer Personalbestand zu erwarten ist.

Problem	Schichtlängen der Mitarbeiter	Anzahl der Vollzeitmitarbeiter		vereinbarte Stunden	z^{LP}	Gap ^{LP}	Lösungsdauer [Sek]
		LP	$LBBrJo_{10}$				
$realVZ_1$	9, 8, (4)	8	9	324	122112	12,5%	16
$realVZ_2$	9, 8, 7, (4)	8	9	324	122112	12,5%	19
$realVZ_3$	8, 7, (4)	9	10	360	137376	11,1%	17

Tabelle 6.12: Ergebnisse beim ausschließlichen Einsatz von Vollzeitagenten

Aus der Tabelle 6.12 ist ersichtlich, dass für alle Probleme die Anzahl der Vollzeitmitarbeiter der Heuristik im Vergleich zur LP-Lösung um eins erhöht wird. Die Lösungsdauer liegt jeweils unter 20 Sekunden. Die Summe der vereinbarten Arbeitszeiten für alle beschäftigten Mitarbeiter der betrachteten Probleme liegt im Vergleich zum Testproblem $real$, das bei den Heuristiken $LBBrJo_0$, $LBBrJo_{10}$ und $relLB$ jeweils 270 Stunden einplant, mit 324 bzw. 360 um 20% bzw. 33% höher. Diese prozentualen Aufschläge entsprechen dem Anstieg der variablen Arbeitskosten. Die fixen Kosten hingegen reduzieren sich bei

der ausschließlichen Beschäftigung von Vollzeitagenten. Sie fallen im Vergleich zu den variablen Kosten jedoch kaum ins Gewicht.⁴¹¹ Die höhere Stundenanzahl beim Einsatz der Vollzeitagenten verdeutlicht insbesondere das möglich Einsparpotenzial, das sich aus einer Verkürzung der wöchentlichen Arbeitszeit durch den Einsatz von Teilzeitagenten ergibt. Sofern die Möglichkeit besteht, kürzere Schichten und damit verbunden Arbeitnehmer mit kürzeren Wochenarbeitszeiten einzustellen, sollte diese Chance genutzt werden. Eine alleinige Verkürzung der möglichen Schichtlängen unter Beibehaltung der wöchentlichen Arbeitszeit hingegen hat – wie das Ergebnis des Problems *realVZ₃* zeigt – keine positiven Auswirkungen auf das Ergebnis. Vielmehr erhöht sich der Personalbestand.

6.2.2.2 Mindestanzahl an Vollzeitagenten

In den kommenden Ausführungen erfolgt die Variation der Mindestanzahl der Vollzeit- arbeiter. Während das Testproblem *real* diesbezüglich keine Forderungen enthält, wird bei den Problemen *realMin_i* für $i = 1, \dots, 3$ die Mindestanzahl mit zwei, vier und sechs Vollzeitarbeitnehmern variiert. Die Ergebnisse des Personalbestandes bei diesen Modifikationen sind der Tabelle 6.13 zu entnehmen.

Problem	<i>MinAnz₁</i>	Anzahl an Arbeitnehmern der Mitarbeiterkategorie <i>k</i>								
		LP			<i>LBBrJo₁₀</i>			<i>trElBrJo</i>		
		<i>k=1</i>	<i>k=2</i>	<i>k=3</i>	<i>k=1</i>	<i>k=2</i>	<i>k=3</i>	<i>k=1</i>	<i>k=2</i>	<i>k=3</i>
<i>real</i>	0	0,8	4,2	7,6	0	4	10	3	2	7
<i>realMin₁</i>	2	2,0	2,7	7,6	2	2	10	3	3	6
<i>realMin₂</i>	4	4,0	1,1	6,2	4	1	7	5	1	5
<i>realMin₃</i>	6	6,0	0,0	3,8	6	0	5	6	1	3

Tabelle 6.13: Ergebnisse des Personalbestandes bei Variation der Mindestanzahl von Vollzeitagenten

Dabei lässt sich feststellen, dass sowohl bei den Ergebnissen des relaxierten Modells als auch denjenigen der Heuristik *LBBrJo₁₀* die Minimalanforderungen der Vollzeitarbeitnehmer genau erfüllt werden. Bei der Heuristik *trElBrJo* wird die Mindestanforderung bezüglich der Vollzeitarbeitnehmer im Personalbestand hingegen häufig überschritten. Eine wachsende Anzahl an Vollzeitarbeitnehmern bei gleichbleibendem Personalbedarf führt zu einer sinkenden Anzahl an Teilzeitarbeitnehmern. Beim vermehrten Einsatz von Vollzeitarbeitnehmern nimmt die Gesamtanzahl an beschäftigten Agenten ab, da Agenten mit einer geringeren vereinbarten Wochenstundenzahl durch jene ersetzt werden, deren

⁴¹¹ Die fixen Kosten betragen beim Testproblem *real* 4032 €, bei den anderen Problemen 2592 € bzw. 2880 €.

Stundendeputat höher ist. Aus diesem Grund steigt tendenziell auch die summierte Wochenstundenzahl aller Agenten. Die Anzahl der beschäftigten Agenten sowie deren Wochenstundenzahl sind in der Tabelle 6.14 abgebildet.

Problem	Summe der Arbeitnehmer			vereinbarte Wochenstunden		
	LP	<i>LBBrJo</i> ₁₀	<i>trElBrJo</i>	LP	<i>LBBrJo</i> ₁₀	<i>trElBrJo</i>
<i>real</i>	12,6	14	12	267,3	270	273
<i>realMin</i> ₁	12,4	14	12	268,2	282	288
<i>realMin</i> ₂	11,3	12	11	269,9	279	285
<i>realMin</i> ₃	9,8	11	10	272,7	291	291

Tabelle 6.14: Anzahl der Arbeitnehmer und mit ihnen vereinbarte Wochenstundenzahl bei Variation der Mindestanzahl der Vollzeitagenten

Der vermehrte Einsatz von Vollzeitarbeitnehmern zu Lasten der Teilzeitarbeitnehmer lässt die Gesamtkosten steigen. Die steigenden Zielfunktionswerte der Heuristiken lassen sich allerdings nicht notwendigerweise auf die steigende Anzahl an Vollzeitarbeitnehmern zurückführen. Möglicherweise sind sie lediglich Ausdruck eines steigenden Gap^{LP} 's. Für den Zielfunktionswert z^{LP} kann jedoch der Anstieg der Kosten auf den vermehrten Einsatz der Vollzeitarbeitnehmer zurückgeführt werden. Der Zielfunktionswert des jeweiligen LP's und die relativen Abweichungen Gap^{LP} sind der Tabelle 6.15 dargestellt.

Problem	z^{LP}	Gap^{LP}	
		<i>LBBrJo</i> ₁₀	<i>trElBrJo</i>
<i>real</i>	116615	3,4%	3,7%
<i>realMin</i> ₁	116628	4,5%	6,0%
<i>realMin</i> ₂	116661	5,4%	4,7%
<i>realMin</i> ₃	116770	6,7%	6,4%

Tabelle 6.15: Zielfunktionswerte des relaxierten Problems und relative Abweichungen Gap^{LP} bei Variation der Mindestanzahl der Vollzeitagenten

Aus diesen Ausführungen lässt sich entnehmen, dass Call Center einen möglichst geringen Anteil an Vollzeitarbeitnehmern beschäftigen sollten. Eine fixe Vorgabe der Mindestanzahl der Vollzeitarbeitnehmer lässt das Personalangebot mit der Höhe der Vorgabe ansteigen. Dies gestaltet sich umso höher, je größer die Mindestanzahl ist. Das zeigt, dass Teilzeitarbeitnehmer einen variierenden Personalbedarf mit weniger Überdeckung befriedigen können. Dies bestätigt die bereits im Rahmen der Personaleinsatzplanung beschriebenen Erkenntnisse.

6.2.2.3 Überstunden

In den Problemen $realÜst_i$ mit $i = 1, \dots, 3$ werden die maximalen jährlich Überstunden Max_Std_{Jahr} mit 0, 10 und 90 Überstunden je Agent variiert. Diese Überstunden bezeichnen diejenigen, die sich innerhalb einer Mitarbeiterkategorie über alle Ausgleichszeiträume nicht durch Unterstunden ausgleichen lassen. Demnach ist es möglich, dass bei der Alternative $realÜst_1$, die am Ende des Jahres keine Überstunden toleriert, bezahlte Überstunden innerhalb einer Mitarbeiterkategorie in einem Ausgleichszeitraum auftreten, sofern sie durch Unterstunden in einem anderen Ausgleichszeitraum ausgeglichen werden können.

Problem	Max_Std_{Jahr}	Anzahl an Arbeitnehmern der Mitarbeiterkategorie k								
		LP			$LBBrJo_{10}$			$trelBrJo$		
		$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$
$realÜst_1$	0	2,4	4,0	4,5	3	4	5	2	5	5
$realÜst_2$	10	1,9	4,1	5,4	2	4	7	3	3	6
$real$	45	0,8	4,2	7,6	0	4	10	3	2	7
$realÜst_3$	90	0,8	4,2	7,6	0	4	10	2	2	9

Tabelle 6.16: Ergebnisse des Personalbestandes bei Variation der jährlichen Überstunden

Im Abschnitt 6.1.1.2 wurde bereits erläutert, dass lediglich Teilzeitarbeitskräfte aufgrund ihrer flexiblen Anzahl an Arbeitstagen und ihrer Schichtzuordnung eine hohe Anzahl von Überstunden bewältigen können. Daher ist anzunehmen, dass die Anzahl der Teilzeitarbeitnehmer bei einer zunehmenden Möglichkeit der vermehrten Überstunden ebenfalls ansteigt. Diese Vermutung bestätigt sich durch die Ergebnisse der Berechnungen, die in Tabelle 6.16 dargestellt sind. Die Anzahl der Teilzeitmitarbeiter steigt sowohl bei den Ergebnissen des LP's als auch bei den Heuristiken, sofern die Anzahl der möglichen jährlichen Überstunden erhöht wird. Dabei lässt sich beim Vergleich des Personalbestandes der Probleme $real$ und $realÜst_3$ kein Unterschied der jeweiligen LP-Lösung feststellen. Eine Verdopplung der möglichen jährlichen Überstunden je Arbeitnehmer auf diesem Niveau scheint keine Auswirkungen auf die Lösung zu haben. Die Lösungsheuristik $LBBrJo_{10}$, die vornehmlich auf der Rundung der LP-Ergebnisse beruht, bestätigt dies. Die Heuristik $trelBrJo$ hingegen nimmt eine vermehrte Überstundenmöglichkeit bei dem Problem $realÜst_3$ in Anspruch und reduziert im Gegenzug die vereinbarten Wochenstunden. Die mit der jeweiligen Lösung verbundenen Überstunden sind neben den vereinbarten Wochenarbeitszeiten und den relativen Abweichungen des Zielfunktionswertes in Tabelle 6.17 dargestellt. Hier lässt sich bei einem steigenden Wert von Max_Std_{Jahr} sowohl die Zunahme der insgesamt getätigten und am Ende eines jeden

Ausgleichszeitraums bezahlten Überstunden (Spalte „bezahlt“) erkennen als auch jener, die im Rahmen einer Kategorie innerhalb des Jahres nicht durch Unterstunden ausgeglichen (Spalte „nicht ausgleichbar“) werden.

Problem	Gap^{LP}		vereinbarte Wochenstunden		Überstunden			
					bezahlt		nicht ausgleichbar	
	$LBBrJo_{10}$	$trelBrJo$	$LBBrJo_{10}$	$trelBrJo$	$LBBrJo_{10}$	$trelBrJo$	$LBBrJo_{10}$	$trelBrJo$
$realÜst_1$	11,2%	8,9%	303	297	27	13	0	0
$realÜst_2$	9,6%	6,1%	297	288	47	52	43	42
$real$	3,4%	3,7%	270	273	410	370	403	366
$realÜst_3$	3,7%	3,6%	270	267	440	576	438	551

Tabelle 6.17: Relative Abweichungen Gap^{LP} , Wochenstunden und Überstunden bei Variation der jährlichen Überstunden

Beim vermehrten Einsatz von Überstunden können diese gezielt dazu genutzt werden, Schwankungen des Personalbedarfs im Zeitablauf auszugleichen. Sofern ein Call Center diese Schwankungen durch Überstunden in den Griff bekommt, kann möglicherweise die Summe der mit den Agenten vereinbarten Wochenarbeitszeit reduziert werden. Dies führt zu einer geringeren Überdeckung des Personalbedarfs. Die Reduzierung der mit den Agenten vereinbarten Wochenarbeitszeit zugunsten von Überstunden zeigt sich ebenfalls in den oben abgebildeten Ergebnissen der Heuristiken. Dabei gestaltet sich der Überstundenzuwachs bei zunehmender Überstundenmöglichkeit wesentlich geringer als die Abnahme der wöchentlichen Arbeitszeit. Sofern die Überstunden innerhalb eines Jahres in jeder Mitarbeiterkategorie durch die Unterstunden auszugleichen sind ($realÜst_1$), ist die Summe der mit den Agenten vereinbarten Wochenarbeitszeiten am höchsten. Eine vermehrte Überstundengewährung führt somit zu einer Reduzierung der Überdeckung. Ob damit gleichfalls eine Reduzierung der Kosten einhergeht hängt von der Höhe der Fixkosten ab.

Das Personalangebot steigt, sofern die jährlich möglichen Überstunden der Agenten reduziert werden. Demnach ist im Vorhinein mit den Agenten eine sinnvolle Festlegung der Überstunden zu vereinbaren, da sich dadurch das Personalangebot und die Gesamtkosten reduzieren lassen.

6.2.2.4 Ausgleichszeitraum

In diesem Abschnitt wird der Ausgleichszeitraum, am Ende dessen die Überstunden zu bezahlen sind, variiert. Geht man davon aus, dass der Ausgleichszeitraum jeweils ein Vielfaches einer Woche beträgt und darüber hinaus innerhalb des Planungszeitraumes alle

Ausgleichszeiträume zu beenden sind, so kann der Ausgleichszeitraum zusätzlich zu den betrachteten 4 Wochen 13 oder 52 Wochen betragen. Dies führt zu den Problemen $realAusgl_i$ mit $i = 1, 2$. Ein Ausgleichszeitraum von zwei Wochen erscheint nicht sinnvoll, da sich das Nachfragevolumen zweier aufeinanderfolgender Wochen nur selten stark unterscheidet.

		Anzahl an Arbeitnehmern der Mitarbeiterkategorie k								
		LP			$LBBrJo_{10}$			$trelBrJo$		
Problem	Ausgl	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$
$real$	4	0,8	4,2	7,6	0	4	10	3	2	7
$realAusgl_1$	13	0,4	4,3	8,5	0	4	10	3	3	6
$realAusgl_2$	52	0,1	4,5	8,9	0	4	10	3	3	6

Tabelle 6.18: Ergebnisse des Personalbestandes bei Variation des Ausgleichszeitraumes

Tabelle 6.18 spiegelt die Ergebnisse dieser Variation wider. Bei der Betrachtung der LP-Lösung steigt erwartungsgemäß die Anzahl der an flexiblen Tagen einsetzbaren Teilzeitarbeitnehmer mit dem Anwachsen des Ausgleichszeitraums an, die Anzahl der Vollzeitarbeitnehmer nimmt hingegen ab. Dies resultiert aus der bereits beschriebenen begrenzten Möglichkeit der Vollzeitarbeitnehmer, Mehrarbeitszeiten mit den gegebenen Schichten umzusetzen. Die Verschiebung zu einem vermehrten Einsatz der flexiblen Arbeitnehmer sind jedoch so gering, dass sie sich im Rahmen der betrachteten Heuristiken kaum bemerkbar machen. Während eine Verlängerung des Ausgleichszeitraums keinerlei Auswirkungen auf den Personalbestand der Heuristik $LBBrJo_{10}$ hat, verschiebt sich der Personalbestand der Heuristik $trelBrJo$ geringfügig. Diese Verschiebung scheint sich aus dem Rundungsalgorithmus zu ergeben. Anhand der Tabelle 6.19 lässt sich erkennen, dass der Gap^{LP} ebenso wie die Summe der vereinbarten Wochenstunden bei den Ergebnissen der Heuristik $trelBrJo$ vom Problem $real$ zum Problem $realAusgl_1$ ansteigt, obwohl die Kosten des LP's sinken. Dies lässt auf eine zufällige Rundung schließen, die mit einer Verschlechterung des Gap^{LP} 's einhergeht.

Problem	z^{LP}	Gap ^{LP}		vereinbarte Wochenstunden	
		LBBrJo ₁₀	trelBrJo	LBBrJo ₁₀	trelBrJo
<i>real</i>	116615	3,4%	3,7%	270	273
<i>realAusgl₁</i>	116474	3,7%	6,2%	270	288
<i>realAusgl₂</i>	116471	3,7%	6,0%	270	288

Tabelle 6.19: Relative Kostenabweichungen bei Variation des Ausgleichszeitraums

Anhand der betrachteten Probleme mit variierendem Ausgleichszeitraum hat sich gezeigt, dass der Zeitraum, in dem Mehr- und Minderarbeitszeiten ausgeglichen werden können, für die Zusammensetzung des Personalbestandes unerheblich ist, sofern er mindestens vier Wochen beträgt. Der Personalbestand verändert sich mit der Vergrößerung des Ausgleichszeitraums für das Testproblem *real* nicht. Demnach kann ein Call Center mit der verwendeten Nachfragestruktur den Ausgleichszeitraum an seine Bedürfnisse anpassen.

6.2.2.5 Fixkosten

Die Fixkosten des Testproblems *real* werden zwischen dem Null-, Zwei-, Fünf- und Zehnfachen des ursprünglichen Wertes variiert. Die Ergebnisse des Personalbestandes für die ausgewählten Lösungsheuristiken sind der Tabelle 6.20 zu entnehmen. Die Ergebnisse des Personalbestandes zeigen die bereits beschriebene Tendenz der Heuristik *LBBrJo*, Arbeitnehmerzusammensetzungen zu erzeugen, die denen der LP-Lösung ähnlich sind. Die Heuristik *trelBrJo* hingegen empfiehlt einen davon abweichenden Personalbestand.

Problem	Fixkosten	Anzahl an Arbeitnehmern der Mitarbeiterkategorie k								
		LP			<i>LBBrJo₁₀</i>			<i>trelBrJo</i>		
		$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$
<i>realFix₁</i>	0	0,0	0,1	17,4	0	0	18	0	3	13
<i>real</i>	288	0,8	4,2	7,6	0	4	10	3	2	7
<i>realFix₂</i>	2 * 288	5,7	1,1	2,5	6	1	3	5	1	5
<i>realFix₃</i>	5 * 288	6,4	0,1	2,4	6	0	5	5	1	5
<i>realFix₄</i>	10 * 288	6,4	0,1	2,4	6	0	5	5	1	5

Tabelle 6.20: Ergebnisse des Personalbestandes bei Variation der Fixkosten

Sofern keine Fixkosten Berücksichtigung finden (*realFix₁*), werden erwartungsgemäß zeitlich sehr variable Agenten bevorzugt eingesetzt. Demnach sind überwiegend bzw. ausschließlich Mitarbeiter der Mitarbeiterkategorie drei beschäftigt. Sowohl für die Ergebnisse des relaxierten Problems als auch für die angewandten Heuristiken gilt, dass bei steigenden Fixkosten die Anzahl der Vollzeitmitarbeiter tendenziell zunimmt, während sich die der Arbeitnehmer der Mitarbeiterkategorie mit geringen Wochenstunden vermindert. Dabei ist

bemerkenswert, dass ab einer bestimmten Höhe der Fixkosten, der Personalbestand konstant bleibt, insbesondere vermindert sich die Anzahl der Mitarbeiter der Kategorie drei nicht weiter. Diese Ergebnisse bestätigen sich auch bei Fixkosten, die über den Zehnfachen Satz des ursprünglich angenommenen Wertes hinausgehen. Eine minimale Anzahl von 2,4 Agenten der Kategorie drei, die sich in der LP-Lösung ergeben, ist erforderlich, um den Personalbedarf am Samstag zu decken. Da jeden Samstag genau zwei Mitarbeiter benötigt werden, diese aber aufgrund von Schulung und Urlaub nicht immer verfügbar sind, besteht ein Einstellungsbedarf von mindestens 2,4 Agenten dieser Mitarbeiterkategorie. Demnach ergibt sich aus den Ergebnissen der angewandten Heuristiken eine Mindestanzahl von drei Agenten der dritten Mitarbeiterkategorie. Diese Mindestanzahl wird bei dem Problem $realFix_2$ in Kombination mit der Lösung durch die Heuristik $LBBrJo_{10}$ erzeugt. Bei diesem Problem kommen zwar im Ergebnis der Heuristik $LBBrJo_{10}$ insgesamt weniger Arbeitnehmer als bei dem der Heuristik $treBrJo$ zum Einsatz, die vertraglich vereinbarten Gesamtarbeitsstunden sind hingegen pro Woche um sechs Stunden höher, so dass die Arbeitskosten höher sind. Gleichzeitig werden aufgrund der geringeren Flexibilität der Arbeitnehmer (nur drei statt fünf Mitarbeiter der Kategorie drei) mehr Überstunden geleistet, so dass die relative Abweichung Gap^{LP} bei diesem Problem größer ist, als bei der anderen Heuristik. Diese Angaben sind der Tabelle 6.21 zu entnehmen. Die fehlende Flexibilität wird bei $LBBrJo_{10}$ in den Problemen $realFix_3$ und $realFix_4$ durch den Ersatz eines Mitarbeiters der Kategorie zwei durch zwei Mitarbeiter der Kategorie drei wieder hergestellt. Dies führt zwar zu höheren Fixkosten, die Agenten sind jedoch flexibler einsetzbar, was eine geringere Anzahl von Überstunden zur Folge hat.

Problem	z^{LP}	Gap^{LP}		Anteil der Fix- an den Gesamtkosten			Überstunden	
		$LBBrJo_{10}$	$treBrJo$	LP	$LBBrJo_{10}$	$treBrJo$	$LBBrJo_{10}$	$treBrJo$
$realFix_1$	112343	3,7%	6,6%	0,0%	0,0%	0,0%	397	113
$real$	116615	3,4%	3,7%	3,1%	3,3%	2,9%	410	370
$realFix_2$	119481	7,6%	5,1%	4,5%	4,5%	5,0%	165	67
$realFix_3$	127295	7,9%	6,1%	10,2%	11,5%	11,7%	38	64
$realFix_4$	140255	9,2%	8,0%	18,5%	20,7%	20,9%	42	121

Tabelle 6.21: Relative Abweichungen Gap^{LP} , Fixkostenanteile und Überstunden bei Variation der Fixkosten

Die relative Abweichung Gap^{LP} wächst – abgesehen von der Lösung des Problems $realFix_1$ – mit steigenden Fixkosten. Dies resultiert aufgrund des ebenfalls steigenden Anteils der Fixkosten an den Gesamtkosten. Da bei gleichbleibendem Personalbedarf nach

wie vor eine ganzzahlige Anzahl an Mitarbeitern zu beschäftigen ist, sind bei den Lösungen der Heuristiken zumeist mehr Mitarbeiter mit einer größeren Summe an vereinbarten Wochenstunden zu beschäftigen, als dies in der Lösung des LP's vorgesehen ist. Während sich bei der Abwesenheit von Fixkosten ausschließlich die Arbeitskosten für die ganzzahlige Lösung im Vergleich zu dem des LP's erhöhen, betrifft dies bei der Existenz von Fixkosten diese ebenfalls. Sofern die Fixkosten steigen, ergibt sich eine damit verbundenen Kostensteigerung der Lösung. Ihr steigender Anteil hat ferner Auswirkungen auf die relative Abweichung Gap^{LP} .

Ein Anstieg der Fixkosten wirkt sich auf den Personalbestand aus, indem mehr Agenten mit höheren Wochenarbeitszeiten beschäftigt werden. Dabei geht die Anzahl der flexibel arbeitenden Agenten zurück. Dies führt zwar zu einer geringeren Anzahl an Überstunden, das Personalangebot nimmt jedoch zu. Allerdings muss ein bestimmter Anteil an flexibel einsetzbaren Agenten erhalten bleiben, um den Personalbedarf am Wochenende zu befriedigen.

6.2.2.6 Schichtzuordnung

Das Testproblem *real* geht von einer fixen Zuordnung der Schichten zu den möglichen Mitarbeiterkategorien aus. Sofern diese Zuordnung geändert wird, ist zu vermuten, dass sich der empfohlene Personalbestand ändert. Zu diesem Zweck werden die in der Tabelle 6.22 beschriebenen Änderungen der Parameter in den Problemen $realZuo_i$ mit $i = 1, \dots, 4$ vorgenommen. Die eingeklammerten Schichtlängen betreffen die Schichten, die am Wochenende in Frage kommen. Die Probleme $realZuo_1$ und $realZuo_2$ reduzieren jeweils für eine Mitarbeiterkategorie die möglichen Schichtlängen. Im Problem $realZuo_1$ können die Agenten der Mitarbeiterkategorie zwei ausschließlich eine Schichtlänge von sechs Stunden arbeiten, die der Mitarbeiterkategorie eins haben Schichtlängen von acht und sieben Stunden. Das Problem $realZuo_2$ sieht für Vollzeitmitarbeiter ausschließlich eine Schichtlänge von acht Stunden vor. Im Problem $realZuo_3$ ist sowohl für die Mitarbeiter der Kategorie eins als auch zwei eine einzige Schichtlänge von acht bzw. sechs Stunden geplant. Vergleicht man in diesem Problem bei einer täglichen Arbeitszeit von Montag bis Freitag von 7,25 bzw. 5,75 Stunden die mögliche Wochenarbeitszeit mit der vereinbarten Wochenarbeitszeit, so lässt sich feststellen, dass die Agenten der ersten Kategorie bei einem täglichen Einsatz von Montag bis Freitag 36,25 Stunden pro Woche arbeiten, die der zweiten Kategorie lediglich 28,75 Stunden. Demnach fallen für die Agenten der Mitarbeiterkategorie eins in jeder Woche Überstunden, für die der Mitarbeiterkategorie zwei

hingegen Unterstunden an. Aus diesem Grund werden bei dem Problem $realZuo_4$ die Wochenarbeitszeiten dahingehend angepasst, dass diese generellen Über- und Unterstunden nicht auftreten.

Problem	Arbeitszeit der Mitarbeiterkategorie k			Schichtlängen der Mitarbeiterkategorie k		
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$
$real$	36	30	15	9, 8	7, 6	(9, 8, 7, 6,) 5, 4
$realZuo_1$	36	30	15	8, 7	6	(8, 7, 6,) 5, 4
$realZuo_2$	36	30	15	8	7, 6	(8, 7, 6,) 5, 4
$realZuo_3$	36	30	15	8	6	(8, 6,) 5, 4
$realZuo_4$	36,25	28,75	15	8	6	(8, 6,) 5, 4

Tabelle 6.22: Betrachtete Szenarien der Arbeitszeit und der dazugehörigen Schichtlängen

Problem	Anzahl an Arbeitnehmern der Mitarbeiterkategorie k								
	LP			$LBBrJo_{10}$			$trelBrJo$		
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$
$real$	0,8	4,2	7,6	0	4	10	3	2	7
$realZuo_1$	3,8	0,0	8,8	3	1	9	5	0	7
$realZuo_2$	0,0	5,1	7,6	0	5	9	2	2	10
$realZuo_3$	3,7	0,0	8,9	3	0	11	4	0	9
$realZuo_4$	0,5	4,9	7,2	0	5	9	1	6	5

Tabelle 6.23: Ergebnisse des Personalbestandes bei unterschiedlicher Zuordnung der Schichten zu den Mitarbeiterkategorien

Der sich aus den jeweiligen Problemen ergebende Personalbestand ist in der Tabelle 6.23 abgebildet. Dabei lässt sich erkennen, dass für die Probleme $realZuo_1$ und $realZuo_2$, bei denen jeweils einer Mitarbeiterkategorie nur eine Schichtlänge zugeordnet wird, die Anzahl der Mitarbeiter dieser Kategorie im Vergleich zum Ergebnis des Testproblems $real$ vermindert bzw. auf die Agenten dieser Mitarbeiterkategorie ganz verzichtet wird. Lässt man hingegen für zwei Mitarbeiterkategorien ausschließlich eine Schichtlänge zu, wie im Problem $realZuo_3$, so entfällt die Beschäftigung der Mitarbeiter der Kategorie zwei. Die Stunden der Agenten, die im Testproblem $real$ in der zweiten Kategorie beschäftigt werden, lassen sich primär zusätzlichen Mitarbeitern der ersten Kategorie zuordnen. Darüber hinaus kommt es zu einer Erhöhung der Anzahl der Mitarbeiter der dritten Kategorie. Ändert man bei dieser Schichtzuordnung die dazugehörigen Wochenstundenzahlen, so lässt sich erkennen, dass nun die Mitarbeiter der ersten Kategorie nicht mehr so attraktiv sind. Ihre Anzahl wird im Problem $realZuo_4$ im Vergleich zu $realZuo_3$ extrem

vermindert. Die Mitarbeiter der zweiten Kategorie lassen sich durch ihre kürzere Arbeitszeit besser dem Personalbedarf anpassen als die der ersten Kategorie.

Der Personalbestand der LP-Lösung sowie derjenige der Heuristik $LBBrJo_{10}$ ähneln sich für die Probleme $real$, $realZuo_2$ und $realZuo_4$. Dort werden wenige bis keine Agenten der Kategorie eins eingesetzt und vier bis fünf der Kategorie zwei. Die Agenten der Kategorie drei ergeben sich aus den jeweils noch benötigten Stunden. Die Agenten der ersten Kategorie sind diejenigen mit den längsten Schichten. Diese lassen sich schlecht an einen variierenden Personalbedarf anpassen, so dass man auf sie verzichtet. Auch das Ergebnis der Heuristik $treLBrJo$ zeigt für diese Probleme eine niedrigere Anzahl an Mitarbeitern dieser Kategorie als bei den anderen Problemen. Sind hingegen die Mitarbeiter der Kategorie zwei mit kürzeren Arbeitszeiten aufgrund der Zuordnung nur einer Schichtlänge nicht mehr so flexibel einsetzbar, so dass für sie nur die Möglichkeit besteht, weniger als die mit ihnen vereinbarten Stunden pro Woche zu arbeiten ($realZuo_1$ und $realZuo_3$), so kommt es zum Verzicht auf die Agenten dieser Kategorie zugunsten der Mitarbeiter einer Kategorie mit längeren Schichten.

Aus den betrachteten Parametervariationen, die die vereinbarten Wochenstunden sowie die dazugehörigen Schichtlängen betreffen, kann die Bedeutung dieser Parameter für die Personalbestands- und aggregierte Personaleinsatzplanung abgelesen werden. Einerseits kommen Arbeitnehmer bevorzugt zum Einsatz, denen möglichst viele variable Schichten zugeordnet werden können. Andererseits ist es notwendig, die möglichen Schichtlängen einer Mitarbeiterkategorie mit der vereinbarten Wochenarbeitszeit abzustimmen, um generelle Unterstundensituationen zu vermeiden. Sofern in einer Mitarbeiterkategorie durch die Schichtzuordnung generell Überstunden eingeplant werden, besteht die Möglichkeit, diese durch eine geringere Anzahl von Arbeitstagen in einer Woche abzubauen. Demnach ist die Entscheidung über die vereinbarten Wochenstundenzahlen und die dazugehörigen Schichtlängen einer Kategorie außerordentlich wichtig. Sie bestimmt entscheidend den Personalbestand.

6.3 Untersuchung der Personaleinsatzplanung basierend auf dem ermittelten Personalbestand

Im Folgenden wird für das Testproblem $real$ untersucht, inwieweit die kurzfristige Personaleinsatzplanung der einzelnen Wochen – basierend auf dem ermittelten Personalbestand – umgesetzt werden kann. Zu diesem Zweck wurde bereits im Abschnitt 5.2 ein implizites Modell zur wöchentlichen Personaleinsatzplanung bei gegebenem Personal-

bestand vorgestellt. Im Abschnitt 6.3.1 werden zunächst die Parameter für das Modell beschrieben, bevor im Anschluss daran im Abschnitt 6.3.2 die Umsetzung der kurzfristigen Personaleinsatzplanung für ausgewählte Wochen erfolgt.

6.3.1 Festsetzung der Parameter

Die Periodeneinteilung des Modells PEP_w zur Personaleinsatzplanung für die Woche w bei gegebenem Personalbestand erfolgt auf Viertelstundenbasis. Dem Testproblem *real* liegen die realisierten Daten des Call Centers zugrunde. Demnach kann anhand der eingehenden Anrufe $calls_{t,d}$ der jeweiligen Periode $t \in T$ am Tag $d \in D$ der Personalbedarf eines jeden Viertelstundenintervalls $B_{t,d}$ der betrachteten Woche mittels dem ausgewählten $M/M/c/K+M$ -Warteschlangenmodell und den bereits bei der Personalbestandsplanung zugrunde gelegten Daten hinsichtlich der Maßzahl der Kundenzufriedenheit sowie der durchschnittlichen Bearbeitungs- und Wartezeiten ermittelt werden. Für die Wochentage Montag bis Freitag findet eine Fixierung des Personalbedarfs ab 19:45 Uhr bis zum Ende der Öffnungszeit auf einen Agenten statt. Für den Samstag gilt ein analoges Verfahren mit einer vorherigen Festsetzung des Personalbedarfs für einen bzw. zwei Agenten. Dabei wird insgesamt eine Viertelstunde eines Agenten als Rüstzeit zu Beginn und Ende der Samstagsöffnungszeit eingeplant. Anhand der eingehenden Anrufe sowie des berechneten Personalbedarfs lassen sich die Maßzahlen der Kundenzufriedenheit und deren Steigerung berechnen, sofern mehr Agenten als im Personalbedarf vorgesehenen zum Einsatz kommen. Die Anzahl der anwesenden Agenten x_{anw_k} und die zu verteilende Arbeitszeit Arb_k der Mitarbeiterkategorie $k \in Kat$ der betrachteten Woche ergeben sich aus dem Ergebnis des Modells $PBaPEP$. Für die nachfolgende Betrachtung werden die Ergebnisse des Lösungsansatzes $LBBrJo_{10}$ zugrunde gelegt.

Die Schichtlängen im Modell $PBaPEP$ betragen aufgrund der Periodeneinteilung immer volle 60 Minuten. Das Modell der Personaleinsatzplanung hat im Gegensatz zum Modell $PBaPEP$ eine 15-minütige Periodeneinteilung, so dass im Rahmen der Personaleinsatzplanung eine größere Anzahl an Schichtlängen betrachtet werden kann. Die Schichtlängen sind folglich den Mitarbeiterkategorien neu zuzuweisen. Die im Modell $PBaPEP$ vereinbarte wöchentliche Arbeitszeit der Mitarbeiter der einzelnen Mitarbeiterkategorien bleibt jedoch erhalten. Die vereinbarten Wochenarbeitszeiten, die zugewiesenen Schichtlängen und deren Arbeitszeit sind der Tabelle 6.24 zu entnehmen. Dabei kommen Schichtlängen zwischen 4,25 und 9 Stunden zum Einsatz, denen nach Abzug der Pausen Arbeitszeiten zwischen 4 und 8,25 Stunden entsprechen. Die möglichen Schichtlängen am

Wochenende umfassen alle möglichen Schichtlängen. Am Wochenende kommen wie gehabt nur die Mitarbeiter der Mitarbeiterkategorie drei zum Einsatz.

Mitarbeiterkategorie	wöchentliche Arbeitszeit [Std]	Schichtlängen Mo bis Fr [Std]	tägliche Arbeitszeit [Std]
1	36	9,00 - 7,75	8,25 - 7,00
2	30	7,50 - 6,00	6,75 - 5,75
3	15	5,75 - 4,25	5,50 - 4,00

Tabelle 6.24: Zuordnung der Schichtlängen zu den Mitarbeiterkategorien

Für die angegebenen Intervalle wird jede mögliche Schichtlänge betrachtet, die ein Vielfaches von 15 Minuten beträgt. Die einzelnen Schichtlängen sind in der Tabelle 6.25 detailliert dargestellt. Die Schichtlängen sind sowohl in Perioden als auch in Stunden angegeben. Vermindert man die Schichtlänge um die jeweils zu berücksichtigenden Pausen, die

Schichtlänge [Perioden]	Schichtlänge [Std]	Arbeitszeit [Std]	Pausenzeit [Std]	Anzahl an Bildschirm-pausen
36	9,00	8,25	0,75	3
35	8,75	8,00	0,75	3
34	8,50	7,75	0,75	3
33	8,25	7,50	0,75	3
32	8,00	7,25	0,75	2
31	7,75	7,00	0,75	2
30	7,50	6,75	0,75	2
29	7,25	6,50	0,75	2
28	7,00	6,25	0,75	2
27	6,75	6,00	0,75	1
26	6,50	5,75	0,75	1
25	6,25	6,00	0,25	1
24	6,00	5,75	0,25	1
23	5,75	5,50	0,25	1
22	5,50	5,25	0,25	1
21	5,25	5,00	0,25	1
20	5,00	4,75	0,25	1
19	4,75	4,50	0,25	1
18	4,50	4,25	0,25	1
17	4,25	4,00	0,25	1

Tabelle 6.25: Schichtlängen, Arbeitszeiten und Pausen der betrachteten Schichttypen

nicht zur Arbeitszeit zählen, so erhält man für die jeweilige Schichtlänge die dazugehörige Arbeitszeit. Darüber hinaus existiert eine unterschiedliche Anzahl an zehnminütigen Bildschirm-pausen für die einzelnen Schichtlängen. Die beiden fett markierten Schichtlängen 26 und 27 finden im Modell keine Berücksichtigung. Ihre Arbeitszeit unterscheidet sich nicht von denen der Schichtlängen 24 und 25. Allerdings ist ihre Pausenzeit höher, so dass davon auszugehen ist, dass die Agenten eine kürzere Schichtlänge bei gleicher Arbeitszeit bevorzugen.

Für jede Schichtlänge sind ein bis zwei Pausenfenster vorgesehen. Zwei Pausen sind für Arbeitszeiten von mehr als sechs Stunden vorgeschrieben. Ihre Aufteilung erfolgt in eine 15- und eine 30-minütige Pause, die generell als Frühstücks- und Mittagspause bezeichnet werden, auch wenn sie aufgrund eines späten Schichtbeginns nicht in den Morgenstunden oder während der Mittagszeit stattfinden. Für die Pausen gelten folgende Regeln:⁴¹² Die Frühstückspause findet zeitlich vor der Mittagspause statt. Die Frühstückspause beginnt 1,5 bis 2,25 Arbeitsstunden nach Schichtbeginn, jedoch frühestens nachdem das Call Center 1,75 Stunden geöffnet hat. Dies resultiert aus dem geringen Personalbedarf in den Morgenstunden. Beginnt ein Schichttyp, dem eine Mittagspause zuzuweisen ist, vor 10:30 Uhr, so sollte die Mittagspause während der Kantinenöffnungszeit gewährleistet werden. Um bei dem Mittagspausenfenster einen extraordinary overlap zu vermeiden, variiert die Länge der Pausenfenster für diese Schichttypen zwischen vier und sechs Perioden. Bei einem Schichtbeginn ab 10:45 Uhr beginnt das Mittagspausenfenster in Abhängigkeit von der Schichtlänge nach einer Anwesenheitszeit von 3,25 bzw. 3,5 Stunden und hat eine Länge von bis zu zehn Perioden. Die Mittagspause eines Schichttyps muss spätestens um 19:15 Uhr beginnen, damit sie bis 19:45 Uhr beendet ist. Ab diesem Zeitpunkt beträgt der Personalbedarf lediglich einen Agenten. Für sehr spät beginnende Schichttypen bedeutet dies eine Kürzung des Pausenfensters auf eine Länge von sechs Perioden oder weniger. Für alle Mittagspausenfenster gilt, dass sie frühestens drei Perioden nach Beendigung der Frühstückspause beginnen. Bildschirm-pausen sollten möglichst frühestens nach einer 45-minütigen ununterbrochenen Arbeitszeit stattfinden. Darüber hinaus sind sie nicht am Ende der Arbeitszeit einzuplanen. Es existieren keine Regeln darüber, ob und wie viele Bildschirm-pausen vor bzw. nach der Frühstücks- und Mittagspause stattfinden.

⁴¹² Die Regeln wurden vom Call Center nicht vorgegeben, sie werden aber implizit bei der Planung der Pausen beachtet.

Die angegebenen Schichtlängen können in allen Perioden beginnen, für die gewährleistet ist, dass das Schichtende innerhalb der Öffnungszeit liegt. Bei einer Öffnungszeit von 15,5 Stunden (= 62 Perioden) an den Tagen Montag bis Freitag bedeutet dies, dass dem Call Center jeden Tag 657 Schichttypen zur Bedarfsdeckung zur Verfügung stehen. Davon stehen 177 Schichttypen den Mitarbeitern der Kategorie eins zur Verfügung, 179 Schichttypen denen der Mitarbeiterkategorie zwei und 301 Schichttypen der Mitarbeiterkategorie drei. Aus den beschriebenen Daten resultieren insgesamt $657 \cdot 6 = 3942$ ganzzahlige Variablen für die Schichttypen und $67 \cdot 5 = 335$ ganzzahlige Variablen für die Pausen.⁴¹³ Darüber hinaus existieren die Überdeckungsvariablen für jede Periode an jedem Tag. Die Überdeckung wird bei dem betrachteten Testproblem *real* die Anzahl von drei Agenten im Normalfall nicht überschreiten, so dass nochmals $62 \cdot 5 \cdot 3 = 930$ Binärvariablen hinzukommen.

Für die Berechnungen wurde wiederum die Optimierungssoftware CPLEX 7.5 mit dem Modellgenerator AMPL eingesetzt. Dabei gilt ein Problem PEP_w als gelöst, sofern die Ganzzahligkeitslücke weniger als 0,5% beträgt. Das bedeutet, dass es möglicherweise eine Zuordnung der Schichten zu den anwesenden Agenten gibt, die eine größere Maßzahl der Kundenzufriedenheit generiert. Im Mittelpunkt des folgenden Abschnitts steht jedoch die Umsetzbarkeit der Personaleinsatzplanung mit den aus dem Modell $PBaPEP$ gegebenen Daten, so dass eine geringe Abweichung der Maßzahl der Kundenzufriedenheit vom Optimum durchaus toleriert werden kann.

6.3.2 Umsetzung der Personaleinsatzplanung für ausgewählte Wochen

Das im Abschnitt 5.2 beschriebene Modell PEP_w zur Personaleinsatzplanung bei gegebenem Personalbestand wurde für das Testproblems *real* für 52 Wochen durchgeführt. Der Personalbestand, die Anzahl der anwesenden Agenten pro Woche sowie die Summe der wöchentlichen Arbeitszeiten jeder Kategorie der Lösung, die mit der Heuristik $LBBrJo_{10}$ erzeugt wurde, gehen als Daten in das Modell ein. Der bestehende kurzfristige Personalbedarf lässt sich für alle Wochen vollständig mit den gegebenen Daten decken.

Die Darstellung der Ergebnisse der Personaleinsatzplanung erfolgt nicht für alle 52 Wochen. Im Rahmen dieses Abschnitts werden zwei Ausgleichszeiträume bestehend aus

⁴¹³ Die Frühstückspausen finden zwischen 8:15 und 19:30 Uhr (= 45 Perioden) statt, die Mittagspausenvariablen beinhalten die Zeiten zwischen 11:15 und 19:30 Uhr (= 22 Perioden). Die Pausenvariablen werden nicht am Wochenende berücksichtigt.

jeweils vier Wochen analysiert. Der erste ausgewählte Ausgleichszeitraum umfasst die Wochen fünf bis acht. Diese Wochen repräsentieren die drei Wochen vor dem Sommerferienbeginn sowie die erste Woche der Sommerferien. In diesen vier Wochen herrscht eine überdurchschnittliche Nachfrage.⁴¹⁴ Die Woche sechs stellt dabei die Woche mit der höchsten wöchentlichen Nachfrage innerhalb des betrachteten Jahres dar. Der zweite betrachtete Ausgleichszeitraum enthält die Wochen 17 bis 20. Während in den Wochen 17 und 18 eine unterdurchschnittliche Nachfrage vorhanden ist, stellen die verbleibenden Wochen dieses Ausgleichszeitraums Wochen mit einer durchschnittlichen Nachfrage dar. In der Woche 18 ist das Call Center aufgrund eines Feiertages nur an vier Tagen von Montag bis Freitag geöffnet.

Für den zweiten und fünften Ausgleichszeitraum, welche die Wochen $w = 5, \dots, 8$ bzw. $w = 17, \dots, 20$ beinhalten, werden acht unabhängig voneinander operierende Modelle PEP_w gelöst. Tabelle 6.26 stellt die Ergebnisse der einzelnen Wochen sowie die Mittelwerte des dazugehörigen Ausgleichszeitraums dar. Die jeweiligen Wochenmodelle eines Ausgleichszeitraums werden im Mittel in 0,91 bzw. 1,92 Minuten gelöst. Der erreichte Service Level liegt für jede Woche deutlich höher als die angestrebte Maßzahl von 76 %. Dabei muss beachtet werden, dass der Service Level nach Einplanung der Bildschirmpausen geringer ausfällt. Er übersteigt aber in jeder Periode die angestrebte Maßzahl von 76 %.

⁴¹⁴ Die wöchentliche und durchschnittliche Nachfrage sind der Abbildung 6.1 auf Seite 230 zu entnehmen.

Woche	Service Level	Lösungsdauer [Min]	Bedarf Mo-Fr [Std]	Überdeckung [Std]	Bildschirmpausen [Std]
5	86,62%	0,76	218,25	17,00	9,00
6	87,10%	0,83	233,50	22,75	9,67
7	87,03%	1,23	224,25	21,00	8,83
8	87,47%	0,80	210,25	22,25	8,83
Mittelwert	87,06%	0,91	221,56	20,75	9,08
17	89,24%	0,95	198,0	29,50	8,67
18	86,23%	0,63	167,0	10,75	6,50
19	87,83%	3,90	206,5	22,75	8,67
20	87,44%	2,18	204,5	18,75	8,67
Mittelwert	87,69%	1,92	194,0	20,44	8,13

Tabelle 6.26: Ergebnisse des Modells PEP_w für die Wochen der ausgewählten Ausgleichszeiträume der Tage Montag bis Freitag

Vergleicht man den Personaleinsatz an den Tagen Montag bis Freitag mit dem Personalbedarf an diesen Tagen, so resultiert eine mittlere Überdeckung von 20,75 bzw. 20,44 Stunden pro Woche für den Ausgleichszeitraum, was einem Prozentsatz von 9,36 % bzw. 10,5 % des Personalbedarfs entspricht. Die Überdeckung in der Woche 18 fällt aufgrund des Feiertages wesentlich geringer aus als in den verbleibenden Wochen.

Für die ausgewählten Schichtlängen sind Bildschirmpausen mit einem mittleren zeitlichen Umfang von 9,08 bzw. 8,13 Stunden einzuplanen. Diese Zeit gestaltet sich deutlich geringer als die Überdeckung der jeweiligen Woche. Demnach ist davon auszugehen, dass die Bildschirmpausen in den Perioden mit der Überdeckung eingeplant werden können, auch wenn diese bei dem Modell PEP_w nur in aggregierter Form Berücksichtigung finden.⁴¹⁵ Unterschiede der Ergebnisse der beiden Ausgleichszeiträume, die auf die Höhe der Nachfrage zurückzuführen sind, lassen sich in den gezeigten Ergebnissen nicht erkennen.

Für die ausgewählten vierwöchigen Ausgleichszeiträume erfolgt nun eine Analyse der Einsatzpläne hinsichtlich der möglichen Verteilung der Schichten auf die anwesenden Agenten und der damit verbundenen Arbeitszeiten. Für diesen Zeitraum variiert die Anzahl der anwesenden Agenten in den jeweiligen Wochen. Während sie sich für die Mitarbeiterkategorie zwei zwischen ein und vier Agenten bewegt, liegt die Anwesenheit bei der dritten Mitarbeiterkategorie zwischen acht und zehn. Die Agenten der Kategorie zwei haben aufgrund der beschränkten Möglichkeit der Mehrarbeit in jeder Woche Arbeitszeiten nahe ihrer Sollarbeitszeit, die Arbeitszeiten der einzelnen Wochen für die Agenten der

⁴¹⁵ Die Einplanung der Bildschirmpausen findet beispielhaft im weiteren Verlauf dieses Abschnitts statt.

Mitarbeiterkategorie drei schwanken hingegen erheblich. Dies resultiert aus den durch das Ergebnis der *PBaPEP* vorgegebenen Mehr- bzw. Minderarbeitszeiten in den einzelnen Wochen.

Im Modell PEP_w wird für jeden Tag der Woche w ein Shift Scheduling Problem gelöst, so dass im Anschluss an das Modell die Schichten zu einem wöchentlichen Einsatzplan für die anwesenden Agenten zusammenzustellen sind. Die wöchentlichen Einsatzpläne wiederum sind zu vierwöchigen Touren zusammzusetzen, die der Länge des Ausgleichszeitraums entsprechen. Die Vorgabe, ob Mehr- oder Minderarbeitszeiten für alle Agenten einzuplanen sind, ergibt sich aus dem Ergebnis des Modells *PBaPEP*. Sofern bei der Zusammensetzung der Touren einige Agenten am Ende des Ausgleichszeitraums Überstunden, andere wiederum Unterstunden erhalten würden, können sich diese zwar in Summe so ausgleichen, dass die Vorgabe des Modells *PBaPEP* erreicht wäre, die Überstunden eines jeden Agenten müssten jedoch am Ende des Ausgleichszeitraums bezahlt werden. Im Ergebnis des Modells *PBaPEP* werden jedoch nur die Überstunden bezahlt, die sich innerhalb des Ausgleichszeitraums nicht durch die Unterstunden aller Agenten dieser Kategorie ausgleichen lassen. Um bei der Zuordnung der Schichten zu den Agenten nicht andere Überstundenkosten als im Modell *PBaPEP* zu generieren, ist ein Ergebnis demnach nur dann zulässig, wenn alle Agenten einer Mitarbeiterkategorie entweder Überstunden oder Unterstunden im vierwöchigen Ausgleichszeitraum erhalten. Alternativ können sie natürlich exakt die mit ihnen vereinbarte Arbeitszeit im Ausgleichszeitraum arbeiten. Im Folgenden werden zunächst die Arbeitszeiten der Mitarbeiterkategorie zwei detailliert beschrieben, im Anschluss daran diejenigen der Mitarbeiterkategorie drei. Die Mitarbeiter der jeweiligen Kategorien werden durchnummeriert.

In der Tabelle 6.27 sind die wöchentlichen Arbeitszeiten, die summierten Arbeitszeiten sowie die Sollarbeitszeiten und die Überstunden des jeweiligen Ausgleichszeitraums der vier Agenten der Mitarbeiterkategorie zwei für eine mögliche Zuordnung der Schichten zu den Agenten abgebildet. Die Sollarbeitszeit ergibt sich aus der Anzahl der anwesenden Wochen eines Arbeitnehmers im Ausgleichszeitraum multipliziert mit der vereinbarten Wochenarbeitszeit und bereinigt um die Feiertage der Woche. Die Sollarbeitszeit des Agenten eins beträgt aufgrund des Feiertages in der Woche 18 nicht 120 Stunden, sondern vermindert sich um sechs Stunden. Die Agenten zwei und drei sind in der 18. Woche und Agent vier ist in der 18. und 19. Woche abwesend, so dass ihre Sollarbeitszeit ebenfalls geringer als 120 Stunden ist. Die jeweiligen Schichten werden so verteilt, dass die

anwesenden Agenten der zweiten Mitarbeiterkategorie möglichst ähnliche Wochenarbeitszeiten erhalten. Die Agenten erhalten am Ende des zweiten vierwöchigen Zeitraums zwischen 0 und 0,5 Unterstunden, am Ende des fünften Ausgleichszeitraums fallen 0 bis 0,25 Unterstunden an. Die Summe der wöchentlichen Arbeitszeiten aller anwesenden Agenten der Mitarbeiterkategorie zwei entspricht der Vorgabe Arb_2 , die das Ergebnis des Modells *PBaPEP* vorsieht.

Woche	Arbeitszeit				Summe
	Agent 1	Agent 2	Agent 3	Agent 4	
w=5	30,00	30,00	30,50	30,00	120,50
w=6	30,25	29,25	29,75	30,25	119,50
w=7	30,25	29,75	29,75	30,25	120,00
w=8	29,25	30,50	29,75	29,50	119,00
Summe	119,75	119,50	119,75	120,00	479,00
Sollarbeitszeit	120,00	120,00	120,00	120,00	480,00
Überstunden	-0,25	-0,50	-0,25	0,00	-1,00
w=17	29,75	29,75	30,00	30,00	119,50
w=18	24,00	0,00	0,00	0,00	24,00
w=19	29,75	30,25	29,75	0,00	89,75
w=20	30,50	30,00	30,00	30,00	120,50
Summe	114,00	90,00	89,75	60,00	353,75
Sollarbeitszeit	114,00	90,00	90,00	60,00	354,00
Überstunden	0,00	0,00	-0,25	0,00	-0,25

Tabelle 6.27: Wöchentliche Arbeitszeiten der Agenten der Mitarbeiterkategorie zwei für die Wochen der ausgewählten Ausgleichszeiträume

In der Tabelle 6.28 sind die aus den wöchentlichen Arbeitszeiten resultierenden täglichen Anwesenheitszeiten der Agenten der zweiten Kategorie dargestellt. In den betrachteten Wochen kommen Arbeitszeiten zwischen 5,75 und 6,75 Stunden zum Einsatz. Die Ruhezeiten zwischen den Schichten eines Agenten werden bei der ausgewählten Zuordnung eingehalten. Auffällig ist jedoch, dass einige Agenten in manchen Wochen recht unterschiedliche Schichtstartzeitpunkte haben.⁴¹⁶ Es lässt sich nicht erreichen, dass jeder Agent in einer Woche Schichten mit ähnlichen Anfangszeiten erhält. Betrachtet man die ausgewählten Schichten am ersten Tag der Woche 20, so erkennt man, dass an diesem Tag den Agenten lediglich Schichten zugeordnet werden, die zwischen 7:45 und 9:45 Uhr

⁴¹⁶ Dies wird bei vielen Personaleinsatzplanungsproblemen angenommen. Vgl. z.B. Bailey (1985) oder Jarrah/ Bard/ deSilva (1994).

beginnen. Am Tag vier der gleichen Woche beginnt eine Schicht um 15:00 Uhr, eine weitere am Tag fünf um 16:00 Uhr. Bei diesen Schichtbeginnen in der gleichen Woche ist es nicht möglich, für jeden Agenten an jedem Wochentag einen ähnlichen Arbeitsbeginn zu erreichen. Dasselbe gilt für den Agenten, der als einziger in der Woche 18 arbeitet. Ihm werden alle Schichten dieser Kategorie zugeordnet. Die höchste Variationsbreite der Schichtstartzeitpunkte eines Agenten innerhalb einer Woche für aufeinanderfolgende Arbeitstage im Ausgleichszeitraum zwei beträgt 6,25 Stunden. Für die Wochen fünf bis acht hingegen lassen sich häufiger ähnliche Anfangszeiten realisieren, so dass die maximale Variationsbreite der Schichtstartzeitpunkte eines Agenten lediglich 4,5 Stunden beträgt.

An diesen Beispielen ist erkennbar, dass sich bei einer Maximierung der Maßzahl der Kundenzufriedenheit ähnliche Schichtbeginne – insbesondere bei einer geringen Anzahl von Agenten in einer Kategorie – nicht notwendigerweise erreichen lassen. Da jedoch eine Vielzahl von möglichen Personaleinsatzplänen existiert, kann durch eine Änderung des Modells der Personaleinsatzplanung mit gegebenem Personalbestand eine alternative Lösung erreicht werden, die ähnliche Schichtbeginne einbezieht. Dies lässt sich durch die Berücksichtigung von bestimmten Bandbreiten, in denen die Schichten eines Agenten beginnen, bewerkstelligen.⁴¹⁷ Das resultierende Modell wäre ein Tour Scheduling Modell, das den Agenten Touren zuweist. Alternativ könnten ähnliche Schichtbeginne als Prioritäten in die Zielfunktion aufgenommen werden. Da das Kriterium eines ähnlichen Schichtbeginns vom Call Center der Mercedes-Benz Niederlassung nicht vorgeschrieben ist, werden variierende Arbeitsbeginne für die Agenten akzeptiert.

⁴¹⁷ Vgl. beispielsweise Isken (2004) oder Jacobs/ Brusco (1996).

w	Tag	x_anw2,w	Agent 1	Agent 2	Agent 3	Agent 4	Summe
5	1	4	08:45 - 15:00	08:00 - 14:00	11:00 - 17:00	13:15 - 19:15	23,25
5	2	4	09:15 - 16:15	08:45 - 15:45	12:45 - 19:00	13:45 - 19:45	24,25
5	3	4	08:30 - 14:30	07:00 - 13:00	12:30 - 19:30	15:00 - 22:00	24,00
5	4	4	08:45 - 14:45	09:30 - 16:45	12:45 - 19:45	11:00 - 18:15	25,00
5	5	4	06:30 - 13:30	07:15 - 13:15	08:45 - 15:45	10:30 - 16:30	24,00
6	1	4	08:15 - 14:15	10:00 - 16:00	12:30 - 18:30	16:00 - 22:00	23,00
6	2	4	09:45 - 15:45	10:30 - 16:30	12:30 - 18:30	13:45 - 19:45	23,00
6	3	4	11:00 - 18:00	10:30 - 17:30	08:45 - 14:45	09:30 - 17:00	25,00
6	4	4	06:30 - 13:30	08:45 - 14:45	09:30 - 17:00	12:45 - 19:45	25,00
6	5	4	06:30 - 13:30	07:30 - 13:30	10:00 - 16:00	13:30 - 19:30	23,50
7	1	4	09:45 - 15:45	10:15 - 16:15	11:45 - 17:45	16:00 - 22:00	23,00
7	2	4	08:15 - 15:15	08:30 - 15:30	10:15 - 16:30	12:30 - 18:30	24,25
7	3	4	09:30 - 15:30	10:30 - 16:30	09:00 - 15:15	15:45 - 22:00	23,50
7	4	4	06:30 - 14:00	09:15 - 16:15	08:15 - 14:15	15:45 - 22:00	24,75
7	5	4	09:00 - 15:00	11:15 - 17:15	09:45 - 16:45	12:15 - 19:45	24,50
8	1	4	09:30 - 15:30	09:00 - 16:15	12:15 - 18:15	13:00 - 19:00	23,75
8	2	4	06:30 - 12:30	08:30 - 14:45	10:15 - 16:15	16:00 - 22:00	23,25
8	3	4	08:00 - 14:00	09:15 - 15:15	12:30 - 19:30	15:00 - 22:00	24,00
8	4	4	09:15 - 15:15	09:30 - 15:30	11:30 - 17:30	16:00 - 22:00	23,00
8	5	4	11:00 - 18:00	08:15 - 15:30	11:30 - 18:30	15:45 - 22:00	25,00
17	1	4	08:00 - 15:00	16:00 - 22:00	10:00 - 16:00	07:30 - 13:30	23,50
17	2	4	08:15 - 14:15	15:00 - 22:00	09:15 - 16:15	13:30 - 19:30	24,00
17	3	4	06:30 - 12:30	09:45 - 15:45	09:00 - 15:00	08:15 - 14:15	23,00
17	4	4	06:30 - 12:30	10:30 - 17:30	08:00 - 15:15	08:30 - 15:45	25,00
17	5	4	08:30 - 15:30	16:00 - 22:00	09:15 - 15:15	09:30 - 16:30	24,00
18	1	1	12:45 - 19:45				6,25
18	2	1	08:30 - 14:45				6,00
18	3	1					0,00
18	4	1	15:45 - 22:00				6,00
18	5	1	09:45 - 15:45				5,75
19	1	3	06:30 - 12:30	08:15 - 14:15	13:30 - 19:30		17,25
19	2	3	09:30 - 15:30	12:45 - 18:45	16:00 - 22:00		17,25
19	3	3	12:30 - 19:30	09:00 - 16:15	16:00 - 22:00		18,50
19	4	3	10:30 - 16:30	10:45 - 17:45	12:15 - 19:15		18,25
19	5	3	08:45 - 15:45	12:00 - 18:15	12:45 - 19:45		18,50
20	1	4	08:30 - 14:30	09:15 - 16:15	07:45 - 14:00	09:45 - 16:45	24,25
20	2	4	15:00 - 22:00	09:00 - 15:15	08:15 - 15:15	15:15 - 17:15	24,25
20	3	4	12:00 - 19:15	09:00 - 16:00	08:15 - 14:30	10:00 - 17:00	25,00
20	4	4	15:00 - 22:00	09:15 - 15:15	11:30 - 17:45	13:30 - 19:45	24,00
20	5	4	13:15 - 19:15	09:45 - 15:45	06:30 - 12:30	16:00 - 22:00	23,00

Tabelle 6.28: Tägliche Anwesenheitszeiten der Agenten der Mitarbeiterkategorie zwei für die Wochen der ausgewählten Ausgleichszeiträume

Für die Agenten der Mitarbeiterkategorie drei existiert eine größere Anzahl an Kombinationen hinsichtlich der Anzahl an Schichten einer Woche sowie deren Länge, da die Kombination der Arbeitstage einer Woche nicht vorgegeben ist. Demnach haben diese Agenten generell mehr Möglichkeiten, ihre Arbeitsstunden zu kombinieren und ihre Arbeitszeit im vierwöchigen Zeitraum zu erreichen. Eine möglichst gleiche Verteilung der Wochenarbeitszeit auf die einzelnen Agenten ist bei der Zuordnung der Schichten zu den Agenten nicht notwendig, da die Agenten dieser Kategorie mehr Möglichkeiten haben, Mehr- und Minderarbeitszeiten der einzelnen Wochen innerhalb des vorgegebenen Zeitraums auszugleichen. Demnach können die wöchentlichen Arbeitszeiten eines Agenten größeren Schwankungen unterliegen, sofern die Sollarbeitszeit im vierwöchigen Ausgleichszeitraum berücksichtigt wird. Insbesondere ist – wie bereits beschrieben – darauf zu achten, dass, sofern das Ergebnis der Bestandsplanung in dem betrachteten vierwöchigen Zeitraum Überstunden vorsieht, alle Agenten Arbeitszeiten haben, die größer oder gleich der vereinbarten Sollarbeitszeit des Zeitraums sind. Für Unterstunden gilt die entsprechend gegenteilige Beziehung.

Die wöchentlichen Arbeitszeiten, die summierten Arbeitszeiten, die Sollarbeitszeiten sowie die Überstunden der vierwöchigen Ausgleichszeiträume eines jeden Agenten bildet Tabelle 6.29 für eine ausgewählte Zuordnung der Schichten zu den Agenten ab. Die Agenten dieser Kategorie werden wiederum von eins bis zehn durchnummeriert. In der Tabelle lassen sich die sehr unterschiedlichen Wochenarbeitszeiten der einzelnen Agenten erkennen, die sich zwischen 4,5 und 27,25 Stunden bewegen. Die Agenten eins und zwei werden in der 18. Woche mit 27,25 bzw. 23,95 Stunden eingesetzt und arbeiten deutlich mehr als die vereinbarten 15 Wochenstunden. In der Woche 20 hingegen arbeiten sie mit nur 9,45 bzw. 8,25 Stunden weniger als die vereinbarten 15 Stunden. Für alle Agenten sind die Arbeitszeiten der beiden vierwöchigen Zeiträume größer als die Sollarbeitszeiten. Die Überstunden der einzelnen Agenten liegen zwischen 0 und 3,2 Stunden im ersten sowie zwischen 1,45 und 5,5 Stunden im zweiten betrachteten Ausgleichszeitraum. Eine gleichmäßige Verteilung der Überstunden wurde dabei nicht berücksichtigt. Die vorgegebene Summe der wöchentlichen Arbeitszeiten für alle anwesenden Agenten sowie die Anzahl der Überstunden innerhalb eines Ausgleichszeitraums ergibt sich aus den Vorgaben des Modells *PBaPEP*.

Woche	Agent 1	Agent 2	Agent 3	Agent 4	Agent 5	Agent 6	Agent 7	Agent 8	Agent 9	Agent 10	Summe
$w=5$	9,75	19,25	9,75	14,50	13,50	12,75	19,00	4,50	17,45	9,25	129,70
$w=6$	8,25	13,75	13,95	13,25	17,25	19,00	8,00	22,75	13,00	22,50	151,70
$w=7$	23,70	5,00	23,50	18,50	18,75	20,75	10,00	20,00	0,00	0,00	140,20
$w=8$	21,50	23,45	13,00	14,00	12,25	8,25	23,25	12,75	0,00	0,00	128,45
Summe	63,20	61,45	60,20	60,25	61,75	60,75	60,25	60,00	30,45	31,75	550,05
Sollarbeitszeit	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	30,00	30,00	540,00
Überstunden	3,20	1,45	0,20	0,25	1,75	0,75	0,25	0,00	0,45	1,75	10,05
$w=17$	9,25	18,75	12,00	17,00	17,75	15,00	10,00	13,75	9,45	0,00	122,95
$w=18$	27,25	23,95	18,50	18,75	9,50	18,00	18,25	16,00	18,50	0,00	168,70
$w=19$	12,50	9,50	23,00	18,25	23,95	16,50	19,00	17,75	0,00	14,00	154,45
$w=20$	9,45	8,25	8,50	8,50	10,25	9,75	13,00	12,50	18,25	19,25	117,70
Summe	58,45	60,45	62,00	62,50	61,45	59,25	60,25	60,00	46,20	33,25	563,80
Sollarbeitszeit	57,00	57,00	57,00	57,00	57,00	57,00	57,00	57,00	42,00	30,00	528,00
Überstunden	1,45	3,45	5,00	5,50	4,45	2,25	3,25	3,00	4,20	3,25	35,80

Tabelle 6.29: Wöchentliche Arbeitszeiten der Agenten der Mitarbeiterkategorie drei für die Wochen der ausgewählten Ausgleichszeiträume

Von den aus dem Modell *PBaPEP* vorgegebenen Überstunden für die Wochen 5 bis 8 bzw. 17 bis 20 wurde ein Bruchteil einer Stunde nicht verplant. Zwar wird in der Zielfunktion des ausgewählten Modells PEP_w eine Maßzahl der Kundenzufriedenheit maximiert, so dass anzunehmen ist, dass möglichst die gesamte zur Verfügung stehende Arbeitszeit Arb_k jeder Kategorie k eingesetzt wird. Für die betrachtete Mitarbeiterkategorie trifft dies jedoch aufgrund der unterschiedlichen Betrachtung des Samstags in den beiden Modellen nicht zu. Im Modell *PBaPEP* wird am Samstag jeweils eine Schicht mit 3,75 und 7,25 Stunden Arbeitszeit eingesetzt. Im Personaleinsatzplanungsmodell existieren diese Schichten jedoch nicht, da eine Mindestarbeitszeit von vier Stunden einzuhalten ist und die Rüstzeit von einer Viertelstunde zu Beginn und Ende der Öffnungszeit hinzukommt. Die Arbeitszeiten am Samstag sind mit dem Faktor 1,3 zu multiplizieren, so dass sich die Summe der vorgegebenen Arbeitsstunden des Modells *PBaPEP* für die dritte Mitarbeiterkategorie nicht vollständig einsetzen lässt. Vielmehr verbleibt ein geringer nicht einplanbarer Rest von weniger als einer halben Stunde innerhalb des Ausgleichszeitraums.

Die Anzahl der Agenten der Mitarbeiterkategorie drei gestaltet sich größer als für die zweite Mitarbeiterkategorie. Daher wird bei der Zuordnung der Schichten zu den Agenten versucht, möglichst ähnliche Schichtbeginne für aufeinanderfolgende Arbeitstage zu erreichen. Inwieweit dies der Vorstellung der einzelnen Agenten entspricht bleibt offen. Es existieren jedoch alternative Zuordnungen, bei denen die Verteilung nach anderen Gesichtspunkten durchgeführt werden kann. Beispielsweise kann bei Studenten, die ihre Arbeitszeiten in ihren Stundenplan integrieren müssen, eine andere Zuordnung vorgenommen werden. Bei der ausgewählten Zuordnung liegen die Schichtstartzeitpunkte

aufeinanderfolgender Arbeitstage eines Agenten innerhalb einer Bandbreite von maximal drei Stunden. Sofern eine Arbeitsunterbrechung von einem oder mehreren Tagen vorliegt, kann die Bandbreite gewechselt werden.

Die täglichen Arbeitszeiten, die aus dieser Vorgabe für die zehn Agenten der Mitarbeiterkategorie drei sowie den bereits dargestellten Wochenarbeitszeiten der Agenten resultieren, sind der Tabelle 6.30 zu entnehmen.⁴¹⁸ Die Anzahl der Arbeitstage eines Agenten können in den einzelnen Wochen sehr unterschiedlich sein. Die Agenten eins und zwei werden in der 18. Woche in fünf Schichten eingesetzt, in der Woche 20 hingegen arbeiten sie nur in zwei Schichten. Agent zehn ist in den Wochen 7, 8, 17 und 18 und der Agent neun in den Wochen 7, 8 sowie 19 abwesend. In einigen Wochen wäre es möglich, weniger als die anwesenden Agenten einzusetzen. Beispielsweise könnten in der Woche fünf die Schicht des Agenten acht sowie in der Woche 20 die Schicht des Agenten sechs auf andere Agenten verteilt werden. Die fehlenden Stunden zur vereinbarten Arbeitszeit könnten diese Agenten durch eine entsprechend größere Anzahl von Schichten in den Wochen 6 bis 8 bzw. 17 bis 19 wieder ausgleichen. Durch diese nachträgliche Abänderung der Anzahl der anwesenden Agenten wäre es möglich, vom Urlaubsplan abweichende Urlaubswünsche der Agenten zu realisieren. Die Gelegenheit zur Änderung der Anzahl der anwesenden Agenten besteht jedoch nur dann, wenn an jedem Wochentag der Woche die Anzahl der Schichten der Agenten der Mitarbeiterkategorie echt kleiner als die Anzahl der anwesenden Agenten ist.

Für die Woche 17 wird der Einsatzplan am Montag detailliert in Tabelle 6.31 veranschaulicht.⁴¹⁹ Darin abgebildet ist die Uhrzeit des jeweiligen Periodenbeginns, die Anzahl der eingesetzten Agenten E_t und der Personalbedarf $B_{t,l}$ jeder Periode. Die Spalten stellen die ausgewählten Arbeitszeitmuster des Wochentages dar. Der Einsatzplan setzt sich aus den zehn Schichten der Woche 17 am Tag 1 zusammen. Diese lassen sich für die Agenten der Mitarbeiterkategorie zwei aus der Tabelle 6.28 auf Seite 281 (Agenten eins bis vier kommen zum Einsatz) und für die Agenten der Kategorie drei in der Tabelle 6.30 auf Seite 285 (Agenten eins bis sechs kommen zum Einsatz) entnehmen. Der Agent 1 in Tabelle 6.30 arbeitet beispielsweise in der Woche 17 am Tag 1 von 6:30 bis 11:45 Uhr. Sein Ein-

⁴¹⁸ Dabei ist zu beachten, dass die Arbeitszeit am Samstag mit dem Faktor 1,3 zu gewichten ist, um die in Tabelle 6.29 dargestellten wöchentlichen Arbeitszeiten zu erhalten. Die Anwesenheitszeiten sind um die Pausenzeiten zu reduzieren.

⁴¹⁹ Die Einsatzpläne der verbleibenden Wochentage der Woche 17 befinden sich im Anhang 9.5.

satz spiegelt sich in der Schicht 438 in Tabelle 6.31 wieder. Seine erste 15-minütige Arbeitsperiode an diesem Tag beginnt um 6:30 Uhr, die letzte Arbeitsperiode beginnt um 11:30 Uhr und endet entsprechend um 11:45 Uhr.

w	Tag	$x_{anw_{3,w}}$	Agent 1	Agent 2	Agent 3	Agent 4	Agent 5	Agent 6	Agent 7	Agent 8	Agent 9	Agent 10
5	1	10	14:00 - 18:30	06:30 - 11:30	17:00 - 22:00	08:00 - 12:45	12:15 - 16:45			07:00 - 11:45		
5	2	10		06:30 - 11:30	16:45 - 22:00	07:45 - 12:45	12:30 - 17:00	08:15 - 12:45				
5	3	10		06:30 - 12:00		09:30 - 15:00	13:45 - 19:00	08:15 - 12:30			13:15 - 17:30	
5	4	10		07:00 - 11:45				06:30 - 11:15	08:00 - 12:45		13:15 - 17:45	17:45 - 22:00
5	5	10	13:30 - 19:15						08:15 - 13:15		12:45 - 17:00	16:30 - 22:00
5	6	10							07:45 - 16:00		11:45 - 16:00	
6	1	10	06:30 - 11:00	10:15 - 16:00	09:15 - 14:00	08:30 - 13:30	07:00 - 12:15	13:45 - 18:15	13:00 - 17:15		08:00 - 12:15	14:30 - 19:45
6	2	10	08:00 - 12:15			08:30 - 13:15	06:30 - 10:45	13:30 - 18:15		07:30 - 11:45	08:15 - 13:30	17:30 - 22:00
6	3	10					08:00 - 12:30	13:45 - 19:30		06:30 - 11:45	07:45 - 12:00	17:30 - 22:00
6	4	10		11:30 - 16:00			08:00 - 12:15	13:45 - 18:45	07:45 - 12:00			17:15 - 22:00
6	5	10		13:00 - 17:15	12:15 - 16:45	08:30 - 12:45				08:15 - 12:30		17:15 - 22:00
6	6	10			11:45 - 16:00					07:45 - 16:00		
7	1	8	13:00 - 18:45	08:00 - 13:15	15:00 - 19:30	08:45 - 13:15	06:30 - 11:45	08:00 - 12:45	09:00 - 14:45	07:15 - 12:30		
7	2	8	15:30 - 19:45		16:45 - 22:00	09:00 - 13:30		06:30 - 10:45	12:15 - 17:00	07:15 - 12:00		
7	3	8	14:00 - 18:30		15:15 - 19:30	08:15 - 14:00		06:30 - 10:45		07:45 - 13:00		
7	4	8	13:00 - 18:00		14:15 - 20:00			07:45 - 12:15		10:00 - 15:45		
7	5	8			17:00 - 22:00	08:00 - 12:45	06:30 - 10:45	08:15 - 12:30				
7	6	8	11:45 - 16:00				07:45 - 16:00					
8	1	8	06:30 - 10:45	12:30 - 16:45	08:00 - 13:00	17:30 - 22:00		15:00 - 19:15	08:45 - 14:30	07:15 - 12:00		
8	2	8	08:00 - 12:15	14:15 - 19:15	08:00 - 12:15		13:00 - 17:15	13:15 - 17:45	09:15 - 14:00			
8	3	8	06:30 - 11:30	14:15 - 19:00	08:15 - 12:45		13:00 - 17:15		08:30 - 12:45			
8	4	8	06:30 - 10:45	14:30 - 19:45			13:15 - 17:45		08:30 - 12:45	07:45 - 12:00		
8	5	8	06:30 - 11:30						09:30 - 15:00	07:30 - 12:00		
8	6	8		11:45 - 16:00		07:45 - 16:00						
17	1	9	06:30 - 11:45	14:15 - 19:15	08:30 - 12:45	13:45 - 18:15	08:45 - 13:15	13:00 - 17:30				
17	2	9	06:30 - 11:00	12:45 - 18:15	07:45 - 12:00	11:15 - 15:30	09:15 - 13:30					
17	3	9		14:45 - 19:15	07:45 - 12:00	13:45 - 18:00	11:45 - 16:30		16:15 - 22:00			
17	4	9		15:00 - 19:45		12:45 - 17:45		08:15 - 14:00	17:15 - 22:00			
17	5	9					12:30 - 17:45	06:30 - 12:00		08:00 - 12:15	15:00 - 19:30	
17	6	9								07:45 - 16:00	11:45 - 16:00	
18	1	9	10:15 - 16:00	17:15 - 22:00	08:15 - 13:00	13:15 - 18:30	09:00 - 14:30	07:00 - 11:30	06:30 - 10:45	08:15 - 12:30	11:45 - 17:15	
18	2	9	12:30 - 16:45	16:15 - 22:00	10:45 - 16:15	13:00 - 17:45		07:30 - 12:00	06:30 - 11:00	08:15 - 12:30	14:15 - 19:30	
18	3	9										
18	4	9	08:45 - 13:00	11:45 - 16:00	14:45 - 19:15	06:30 - 11:45	07:45 - 12:15	09:30 - 15:00	08:15 - 13:45	13:45 - 18:00	13:15 - 17:30	
18	5	9	08:30 - 12:45	12:00 - 17:00	17:15 - 22:00	06:30 - 11:00		10:15 - 14:45	07:30 - 12:30	15:00 - 19:15	13:15 - 17:45	
18	6	9	07:45 - 16:00	11:45 - 16:00								
19	1	9	14:45 - 19:00	11:45 - 16:45		13:00 17:15	08:45 13:00	07:15 - 12:00	17:15 - 22:00	08:15 - 12:45		10:30 - 15:30
19	2	9	13:15 - 18:00		08:15 - 12:30	11:15 16:30	06:30 11:00	07:45 - 12:00				08:30 - 14:00
19	3	9	13:15 - 17:30		07:30 - 12:45			08:30 - 12:45	14:30 - 18:45	06:30 - 11:15		11:00 15:15
19	4	9		14:00 - 19:00		07:00 12:00	09:15 14:30	06:30 - 10:45	16:30 - 22:00	08:15 - 12:45		
19	5	9			08:15 - 12:45	07:30 12:15	10:15 16:00		16:30 - 22:00	06:30 - 11:30		
19	6	9			07:45 - 16:00		11:45 16:00					
20	1	10		06:30 - 11:00	13:30 - 18:00		16:30 - 22:00		14:30 - 19:15			08:15 - 14:00
20	2	10		06:30 - 10:45	13:15 - 17:45				15:00 - 19:45		07:30 - 12:30	10:00 - 15:30
20	3	10					16:45 - 22:00			13:15 - 17:45	07:00 - 11:30	07:30 - 11:45
20	4	10				07:45 - 12:00				12:15 - 16:45	06:30 - 12:00	08:15 - 13:00
20	5	10	13:00 - 17:30			08:45 - 13:30			07:45 - 12:00	12:00 - 16:15	08:15 - 12:30	
20	6	10	11:45 - 16:00					07:45 - 16:00				

Tabelle 6.30: Tägliche Anwesenheitszeiten der Agenten der Mitarbeiterkategorie drei in den Wochen der betrachteten Ausgleichszeiträume

Darüber hinaus werden jedem Schichttyp Pausen zugeordnet, so dass ein Arbeitszeitmuster entsteht. Die Arbeitszeitmuster setzen sich somit aus dem Schichttyp $y_{l,s}$ mit $s \in ST$ sowie einer zugeordneten Frühstücks- und im Falle einer Arbeitszeit von mehr als sechs Stunden einer Mittagspause zusammen. Die Arbeitszeitmuster sind nach ihrem Schichtbeginn

sortiert. Die dunkelgrau unterlegten Zellen stellen die Pausenfenster des Schichttyps dar. Eine mögliche Zuordnung der Bildschirmpausen wird durch die hellgrauen Felder symbolisiert. Sofern eine Überdeckung in einer Periode stattfindet, ist der dazugehörige Personaleinsatz fett gedruckt.

An dem dargestellten Tag wird der vorhandene Bedarf mit zehn Schichten gedeckt. Dabei kommen vier Agenten der zweiten sowie sechs Agenten der dritten Mitarbeiterkategorie zum Einsatz. Der Personaleinsatz übersteigt den Personalbedarf um insgesamt 28 fünfzehnminütige Perioden. Eine Überdeckung des Personalbedarfs findet aufgrund der Zielsetzung der Maximierung des mit der Anzahl der Anrufen gewichteten Zuwachses des Service Levels der empfangenen Gespräche hauptsächlich in Perioden mit einer großen Anzahl an Anrufen und demnach auch einem höheren Personalbedarf statt. Wird hingegen eine andere Verteilung der Überdeckung gewünscht, so ist die Zielsetzung des Modells abzuändern.

In den Perioden der Überdeckung lassen sich die Bildschirmpausen einplanen. Für die Schicht, die mit dem Betriebsschluss endet, ist der Verzicht auf die vorherige Berücksichtigung einer Bildschirmpause möglich, da das Anrufvolumen in den letzten 1½ Stunden der Öffnungszeit zumeist so gering ist, dass nur vereinzelt Anrufe zu beantworten sind. Sofern sich die Bildschirmpausen nicht vollständig in Perioden einplanen lassen, für die eine Überdeckung des Personalbedarfs vorhanden ist, bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Entweder definiert man für die Bildschirmpausen ebenfalls Pausenvariablen oder die Bildschirmpausen werden in Perioden eingeplant, für die keine Überdeckung vorhanden ist.

Uhrzeit	y_{Ls}										E_t	$B_{t,l}$
	438	322	251	620	576	332	593	596	511	356		
06:30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
06:45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
07:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
07:15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
07:30	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
07:45	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
08:00	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	3
08:15	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	3
08:30	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3
08:45	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	5	4
09:00	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	5	4
09:15	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	4	4
09:30	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	5	4
09:45	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	5	5
10:00	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	6	4
10:15	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	4	3
10:30	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	5	4
10:45	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	6	4
11:00	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	6	5
11:15	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	6	4
11:30	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	5	4
11:45	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	5	4
12:00	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	4	3
12:15	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	4	4
12:30	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	5	4
12:45	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	4	3
13:00	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	5	4
13:15	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	4	3
13:30	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	3	3
13:45	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	4	4
14:00	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	4	4
14:15	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	5	4
14:30	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	4	4
14:45	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	5	4
15:00	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	3
15:15	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	3
15:30	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	4
15:45	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	3
16:00	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3
16:15	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3
16:30	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	3	3
16:45	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3
17:00	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3
17:15	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	3
17:30	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3
17:45	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2
18:00	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3
18:15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
18:30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
18:45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
19:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
19:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
20:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
20:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
21:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
21:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
21:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Arbeitszeit	5	5,75	6,25	4	4,25	5,75	4,25	4,25	4,75	5,75	Σ 200	172

Tabelle 6.31: Personaleinsatzplan am Montag der Woche 17

Für die Bildschirmpausen ist analog zu der Definition von Frühstücks- und Mittagspausen die Einführung impliziter Pausenvariablen möglich. Dies führt dazu, dass einerseits festzulegen ist, in welcher Reihenfolge die einzelnen Pausen stattfinden, um Überschneidungen der unterschiedlichen Pausenfenster zu vermeiden. Darüber hinaus ist es erforderlich, die bereits bestehenden Pausenfenster von bis zu zehn Perioden stark zu kürzen, um zu gewährleisten, dass es zu Beginn der Arbeitszeit sowie zwischen den jeweiligen Pausenfenstern zur Einhaltung der Mindestarbeitszeit von drei Perioden kommt. Dabei geht Flexibilität für die bereits eingeplanten Frühstücks- und Mittagspausen verloren und der implizite Ansatz verliert an Effizienz.⁴²⁰ Aufgrund der Tatsache, dass die Länge einer Bildschirmpause nur einen Bruchteil der Periodenlänge ausmacht, scheint dieses Vorgehen nicht sinnvoll zu sein.

Zweckmäßiger ist es, die Bildschirmpausen in einer Periode zu gewähren, bei der aufgrund des Anrufvolumens ein geringerer Personaleinsatz als der berechnete vertretbar ist. Dies ist bei der gegebenen Zielsetzung in Perioden der Fall, in denen der Verlust an gewichtetem Service Level beim Einsatz eines Agenten weniger als dies der Personalbedarf vorsieht, möglichst gering ist. Dieses Vorgehen wird für den Tag drei der Woche sechs demonstriert, dessen Einsatzplan in Tabelle 6.32 dargestellt ist. Für die Schichten 190 und 261 müssen jeweils zwei Bildschirmpausen eingeplant werden. Aufgrund der Verteilung des Überschusses in der angegebenen Lösung ist für die zweite benötigte Bildschirmpause dieser Schichten die Überdeckung nicht in den passenden Perioden vorhanden, da die Mindestarbeitszeit von drei Perioden zwischen den Pausen nicht gewährleistet ist. Für die Zeit zwischen 15:00 und 16:45 Uhr sind jeweils eine weitere Bildschirmpausen für diese Schichten einzuplanen. Demnach ist zu überprüfen, für welche der in Frage kommenden Perioden der Verlust des angestrebten Service Levels am geringsten ist. In Tabelle 6.32 ist der Service Level für den Personalbedarf sowie für den um eins verminderten Personalbedarf angegeben. Die Reduktion des mit der Anzahl an Anrufen gewichteten Service Levels ist für die Perioden, die um 16:15 und 16:30 Uhr beginnen, am geringsten. Bei der Zielsetzung des Modells sind die Pausen in diesen Perioden einzuplanen.

⁴²⁰ Aykin beschreibt, dass der implizite Ansatz um so effizienter wird, je länger die Pausenfenster sind. Vgl. Aykin (1996), S. 593.

Uhrzeit	$V_{3,s}$									E_t	$B_{t,3}$	calls _{t,3}	Service Level		Verlust gew. Service Level
	438	617	573	327	190	261	263	386	611				E_t	$E_t - 1$	
06:30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1,000		
06:45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1,000		
07:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0,884		
07:15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	0,818		
07:30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0,884		
07:45	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	14	0,890		
08:00	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	22	0,821		
08:15	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	17	0,888		
08:30	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	13	0,788		
08:45	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4	4	29	0,867		
09:00	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4	4	32	0,836		
09:15	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4	4	29	0,867		
09:30	1	1	1	1	1	0	0	0	0	5	4	39	0,875		
09:45	1	0	1	1	1	0	0	0	0	4	4	34	0,815		
10:00	1	1	1	1	1	0	0	0	0	5	4	35	0,905		
10:15	1	1	0	1	1	0	0	0	0	4	4	33	0,826		
10:30	1	1	1	0	1	1	0	0	0	5	5	41	0,859		
10:45	1	1	1	1	1	1	0	0	0	6	5	49	0,883		
11:00	1	1	1	1	1	1	1	0	0	7	5	51	0,932		
11:15	1	1	1	1	1	1	1	0	0	7	5	46	0,953		
11:30	1	1	1	1	1	1	1	0	0	7	6	61	0,879		
11:45	0	1	1	1	0	1	1	0	0	5	5	42	0,850		
12:00	0	0	1	1	1	0	1	0	0	4	4	36	0,794		
12:15	0	0	1	1	1	1	1	0	0	5	4	37	0,890		
12:30	0	0	0	1	1	1	1	0	0	4	4	28	0,876		
12:45	0	0	0	1	1	1	1	0	0	4	4	32	0,836		
13:00	0	0	0	1	1	1	1	0	0	4	4	28	0,876		
13:15	0	0	0	1	1	1	0	0	0	3	3	25	0,780		
13:30	0	0	0	1	1	1	1	0	0	4	3	21	0,938		
13:45	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3	3	24	0,794		
14:00	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3	3	21	0,835		
14:15	0	0	0	1	1	1	1	1	0	5	4	39	0,875		
14:30	0	0	0	1	1	1	1	1	0	5	4	29	0,944		
14:45	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	4	37	0,784		
15:00	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	4	29	0,867	0,72	4,08
15:15	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	4	31	0,847	0,70	4,57
15:30	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	4	37	0,784	0,62	5,88
15:45	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	4	30	0,857	0,71	4,34
16:00	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3	3	25	0,780	0,57	5,20
16:15	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3	3	18	0,875	0,68	3,34
16:30	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3	3	18	0,875	0,68	3,34
16:45	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	4	27	0,886		
17:00	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3	3	21	0,835		
17:15	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3	3	15	0,912		
17:30	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	18	0,875		
17:45	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	22	0,821		
18:00	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	10	0,851		
18:15	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	13	0,788		
18:30	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	4	0,965		
18:45	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	9	0,872		
19:00	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	0,812		
19:15	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	5	0,949		
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5	0,781		
19:45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	6	0,747		
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	7	0,715		
20:15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0,902		
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0,859		
20:45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	0,819		
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0,859		
21:15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0,902		
21:30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0,902		
21:45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1,000		
Arbeitszeit	5	4	4,25	5,75	6,75	6,25	6,25	5,5	4,25	Σ 192	179	1324	53,473	-	-

Tabelle 6.32: Personaleinsatzplan am Mittwoch der Woche 6

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass der mit Hilfe des Modells *PBaPEP* bestimmte Personalbestand in der Lage ist, den wöchentlichen Personalbedarf vollständig zu befriedigen. Zu diesem Zweck wurde die Personaleinsatzplanung für zwei Ausgleichszeiträume mit über- und unterdurchschnittlicher Nachfrage durchgeführt. Die Umsetzung der Personaleinsatzplanung war für alle Wochen des Planungszeitraums möglich, ohne dass es zu einer Unterdeckung des Personalbedarfs kam. Da es sich bei dem Personaleinsatzplanungsproblem um ein Shift Scheduling Modell handelt, erfolgt im Anschluss an die Lösung des Modells die Zuordnung der täglichen Schichten zu den Agenten der jeweiligen Mitarbeiterkategorien. Die Agenten der zweiten Mitarbeiterkategorie erhalten im Falle der Anwesenheit in jeder Woche ähnliche Arbeitszeiten mit teilweise recht unterschiedlichem Schichtbeginn. Bei den Agenten der Mitarbeiterkategorie drei gestalten sich die wöchentlichen Arbeitszeiten der einzelnen Agenten sehr unterschiedlich, die tatsächlichen Arbeitszeiten im Ausgleichszeitraum sind jedoch ebenfalls ähnlich. Insbesondere lassen sich für diese Mitarbeiterkategorie ähnliche Schichtbeginne erreichen. Die Bildschirmpausen können im Anschluss an die Personaleinsatzplanung zumeist in den Perioden eingeplant werden, in denen der Personaleinsatz den Personalbedarf übersteigt. Sofern dies an einem Tag ausnahmsweise nicht möglich war, wurden Möglichkeiten aufgezeigt, die Bildschirmpausen trotzdem einzuplanen.

6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der numerischen Untersuchung

In diesem Kapitel wurden zunächst die im Abschnitt 5.1.4 beschriebenen Lösungsverfahren für das Modell *PBaPEP* anhand von 15 Testproblemen untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die entwickelten Lösungsverfahren in der Lage sind, einen kostengünstigen Personalbestand zu ermitteln, den ein Call Center mit einer gegebenen Nachfragestruktur benötigt. Die Lösungszeiten der Lösungsverfahren sind angesichts des Planungshorizontes des dazugehörigen Modells kurz. Die Unterschiede der einzelnen Lösungsverfahren hinsichtlich des empfohlenen Personalbestandes sind gering, sofern man die Mitarbeiterkategorien gemäß ihrer Flexibilität gruppiert.

Bei der Analyse der Ergebnisse des Testproblems *real* wurde festgestellt, dass sich die Mehrarbeitszeiten und die Abwesenheitsstunden im Verlauf eines Jahres ähnlich entwickeln. Das bedeutet, dass in Zeiten einer hohen Anzahl von Abwesenheitsstunden die Mehrarbeitszeiten ansteigen, während Minderarbeitszeiten anfallen, sofern keine bzw. wenige Abwesenheitsstunden eingeplant werden. Das Niveau des jeweiligen Verlaufs der Mehrarbeits- und Abwesenheitsstunden ist abhängig von der Summe der Personalbedarfs-

stunden der Woche. Demnach passt sich das Personalangebot der einzelnen Wochen an den Personalbedarf an. Die Summe des wöchentlichen Personalangebotes verlief bei allen Ergebnissen der Heuristiken nahezu identisch. Das deutet darauf hin, dass trotz unterschiedlichem Personalbestand, der sich aus der Lösung mit den unterschiedlichen Heuristiken ergibt, der Personalbestand ähnlich gut geeignet ist, eine bestehende Nachfragestruktur zu befriedigen. Demnach existieren alternative Lösungen für eine Nachfragestruktur. Die Analyse der Abwesenheitszeiten ergab, dass sich für alle Agenten mindestens einmal zwei zusammenhängende Urlaubswochen realisieren lassen.

Die Analyse der Parametervariationen beschränkte sich auf die zwei Lösungsverfahren *LBBrJo₁₀* und *trElBrJo*. Diese Lösungsverfahren ergaben im Mittel die geringsten Lösungszeiten und wiesen gleichzeitig die größten Unterschiede im Personalbestand auf. Somit war es möglich zu untersuchen, ob beide Lösungsverfahren ähnlich auf die Parametervariationen reagieren. Eine Parametervariation des Modells ließ erkennen, dass eine Vorgabe der Mindestanzahl an Vollzeitarbeitnehmern das Personalangebot ansteigen lässt. Es ist umso höher, je höher die Mindestanzahl ist. Des Weiteren steigt das Personalangebot, sofern die jährlich möglichen Überstunden der Agenten reduziert werden. Der Zeitraum, in dem ein Ausgleich der Mehr- und Minderarbeitszeiten möglich ist, scheint für den Personalbestand unerheblich zu sein, sofern er mindestens vier Wochen beträgt. Ein Anstieg der Fixkosten wirkt sich auf den Personalbestand aus, indem mehr Agenten mit höheren Wochenarbeitszeiten beschäftigt werden, während die Anzahl der flexibel arbeitenden Agenten zurückgeht. Bei einer Änderung der Schichtzuordnung lässt sich erkennen, dass eine Reduktion der Auswahlmöglichkeit der Schichten innerhalb einer Mitarbeiterkategorie eine Verminderung der Anzahl dieser Agenten bei der Berechnung des Personalbestandes zur Folge hat. Insbesondere ist bei der Schichtzuordnung darauf zu achten, dass die Möglichkeit besteht, die vereinbarte Wochenarbeitszeit einzuhalten. Demnach ist die Schichtzuordnung sorgfältig auszuwählen und gegebenenfalls die Wochenarbeitszeit anzupassen.

Im Abschnitt 6.3 wurde die Umsetzbarkeit der Personaleinsatzplanung für den gegebenen Personalbestand untersucht, der sich für das Testproblem *real* aus den Ergebnissen des Lösungsverfahrens *LBBrJo₁₀* ergibt. Das Modell der Personaleinsatzplanung umfasst den Planungszeitraum einer Woche. In diesem Modell wurden die Anzahl der anwesenden Agenten und die Summe der Arbeitszeiten jeder Mitarbeiterkategorie, die sich aus dem Ergebnis des Modells der Personalbestandsplanung ergeben, vorgegeben. Nach der Durch-

führung der Personaleinsatzplanung für die Anzahl der Wochen eines Ausgleichszeitraums erfolgte im Anschluss an die Lösung des Modells die Zusammensetzung der Schichten eines Tages zu Touren der Länge des Ausgleichszeitraums.

Die Personaleinsatzplanung konnte für alle Wochen des Planungszeitraums unter Beachtung der vorgegebenen Restriktionen umgesetzt werden. Dabei kam es in keiner Periode zur Unterdeckung des Personalbedarfs. Die Personaleinsatzplanung wurde beispielhaft an zwei Ausgleichszeiträumen mit unterschiedlichem Nachfrageniveau illustriert. Diese Ausgleichszeiträume umfassten Wochen mit über- bzw. unterdurchschnittlicher Nachfrage. Zwischen den Ausgleichszeiträumen ließen sich keine generellen Unterschiede in der Personaleinsatzplanung feststellen. Die Personaleinsatzplanung gestaltete sich für die einzelnen Mitarbeiterkategorien unterschiedlich. Während für die täglich anwesenden Agenten die täglichen Arbeitsbeginne variierten, waren ihre wöchentlichen Arbeitszeiten relativ konstant. Dies begründet sich darin, dass aufgrund der gegebenen Schichtzuordnung, die Mitarbeiter dieser Kategorie nur begrenzte Möglichkeiten haben, über die vereinbarte Wochenarbeitszeit hinaus zu arbeiten. Für die an wechselnden Tagen eingesetzten Teilzeitarbeitskräfte hingegen konnten die täglichen Arbeitsbeginne an aufeinanderfolgenden Arbeitstagen innerhalb einer Bandbreite von drei Stunden gehalten werden. Dafür unterlagen ihre wöchentlichen Arbeitszeiten starken Abweichungen. In beiden Ausgleichszeiträumen fielen für die Agenten der dritten Mitarbeiterkategorie Überstunden an. Innerhalb des Ausgleichszeitraums wurde für alle Agenten dieser Kategorie mindestens die Sollarbeitszeit eingeplant.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Modell *PBaPEP* dazu geeignet ist, einen konstanten Personalbestand für eine gegebene Nachfragestruktur zu bestimmen. Es existieren dabei alternative Lösungen, die mit unterschiedlichen Lösungsverfahren erreicht werden. Der sich aus dem Ergebnis ergebende Personalbestand ist in der Lage, die Nachfrage zielgerecht zu befriedigen. Gleichzeitig werden alle zu berücksichtigenden Restriktionen bezüglich der Arbeits- und Pausenzeiten der Arbeitnehmer sowie die Anforderungen hinsichtlich eines mindestens zweiwöchigen Urlaubs für jeden Agenten eingehalten.