

4. Literaturüberblick zur Personaleinsatz- und Personalbestandsplanung

In der bisherigen Arbeit wurden in Kapitel zwei die grundlegenden Charakteristika von Call Centern erörtert und insbesondere ihre spezifischen Anforderungen hinsichtlich der Abstimmung zwischen Personalbedarf und Personalkapazität dargestellt. Dabei wurde auf die Differenzierung zwischen dem notwendigen Personalbestand eines Call Centers und dessen Nutzung, dem Personaleinsatz, eingegangen. Die Basis zur Planung des Personalbestandes und des Personaleinsatzes bildet die Ermittlung des Personalbedarfs. Aus diesem Grunde erfolgte in Kapitel drei die Darstellung und Veranschaulichung der bestimmenden Faktoren des Personalbedarfs sowie der sich daraus ergebenden Methoden der Personalbedarfsermittlung. Eine Ableitung des Personalbestandes aus dem Personalbedarf ohne Berücksichtigung des Verlaufs des Personalbedarfs und der damit verbundenen Einsatzplanung des Personals ist problematisch, da nicht sichergestellt werden kann, dass die operative Personaleinsatzplanung zielgerecht durchführbar ist. Demnach ist es sinnvoll, sowohl den Bedarfsverlauf als auch die Personaleinsatzplanung bei der Bestandsbestimmung einzubeziehen. Zunächst ist daher die Grundlage zur Verbindung der Personalbestands- und Personaleinsatzplanung zu legen.

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Modell entwickelt werden, das einen konstanten Personalbestand für den Planungszeitraum eines Jahres für Call Center bestimmt. Ein konstanter Personalbestand bedeutet nicht, dass keine Fluktuation innerhalb des Jahres stattfindet. Vielmehr besteht die Annahme, dass ausscheidende Agenten rechtzeitig durch solche mit identischen Arbeitszeiten ersetzt werden. Demnach wird der Personalbestand durch eine gleichbleibende Mitarbeiteranzahl repräsentiert, deren vertragliche Arbeitszeiten sich innerhalb eines Jahres nicht verändern. Der konstante Personalbestand muss einerseits in der Lage sein, ein variierendes Nachfrageniveau in den einzelnen Wochen eines Jahres auszugleichen und andererseits den kurzfristigen Personalbedarf im Rahmen der wöchentlichen Personaleinsatzplanung bestmöglich zu befriedigen. Anpassungsmaßnahmen wie die Verteilung der Arbeitszeit in einem Ausgleichszeitraum sowie die Vorwegnahme von planbaren Fehlzeiten haben zum Ziel, das wöchentliche Nachfrageniveau auszugleichen. Die kurzfristige Angleichung des Personalangebotes an den wöchentlichen Nachfrageverlauf findet durch die Variation von Schichtlängen und -startzeitpunkten sowie die Anzahl der Arbeitstage einer Woche statt.

In diesem Kapitel werden die bisherigen Modelle und Lösungsansätze der Personaleinsatz- und der Personalbestandsplanung sowie deren Anpassungsmaßnahmen beschrieben. Aus der Perspektive eines hierarchischen Planungsablaufes sollte die Beschreibung der jährlichen Personalbestandsplanung vor derjenigen der wöchentlichen Personaleinsatzplanung erfolgen. Einige Modelle zur Personalbestandsplanung beinhalten jedoch Elemente der Personaleinsatzplanung respektive binden deren Ergebnisse ein. Aus diesem Grund findet zunächst im Abschnitt 4.1 eine Beschreibung der Modelle und Lösungsansätze der Personaleinsatzplanung statt, bevor das Augenmerk im Abschnitt 4.2 auf die der Personalbestandsplanung gelegt wird. Im Abschnitt 4.3 werden die Ergebnisse nochmals zusammengefasst.

4.1 Personaleinsatzplanung

4.1.1 Einordnung

Der benötigte kurzfristige Personalbedarf pro Periode geht als Input in die Personaleinsatzplanung ein. Im Rahmen der Personaleinsatzplanung wird für die Mitarbeiter ein Arbeits- bzw. Dienstplan erstellt, der den Personalbedarf zum jeweiligen Zeitpunkt möglichst genau mit der entsprechenden Anzahl an Mitarbeitern zu minimalen Kosten abdeckt.¹⁸⁹ Dazu wird ermittelt, welche Arbeitszeiten den Mitarbeitern zugeordnet werden, um ein prognostiziertes Personalbedarfsmuster bestmöglich zu befriedigen.

Die Notwendigkeit, den Mitarbeitern Arbeitszeiten zuzuordnen, tritt auf, wenn die Nachfrage nach einer Leistung im Zeitablauf schwankt, möglichst unmittelbar befriedigt werden muss und gleichzeitig die Betriebsöffnungszeit von den Arbeitszeiten der Arbeitnehmer abweicht. Somit stellt die Personaleinsatzplanung kein Call Center spezifisches Problem dar. Die Modelle der Einsatzplanung für Call Center unterscheiden sich von denen anderer Bereiche jedoch dadurch, dass Warteschlangenmodelle benutzt werden, um den zugrunde liegenden Personalbedarf der einzelnen Perioden zu bestimmen.¹⁹⁰ Dennoch beschäftigen sich zahlreiche Veröffentlichungen mit der Einsatzplanung speziell im Call Center.¹⁹¹

¹⁸⁹ Der Personalbedarf beinhaltet, wie bereits erläutert, die angestrebten Maßzahlen der Kundenzufriedenheit.

¹⁹⁰ Vgl. Gans/ Koole/ Mandelbaum (2003), S. 108. Durch den leichten Zugriff auf Vergangenheitsdaten sind Warteschlangenmodelle gut umsetzbar.

¹⁹¹ Vgl. Atlason/ Epelman/ Henderson (2004), Caprara/ Monaci/ Toth (2003), Cezik/ Günlük/ Luss (2001), Lin/ Lai/ Hung (2000), Willis/ Huxford (1991), Andrews/ Parsons (1989), Holloran/ Byrn (1986), Van Oudheusden/ Wen-Jenq (1982), Gaballa/ Pearce (1979), Keith (1979), Buffa/ Cosgrove/ Luce (1976) oder Segal (1974).

Die Teilgebiete der Personaleinsatzplanung, die insbesondere in der angloamerikanischen Literatur diskutiert werden, lassen sich anhand ihres zeitlichen Bezugs und ihrer allgemeinen oder spezifischen Anwendbarkeit unterscheiden. Die Unterteilung der Teilgebiete ist in der folgenden Abbildung 4.1 dargestellt.

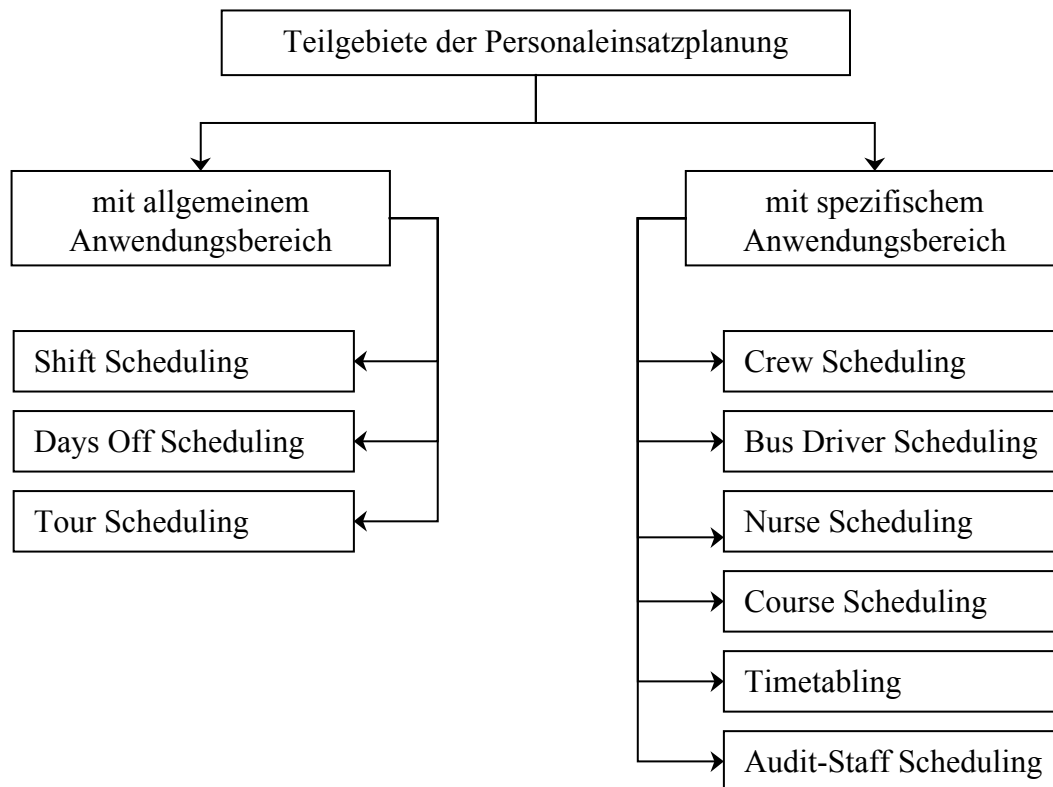


Abbildung 4.1: Übersicht über die Teilgebiete der Personaleinsatzplanung

Zunächst wird auf die Teilgebiete mit allgemeinem Anwendungsbereich eingegangen. Diese Personaleinsatzplanungsprobleme lassen sich hinsichtlich des zeitlichen Bezugs des Planungsmodells weiter in Shift Scheduling, Days Off Scheduling und Tour Scheduling unterteilen.¹⁹² Geht die tägliche Betriebsöffnungszeit über die tägliche Arbeitszeit der Arbeitnehmer hinaus, so sind die Arbeitnehmer nicht während der gesamten Betriebsöffnungszeit anwesend. Vielmehr arbeiten sie in Schichten, die einen Teil der täglichen Betriebsöffnungszeit abdecken. Im Rahmen des *Shift Scheduling* wird entschieden, mit welchen Schichten der Personalbedarf der verschiedenen Perioden eines Tages gedeckt werden kann. Das bedeutet, dass über die Dauer und Lage der Arbeitszeit sowie die Lage der Pausen eines Tages entschieden wird. Dabei werden keine Restriktionen berücksichtigt, die die täglichen Schichten zu einem wöchentlichen Einsatzplan kombinieren.

¹⁹² Die Unterteilung wurde erstmals von Baker (1976) vorgenommen.

Umfasst die Betriebsöffnungszeit mehr Tage einer Woche als die durchschnittlichen wöchentlichen Arbeitstage eines Mitarbeiters, sind den Mitarbeitern freie Tage in der Woche zu gewähren. Das *Days Off Scheduling* beschäftigt sich mit der Zuordnung von freien Tagen (und entsprechend Arbeitstagen) zu den Mitarbeitern. Hierbei werden Fragestellungen bezüglich der freien Tage einer Woche und bzw. oder freien Wochenenden im Planungszeitraum über mehrere Wochen berücksichtigt. Treten die Entscheidungsprobleme des Shift Scheduling und des Days Off Scheduling in Kombination auf, ist das Problem dem *Tour Scheduling* zuzuordnen. Das Shift und Days Off Scheduling sind folglich Teilprobleme des allgemeineren Tour Scheduling, das typischerweise einen Planungshorizont von einer Woche hat. Es existieren aber auch Planungszeiträume von bis zu vier Wochen. Dabei wird im Rahmen des Tour Scheduling sowohl über die Schichten der einzelnen Tage als auch über die Verteilung der Arbeitstage für den Planungszeitraum entschieden. Dementsprechend legen die Einsatzpläne, die sogenannten Touren, die Arbeitstage und die tägliche Arbeitszeit für die Mitarbeiter für eine bzw. mehrere Wochen fest.

Darüber hinaus existieren Personaleinsatzplanungsprobleme die konkrete Anwendungsbereiche betreffen. Diese Probleme lassen sich aufgrund bestimmter Besonderheiten des jeweiligen Planungsproblems nicht in die oben genannte Unterteilung des Shift, Days Off und Tour Scheduling einordnen. Die Differenzierung anhand eines konkreten Anwendungsbereichs liegt in der speziellen Charakteristik des jeweiligen Problems. Bei diesen Varianten werden die Besonderheiten des jeweiligen Planungsproblems wie beispielsweise Wegezeiten oder unterschiedliche Standorte berücksichtigt, so dass sie als separate Problemstellungen behandelt werden. Die Probleme mit konkretem Anwendungsbereich lassen sich in Crew Scheduling¹⁹³, Bus Driver Scheduling¹⁹⁴, Nurse Scheduling¹⁹⁵, Course Scheduling¹⁹⁶, Timetabling¹⁹⁷ sowie Audit-Staff Scheduling¹⁹⁸

¹⁹³ Vgl. z. B. Boschetti/ Mingozi/ Ricciardelli (2004), Stojković/ Soumis/ Desrosiers (1998) und Suhl (1995).

¹⁹⁴ Vgl. beispielsweise Valouxis/ Housos (2002), Borndörfer/ Grötschel/ Löbel (2001) und Wren/ Wren (1995).

¹⁹⁵ Vgl. beispielsweise Burke et al. (2002), Dowsland/ Thompson (2000) sowie Siferd/ Benton (1994).

¹⁹⁶ Vgl. beispielsweise Boronico (2000), Hertz/ Robert (1998) und Kiaer/ Yellen (1992).

¹⁹⁷ Vgl. beispielsweise Papoutsis/ Valouxis/ Housos (2003), Hilbert-Siekman (2001) und de Werra (1997).

¹⁹⁸ Vgl. beispielsweise Dodin/ Eliman (1997), Salewski (1995) und Drexl (1989).

einteilen.¹⁹⁹ Einen vollständigen Überblick über die Veröffentlichungen zu den einzelnen Teilgebieten der Personaleinsatzplanung geben Ernst et al.²⁰⁰ Darüber hinaus existiert ein Modellierungskonzept, das die verschiedenen Teilgebiete durch den Einsatz von partiell erneuerbaren Ressourcen in einem Modell behandelt.²⁰¹

Besondere Charakteristika sind für Call Center bei der Personaleinsatzplanung nicht vorhanden, so dass die Personaleinsatzplanung in Call Centern mit den Methoden für den allgemeinen Anwendungsbereich durchgeführt werden kann. Die Personaleinsatzplanung eines Call Centers lässt sich somit in Abhängigkeit der Öffnungszeit des jeweiligen Call Centers als Shift, Days Off oder Tour Scheduling charakterisieren. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden diese Planungsprobleme betrachtet.

4.1.2 Set Covering Formulierungen für die Personaleinsatzplanung

4.1.2.1 Das Set Covering Modell von Dantzig

Dantzig formulierte erstmals das Shift Scheduling, bei dem die Schichten eines Tages für die Besetzung von Mautstellen an Straßenbrücken eingeteilt wurden, als Set Covering Modell.²⁰² Die Bezeichnung Set Covering Modell (= Überdeckungsmodell) wird verwendet, weil der Entscheidungsraum die Menge aller möglichen Schichten abdeckt.²⁰³ Der Tag wird dabei in die Perioden $t \in T$ unterteilt. In der Formulierung werden unterschiedliche Schichten $s \in S$ betrachtet. Dabei beschreibt T die Menge der Perioden eines Tages und S die Menge der möglichen Schichten. Eine Schicht wird durch einen binären Vektor dargestellt, der die Perioden eines Tages repräsentiert. Dieser Schichtvektor beschreibt den zeitlichen Arbeitsablauf eines Arbeitnehmers in einer Schicht im Tagesverlauf. Mit Hilfe des Schichtvektors lassen sich sowohl Arbeitsperioden als auch Pausen modellieren. Die Einträge eines Schichtvektors $a_{s,t}$ lassen sich folgendermaßen beschreiben:

$$a_{s,t} = \begin{cases} 1, & \text{wenn ein Arbeitnehmer der Schicht } s \text{ in Periode } t \text{ arbeitet,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases} \quad (4.1)$$

¹⁹⁹ Vgl. z.B. Salewski (1998), S. 128 f. Eine alternative Einteilung erfolgt von Aggarwal, der die Planungsprobleme anhand der vorhandenen Restriktionen und Zielsetzungen einteilt. Vgl. Aggarwal (1982), S. 115-120.

²⁰⁰ Vgl. Ernst et al. (2004).

²⁰¹ Vgl. Salewski (1999b), (1999c) und (1998).

²⁰² Vgl. Dantzig (1954). Das zugrundeliegende Problem beschrieb Edie (1954). Er plante die Arbeits- und Pausenzeiten der Arbeitnehmer mit Hilfe eines Gantt-Charts über die Methode des Versuchs und Irrtums ein.

²⁰³ Vgl. Günther (1989), S. 211.

Dantzig betrachtet in seiner Formulierung Schichten gleicher Länge, so dass zu jedem Zeitpunkt nur eine einzige Schicht beginnen kann. Die Pause in jeder Schicht ist fixiert (z.B. in der Mitte der Arbeitszeit). In seiner Formulierung wird daher der Schichtindex $s \in S$ mit dem Schichtbeginn in Periode $s \in T$ verknüpft, d.h. der Schichtbeginn der Schicht s findet in der Periode mit dem gleichen Index statt. Die Kosten aller Schichten sind ebenfalls identisch. Das Modell von Dantzig, nachfolgend mit *DSCM* bezeichnet, wird anschließend vorgestellt:²⁰⁴

$$\min \sum_{s \in S} y_s \quad (4.2)$$

subject to

$$\sum_{s \in S} a_{s,t} \cdot y_s \geq B_t \quad \forall t \in T \quad (4.3)$$

$$y_s \geq 0 \quad \forall s \in S \quad (4.4)$$

$$y_s \text{ ganzzahlig} \quad \forall s \in S \quad (4.5)$$

Dabei bezeichnet die Variable y_s die Anzahl an Arbeitnehmern, die ihre Schicht zum Zeitpunkt s starten. Der Parameter B_t beschreibt den Personalbedarf in Periode t . Die Zielfunktion (4.2) minimiert die Anzahl an einzusetzenden Arbeitnehmern eines Tages. Die Nebenbedingung (4.3) fordert über die ausgewählten Schichten die Befriedigung des Personalbedarfs in jeder Periode. Die Lösung des Set Covering Modells von Dantzig beschreibt den täglichen Einsatzplan, bei dem aus einer Menge von Schichten jene ausgewählt werden, deren Kombination den vorgegebenen Personalbedarf mit einer minimalen Anzahl an Arbeitnehmern deckt. Die Anzahl der zugeordneten Schichten muss dabei ganzzahlig sein. Alle Schichtvektoren bilden die Koeffizientenmatrix A des Set Covering Modells.

Das Modell von Dantzig wird als das Grundmodell der Personaleinsatzplanung bezeichnet. Seine Formulierung ermöglicht eine leichte Anpassung an die Problemstellung des Days Off und Tour Scheduling, indem die Einträge des Schichtvektors sowohl unterschiedliche Tage einer Woche als auch Perioden eines Tages beinhalten können. In Abhängigkeit der betrachteten Problemstellung erscheint der Ausdruck des Schichtvektors nicht immer adäquat. Somit wird auf den Begriff Arbeitszeitmuster zurückgegriffen, der die jeweiligen

²⁰⁴ Vgl. Dantzig (1954).

Arbeitsperioden eines Zeitraums repräsentiert, unabhängig davon, ob es sich beim Shift Scheduling um die Schichten eines Tages, beim Days Off Scheduling um die Angabe der freien Tage oder beim Tour Scheduling um die Touren handelt. Zur Anpassung des beschriebenen Grundmodells *DSCM* an das Days Off und Tour Scheduling ist es notwendig, die oben genannten Definitionen des Arbeitszeitmusters und der Entscheidungsvariablen zu modifizieren.²⁰⁵ Die Menge S repräsentiert die möglichen Arbeitszeitmuster der dazugehörigen Problemstellung. Beim Days Off Scheduling (Tour Scheduling) sind im Arbeitszeitmuster $s \in S$ die freien Tage und die Arbeitstage (die Arbeitsperioden innerhalb einer Woche) abgebildet. Die Menge T beinhaltet die Tage einer Woche (die einzelnen Perioden der Tage einer Woche). $a_{s,t}$ ist 1, sofern am Tag $t \in T$ (in Periode $t \in T$) im Arbeitszeitmuster $s \in S$ gearbeitet wird, sonst 0. Die Entscheidungsvariable y_s beschreibt die Anzahl der Arbeitnehmer, die dem Arbeitszeitmuster $s \in S$ zugeordnet werden.

4.1.2.2 Variation der Zielfunktion und zusätzliche Nebenbedingungen

Sofern die Vorgabe von Arbeitszeitmustern gleicher Länge aufgegeben wird, sind Arbeitszeitmuster mit unterschiedlichen Arbeitszeiten im Modell zu berücksichtigen. Eine Minimierung der Anzahl der Arbeitnehmer ist dann nicht mehr sinnvoll, denn die Arbeitszeitmuster sind mit unterschiedlichen Arbeitszeiten und Arbeitskosten verbunden. In diesem Fall wird die Zielfunktion in Dantzig's Modell dahingehend abgewandelt, dass nicht die Anzahl der Arbeitnehmer, sondern die Arbeitskosten der ausgewählten Arbeitszeitmuster oder die Anzahl der eingeplanten Arbeitsstunden minimiert werden.²⁰⁶ Die Minimierung der Arbeitskosten sowie die Minimierung der eingeplanten Arbeitsstunden stellen äquivalente Zielsetzungen dar, sofern die Kosten einer Arbeitsstunde unabhängig vom dazugehörigen Arbeitszeitmuster konstant sind. Zur Identifizierung der jeweiligen Arbeitszeitmuster werden die Arbeitszeitmuster unabhängig von deren Schichtstartzeitpunkt und Schichtdauer anhand eines Indizes durchnummeriert.²⁰⁷ Die Menge S ist dann geordnet, ihre Mächtigkeit entspricht dem höchsten Index, dieser sei s_{max} . Die Bedarfsdeckung sowie die Ganzzahligkeitsbedingungen bleiben erhalten. Das bedeutet,

²⁰⁵ Vgl. Morris/ Showalter (1983), S. 943 f.

²⁰⁶ Die Minimierung der Arbeitsstunden wird von Brusco (1998) und Showalter/ Mabert (1988) durchgeführt, während Cai/ Li (2000), Brusco/ Johns (1996), Brusco/ Jacobs (1995), Jarrah/ Bard/ deSilva (1994) und Easton/ Rossin (1991a,b) die Arbeitskosten minimieren.

²⁰⁷ Diese Vorgehensweise bietet sich auch dann an, wenn weitere Flexibilisierungsmöglichkeiten des Shift, Days Off und Tour Scheduling hinzukommen. Diese werden im Abschnitt 4.1.3.2 beschrieben.

dass sich die Zielfunktion (4.2) des oben beschriebenen Modells folgendermaßen ändert:

$$\min \sum_{s \in S} y_s \cdot c_s. \quad (4.6)$$

c_s repräsentiert bei einer Kostenminimierung (Minimierung der eingeplanten Arbeitsstunden) die Arbeitskosten (die Arbeitszeit) des Arbeitszeitmusters $s \in S$. Alternativ kann c_s die relative Erwünschtheit des Arbeitszeitmusters s bezeichnen. Die Präferenzen der Arbeitnehmer werden im weiteren Verlauf der Arbeit nicht berücksichtigt.²⁰⁸

Einige Autoren verwenden die Abweichung ABW_t zwischen den – anhand der zugeordneten Arbeitszeitmuster – eingesetzten Arbeitsperioden und dem Personalbedarf einer Periode. Die Abweichung wird folgendermaßen bezeichnet:

$$ABW_t = a_{s,t} \cdot y_s - B_t. \quad (4.7)$$

Während die positive Differenz zwischen den genannten Größen eine Überdeckung des Personalbedarfs in der Periode charakterisiert, d.h. die über die Bedarfsdeckung hinausgehende Anzahl der Arbeitsperioden beschreibt, stellt die negative Differenz die Unterdeckung des Personalbedarfs dar. In den Perioden, in denen eine Unterdeckung stattfindet, werden weniger Arbeitnehmer eingesetzt, als der Personalbedarf vorgibt, so dass ein Restbedarf vorhanden ist.

In der Zielfunktion kann die Minimierung der Überdeckung der einzelnen Perioden angestrebt werden. Da die Summe der Personalbedarfe aller Perioden im Planungshorizont die Anzahl von Arbeitsstunden darstellt, die mindestens eingesetzt werden müssen, ist bei geforderter Bedarfsdeckung die Minimierung der Überdeckung über alle Perioden vergleichbar mit der Minimierung der eingeplanten Arbeitsstunden.

Einige Autoren ermöglichen neben der Überdeckung eine Unterdeckung des Personalbedarfs. Das bedeutet, dass die Forderung aufgegeben wird, in jeder Periode eine vordefinierte Maßzahl der Kundenzufriedenheit mindestens einzuhalten. Dieses Vorgehen beruht auf der Idee, dass bei einer geringfügigen Abänderung eines bestehenden Bedarfsmusters eine geringere Anzahl an Arbeitnehmern bereitgestellt werden muss, wobei die Einsparung der Arbeitnehmer kostengünstiger ist, als die bewertete Reduktion der Maßzahl. Die möglichst genaue Abdeckung des Personalbedarfs wird dann als Ziel

²⁰⁸ Vgl. dazu die Veröffentlichungen von Ekeborn/ Rönnqvist (2004), Vakharia/ Selim/ Husted (1992), Glover/ McMillan (1986), Holloran/ Byrn (1986) und Turney/ Cohen (1983).

behandelt.²⁰⁹ Daraus resultiert ein deterministisches Goal Programming, bei dem neben den Arbeitskosten die Kosten der Unterdeckung des Bedarfs sowie eventuell die Kosten der Überdeckung in die Zielfunktion mitaufgenommen werden. Dies setzt die Quantifizierbarkeit der Kosten voraus. Darüber hinaus existieren weitere Veröffentlichungen, die mit Hilfe des Goal Programming verschiedene Ziele miteinander verbinden.²¹⁰

Die Möglichkeit des Einsatzes von Teilzeitarbeitnehmern mit einer geringeren Stundenzahl oder einer geringeren Anzahl an Arbeitstagen im Modell wird häufig mit der Einschränkung begleitet, dass Teilzeitarbeitnehmer einen bestimmten Anteil $\pi \in [0,1]$ der Arbeitnehmer nicht überschreiten dürfen.²¹¹ Dies drückt sich in folgender Ungleichung aus, die dem Modell hinzugefügt wird:

$$\sum_{s \in S_{TZ}} y_s \leq \pi \sum_{k \in S} y_k \quad (4.8).$$

Die Menge $S_{TZ} \subset S$ beschreibt die Menge der zulässigen Arbeitszeitmuster für Teilzeitarbeitnehmer. Dabei vermindern einige Autoren die Produktionskoeffizienten der Teilzeitarbeitnehmer im Vergleich zu denen der Vollzeitarbeitnehmer in Abhängigkeit von deren Wochenarbeitszeit.²¹² Dies hat zur Folge, dass die Arbeitszeitmuster der Teilzeitarbeitnehmer sich nicht durch einen Vektor mit binärem Eintrag charakterisieren lassen, vielmehr können die Einträge reelle Werte annehmen.

4.1.2.3 Modellformulierungen bei gegebenem Personalbestand

Die Formulierung von Dantzig geht von einer flexiblen Anzahl an Arbeitnehmern aus, die dem Unternehmen im betrachteten Bezugszeitraum zur Verfügung steht. Sofern der Personalbestand im betrachteten Zeitraum vorgegeben ist, ändert sich das Modell *DSCM* der Personaleinsatzplanung. Die Zielfunktion beinhaltet nicht mehr die Minimierung der Personalkosten, denn diese sind durch die zur Verfügung stehenden Arbeitnehmer gegeben. Vielmehr wird die gegebene Anzahl von verfügbaren Arbeitnehmern mit einer

²⁰⁹ Vgl. beispielsweise Bailey (1985), Buffa/ Cosgrove/ Luce (1976), Keith (1979), Mabert/ Watts (1982), McGinnis/ Culver/ Deane (1978) oder Easton/ Mansour (1999).

²¹⁰ Vgl. Easton/ Rossin (1996), Brusco/ Johns (1995a), Bechtold/ Brusco (1994b), Vakharia/ Selim/ Husted (1992) und Loucks/ Jacobs (1991).

²¹¹ Vgl. Bard/ Binici/ deSilva (2003), Easton/ Mansour (1999), Brusco (1998), Brusco/ Johns (1996), Easton/ Rossin (1996) und (1991a,b), Brusco/ Jacobs (1995), Brusco et al. (1995) und Jarrah/ Bard/ deSilva (1994).

²¹² Vgl. Brusco/ Johns (1996), Easton/ Rossin (1996), Brusco/ Johns (1996), Easton/ Rossin (1996) und Li/ Robinson/ Mabert (1991).

bestimmten Anzahl von Arbeitsstunden so eingesetzt, dass die Abweichung vom Personalbedarf, die sowohl positiv als auch negativ sein kann, möglichst gering ist. Das Personaleinsatzplanungsmodell mit einer vorgegebenen Anzahl von Arbeitnehmern wird von unterschiedlichen Autoren betrachtet.

Van Oudheusden und Wen-Jenq führen in der Set Covering Formulierung eine zusätzliche Restriktion ein, so dass die Anzahl der zugeordneten Schichten mit den verfügbaren Arbeitnehmern übereinstimmt.²¹³ Darüber hinaus ergänzen sie alle Bedarfsrestriktionen um eine Variable, welche die kleinste Differenz zwischen dem Angebot und der Nachfrage in allen Perioden maximiert. Bei dieser Formulierung können jedoch Zuordnungen entstehen, die den Bedarf nicht decken.

Bailey fordert ebenfalls die Übereinstimmung zwischen der Anzahl an zugeordneten Schichten und den verfügbaren Arbeitnehmern.²¹⁴ Bei dieser Formulierung kann es vorkommen, dass bei den von ihm fest vorgegebenen Schichtlängen die Anzahl der Arbeitnehmer nicht ausreicht, um den Personalbedarf jeder Periode zu decken. Aus diesem Grund werden Unter- und Überdeckungsvariablen des Personalbedarfs für jede Periode definiert. Diese werden in der Gleichung zur Deckung des Personalbedarfs berücksichtigt. Ein Unterschreiten des vorgegebenen Personalbedarfs bedeutet, dass ein angestrebtes Servicenniveau in der Periode nicht befriedigt wird. Die Kosten der Kunden, die durch die Unannehmlichkeit eines schlechteren Service entstehen, werden in der Zielfunktion minimiert.

Thompson hingegen betrachtet sowohl die Verschlechterung als auch die Verbesserung des Services, die durch die Unter- bzw. Überdeckung des Bedarfs zustande kommen und bewertet die Abweichungen in der Zielfunktion anhand von monetären Größen.²¹⁵ Sein Modell bezieht die Verfügbarkeit der Arbeitnehmer über eine Restriktion für jedes Individuum ein.

Da sich die Unannehmlichkeitskosten schwer beziffern lassen, greift Thompson in einer weiteren Veröffentlichung auf einen alternativen Ansatz zurück.²¹⁶ Er geht davon aus, dass der Periodenbedarf, der aus der prognostizierten Nachfrage sowie einem minimal

²¹³ Vgl. van Oudheusden/ Wen-Jenq (1982).

²¹⁴ Vgl. Bailey (1985), S. 396-399.

²¹⁵ Vgl. Thompson (1996).

²¹⁶ Vgl. Thompson (1997b).

akzeptierten Service Level abgeleitet wurde, gedeckt werden kann. Sofern eine Überdeckung des Bedarfs stattfindet, führen die über die Bedarfsdeckung hinausgehenden Mitarbeiter zu einem Anstieg der Kundenzufriedenheit, der in der Zielfunktion maximiert wird. Das Maß der Steigerung hängt von dem Personalbedarf der jeweiligen Periode ab. Er stellt demnach ein Modell vor, das versucht, in Abhängigkeit des Periodenbedarfs eine Balance zwischen den Perioden zu finden, in denen der Service besser und geringer – aber immer noch akzeptabel – als der erwünschte Service Levels in jeder Periode zugunsten einer globalen Servicerestriktion fallengelassen, wobei ein minimal akzeptierter Service Level einzuhalten ist. Personalbedarfs- und Personaleinsatzplanung werden demnach in diesem Ansatz vereint. Nachfolgend wird das von Thompson beschriebene Modell *CLSM-SRV* vorgestellt.²¹⁷

$$\max \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{w_t} k_{t,j} \cdot u_{t,j}^+ \quad (4.9)$$

subject to

$$\sum_{s=1}^S a_{s,t} \cdot y_s - \sum_{j=1}^{w_t} u_{t,j}^+ \geq Bm_t \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (4.10)$$

$$\sum_{s=1}^S y_s \leq labor_{\max} \quad (4.11)$$

$$\sum_{s=1}^S c_s \cdot y_s \leq c_{\max} \quad (4.12)$$

$$y_s \geq 0 \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (4.13)$$

$$y_s \text{ ganzzahlig} \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (4.14)$$

$$u_{t,j}^+ \text{ binär} \quad \forall t = 1, \dots, T \text{ und } j = 1, \dots, w_t \quad (4.15)$$

$$u_{t,j}^+ = \begin{cases} 1, & \text{wenn in Periode } t \text{ die Anzahl eingesetzter Arbeitnehmer } Bm_t + j \\ & \text{entspricht bzw. übersteigt,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases} \quad (4.16)$$

²¹⁷ Vgl. Thompson (1997b), S. 725 f.

Bm_t	minimal akzeptierte Anzahl an Arbeitnehmern in Periode t
c_{max}	maximal aufzuwendende Arbeitskosten
c_s	Arbeitskosten der Schicht s
$k_{t,j}$	inkrementeller Anstieg in der erwarteten Anzahl an zusätzlich bedienten Kunden mit Bedienung innerhalb des tolerierten Wartezeitlimits durch den Einsatz des $Bm_t + j$ -ten Agenten in Periode t
$labor_{max}$	maximale Anzahl an einzuplanenden Schichten
w_t	Anzahl an Arbeitnehmern, die über den minimal akzeptierten Arbeitnehmerbedarf für Periode t hinausgehen und einen Zuwachs in der Anzahl an Kunden generieren, die innerhalb des Wartezeitlimits bedient werden

Die Zielfunktion (4.9) maximiert den Zuwachs des Service Levels, der durch die Überdeckung des Personalbedarfs generiert wird. Der Personalbedarf ist in den einzelnen Perioden der Woche mit Hilfe der Schicht- und Pausenauswahl mindestens zu decken (4.10). Eine Überschreitung ist jedoch in Abhängigkeit von den verfügbaren Mitarbeitern möglich. Bei diesem Ansatz existiert eine geringere Flexibilität als bei dem *DSCM*, denn die Summe der ausgewählten Schichten darf die Anzahl der zur Verfügung stehenden Mitarbeiter nicht überschreiten (4.11). Alternativ zu dieser Restriktion bzw. ergänzend ist es möglich, die jeweilige Schicht mit den anfallenden Kosten zu bewerten, wobei eine vorgegebene Gehaltssumme nicht überschritten werden darf (4.12). Wie viele Mitarbeiter mit welchen Arbeitsverträgen hinsichtlich der wöchentlich bzw. monatlich vereinbarten Arbeitszeit im Unternehmen arbeiten, und wie viele Mitarbeiter in der Woche zur Verfügung stehen, wird bei dieser Vorgehensweise in einem vorgelagerten Planungsschritt entschieden.

Zwar existieren Unterschiede hinsichtlich einiger Restriktionen und der Zielfunktion in den eben skizzierten Modellen *DSCM* und *CLSM-SRV*, dennoch werden für die unterschiedlichen Modelle in der Literatur ähnliche Lösungsansätze verwendet. Aus diesem Grund werden sowohl die Ausführungen zur Lösbarkeit als auch die Lösungsverfahren für diese Modelle gemeinsam diskutiert. Im Folgenden wird zunächst die generelle Lösbarkeit des Personaleinsatzplanungsproblems betrachtet. Zu diesem Zweck erfolgt eine genaue Betrachtung der Modellstruktur sowie der Anzahl der Variablen.

4.1.3 Lösbarkeit der Set Covering Formulierung

4.1.3.1 Modellstruktur

Obwohl die Formulierung des Problems als Set Covering Ansatz intuitiv ist, sind Probleme dieser Art mit vielen Variablen (Spalten) und Restriktionen (Zeilen) schwer lösbar. Bartholdi zeigt für zyklische Personaleinsatzplanungsprobleme, bei denen Arbeitnehmer mit Unterbrechung zur Verfügung stehen, dass sie NP-vollständig sind.²¹⁸ Das bedeutet, dass bisher kein Algorithmus bekannt ist, der eine Lösung des Problems mit polynomialem Rechenaufwand findet.

Ein Problem ist zyklisch, wenn die zugrunde liegende Matrix zirkulär ist. Beim Personaleinsatzplanungsproblem hat eine zirkuläre Matrix A , die von dem binären Spaltenvektor (a_1, \dots, a_m) generiert wird, die im nachfolgend dargestellte Form, wobei die Spalten der Matrix die Arbeitszeitmuster repräsentieren:

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_m & \cdots & a_2 \\ a_2 & a_1 & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & a_m \\ a_m & a_{m-1} & \cdots & a_1 \end{bmatrix}.$$

Zyklische Probleme sind insbesondere bei kontinuierlichen Personaleinsatzplanungsproblemen zu finden. Bei kontinuierlichen Problemen ist – im Gegensatz zu diskontinuierlichen Problemen – die Periodenfolge der Arbeitszeitmuster nicht durch die Schließzeiten des Unternehmens unterbrochen. Das bedeutet, dass das Unternehmen rund um die Uhr geöffnet hat, so dass eine Einplanung der Arbeitnehmer ohne vorgegebene Unterbrechung aufgrund der Öffnungszeiten erfolgen kann. Unterbrechungen durch Pausen in einer Schicht können aber auch bei zyklischen Problemen berücksichtigt werden. Dies wird im Arbeitszeitmuster durch mindestens zwei Blöcke von Einsen, die von Nullen unterbrochen werden, abgebildet. Da zyklische Probleme NP-vollständig sind, ist anzunehmen, dass allgemeinere Personaleinsatzplanungsprobleme, insbesondere das Tour Scheduling, ebenfalls schwierige kombinatorische Optimierungsprobleme darstellen.²¹⁹

Generell gestaltet sich das Problem durch das Vorhandensein von Pausen schwieriger. Sofern Pausen in den Arbeitszeitmustern vernachlässigt werden, bedeutet das für die Spalten der Matrix, dass sie – bei zirkulärer Sichtweise – aus aufeinanderfolgenden Einsen

²¹⁸ Vgl. Bartholdi (1981), S. 502 f. und S. 508 f.

²¹⁹ Vgl. Brusco/ Jacobs (1993a), S. 1192 und Easton/ Rossin (1991b), S. 986.

bestehen, ohne durch Nullen unterbrochen zu werden.²²⁰ In diesem Fall liegt eine total unimodulare Koeffizientenmatrix A vor. Diese Matrix hat bei gleichzeitiger Existenz einer ganzzahligen rechten Seite im Modell die Eigenschaft, dass die optimale Lösung des Personaleinsatzplanungsproblems ohne Ganzzahligkeitsbedingungen ganzzahlig ist, sofern die Lösung mittels Simplex-Algorithmus erzeugt wird.²²¹ Dieses Modell, bestehend aus den Gleichungen (4.1) - (4.4), ist das relaxierte Modell zu dem *DSCM* von Dantzig. Personaleinsatzplanungsprobleme ohne Berücksichtigung von Pausen sind somit effektiv lösbar. Dies legt einen Dekompositionsansatz nahe, der in einer ersten Phase das relaxierte Problem ohne Pausen löst und in einer zweiten Phase die Pausen heuristisch zuordnet.²²² Ein solcher Ansatz stellt jedoch nicht sicher, dass die Überdeckung des Bedarfs ausreicht, um allen Arbeitnehmern Pausen zuzuordnen, so dass eventuell zusätzliche Arbeitnehmer eingesetzt werden müssen.

Für allgemeine Personaleinsatzplanungsprobleme mit einer geringen Anzahl von Variablen können optimale Lösungen durch Standardverfahren wie einen Branch-and-Bound Algorithmus oder einem Schnittebenenverfahren gefunden werden. Die Lösung einer Problem-Instanz wird durch eine größere Anzahl an möglichen Arbeitszeitmustern (Variablen) aufgrund der größeren Kombinationsmöglichkeiten schwieriger. Daher wird im nächsten Abschnitt auf die Anzahl der möglichen Arbeitszeitmuster eingegangen.

4.1.3.2 Anzahl an Variablen

Die Set Covering Formulierung weist jedem möglichen Arbeitszeitmuster eine ganzzahlige Entscheidungsvariable zu. Das bedeutet, dass die Größe dieses Modells und damit die Komplexität des Lösungsverfahrens sehr schnell mit der Anzahl der Arbeitszeitmuster wächst. Die Komplexität beschreibt den Rechenaufwand eines Algorithmus, der sich auf die Anzahl an auszuführenden Operationen zur Lösung des Problems bezieht.²²³

Die Anzahl sowie die Zusammensetzung der zu berücksichtigenden Arbeitszeitmuster in der Set Covering Formulierung hat nicht nur Implikationen auf die Lösbarkeit des Modells,

²²⁰ Ein Beispiel für eine solche Matrix wäre $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$.

²²¹ Vgl. beispielsweise Nemhauser/ Wolsey (1988).

²²² Vgl. Gans/ Koole/ Mandelbaum (2003), S. 108 f. Ein solcher Ansatz wird z.B. von Segal sowie Bailey durchgeführt. Vgl. Segal (1974) und Bailey (1985).

²²³ Vgl. Domschke/ Schöll/ Voß (1993), S. 40.

sondern auch auf die Höhe des Zielfunktionswertes. Das oben beschriebene Grundmodell *DSCM* hat die Zielsetzung, den Personalbedarf mit minimalem Personaleinsatz zu decken. Die benötigte Anzahl an Mitarbeiterstunden exakt bereitzustellen, lässt sich aufgrund des schwankenden Personalbedarfs im Zeitablauf selbst mit Hilfe einer sehr großen Bandbreite an unterschiedlichen Arbeitszeitmustern selten erreichen. Der Personalbedarf und die Anzahl der eingesetzten Arbeitnehmer in jeder Periode stimmen meist nur dann exakt überein, wenn Arbeitnehmer für einzelne Perioden eingesetzt werden können. Dies ist zwar beim Days Off Scheduling realisierbar, wenn Arbeitnehmer lediglich an einem Wochentag der Woche arbeiten. Im Falle des Shift und Tour Scheduling verhindern jedoch tarifliche Regelungen einen einperiodigen Einsatz. Somit ist eine Überdeckung des Personalbedarfs in einigen Perioden unausweichlich. Die Höhe der Gesamtüberdeckung und damit die Personalkosten sind maßgeblich von den zur Auswahl stehenden Arbeitszeitmustern und von der gegebenen Bedarfsstruktur abhängig.²²⁴ Während die Bedarfsstruktur, wie im Abschnitt 2.5.2 ausgeführt, zumeist unveränderbar ist, gestaltet sich die Anzahl und die Zusammensetzung der möglichen Arbeitszeitmuster unterschiedlich. Die Anzahl und die Zusammensetzung hängen von den Arbeitsregeln ab, die vielfach neben den rechtlichen und den tarifvertraglichen Restriktionen existieren. Arbeitsregeln können betrieblich erwünscht sein oder aber modellendogen vom Planer vorgegeben werden. Sie enthalten Vorschriften, die sich auf die Zusammensetzung und Abfolge der Arbeitsperioden eines Arbeitszeitmusters beziehen und beschränken somit die Möglichkeiten, Arbeitnehmer in aufeinanderfolgenden Arbeitsperioden innerhalb eines Tages oder an aufeinanderfolgenden Tagen einzusetzen. Das bedeutet, dass aufgrund der Arbeitsregeln die Anzahl der möglichen Kombinationen von aufeinanderfolgenden Nullen und Einsen begrenzt ist. Arbeitsregeln vermindern demnach die Anzahl der möglichen Arbeitszeitmuster. Aus den Arbeitsregeln resultieren die Arbeitszeitmuster, die eine Arbeitsumgebung für den zeitlichen Rahmen des Arbeitnehmereinsatzes bilden. Die gängigsten Arbeitsregeln sind in Tabelle 4.1 abgebildet.²²⁵

²²⁴ Vgl. Li/ Robinson/ Mabert (1991) sowie Showalter/ Mabert (1988), S. 70.

²²⁵ Vgl. Easton/ Rossin (1997), S. 289; Jacobs/ Bechtold (1993), S. 149; Buffa/ Cosgrove/ Luce (1976), S. 625.

Problem	Arbeitsregel betrifft	Erläuterung der Arbeitsregel
Shift Scheduling	Schichtbeginn	mögliche Zeitpunkte eines Schichtbeginns
	Pausenplatzierung	mögliche Zeitpunkte des Pausenbeginns in einer Schicht
	Schichtlänge	mögliche Längen der täglichen Arbeitszeit
Days Off Scheduling	Anzahl der freien Tage	minimale und maximale Anzahl an freien Tagen pro Woche
	Zusammensetzung der freien Tage	zusammenhängende bzw. nicht zusammenhängende freie Tage und Anzahl an freien Wochenenden in einem mehrwöchigen Zeitraum
Tour Scheduling	Schichtbeginn an einzelnen Tagen	Bandbreite für den Schichtbeginn an den einzelnen Tagen einer Tour
	Pausenplatzierung an einzelnen Tagen	Bandbreite für die Pausenzeit an den einzelnen Tagen einer Tour
	Schichtlänge an einzelnen Tagen	Bandbreite zur Variation der Schichtlängen innerhalb einer Tour
	Tourlänge	minimale und maximale Anzahl an Schichten in einer Tour

Tabelle 4.1: Mögliche Arbeitsregeln der betrachteten Personaleinsatzplanungsprobleme

Innerhalb des Shift Scheduling beinhalten die Arbeitsregeln die Anzahl der möglichen Schichtbeginne, die Platzierung der Pausen sowie unterschiedliche Schichtlängen. Beim Days Off Scheduling kommt diese Aufgabe der Anzahl der freien Tage in einer Woche sowie den Zeitpunkten, an denen die freien Tage stattfinden können, zu. Die Arbeitsregeln für das Tour Scheduling entstehen durch eine Kombination der Regeln des Shift und Days Off Scheduling.

Die Arbeitsregeln und deren jeweilige Ausgestaltung, d.h. wie restriktiv die Arbeitsregeln gehandhabt werden, haben Auswirkungen auf die Flexibilität der Personaleinsatzplanung.²²⁶ Die Flexibilität hat wiederum erheblichen Einfluss auf den Zielfunktionswert eines Einsatzplanungsproblems. Eine gute Abstimmung zwischen dem produktiven Einsatz der Arbeitnehmer und dem Personalbedarf im Planungshorizont ist vornehmlich dann erreichbar, wenn möglichst viele unterschiedliche Arbeitszeitmuster in die Planung einbezogen werden. Dies lässt sich zumeist durch den Verzicht des Aufstellens von Arbeitsregeln erreichen. Eine hohe Anzahl an Arbeitszeitmustern ist demnach unter Kostengesichtspunkten wünschenswert.

²²⁶ Thompson definiert Einsatzplanungsflexibilität als „... the extent and tightness of restrictions defining acceptable schedules.“ Thompson (1996), S. 275.

Die Anzahl der möglichen Arbeitszeitmuster kann jedoch in Abhängigkeit der möglichen Kombinationen von Schichttypen, Schichtbeginn, Pausenlage und freien Tagen exponentiell ansteigen. Dies wird anhand eines Beispielunternehmens demonstriert, das eine Öffnungszeit von 12 Stunden an jedem Wochentag hat. Die Periodenlänge sei 60 Minuten, so dass der Planungshorizont des dazugehörigen Tour Scheduling Problems 84 Perioden beträgt. Es werden ausschließlich Vollzeitmitarbeiter eingesetzt, die in einer festen Schichtlänge von neun Stunden mit einer Mittagspause von einer Stunde arbeiten und genau zwei freie Tage pro Woche erhalten. Die Schichten können zu jeder möglichen Stunde beginnen. Betrachtet werden zwei Szenarien, bei denen die Pausenplatzierung, die Zeitpunkte der freien Tage sowie der Schichtbeginn und die Pausenplatzierung an den Arbeitstagen einer Tour durch unterschiedliche Arbeitsregeln definiert werden.

Das erste Szenario beschreibt eine sehr restriktive Arbeitsumgebung mit wenig Gestaltungsspielraum. Die Pause ist zwischen der vierten und fünften Stunde der Arbeitszeit fixiert. Die zwei freien Tage müssen zusammenhängen und innerhalb eines Arbeitszeitmusters fangen die Schichten an jedem Arbeitstag jeweils in der gleichen Periode an. Im zweiten Szenario erhöht sich die Flexibilität, indem ein Pausenfenster der Länge drei eingeführt wird, d.h. die Pause kann nach der dritten, vierten oder fünften Arbeitsstunde beginnen. Die freien Tage der Arbeitnehmer müssen nicht notwendigerweise zusammenhängen. Die Schichtstartzeitpunkte einer Tour sowie die Pausenplatzierung sind nicht fixiert, vielmehr kann ein Arbeitnehmer an jedem Tag seines Arbeitszeitmusters seine Schicht und seine Pause in einer unterschiedlichen Periode beginnen.²²⁷ Die sich daraus ergebende Anzahl an Arbeitszeitmustern für die beschriebenen Szenarien sind der Tabelle 4.2 zu entnehmen.

	Shift Scheduling	Days Off Scheduling	Tour Scheduling
Szenario 1	4	7	28 (= 4 · 7)
Szenario 2	12	21	5 225 472 (= 12 ⁵ · 21)

Tabelle 4.2: Anzahl an Arbeitszeitmustern der Teilprobleme bei unterschiedlichen Szenarien

Aus der Tabelle wird der schnelle Anstieg der Anzahl der Arbeitszeitmuster bei einem geringen Zuwachs an Flexibilität ersichtlich. Während beim Shift und Days Off Scheduling das Anwachsen der Anzahl der Arbeitszeitmuster von Szenario 1 zu 2 moderat

²²⁷ Wegen der kurzen Öffnungszeit sind die Ruhepausen von aufeinanderfolgenden Arbeitstagen gewährleistet.

erscheint, ist es beim Tour Scheduling von 28 auf 5 225 472 immens. Kommen darüber hinaus Teilzeitarbeitnehmer zum Einsatz, die in kürzeren Schichten und/ oder an weniger Arbeitstagen in einer Woche arbeiten oder werden weitere Pausen hinzugefügt, lässt sich der enorme Anstieg der Anzahl an Arbeitszeitmustern leicht erahnen. Die Anzahl der möglichen Arbeitszeitmuster wächst aber insbesondere exponentiell mit der Anzahl der Perioden, so dass die Länge der Planungsperioden ebenfalls eine entscheidende Rolle spielt.²²⁸ Die Planungsperioden haben in der Regel eine Dauer von 15, 30 oder 60 Minuten. Beim Days Off Scheduling entsprechen sie der Länge einer Schicht. Kurze Planungsperioden erweisen sich im Vergleich zu längeren als überlegen, sofern die zugrunde liegende Kundennachfrage eine hohe Variation aufweist.²²⁹ Gleichzeitig ermöglichen sie, kurze Pausen wie beispielsweise eine 15-minütige Frühstückspause abzubilden. Viele Autoren, die sich mit dem Thema der Personaleinsatzplanung auseinandersetzen, weisen auf eine immense Anzahl von mehr als 2 Milliarden rechtlich möglichen Arbeitszeitmustern hin.²³⁰

Mit einer steigenden Anzahl von Arbeitszeitmustern die hinsichtlich der Arbeitsregeln unterschiedlich strukturiert sind, ist es zwar tendenziell möglich, die Überdeckung zu reduzieren. Die im Abschnitt 4.1.3.1 beschriebenen Schwierigkeiten bei der Lösung des Problems werden aber durch die enorme Anzahl an existierenden Arbeitszeitmustern erschwert. Aus diesem Grund sind die folgenden Fragestellungen genauer zu betrachten: Wie lässt sich die Anzahl an Variablen reduzieren und welche Implikationen hat deren Reduktion? Welche Möglichkeiten bestehen, Personaleinsatzplanungsprobleme effizient zu lösen? Diese Fragestellungen werden in den Abschnitten 4.1.4 bis 4.1.5 erörtert.

4.1.4 Ansätze zur Reduktion der Arbeitszeitmuster

Die Anzahl der rechtlich möglichen Arbeitszeitmuster übersteigt die Anzahl der eingesetzten Arbeitnehmer um ein Vielfaches. In der Regel kommt nur ein kleiner Prozentsatz der möglichen Arbeitszeitmuster zum Einsatz. Demnach gestaltet sich eine mengenmäßige Einschränkung der Arbeitszeitmuster bereits bei der Planung als zweckmäßig. Eine Reduzierung lässt sich anhand unterschiedlicher Ansätze durchführen. Einen Überblick über die Ansätze zur Reduzierung der Anzahl der Arbeitszeitmuster

²²⁸ Vgl. Haase (1999), S. 238.

²²⁹ Vgl. Thompson (1991).

²³⁰ Vgl. z.B. Brusco (1998), S. 835; Brusco/ Jacobs (1993a), S. 1193; Loucks/ Jacobs (1991), S. 721 oder Holloran/ Byrn (1986), S. 43.

liefert Abbildung 4.2. Eine Einschränkung lässt sich durch das Aufstellen von Arbeitsregeln erreichen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, eine Teilmenge der rechtlich zulässigen und/ oder erwünschten Arbeitszeitregeln zu betrachten, die hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien ausgewählt werden. Weiterhin ist es möglich, zunächst rechtliche Regelungen zu vernachlässigen und diese im Anschluss an die Lösung wieder hinzuzufügen. Die Ansätze zur Reduzierung der Anzahl an Arbeitszeitmustern können sowohl alternativ als auch in Kombination angewendet werden. Die möglichen Kombinationen werden durch gestrichelte Pfeile beschrieben. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, im Anschluss an das Aufstellen von Arbeitsregeln, Teilmengen von Arbeitszeitmustern zu generieren

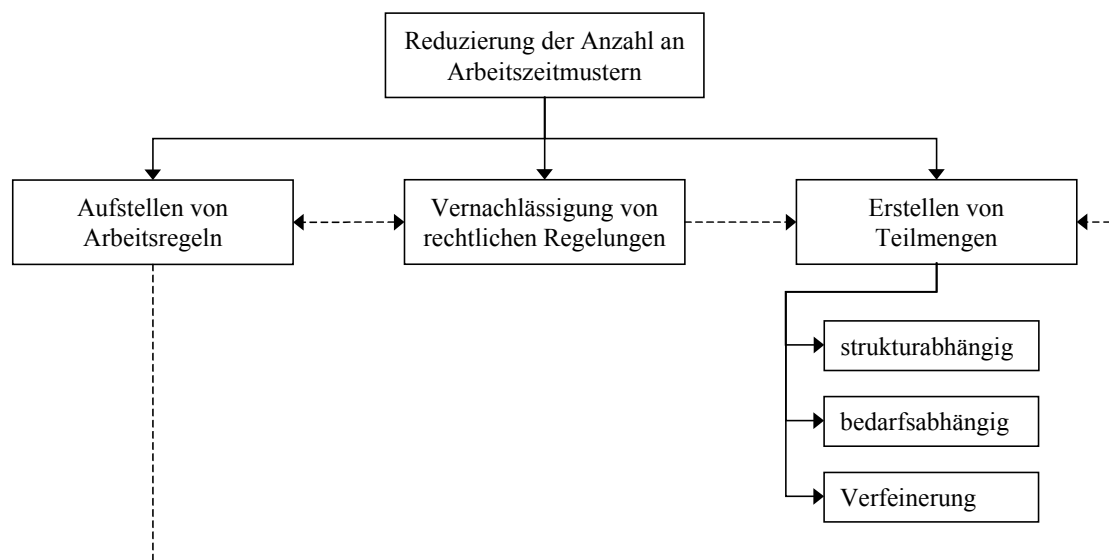


Abbildung 4.2: Ansätze zur Reduzierung der Anzahl an betrachteten Arbeitszeitmustern

Sofern sich die Anzahl der Arbeitszeitmuster durch das *Aufstellen von Arbeitsregeln* reduzieren lässt, werden nur diejenigen Arbeitszeitmuster generiert, die bestimmten vordefinierten Arbeitsregeln genügen. Beispielsweise können Arbeitszeitmuster generiert werden, die alle die gleiche Schichtlänge haben, deren Pause in der Mitte der Schicht stattfindet und deren freie Tage zusammenhängend sind. Alle Arbeitszeitmuster, die diesen Regeln nicht genügen, finden bei dem betrachteten Personaleinsatzplanungsproblem keine Berücksichtigung. Erfolgt das Aufstellen von Arbeitsregeln nicht aufgrund betrieblicher Erfordernisse, sind die Arbeitsregeln auszuwählen, die zwar die Anzahl der Variablen reduzieren, aber nicht zu einer wesentlichen Verschlechterung der jeweiligen Zielsetzung beitragen. Zur Unterstützung dieser Entscheidung lassen sich Untersuchungen heranziehen, die Aufschluss darüber geben, welche Auswirkungen eine mehr oder weniger flexible

Gestaltung der Arbeitszeit generell auf die Ziele der Personaleinsatzplanung hat. Dabei ist es sinnvoll, die Verbesserung des Zielfunktionswertes einer Arbeitsumgebung im Vergleich zu einer sehr restriktiven Arbeitsumgebung zu messen. Die Beschreibung einer restriktiven Arbeitsumgebung erfolgte beispielsweise im Szenario 1 des Abschnitts 4.1.3.2. Für diese Arbeitsumgebungen können – im Gegensatz zu einer Arbeitsumgebung mit einer großen Anzahl an Variablen – zumeist optimale Ergebnisse erzeugt werden. Somit ist gewährleistet, dass eventuelle Verbesserungen nicht auf die Anwendung einer bestimmten Heuristik, sondern auf die Änderung der Arbeitsumgebung zurückzuführen sind.

In zahlreichen Studien wurde festgestellt, dass sich die Kosten eines Einsatzplans durch den zusätzlichen Einsatz von Teilzeitarbeitnehmern, die eine geringere Stundenzahl pro Tag und/ oder weniger Tage pro Woche im Vergleich zu den Vollzeitarbeitnehmern arbeiten, erheblich vermindern lassen.²³¹ Eine geringere Schichtlänge ermöglicht, Bedarfsspitzen mit einem geringeren Ausmaß an Überdeckung zu bewältigen. Ebenso können durch die Verringerung der Anzahl der Arbeitstage in einer Woche Bedarfsschwankungen innerhalb der Wochentage besser ausgeglichen werden. Die Variation des Zeitpunktes, zu dem eine Pause in einer Schicht genommen wird, bringt ebenfalls signifikante Einsparungen mit sich.²³² Folglich trägt ein Zeitfenster, in dem eine Pause beginnen kann, dazu bei, die Anzahl eingeplanter Arbeitsstunden im Gegensatz zu einer fixierten Pause zu reduzieren. Allerdings ist die Verbesserung des Zielfunktionswertes bei der Flexibilisierung der Schichtlänge erheblich größer als bei der alleinigen Verbreiterung des Pausenfensters.²³³ Eine kombinierte Erhöhung der Länge des Pausenfensters und der Variation der Schichtlänge ergaben hingegen die größte Verminderung der eingeplanten Stunden. Brusco und Jacobs untersuchen den Einfluss der Auswahl und Anzahl der Schichtstartzeitpunkte auf den Zielfunktionswert.²³⁴ Sie zeigen, dass häufig mit einer kleinen Anzahl von Schichtstartzeitpunkten effiziente Lösungen erreichbar sind. Gleichwohl ist deren Auswahl kritisch. Ihre Ergebnisse lassen erkennen, dass eine schlechte Auswahl der Startzeitpunkte im schlimmsten Fall eine Verdopplung des Zielfunktions-

²³¹ Vgl. Jacobs/ Bechtold (1993), Mabert/ Showalter (1990), Bailey/ Field (1985) sowie Showalter/ Mabert (1988). Letztere zeigen, dass für verschiedene Arbeitsregeln bezüglich der Schichtlänge und der Anzahl an Arbeitstagen die gesamte Überdeckung zwischen 6% und 143% des notwendigen Bedarfs ausmachen kann.

²³² Vgl. Brusco/ Jacobs (1993a), Jacobs/ Bechtold (1993), Bechtold/ Jacobs (1990) und Bechtold/ Showalter (1987).

²³³ Vgl. Bechtold/ Jacobs (1991), S. 66 f.

²³⁴ Vgl. Brusco/ Jacobs (2001).

wertes im Vergleich zu einer guten Auswahl der Startzeitpunkte zur Folge hat. In einer weiteren Studie wurde festgestellt, dass der Zielfunktionswert kaum nennenswerte Verbesserungen bei der Untersuchung unterschiedlicher Restriktionen hinsichtlich der Kombination der freien Tage (zusammenhängend vs. nicht zusammenhängend) oder des Schichtbeginns an den Tagen in einer Tour (gleicher Schichtbeginn vs. unterschiedlicher Schichtbeginn) aufzeigt.²³⁵

Trotz des möglichen Verbesserungspotenzials beim Verzicht auf restriktive Arbeitsumgebungen, sind in der Literatur insbesondere beim Tour Scheduling sehr restriktive Arbeitsumgebungen entsprechend Szenario 1 vertreten.²³⁶ Die restriktive Handhabung von Arbeitsregeln reduziert zwar die Größe des Problems und erleichtert damit dessen Lösung, jedoch wird von vornherein eine hohe Gesamtüberdeckung in Kauf genommen, die durch geringe Zugeständnisse hinsichtlich der Flexibilität stark vermindert werden könnte.

Zusätzlich bzw. alternativ zum Aufstellen von Arbeitsregeln kann die Anzahl an Arbeitszeitmustern durch das *Erstellen von Teilmengen* reduziert werden. Das bedeutet, dass aus der Menge der rechtlich zulässigen oder der bereits durch Arbeitsregeln verminderten Menge der Arbeitszeitmuster anhand bestimmter Kriterien eine Teilmenge ausgewählt wird. Dabei wird unterstellt, dass eine gute Auswahl der Teilmenge die Fähigkeit erhält, eine kostengünstige Lösung mit geringem rechnerischen Aufwand zu erzeugen.

Die Auswahl der in die Teilmenge eingehenden Arbeitszeitmuster kann in unterschiedliche Kategorien eingeteilt werden:²³⁷

- strukturabhängig,
- bedarfsabhängig oder
- Verfeinerung.

Die Zusammenstellung einer *strukturabhängigen* Teilmenge an Arbeitszeitmustern bezieht bei der Auswahl lediglich die Struktur der Koeffizientenmatrix des Set Covering Modells ein. Hier werden beispielsweise sehr unterschiedliche Arbeitszeitmuster ausgewählt, die

²³⁵ Vgl. Jacobs/ Bechtold (1993).

²³⁶ Vgl. beispielsweise Brusco/ Jacobs (1993b), Vohra (1988), Bechtold/ Showalter (1985), Morris/ Showalter (1983) oder McGinnis/ Culver/ Deane (1978).

²³⁷ Vgl. Bechtold/ Brusco (1994a), S. 540 f.

eine möglichst große Differenz hinsichtlich der abgedeckten Perioden aufweisen.²³⁸ Die Ansätze dieser Kategorie sind unabhängig von der Personalbedarfsstruktur und eventuellen Änderungen des Bedarfs.

Eine *bedarfsabhängige* Teilmengenzusammenstellung der Arbeitszeitmuster basiert auf der Struktur des Personalbedarfsmusters. Es werden demnach die Arbeitszeitmuster ausgewählt, von denen angenommen wird, dass sie ein bestimmtes Personalbedarfsmuster gut abdecken. Beispielsweise kann iterativ dasjenige Arbeitszeitmuster ausgewählt werden, das den maximalen Restbedarf deckt.²³⁹ Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Elimination von redundanten Arbeitszeitmustern.²⁴⁰ Diese starten bzw. enden in Perioden, die einen Bedarf von null aufweisen. Im Anschluss an die Teilmengenzusammenstellung erfolgt die Lösung des Modells. Die Zusammenstellung der Arbeitszeitmuster muss jedoch einem sich ändernden Bedarfsmuster angepasst werden. Sofern die Auswahl der Arbeitszeitmuster einmalig erfolgt, kann es bei größeren Strukturänderungen problematisch werden, eine gute Lösung des Einsatzplanungsproblems zu erzielen.

Die Methode der *Verfeinerung* beginnt mit einer unabhängig zusammengestellten Teilmenge an Arbeitszeitmustern, die im weiteren Verlauf iterativ verfeinert wird. Die Spaltengenerierung ist dieser Kategorie zuzuordnen. Bei der Spaltengenerierung wird die Teilmenge der Arbeitszeitmuster iterativ um das Arbeitszeitmuster erweitert, das den Zielfunktionswert (des relaxierten Modells) am meisten verbessert. Diese Methode gestaltet sich im Vergleich zu den erstgenannten Kategorien insbesondere dann als vorteilhaft, wenn die Anzahl der erwünschten Arbeitszeitmuster sehr groß ist, denn bei der Spaltengenerierung werden nicht alle erwünschten Arbeitszeitmuster explizit generiert. Vielmehr können Spalten rekursiv konstruiert werden, indem lediglich die Arbeitszeitmuster betrachtet werden, die nichtnegative Dualwerte haben.²⁴¹ Die so generierte Teilmenge an Arbeitszeitmustern muss nicht notwendigerweise die Arbeitszeitmuster des

²³⁸ Siehe z.B. Henderson/ Berry (1976). Sie wählen diejenigen Schichten aus, die die größte Differenz hinsichtlich der abgedeckten Perioden aufweisen. Weitere Auswahlkriterien erarbeiten Bechtold/ Brusco (1994a).

²³⁹ Vgl. Bechtold/ Brusco (1994a), S. 546. Dieses Prinzip wird im Abschnitt 4.1.5.3.1 genau erläutert. Weitere Ansätze dieser Kategorie sind in Mabert/ Watts (1982) und McGinnis/ Culver/ Deane (1978) beschrieben.

²⁴⁰ Vgl. Brusco/ Jacobs (1998).

²⁴¹ Haase generiert die Spalten mit Hilfe eines Label-Algorithmus. Vgl. Haase (2000). Easton und Rossin implementieren das Spaltengenerierungsproblem mit einem dynamischen Programm. Vgl. Easton und Rossin (1991a).

globalen Optimums für das ursprüngliche Problem enthalten. Easton und Rossin zeigen, dass die Kosten der Personaleinsatzplanungsprobleme, in die diejenigen Arbeitszeitmuster eingehen, die mit Hilfe der Methode der Spaltengenerierung erzeugt wurden, statistisch identisch zu denjenigen sind, die mit allen zulässigen Arbeitszeitmustern gelöst wurden.²⁴²

Ein Vergleich verschiedener teilmengenbasierter Lösungen des Tour Scheduling Problems für unterschiedliche Testprobleme und Arbeitsumgebungen wird von Bechtold und Brusco durchgeführt.²⁴³ Sie untersuchen verschiedene struktur- und bedarfsabhängige Teilmengenzusammenstellungen, die zwischen 6 % und 30 % aller möglichen Arbeitszeitmuster beinhalten. Die Ergebnisse zeigen, dass die beste nachfragebasierte bzw. strukturabhängige Auswahlmethode 86 % der Testprobleme bzw. alle optimal lösen konnte. Ein Vergleich mit den Verfahren der Spaltengenerierung des relaxierten Problems fand nicht statt. Tendenziell lässt sich die Aussage treffen, dass bei der Zunahme der Mächtigkeit der Teilmenge die Ergebnisse weniger vom globalen Optimum abweichen und die Wahrscheinlichkeit, optimale Lösungen mit Hilfe der Teilmenge zu erzeugen, zunimmt.²⁴⁴

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Anzahl der Arbeitszeitmuster besteht in der *Vernachlässigung rechtlicher Regelungen*. So können beispielsweise beim Shift oder Tour Scheduling zunächst Pausen innerhalb einer Schicht vernachlässigt werden. Hierdurch sinkt die Anzahl der Arbeitszeitmuster. Die Pausen werden nach der Lösung des Modells gesetzt.²⁴⁵

Pauschal lässt sich die Frage nach der Größe der Teilmenge, die zum Erhalt einer möglichst guten Lösung in ein spezielles Personaleinsatzplanungsproblem eingehen muss, nicht beantworten. Einerseits gilt für die Beziehung zwischen dem Zielfunktionswert eines Personaleinsatzplanungsproblems und der Anzahl möglicher Arbeitszeitmuster das Gesetz des abnehmenden Grenznutzens.²⁴⁶ Demnach ist es für viele Lösungsansätze sinnvoll, die Anzahl der Arbeitszeitmuster zu begrenzen. Andererseits sollte man im Rahmen der Begrenzung auf sehr restriktive Arbeitsregeln verzichten. Vielmehr ist es sinnvoll, auf die Zusammenstellung von möglichst unterschiedlichen Arbeitszeitmustern zu achten, um eine große Flexibilität beim Einsatz des Personals zu erhalten. Dennoch erfolgt häufig die

²⁴² Vgl. Easton/ Rossin (1991a).

²⁴³ Vgl. Bechtold/ Brusco (1995) und (1994a).

²⁴⁴ Vgl. Bechtold/ Brusco (1994a) und (1995), Henderson/ Berry (1977) sowie Mabert/ Watts (1982).

²⁴⁵ Dies wurde beispielsweise von Segal durchgeführt. Vgl. Segal (1974).

²⁴⁶ Vgl. Li/ Robinson/ Mabert (1991), Showalter/ Mabert (1988) und Mabert/ Watts (1982).

Aufstellung restriktiver Arbeitsregeln, um die Güte eines Lösungsalgorithmus im Vergleich zur optimalen Lösung zu zeigen.

Unabhängig davon, ob und welche Ansätze zur Reduzierung der Arbeitszeitmuster zur Anwendung kommen, lassen sich nach der Zusammenstellung der Arbeitszeitmuster unterschiedliche Lösungsverfahren einsetzen. Diese werden im Folgenden beschrieben.

4.1.5 Lösungsverfahren

Die in der Literatur dargestellten Lösungsverfahren des Days Off Scheduling unterscheiden sich von denen des Shift und Tour Scheduling. Dies resultiert aus der Tatsache, dass die Anzahl der Arbeitszeitmuster beim Days Off Scheduling selbst bei einer zugrunde gelegten sehr flexiblen Arbeitsumgebung im Vergleich zu den anderen beiden Problemen gering ist. Darüber hinaus wird der Bedarf pro Schicht vorgegeben, so dass die Bedarfsstruktur nicht so detailliert und demnach die Anzahl der zu berücksichtigenden Perioden wesentlich geringer ist. Die Berechnung der Anzahl der benötigten Arbeitnehmer erfolgt beim Days Off Scheduling zumeist anhand eines kombinatorischen Ansatzes.²⁴⁷ Für jede aufgestellte Arbeitsregel bezüglich der freien Tage wird unter Berücksichtigung des Bedarfs eine Lower Bound berechnet, welche die minimal zulässige Anzahl an Arbeitnehmern zur Einhaltung dieser Regel bestimmt. Das Maximum aller erstellten Lower Bounds beschreibt die minimal benötigte Anzahl an Arbeitnehmern. Um zu zeigen, dass die berechnete Anzahl nicht nur notwendig, sondern auch hinreichend ist, präsentieren einige Autoren einen Algorithmus, der die berechnete Anzahl an Arbeitnehmern unter Berücksichtigung der Arbeitsregeln einplant.²⁴⁸ Weiterhin existieren Reformulierungen des Modells als Netzwerkflussproblem²⁴⁹ oder es werden alternative Formulierungen des Integer Program²⁵⁰ vorgestellt.

In dem in Kapitel 5 vorgeschlagenen Modell der Personalbestands- und aggregierten Personaleinsatzplanung wird eine Formulierung angewendet, welche die freien Tage eines

²⁴⁷ Vgl. Burns/ Narasimhan/ Smith (1998), Narasimhan (1996), Hung (1994), Hung/ Emmons (1993), Emmons/ Burns (1991), Burns/ Carter (1985), Emmons (1985), Baker/ Magazine (1977), Brownell/ Lowerre (1976), Baker (1974b) oder Tibrewala/ Philippe/ Brown (1972).

²⁴⁸ Vgl. beispielsweise Burns/ Narasimhan/ Smith (1998), Emmons (1985), Brownell/ Lowerre (1976) oder Baker (1974). Die Ergebnisse einiger Autoren sind nicht nur notwendig, sondern auch hinreichend, so dass kein Einsatzplan zum Beweis der Minimalität aufzustellen ist. Vgl. Hung (1994) und Burns/ Carter (1985).

²⁴⁹ Vgl. Balakrishnan/ Wong (1990), Koop (1988), Bartholdi/ Orlin/ Ratliff (1980) und Bartholdi/ Ratliff (1978).

²⁵⁰ Vgl. Alfares (2003), Billionnet (1999) und Bechtold (1988).

Arbeitnehmers automatisch sicherstellt, so dass die Problemstellung des Days Off Scheduling für den in dieser Arbeit verfolgten Ansatz nicht weiter relevant ist. Aus diesem Grund stehen die Verfahren und Modellierungsansätze des Shift und Tour Scheduling im Mittelpunkt der folgenden Betrachtung.

Shift und Tour Scheduling unterscheiden sich nicht wesentlich in ihrer Struktur. Zwar ist die Anzahl der Perioden, in denen eine Bedarfsdeckung erforderlich ist (und somit der Länge der Arbeitszeitmuster) sowie die jeweilige Anzahl und Struktur der dazugehörigen Arbeitszeitmuster verschieden, die Lösungsmethoden können jedoch zumeist mit geringfügigen Modifikationen auf die jeweils andere Problemstellung angewendet werden. Demzufolge werden in den nächsten Abschnitten die Lösungsverfahren nicht getrennt nach den beiden Problemstellungen dargestellt, sondern vielmehr nach dem verwendeten Verfahren.

4.1.5.1 Einordnung der Lösungsverfahren

Sofern keine weiteren Restriktionen als die in Dantzig's Modell *DSCM* beschriebenen Bedarfsdeckungsrestriktionen sowie die Ganzzahligkeitsbedingungen vorhanden sind, ist das Auffinden einer zulässigen Lösung einfach. Eine Lösung erhält man z.B. durch die Relaxierung der Ganzzahligkeitsbedingungen und anschließender Aufrundung der fraktionellen Lösungswerte des Linearen Programms (LP). Somit geht es im Rahmen der Personaleinsatzplanung nicht darum, eine zulässige Lösung zu erhalten, vielmehr soll eine optimale oder zumindest möglichst gute Lösung gefunden werden. Gans et al. betrachten die Aufrundung des relaxierten Problems für große Call Center mit 1000 Agenten, bei denen 50 Arbeitszeitmuster für die Einsatzplanung einer Woche zugelassen werden.²⁵¹ Die Aufrundung der Anzahl der eingesetzten Agenten bei den untersuchten Testinstanzen des LP-Ergebnisses ergibt, dass zwischen 0 und 50 zusätzliche Agenten eingesetzt werden. Das bedeutet, dass dieses Ergebnis zwischen 0% bis 5% schlechter als das Ergebnis der LP-Lösung ist. Demnach ist es möglich, dass eine generelle Aufrundung der Lösung des relaxierten Problems bei Unternehmen mit einer großen Anzahl an Mitarbeitern und einer vergleichsweise geringen Anzahl an Arbeitszeitmustern zu guten bis optimalen Ergebnissen führt. Bei kleinen Unternehmen hingegen ist diese Situation nicht gegeben, so dass die gerundete Lösung möglicherweise sehr weit von einer optimalen Lösung entfernt ist und demnach verbessert werden muss. Insbesondere übersteigt bei kleinen Call Centern

²⁵¹ Vgl. Gans/ Koole/ Mandelbaum (2003), S. 109.

die Anzahl der möglichen Arbeitszeitmuster die Anzahl der Agenten, so dass eine generelle Aufrundung der LP-Lösung zu einer Lösung führen kann, die nicht umsetzbar ist, da die Anzahl der Agenten unzulässig ist. Demnach müssen Lösungsverfahren bzw. Lösungsansätze entsprechend der jeweiligen Unternehmenssituation ausgewählt werden. Die Begriffe Lösungsansatz und Lösungsverfahren werden in dieser Arbeit synonym verwendet.

Die zur Verfügung stehenden Lösungsverfahren des betrachteten Set Covering Problems lassen sich generell in exakte und heuristische Verfahren einteilen. Letztere werden auch als Heuristiken bezeichnet. Exakte Verfahren garantieren eine optimale und zulässige Lösung. Heuristiken basieren auf Regeln, die für eine bestimmte Problemstruktur als sinnvoll und erfolgversprechend angesehen werden. Dabei können Heuristiken weder eine optimale noch eine zulässige Lösung garantieren.²⁵² Zumeist liefern sie jedoch mit vertretbarem Rechenaufwand eine gute bis sehr gute zulässige Lösung. Wie gut die gefundene Lösung einer Heuristik ist, lässt sich allerdings nur im Vergleich zur optimalen Lösung ermitteln, die über ein exaktes Verfahren bestimmt werden müsste. Die Güte einer Heuristik lässt sich demnach entweder nur im Vergleich für kleine, exakt lösbare Probleme demonstrieren oder die Gegenüberstellung wird mit der bisherigen besten Lösung eines Problems durchgeführt. Alternativ besteht die Möglichkeit, die Ganzzahligkeitslücke zu betrachten, d.h. die relative Abweichung der besten gefundenen ganzzahligen Lösung zu der optimalen Lösung des relaxierten Problems. Zu diesem Zweck werden häufig Testprobleme herangezogen, die unterschiedliche Personalbedarfsmuster beinhalten. Diese unterscheiden sich hinsichtlich des durchschnittlichen Bedarfs, der Amplitude des Bedarfs, der zugrunde gelegten Form des Bedarfs sowie der Fluktuation des Bedarfs zwischen einzelnen Perioden.

Die Lösungsverfahren für das Personaleinsatzplanungsproblem lassen sich entsprechend der Abbildung 4.3 kategorisieren. Zunächst können die Lösungsverfahren in exakte und heuristische Verfahren unterteilt werden. Die in den Veröffentlichungen beschriebenen *exakten Verfahren* basieren auf Integer Programming (IP) Methoden mit Standardsolvern, auf Schnittebenenverfahren, auf der Anwendung einer Netzwerkflussformulierung sowie dem Branch-and-Price Ansatz. *Heuristische Lösungsverfahren* lassen sich in konstruktive

²⁵² Vgl. Reeves (1996), S. 5.

(Eröffnungs-) und iterative Verfahren unterteilen.²⁵³ Bei *konstruktiven Verfahren* werden stufenweise Variablen ausgewählt, denen ein Wert zugewiesen wird, bis eine zulässige Lösung erreicht ist. Darüber hinaus wird zumeist angestrebt, eine möglichst gute Zielerreichung der Lösung zu erlangen. Die meisten konstruktiven Verfahren dienen als Startlösung eines iterativen Verfahrens. Aus diesem Grunde werden die Ergebnisse von konstruktiven Verfahren nur in seltenen Fällen in die Realität umgesetzt. *Iterative Verfahren* hingegen bauen auf einer bzw. mehreren bereits zulässigen Lösungen des Problems auf, die zumeist durch ein konstruktives Verfahren oder durch eine Rundung des LP-Ergebnisses erzielt wurden. Basierend auf einer oder mehreren erzeugten Lösungen, streben iterative Verfahren die Verbesserung der Lösung durch Nachbarschaftssuche an. Nachbarn stellen in diesem Zusammenhang neue Lösungen dar, die durch Operationen auf bereits vorhandenen Lösungen erzeugt werden. Iterative Verfahren beinhalten LP-basierte Heuristiken, Dekompositionsansätze sowie Metaheuristiken.

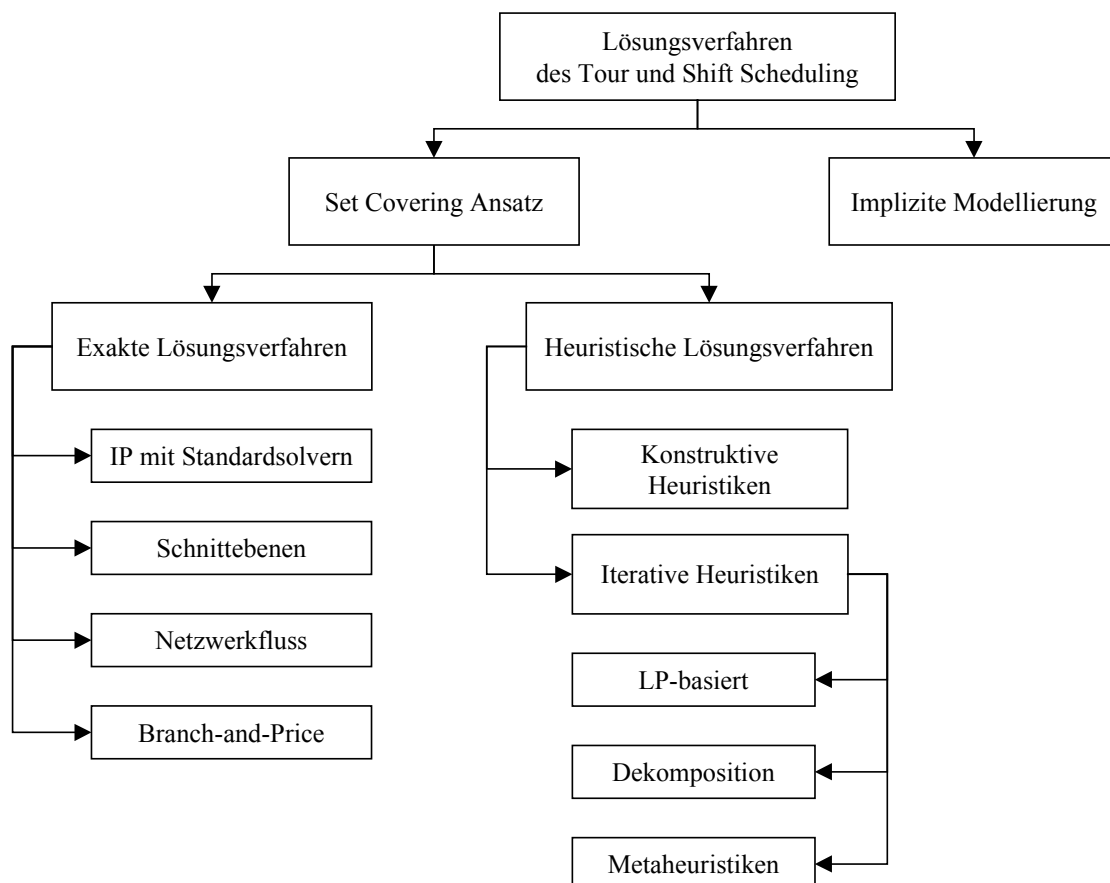


Abbildung 4.3: Einteilung der Lösungsverfahren des Shift und Tour Scheduling

²⁵³ Vgl. Müller-Merbach (1976), S. 72 und Müller-Merbach (1973), S. 292.

Die implizite Modellierung beschreibt eine Reformulierung der Set Covering Formulierung, bei der nicht jedes erwünschte Arbeitszeitmuster explizit durch eine Variable beschrieben wird. Vielmehr erfolgt die Vorgabe temporaler Rahmengrößen wie beispielsweise Schichtbeginn und Schichtende. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Anzahl der Variablen erheblich zu reduzieren und somit die Lösung des Modells zu vereinfachen.

Die folgenden Abschnitte 4.1.5.2 bis 4.1.5.4 beschreiben die veröffentlichten Lösungsverfahren. Einzelne Veröffentlichungen können mehreren Kategorien zugeordnet werden, da in diesen Artikeln mehrere alternative Lösungsverfahren vorgeschlagen bzw. miteinander kombiniert werden. Letzteres gilt insbesondere für konstruktive Heuristiken und Dekompositionsverfahren, so dass diese Verfahren in einem gemeinsamen Abschnitt vorgestellt werden.

4.1.5.2 Exakte Verfahren

Bei der Lösung der Formulierung des Problems als Set Covering Modell zeigen Integer Programming Methoden nur geringen Erfolg. In zahlreichen Studien wurde gezeigt, dass heuristische Methoden häufig effektiver sind als kommerzielle Branch-and-Bound Integer Programming Codes.²⁵⁴ Kleine Probleme mit einer geringen Anzahl an Variablen können zumeist optimal gelöst werden. Mabert und Watts betrachten eine Arbeitsumgebung im Tour Scheduling mit 119 möglichen Touren für Teilzeitarbeitnehmer, bei denen keine Pausen innerhalb einer Schicht berücksichtigt werden.²⁵⁵ Für diese Anzahl an Arbeitszeitmustern kann das Problem ebenso optimal gelöst werden wie für kleinere Teilprobleme, denen eine Teilmengenbildung von bis zu 30 Arbeitszeitmustern zugrunde liegt.

Henderson und Berry lösen das Shift Scheduling Problem für Vollzeitarbeitnehmer mit bis zu 100 Schichten und 72 Restriktionen mit Hilfe von ganzzahligen Schnittebenen optimal.²⁵⁶ Sie lösen zunächst das relaxierte Problem, das die Anzahl der Arbeitnehmer minimiert, und fügen im Anschluss daran dem ganzzahligen Problem eine Restriktion hinzu. Diese besagt, dass die Summe der Schichten der aufgerundeten Anzahl an summierten Schichten des relaxierten Problems entspricht. Sofern das erweiterte ganzzahlige Problem eine Lösung mit dieser Anzahl an Schichten findet, ist das Problem

²⁵⁴ Vgl. Brusco/ Jacobs (1993a) und Easton/ Rossin (1991a, b).

²⁵⁵ Vgl. Mabert/ Watts (1982).

²⁵⁶ Vgl. Henderson/ Berry (1977), S. 243 f.

optimal gelöst, andernfalls wird die Anzahl an Schichten um eine erhöht. Morris und Showalter wenden dieses Verfahren ebenfalls für Shift Scheduling Probleme in einer restriktiven Arbeitsumgebung mit 24 Schichten an und berichten gleichfalls optimale Lösungen.²⁵⁷

Insbesondere die Dual All-Integer Cutting Planes von Gomory²⁵⁸ sind sehr effektiv beim Lösen kleiner Personaleinsatzplanungsprobleme. Bechtold und Brusco lösen in ihrer Vergleichsstudie 36 Tour Scheduling Testprobleme mit 168 ganzzahligen Variablen und 112 Bedarfsrestriktionen mit den GOMORY Optionen in dem Multi-Purpose Optimization System optimal.²⁵⁹ In ihrer restriktiven Arbeitsumgebung existiert eine Schichtlänge mit einer fixen Pause. Der Schichtstartzeitpunkt innerhalb einer Tour ist an den fünf nicht notwendigerweise zusammenhängenden Arbeitstagen identisch. Mit dem gleichen Verfahren wurden auch in anderen Veröffentlichungen für Testprobleme mit 112 Restriktionen und bis zu 168 Variablen optimale Ergebnisse erzielt.²⁶⁰ Brusco und Jacobs lösen eine große Anzahl von Shift Scheduling Problemen mittels der dualen Schnittebenen von Gomory für eine sehr geringe – nicht näher definierte – Anzahl von Arbeitszeitmustern optimal.²⁶¹

Brusco setzt eine abgewandelte Methode von Gomory's Dual All-Integer Cutting Planes bei Problemen mit einem höheren Grad an Flexibilität ein.²⁶² Während er fordert, dass die freien Tage zusammenhängend sein müssen, werden Schichtlängen von acht und vier Stunden eingeführt und die Pausenzeiten flexibilisiert. Er löst 36 Testprobleme mit unterschiedlichen Arbeitsumgebungen mit bis zu 112 Restriktionen und 203 Arbeitszeitmustern. Alle Testprobleme können mit dem Schnittebenenverfahren optimal gelöst werden. Die überwiegende Mehrzahl der optimalen Lösungen wurden in weniger als 10 CPU Sekunden gefunden, während ein Branch-and-Bound Integer Programming Code, der in LINDO (Version 5.3) implementiert wurde, nach einer Anzahl von 100 000 Iterationen abbrach und für nur 1% der Testprobleme die Optimalität der Lösung beweisen

²⁵⁷ Vgl. Morris/ Showalter (1983).

²⁵⁸ Vgl. Gomory (1963).

²⁵⁹ Vgl. Bechtold/ Brusco (1994a). Sie untersuchen für unterschiedliche Methoden der Teilmengenbildungen und verschiedene mächtige Teilmengen die prozentuale Abweichung der Lösung vom globalen Optimum. Zum Multi-Purpose Optimization System vgl. Cohen/ Stein (1978).

²⁶⁰ Vgl. Bechtold/ Brusco/ Showalter (1991), Brusco/ Johns (1995b) und Bechtold/ Brusco (1994a).

²⁶¹ Vgl. Brusco/ Jacobs (2001).

²⁶² Vgl. Brusco (1998).

konnte. Dieser Vergleich zeigt das Potenzial zur effektiven Lösung von Personaleinsatzplanungsproblemen, das in den Schnittebenenverfahren steckt. Es bleibt zu überprüfen, ob sich das gute Abschneiden bei Problemen, die eine größere Flexibilität berücksichtigen, wiederholt. Die Schnittebenenverfahren lassen sich beispielsweise mit der Bildung von Teilmengen kombinieren oder mit der im Abschnitt 4.1.5.4 beschriebenen Methode der impliziten Modellierung.

Segal verwendet einen zweistufigen Dekompositionsansatz zur Lösung des Shift Scheduling, bei dem zunächst auf die Einplanung der Pausen verzichtet wird.²⁶³ In der ersten Stufe wird ein Netzwerkflussmodell aufgestellt, das keine Pausen berücksichtigt. Die vorläufige Missachtung der Pausen hat – wie bereits beschrieben – den Vorteil, dass eine ganzzahlige Lösung des Netzwerkflussproblems garantiert wird, solange der zu befriedigende Bedarf ganzzahlig ist. Im Anschluss an die Lösung des Shift Scheduling Problems ohne Pausenberücksichtigung werden in der zweiten Stufe die Pausen eingeplant. Dies geschieht zunächst in den Perioden, in denen ein Überschuss an Personal vorhanden ist und gleichzeitig eine Pause in einer bestimmten Schicht zugelassen wird. Sofern nicht alle Pausen eingeplant werden können, ist es notwendig, zusätzliche Arbeitnehmer für die Befriedigung der Pausen hinzuzunehmen. Die von Segal vorgeschlagene Netzwerktechnik verwendet Ashley erfolgreich in einer Tabellenkalkulation in Verbindung mit einem LP-Optimierer.²⁶⁴

Love und Hoey verwenden ebenfalls einen zweistufigen Dekompositionsansatz und lösen ein Tour Scheduling Problem mit Hilfe von zwei Netzwerkflussproblemen.²⁶⁵ Dabei berücksichtigen sie sowohl Vollzeit- als auch Teilzeitarbeitnehmer mit unterschiedlichen Qualifikationen, zeitlicher Verfügbarkeit und örtlichen Präferenzen. Das erste Netzwerkflussproblem bestimmt unter der Zielsetzung der Überdeckungsminimierung die Anzahl der Arbeitnehmer je Schicht, wobei Pausen vernachlässigt werden. Beim zweiten Netzwerkfluss erfolgt die Zuordnung der Arbeitnehmer zu den Schichten, die aus dem Ergebnis des Shift Scheduling resultieren.

²⁶³ Vgl. Segal (1974).

²⁶⁴ Vgl. Ashley (1995). Er verwendet den linear Programming Optimizer What's Best! von Lotus 123.

²⁶⁵ Vgl. Love/ Hoey (1990).

Mehrotra et al. benutzen einen Branch-and-Price Ansatz zur Lösung von Shift Scheduling Problemen mit mehreren Pausen und Pausenfenstern.²⁶⁶ Sie betrachten die möglichen Arbeitszeitmuster implizit. Über die Methode der Spaltengenerierung wird das Arbeitszeitmuster aus der Menge der erwünschten Arbeitszeitmuster generiert, das die positive Differenz zwischen der Summe der Dualwerte der Arbeitsperioden und den Arbeitskosten der Schicht maximiert, d.h. den Zielfunktionswert am meisten verbessert. Darüber hinaus beschreiben sie mehrere alternative Branchingstrategien, um ganzzahlige Lösungen zu erreichen. Die Branchingstrategien beziehen sich etwa auf die Perioden, in denen die Bedarfsdeckung fraktionell ist oder die Kombination von zwei Perioden, die von unterschiedlichen Schichten abgedeckt werden können. Einige der beschriebenen Branchingregeln erweisen sich als ausreichend, um optimale Ergebnisse zu erzeugen. Mit diesem Ansatz konnten Shift Scheduling Probleme mit bis zu 86 400 Schichten optimal gelöst werden. Der prozentuale Anteil der generierten Arbeitszeitmuster verglichen mit den zugrunde gelegten erwünschten Arbeitszeitmustern war um so geringer, je größer die Anzahl der erwünschten Arbeitszeitmuster war. Mehrotra et al. vergleichen ihren Ansatz für 365 Testprobleme mit dem Ansatz der impliziten Modellierung von Aykin.²⁶⁷ Sie sind in der Lage, einen größeren Prozentsatz an Problemen optimal zu lösen als der Ansatz der impliziten Modellierung. Die Lösungszeit ihres Ansatzes ist bei vielen Problemen denen alternativer Ansätze überlegen. Der Branch-and-Price Ansatz wurde bisher noch nicht auf die Probleme des Tour Scheduling übertragen.

4.1.5.3 Heuristische Lösungsverfahren des Set Covering Ansatzes

4.1.5.3.1 Grundlegende Prinzipien der Heuristiken

Bevor die Heuristiken im Einzelnen betrachtet werden, findet eine Darstellung der generellen Lösungsprinzipien der Heuristiken statt. Unterschiedliche Heuristiken greifen auf die iterative Zuordnung eines Arbeitnehmers zu einem Arbeitszeitmuster zurück. Die iterative Auswahl einzelner Arbeitszeitmuster, denen ein (zusätzlicher) Arbeitnehmer zugeordnet wird, erfolgt so lange bis eine zulässige Lösung entsteht, d.h. bis der Bedarf gedeckt ist und die zugeordnete Anzahl an Arbeitnehmern ganzzahlig ist. Darüber hinaus existieren Heuristiken, die zur Verbesserung von bereits zulässigen Lösungen, zunächst Arbeitnehmerzuordnungen reduzieren, um im Anschluss daran durch erneutes Hinzufügen

²⁶⁶ Vgl. Mehrotra/ Murphy/ Trick (2000).

²⁶⁷ Vgl. Aykin (1996). Abschnitt 4.1.5.4 widmet sich diesem Ansatz.

von anderen Arbeitszeitmustern alternative Lösungen zu erzeugen. Die Mehrzahl der Heuristiken basiert auf einem der folgenden Prinzipien:

- die maximale Reduzierung eines Unterdeckungskriteriums,
- die Befriedigung eines Randbedarfs sowie
- die maximale Reduzierung eines Überdeckungskriteriums.

Das Auswahlkriterium der *maximalen Reduktion der Unterdeckung* wird für das iterative Hinzufügen von Arbeitszeitmustern verwendet. Es basiert auf der noch vorhandenen Unterdeckung des Bedarfs in den einzelnen Perioden. In einigen Ansätzen wird darüber hinaus die Überdeckung miteinbezogen. Damit soll erreicht werden, sowohl die Bedarfsdeckung zu gewährleisten als auch die Überdeckung so gering wie möglich zu halten. Die Heuristiken weisen schrittweise dem Arbeitszeitmuster einen zusätzlichen Arbeitnehmer zu, das ein ausgewähltes Unterdeckungskriterium maximal reduziert. Anhand der unterschiedlichen Unterdeckungskriterien wird versucht, die Verletzung der Bedarfsdeckung bestmöglich zu reduzieren. Nach der Berechnung des resultierenden Restbedarfs, der sich aus der bisherigen Zuordnung ergibt, findet das Kriterium bei der Auswahl des folgenden Arbeitszeitmusters erneut Anwendung. Der Prozess der Zuordnung eines Arbeitszeitmusters und der Aktualisierung des Restbedarfs wiederholt sich so lange, bis alle Bedarfsdeckungsrestriktionen erfüllt sind. Sofern das auszuwählende Arbeitszeitmuster anhand des Kriteriums nicht eindeutig bestimmt werden kann, besteht die Möglichkeit, entweder ein sekundäres Kriterium hinzuzuziehen oder ein Arbeitszeitmuster zufällig auszuwählen. Das Kriterium der maximalen Reduktion der Unterdeckung wird in unterschiedlichen Variationen in vielen Veröffentlichungen herangezogen. Eine Übersicht gibt die folgende Tabelle 4.3. Die Übersicht schließt auch die Ansätze ein, die anhand der Unterdeckung bedarfsabhängige Teilmengen an Arbeitszeitmustern bilden.

Dabei entspricht E_t den bereits eingesetzten Arbeitnehmern in Periode t , d.h.

$$E_t = \sum_{s \in S} a_{st} \cdot y_s. \quad (4.17)$$

r_t und ue_t geben an, ob ein Restbedarf bzw. eine Überdeckung des Bedarfs in Periode t vorhanden ist oder nicht.

$$r_t = \begin{cases} 1, & \text{falls } B_t > E_t \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad \text{sowie} \quad ue_t = \begin{cases} 1, & \text{falls } E_t > B_t \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases} \quad (4.18)$$

Auswahl des Arbeitszeitmusters s , das...	Berechnung	Vertreter des Auswahlkriteriums
die maximal existierende Unterdeckung einer Arbeitsperiode reduziert.	$MU_s = \max_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} ((B_t - E_t) \cdot r_t)$	Bechtold/ Showalter (1985) und (1987), Morris/ Showalter (1983), Showalter/ Mabert (1988), Thompson (1996)
die Anzahl an Perioden, die den maximalen Restbedarf überdecken, maximiert.	$AMR_s = \sum_{\{t \in \arg \max_{t \in T} ((B_t - E_t) \cdot r_t)\}} a_{s,t}$	Bechtold/ Brusco (1994a) (Methode DDM)
die quadrierte Unterdeckung seiner Arbeitsperioden maximiert.	$MQU_s = \sum_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} (B_t - E_t)^2 \cdot r_t$	Brusco/ Jacobs (2001)
die summierte Unterdeckung seiner Arbeitsperioden maximiert.	$SU_s = \sum_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} (B_t - E_t) \cdot r_t$	Keith (1979), Brusco/ Jacobs (1993a,b), Taxlor/ Huxley (1989)
die summierte Unterdeckung seiner Arbeitsperioden bezogen auf die Kosten des Arbeitszeitmusters maximiert.	$SUK_s = SU_s / c_s$	Li/ Robinson/ Mabert (1991)
die durchschnittliche Unterdeckung seiner Arbeitsperioden maximiert.	$DU_s = SU_s / \sum_{t \in T} a_{s,t}$	Showalter/ Mabert (1988), Li/ Robinson/ Mabert (1991), Thompson (1996)
die quadrierte durchschnittliche Unterdeckung seiner Arbeitsperioden maximiert.	$QDU_s = MQU_s / \sum_{t \in T} a_{s,t}$	Brusco/ Jacobs (1995), Keith (1979)
die mit der Schichtlänge gewichtete Abweichung zwischen Einsatz und Bedarf maximiert.	$GA_s = \sum_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} B_t - E_t \cdot \frac{\left(\max_{s \in S} \sum_{t \in T} a_{s,t} \right)}{\sum_{t \in T} a_{s,t}}$	Buffa/ Cosgrove/ Luce (1976)
die summierte quadratische Unterdeckung vermindert um die summierte quadratische Überdeckung der Arbeitsperioden maximiert.	$SQA_s = \sum_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} (B_t - E_t)^2 \cdot (-1)^{ue_t}$	McGinnis/ Culver/ Deane (1978) (local need)
das quadrierte Verhältnis von eingeplanten Arbeitsstunden und Bedarf seiner Arbeitsperioden maximiert.	$QV_s = \sum_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} \left(1 - \frac{E_t}{B_t} \right)^2 \cdot (-1)^{ue_t}$	McGinnis/ Culver/ Deane (1978) (modified Luce Index)

Tabelle 4.3: Kriterien zum Hinzufügen von Arbeitszeitmustern anhand eines Unterdeckungskriteriums

Die Kriterien MU_s und AMR_s überprüfen, ob das Arbeitszeitmuster s die maximal existierende Unterdeckung reduziert. Während MU_s kontrolliert, ob im Arbeitszeitmuster s in der Periode mit der maximalen Unterdeckung gearbeitet werden muss, bezieht sich AMR_s auf deren Anzahl. Die Kriterien MQU_s und SU_s legen die quadrierte bzw. summierte Unterdeckung der Arbeitsperioden eines Arbeitszeitmusters s zugrunde. Die summierte Unterdeckung wird beim Kriterium SUK_s auf die Kosten und bei DU_s auf die Anzahl der Arbeitsperioden des Arbeitszeitmusters s bezogen. QDU_s berechnet die quadrierte durchschnittliche Unterdeckung der Arbeitsperioden des Arbeitszeitmusters s . Die Kriterien GA_s , SQA_s und QV_s beziehen neben der Unterdeckung die mögliche Überdeckung des Bedarfs in ihre Entscheidung mit ein, indem sie die Abweichung des Einsatzes vom Bedarf bzw. dessen Verhältnis quadrieren oder dessen betragsmäßige Abweichung zugrunde legen.

Eine Bewertung der einzelnen Unterdeckungskriterien hinsichtlich der Güte der erhaltenen Lösungen ist kaum möglich. Einerseits kommen die Ansätze in sehr unterschiedlichen Lösungsverfahren mit unterschiedlichen Arbeitsregeln zum Einsatz. Andererseits werden sie als Kriterium angewendet, um bedarfsabhängige Teilmengen von Arbeitszeitmustern zu generieren. Für diese kommen im Anschluss die unterschiedlichsten Lösungsverfahren in Frage. Somit ist im Einzelfall ein passendes Unterdeckungskriterium auszuwählen.

Einige heuristische Lösungsansätze nutzen bei der Betrachtung diskontinuierlicher Probleme die Tatsache aus, dass der *Bedarf in Randperioden* (erste und letzte Periode der Öffnungszeit eines Tages, in denen $B_t > 0$ ist) nur durch Arbeitszeitmuster befriedigt werden kann, die in dieser Periode beginnen bzw. enden. Nach der Bedarfsdeckung der Randperiode erfolgt die Aktualisierung des Restbedarfs der verbleibenden Perioden. Im Anschluss daran ersetzt die nächste Periode mit positivem Restbedarf, die der Randperiode folgt bzw. vorausgeht, die ursprüngliche Randperiode. Der Bedarf der neuen Randperiode wird wiederum gedeckt. Diese Abfolge wiederholt sich, indem die Randperioden sukzessiv zur Mitte der Öffnungszeit eines Tages verschoben werden, bis alle Nebenbedingungen erfüllt sind. Das Prinzip des speziellen Abdeckens der Randperioden ist in verschiedenen Lösungsverfahren integriert.²⁶⁸

²⁶⁸ Einige Autoren wenden das Prinzip im Rahmen eines Dekompositionsansatzes an. Vgl. Bechtold/ Showalter (1985) und McGinnis/ Culver/ Deane (1978). Andere Autoren integrieren es in einen teilrelaxierten Ansatz oder verwenden es bei der Startlösung zur Spaltengenerierung. Vgl. Brusco/ Johns (1996) und Easton/ Rossin (1991a).

Soll, aufbauend auf einer mittels Heuristik erzeugten zulässigen Lösung, eine neue Lösung erzeugt werden, beginnt dies häufig mit dem Entfernen bereits zugeordneter Arbeitszeitmuster. Das Eliminieren resultiert meistens in einer unzulässigen Lösung, so dass im Anschluss daran anhand der oben genannten Prinzipien die Zuordnung neuer Arbeitszeitmuster erfolgen kann, um die Zulässigkeit der Lösung wiederherzustellen. Das Eliminieren von Arbeitszeitmustern erfolgt häufig anhand von Kriterien, welche die *Reduzierung der Überdeckung* heranziehen. Einige dieser Kriterien sind in Tabelle 4.4 zusammengestellt.

Auswahl des Arbeitszeitmusters s , das...	Berechnung	Vertreter des Auswahlkriteriums
die Anzahl überdeckter Arbeitsperioden maximiert.	$AUE_s = \sum_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} ue_t$ <p>für alle $s \in S y_s > 0$</p>	Brusco/ Jacobs (1993a)
die maximale Überdeckung seiner Arbeitsperioden maximiert.	$MUE_s = \max_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} ((E_t - B_t) \cdot (1 - r_t))$ <p>für alle $s \in S y_s > 0$</p>	Morris/ Showalter (1983), Showalter/ Mabert (1988), Thompson (1996)
die summierte Überdeckung seiner Arbeitsperioden maximiert.	$SUE_s = \sum_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} ((E_t - B_t) \cdot (1 - r_t))$ <p>für alle $s \in S y_s > 0$</p>	Showalter/ Mabert (1988), Brusco/ Jacobs (1993b), Thompson (1996)
die summierte quadrierte Überdeckung seiner Arbeitsperioden maximiert.	$SKUE_s = \sum_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} (X_t)^2$ <p>wobei</p> $X_t = \begin{cases} E_t - B_t - a_{s,t}, & \text{für } E_t - a_{s,t} > B_t \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$	Keith (1979)
die quadrierte Überdeckung seiner Arbeitsperioden bezogen auf deren Kosten maximiert.	$QUEK_s = \sum_{\{t \in T a_{s,t} = 1\}} (X_t)^2 / c_s \quad \text{für alle } s \in S y_s > 0$	Brusco/ Jacobs (1995) ²⁶⁹

Tabelle 4.4: Kriterien zur Eliminierung von Arbeitszeitmustern aus einer zulässigen Lösung anhand der Überdeckung

Bei diesen Kriterien wird für alle Arbeitszeitmuster s , die in der zulässigen Ausgangslösung mit einem positiven Wert versehen sind, untersucht, ob sie ein Überdeckungskriterium erfüllen. Diese beziehen sich auf die Anzahl (AUE_s) der überdeckten Perioden

²⁶⁹ Im Text beschreiben die Autoren, dass die minimale quadrierte Unterdeckung als Kriterium herangezogen wird. Dies deckt sich aber nicht mit der formalen Darstellung. Vgl. Brusco/ Jacobs (1995), S. 255.

sowie die maximale (MUE_s), die summierte (SUE_s) und die summierte quadrierte ($SKUE_s$) Überdeckung sowie die quadrierte durchschnittliche ($QUEK_s$) Überdeckung der Arbeitsperioden bezüglich der Kosten eines Arbeitszeitmusters s . Die Anzahl der Arbeitnehmer des Arbeitszeitmusters, welches das ausgewählte Überdeckungskriterium maximiert, wird reduziert.

4.1.5.3.2 Konstruktive Verfahren und serielle Dekompositionsansätze

Konstruktive Verfahren wählen sukzessiv Arbeitszeitmuster aus, denen ein Arbeitnehmer zugeordnet wird. Der Einsatz eines zusätzlichen Arbeitnehmers erfolgt so lange, bis der Bedarf in allen Perioden vollständig gedeckt ist. Die Auswahl des Arbeitszeitmusters, in dem der zusätzliche Arbeitnehmer eingesetzt werden kann, erfolgt zumeist anhand eines der im Abschnitt 4.1.5.3.1 beschriebenen Prinzipien.

Serielle Dekompositionsansätze vermeiden, alle möglichen Arbeitszeitmuster gleichzeitig zu berücksichtigen, indem das originäre Problem in mehrere separat zu lösende Teilprobleme unterteilt wird. Damit umgehen sie die Schwierigkeiten, die durch die enorme Anzahl an Variablen entstehen. Viele Dekompositionsansätze, die dem Tour Scheduling zuzuordnen sind, lösen zunächst das Shift Scheduling Problem für jeden Tag des Planungshorizontes. In Abhängigkeit davon, ob die Schichtstartzeitpunkte innerhalb einer Tour identisch sein müssen oder nicht, wird im Anschluss daran für jede vom Shift Scheduling Problem ausgewählte Schicht eines Tages bzw. für bestimmte Kombinationen von Schichtstartzeitpunkten das Days Off Scheduling separat gelöst. Die Lösung des jeweiligen Shift bzw. Days Off Scheduling erfolgt zumeist anhand eines konstruktiven Verfahrens. Aus diesem Grund werden Dekompositionsansätze und konstruktive Verfahren in diesem Abschnitt gemeinsam dargestellt.

Buffa et al. führen den oben beschriebenen Dekompositionsansatz durch, wobei das Lösen des Teilproblems des Shift Scheduling einer konstruktiven Heuristik zuzuordnen ist.²⁷⁰ Sie fügen beim Shift Scheduling schrittweise Schichten anhand der absoluten Abweichung zwischen Personalbedarf und eingesetzten Arbeitnehmern GA_s hinzu, wobei in Abhängigkeit von der Schichtlänge eine Gewichtung stattfindet. Das bedeutet, sie wählen die Schicht aus, die den Restbedarf am meisten reduziert, ohne gleichzeitig eine hohe Überdeckung zu generieren. Im Anschluss daran erfolgt die Einplanung der freien Tage.

²⁷⁰ Vgl. Buffa/ Cosgrove/ Luce (1976), S. 627 f.

McGinnis et al. beschreiben einen ähnlichen Dekompositionsansatz, bei dem zunächst das Shift Scheduling und im Anschluss daran das Days Off Scheduling gelöst wird.²⁷¹ Sie betrachten Schichten identischer Länge, die sie sukzessiv hinzufügen. Dafür haben sie unterschiedliche Auswahlkriterien (SQA_s und QV_s) entwickelt, die sowohl die Unter- als auch die Überdeckung berücksichtigen. Alternativ stellen sie eine Heuristik vor, die den Bedarf sequenziell über das Kriterium der Randperioden abdeckt. Diese Methode sucht in chronologischer Reihenfolge die früheste Periode, deren Bedarf noch nicht vollständig gedeckt ist. Für die Schicht, die in dieser Periode beginnt (bei ihnen existiert nur eine Schichtlänge, so dass jeweils nur eine Schicht in einer Periode starten kann), werden so viele Arbeitnehmer eingeplant, wie zur Deckung des jeweiligen Restbedarfs dieser Periode benötigt werden. Die Heuristik endet mit der Bedarfsdeckung aller Perioden des Tages. Anschließend wird für jede ausgewählte Schicht der verschiedenen Tage das Days Off Scheduling angewendet, bei dem Schichten innerhalb einer Tour zum gleichen Zeitpunkt beginnen müssen.

Bechtold und Showalter lösen das diskontinuierliche Tour Scheduling Problem ebenfalls mittels Dekompositionsansatz.²⁷² Sie lösen zunächst das Shift Scheduling Problem mit Hilfe des Prinzips der primären Abdeckung der Randperioden, d.h. der Bedarf in der ersten Periode der Öffnungszeit wird durch die Schicht gedeckt, deren Schichtbeginn in dieser Periode beginnt. Im Anschluss daran decken sie den Bedarf der letzten Periode durch die Schicht, deren Schichtende mit der Randperiode übereinstimmt. Sofern noch nicht alle Bedarfe gedeckt sind, wählen sie im Anschluss daran die früheste bzw. späteste Schicht aus, die den maximalen Restbedarf abdeckt und weisen dieser Schicht einen Arbeitnehmer zu. Die Abdeckung des maximalen Restbedarfs MU_s stellt in jeder weiteren Iteration das Auswahlkriterium dar. Anschließend werden für jeden Schichtstartzeitpunkt die Touren mit zusammenhängenden freien Tagen zusammengestellt. Durch die beschriebene Auswahl der Schichten versuchen sie, möglichst die Auswahl einiger Schichten an verschiedenen Tagen zu bündeln, anstatt eine Vielzahl unterschiedlicher Schichten auszuwählen. Dies hat Vorteile bei der Forderung von identischen Schichtstartzeitpunkten innerhalb einer Tour. So lässt sich die Überdeckung reduzieren, da für eine geringere Anzahl an Schichtstartzeitpunkten das Problem der freien Tage gelöst wird.

²⁷¹ Vgl. McGinnis/ Culver/ Deane (1978).

²⁷² Vgl. Bechtold/ Showalter (1985) und (1987).

Die meisten Dekompositionsansätzen arbeiten mit der Unterstellung, dass innerhalb einer Tour die Schichten zum gleichen Zeitpunkt starten. Die Überdeckung, die aufgrund dieser Annahme bei der Lösung der Einsatzplanung generiert wird, ist wegen der geringen Flexibilität der Arbeitszeitmuster für die meisten Bedarfsstrukturen recht hoch, insbesondere wenn sich die Nachfrage an den einzelnen Tagen unterschiedlich gestaltet. Der Ansatz von Bechtold und Showalter, die versuchen, die Überdeckung durch eine konzentrierte Auswahl der Schichten zu reduzieren, kann durch die Aufgabe von gleichen Schichtstartzeitpunkten innerhalb einer Tour subsumiert werden.²⁷³ Das bedeutet, dass das Days Off Scheduling für mehrere disjunkte Teilmengen von Schichtstartzeitpunkten durchgeführt oder für eine Abfolge von Schichten festgelegt wird. Diesen Ansatz verfolgen beispielsweise Mason et al.²⁷⁴ Bei ihnen werden sieben Shift Schedules so miteinander verbunden, dass die Schichtstartzeitpunkte einer Tour im Verlauf einer Woche später, jedoch nicht früher beginnen können. In diesem Fall lassen sich die Überkapazitäten im Vergleich zu identischen Schichtstartzeitpunkten reduzieren, so dass die Möglichkeit besteht, weniger Personal bereitzustellen. Dabei lösen Mason et al. das Shift Scheduling Problem mit Hilfe eines IP-Ansatzes. Die Tatsache, dass sie auf die Einplanung von Pausenzeiten verzichten, ermöglicht es, eine ganzzahlige optimale Lösung zu erhalten, denn die Vernachlässigung der Pausen hat zur Folge, dass das zugrunde liegende Problem eine total unimodulare Matrix besitzt. Im Anschluss daran werden anhand einer Heuristik die freien Tage der Arbeitnehmer eingeplant.

Bechtold und Brusco verwenden ebenfalls einen Dekompositionsansatz, bei dem sie zunächst das Shift Scheduling und im Anschluss daran das Days Off Scheduling mit Hilfe bereits bestehender Heuristiken lösen.²⁷⁵ Die Schichtzuordnung erfolgt anhand einer LP-basierten Heuristik von Showalter und Mabert, es schließt sich die Verbesserung der Lösung mit dem Algorithmus von Henderson und Berry an und abschließend findet die Zuordnung der freien Tage anhand der Heuristik von Bechtold statt.²⁷⁶

²⁷³ Vgl. Bechtold/ Showalter (1985) und (1987).

²⁷⁴ Vgl. Mason/ Ryan/ Panton (1998).

²⁷⁵ Vgl. Bechtold/ Brusco (1994b).

²⁷⁶ Vgl. Showalter/ Mabert (1988), Bechtold (1981) und (1988) und Henderson/ Berry (1976). Die Heuristiken zur Lösung des Shift Scheduling werden im Abschnitt 4.1.5.3.3 dargestellt.

Über den bereits geschilderten Dekompositionsansatz hinaus beschreiben McGinnes et al. einen reinen konstruktiven Ansatz, der das Tour Scheduling löst.²⁷⁷ Sie wählen die Tour mit dem minimalen anteiligen quadrierten Verhältnis von bereits eingeplanten Arbeitsstunden und Bedarf der Arbeitsperioden eines Arbeitszeitmusters aus. Dieser Ansatz ist in der Lage, weniger Arbeitnehmer zu verplanen als die von ihnen beschriebenen zweistufigen Dekompositionsansätze.

Brusco und Jacobs wählen eine Konstruktionsheuristik, um Einsatzpläne zu erstellen, die sich bei der Auswahl der hinzuzufügenden Arbeitszeitmuster ebenfalls an dem bestehenden Restbedarf der einzelnen Arbeitsperioden orientiert.²⁷⁸ Sie erhöhen das Arbeitszeitmuster um einen Arbeitnehmer, dessen Arbeitsperioden die maximale quadrierte Unterdeckung des Personalbedarfs beinhaltet. Dies wurde im Kriterium MQU_s beschrieben.

4.1.5.3.3 LP-basierte Verfahren

Im Gegensatz zu den eben genannten Heuristiken beruhen LP-basierte Verfahren auf der Relaxierung der Ganzzahligkeitsforderungen für die Variablen, welche die Anzahl der Arbeitnehmer darstellen. Generell lassen sich LP-basierte Heuristiken in vier Stufen einteilen.²⁷⁹

- 1) Lösung des relaxierten Linearen Programms (LP),
- 2) Rundung der fraktionellen Werte zur Erzeugung einer ganzzahligen Lösung (nicht notwendigerweise zulässig),
- 3) Zulässigkeit erzeugen und
- 4) Verbesserungsverfahren.

Sofern das gerundete Ergebnis der zweiten Stufe eine zulässige Lösung darstellt, kann auf die Durchführung der 3. Stufe verzichtet werden. Einige Autoren beenden die Heuristik ohne den Versuch einer Verbesserung der zulässigen Lösung. Diese Verfahren sind somit den reinen Eröffnungsverfahren zuzuordnen.²⁸⁰ Allerdings lässt sich ein Verbesserungsverfahren im Anschluss an eine ganzzahlige Lösung leicht anwenden.

²⁷⁷ Vgl. McGinnis/ Culver/ Deane (1978).

²⁷⁸ Vgl. Brusco/ Jacobs (2001), S. 468-473.

²⁷⁹ Vgl. Brusco/ Johns (1995a), S. 745.

²⁸⁰ Vgl. Krajewski/ Ritzman/ McKenzie (1980), Morris/ Showalter (1983) sowie Showalter/ Mabert (1988).

In der *ersten Stufe* einer LP-basierten Heuristiken werden zunächst die Ganzzahligkeitsbedingungen der Entscheidungsvariablen des von Dantzig formulierten Modells *DSCM* bzw. einer Modifikation relaxiert und das Shift oder Tour Scheduling Problem mit den zugrunde gelegten Arbeitszeitmustern gelöst. Sofern das Ergebnis nicht ganzzahlig ist, wird in der *zweiten Stufe* eine ganzzahlige Lösung durch Rundung der fraktionellen Werte erzeugt. Einige Autoren schlagen vor, die fraktionellen Variablen aufzurunden.²⁸¹ Keith aber auch Dantzig runden hingegen in ihren Heuristiken jede fraktionelle Entscheidungsvariable zur nächsten ganzzahligen Zahl, während Morris und Showalter sowie Showalter und Mabert den fraktionellen Teil abschneiden.²⁸² Bartholdi entwickelt eine effektive Art, die fraktionellen Ergebnisse eines abgewandelten relaxierten Problems zu runden und beweist, dass er damit zulässige Lösungen für das ursprüngliche Problem erhält.²⁸³ Bartholdi verändert das ursprüngliche Problem, indem er den Bedarf B_t einer Periode um die Anzahl b_t der aufeinanderfolgenden Blöcke von Einsen in der dazugehörigen Zeile der Koeffizientenmatrix A erhöht. Sei $(yb_1, yb_2, \dots, yb_{s_{\max}})$ die Lösung des abgewandelten relaxierten Problems, dann erhält man durch die folgende Rundung eine Lösung des ursprünglichen Problems:

$$y_1 = \lceil yb_1 \rceil \quad \text{und} \quad y_s = \left\lceil \sum_{k=1}^s yb_k \right\rceil - \left\lceil \sum_{k=1}^{s-1} yb_k \right\rceil \quad \text{für } s = 2, \dots, s_{\max}. \quad (4.19)$$

Eine worst case Analyse zeigt, dass die durch diese Rundung erzeugte Upper Bound im Vergleich zur generellen Aufrundung der fraktionellen Werte signifikant besser ist. Li et al. verwenden den von Bartholdi entwickelten Rundungsalgorithmus nicht auf das von Bartholdi abgewandelte Problem, sondern auf das ursprünglich von Dantzig formulierte Problem und nehmen die Unzulässigkeit der Lösung in Kauf.²⁸⁴

Häufig sind die fraktionellen Teile einer Variable kleiner als $\frac{1}{2}$, so dass sich nicht nur beim Abrunden, sondern auch beim Runden zur nächsten ganzen Zahl unzulässige Lösungen ergeben. Stellt sich eine gerundete ganzzahlige Lösung als unzulässig heraus, werden in der *dritten Stufe* der Zulässigkeitserzeugung iterativ einige Werte der Variablen nach

²⁸¹ Vgl. Henderson/ Berry (1976), Showalter /Mabert (1988) sowie Krajewski/ Ritzman/ McKenzie (1980).

²⁸² Vgl. Dantzig (1954), Keith (1979), Showalter/ Mabert (1988) und Morris/ Showalter (1983).

²⁸³ Vgl. Bartholdi (1981).

²⁸⁴ Vgl. Li/ Robinson/ Mabert (1991). Da die Größe der von Bartholdi vorgeschlagenen Werte von b_t den Zielfunktionswert der gerundeten Lösung beeinflussen, verwenden sie zunächst eine Heuristik, welche die Spalten des Problems so ordnet, dass die Werte b_t möglichst gering sind.

unterschiedlichen Auswahlkriterien erhöht. Die meisten Ansätze ähneln dem Vorgehen der Konstruktionsheuristiken, so dass in dieser Stufe ebenfalls Konstruktionsheuristiken zum Einsatz kommen können. Schrittweise wird ein zusätzlicher Arbeitnehmer dem Arbeitszeitmuster zugewiesen, welches ein ausgewähltes Unterdeckungskriterium maximiert, bis keine Bedarfsdeckungsrestriktion mehr verletzt ist. Die einzelnen Kriterien wurden in Tabelle 4.3 detailliert aufgezeichnet. Morris und Showalter sowie Showalter und Mabert schlagen die Kriterien MU_s und DU_s vor, um Unzulässigkeiten zu beseitigen.²⁸⁵ Keith verwendet das Kriterium SU_s hinsichtlich der größten Reduktion der Unterdeckung.²⁸⁶ Li et al. beziehen bei ihrem Auswahlkriterium SUK_s die Unterdeckung auf die Kosten.²⁸⁷

Häufig ist im Anschluss an die Rundung in der *vierten Stufe* eine Verbesserung durch eine iterative Heuristik empfehlenswert. Die Verbesserungsverfahren versuchen zunächst, die Variablen mit positivem Wert zu identifizieren, bei denen alle Einträge im Arbeitszeitmuster kleiner oder äquivalent zur Überdeckung der Periode sind, d.h. deren Reduzierung keine Unterdeckung generiert. Im Anschluss daran werden anhand unterschiedlicher Kriterien Arbeitszeitmuster entfernt. Showalter und Mabert sowie Morris und Showalter beginnen mit der Tour s , welche die größte Überdeckung MUE_s einer Periode reduziert.²⁸⁸ Keith versucht ebenfalls, Variablenwerte um eins zu vermindern, sofern die Zulässigkeit der Lösung erhalten bleibt.²⁸⁹ Er verwendet das Kriterium $SKUE_s$. Li et al. verbessern ihre ganzzahlige Startlösung, indem sie in absteigender Rangfolge der Kosten eines Arbeitszeitmusters die potenziellen Kandidaten zur Reduktion des Wert der Variablen betrachten.²⁹⁰ Henderson und Berry hingegen überprüfen die mögliche Verringerung eines Wertes einer Variable in absteigender Reihenfolge des Schichtindizes.²⁹¹ Zusätzlich führen sie im Anschluss daran weitere Verbesserungen mittels Vertauschungsprozess durch. Sie reduzieren jeweils zwei Schichten, die in der Lösung mit positivem Wert vertreten sind, um eins und fügen dafür eine andere Schicht hinzu. Sofern ein vorher berechnetes

²⁸⁵ Vgl. Morris/ Showalter (1983), S. 947 f. und Showalter/ Mabert (1988), S. 57 f.

²⁸⁶ Vgl. Keith (1979), S. 38. Keith minimiert in seiner Problemformulierung die Kosten der Über- und Unterdeckung des Bedarfs, so dass die Lösung bereits zulässig ist, sofern die Unterdeckung die erlaubte Höhe unterschreitet.

²⁸⁷ Vgl. Li/ Robinson/ Mabert (1991), S. 706.

²⁸⁸ Vgl. Showalter /Mabert (1988), S. 58 sowie Morris/ Showalter (1983), S. 948.

²⁸⁹ Vgl. Keith (1979), S. 38.

²⁹⁰ Vgl. Li/ Robinson/ Mabert (1991).

²⁹¹ Vgl. Henderson/ Berry (1976), S. 1375.

theoretisches Minimum an Schichten erreicht ist, das sich aus der LP-Lösung ableitet, ist die Heuristik beendet.

Einen LP-basierten Ansatz, der dem relaxierten Modell sequentiell neue Ganzzahligkeitsrestriktionen hinzufügt, entwickeln Brusco und Johns.²⁹² Sie greifen die Idee des sequenziellen Abdeckens der Randperioden auf und nutzen die Struktur des diskontinuierlichen Scheduling Problems aus. Dabei machen sie sich die Erkenntnis zugute, dass der Bedarf in der ersten (letzten) Periode der täglichen Öffnungszeit nur durch solche Arbeitszeitmuster gedeckt werden kann, deren Arbeitszeit in der ersten (letzten) Periode beginnt (endet). Brusco und Johns erhöhen in den einzelnen Phasen der Lösung sequenziell die Mächtigkeit der Teilmenge von Arbeitszeitmustern, für die Ganzzahligkeit gefordert wird. Ganzzahlige Restriktionen werden zunächst auf die Touren gelegt, deren Schicht in der ersten Periode der Öffnungszeit beginnt. Nach der Lösung des teilrelaxierten Problems schließt sich die Fixierung der Werte der Variablen, für die Ganzzahligkeit gefordert wurde, für die verbleibenden Phasen der Sequenz an. In der nächsten Phase kommt es zur Ausweitung der ganzzahligen Restriktionen auf die Arbeitszeitmuster, die in der letzten Periode der Öffnungszeit enden. Das teilrelaxierte Problem wird wiederum gelöst und die Werte fixiert. In den folgenden Phasen werden die Ganzzahligkeitsbedingungen auf die Arbeitszeitmuster bis zur Mitte des Tages ausgeweitet. Die Stufen der Rundung und Verbesserung der LP-basierten Heuristiken sind bei diesem Ansatz vernachlässigbar, da eine ganzzahlige Programmierung in jeder Phase des Prozesses erfolgt. Brusco und Johns betrachten Arbeitszeitmuster sowohl für Vollzeit- als auch für Teilzeitarbeitnehmer, wobei der Anteil an Teilzeitarbeitnehmern begrenzt ist. Möglicherweise lässt sich in der letzten Phase des Algorithmus diese zusätzliche Restriktion nicht erfüllen. In diesem Fall werden die zuletzt fixierten Arbeitszeitmuster der Vollzeitmitarbeiter nicht auf die erhaltene ganze Zahl fixiert, vielmehr können sie auch einen Wert annehmen, der größer als der Lösungswert ist.

Einen LP-basierten Ansatz, der sich von den bisherigen unterscheidet, präsentieren Cezik et al.²⁹³ Sie formulieren ein gemischt-ganzzahliges Modell, indem sie sieben tägliche Shift Scheduling Probleme in einem Netzwerkfluss miteinander verbinden. Dabei gelten bestimmte Restriktionen hinsichtlich der Schichtstartzeitpunkte aufeinanderfolgender Tage

²⁹² Vgl. Brusco/ Johns (1996).

²⁹³ Vgl. Cezik/ Günlük/ Luss (2001).

und der freien Tage. Sie lösen das Modell mit Hilfe eines Fix-and-Branch Algorithmus. Dieser berechnet zunächst die Lösung des relaxierten Problems. Anschließend werden Variablenwerte heuristisch fixiert, bevor der Branch-and-Bound Suchalgorithmus angewendet wird. Dabei fixieren sie zunächst die Variablenwerte, die in der optimalen Lösung des LP's null sind. Variablen mit großem fraktionellen Teil in der Lösung werden aufgerundet, indem für sie neue Lower Bounds gesetzt werden. Das so beschränkte LP wird erneut gelöst. Anschließend erfolgt erneut die Fixierung der Lower Bounds und die Lösung des LP's. Dabei wird die Größe des fraktionellen Teils der Variablen, die gerundet werden, herabgesetzt. Dieser Prozess wiederholt sich, bis der fraktionell gerundete Teil einen vordefinierten Wert erreicht. Abschließend wird das resultierende gemischt-ganzzahlige Problem mit den aktuellen Lower Bounds anhand eines Branch-and-Bound Algorithmus gelöst.

4.1.5.3.4 Metaheuristiken

Die Darstellung der Metaheuristiken bezieht sich auf die Methoden des Simulated Annealing, des Tabu Search und den Genetischen Algorithmus.

a) Simulated Annealing

Mehrere Veröffentlichungen legen für die Lösung des Personaleinsatzplanungsproblems die Methode des Simulated Annealing zugrunde. Simulated Annealing ist ein von Kirkpatrick entwickeltes Verfahren der Nachbarschaftssuche.²⁹⁴ Dabei wird die Nachbarschaft einer aktuellen Lösung nach weiteren Lösungen abgesucht. In jeder Iteration wird der Zielfunktionswert einer Nachbarlösung betrachtet. Sofern dieser besser ist als der Zielfunktionswert der aktuellen Lösung, ersetzt die Nachbarlösung die aktuelle Lösung. Im Verlauf der Suche wird eine Verschlechterung des Zielfunktionswertes kurzfristig in Kauf genommen, um das Steckenbleiben in einem lokalen Optimum zu verhindern. Die Akzeptanz einer schlechteren Lösung erfolgt mit einer Wahrscheinlichkeit, die sowohl vom Abstand der aktuellen Lösung zur Nachbarlösung abhängt als auch von einer Abkühlungstemperatur. Im Verlauf des Lösungsprozesses erfolgt schrittweise eine Temperaturabsenkung, so dass nach und nach nur solche Lösungen akzeptiert werden, die eine sehr geringe Differenz zur amtierenden aktuellen Lösung aufweisen. Das Verfahren bricht ab, sobald keine Verbesserung mehr zu erzielen oder ein Zeit- bzw. Iterationslimit erreicht ist.

²⁹⁴ Vgl. Kirkpatrick/ Gelatt/ Vecchi (1983).

Brusco und Jacobs wenden diese Methode für unterschiedliche Arbeitsumgebungen an: für kontinuierliche Probleme mit Vollzeitarbeitnehmern und einer Arbeitsumgebung mit geringer Flexibilität²⁹⁵, für diskontinuierliche und kontinuierliche Probleme mit Vollzeit- und Teilzeitarbeitnehmern mit geringer Flexibilität²⁹⁶ sowie für diskontinuierliche Probleme mit Vollzeitarbeitnehmern mit einer sehr hohen Flexibilität, bei der sie mehr als zwei Milliarden Arbeitszeitmuster berücksichtigen, ohne diese vollständig zu generieren.²⁹⁷ Ihr Algorithmus startet mit einer beliebigen zulässigen Lösung, deren Qualität keinen Einfluss auf den Erfolg des Algorithmus hat. Um eine Nachbarlösung zu generieren, werden aus dieser Lösung zunächst einige Arbeitszeitmuster eliminiert. Im Anschluss daran werden der so entstandenen unzulässigen Lösung so lange Arbeitszeitmuster hinzugefügt, bis eine neue zulässige Lösung entstanden ist. Der Algorithmus entfernt die Arbeitszeitmuster basierend auf den Kriterien der maximalen Reduktion der Überdeckung AUE_s , SUE_s bzw. $QUEK_s$. Für die genaue Definition der unterschiedlichen Kriterien sei auf die Tabelle 4.4 auf Seite 136 verwiesen. Sofern die Touren unterschiedliche Arbeitszeiten beinhalten, wird für jede Tour die Überdeckung in Relation zur Anzahl der Arbeitsperioden gesetzt. Der nach der Entfernung der Arbeitszeitmuster entstandenen unzulässigen Lösung werden iterativ so lange zusätzliche Arbeitszeitmuster hinzugefügt, bis ein zulässiger Einsatzplan erreicht ist. Die Auswahl der hinzuzufügenden Arbeitszeitmuster erfolgt anhand der größten Reduktion eines Unterdeckungskriteriums. Die verwendeten Kriterien SU_s und QDU_s sind in Tabelle 4.3 auf Seite 134 detailliert dargestellt. Bei einer Arbeitsumgebung mit einer hohen Anzahl an Touren ist es nicht möglich, für alle realisierbaren Touren den Restbedarf, den die Tour reduzieren kann, der aus der Entfernung der Arbeitszeitmuster resultiert, neu zu berechnen. In diesem Fall zerlegen die Autoren die Arbeitszeitmuster in Schichten eines Tages und Tage einer Woche, die separat ausgewählt und zu einer Tour kombiniert werden. Aus der Menge der Touren, die das Unterdeckungskriterium maximal reduzieren, erfolgt zufällig die Auswahl einer Tour. Bis zum Erreichen einer zulässigen Lösung wird der Restbedarf neu berechnet und die Prozedur wiederholt. Sofern der Zielfunktionswert der neuen zulässigen Lösung besser ist als derjenige der amtierenden Lösung, ersetzt die gefundene Nachbarlösung die

²⁹⁵ Vgl. Brusco/ Jacobs (1993b). Arbeitnehmer arbeiten 8 Stunden an 5 aufeinanderfolgenden Tagen mit jeweils gleichem Schichtstartzeitpunkt und fixierter Mittagspause.

²⁹⁶ Vgl. Brusco/ Jacobs (1995). Vollzeitmitarbeiter arbeiten 8 Stunden mit fixierter Mittagspause, Teilzeitarbeiter 4 Stunden an jeweils 5 aufeinanderfolgenden Tagen mit gleichem Schichtstartzeitpunkt.

²⁹⁷ Vgl. Brusco/ Jacobs (1993a). Vollzeitmitarbeiter arbeiten 8 Stunden mit variabler Mittagspause und variablen Schichtstartzeitpunkten an 5 frei wählbaren Arbeitstagen in der Woche.

amtierende Lösung, d.h. der Algorithmus wird im Folgenden auf die neue Lösung angewendet. Bei einer Verschlechterung hingegen ersetzt die Nachbarlösung die bisherige Lösung mit einer Wahrscheinlichkeit, die von der Temperatur sowie der Differenz zur amtierenden Lösung abhängt. Auf diese Weise soll ein Steckenbleiben in einem lokalen Optimum verhindert werden. Der Algorithmus endet beim Überschreiten eines Zeitlimits. Brusco und Jacobs erzielen mit ihren Ansätzen in kürzester Zeit sehr gute Ergebnisse.²⁹⁸ Die von ihnen entwickelte Methode wurde in mehreren weiteren Veröffentlichungen anderer Autoren angewendet.²⁹⁹

Brusco et al. wenden den von Brusco und Jacobs erstellten Ansatz des Simulated Annealing in Verbindung mit der Methode der Spaltengenerierung bei der Einsatzplanung des Bodenpersonals im Flughafen an.³⁰⁰ Die Methode der Spaltengenerierung dient dazu, die Anzahl an möglichen Touren zu reduzieren. Mittels dieser Heuristik waren Brusco et al. in der Lage, in den 119 betrachteten Flughäfen die Anzahl an Arbeitnehmern auf Vollzeitbasis um durchschnittlich 2,98 % zu reduzieren.

Thompson erstellt mit der Methode des Simulated Annealing für einen gegebenen Personalbestand einen täglichen Einsatzplan, in dem er gleichzeitig die Verfügbarkeit der Arbeitnehmer berücksichtigt.³⁰¹ Zur Erzeugung von Nachbarlösungen werden ebenfalls Schichten anhand unterschiedlicher Kriterien hinzugenommen bzw. entfernt. Die Kriterien sind in Tabelle 4.3 und Tabelle 4.4 beschrieben. Darüber hinaus existiert ein Kriterium, das die Verfügbarkeit der Arbeitnehmer einbezieht. Im Lösungsansatz wird zudem versucht, durch die Verschiebung von Pausen sowie Verkürzung oder Verlängerung der Schichten eine Verbesserung der Lösung zu erreichen. Der so erstellte Einsatzplan wird mit der aktuellen Lösung verglichen und gegebenenfalls ersetzt.

b) Tabu Search

Das Verfahren des Tabu Search bietet eine weitere Möglichkeit, eine Metaheuristik anzuwenden. Dieses Verfahren verwendet eine zyklische Tabuliste, welche die Wahrscheinlichkeit reduziert, dass die Suche bei einer bereits abgearbeiteten Lösung landet. Auch hier

²⁹⁸ Dies wird im Abschnitt 4.1.5.3.5 detailliert beschrieben.

²⁹⁹ Vgl. Goodale/ Tunc (1998), Easton/ Rossin (1997) und Brusco/ Johns (1995a). Darüber hinaus wendet Thompson den Ansatz auf ein Personaleinsatzplanungsproblem mit gegebenem Personalbestand an. Vgl. Thompson (1997b).

³⁰⁰ Vgl. Brusco et al. (1995).

³⁰¹ Vgl. Thompson (1996).

benutzt man Bewegungsoperatoren, um neue Lösungen der Nachbarschaft zu identifizieren. Die beste nicht tabuisierte Nachbarlösung ersetzt immer die aktuelle Lösung. Dies geschieht auch, wenn die beste Nachbarlösung schlechter als die aktuelle Lösung ist. Die Bewegungen, die durchgeführt wurden, um die aktuelle Lösung in die ausgewählte Nachbarlösung zu überführen, werden der Tabuliste hinzugefügt.

Glover und McMillan wenden Tabu Search auf ein personifiziertes Personaleinsatzplanungsproblem an.³⁰² Dabei werden Arbeitszeitmuster anhand von Arbeitsregeln unter Berücksichtigung der Arbeitnehmerverfügbarkeit erstellt. Bei der Auswahl eines Arbeitszeitmusters erfolgt gleichzeitig die Spezifizierung der Arbeitnehmer, die in diesem Arbeitszeitmuster arbeiten können.

Taylor und Huxley wenden die Methode des Tabu Search an, um die Einsatzkräfte der Polizei einzuplanen.³⁰³ Bei jedem Schritt erhöhen sie im Einsatzplan den Wert des Arbeitszeitmusters, das die summierte Unterdeckung maximal reduzieren kann bzw. entfernen einen Arbeitnehmer unter dem Gesichtspunkt der minimalen Unterdeckung.

Easton und Rossin wenden ebenfalls die Methode des Tabu Search an.³⁰⁴ Sie generieren Nachbarlösungen einer zulässigen Lösung, indem sie in der aktuellen Lösung die Werte der Variablen variieren. Die Nachbarlösung mit den geringsten Kosten ersetzt die aktuelle Lösung. Diese repräsentiert gleichzeitig ein neues Minimum, sofern sie die Lösung mit den bisher geringsten Kosten darstellt. Der älteste Eintrag der Tabuliste wird durch den veränderten Variablenwert sowie seinen ursprünglichen Wert ersetzt.

Alvarez-Valdes et al. benutzen die Tabu Search Methode in Verbindung mit einem Dekompositionsansatz, der das Personaleinsatzplanungsproblem in drei Stufen zerlegt.³⁰⁵ In der ersten Stufe wird die Menge der kostenminimalen Anzahl und Struktur der Schichten bestimmt, die benötigt werden, um den Bedarf zu decken. Diese Struktur bezeichnet den Schichttyp, der sich beispielsweise in eine Nacht-, Früh- und Spätschicht unterteilen lässt, sowie die dazugehörigen Arbeitstage der Woche. Der dabei angewandte Tabu Search Algorithmus bewegt sich zwischen einer Konstruktionsphase, in der Variablenwerte erhöht werden und einer destruktiven Phase, in der Variablenwerte

³⁰² Vgl. Glover/ McMillan (1986).

³⁰³ Vgl. Taylor/ Huxley (1989).

³⁰⁴ Vgl. Easton/ Rossin (1996).

³⁰⁵ Vgl. Alvarez-Valdes/ Crespo/ Tamarit (1999).

vermindert werden. In der zweiten Stufe werden die Schichttypen der einzelnen Tage den Arbeitnehmern zugeordnet. In der dritten Stufe werden den Arbeitnehmern die Schichtstart- und Schichtendzeitpunkte zugeordnet, die dem jeweiligen Schichttyp angehören. Die Ergebnisse des Tabu Search Algorithmus werden mit Ergebnissen verglichen, die mit dem Standardsolver CPLEX erzeugt wurden. Sowohl die zu minimierenden Kosten als auch die Anzahl der benötigten Arbeitnehmer weicht in den 52 untersuchten Personaleinsatzplanungsproblemen eines Jahres im Durchschnitt nicht mehr als 2% von der mit CPLEX erzeugten Lösung ab.

c) Genetischer Algorithmus

Während Tabu Search und Simulated Annealing sich innerhalb des Lösungsraums von einer Lösung zur nächsten bewegen, arbeiten Genetische Algorithmen mit einer Population von alternativen Lösungen.³⁰⁶ Die Methode simuliert die Evolution einer Population von möglichen Lösungen (= Chromosomen oder Individuen), die in der Lage sind, durch selektive Auswahl der Eltern, besseren Nachwuchs zu generieren. Jedes Individuum kann in eine Sequenz von Genen zerlegt werden, denen jeweils ein Wert zugewiesen wird. Die Gene stellen demnach die Entscheidungsvariablen eines Modells dar. Der Evolutionsprozess startet mit einer zufällig ausgewählten Population. Für jedes Chromosom wird eine Fitnessfunktion (= Bewertungsfunktion) berechnet, anhand derer die Auswahl der Eltern der nächsten Generation erfolgt. Die Informationen, welche die Eltern in ihren Genen (= Wert eines Arbeitszeitmusters) haben, wird über das sogenannte Crossover kombiniert, um Nachkommen zu produzieren. Die Eltern werden durch ihre Nachkommen ersetzt. Darüber hinaus können einzelne Chromosomen mutieren. Entstehen unzulässige Lösungen bei dem Crossover oder der Mutation, so können genetische Reparationsoperationen die Unzulässigkeit beseitigen. Über mehrere Generationen entwickelt sich die Population durch den Vorzug der Chromosomen mit der besten Fitnessfunktion.

Cai und Li führen die Personaleinsatzplanung anhand eines Genetischen Algorithmus für Arbeitnehmer mit unterschiedlichen Qualifikationen durch, wobei sie ein Optimierungsmodell mit mehreren Zielsetzungen betrachten.³⁰⁷ Ihr Ansatz lässt sich auf Unternehmen mit homogenen Arbeitnehmern übertragen. Eltern, die den Nachwuchs generieren, werden nicht anhand einer Fitnessfunktion ausgewählt, vielmehr basiert die Auswahl auf einer

³⁰⁶ Zur Beschreibung der Methode des Genetischen Algorithmus vgl. Goldberg (1989) und Davis (1991).

³⁰⁷ Vgl. Cai/ Li (2000).

absteigenden Rangfolge, welche die unterschiedlichen Lösungen anhand der hierarchischen Zielkriterien widerspiegelt. Die Nachkommen (neue Lösungen) werden anhand einer Crossover Maske generiert, die auf der Hammingdistanz zwischen Einsatzplänen basiert.³⁰⁸ Die Maske gibt an, welches Gen des Nachkommens von welchem Elternteil stammt. Mutationen werden angewendet, um neue Lösungen zu generieren. Bei der Mutation wählt man eine Lösung aus, in der Arbeitnehmer für zufällig ausgewählte Arbeitszeitmuster entfernt werden. Im Anschluss daran lässt sich die Zulässigkeit der Lösung wiederherstellen, indem die Anzahl von Arbeitnehmern in zufällig ausgewählten Arbeitszeitmustern erhöht wird, die dazu beitragen, die Unterdeckung des Bedarfs zu eliminieren. Darüber hinaus kommt eine Heuristik zur Anwendung, die das Problem löst, sofern Unzulässigkeiten durch die Crossover Operationen auftreten. Cai und Li berichten gute Ergebnisse innerhalb von acht bis zehn Minuten mit einer zugrunde gelegten Anzahl von 504 Arbeitszeitmustern.

Einen Genetischen Algorithmus mit einer verteilten Population beschreiben Easton und Mansour.³⁰⁹ Der Algorithmus verteilt seine Populationen auf ein Netzwerk von Arbeitsplatzrechnern, so dass sich die Population aus mehreren Subpopulationen zusammensetzt. Die Subpopulationen setzen jeweils einen eigenen Evolutionsprozess in Gang. Periodisch migrieren die fittesten Chromosomen einer Subpopulation in die Nachbarschaft. Sie ersetzen die Individuen mit der schlechtesten Fitness, sofern die durchschnittliche Fitness der Subpopulation verbessert wird. Für 70% der Chromosomen einer Population wird ein Crossover durchgeführt. Es findet eine Auswahl von Paaren statt, bei denen aufeinanderfolgende Segmente der Gene vertauscht werden. Die verbleibenden Chromosomen gehen in ihrer ursprünglichen Form in die nächste Generation ein. Darüber hinaus mutieren Chromosomen, deren fittester Vertreter das Individuum mit der schlechtesten Fitnessfunktion der Population ersetzt. Die Reparatur erfolgt nicht für alle unzulässigen Chromosomen. Einige werden nach Abschätzung der Reparaturkosten, die in die Fitnessfunktion einfließen, in die Population aufgenommen. Unzulässige Chromosomen werden sowohl anhand des von Keith vorgestellten Unterdeckungskriteriums als auch zufällig repariert.³¹⁰ Zur Verbesserung der Lösungsqualität bedient man sich ebenfalls der Verbesserungsheuristik von Henderson und Berry, die auf einen bestimmten Prozentsatz

³⁰⁸ Zur Definition der Hammingdistanz siehe beispielsweise Aigner. Vgl. Aigner (2001), S. 199.

³⁰⁹ Vgl. Easton/ Mansour (1999).

³¹⁰ Vgl. Keith (1979).

der zulässigen Chromosomen in jeder Generation angewandt wird.³¹¹ Sukzessiv wird der Wert eines Genes um eins vermindert, sofern die Zulässigkeit der Lösung erhalten bleibt.

4.1.5.3.5 Beurteilung der heuristischen Verfahren

Ein genereller Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Heuristiken gestaltet sich schwierig. Zwar lassen sich die durch die Heuristik erzeugten Zielfunktionswerte entweder der optimalen Lösung des relaxierten Modells, das als Lower Bound fungiert, oder den Lösungen bestimmter Heuristiken, die gute Ergebnisse liefern, gegenüberstellen. In den jeweiligen Veröffentlichungen wird zumeist nur der Vergleich zu einigen wenigen Ansätzen herangezogen, um die Überlegenheit des eigenen Ansatzes zu demonstrieren. Darüber hinaus werden in den verschiedenen Veröffentlichungen unterschiedliche Arbeitsumgebungen und Testprobleme zugrunde gelegt. Einige Autoren haben die unterschiedlichen Arbeitsumgebungen tabellarisch zusammengefasst.³¹² Die unterschiedlichen Bedingungen erschweren jedoch einen direkten Vergleich der jeweiligen Ergebnisse. So stellen Brusco und Jacobs beispielsweise fest, dass bei ihrer Untersuchung die prozentuale Abweichung der Zielfunktionswerte der von ihnen betrachteten Heuristiken von denen des relaxierten Problems umso größer ist, je geringer sich die mittlere Nachfrage gestaltet.³¹³ Easton und Rossin berichten eine höhere prozentuale Abweichung des Zielfunktionswertes des ganzzahligen Modells vom relaxierten Modell, sofern eine höhere Anzahl an Arbeitszeitmustern im Modell betrachtet wird.³¹⁴ Dies resultiert aus der höheren Anzahl an fraktionellen Variablen, die gerundet werden. Somit sind die nun dargestellten Ergebnisse aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsbedingungen nur bedingt miteinander vergleichbar, es sei denn, innerhalb einer Veröffentlichung werden mehrere Verfahren miteinander verglichen.

Einige Studien stellen anhand von Testproblemen einige Konstruktionsheuristiken den LP-basierten Heuristiken gegenüber.³¹⁵ Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die LP-

³¹¹ Vgl. Henderson/ Berry (1976).

³¹² Vgl. z.B. Alfares (2004), S. 165-169; Thompson (1995b), S. 596 oder Brusco/ Jacobs (1993a), S. 1193.

³¹³ Vgl. Brusco/ Jacobs (1993b).

³¹⁴ Vgl. Easton/ Rossin (1996).

³¹⁵ Vgl. Bechtold/ Brusco/ Showalter (1991) und Brusco/ Johns (1995b). Erstere vergleichen die LP-basierten Heuristiken von Henderson/ Berry (1976), Keith (1979) und Morris/ Showalter (1983) sowie die Konstruktionsheuristiken von McGinnis/ Culver/ Deane (1978), Bechtold/ Showalter (1987) und angepasste Varianten von Buffa/ Luce/ Cosgrove (1976) mit 168 Arbeitszeitmustern. Brusco und Johns vergleichen die jeweils besten Heuristiken aus dem Vergleich von Bechtold/ Brusco/ Showalter (1991), wobei die Arbeitsumgebung weitere Einschränkungen erfährt und lediglich 56 Arbeitszeitmuster erfasst.

basierten Heuristiken im Vergleich zu den Konstruktionsheuristiken besser abschneiden. Dies lässt sich aus der Gegenüberstellung der jeweiligen Zielfunktionswerte mit denen der optimalen Lösungen schließen. Die optimalen Lösungen können aufgrund einer geringen Anzahl von betrachteten Arbeitszeitmustern erzeugt werden. Insbesondere die besten LP-basierten Verfahren von Keith (*K*) sowie Morris und Showalter (*MS*) benötigen lediglich einen geringfügigen Prozentsatz an zusätzlichen Personalstunden verglichen mit der optimalen Lösung.³¹⁶ Die Überlegenheit der beiden Methoden *K* und *MS* ist umso größer, je mehr die Schwankungen des Bedarfs der einzelnen Perioden zunehmen. Aufgrund der herausragenden Stellung dieser Heuristiken bilden sie häufig die Basis für einen Vergleich mit anderen Lösungsverfahren bei Arbeitsumgebungen mit Vollzeitarbeitnehmern.

Brusco und Johns stellen die Ergebnisse ihres teilrelaxierten Ansatzes den Heuristiken *K* und *MS* für Umgebungen bei ausschließlichem Einsatz von Vollzeitarbeitnehmern mit 56 Arbeitszeitmustern gegenüber.³¹⁷ 99,3 % ihrer 432 Testprobleme können mit Hilfe des teilrelaxierten Ansatzes optimal gelöst werden, während die LP-basierten Heuristiken dies nur bei 62,3 % (*K*) bzw. 43,8 % (*MS*) der Testprobleme erreichen. Sofern Arbeitsumgebungen zugrunde gelegt werden, die den Einsatz von Teilzeitarbeitnehmern miteinbeziehen, erfolgt zunächst eine Reduzierung der Anzahl der möglichen Variablen über eine Teilmengenbildung, die auf der Methode der Spaltengenerierung beruht.³¹⁸ Die mit Hilfe des teilrelaxierten Ansatzes erzielten Zielfunktionswerte der Testprobleme liegen durchschnittlich 1,13 % über denen der LP-Lösung, während die bisher besten korrespondierenden Lösungen dieser Testprobleme von Bechtold und Brusco durchschnittlich 2,27 % darüber liegen.³¹⁹ Bei der Lösung der Testprobleme können die besten bisher bekannten Lösungen für alle Testprobleme verbessert werden.

Cezik et al. vergleichen die Zielfunktionswerte ihres Fix-and-Branch Algorithmus mit denen des relaxierten Problems für 15 Testprobleme.³²⁰ Die Testprobleme basieren auf Daten aus fünf realen Call Centern mit einem durchschnittlichen Arbeitnehmerbedarf von 65, 200 bzw. 1000 Agenten. Für sieben Testprobleme erzielt ihr Verfahren eine optimale

³¹⁶ Vgl. Brusco/ Johns (1995b) und Bechtold/ Brusco/ Showalter (1991). Sie vergleichen die Verfahren *K* und *MS*. Vgl. Morris/ Showalter (1983) sowie Keith (1979).

³¹⁷ Vgl. Brusco/ Johns (1996).

³¹⁸ Vgl. Easton/ Rossin (1991a). Die Methode wurde im Abschnitt 4.1.4 beschrieben.

³¹⁹ Vgl. Brusco/ Johns (1996). Die beste korrespondierende Lösung zum Zeitpunkt der Veröffentlichung bestand in dem Dekompositionsansatz von Bechtold und Brusco. Vgl. Bechtold/ Brusco (1994b).

³²⁰ Vgl. Cezik/ Günlük/ Luss (2001).

Lösung. Der Zielfunktionswert des am schlechtesten abschneidenden Testproblems liegt 1,54 % über dem Wert des relaxierten Modells. Die Lösungszeiten sind mit unter sieben Minuten sehr moderat.

Darüber hinaus kann ein Vergleich zwischen LP-basierten Verfahren, die alle Arbeitszeitmuster einer zugrunde liegenden Arbeitsumgebung berücksichtigen, und optimalen Verfahren, welche die Anzahl an Arbeitszeitmuster durch Teilmengenbildung einschränken, erfolgen. Bechtold und Brusco vergleichen anhand von 36 Testproblemen die besten LP-basierten Methoden *K* und *MS*, die auf der Betrachtung aller 168 möglichen Arbeitszeitmuster der Arbeitsumgebung basieren, mit den optimalen Ergebnissen für mehrere von ihnen entwickelten Methoden zur Teilmengenbildung.³²¹ Die Ergebnisse dieser Verfahren werden dem Zielfunktionswert des globalen Optimums gegenübergestellt, das aufgrund der geringen Anzahl von Arbeitszeitmustern berechnet werden kann. Während die Zielfunktionswerte der optimalen Verfahren, die anhand der Teilmengen erzeugt werden, durchschnittlich zwischen 0 % und 0,10 % (je nach Methode der Teilmengenauswahl) von denen des globalen Optimums abweichen, liegen die Werte der LP-basierten Methoden 0,18 % (*K*) bzw. 0,15 % (*MS*) über denen des globalen Optimum. Zusätzlich benötigen die LP-basierten Heuristiken ein Vielfaches an Rechenzeit im Vergleich zu den teilmengenbasierten Methoden. Auf eine Gegenüberstellung der benötigten Rechenzeit für das globale Optimum wird leider verzichtet. Demnach ist es möglich, mit Hilfe einer guten Vorauswahl von einigen Arbeitszeitmustern aus der Gesamtmenge, gute Ergebnisse zu erhalten. Aufgrund unterschiedlicher Testprobleme lassen sich die Ergebnisse nicht mit denen des teilrelaxierten Ansatzes von Brusco und Johns vergleichen.³²²

Brusco und Jacobs vergleichen die Ergebnisse ihrer Simulated Annealing Ansätze für unterschiedliche Testprobleme und Arbeitsumgebungen mit der Lower Bound des relaxierten Problems.³²³ Darüber hinaus werden die Ergebnisse bei Arbeitsumgebungen mit ausschließlicher Betrachtung von Vollzeitarbeitnehmern u.a. mit den Ergebnissen der besten LP-basierten Heuristiken *K* und *MS* verglichen. Durchschnittlich liegen die Zielfunktionswerte des Simulated Annealing Ansatzes für die Testprobleme deutlich näher

³²¹ Vgl. Bechtold/ Brusco (1994a), S. 549. Die Testprobleme stammen von Bechtold und Showalter. Vgl. Bechtold/ Showalter (1987). Die Arbeitsumgebung ist identisch zu der von Bechtold et al. Vgl. Bechtold/ Brusco/ Showalter (1991). Das Optimum wird mit GOMORY Schnittebenen erzeugt.

³²² Vgl. Brusco/ Johns (1996).

³²³ Vgl. Brusco/ Jacobs (1995) und (1993a, b).

an denen der LP-Lösung als die Ergebnisse der Heuristiken. Insbesondere wird durch sie häufiger eine beste Lösung erzeugt als dies bei den Heuristiken der Fall ist. Je nach zugrunde gelegter Arbeitsumgebung und Zusammensetzung der Testprobleme liegen die durchschnittlichen Abweichungen des Zielfunktionswertes ihres Ansatzes von dem des relaxierten Modells zwischen 0,75 % und 4,88 %. Stellt man die Ergebnisse des Simulated Annealing Ansatzes denen gegenüber, die mittels einer impliziten Formulierung und einem Branch-and-Bound Ansatz erreicht werden, so sind die Zielfunktionswerte des von ihnen entwickelten Ansatzes lediglich 0,65 % schlechter, wobei der zeitliche Aufwand zum Erhalt der Lösung ein Zehntel der Zeit beansprucht.³²⁴ Die Autoren berichten, dass nach von 30 Sekunden die Zielfunktionswerte kaum bzw. nur noch geringfügig verbessert werden können.

Die Ergebnisse des Simulated Annealing Ansatzes unter Berücksichtigung der Arbeitnehmerverfügbarkeit von Thompson werden für eine sehr flexible Arbeitsumgebung mit einer modifizierten Form eines impliziten Modells von Thompson verglichen.³²⁵ Der Vergleich der Zielfunktionswerte zeigt, dass die Einsatzpläne, die über den Ansatz des Simulated Annealing generiert werden, zwar um 0,29 % höhere Kosten produzieren, sie benötigen aber für die Lösung nur 8,4 % der Zeit, die für die optimalen Pläne beansprucht werden.

Die Ergebnisse des Tabu Search Ansatzes von Easton und Rossin werden mit dem Zielfunktionswertes des relaxierten Modells verglichen.³²⁶ Die Ergebnisse liegen durchschnittlich 1 % über dem Wert des relaxierten Modells. Dabei ist dieser Wert bei einer Arbeitsumgebung mit ausschließlichem Einsatz von Vollzeitarbeitnehmern geringer als beim gemeinsamen Einsatz von Vollzeit- und Teilzeitarbeitnehmern (0,23 % vs. 1,76 %). Die Ergebnisse der Tabu Search Methode von Taylor und Huxley bewegen sich ebenfalls innerhalb von einem Prozent der Lösung des relaxierten Modells und erreichen diese Lösung in weniger als einem Zehntel der Zeit der LP-Lösung.³²⁷

Easton und Mansour vergleichen ihre Methode des Genetischen Algorithmus mit einer verteilten Population anhand mehrerer Testprobleme mit einigen effektiven konventionellen

³²⁴ Vgl. Brusco/ Jacobs (1995) und (1993b) sowie Jacobs (1989). Der implizite Ansatz wird im Abschnitt 4.1.5.4 erläutert.

³²⁵ Vgl. Thompson (1996) und (1990).

³²⁶ Vgl. Easton/ Rossin (1996).

³²⁷ Vgl. Taylor/ Huxley (1989). Sie verwenden zur Lösung des LP's eine LINDO-basierte Software.

Heuristiken sowie der Tabu Search Methode von Taylor und Huxley und dem von Brusco und Jacobs durchgeführten Simulated Annealing Ansatz.³²⁸ Die Ergebnisse, die sie mit dem Genetischen Algorithmus erreichen, sind hinsichtlich der durchschnittlichen Abweichung des Zielfunktionswertes von dem der optimalen bzw. besten Lösung signifikant besser als die Vergleichsergebnisse der anderen Heuristiken.³²⁹ Ihr Ansatz übertrifft die anderen untersuchten Lösungsalternativen hinsichtlich des maximalen Fehlers und des Prozentsatzes der Fälle, bei denen der Ansatz die kostengünstigste Lösung erzielt. Ihre durchschnittliche Abweichung liegt unter 0,07 % und produziert in über 60 % der Fälle die beste Lösung. Zwar gestaltet sich der Rechenaufwand des Genetischen Algorithmus höher als bei den anderen Methoden, aber er beträgt nur $\frac{1}{3}$ der Rechenzeit der Branch-and-Bound Routine. Vergleicht man die Ergebnisse der Rechenzeit mit der Lösungsqualität, so gestaltet sich der Genetische Algorithmus als effizient. Die Ergebnisse des Simulated Annealing sind in ihrem Vergleich geringfügig schlechter.

Anhand der eben beschriebenen Ausführungen lässt sich erkennen, dass viele Heuristiken existieren, die in der Lage sind, gute Einsatzpläne zu erzeugen. Dennoch lässt sich kein eindeutig bestes Verfahren identifizieren. Tendenziell kann festgestellt werden, dass es in einer Arbeitsumgebung mit einer hohen Anzahl an Arbeitszeitmustern sinnvoll ist, diese durch Teilmengenbildung zunächst zu reduzieren. Vernachlässigt man die Metaheuristiken, so sind die LP-basierten Heuristiken von Keith (*K*), Morris und Showalter (*MS*) sowie das teilrelaxierte Modell von Brusco und Johns und der Fix-and-Branch Ansatz von Cezik et al. zu empfehlen.³³⁰ Darüber hinaus lassen sich insbesondere mit der Methode des Simulated Annealing sowie der Anwendung des genetischen Algorithmus gute Ergebnisse erzielen, die im Vergleich zu den optimalen Ergebnissen bzw. den besten Ergebnissen eines Branch-and-Bound Algorithmus schneller eine Lösung erzeugen, deren Zielfunktionswert nur geringfügig schlechter ist.³³¹ Generell sind jedoch bei der Berücksichtigung einer Vielzahl von Arbeitszeitmustern keine optimalen Lösungen auffindbar.

³²⁸ Vgl. Easton/ Mansour (1999), Brusco/ Jacobs (1993a, b), Taylor/ Huxley (1989). Die konventionellen Methoden betreffen Easton (1991), Li/ Robinson/ Mabert (1991), Bartholdi (1981), Keith (1979) und Henderson/ Berry (1976). Die Anzahl der Arbeitszeitmuster wurde dabei durch die Teilmengengenerierung von Easton und Rossin reduziert. Vgl. Easton/ Rossin (1991a).

³²⁹ Die beste Lösung wurde erreicht, indem eine OSL Branch-and-Bound Prozedur angewandt wurde.

³³⁰ Vgl. Cezik/ Günlük/ Luss (2001), Brusco/ Johns (1996), Morris/ Showalter (1983) und Keith (1979).

³³¹ Vgl. die Ergebnisse von Easton/ Mansour (1999), Thompson (1997a), Brusco/ Jacobs (1995) und (1993a,b).

4.1.5.4 Implizite Modellierung

Eine vielversprechende Möglichkeit, Personaleinsatzprobleme zu lösen, besteht in einer Reformulierung des Modells, der sogenannten impliziten Modellierung. Während bei der Set Covering Formulierung jedes erwünschte Arbeitszeitmuster explizit durch eine Variable beschrieben wird, und daher bei der Lösung das dazugehörige Arbeitszeitmuster konkret angegeben werden kann, bildet die implizite Modellierung nur Teile eines Arbeitszeitmusters über Variablen ab. Demnach werden bei der impliziten Modellierung lediglich temporale Rahmengrößen wie beispielsweise Schichtbeginn, Schichtende oder Pausen vorgegeben, so dass im Anschluss an die Lösung des Modells die Einsatzpläne heuristisch zusammensetzen sind. Kann innerhalb einer Schicht, mit vordefiniertem Schichtstartzeitpunkt und Schichtlänge, die Pause beispielsweise innerhalb eines Zeitfensters beginnen, so ist bei der Formulierung als Set Covering Problem für jeden möglichen Pausenbeginn ein gesondertes Arbeitszeitmuster zu erstellen. Der Ansatz der impliziten Modellierung hingegen würde eine Schichtvariable ohne Pause definieren und zusätzlich eine Pausenvariable einführen, die unterschiedlichen Schichten zugeordnet werden kann. Die Verbindung zwischen den Schicht- und Pausenvariablen erfolgt anhand von zusätzlichen Restriktionen.

Die Verschiedenheit der impliziten Modellierung von denen der Set Covering Formulierung soll beispielhaft anhand des impliziten Shift Scheduling Modells von Bechtold und Jacobs verdeutlicht werden.³³² Sie repräsentieren implizit die Pausenzuordnung für alle Schichttypen. Die Charakterisierung eines Schichttyps erfolgt dabei durch seinen Schichtbeginn, die Schichtlänge sowie ein Pausenfenster, in dem die Pause beginnt. Zusätzlich werden bei dieser Formulierung Pausenvariablen eingeführt, die lediglich mit den Planungsperioden verbunden sind. Eine Pausenvariable bezeichnet die Anzahl an Arbeitnehmern, die eine Pause in der assoziierten Planungsperiode beginnen. Die Autoren reduzieren somit die Anzahl der Entscheidungsvariablen erheblich, denn zur Beschreibung aller Schichten desselben Typs wird, unabhängig von deren Pause, lediglich eine einzige Variable benutzt. Während bei der Set Covering Formulierung für eine Schicht mit demselben Schichtbeginn und derselben Länge für jede mögliche Pausenplatzierung eine separate Schichtvariable benötigt wird, definieren Bechtold und Jacobs lediglich eine Variable für diesen Schichttyp. Darüber hinaus erfolgt für einen Schichttyp die Angabe des Zeitraums für das dazugehörige Pausenfenster. Für jede mögliche Periode, in der eine

³³² Vgl. Bechtold/ Jacobs (1991) und (1990).

Pause stattfinden kann, existieren Pausenvariablen. Diese Pausenvariablen gelten für alle Schichttypen, für die in der jeweiligen Periode eine Pause möglich ist. Zusätzliche Restriktionen stellen sicher, dass sich jeder Schicht in einem vordefinierten Pausenfenster eine Pause zuordnen lässt. Nachfolgend wird das implizite Personaleinsatzplanungsmodell *IPEP* von Bechtold und Jacobs formal beschrieben:

$$\min \sum_{s \in ST} yt_s \cdot ct_s \quad (4.20)$$

subject to

$$\sum_{s \in ST} a_{s,t} \cdot yt_s - yp_t \geq B_t \quad \forall t \in T \quad (4.21)$$

$$\sum_{t=i}^k yp_t - \sum_{s \in PEnd_k} yt_s \geq 0 \quad \forall k \in P_E \setminus \{j\} \quad (4.22)$$

$$\sum_{t=k}^j yp_t - \sum_{s \in PBeg_k} yt_s \geq 0 \quad \forall k \in P_S \setminus \{i\} \quad (4.23)$$

$$\sum_{s \in ST} yt_s - \sum_{t=i}^j yp_t = 0 \quad (4.24)$$

$$yt_s \geq 0 \quad \forall s \in S \quad (4.25)$$

$$yp_t \geq 0 \quad \forall t \in T \quad (4.26)$$

$$yt_s \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \forall s \in S \quad (4.27)$$

$$yp_t \geq 0 \quad \text{ganzzahlig} \quad \forall t \in T \quad (4.28)$$

Dabei gilt:

B_t Bedarf in der Periode $t \in T$

ct_s Kosten des Schichttyps $s \in ST$

i früheste Periode des Pausenbeginns für alle Schichttypen

j späteste Periode der Pause für alle Schichttypen

P_E Menge der möglichen Endzeitpunkte aller Pausenfenster

P_S Menge der möglichen Startzeitpunkte aller Pausenfenster

$PBeg_k$ Menge aller Schichttypen mit Pausenfenster zwischen k und der spätestmöglichen Pausenperiode j

$P\text{End}_k$	Menge aller Schichttypen mit Pausenfenster zwischen der frühestmöglichen Pause und k
ST	Menge der möglichen Schichttypen
y_{t_s}	Anzahl der im Schichttyp $s \in ST$ arbeitenden Agenten
yp_t	Anzahl der Agenten mit Pausenbeginn in Periode t

Die Zielfunktion (4.20) minimiert die Arbeitskosten. Die Restriktion (4.21) dient der Bedarfsdeckung. Die Restriktionen (4.22) - (4.24) verbinden die Schicht- mit den Pausenvariablen. Die vorwärts rollierenden Restriktionen (4.22) stellen sicher, dass die Summe der Pausen, die zwischen den Perioden i und k beginnen, größer oder gleich der Anzahl an Schichttypen ist, deren Pausenfenster innerhalb dieser Zeitspanne liegt. Die rückwärts rollierenden Restriktionen (4.23) hingegen garantieren, dass die Summe der Pausen, die zwischen den Perioden k und j beginnen, mindestens so groß ist wie die Anzahl der Schichttypen, deren Pausenfenster innerhalb der Zeitspanne liegt. Das bedeutet, dass genügend Pausen in der Zukunft vorhanden sein müssen, um den Bedarf an Pausen für den Rest des Tages zu befriedigen. Die Restriktionen (4.22) und (4.23) verbunden mit der Pausenbilanzgleichung (4.24), die eine Übereinstimmung der Anzahl der ausgewählten Pausen mit der Anzahl der Schichttypen fordert, gewährleisten, dass jede Schicht genau eine Pause innerhalb ihres Pausenfensters erhält. Die Formulierung des impliziten Modells gilt für diskontinuierliche Öffnungszeiten, identisch lange Pausen, deren Länge auch mehr als eine Periode betragen kann, sowie die Nichtexistenz eines extraordinary overlaps³³³. Ein extraordinary overlap ist vorhanden, wenn das Pausenfenster eines Schichttyps eine echte Teilmenge des Pausenfensters eines anderen Schichttyps bildet, d.h. bei der impliziten Formulierung darf kein Pausenfenster eines Schichttyps früher beginnen und gleichzeitig später enden als das Pausenfenster eines anderen Schichttyps.

Die Unterschiedlichkeit der Formulierungen soll an einem Beispiel demonstriert werden. Angenommen sei ein Unternehmen mit einer Öffnungszeit von acht Stunden an einem Tag. Die Periodenlänge beträgt eine Stunde. Die Schichten sind jeweils fünf Stunden lang. Sie beinhalten eine Stunde Pause, die in der zweiten bis vierten Stunde der Anwesenheit stattfindet. Die Schichten können zu jedem Zeitpunkt anfangen, der es ermöglicht, dass die Schicht innerhalb der Öffnungszeit beendet werden kann. Die für das Beispiel explizit

³³³ Vgl. Bechtold/ Jacobs (1990), S. 1441.

definierten zwölf Schichten y_1, \dots, y_{12} sowie die Restriktionen der Bedarfsdeckung sind für die Set Covering Formulierung in Tabelle 4.5 dargestellt.

Periode	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	y_{12}	B_t
1	1	1	1										≥ 1
2	0	1	1	1	1	1							≥ 2
3	1	0	1	0	1	1	1	1	1				≥ 3
4	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	≥ 4
5	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	≥ 4
6				1	1	1	1	1	0	1	0	1	≥ 3
7							1	1	1	1	1	0	≥ 2
8										1	1	1	≥ 1

Tabelle 4.5: Set Covering Formulierung des Beispiels

Restriktion	yt_1	yt_2	yt_3	yt_4	yp_2	yp_3	yp_4	yp_5	yp_6	yp_7	RS
(4.21)	1										≥ 1
	1	1			-1						≥ 2
	1	1	1			-1					≥ 3
	1	1	1	1			-1				≥ 4
	1	1	1	1				-1			≥ 4
		1	1	1					-1		≥ 3
			1	1						-1	≥ 2
				1							≥ 1
(4.22)	-1				1	1	1				≥ 0
	-1	-1			1	1	1	1			≥ 0
	-1	-1	-1		1	1	1	1	1		≥ 0
(4.23)				-1				1	1	1	≥ 0
			-1	-1			1	1	1	1	≥ 0
		-1	-1	-1		1	1	1	1	1	≥ 0
(4.24)	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	$= 0$

Tabelle 4.6: Implizite Formulierung des Beispiels

Formuliert man das Beispiel hingegen mit dem beschriebenen impliziten Ansatz, so werden die Schichten und deren Pausen durch unterschiedliche Variablen repräsentiert. Es existieren vier Schichttypen, dargestellt durch die Variablen yt_1, \dots, yt_4 . Hinzu kommen die Pausen, die durch die Pausenvariablen yp_2, \dots, yp_7 modelliert werden. Die Restriktionen der Bedarfsdeckung, die vorwärts- und rückwärtsrollierenden Restriktionen und die Pausenbilanzgleichung für die genannten Variablen sowie die Rechte Seite RS des Modells sind

der Tabelle 4.6 zu entnehmen. Dabei ist ersichtlich, dass die Anzahl der Variablen von zwölf auf zehn sinkt, die der Restriktionen jedoch im Vergleich zur Set Covering Formulierung von acht auf fünfzehn steigt. Der Unterschied zwischen der Anzahl der Variablen in den unterschiedlichen Formulierungen wird umso größer, je höher die Pausenflexibilität ist.

Der Vorteil des impliziten Ansatzes liegt generell in der Reduktion der Anzahl der Variablen im Vergleich zu der Set Covering Formulierung. Allerdings steigt tendenziell die Anzahl der Restriktionen, da in der Regel Restriktionen formuliert werden müssen, um die einzelnen Variablen miteinander zu verbinden. Ein Vergleich der implizierten Modellierung und der Formulierung als Set Covering Ansatz des Shift Scheduling Problems hinsichtlich der Anzahl der Variablen und der Restriktionen findet sich für unterschiedliche Pausenlagen bei Aykin.³³⁴ Die beiden Formulierungen sind insofern äquivalent, als die optimale Lösung der impliziten Formulierung eine optimale Lösung des Set Covering Problems beinhaltet.³³⁵

Die dargestellte Formulierung des Shift Scheduling mit impliziter Pausenbetrachtung ist eine Möglichkeit von vielen, ein Personaleinsatzplanungsproblem implizit zu formulieren. Im Folgenden werden die weiteren Modellierungsansätze überblicksweise vorgestellt. Das erste Modell zur impliziten Modellierung des Shift Scheduling Problems stammt von Moondra.³³⁶ Er bestimmt modellendogen Teilzeitschichten ohne Pausen. Die ganzzahligen Variablen bezeichnen die Anzahl an Arbeitnehmern, die in den einzelnen Perioden eine Schicht beginnen bzw. beenden. Restriktionen hinsichtlich der Schichtstart- und Schichtendzeitpunkte stellen sicher, dass sich die Schichtlängen innerhalb einer vordefinierten Bandbreite bewegen.

Gaballa und Pearce formulieren ein Integer Program, bei dem Schichttypen die Entscheidungsvariablen darstellen.³³⁷ Ein Schichttyp wird analog zu dem beispielhaft dargestellten Modell *IPEP* durch seine Schichtlage, die Schichtdauer und ein Pausenfenster identifiziert. Die implizite Pausendefinition weicht jedoch von derjenigen des Modells *IPEP* ab, da für

³³⁴ Vgl. Aykin (1996), S. 599.

³³⁵ Vgl. Rekik/ Cordeau/ Soumis (2004) und Bechtold/ Jacobs (1996). Während Bechtold und Jacobs die Äquivalenz der Formulierung unter Ausschluss eines extraordinary overlaps beweisen, stellen Rekik et al. durch zusätzliche Cuts eine optimale Lösung auch beim Vorhandensein eines extraordinary overlaps sicher.

³³⁶ Vgl. Moondra (1976).

³³⁷ Vgl. Gaballa/ Pearce (1979).

jede Periode und jede Schicht, in der eine Pause stattfindet, eine separate Pausenvariable eingeführt wird. Die Anzahl der Restriktionen erhöht sich zwar nicht, allerdings ist bei dieser Formulierung die Anzahl der Variablen höher als beim vergleichbaren Set Covering Ansatz.

Die beschriebenen Modellierungsweisen, die implizite Repräsentation von Arbeitszeiträumen ohne Pausenberücksichtigung von Moondra und die implizite Zuordnung der Pausen zu Schichten von Bechtold und Jacobs, werden im Ansatz von Thompson zusammengeführt.³³⁸ Das Pausenfenster eines Schichttyps wird definiert in Verbindung mit dem Beginn und Ende einer Schicht, indem die minimale und maximale Arbeitszeit vor und nach der Pause spezifiziert wird. Thompson ist mit dieser Formulierung in der Lage, Modelle mit bis zu 15.885 Schichtalternativen optimal zu lösen.

Aykin erweitert den von Gaballa und Pearce beschriebenen Ansatz für Schichten mit mehreren Pausenzeiten und Pausenlängen.³³⁹ Dabei führt er für jede Schicht-Pausen-Kombination eine Menge von Pausenvariablen ein. Gleichzeitig fügt er für jedes Pausenfenster und jeden Schichttyp eine Restriktion hinzu, die die Pausenanzahl und -zuordnung auch beim Vorhandensein eines extraordinary overlaps gewährleistet.

Die Modellierungsansätze von Bechtold und Jacobs sowie Aykin, die die Pausenplatzierung implizit modellieren, wurden in einer Studie verglichen.³⁴⁰ Während das Modell von Aykin mehr Variablen und weniger Restriktionen als dasjenige von Bechtold und Jacobs benötigt, ist sein Modell für eine bestimmte Klasse von Problemen schneller lösbar. Insbesondere lassen sich bei seinem Modell lediglich 1 % der betrachteten Probleme nicht optimal lösen, beim Modell von Bechtold und Jacobs sind es bereits 14,5 %.

Bailey reformuliert erstmals das Tour Scheduling Problem, indem er Variablen für Schichten eines jeden Tages mit freien-Tage-Mustern in einem Modell integriert und somit implizit Touren repräsentiert.³⁴¹ Die unterschiedlichen Variablentypen werden über Restriktionen miteinander verbunden, um die Übereinstimmung der Anzahl der Arbeitszeitmuster des Days Off Problems und der Anzahl der Schichten des Shift Scheduling Problems zu gewährleisten. Demnach sind wechselnde Schichtstartzeitpunkte innerhalb

³³⁸ Vgl. Thompson (1995b), Bechtold/ Jacobs (1990), (1991) und Moondra (1976).

³³⁹ Vgl. Aykin (1996) und Gaballa/ Pearce (1979).

³⁴⁰ Vgl. Aykin (2000). Er vergleicht die Ansätze von Aykin sowie Bechtold und Jacobs im Rahmen von 220 Testproblemen mit bis zu 32 928 Schichtalternativen. Vgl. Aykin (1996) sowie Bechtold/ Jacobs (1990).

³⁴¹ Vgl. Bailey (1985).

einer Tour möglich. Die Annahme einer vorgegebenen Anzahl an Arbeitnehmern erweitert die Minimierung der Arbeitskosten um die Kosten der Unterdeckung von Arbeitsperioden. Obwohl das Modell effizient formuliert wird, werden ausschließlich achtstündige Schichten ohne die Berücksichtigung von Pausen betrachtet.

Jarrah et al. integrieren das implizite Pausenflexibilitätsmodell von Bechtold und Jacobs mit der Arbeit von Burns und Carter zur Bestimmung der Anzahl an Vollzeitarbeitnehmern.³⁴² Ihre Variablen spezifizieren die Pausen, die Anzahl an Arbeitnehmern der Vollzeit- und Teilzeitschichten eines Tages sowie die Anzahl an benötigten Vollzeitarbeitnehmern. Die Anzahl der Vollzeitarbeiter wird anhand einer unteren Schranke definiert, die eine 5-Tage-Woche der Vollzeitarbeiter berücksichtigt. Die Lösung des Problems erfolgt anhand eines Dekompositionsansatzes, bei dem zunächst ein teilweise relaxiertes Problem gelöst wird. Dieses Problem führt eine Menge aggregierter ganzzahliger Variablen ein, die die Summe der Vollzeit- sowie Teilzeitschichten einer bestimmten Länge für jeden Tag repräsentieren. Die Zuordnung der Anzahl an Arbeitnehmern zu Schichten hingegen kann fraktionelle Werte annehmen. Die auf diese Weise bestimmte Anzahl an Arbeitnehmern geht als Input in das jeweilige Shift Scheduling Problem ein, das für jeden Wochentag separat mittels eines partiellen Enumerationsansatzes und einer Heuristik gelöst wird, welche die Zulässigkeit garantiert. Durch diesen Ansatz werden obere und untere Schranken generiert, wodurch die Lösung des Problems schnell gegen eine nahezu optimale Lösung konvergiert. Im Anschluss an die Lösung müssen sowohl die Pausen den Schichten als auch die Arbeitstage und die freien Tage den Touren zugeordnet werden, so dass Arbeitnehmer innerhalb einer Tour unterschiedliche Schichtstartzeitpunkte haben.

Die Modellformulierung von Jarrah et al. wird von Bard et al. dahingehend erweitert, dass sie unterschiedliche Schichtstartzeitbandbreiten für die Arbeitnehmer anhand von zusätzlichen Restriktionen implementieren.³⁴³ Sie lösen mit CPLEX das implizite Modell. Das Modell wird für verschiedene Parametervariationen gelöst. Dabei ergibt sich für eine Anzahl von bis zu 1440 Variablen und 2127 Restriktionen eine Ganzzahligkeitslücke zwischen der Lösung der LP-Relaxation des Modells und der ganzzahligen Lösung von weniger als 4%, die bei einem Knotenlimit von 15.000 beim Branch-and-Bound Baum auftritt.

³⁴² Vgl. Jarrah/ Bard/ deSilva (1994) sowie Bechtold/ Jacobs (1990) und Burns/ Carter (1985).

³⁴³ Vgl. Bard/ Binici/ deSilva (2003) und Jarrah/ Bard/ deSilva (1994).

Der implizite Ansatz von Jacobs und Brusco lässt unterschiedliche Startzeiten einer Schicht innerhalb einer Tour zu.³⁴⁴ Touren werden über die Verknüpfung von Schichtvariablen mit freien-Tage-Mustern definiert. Die Schichten haben die gleiche Länge. Pausen werden nicht berücksichtigt. Jacobs und Brusco erreichen mit ihrer Reformulierung des Einsatzplanungsproblems Zielfunktionswerte, die sich nahe an denen der LP-Relaxation befinden. Insbesondere Unternehmen mit großen Bedarfsschwankungen in den Tagen einer Woche profitieren von der Möglichkeit unterschiedlicher Startzeiten. Brusco und Jacobs erweitern später diesen Ansatz um die Einbeziehung von Pausen.³⁴⁵ Dabei definieren sie sowohl separate Variablen für den Schichtbeginn an einem Tag in einer Startzeitbandbreite und einer Periode als auch für Pausen und für Kombinationen von freien-Tage-Mustern und Startzeitintervallen. Die Schichten haben alle die gleiche Länge. Die einzelnen Variablen werden wiederum über Restriktionen miteinander verbunden. Den Branch-and-Bound Suchalgorithmus können sie durch die Einführung einer unteren Schranke verbessern. Diese wird durch eine zusätzliche Restriktion eingeführt, die besagt, dass die Summe der eingesetzten Arbeitnehmer mindestens so groß sein muss wie die aufgerundete Anzahl in der Lösung des relaxierten Problems. Dies ist möglich, da die Arbeitnehmer identische Wochenarbeitszeiten haben. Brusco und Jacobs lösen alle 64 Testprobleme optimal.

Isken beschreibt ein implizites Modell das ähnliche Flexibilität aufweist wie das von Brusco und Jacobs.³⁴⁶ Zusätzlich werden neben den Vollzeit- auch Teilzeitschichten betrachtet. Die Schichten innerhalb einer Tour haben die gleiche Länge und starten innerhalb einer Bandbreite. Pausen finden aufgrund der Anwendung im Krankenhausbereich keine Berücksichtigung. Isken definiert Variablen für die Schichten, die Arbeitstage und die freien Tage, die durch Restriktionen miteinander verbunden werden.

Der implizite Ansatz des Shift Scheduling von Aykin und die Idee der Integration der Schicht- und freien-Tage-Muster von Bailey werden im Ansatz von Topaloglu und Ozkarahan für ein diskontinuierliches Problem miteinander verbunden.³⁴⁷ Sie definieren unterschiedliche Variablen für die Anzahl an Arbeitnehmern, die einem Schichttyp, einem Pausenstart bzw. einem freien-Tage-Muster zugeordnet sind. Das bedeutet, dass für

³⁴⁴ Vgl. Jacobs/ Brusco (1996).

³⁴⁵ Vgl. Brusco/ Jacobs (2000). Zur Definition der Pausenvariablen vgl. Bechtold/ Jacobs (1990).

³⁴⁶ Vgl. Isken (2004) und Brusco/ Jacobs (2000).

³⁴⁷ Vgl. Topaloglu/ Ozkarahan (2003) sowie Aykin (1996) und Bailey (1985).

verschiedene Schichttypen unterschiedliche freie-Tage-Muster gelten können. In dem Modell wird – bei identischer Schichtlänge aller Schichten – die Anzahl der Arbeitnehmer minimiert. Die Restriktionen stellen sicher, dass die eingeplanten Arbeitsperioden der Schichten abzüglich der Pausenvariablen den Bedarf decken. Eine zusätzliche Forderung besteht darin, dass für jeden Tag und jeden Schichttyp die Anzahl der arbeitenden Arbeitnehmer eines freien-Tage-Musters der Anzahl der Arbeitnehmer dieses Schichttyps an dem Tag entspricht. Darüber hinaus ist es notwendig, mit Hilfe von weiteren Restriktionen jedem Schichttyp an jedem Tag die dazugehörigen Pausen zuzuordnen. Im Anschluss an die Lösung des Modells erfolgt die Zusammensetzung der Schichten zu Touren. Die Autoren zeigen anhand von 36 Testproblemen die Überlegenheit ihres Ansatzes im Vergleich zur Set Covering Formulierung. Letztere kann optimale Lösungen nur für Probleme mit einer geringen Anzahl von Arbeitszeitmustern erzeugen. Vergleicht man die Lösungszeit der Testprobleme, die mit beiden Ansätzen gelöst werden können, so beträgt die Lösungszeit des Set Covering Problems durchschnittlich das 161-Fache des vorgestellten Ansatzes. Die Autoren lösen Tour Scheduling Probleme mit bis zu 5.361.741 möglichen Arbeitszeitmustern optimal.

Rekik et al. stellen eine implizite Modellierung für das Tour Scheduling mit einem hohen Maß an Flexibilität vor.³⁴⁸ Der Ansatz erweitert das vorgestellte Modell *IPEP* für Probleme des Tour Scheduling, indem sie zusätzlich zu den Schichttyp- und Pausenvariablen Tourvariablen einführen. Diese bestimmen die Zuordnung einer Arbeitnehmeranzahl zu einer Tour. Die Tourvariablen werden analog zu den vorwärts- und rückwärtsrollierenden Restriktionen des Modells *IPEP* mit den Schichttypvariablen für jeden Tag und einem wachsenden Intervall verbunden. Im Vergleich zu dem jüngsten von Brusco und Jacobs dargestellten impliziten Tour Scheduling Ansatz benötigt das erstellte Modell immer weniger Variablen, gleichzeitig verzeichnet es einen geringen Anstieg in der Anzahl der Restriktionen.³⁴⁹

Die implizite Modellierung hat beachtliche Erfolge erzielt, insbesondere bei der Lösbarkeit der Modelle im Hinblick auf die Anzahl der berücksichtigten Arbeitszeitmuster. Allerdings ist ihre Anwendungsmöglichkeit in bestimmten Situationen begrenzt:³⁵⁰

³⁴⁸ Vgl. Rekik/ Cordeau/ Soumis (2004).

³⁴⁹ Vgl. Brusco/ Jacobs (2000).

³⁵⁰ Vgl. Mehrotra/ Murphy/ Trick (2000), S. 186 und Thompson (1995b), S. 600.

- Komplexe Regeln bezüglich zulässiger Arbeitszeitmuster sind schwierig zu implementieren und
- Kostenstrukturen können nicht adäquat repräsentiert werden, wenn die Kosten eines Arbeitszeitmusters von der Startzeit, der Länge sowie der Lage und Platzierung der Pausen abhängen.

Exakte Lösungsverfahren zur Lösung der impliziten Modelle basieren auf Branch-and-Bound Techniken, deren Anwendung in Verbindung mit einem Dekompositionsansatz sowie Branch-and-Cut Techniken.³⁵¹ Dabei wird bei der Verwendung des Branch-and-Bound Verfahrens häufig eine Schnittebene hinzugefügt, die sich aus dem gerundeten Zielfunktionswert der Lösung des jeweils relaxierten Modells ergibt. Der gerundete Wert stellt eine Lower Bound für die optimale Lösung dar. Die Schnittebene kann nach jedem Branchen aktualisiert werden.

4.1.6 Simultane Personalbedarfs- und Personaleinsatzplanung

Das sequentielle Lösen von Personalbedarfs- und -einsatzplanung unterstellt implizit, dass individuellen Arbeitnehmern Einsatzpläne zugewiesen werden können, die eine einzelne Periode dauern. Daher ist zu überlegen, ob eine simultane Vorgehensweise der sequentiellen vorzuziehen ist. Bei einigen simultanen Ansätzen wird die Mindestbedarfsdeckung jeder Periode zugunsten einer globalen Messung des Serviceniveaus aufgegeben. Das bedeutet, dass die strikte Einhaltung der Nebenbedingung eines angestrebten Serviceniveaus in jedem Zeitintervall und die Einhaltung eines globalen Serviceniveaus gefordert wird. Das globale Serviceniveau stellt die Einhaltung eines erwünschten Serviceniveaus innerhalb des gesamten Planungshorizontes sicher. Dies kann zu einer besseren Performance des Systems führen. Mehrere Autoren beschäftigen sich in ihren Ansätzen mit der simultanen Planung unter Einhaltung eines globalen Serviceniveaus für multiple Zeitperioden.³⁵² Dazu zählt auch das Modell *CLSM-SRV* von Thompson, das bereits im Abschnitt 4.1.2.3 vorgestellt wurde.³⁵³

³⁵¹ Für den Branch-and-Bound Ansatz vgl. Brusco/ Jacobs (2000), Thompson (1995b) und Bechtold/ Jacobs (1990). Jarrah et al. kombinieren diesen mit einer Dekompositionsmethode. Vgl. Jarrah/ Bard/ deSilva (1994). Aykin verwendet einen Branch-and-Cut Ansatz. Vgl. Aykin (1998).

³⁵² Vgl. Atlason/ Epelman/ Henderson (2004), Koole/ van der Sluis (2003), Ingolfsson/ Haque/ Umnikov (2002).

³⁵³ Vgl. Thompson (1997b).

Gleichermaßen existieren Ansätze, die kein globales Serviceniveau im Fokus haben. Ingolfsson et al. integrieren die Bedarfsermittlung in die Einsatzplanung.³⁵⁴ Ihr ganzzahliger Ansatz iteriert zwischen der Evaluation und der Generierung eines neuen Einsatzplans. Im Anschluss an die Generierung eines Einsatzplanes werden unzulässige Intervalle hinsichtlich des Service Levels über Restriktionen in den ganzzahligen Ansatz integriert, um eine optimale Lösung zu erzeugen, die einen bestimmten Service Level in jedem Intervall einhält. Henken verbindet in ihrem Modell die Personalbedarfsbestimmung der einzelnen Perioden über die Differenzialgleichungen des Fluidansatzes mit der Schichtauswahl der Agenten.³⁵⁵ In ihrer Zielfunktion maximiert sie den Gewinn des Call Centers.

Die simultanen Ansätze werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit bei der Personalbestandsplanung nicht berücksichtigt, da die Intention der Arbeit in der Bestimmung des benötigten Personalbestandes liegt und nicht in der Entwicklung eines möglichst guten operativen Modells. Eine sich an die Bestandsbestimmung anschließende Einsatzplanung kann diese Elemente durchaus verbinden. Insbesondere das im Abschnitt 4.1.2.3 vorgestellte Modell *CLSM-SRV* betrachtet eine globale Servicerestriktion, die mit einem vorgegebenen Personalbestand verbunden wird. Somit lässt sich dieses Modell im Anschluss an die Einsatzplanung dazu nutzen, eine globale Serviceniveaubetrachtung durchzuführen.

4.2 Komponenten der Personalbestandsplanung

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Modell zur Bestimmung eines konstanten Personalbestandes für den Planungszeitraum eines Jahres für Call Center erarbeitet werden. Der Personalbestand konkretisiert sich in der Anzahl der Mitarbeiter und deren unterschiedlichen Arbeitszeiten, die vertraglich vereinbart wurden. Innerhalb eines Jahres bleibt die Anzahl der Mitarbeiter jeder Mitarbeiterkategorie unverändert. Scheiden Agenten freiwillig aus dem Call Center aus, so wird unterstellt, dass diese rechtzeitig durch Agenten der gleichen Mitarbeiterkategorie ersetzt werden. Der konstante Personalbestand muss demnach in der Lage sein, das variierende Nachfrageniveau innerhalb eines Jahres auszugleichen und gleichzeitig flexibel genug sein, um die wöchentliche Personaleinsatzplanung für die einzelnen Wochen effizient zu gestalten. Der Ausgleich des Nachfrageniveaus erfolgt durch die Planung der Jahresarbeitszeit sowie die Einbeziehung der geplanten Fehlzeiten. Die Flexibilität wird durch die jeweilige Zusammensetzung des

³⁵⁴ Vgl. Ingolfsson/ Cabral/ Wu (2003).

³⁵⁵ Vgl. Henken (2006).

Personalbestandes erreicht, denn die Planung des Personalbestandes erfolgt u.a. im Hinblick auf die Einsatzplanung der jeweiligen Wochen.

Mit Hilfe des im folgenden Kapitel entwickelten Modells zur Personalbestands- und aggregierten Personaleinsatzplanung werden die Anzahl und die zeitliche Form der Arbeitsverträge für eine konstante Mitarbeiterzahl bestimmt. Bei dem Modell handelt es sich um ein Mehrperiodenmodell, da es eine Vielzahl von aufeinanderfolgenden wöchentlichen Personaleinsatzplanungsproblemen in aggregierter Form einbezieht. Bei der Planung der Arbeitszeit werden die Überstunden der Mitarbeiter innerhalb vorgegebener Ausgleichszeiträume sowie die geplanten Fehlzeiten berücksichtigt. Die im Modell berücksichtigten Aspekte sind in dieser Zusammensetzung in der Literatur bisher noch nicht für den Dienstleistungsbereich behandelt worden, so dass keine Literatur vorhanden ist, die dieses Problem abdeckt. Aus diesem Grund setzt sich der Literaturüberblick über die Personalbestandsplanung aus mehreren Abschnitten zusammen, die jeweils einen Aspekt der behandelten Problematik fokussieren. Der Abschnitt 4.2.1 beschäftigt sich mit Modellen zur dynamischen Personalbestandsplanung. Das bedeutet, dass die Variation der Nachfrage durch eine Variation der Anzahl der Arbeitnehmer vorgenommen wird, so dass kein konstanter Personalbestand existiert. In dem genannten Abschnitt werden einfache Modelle der Personalbestandsplanung für Arbeitnehmer mit identischen Arbeitszeiten sowie Mehrperiodenmodelle betrachtet. Letztere beziehen in ihren Entscheidungsprozess die Personaleinsatzplanung mit ein. Die Variation des Personalangebots innerhalb eines Zeitraums wird in dieser Arbeit bei konstantem Personalbestand durch die Planung der Jahresarbeitszeit sowie der Einteilung der geplanten Fehlzeiten berücksichtigt. Aus diesem Grund wird im Abschnitt 4.2.2 die bisherige Literatur bezüglich der Planung der Jahresarbeitszeit und der Berücksichtigung von geplanten Fehlzeiten zusammengefasst. Die Zusammensetzung der vereinbarten Arbeitszeit mit den jeweiligen Agenten spielt eine wichtige Rolle hinsichtlich der Personaleinsatzplanung. Auf die Auswirkungen der unterschiedlichen Flexibilitätsmöglichkeiten wurde bereits im Abschnitt 4.1.4 eingegangen. Im Abschnitt 4.2.3 erfolgt daher lediglich eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse im Hinblick auf die Zusammensetzung der vereinbarten Arbeitszeiten.

4.2.1 Dynamische Personalbestandsplanung

Die überwiegende Mehrheit der Veröffentlichungen zur Thematik der Personalbestandsplanung betrachtet die dynamische Komponente, welche die prognostizierte Bestandsveränderung im Planungshorizont beschreibt. Dabei werden unter der Zielsetzung der Kosten-

minimierung optimale Einstellungs- und Freisetzungspolitiken erstellt und möglicherweise unterschiedliche Lernstadien berücksichtigt. Viele Veröffentlichungen benutzen dazu einen mathematischen Ansatz, der sich vom aggregierten Planungsproblem ableiten lässt. Die Veröffentlichung von Holt et al. markiert die grundlegende Arbeit in dieser Forschungsrichtung.³⁵⁶ Bei Betrachtung eines aggregierten Levels folgen Beförderungen und Fluktuation der Arbeitnehmer eines Unternehmens einem stochastischen Prozess, so dass sich die Bestandsveränderungen der Mitarbeiter eines Unternehmens mit Hilfe von Markov Ketten modellieren lassen. Einen guten Überblick über diese Veröffentlichungen liefern Bartholomew et al. sowie McClean.³⁵⁷ Auf eine detaillierte Beschreibung der Veröffentlichungen zum dynamischen Aspekt der Personalbestandsplanung wird jedoch verzichtet, da die Definition der Personalbestandsplanung im Abschnitt 2.6.1 die dynamische Komponente ausgeschlossen hat und der Begriff im Rahmen dieser Arbeit mit der Anzahl der Mitarbeiter und deren vertragliche Arbeitszeiten charakterisiert wurde. Insbesondere soll ein konstanter Personalbestand betrachtet werden. Die dynamische Komponente der Personalbestandsplanung wird lediglich herangezogen, sofern sie als Element für das in Kapitel 5 beschriebene Modell Anwendung findet.

4.2.1.1 Einfache Modelle

Bei den einfachen Modellen erfolgt die Ableitung des Mitarbeiterbedarfs aus der Personaleinsatzplanung. Die Modelle zur Personaleinsatzplanung bestimmen einen optimalen Personalbestand, sofern dieser nicht vorgegeben ist. Ihr Output besteht in der Anzahl der zugeordneten Mitarbeiter zu einem täglichen, wöchentlichen oder mehrwöchigen Arbeitszeitmuster. Beim Tour Scheduling können die Arbeitszeitmuster mit einer wöchentlichen bzw. mehrwöchigen Arbeitszeit identifiziert werden, so dass für den jeweiligen Planungszeitraum von ein bis vier Wochen ein optimaler Personalbestand bereitgestellt werden kann. Sofern das kurzfristige Personalbedarfsmuster des betrachteten Planungszeitraums zyklischer Natur ist, dessen Verlauf und Höhe sich im ein- bis vierwöchigen Rhythmus wiederholt, lässt sich der im Rahmen der Personaleinsatzplanung erhaltene Personalbestand als konstant für ein Jahr betrachten. Andernfalls ergeben sich für aufeinanderfolgende Planungszeiträume wechselnde Personalbestände, die im Verlauf des Jahres anzupassen sind.

³⁵⁶ Vgl. Holt et al. (1960).

³⁵⁷ Vgl. Bartholomew/ Forbes/ McClean (1991) sowie McClean (1991).

Diesen Ansatz verfolgen Gans et al.³⁵⁸ Sie schlagen vor, eine grobe Bestimmung des Personalbestandes durchzuführen, indem man zunächst das Personaleinsatzplanungsproblem für jeden Monat des Planungshorizontes löst. Als Ergebnis erhält man die Anzahl an Agenten, die in den unterschiedlichen Arbeitszeitmustern eingesetzt werden. Die sich daraus ergebende Anzahl an Agenten jedes Monats wird zusätzlich um einen Faktor erhöht, der ungeplante Pausen, Schulungen, Meetings und Fehlzeiten berücksichtigt. Mit diesem Ansatz erhält man einen variablen Personalbestand im Verlauf eines Jahres. Die unterschiedliche Anzahl an Arbeitnehmern in den einzelnen Monaten lassen jedoch keinen Schluss auf eine konstante Anzahl an einzustellenden Mitarbeitern zu. Einarbeitungs-, Einstellungs- und Freisetzungspolitiken müssen sicherstellen, dass die entsprechende Anzahl an Agenten zum benötigten Zeitpunkt zur Verfügung stehen. Dabei ist zu gewährleisten, dass der rechtliche Rahmen die Freisetzung von Mitarbeitern zum jeweiligen Zeitpunkt zulässt. Sofern Mitarbeiterkategorien mit unterschiedlichen Arbeitszeiten existieren, kann die Aufteilung der Anzahl der Mitarbeiter und der dazugehörigen jeweiligen Arbeitszeit für die einzelnen Monate sehr unterschiedlich ausfallen, so dass die Anpassung der Arbeitnehmeranzahl nicht nur in zeitlicher Hinsicht, sondern auch differenziert nach deren Arbeitszeit erfolgen kann. Ob sich anhand dieses Ansatzes ein kostenminimaler Personalbestand ergibt, ist fraglich, denn es werden zwölf Personaleinsatzplanungsprobleme unabhängig voneinander gelöst. Insbesondere werden Einstellungs- und Freisetzungskosten nicht berücksichtigt. Inwieweit eine konstante Anzahl an Vollzeit- und Teilzeitagenten in jedem Planungszeitraum unter dem Gesichtspunkt der Kostenminimierung eine prognostizierte Nachfrage kostenminimal befriedigen kann, lässt sich mit Hilfe dieses Ansatzes nicht ermitteln. Die Einbeziehung der im Abschnitt 2.5.3.2 beschriebenen Anpassungsmaßnahmen könnten dem abhelfen. Gans et al. berücksichtigen diese bei ihrem sukzessiven Ansatz jedoch nicht.

4.2.1.2 Mehrperiodenmodelle

In jüngster Zeit beschäftigen sich einige Ansätze mit der Verbindung der Personalbestandsplanung und der wöchentlichen Personaleinsatzplanung.³⁵⁹ Diese Ansätze gehen davon aus, dass der Personalbestand aus Mitarbeitern mit identischen Arbeitszeiten besteht. Das bedeutet, dass der Personalbestand dieser Mitarbeiterkategorie mit dem mittel-

³⁵⁸ Vgl. Gans/ Koole/ Mandelbaum (2003), S. 95.

³⁵⁹ Vgl. Easton/ Goodale (2005) und Gans/ Zhou (2002).

fristigen Personalbedarf gleichzusetzen ist. Eine Unterscheidung der Mitarbeiter findet hinsichtlich unterschiedlicher Qualifikationsstufen statt. Darüber hinaus betrachten die Ansätze die dynamische Komponente der Personalbestandsplanung, bei denen Lernen oder die Fluktuation und Einstellungen im Vordergrund stehen. Obwohl im Fokus dieser Arbeit ein konstanter Personalbestand steht, werden diese Ansätze erläutert, da sie den mittelfristigen Personalbedarf und die Personaleinsatzplanung miteinander verknüpfen. Im Abschnitt 4.1.4 wurde bereits ausführlich dargestellt, dass sich bei einer höheren Flexibilität hinsichtlich der Einsatzplanung der mittelfristige Personalbedarf reduzieren lässt. Dies lässt vermuten, dass eine Betrachtung, die die Personalbestands- mit der Personaleinsatzplanung verknüpft, einen geringeren Personalbestand zur Folge hat.

Gans und Zhou schlagen ein Modell zur dynamischen Komponente der Personalbestandsplanung im Call Center vor, das langfristige Einstellungspläne der Agenten einer bestimmten Qualifikation mit deren Lernkurve und der freiwilligen Abwanderung der Arbeitnehmer verbindet.³⁶⁰ Ihr Ansatz verknüpft mehrere aufeinanderfolgende wöchentliche Einsatzpläne miteinander. Sie entwickeln ein Modell, das die Anzahl an neu einzustellenden Agenten einer Qualifikation derart bestimmt, dass beim Lösen der jeweiligen Personaleinsatzplanungsprobleme eine kostengünstige wenn nicht sogar eine optimale Lösung erzeugt wird. In der Kostenfunktion werden demnach die Kosten der dynamischen Komponente der Personalbestandsplanung in Form von Einstellungs- und direkten Personalkosten mit den operativen Kosten der wöchentlichen Personaleinsatzplanung verbunden. Letztere beinhalten Überstunden und Outsourcing. Die operativen Kosten basieren auf einem effektiven bzw. optimalen Personaleinsatzplan der jeweiligen Woche. Sie entstehen, wenn eine gegebene Anzahl an Agenten unterschiedlicher Qualifikationsstufen eine prognostizierte Nachfrage mit einem vorgegebenen Service Level befriedigen soll. Gans und Zhou geben eine optimale Einstellungspolitik an, die eine zustandsabhängige „hire-up-to“ Politik darstellt. Unter bestimmten Bedingungen ist es möglich, die stochastischen Zustände des Lernens und Ausscheidens aus dem Call Center zu vernachlässigen und mittels eines LP's das Planungsproblem zu lösen. Das bedeutet jedoch, dass die Variablen bezüglich der Anzahl der eingesetzten Arbeitnehmer im betrachteten Personaleinsatzplanungsproblem fraktionell sind. Dies führt zu unzulässigen wöchentlichen Personaleinsatzplänen. Bei großen Call Centern führt eine sich anschließende Rundung der Anzahl der Arbeitnehmer zu keinen gravierenden

³⁶⁰ Vgl. Gans/Zhou (2002).

Abweichungen vom optimalen Personaleinsatzplan, wohl aber bei kleinen Call Centern. Dies wurde bereits im Abschnitt 4.1.5.1 ausgeführt. Die Autoren lassen insbesondere Warteschlangeneffekte außer Acht. Die Nachfrage wird vielmehr anhand von Bearbeitungsrate, die von dem Qualifikationsniveau der einzuplanenden Agenten abhängen, befriedigt. Insbesondere verzichten sie auf die Betrachtung der Abwesenheit.

Easton und Goodale erarbeiten ein Modell, das die dynamische Personalbestandsplanung, die Personaleinsatzplanung sowie Kontrollelemente miteinander verbinden.³⁶¹ Dabei antizipieren sie die dynamischen Elemente der Personalbestandsplanung hinsichtlich dem freiwilligen Ausscheiden aus dem Unternehmen, Einstellungen und Lernkurven und erweitern den Planungsumfang um Personaleinsatzplanungsentscheidungen. Darüber hinaus wird die Abwesenheit in Form einer Abwesenheitsrate betrachtet. Der Ansatz generiert somit Einstellungs- und Kündigungspläne sowie Arbeitszeitzuordnungen für jeden Arbeitnehmer in jeder Woche im Planungshorizont.

In ihrem Modell maximieren die Autoren den Gewinn eines Dienstleistungsunternehmens. Das Modell erstreckt sich über einen Planungshorizont von w Wochen, wobei jede Woche aus Unterperioden (z.B. Stunden) besteht. Die Zielfunktion maximiert die Erträge abzüglich der Kosten. Für alle Unterperioden im Planungshorizont und jede Anzahl eingesetzter Mitarbeiter werden die Grenzerträge eines zusätzlichen Mitarbeiters summiert. Die Kosten setzen sich aus den Einstellungs- und Freisetzungskosten, den fixen und variablen Personalkosten zusammen. Letztere bestehen aus den Kosten für die tatsächlich geleisteten Arbeitsstunden sowie den Überstundenkosten, die sich aus den jeweiligen Arbeitszeitmustern ergeben. Ausgleichszeiträume für Überstunden existieren nicht. Ungeplante Abwesenheit und das Verlassen des Unternehmens in einer Periode werden antizipiert und als Upper Bound für die eingesetzten und anwesenden Mitarbeiter berücksichtigt. Die Anzahl der eingesetzten Arbeitnehmer muss in jeder Woche mit der Anzahl der Mitarbeiter übereinstimmen. Die Anzahl der Mitarbeiter wird unter Berücksichtigung von Neueinstellungen und Abgängen fortgeschrieben. Als Ergebnis liefert das Modell Einsatzpläne für die nächsten w Wochen, die, im Gegensatz zu denen des eben beschriebenen Modells von Gans und Zhou, zulässig sind. Darüber hinaus ergeben sich die Personalbestände jeder Woche mit den dazugehörigen Einstellungs- und Freisetzungsplänen.

³⁶¹ Vgl. Easton/ Goodale (2005).

Beide vorgestellten Mehrperiodenmodelle verbinden die dynamische Personalbestandsplanung mit der Personaleinsatzplanung, indem sie die möglichen Arbeitszeitmuster in das jeweilige Modell der Personalbestandsplanung integrieren. Als Ergebnis erhalten sie einen Personalbestand der in der Lage ist, die Nachfrage zielgerecht zu befriedigen. Allerdings beschränken sich die Ansätze auf die dynamische Komponente, indem sie die Anzahl an Arbeitnehmern zu unterschiedlichen Zeitpunkten unter Berücksichtigung von Einstellungs- und Freisetzungentscheidungen sowie Einarbeitungs- und Lernentscheidungen bestimmen. Eine Unterscheidung der Arbeitnehmer findet zwar hinsichtlich der Qualifikation statt, der Aspekt der unterschiedlichen Arbeitszeiten der Arbeitnehmer wird jedoch nicht berücksichtigt. Demnach haben alle Arbeitnehmer die gleiche wöchentliche Arbeitszeit, so dass die Abstimmung von Personalangebot und Personalbedarf bei der ausschließlichen Verwendung von Vollzeitarbeitnehmern nur mit hoher Überdeckung stattfinden kann.

4.2.2 Jahresarbeitszeitverteilung und geplante Fehlzeiten

Die im letzten Abschnitt beschriebenen Modelle akzeptieren einen wechselnden Personalbestand im Verlauf eines Jahres, um Nachfragevariationen zu bewältigen. Im Gegensatz dazu versuchen die Modelle der Jahresarbeitszeitverteilung, eine schwankende Nachfrage unter Beibehaltung eines konstanten Personalbestandes durch eine Variation der wöchentlichen Arbeitszeit auszugleichen. In diesem Abschnitt erfolgt ein kurzer Überblick über die Modelle der Jahresarbeitszeitverteilung.

Nur wenige Veröffentlichungen beschäftigen sich mit der Verteilung der Jahresarbeitszeit.³⁶² Die Arbeiten zielen darauf ab, die Arbeitszeit der Arbeitnehmer über den Planungszeitraum eines Jahres zu verteilen, wobei die Anzahl der Arbeitnehmer entweder gegeben ist oder in einem vorherigen Planungsschritt berechnet wird. Alle Veröffentlichungen unterstellen Arbeitnehmer mit einer identischen Jahresarbeitszeit, so dass der Personalbestand lediglich eine Mitarbeiterkategorie umfasst und demnach dem mittelfristigen Personalbedarf gleichzusetzen ist. Bis auf eine Ausnahme gehen die Veröffentlichungen davon aus, dass der wöchentliche Bedarf unabhängig von der täglichen Lage der Arbeitszeit der Arbeitnehmer zu befriedigen ist.³⁶³ Demnach beschränken sich die Anwendungen auf Unternehmen, deren wöchentliche Bedarfsbefriedigung gewährleistet

³⁶² Vgl. Hung (1999a), S. 2419.

³⁶³ Diese Ausnahme betrifft Hung. Bei ihm ist ein Tagesbedarf an Arbeitnehmern einer Schicht gegeben, wobei die Schichtlänge von Tag zu Tag variieren kann. Vgl. Hung (1999a).

sein muss. Das bedeutet, dass ein Bedarfsverlauf mit Bedarfsspitzen und -tälern innerhalb der Woche im Rahmen der Planung unerheblich ist. Bei der Berücksichtigung der Abwesenheit der Arbeitnehmer im Rahmen der Jahresarbeitszeitverteilung treten mehrere Konstellationen auf: Einige Autoren vernachlässigen die Abwesenheit der Arbeitnehmer, andere berücksichtigen die Abwesenheit global in Form von Abwesenheitsquoten, die verbleibenden beziehen detailliert den Urlaub ein.

Günther formuliert ein Lineares Programm zur Planung der Jahresarbeitszeitverteilung sowie weiteren Flexibilisierungsmöglichkeiten in einem hierarchischen Ansatz für die Güterproduktion.³⁶⁴ Er minimiert die Summe aus Lager- und Überstundenkosten unter Berücksichtigung der jeweiligen Ausgleichszeiträume. Die zu betrachtenden Restriktionen bestehen aus der Bedarfsbefriedigung und dem beschränkten Personalangebot. Fehlzeiten werden in Form von Abwesenheitsquoten berücksichtigt.

Schneeweiß et al. integrieren in ihrem gemischt-ganzzahligen Modell zur Verteilung der Jahresarbeitszeit bei einer vorgegebenen Anzahl an Arbeitnehmern eine begrenzte Menge von Schichtplänen.³⁶⁵ Unter einem Schichtplan verstehen sie eine Besetzungsvorschrift für eine Gruppe von Arbeitsplätzen, die die Anzahl der Arbeitsstunden während der Woche angibt. Die Laufzeit eines Schichtplanes beträgt ein Vielfaches einer Woche. Innerhalb der Laufzeit eines Schichtplans sind die Arbeitszeiten für alle Arbeitnehmer konstant. Die Schichtpläne werden berücksichtigt, um einerseits die aus den wöchentlichen Jahresarbeitszeitplanungen resultierenden Wochenarbeitszeiten tatsächlich mit den möglichen Schichtplänen umsetzen zu können. Andererseits benutzen sie diese, um Spät- und Nachtschichtzuschläge aufzunehmen. In ihrem Modell minimieren sie die tatsächlich anfallenden Arbeitskosten. Die Restriktionen betreffen die Einhaltung der durchschnittlichen Wochenarbeitszeit im Ausgleichszeitraum, die Bedarfsbefriedigung, Restriktionen hinsichtlich der Über- und Unterstunden sowie der Laufzeit der unterschiedlichen Schichtpläne.

Hung beschreibt einen Algorithmus zur Verteilung der Jahresarbeitszeit, der sich in abgewandelter Form für Dienstleistungen anwenden lässt.³⁶⁶ Er betrachtet ein Ein-Schicht-Szenario, bei dem der Personalbedarf für eine Schicht pro Tag angegeben ist. Eine

³⁶⁴ Vgl. Günther (1989).

³⁶⁵ Vgl. Schneeweiß/ Loinjak/ Müller (1996).

³⁶⁶ Vgl. Hung (1999a).

differenzierte Betrachtung des Bedarfs für die einzelnen Perioden eines Tages liegt nicht vor. Die Schichtlängen der einzelnen Tage können variieren. Die Bestimmung der Anzahl der benötigten Arbeitnehmer ergibt sich über die Berechnung einer Lower Bound, indem der gegebene Bedarf eines Tages gewichtet mit der Schichtlänge des jeweiligen Tages über die Tage des Planungszeitraums summiert und durch die vereinbarte Jahresarbeitszeit geteilt wird. Übersteigt der Bedarf eines Tages diesen aufgerundeten Quotienten, so entspricht die benötigte Arbeitnehmeranzahl diesem Tagesbedarf, ansonsten benötigt das Unternehmen eine Anzahl an Arbeitnehmern, die dem aufgerundeten Quotienten entspricht. Fehlzeiten werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Nach der Bestimmung der Anzahl der Arbeitnehmer werden die wöchentlichen Arbeitszeiten anhand eines Algorithmus auf den Planungszeitraum verteilt. Schwankt der Personalbedarf innerhalb eines Tages, ist der Einsatz dieses Algorithmus nur schwer vorstellbar, da sich ein solches Bedarfsmuster innerhalb eines Tages mit identischen Schichtlängen nur mit hohen Überdeckungen befriedigen lässt. Hung erweitert seinen Ansatz auf mehrere Schichten pro Tag, wobei sich die Schichten überlappen dürfen.³⁶⁷ Die Schichten weisen eine identische Länge auf, ebenso sind die vertraglichen Arbeitszeiten der Arbeitnehmer einheitlich. In diesem Ansatz ist der Bedarf pro Schicht gegeben, so dass die Entscheidung wie viele Mitarbeiter einer bestimmten Schicht zuzuordnen sind, ebenfalls entfällt.

Corominas et al. verwenden ein lineares gemischt-ganzzahliges Modell, um die Jahresarbeitszeit für einen gegebenen Wochenbedarf und eine gegebene Anzahl an Arbeitnehmern zu verteilen.³⁶⁸ Dabei gehen sie davon aus, dass mit den Arbeitnehmern identische Jahresarbeitszeiten vereinbart wurden. Die wöchentliche Arbeitszeit eines jeden Arbeitnehmers hingegen kann sich unterschiedlich gestalten. Die Arbeitnehmer haben unterschiedliche Qualifikationen, die verschiedenen Aufgabentypen zugeordnet werden können. Die Zielfunktion beinhaltet die Kostenminimierung, die sich aus den Kosten der Überstunden sowie derjenigen der zusätzlich benötigten Zeitarbeiter zusammensetzt. Beide Komponenten werden benötigt, um den Bedarf mit einer gegebenen Anzahl an Arbeitnehmern decken zu können. Die Restriktionen betreffen die Deckung des wöchentlichen Bedarfs jedes Aufgabentyps, Bilanzgleichungen hinsichtlich der Stunden des jährlichen Einsatzes sowie der wöchentlichen Aufgabenverteilung. Darüber hinaus sind Upper Bounds für Überstunden sowie Arbeitsstunden aufeinanderfolgender Wochen zu

³⁶⁷ Vgl. Hung (1999b).

³⁶⁸ Vgl. Corominas/ Lusa/ Pastor (2002).

berücksichtigen. Alle Testprobleme mit zwei Arbeitnehmerkategorien und bis zu 250 Arbeitnehmern konnten mit Hilfe des ILOG CPLEX 7.0 Optimierers innerhalb von einer Minute gelöst werden.

Azmat und Widmer erweitern den von Hung vorgestellten Ansatz für eine Schicht um die Berücksichtigung von Urlaub.³⁶⁹ Sie bestimmen anhand eines hierarchischen Ansatzes zunächst den mittelfristigen Personalbedarf. Dafür berechnen sie die Anzahl der benötigten Arbeitnehmer einer Woche, indem sie die jeweiligen Quotienten aus der Wochennachfrage und allen potentiellen Wochenarbeitszeiten der Arbeitnehmer bilden und diejenige Wochenarbeitszeit bestimmen, die den Wochenbedarf mit minimaler Überdeckung befriedigt. Auch bei diesem Ansatz haben alle Arbeitnehmer identische Arbeitszeiten innerhalb einer Woche. Der benötigte mittelfristige Personalbedarf ergibt sich analog zu dem von Hung vorgeschlagenen Ansatz. Im Anschluss an die Berechnung des mittelfristigen Personalbedarfs erfolgt die Schätzung der Überstunden, die für die Einplanung des Urlaubs notwendig werden. Die Arbeitnehmer erhalten in den Wochen Urlaub, in denen weniger als die berechnete Anzahl an Arbeitnehmern benötigt werden. Ist die Einhaltung der vorgegebenen Regeln hinsichtlich des Urlaubs (z.B. Anzahl der Urlaubswochen pro Arbeitnehmer oder Anzahl zusammenhängender Urlaubswochen) nicht möglich, was sich mittels Ungleichungen ermitteln lässt, so werden Urlaubswochen in den Wochen eingeplant, in denen die Unterdeckung bei der Verminderung der Anzahl der Arbeitnehmer am geringsten ausfällt. Der Ausgleich der Unterdeckung erfolgt durch die Einplanung von Überstunden. Im Anschluss werden den Arbeitnehmern die Arbeitstage zugeordnet.

Azmat et al. ergänzen den von Azmat und Widmer beschriebenen Ansatz, indem sie im Anschluss an die Berechnung des mittelfristigen Personalbedarfs und der Überstunden den Arbeitnehmern den Urlaub und die Arbeitstage mit Hilfe von gemischt-ganzzahligen Entscheidungsmodellen zuordnen.³⁷⁰ Die Modelle haben zum Ziel, die Unterschiede in den jährlichen Arbeitszeiten der Arbeitnehmer sowie deren jährliche Überstunden zu minimieren. Dabei existiert pro Tag lediglich eine Schicht. Sie untersuchen zwei Urlaubsszenarien. Beim ersten Szenario können die Arbeitnehmer ihre Urlaubswochen aus einer Menge möglicher Wochen auswählen, im zweiten Szenario werden ihnen die Wochen

³⁶⁹ Vgl. Azmat/ Widmer (2004) und Hung (1999a).

³⁷⁰ Vgl. Azmat/ Hürlimann/ Widmer (2004).

zugewiesen. Die Restriktionen beinhalten Forderungen hinsichtlich der maximalen jährlichen Arbeitszeit eines Arbeitnehmers, dem Einsatz einer vorgegebenen Anzahl an Arbeitnehmern pro Tag sowie des Urlaubs. Die gemischt-ganzzahligen Modelle wurden auf 20 Testprobleme mit einem mittelfristigen Personalbedarf zwischen 3 und 20 Arbeitnehmern angewendet. Einige Testprobleme konnten innerhalb von 60 Minuten optimal gelöst werden, andere erreichten in dieser Zeit eine zulässige Lösung, für weitere konnte keine zulässige Lösung gefunden werden.

Auch Corominas et al. stellen ein Jahresarbeitszeitmodell vor, das die Urlaubsplanung berücksichtigt.³⁷¹ Bei ihnen sind die Wochen, in denen die Arbeitnehmer Urlaub haben, im Vorhinein fixiert und für alle Arbeitnehmer identisch. Die Anzahl der angestellten Arbeitnehmer ist gegeben. Ist es nicht möglich, die Nachfrage durch die gegebene Anzahl an Arbeitnehmern zu decken, so greifen sie auf Zeitarbeitskräfte zurück. Ihr Ansatz besteht aus zwei Phasen. In der ersten Phase bestimmen sie für jede Woche die Anzahl an Arbeitnehmern und deren Arbeitszeiten. Dies geschieht anhand gemischt-ganzzahliger Modelle, die unterschiedliche Zielfunktionen zugrunde legen. Dabei werden die Arbeitskosten der Zeitarbeitskräfte minimiert bzw. die Verteilung der Arbeitsstunden der Zeitarbeiter bei minimalen Arbeitskosten der Zeitarbeitskräfte optimiert. Als Restriktionen gehen die Bedarfsdeckung, die Einplanung aller Arbeitnehmer in einer Arbeitswoche sowie die Forderung, dass für jede mögliche wöchentliche Arbeitszeit die Gesamtzahl der eingeplanten Arbeitswochen der Arbeitnehmer im Planungshorizont dem planmäßigen Wert entsprechen muss, in das Modell ein. In der zweiten Phase findet die Disaggregation statt, indem mit Hilfe eines binären Entscheidungsmodells die Zuordnung der wöchentlichen Arbeitszeit jeder Periode zu den Arbeitnehmern stattfindet.

Bei den dargestellten Veröffentlichungen handelt es sich um hierarchische Planungsansätze. Diese verteilen für einen gegebenen bzw. berechneten Personalbestand die Wochenarbeitszeiten. Dabei wird sichergestellt, dass die Arbeitsstunden der Mitarbeiter ausreichen, um die jeweilige Wochennachfrage in Summe zu befriedigen, unabhängig vom Zeitpunkt des Auftretens der Nachfrage. Insbesondere bei Call Centern ist es jedoch erforderlich, die mögliche Nutzung der Agenten bereits bei der Planung des Personalbestandes und der Verteilung der Arbeitszeit mitzuberücksichtigen, denn bei Call Centern ist der Zeitpunkt des Einsatzes immens wichtig zur Befriedigung der schwankenden Nachfrage innerhalb

³⁷¹ Vgl. Corominas/ Lusa/ Pastor (2004).

der Woche.

Die Aufteilung der Jahresarbeitszeit kann zwar saisonale Schwankungen in der Nachfrage befriedigen, jedoch kann sie nicht sicherstellen, dass sich ein bestehendes kurzfristiges Personalbedarfsmuster innerhalb einer Woche mit dem vorhandenen Personalbestand befriedigen lässt. Insbesondere bei der Beschränkung der Planungen auf die Betrachtung von Mitarbeitern mit identischen Arbeitszeiten, d.h. der Betrachtung von lediglich einer Mitarbeiterkategorie, ist es möglich, dass der gegebene bzw. berechnete mittelfristige Personalbedarf mit der jeweiligen Wochenarbeitszeit aufgrund von Bedarfsspitzen innerhalb eines Tages gar nicht in der Lage ist, ein bestehendes kurzfristiges Personalbedarfsmuster der einzelnen Wochen abzudecken, wenn beispielsweise der kurzfristige Personalbedarf den mittelfristigen zu einem Zeitpunkt übersteigt. Gleichmaßen kann der mittelfristige Personalbedarf eine relativ hohe Überdeckung im Rahmen der Einsatzplanung erzeugen. Aus diesem Grund ist das Heranziehen unterschiedlicher Schichten hinsichtlich Schichtbeginn, Schichtlänge und Schichtlage bereits bei der Verteilung der Wochenarbeitszeit notwendig. Demnach ist die Einsatzplanung bereits bei der Planung der Mitarbeiteranzahl und der Aufteilung der Jahresarbeitszeit zu antizipieren. Der Ansatz von Schneeweiß et al. berücksichtigt zwar bei der Aufteilung der Jahresarbeitszeit die unterschiedlichen Arbeitszeitmuster der Arbeitnehmer, aber auch hier geht es um die Befriedigung eines Wochenbedarfs mit Hilfe identischer Arbeitszeiten.³⁷² Demnach bezieht auch dieser Ansatz kein wöchentliches Nachfragemuster mit ein. Im folgenden Abschnitt wird auf die Zusammensetzung der vereinbarten Arbeitszeiten der Arbeitnehmer eingegangen.

4.2.3 Zusammensetzung der vereinbarten Arbeitszeiten

Die Kombination der mit den angestellten Agenten vereinbarten Arbeitszeiten hat Einfluss auf die Personalkosten sowie die Abdeckung des kurzfristigen Personalbedarfs. Die Variation der Anzahl der möglichen Arbeitstage einer Woche sowie die Variation der Schichtlängen eines wöchentlichen Arbeitszeitmusters sind eng mit den vereinbarten Arbeitszeiten verbunden. Im Abschnitt 4.1.4 dieser Arbeit wurden bereits die Auswirkungen einer geringeren Schichtlänge sowie einer geringeren Anzahl an Arbeitstagen erörtert: Diese Arbeitsumgebungen ermöglichen im Vergleich zum ausschließlichen Einsatz von Vollzeitmitarbeitern ein geringeres Ausmaß an Überdeckung eines gegebenen

³⁷² Vgl. Schneeweiß/ Loinjak/ Müller (1996).

kurzfristigen Personalbedarfsmusters und somit geringere variable Kosten eines Einsatzplanes.

Den variablen Kosten der Personaleinsatzpläne sind jedoch die fixen Kosten der jeweiligen Mitarbeiterkategorie gegenüberzustellen. Die fixen Kosten steigen mit einer zunehmenden Anzahl an beschäftigten Mitarbeitern mit kürzeren Arbeitszeiten an. Dies spricht dafür, im zu entwickelnden Modell sowohl die fixen als auch die variablen Personalkosten bereits bei der Bestimmung des Personalbestandes mitzubersichtigen. Das bedeutet, dass die Einsatzpläne bereits bei der Entscheidung über die Zusammensetzung der Arbeitnehmer zu antizipieren sind. Die Personalbestandsplanung muss demnach die Personaleinsatzplanung für die anwesenden Mitarbeiter einbeziehen, um die Auswirkungen auf die Kosten abzuschätzen. Allerdings ist die Berücksichtigung möglichst vieler unterschiedlicher Arbeitszeitmuster hinsichtlich der Schichtlänge, des Schichtbeginns an den Arbeitstagen eines Arbeitszeitmusters und der Anzahl an Arbeitstagen einer Woche mit einem extremen Anstieg der Anzahl der Variablen verbunden. Dies beeinflusst die Lösbarkeit des kombinierten Personalbestands- und Personaleinsatzplanungsproblems.

4.3 Zusammenfassung

Die Bestimmung eines konstanten Personalbestandes der sowohl in der Lage ist, wöchentliche Nachfragevariationen mit Hilfe der Jahresarbeitszeitverteilung und der planbaren Fehlzeiten auszugleichen und gleichzeitig eine effektive Personaleinsatzplanung innerhalb der einzelnen Wochen sicherstellt, existiert in dieser Form in der Literatur nicht für Dienstleistungsunternehmen. In fast allen Veröffentlichungen wird der Aspekt auf einen der genannten Teilbereiche respektive die Verbindung von zwei Teilbereichen gelegt. Der Personalbestand ist in dieser Arbeit als die Anzahl der Mitarbeiter und deren vertragliche Arbeitszeiten definiert. Im Rahmen dieser Arbeit soll ein jährlich konstanter Personalbestand ermittelt werden, der ein bestehendes Personalbedarfsmuster eines Call Centers kostenminimal befriedigt.

Die Personaleinsatzplanung ermittelt nicht nur die Zuordnung der Anzahl der Agenten zu Arbeitszeitmustern mit Hilfe derer sich ein bestehendes kurzfristiges Personalbedarfsmuster abdecken lässt. Darüber hinaus besteht das Ergebnis in der Anzahl der Mitarbeiter und deren Arbeitszeiten für den Planungszeitraum von einer bis vier Wochen. Demnach kann die Personaleinsatzplanung zur Bestimmung eines konstanten Personalbestandes herangezogen werden, sofern der kurzfristige Personalbedarf des zugrunde liegenden Planungszeitraumes zyklisch ist, d.h. sich im Jahresverlauf wiederholt. Bei einem

nichtzyklischen Personalbedarf hingegen, der u.a. bei Call Centern vorliegt, bei dem das Niveau der Nachfrage der einzelnen Wochen oder der Nachfrageverlauf innerhalb einer Woche variiert, führt die sukzessive Lösung der einzelnen Personaleinsatzplanungsprobleme zu unterschiedlichen Personalbeständen hinsichtlich der Anzahl der Arbeitnehmer, aber auch bezüglich deren Arbeitszeiten innerhalb der Wochen bzw. Monate eines Jahres. Somit müssen die sich aus dem Ergebnis der Personaleinsatzplanung ergebenden variierenden Personalbestände durch Einstellungs- und Freisetzungspläne angepasst werden. Bei der Verwirklichung eines konstanten Personalbestandes innerhalb eines Jahres kann das sukzessive Lösen mehrerer aufeinanderfolgender Personaleinsatzplanungsprobleme keine zufriedenstellende Lösung ergeben.

Für Call Center spielt die Personaleinsatzplanung bei der Bestimmung des Personalbestandes eine entscheidende Rolle, denn eine optimale Nutzung des Personalbestandes kann entscheidend zu Kostensenkungen beitragen. Der vorhandene Personalbestand gibt vor, wie flexibel die beschäftigten Arbeitnehmer einsetzbar sind. Je flexibler die Arbeitszeit gestaltet werden kann, desto besser lässt sich ein bestehendes kurzfristiges Personalbedarfsmuster befriedigen. Demnach ist es immens wichtig, bei der Personalbestandsplanung die Personaleinsatzplanung zu antizipieren. Es existieren wenige Ansätze, die diese beiden Planungsprobleme miteinander kombinieren. Insbesondere beinhalten diese Ansätze eine andere Definition der Personalbestandsplanung. Zum besseren Verständnis dieser kombinierten Ansätze sowie zum Verständnis der Notwendigkeit, die „richtigen“ Arbeitszeitmuster einem solchen Modell zugrunde zu legen, widmete sich Abschnitt 4.1 zunächst der Personaleinsatzplanung. Dabei wurden ausführlich die Modellformulierungen der Personaleinsatzplanung, die Einflüsse der ausgewählten Arbeitszeitmuster auf die Befriedigung des Personalbedarfs sowie die bisher angewandten Lösungsansätze erörtert. Im Anschluss daran erfolgte im Abschnitt 4.2 die genaue Untersuchung der Personalbestandsplanung sowie der möglichen Anpassungsmaßnahmen.

Die Ansätze zur Planung des Personalbestandes in der Literatur lassen sich zunächst in einfache Modelle und Mehrperiodenmodelle unterteilen. Als weitere Aspekte der Personalbestandsplanung sind die Jahresarbeitszeitverteilung mit Arbeitszeitkonten und die Berücksichtigung des Urlaubs sowie die Zusammensetzung der Arbeitszeit anzusehen. Zu den einfachen Modellen der Personalbestandsplanung zählt insbesondere die dynamische Anpassung der Ergebnisse der Mitarbeiterzusammensetzung von aufeinanderfolgend

gelösten Personaleinsatzplanungsproblemen. Die Mehrperiodenmodelle kombinieren Personalbestands- und Personaleinsatzplanung. Sie legen ebenfalls die dynamische Komponente der Personalbestandsplanung zugrunde und unterstellen demnach keinen konstanten Personalbestand. Diese Modelle präferieren einen Personalbestand, der sich den gegebenen saisonalen Schwankungen der Nachfrage anpasst. Darüber hinaus berücksichtigen sie keine unterschiedlichen Mitarbeiterkategorien hinsichtlich der Arbeitszeit. Die Modelle zur Jahresarbeitszeitverteilung haben zum Ziel, mit Hilfe einer konstanten Anzahl an Arbeitnehmern eine saisonale Nachfrage zu befriedigen, indem sie in ihrem Ergebnis die Arbeitszeiten der Arbeitnehmer ungleichmäßig über das Jahr verteilen. Im Vordergrund steht jedoch die Befriedigung eines Wochenbedarfs, der keinerlei Schwankungen des Bedarfs innerhalb einer Woche vorsieht. Darüber hinaus wird keine Differenzierung der Arbeitnehmer hinsichtlich deren Arbeitszeiten notwendig, da der Zeitpunkt der Nachfragebefriedigung innerhalb der Woche unerheblich ist. Somit haben alle Arbeitnehmer identische Wochenarbeitszeiten. Für die Zusammensetzung der vereinbarten Arbeitszeit wird auf die Ergebnisse der Personaleinsatzplanung verwiesen.

Die vorgestellten Ansätze zur Berechnung des Personalbestandes sowie der Verteilung der Jahresarbeitszeit sind nur teilweise auf die in dieser Arbeit betrachtete Problemstellung übertragbar. Zum einen wird in den Modellen der Personalbestandsplanung kein konstanter Personalbestand unterstellt, vielmehr wird dieser der jeweiligen Nachfragesituation angepasst. Zum anderen erfolgt die Differenzierung der Mitarbeiter anhand ihrer Qualifikation und nicht anhand ihrer Arbeitszeiten. Die Modelle der Jahresarbeitszeit- und Urlaubsplanung berücksichtigen lediglich einen aggregierten Wochenbedarf. Demnach stellen sie nur sicher, dass der mittelfristige Personalbedarf ausreicht, um die jeweilige Wochennachfrage in Summe zu befriedigen. Dieser Planungsschritt geschieht unabhängig von der Betrachtung des jeweiligen Einsatzes der Mitarbeiter. Die Einsatzplanung der Mitarbeiter erfolgt erst in einem sich anschließenden Planungsschritt.³⁷³ Bei Call Centern ist es jedoch erforderlich, die mögliche Nutzung der Agenten bereits bei der Planung des Personalbestandes mitzubedenken, denn bei ihnen ist der Zeitpunkt des Einsatzes immens wichtig zur Befriedigung der schwankenden Nachfrage. Zu diesem Zweck ist das Heranziehen unterschiedlicher Schichten hinsichtlich Schichtbeginn, Schichtlänge und Schichtlage notwendig. Demnach ist die Einsatzplanung bereits bei der Personalbestands-

³⁷³ Eine Ausnahme bildet der Planungsansatz von Schneeweiß et al. Vgl. Schneeweiß / Loinjak/ Müller (1996).

planung und der Aufteilung der Jahresarbeitszeit zu antizipieren. Der im folgenden Kapitel vorgestellte Ansatz berücksichtigt die genannten Teilbereiche in kombinierter Form.