Taktisch-operative Personaleinsatzplanung - Forschungsstand moderner Lösungsverfahren

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis 3

1. Einleitung 4

2. Problemstellung in Bezug auf Einsatz der Hauptmodelle 6

2.1. Prozesse der Personaleinsatzplanung 8

2.2. Analyse des Planungsproblems 12

2.3. Dienstplanerstellung 14

3. Mathematische Modelle zur Lösung des Personaleinsatzplanungsproblems 18

3.1. Die Booleane Variable 20

3.2. Modell und Algorithmus mittelfristiger Variablen 22

3.3. Modell und Algorithmus langfristiger Variablen 28

4. Modellierung der Personaleinsatzplanung im Flugverkehr 32

4.1. Das Grundmodell der Personaleinsatzplanung im Flugverkehr 32

4.2. SWIFTROSTER Modell und seine Anwendung 37

4.3. Integration von Servicemodellen in den Besatzungsplanungsprozess 40

4.3.1. Sprachbarrieren 40

4.3.2. Codeshare Flüge mit einer gemischten Besatzung 41

4.3.3. Ausländische Flugbesatzungsstationen 42

4.3.4. Sprachorientierte Besatzungszuweisung am Abflugsort 46

4.3.5. Geschlechterrolle und besondere Qualifikationen der Besatzung 47

4.4. Ergebnisse 48

5. Fazit 50

Literaturverzeichnis 53

Abkürzungsverzeichnis

bzw. = beziehungsweise

d.h. = das heißt

S. = Seite

vgl. = Vergleiche

z. B. = zum Beispiel

1. Einleitung

Die Personaleinsatzplanung ist als der Prozess definiert, der Arbeitszeitpläne für die Mitarbeiter eines Unternehmens erstellt, durch den es einer Organisation ermöglicht wird, die Nachfrage nach ihren Waren oder Dienstleistungen zu erfüllen. Der erste Teil dieses Prozesses beinhaltet es, die Anzahl der Mitarbeiter, die besondere Qualifikationen mitbringen, zu bestimmen. Dieser Schritt ist erforderlich, um die Service-Nachfrage erfüllen zu können. Einzelne Mitarbeiter werden den verschiedenen Schichten zugewiesen, um die benötigte Mitarbeiterzahl, zu den unterschiedlichen Zeiten, abzudecken. Anschließend werden die Aufgaben an die einzelnen Personen verteilt. Es müssen industrielle Vorschriften, die mit den relevanten Arbeitsplatzvereinbarungen verbunden sind, während des Planungsprozesses zwingend beachtet werden.

Es ist eine große Herausforderung optimale Lösungen, für diese stark limitierten und komplexen Probleme, zu finden. In diesem Zusammenhang sollen die Kosten minimiert werden, die Präferenzen der Mitarbeiter erfüllt werden, die Schichten gerecht zwischen den Mitarbeitern verteilt werden und alle Arbeitsplatzbeschränkungen eingehalten werden.

In vielen Organisationen wird die Entwicklung von Personaleinsatzplanung durch unterstützende Instrumente vollzogen. Diese Hilfe erleichtert den Entscheidungsprozess und stellt zudem sicher, dass ein ausreichend qualifizierter Mitarbeiter zur geplanten Zeit und zu den kalkulierten Kosten die Arbeit praktizieren kann. Durch eine erfolgreiche Planung wird die Mitarbeiterzufriedenheit eines Unternehmens gefördert. Die Komponenten eines solchen Entscheidungsunterstützungssystems umfassen typischerweise Tabellenkalkulations- und Datenbank-Tools und möglicherweise Tools, die aus geeigneten mathematischen Modellen und Algorithmen entwickelt wurden. Die vorliegende Bachelorarbeit konzentriert sich, vor allem auf Planungsinstrumente, die im Stande sind die Personaleinsatzplanung zu erleichtern.

Die Entwicklung der mathematischen Modelle und Algorithmen, die einem Programmierinstrument zugrunde liegen, umfassen die folgenden Punkte:

(a) Eine Studie der Verkehrssimulationsmodelle, hierbei wurden historische Daten gesammelt und verwendet, um die Nachfrage nach Dienstleistungen zu prognostizieren und diese anschließend für die Erfüllung des Dienstleistungsstandards erforderliche Personalanzahl zu konvürf2ertieren,

(b) die Lösungsmethoden, die für ein Personalplanungswerkzeug erforderlich sind, welches die Einschränkungen der Arbeitsplatzregelungen und gleichzeitig die Ziele, Abdeckung des Personalbedarfs, der Mindestkosten und der maximalen Mitarbeiterzufriedenheit, erfüllt und

c) die Festlegung eines Berichterstattungsinstruments, das Lösungen aufzeigt und Leistungsberichte liefert.

Durch die abweichenden Charakteristika der unterschiedlichen Wirtschaftsbranchen und Organisationen, ist es zwingend notwendig spezifische mathematische Modelle und Algorithmen für Personalplanungslösungen der einzelnen Anwendungsbereiche zu entwickeln. Eine Übertragung ist in den meisten Fällen nicht realisierbar.

Es gibt eine große Anzahl kommerzieller Software-Produkte, die Unternehmen zur Verfügung stehen, um die Personaleinsatzplanung zu unterstützen. Diese werden in der vorliegenden Bachelorarbeit nicht tiefer behandelt, aber es ist zu beachten, dass diese Softwarepakete eine signifikante Optimierungsmöglichkeit bereitstellen. In der Regel sind sie auf einen bestimmten Anwendungsbereich ausgerichtet und nur schwer auf eine andere Branche übertragbar. Im Gegensatz dazu stehen die allgemein anwendbaren Instrumente, die eine manuelle Bearbeitung der Nutzer ermöglichen und dem Betrieb umfangreiche Berichte und Analysen zur Verfügung stellen. Allerdings bieten diese Lösungsansätze begrenzte Unterstützung für die automatisierte Rollengenerierung an.

Es gab eine Reihe von allgemein wissenschaftlichen Arbeiten im Bereich der Personalaufstockung, dazu gehören (vgl. Bechtold et al. 1991, S.683-699) und (vgl. Tien und Kamiyama 1982, S.275-287). Die letztgenannte Umfrage konzentriert sich auf allgemeine Arbeitszeitplanungsmodelle. Eine frühzeitige Befragung einiger Anwendungsgebiete und Methoden liegt in (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121) vor.

Eine Umfrage der Besatzungsplanung ist in (vgl. Bodin et. Al 1983, S.63-211) gegeben. Umfragen in der Literatur zur Flugzeugbesatzung erscheinen in den Arbeiten (vgl. Arabeyre et. al 1969, S.140-163, vgl. Gamache et. al 1998, S.124-157, vgl. Ruschmeier et. al 1995). Eine gute Übersicht der Werkzeuge, Modelle und Methoden für die Busbesatzung ist (vgl. Wren 1982, S.3-16). In der (vgl. Bradley 1991, S.2-8, vgl. Sitompul 1990, S.62-72) wird ein Überblick zur Krankenschwestereinsatzplanung verschafft. Call Center-Programmierung zählt zu den neueren Anwendungen. Artikel zu diesem spezifischen Thema finden sich in (vgl. Grossmann, 1999, vgl. Mehrotra, 1997). Es gab einige bearbeitete Bände: (vgl. Daduna et. al 2001, vgl. Desrochers et. al, 1992, vgl. Rousseau, 1985, vgl. Wilson 1999, vgl. Wren 1982), die sich aus Konferenzen im Bereich der Personalplanung, vor allem im Bereich der öffentlichen Verkehrsmittel, ergeben.

2. Problemstellung in Bezug auf Einsatz der Hauptmodelle

Im Fokus dieses Abschnitts stehen die Definition sowie die Notation von Personalplanungsproblemen. Anschließend befasst sich dieses Kapitel mit der Entwicklung einer Klassifizierung für Problemstellungen, die im Verlauf dieser Bachelorarbeit angewandt werden. In diesem Abschnitt wird eine Taxonomie der Dienstplangestaltung oder Personaleinsatzplanung vorgeschlagen. Diese Begriffe werden fortwährend synonym verwendet. Die Taxonomie beabsichtigt nicht vollständig zu sein, sondern dient dazu einen allgemeinen Rahmen für die Klassifizierung zu schaffen, die im Bereich der Personaleinsatzplanung durchgeführt wurde (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

Die Klassifikation berücksichtigt zwei Aspekte der in der Literatur angesprochenen Personaleinsatzplanungsprobleme. Auf einer allgemeinen Ebene umfasst der Gesamtplanungsprozess eine Reihe verschiedener Module, und innerhalb dieser Module können verschiedene Modelle, für spezifische Anwendungen, benötigt werden (vgl. Ruschmeier et. al 1995).

In der Literatur wurden bereits verschiedene Formen der Klassifikationen vorgeschlagen. Die Autoren in (vgl. Tien und Kamiyama 1982, S.275-287) beispielsweise dividieren das allgemeine Personalplanungsproblem in fünf

Teilprobleme. Unterschieden werden hierbei die temporale Dienstplangestaltung, die gesamte Dienstplangestaltung inklusive den Urlaubsplänen, die Arbeitszeitpläne und die Schichtpläne. In ähnlicher Weise wurden dreistufige Ansätze entwickelt, welche die Besatzungspaarungserzeugung, die Besatzungspaarungsoptimierung und die Besatzungseinsatzplanung, häufig die Flugbesatzungsplanung, verwenden (vgl. Arabeyre et. al 1969, S.140-163). Für die allgemeine Arbeitszeitplanung (vgl. Bailey 1985, S.395-404) wird in der Literatur ein breites Spektrum von Kriterien, die Personaleinsatzplanung betreffend, behandelt.

Die in der vorliegenden Bachelorarbeit vorgestellte Klassifikation, hat das Ziel eine allgemeinere Anwendung zu ermöglichen. Es wird eine Reihe von Modulen vorgeschlagen, die mit den Prozessen zur Erstellung eines Dienstplans verbunden sind. Bei den meisten dieser Module ist es erforderlich gewisse Anforderungen zu berücksichtigen, um einen Dienstplan in einem bestimmten Anwendungsbereich zu erstellen (vgl. Tien und Kamiyama 1982, S.275-287).

Bevor die erarbeiteten Klassifikationen genauer besprochen werden, wird bewiesen, dass eine Reihe von Bereichen existieren, die in einem engen Zusammenhang mit dem Planungsprozess stehen. In diesem Kontext wird auf die Belegschaftsplanung und die soziologischen und psychologischen Auswirkungen unterschiedlicher Arbeitsmuster hingewiesen (vgl. Arabeyre et. al 1969, S.140-163).

Es gibt eine große Anzahl an Literatur über Belegschaftsplanung, die sich mit strategischen Fragen befasst, um Antworten bezüglich der optimalen Größe oder den idealen Mix einer Belegschaft zu finden. Zwar gibt es eine gewisse Flexibilität, die mit der Nutzung von Dauer- und Teilzeitkräften verbunden ist, allerdings beschäftigt sich die Personaleinsatzplanung, vor allem mit der Zuteilung der Arbeit innerhalb einer bestimmten Belegschaft. Eine Vielzahl von Forschungsarbeiten beschäftigt sich mit den sozialen und psychologischen Auswirkungen, der verschiedenen Arten von Dienstplänen. Konzentriert wird sich in diesem Forschungsbereich vor allem auf die Schichtarbeit oder Zeiträume, die längere Arbeitsphasen vorsehen. Diese Studien können die Entwicklung von Dienstplänen durch die Beeinflussung der Spezifikation geeigneter Arbeitsplatzregelungen erleichtern (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

2.1. Prozesse der Personaleinsatzplanung

Die vorliegende Klassifikation präsentiert den Planungsprozess als eine Reihe von Modulen, beginnend mit der Ermittlung der Personaleinsatzplanung und endend mit der Spezifikation der Arbeit, die über einen gewissen Zeitraum von jedem einzelnen in der Belegschaft durchgeführt werden soll. Obwohl die Module eine schrittweise Vorgehensweise vorschlagen, kann die Entwicklung eines bestimmten Dienstplans auch nur einige der Module beinhalten und in vielen praktischen Implementierungen ist es möglich mehrere Module zu einem Verfahren zusammenzufassen (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121). Darüber hinaus werden die Anforderungen der verschiedenen Module abhängig der Anwendungen behandelt.

Das erste Modul in der Entwicklung eines Dienstplans ist es zu bestimmen, wie viele Mitarbeiter zu verschiedenen Zeiten in der Planungsperiode benötigt werden. Die Mitarbeiter sind verpflichtet Aufgaben zu erfüllen, die sich aus Ereignissen ergeben, die während der Planung auftreten. In diesem Falle können Ereignisse verschiedene Formen haben, z. B. eine bestimmte Abfolge von Aufgaben, die Komponenten eines Flugzeugbesatzungsplans oder eine Spezifikation pro Schicht des Stabniveaus. Die Verkehrssimulationsmodellierung ist ein Prozess, bei dem ein prognostiziertes Muster von Ereignissen, in die damit verbundenen Pflichten, umgesetzt wird, um anschließend die Anforderungen zu nutzen, die beispielsweise anhand der Nachfrage des Personals ermittelt wird. Es werden drei breite Ereigniskategorien unterschieden, auf denen die Personalnachfrage basieren kann (vgl. Tien und Kamiyama 1982, S.275-287).

Die aufgabenbasierte Nachfrage wird aus Listen, der einzelnen durchzuführenden Aufgaben, gewonnen. Aufgaben werden in der Regel in Bezug auf eine Startzeit und Dauer definiert, oder ein vorgegebenes Zeitfenster. Außerdem werden die Fähigkeiten, die zur Ausführung der Aufgabe erforderlich sind, mit einbezogen, und in einigen Fällen können Aufgaben mit Standorten verknüpft werden. Aufgaben werden oft aus Dienstplänen abgeleitet, die von einer Organisation durchgeführt werden sollen. Ein erster Bedarfsmodellierungsschritt besteht darin, einzelne Aufgaben in Aufgabenfolgen zu kombinieren, die von einer Person sinnvoll durchgeführt werden kann. Die Planung von der aufgabenbasierten Nachfrage wird

häufig in Transportanwendungen verwendet, in denen das Bedarfsmodellierungsmodul mit der Besatzungspaarungserzeugung und der Besatzungspaarungsoptimierung verbunden sind (vgl. Bodin et. Al 1983, S.63-211).

Im Fall der flexiblen Nachfrage ist die Wahrscheinlichkeit von zukünftigen Ereignissen weniger bekannt und muss mit Prognosetechniken modelliert werden. Die Anfragen für Service können zufällige Ankunftsraten und möglicherweise zufällige Servicezeiten haben. Die Verknüpfung zwischen den Dienstanforderungen und den Personalbeständen erfolgt in der Regel in Form eines Dienstleistungsstandards, der auf eine Warteschlangenanalyse der zufälligen Ankunftsverteilungen angewendet wird. In vielen Fällen ist das Ergebnis eine Spezifikation der Mitarbeiterzahl, die zu verschiedenen Tageszeiten für die einzelnen Tage erforderlich ist. Zum Beispiel könnten Personalstufen für jedes Stundenintervall über einen vierwöchigen Planungszeitraum angegeben werden. Diese Planung auf flexible Nachfrage wird oft für das Personal von Call-Center, Polizei und Flughafen benötigt (vgl. Tien und Kamiyama 1982, S.275-287).

Sobald das flexible Nachfragemuster erzeugt worden ist, kann es auf Schichten verteilt werden, welche die Nachfrage abdecken, zum Beispiel können sechs Morgenschichten benötigt werden, um die Nachfrage zwischen 6:00 und 14:00 Uhr, an einem bestimmten Tag, zu decken. Sobald die Schichten eingeteilt wurden, können sie in den Arbeitsplan eingeordnet werden. Alternativ kann die Nachfrage direkt in die späteren Planungsphasen, als vorgeschrieben Mitarbeiteranzahl, übernommen werden. In diesem Fall können negative Konsequenzen folgen, wie die Unter- und / oder Überdeckung der Nachfrage. Eine in der Praxis angewendete Lösung dieses Problems ist es Unterdeckung zu erlauben und anschließend durch Überstunden die Nachfrage zu befriedigen (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

Eine schichtbasierte Nachfrage wird von der Spezifikation und Qualifikation der vorhandenen Mitarbeiter bestimmt, die im Dienst während der verschiedenen Schichten erforderlich sind. Schichtbasierte Nachfrage ist in Bereichen vorzufinden, wie bei der Personaleinsatzplanung von Krankenschwestern und Rettungsdiensten. In diesen Berufen ist die Mitarbeiter Spezifikation und Qualifikation ausschlaggebend,

um Servicemaßnahmen wie Krankenschwester / Patienten-Verhältnisse oder Reaktionszeiten pflichtgerecht zu erfüllen. Eine schichtbasierte Nachfrage kann auch als Vereinfachung der aufgabenbasierten oder flexiblen Bedarfsplanung angewendet werden (vgl. Bailey 1985, S.395-404).

Das Modul der freien Tage in der Dienstplanung beinhaltet gesetzliche Vorgaben, wie zum Beispiel, dass Ruhetage zwischen den Arbeitstagen, für verschiedene Arbeitsbereiche, verteilt werden müssen. Dieses Problem tritt häufiger auf, wenn eine flexible oder schichtbasierte Nachfrage angewendet wird, als das es bei der auftragsbezogenen Nachfrage der Fall ist (vgl. Bechtold et al. 1991, S.683-699).

Schichtplanung befasst sich sowohl mit der Herausforderung eine optimale Auswahl, aus einem potenziell großen Pool von Kandidaten, zu treffen als auch mit der Frage welche Schichten zu bearbeiten sind und was für eine Anzahl an Mitarbeitern pro Schicht zugeordnet werden müssen, um die Personalnachfrage zu erfüllen. Wenn eine flexible Nachfrage angestrebt wird, muss auch der zeitliche Ablauf von Arbeits- und Mahlzeitenpausen, in den von den Arbeitsplatzregelungen und den Firmenanforderungen zugelassenen Vorgaben, berücksichtigt werden. Bei der aufgabenbasierten Nachfrageplanung wird, unter anderem auch die Personaleinsatzplanung oder Besatzungspaarungsoptimierung genannt, wobei die Hauptaufgabe darin besteht, eine gute Menge an realisierbaren Aufgaben, Schichten oder Paarungen auszuwählen, damit in der Praxis alle Aufgaben abgedeckt werden. Dieses Modul ist offensichtlich überflüssig, bei der Planung die Nachfrage zu verlagern (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

Das Modul der Linie der Arbeitsverhältnisse beinhaltet die Schaffung von Arbeitslinien, die manchmal als Arbeitszeitpläne oder Ranglistenlinien bezeichnet werden. Sie umfassen den Planungshorizont jedes Mitarbeiters. Der Prozess vom Aufbau einer Arbeitslinie hängt von den grundlegenden Bausteinen ab, wie Schichten, Pflichten und Arbeitsperioden, die verwendet werden (vgl. Bailey 1985, S.395-404).

Wenn die Grundbausteine verschoben werden, dann kann jede Schicht den Arbeitstagen einer Person zugeordnet werden. Zusätzlich können einige gesetzliche

Einschränkungen eine Rolle spielen, durch die gültige Schichtmuster limitiert werden. Es ist beispielsweise nicht möglich, sofort eine Nachtschicht mit einer anschließenden Tagesschicht fortzusetzen. Auch gegebene Verpflichtungen gehen einher mit den Aufgaben, die nur einen Teil der Mitarbeiter einer Schicht übernehmen können oder die mehrere Schichten umfassen können. Jede Pflicht kann genau einmal in die Liste aufgenommen werden. Arbeitsperioden sind vordefinierte Sequenzen von Schichten und Ruhetagen. Sie können das Ergebnis einer Aggregation von Aufgaben während des Bedarfsmodellierungsmoduls oder einfach vordefinierten Musters sein, welche de Regeln und Vorschriften des Arbeitsplatzes widerspiegeln (vgl. Sitompul 1990, S.62-72).

Bei diesem Modul handelt es sich um die Berücksichtigung sowohl der Arbeitsregeln als auch des Bedarfsmusters. Erstere sorgt für die Durchführbarkeit einzelner Arbeitsschritte, während letztere sicherstellen, dass sie zusammen die Arbeitsanforderungen der Personaleinsatzplanung erfüllen (vgl. Bechtold et al. 1991, S.683-699).

Die Linie dieses Vorgangs wird in der Regel Werkzeugplanung genannt, wenn es sich um flexible Nachfrage handelt, und Besatzungsplanung, die sich mit Crew-Paarungen beschäftigt (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

Es kann notwendig sein, bei jeder Schicht eine oder mehrere Aufgaben zuzuordnen. Diese Aufgaben können besondere Fähigkeiten des Personals oder ein Niveau der Dienstalter erfordern und müssen daher mit bestimmten Arbeitsbereichen verbunden sein. Das Modul der Zuordnung einzelner Mitarbeiter zu den Arbeitsabläufen erfolgt oft beim Bau der Arbeitslinien. Die in den oben genannten Modulen beschriebenen Verfahren stellen einen allgemeinen Rahmen dar, in dem verschiedene Personaleinsatzplanungsmodelle und Algorithmen platziert werden können. Im weiteren Teil der vorliegenden Bachelorarbeit wird erläutert, wie diese Klassifikation genutzt werden kann, um Teile der in der Literatur präsentierten Personaleinsatzplanungslösungen voneinander zu unterscheiden (vgl. Bailey 1985, S.395-404).

2.2. Analyse des Planungsproblems

Es ist in der Regel rechnerisch nicht ideal, gleichzeitig mit allen erforderlichen Modulen zu arbeiten, um eine Liste zu erstellen, obwohl ein solcher Ansatz aus der Perspektive der Erstellung für Gesamtpläne wünschenswert ist. Das Zerlegen des Problems in mehrere separate Module macht es tragbarer und erweist sich als sinnvoll im Bezug auf die Geschäftspraktiken einer Organisation. Wenn die Schichten beispielsweise fest eingeteilt sind, kann die Zuweisung von Aufgaben jederzeit durchgeführt werden, bevor eine Schicht beginnt, ohne eine erhebliche Störung des Personals zu verursachen (vgl. Bechtold et al. 1991, S.683-699). So kann es sinnvoll sein, die Schichten im Voraus zu erzeugen, die Aufgabenzuweisungen aber erst ein oder zwei Tage vor dem eigentlichen „Tag der Operation“ zu zuteilen, wenn die Liste der durchzuführenden Aufträge absehbarer ist (vgl. Bailey 1985, S.395-404).

In den meisten Fällen kann die Nachfragemodellierung als eigenständiges Modul behandelt werden. Zum Beispiel ist es bei der Personaleinsatzplanung mit einer aufgabenorientierten Nachfrage normalerweise möglich, sinnvolle Wege zur Aggregation von Aufgaben zu wählen, ohne die Flexibilität der Arbeitsschöpfung deutlich zu reduzieren. Darüber hinaus ist diese Aggregation bei einer großen Anzahl von Aufträgen unerlässlich, um Problemstellungen optimal zu lösen (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

Bei der Personaleinsatzplanung mit einer flexiblen Nachfrage können Effekte zweiter Ordnung bei der Wahl des Dienstplans entstehen. Im Normalfall ist es nicht möglich, den Mitarbeitern exakt auf Nachfrage anzusetzen, die auf einer stündlichen Basis variiert, wenn Schichten verwendet werden, die eine Dauer zwischen 6 und 8 Stunden haben. Infolgedessen kann es Zeiten geben, in denen relativ wenige Mitarbeiter im Dienst sind und dies zu längeren Kundenwarteschlangen führen kann, wodurch eine künstlich höhere Nachfrage zu einem späteren Zeitpunkt entstehen kann. Das heißt, die Wahl des Dienstplans ist abhängig von den Charakteristika der Nachfrage. Diese ausschlaggebenden Eigenschaften sind in der Regel nur Nuancen, die aber bei der Personaleinsatzplanung zu erheblichen Komplikationen bei der Modellierung führen können. In einigen Fällen, in denen es eine ungewöhnlich starke

Wechselwirkung gibt, können solche Effekte, wie in (vgl. Bechtold et al. 1991, S.683-699), durch eine kleine Anzahl von Iterationen zwischen den Modulen der Personaleinsatzplanung und der (konsequenten) Nachfrageverteilung reduziert werden.

In vielen Anwendungen wird das endgültige Modul der Personalzuweisung manuell durchgeführt. Die Mitarbeiter können aus den Arbeitsabläufen auf der Grundlage des Dienstalters oder durch einen beratenden Prozess wählen. Wenn dies nicht der Fall ist, dann ist es generell sinnvoll, einzelne Mitarbeiter bereits während des Arbeitsablaufs zu betrachten, anstatt die Belegschaft als ganz eigenständiges Modul zu behandeln (vgl. Sitompul 1990, S.62-72).

Zusammenfassend gibt es drei Hauptfaktoren, welche die Unterschiede zwischen den Programmierungsproblemen und den Modellen beeinflussen:

1. Der Grad, an dem die Dauer der Arbeitsplanung, die Arbeitsabläufe und die Aufgabenzuordnung integriert werden. Eine entsprechende Zersetzungsstrategie kann die Modellierungskomplexität reduzieren (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

2. Die Module, die für die Erstellung einer Liste erforderlich sind. Einige Probleme haben keine Aufgaben, andere erfordern eine nicht-triviale Nachfragemodellierung, und einige, wie z. B. Besatzungsplanung benötigen keine Aufgabenzuweisung (vgl. Bailey 1985, S.395-404).

3. Die Art der Nachfrage und die Grundeinheit, aus der die Arbeitslinien aufgebaut werden. Zum Beispiel sind die Modellierungstechniken, die für die Besatzung von Fluggesellschaften verwendet werden, sehr verschieden von denen, die für die Call-Center-Planung verwendet werden. Die Nachfrage bei den ersteren basiert auf festen Aufgaben und auf flexiblen Aufgaben bei den letzten (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

2.3. Dienstplanerstellung

Die Dienstplanerstellung kommt oft beim Umgang mit aufgabenbasierter Nachfrage vor und beinhaltet die Aggregation einzelner Aufgaben in größere Arbeitsteile. In späteren Planungsmodulen werden diese Werkstücke als unteilbare Einheiten behandelt, die von derselben Person durchgeführt werden sollen. Sowohl die Besatzungspaarung als auch die Besatzungsplanung sind bekannte Beispiele der Dienstplanerstellung (vgl. Sitompul 1990, S.62-72).

Die Dienstplanerstellung wird häufig verwendet, um mit Standortabhängigkeiten zu umgehen, indem sie mehrere Aufgaben in Roundtrips oder Paarungen kombiniert, die es den Mitarbeitern ermöglichen, nach der Ausführung mehrerer Aufgaben wieder in ihren Ausgangspunkt zurückzukehren. Die Hauptziele in diesem Modul sind die Minimierung von Paxing (die geographische Bewegung der Besatzung zwischen Standorten ohne Beschäftigung während der Übertragung), Dauer der Abwesenheit von zu Hause, Lebensqualität, Kosten für Übernachtungen und so weiter (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

Die Dienstplanerstellung wird oft in zwei Schritten durchgeführt. Der erste Schritt beinhaltet die Erzeugung einer großen Anzahl von Pflichten, Schichten, Paarungen oder Rundreisen, und der zweite Schritt beinhaltet die Auswahl einer optimalen Teilmenge dieser Aufgaben, um die gesamte Nachfrage zu decken (vgl. Bailey 1985, S.395-404).

Die Behandlung der Dienstplanerstellung, als ein separates Modul, kann eine bequeme Möglichkeit sein auftretende Problemstellungen zu Beseitigen, die mit detaillierten Arbeitsregeln in einem Optimierungsmodell verbunden sind. Diese Regeln sind sehr schwierig in ein volles Optimierungsmodell einzubeziehen, haben aber oft nur einen begrenzten Einfluss auf die Qualität der Gesamtlösung. Zum Beispiel ist es sinnvoll, sich mit den Regeln der gesetzlich vorgeschriebenen Arbeitsunterbrechungen auseinanderzusetzen, während die Paare platziert werden, anstatt sie als eine Menge von möglicherweise komplexen Seitenbeschränkungen in einem Optimierungsmodell miteinzubeziehen (vgl. Gamache et. al 1998, S.124-157).

Der Aufbau von Arbeitslinien beinhaltet die Festlegung einer Abfolge von Pflichten, die sich über einen längerfristigen Zeitraum erstrecken, der im Normalfall vierzehntägig oder monatlich ist, um sie den einzelnen Mitarbeitern zuzuordnen. Das Problem enthält, in der Regel, eine Reihe von widersprüchlichen Zielen und Einschränkungen. Es gibt eine Reihe verschiedener Arbeitsmodellen (vgl. Bechtold et al. 1991, S.683-699).

Der erste Typ sind zyklische / azyklische Dienstpläne. In einer zyklischen Liste führen alle Angestellten derselben Klasse genau die gleiche Arbeit, aber mit unterschiedlichen Startzeiten einer Schicht oder der zu bewerkstelligen Aufgaben. Diese Art des Dienstplans ist für Situationen mit wiederholten Bedarfsmustern am besten geeignet (vgl. Bailey 1985, S.395-404). Als Beispiel kann man hier die sich wöchentlich wiederholenden Zugfahrpläne nennen, denn in dieser Branche ist es nicht ungewöhnlich, zyklische Plätze für Zugfahrer zu haben. In azyklischen Plänen sind die Arbeitsschritte für einzelne Mitarbeiter völlig unabhängig. Diese Situation gilt in Fällen, in denen die Nachfrage mit der Zeit schwankt und Schichten unterschiedliche Längen und Startzeiten existieren. Azyklische Dienstpläne werden oft in Call-Centern eingesetzt. Teilweise ist eine komplette zyklische Liste für alle Mitarbeiter nicht umsetzbar, aber es kann möglich sein, zyklische Arbeitspläne in Untergruppen der Belegschaft oder über Teilperioden des Planungshorizonts zu erstellen.

In einigen Organisationen sind nur bestimmte Reihenfolgen der Schichten, d.h. Arbeitsperioden, erlaubt. DDD beispielsweise bezieht sich sich auf eine Arbeitsperiode mit drei aufeinanderfolgenden Tag-Schichten. DND wird im Falle von Arbeitsperioden verwendet, die mit einer Tagesschicht beginnt, gefolgt von einer Nachtschicht und mit einer weiteren Tagesschicht und einem OOOO zu einer Arbeitsperiode von vier aufeinander folgenden Tage. Eine Reihe von Arbeiten wird als eine Abfolge von Arbeitsperioden konstruiert (vgl. Bailey 1985, S.395-404).. Bei der Erstellung von Arbeitslinien müssen Regeln, die zulässige Übergänge zwischen verschiedenen Arbeitsperioden angeben, befolgt werden (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121). Eine Arbeitsperiodenübergangsmatrix kann verwendet werden, um festzulegen, welche Arbeitsperioden einer bestimmten Arbeitsperiode folgen können, und um

auch bevorzugte Übergänge anzuzeigen. Es ist möglich, entweder zyklische oder azyklische Dienstpläne unter Verwendung von Arbeitsperioden zu konstruieren. Eine typische Anwendung der Arbeitsperioden-basierten Personaleinsatzplanung ist die Krankenschwesterdienstplanung.

In den meisten Anwendungen werden durchführbare Pläne, durch die gesetzlichen Vorgaben, erheblich eingeschränkt, da diese festlegen welche Arbeitsmuster für eine Person legitim sind. Solche Rahmenbedingungen bestimmen, beispielsweise wie viele Nachschichten hintereinander von einem Arbeiter übernommen werden dürfen, welche minimale Zeitspanne, zwischen aufeinanderfolgenden Schichten, dem Angestellten zur Verfügung gestellt werden müssen oder sie können sich auch auf komplexere Präferenzbeschränkungen beziehen, dies zeigt z. B. das gesetzliche Verbot, das besagt, dass nicht mehr als zwei 12-Stunden-Schichten pro vierzehn Tage praktiziert werden dürfen (vgl. Bailey 1985, S.395-404).

Oft gibt es einen Unterschied zwischen harten und weichen Einschränkungen. Erstere müssen eingehalten werden, während letztere verletzt werden dürfen. Die Modellierung weicher Einschränkungen erfordert die Einbeziehung von Strafbedingungen in die Zielfunktion. Diese Einschränkungen, die Arbeit unabhängig angewendet wird, variieren in der Regel zwischen verschiedenen Organisationen erheblich und diese Unterschiede führen zu einer Vielzahl von Programmierungsproblemen und -modellen (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

Ein wichtiger Aspekt der Personaleinsatzplanung ist es, die Bedürfnisse der Mitarbeiter zu befriedigen. Eine Reihe von Ansätzen dieses Problem betreffend werden bei der Besatzung von Fluggesellschaften angewendet. Ein Ansatz besteht darin, Gebotsysteme zu verwenden, in denen Arbeitslinien generiert und dann den Besatzungsmitgliedern angeboten werden. Gebote werden normalerweise in der Reihenfolge der abnehmenden Unternehmenszugehörigkeit erteilt, wobei die meisten älteren Mitarbeiter die breiteste Palette von Arbeitslinien zur Verfügung gestellt bekommen. Aus diesen können sie dann auswählen, um ihre Präferenzen am besten zu erfüllen. Nachfolgende Besatzungsmitglieder werden die verbleibenden Arbeiten angeboten. Ein weiterer Ansatz ist es, zu versuchen, die Vorlieben während der

Erstellung der Arbeitslinien unterzubringen. In Vorzugsgebotsystemen (vgl. Bechtold et al. 1991, S.683-699) bieten Besatzungsmitglieder besondere Pflichten an, und diese Aufgaben werden dann, soweit möglich, in ihre Arbeitsbereiche aufgenommen. Auf einer allgemeineren Ebene versuchen gerechte Systeme, die Arbeitsbelastung fair und gleichmäßig in jeder Mannschaftsklasse zu verteilen. Der Aufbau zyklischer Arbeitspläne ist eine typische Strategie in gerechten Systemen (vgl. Sitompul 1990, S.62-72).

2.4. Zuordnung

Auch die Zuordnung der verschiedenen Module des Planungsprozesses, kann sich als Herausforderung darstellen. Die am häufigsten verwendeten Zuordnungen werden im folgenden Abschnitt genauer untersucht.

Aufgabenzuweisungen sind oft erforderlich, wenn Arbeitsschichten fixiert wurden, aber die spezifischen Aufgaben, noch nicht an die Arbeiter verteilt wurden. Aufgaben werden gruppiert und den Schichten oder Mitarbeitern zugeordnet, basierend auf Start- und Laufzeiten der Arbeitseinteilung. Die Zuweisungsmethoden hängen davon ab, ob Aufgabenzeiten fest oder beweglich sind, ob Pausen in Schichten vorhanden sind, Überstunden zulässig sind oder bestimmte Fähigkeiten oder Qualifikationen erforderlich sind, um bestimmte Aufgaben zu erfüllen. Die Aufgabenzuordnung kann auch bei der Erstellung von Arbeitslinien durchgeführt werden (vgl. Aggarwal 1982, S.144-121).

Die Schichtzuweisungen entstehen bei der Erstellung von Arbeitslinien. Wie bereits erwähnt, ist in der Tourenplanung und Besatzungsplanung das Ziel, Linien der Arbeit aus Schichten / Pflichten / Paarungen zu konstruieren. In der Besatzung der Fluggesellschaft wurden sequentielle Zuweisungsmethoden häufig verwendet, um eine Dienstplan zu erzeugen. Beispiele hierfür sind die Zuordnung der höchsten Prioritäten / Paarungen zu den Mitarbeitern höchster Priorität und die Zuweisung von Aufgaben / Paarungen an die Angestellten von Tag zu Tag (vgl. Gamache et. al 1998, S.124-157).

Die Zuordnung des Dienstplans beinhaltet die Zuordnung von Arbeitslinien zu einzelnen Mitarbeitern. Diese Zuordnung kann entweder nach der Erzeugung aller Arbeitsbereiche erfolgen, wie bei den oben diskutierten Gebotsystemen oder bei der Erstellung von Arbeitslinien. Wenn die Zuordnung stattfindet und die Arbeitslinie aufgebaut wird, dann ist es üblich, einzelne Personalpräferenzen, Verfügbarkeit und Qualifikationen als Teil des Prozesses einzubeziehen (vgl. Sitompul 1990, S.62-72).

3. Mathematische Modelle zur Lösung des Personaleinsatzplanungsproblems

In vielen Ländern ist die strikte Anwendung von Arbeitsgesetzen zwingend vorgeschrieben und macht das Personaleinsatzplanungsproblem besonders komplex. Abgesehen von den gesetzlichen Einschränkungen der Arbeits- und Ruhezeit ist das vorliegende Mitarbeiterbelegungsmodell allgemein und sollte breite Anwendungen finden. Das Ziel ist es, diese Probleme mit einer exakten mathematischen Methode optimal zu lösen.

Das erste Modell, das als das konventionellste gilt, verwendet Entscheidungsvariablen mit den kleinsten Scheduling-Informationen. Bei anderen Modellen werden mit der Dantzig-Wolfe-Dekomposition (vgl. Dantzig und Wolfe 1960) die Variablen extrahiert, die eine gewisse Komplexität vorweisen und einige Scheduling-Einschränkungen integriert haben. Diese Modelle erfordern in der Praxis oft Spaltenerzeugungstechniken (vgl. Barnhart et al. (1998), vgl. Gamache et al. (1999), vgl. Jaumard et al. (1998)). Ein Benchmark wird entworfen, wobei der konstante Parameter in jedem Typ der Einschränkung variiert und somit die Bindungsstärke der Einschränkungen verändert. Es erlaubt es zu bestimmen, welche Einschränkungen in jedem Modell einfacher zu verarbeiten sind und welche Modelle besser sind als die anderen in der gegebenen Konfiguration.

Es wird davon ausgegangen, dass die zuzuordnenden Aufgaben über einen wöchentlichen Horizont rechtzeitig vergeben werden und den Mitarbeiter Aufgaben zugeordnet werden, die den ganzen Aufgabenbereich abdecken. Die Abtretung muss die nachfolgend beschriebenen gesetzlichen Bestimmungen beachten. Die Aufgaben können bei Tag oder Nacht auftreten und variieren von Tag zu Tag. Die einzige in

der vorliegenden Bachelorarbeit akzeptierte Entspannung ist, dass einige Aufgaben nicht abgedeckt werden kann, und die gegebenen Kosten dann pro Aufgabe nicht abgedeckt werden.

In dieser Arbeit wird folgende Notation verwendet:

- I: die Personen

- D: die Tage des Problemhorizonts (wird als D '= {1, ..., | D | -1}) bezeichnet.

- T: die Aufgaben.

- T_d: die Anzahl der Aufgaben am Tag *d*.

Jede Aufgabe t ∈ T wurde wie folgt gegeben:

- day_t: der Tag, an dem die Aufgabe *t* fällig ist.

- beg_t: die Startzeit der Aufgabe *t*.

- end_t: die Endzeit der Aufgabe *t*.

- dur_t: die Dauer der Aufgabe t; Die Aufgaben können eine Pause enthalten,

so dur_t kann weniger sein als end_t - beg_t.

- c_t: positive Kosten für die Aufgabe *t*, wenn es nicht geplant ist.

Die Start- und Endzeiten aller Aufgaben sind am selben Tag.

Die Personen haben Fähigkeiten, die ihnen erlauben, einer Teilmenge von Aufgaben zugeordnet zu werden. Für jede Person $i \in I$ und für jede Aufgabe $t \in T$ verwenden wir die Notation $\lambda_{i,t} \in \{0; 1\}$, gleich 1, nur wenn *i* der Aufgabe t zugeordnet werden kann. Es wird wie folgt bezeichnet $T^i = \{t \in T, \lambda_{i,t} = 1\}$ und $T^i_d = \{t \in Td, \lambda_{i,t} = 1\}$.

Eine Lösung für dieses Problem muss die folgenden Einschränkungen beachten:

1. Der Personalbedarf jeder Aufgabe ist, soweit wie möglich, zu decken.

2. Die Mitarbeiterzuweisungsbeschränkung: Jeder Person kann zu jeder Zeit höchstens einer Aufgabe zugeordnet werden. Diese Einschränkung veranlasst den Begriff der Sätze von inkompatiblen Aufgaben, die sich am selben Tag überlappen:

INC_0 (T) $\subseteq$ T × T, die Liste der Paare von gegenseitig inkompatiblen Aufgaben;

INC_0 (T) = {(t_1, t_2), t_1, t_2 $\in$T, $Tag_{t1} = Tag_{t2}$, $beg_{t1} \leq beg_{t2} < end_{t1}$}.

3. Die minimale tägliche Ruhezeit: die Dauer zwischen dem Ende der letzten Aufgabe einer Person *i* und dem Beginn der ersten Aufgabe am folgenden Tag muss mindestens *Tag R* sein. Diese Einschränkung veranlasst die Vorstellung von Sätzen von inkompatiblen Aufgaben an folgenden Tagen:

INC_1 (T) $\subseteq$ T × T die Liste der Paare von gegenseitig inkompatiblen Aufgaben

INC_1 (T) = {(t_1, t_2), t_1, t_2 $\in$T, $Tag_{t1} + 1 = Tag_{t2}$, $beg_{t2} < end_{t1} + Tag\ R$}.

4. Die maximale tägliche Arbeitszeit: die gesamte Arbeitsdauer pro Tag für die Person *i* darf *Tag W* nicht überschreiten.

5. Die wöchentliche Einschränkung der Arbeitsdauer: die gesamte Arbeitsdauer über den ganzen Horizont für die Person *i* darf *Woche W* nicht überschreiten.

6. Die Einschränkung der Ruhetage: Die Anzahl der Ruhetage muss mindestens *NbRest* sein.

3.1.Die Booleane Variable

Das erste Modell verwendet die Booleanen Zuordnungsvariablen:

$X_{i,t}$ = 1 gibt an, dass die Person *i* der Aufgabe *t* zugeordnet ist, ansonsten 0 ist. Die abhängige Variable $S_t \in N$ ist die Unterbesetzung der Aufgabe *t*. Und schließlich ist die Variable $Y^R_{i,d}$ gleich 1, wenn der Tag *d* ein Ruhetag für die Person *i* ist, ansonsten ist sie 0.

Das formulierte Modell wird wie folgt beschrieben:

$$(P1)\ min \sum_{t \in T} ct \cdot st$$

$\sum_{i \in I} \lambda i,t \cdot xi,t + st \geq 1, xi,t1 + xi,t2 \leq 1, \quad \forall t \in T$ (Formel 1)

$x_{i,t1} + x_{i,t2} \leq 1,$

$\forall i \in I, \forall (t_1, t_2) \in INC_0\ T^i$ (Formel 2)

$x_{i,t1} + x_{i,t2} \leq 1,$

$\forall i \in I, \forall (t_1,t_2) \in INC_1(T^i)$ (Formel 3)

$\sum_{t \in T^i_d} dur_t \cdot x_{i,t} \leq TagW, \ \forall i \in I, \forall d \in D$ (Formel 4)

$\sum_{t \in T^i} dur_t \cdot x_{i,t} \leq WocheW, \ \forall i \in I$ (Formel 5)

$\sum_{d \in D} y^R_{i,d} \geq NbRest, \ \forall i \in I$ (Formel 6)

$x_{i,t} + y^R_{i,d} \leq 1, \ \forall i \in I, \forall d \in D, \forall t \in T_{id}$ (Formel 7)

$x_{i,t} \in \{0;1\}, \ \forall i \in I, \forall t \in T^i$ (Formel 8)

$y^R_{i,d} \in \{0;1\}, \ \forall i \in I, \forall d \in D\ i,d$ (Formel 9)

$s_t \in N, \ \forall t \in T$ (Formel 10)

Die Modellbeschreibung:

- Die Unterbesatzung der Aufgabe: Die Einschränkung (1) definiert die Unterstufung jeder Aufgabe *t*. Aufgabe *t* induziert lineare Kosten c_t, die durch Unterbesetzung entstehen. P_1 berechnet einen Zeitplan, der die Gesamtbetragskosten minimiert.
- Die Mitarbeiterzuweisungsbeschränkung (2): Jeder Mitarbeiter kann jederzeit einer Aufgabe zugeordnet werden.
- Die minimale tägliche Ruhezeiten (3) für jeden Mitarbeiter *i*: Zwischen dem Ende der letzten Aufgabe am Tag *d* und dem Beginn der ersten Aufgabe am Tag *d + 1* muss die Restlaufzeit mindestens *TagR* betragen.
- Die maximale tägliche Arbeitsdauer (4), für jeden Mitarbeiter *i* und Tag *d*: Die

Summe der Dauer der Aufgaben, die *i* auf *d* zugewiesen werden, muss kleiner als *TagW* sein.
- Die maximale wöchentliche Arbeitsdauer (5) für jeden Mitarbeiter *i*: Die Summe der Laufzeiten der Aufgaben, die *i* zugeordnet sind, muss kleiner als *WocheW* sein.

- Die Mindestanzahl der Ruhetage (6) für jeden Mitarbeiter *i*: Die Anzahl der Tage muss größer oder gleich *NbRest* sein.

- Die Einschränkung (7) verbindet die Variablen *x* und y^R: für jeden Mitarbeiter *i*, ein Tag *d* ist ein Ruhetag, nur wenn *i* keiner Aufgabe in T*di* zugeordnet ist.

- Die Einschränkungen (8), (9) und (10) sind Integritätsbeschränkungen für die drei Sätze der Entscheidungsvariablen.

Die linearen Gleichungen sind Einschränkungen des Typs:

- Das Set-Covering: für die Einschränkung (1).

- Der Konflikt: für Inkompatibilitätseinschränkungen (wie z.B. die Mitarbeiterzuteilungsbeschränkung (2), die tägliche Mindestruhezeit (3)) und den Tag aus (7).

- Der Rucksack: für die maximalen Arbeitszeitbeschränkungen (pro Tag (4) und pro Woche (5)) und die Mindestanzahl der Tage (6).

3.2. Modell und Algorithmus mittelfristiger Variablen

Das zweite Modell kann durch Anwendung einer Dantzig-Wolfe-Dekomposition aus dem ersten Modell gewonnen werden. Es verwendet Zuordnungsvariablen, die gültige Tagesrunden darstellen. Die Ressource über die Arbeiter und die begrenzten täglichen Arbeitszeitbeschränkungen werden implizit durch die Variablen respektiert. Die anderen Wahrscheinlichkeitsbeschränkungen werden als lineare Einschränkungen im Masterproblem (P_2) behandelt.

Hier wird $\Omega_{i,d}$ als die Menge der gültigen Zeitpläne für den Tag *d* und Mitarbeiter *i* betrachtet. $K_{i,d}$ ist die Menge der entsprechenden Indizes dieser Zeitpläne mit $K_i = K_{i,d}$. Das $d \in D$-Problem wird durch P_2 definiert. Die Entscheidungsvariable $y_{i,k} = 1$

besagt, dass der Mitarbeiter *i* dem gültigen Tagesablauf *k* zugeordnet ist; $Y_{i,k} = 0$, sonst sind α, β, γ, δ und η die Dual-Variablen, die mit den Ungleichungen assoziiert werden.

$$(P2)\ min \sum_{t \in T} ct \cdot st$$

$\sum_{i \in I} \sum_{k \in Ki} v^{i}_{k,t} \cdot y_{i,k} + s_t \geq 1, \ \forall t \in T (\alpha t \geq 0)$ (Formel 11)

$\sum_{k \in Ki,d,} \forall i \in I, \forall d \in D (\beta_{i,d} \leq 0)$ (Formel 12)

$y_i,k_1 + y_i,k_2 \leq 1, \ \forall i \in I, \forall d \in D', \forall k_1 \in K_{i,d},$

$k_2 \in K_{i,d+1}$, $beg(k_2) < end(k_1) + TagR$

$(\gamma_i,k_1,k_2 \leq 0)$ (Formel 13)

$\sum_{k \in K^i} dur_k \cdot y_{i,k} \leq WocheW, \ \forall i \in I, (\delta_i \leq 0)$ (Formel 14)

$\sum_{d \in D} y_{i,k}{}^{R}{}_{i,d} \geq NbRest, \ \forall i \in I, (\eta_i \geq 0)$ (Formel 15)

$\sum_{k \in K\ i} v^{i}_{k,t} \cdot y_{i,k} \in \{0;1\}, \ \forall i \in I, \forall t \in T^i$ (Formel 16)

$y_{i,k}{}^{R}{}_{i,d} \in \{0;1\}, \ \forall i \in I, \forall d \in D$ (Formel 17)

$s_t \in N, \ \forall t \in T$ (Formel 18)

Hier:

- $\forall i \in I, \ \forall d \in D, \ \forall k \in K_{i,d}$, sei ω^k der k^{th} Zeitplan,

- $v^{i}_{k,t}$ ist gleich 1, wenn die Aufgabe *t* im Zeitplan *k* von Mitarbeiter i und gleich 0 ansonsten: $\forall t \in T^{i}_{d}, v^{i}_{k,t} = 1 \leftrightarrow t \in \omega^k$

- $dur(k) = \sum t \in \omega^k dur_t$

- $beg(k) = \min t \in \omega^k beg_t$

- $end(k) = \max t \in \omega^k \, end_t$

- $day(k) = d$

$K^R_{i,d}$ ist der Index des leeren Zeitplans für Tag *d* und Mitarbeiter *i*: $k^R_{i,d} \in K_{i,d}$ wie $dur\,(k^R_{i,d}) = 0$

Sei $(\Omega_{i,d})$ $\omega = (t_1, ..., t_l)$ eine Permutation von Aufgaben, die am Tage d, $\omega \subseteq T^i_d$ auftreten.

$\forall s \in \{1,...,|\omega|-1\}, end_{ts} \leq begt_{s+1}$ (Formel 19)

$\sum t \in \omega \, dur_t \leq TagW$ (Formel 20)

Die Gleichung (19) stellt sicher, dass sich zwei aufeinanderfolgende Aufgaben nicht überschneiden.

- Die Aufgaben in Abhängigkeit der Unterbesatzung: Ziel von P2 ist es, die Gesamtaufgaben zu minimieren, in denen s_t in (11) definiert ist.

- Mitarbeiterzuweisungsbeschränkung: Jeder Mitarbeiter kann maximal einem gültigen Zeitplan pro Tag (12) zugeordnet werden. Alle Zeitpläne in $\Omega_{i,d}$ stellen sicher, dass sich keine zwei Aufgaben überlappen, siehe (19).

- Eine gebotene tägliche Mindestruhezeit für jeden Mitarbeiter i: Für alle zwei Zeitpläne k_1 und k2 an aufeinanderfolgenden Tagen (13) wird es versichert, dass es genügend Ruhe gibt.

- Die maximal mögliche Arbeitszeit pro Tag, für jeden Mitarbeiter i und Tag d: Dafür sorgt (14) in der Verfassung der gültigen Tagesabläufe.

- Maximale wöchentliche Arbeitszeit für jeden Mitarbeiter i: Die Summe der Laufzeiten zugewiesenener Zeitpläne muss kleiner oder gleich *WocheW* (15) sein.

- Mindestanzahl der Ruhetage (16) für jeden Mitarbeiter i: Die Anzahl der Leerpläne muss größer oder gleich *NbRest* sein.

- Die Einschränkungen (11), (12) und (13) sind Integritätsbeschränkungen. Da P2 eine Dantzig-Wolfe-Dekomposition von P1 ist, werden sie für Zuordnungsvariable auf der Grundlage von (12) in Zusammenhang mit der Tagesruhe (13) formuliert.

Die linearen Gleichungen sind Einschränkungen des Typs:

- Der Abdeckung: für die unterliegende Einschränkung (11);

- Die allgemeine obere Grenze (GOB): für die Ressourcenbeschränkung (12);

- Der Konflikt: für die minimale Ruhezeitbeschränkung (13);

- Der Rucksack: für die maximale wöchentliche Arbeitszeitbeschränkung (14) und das Minimum möglicher Ruhetage (15).

Angesichts der großen Anzahl von möglichen gültigen Tagesplänen beruht die Auflösung dieses Modells auf der Spaltengenerierung.

In diesem Abschnitt wird zuerst die Spaltengenerierung für jedes Problem beschrieben, und dann sie auf Modell (P2) angewandt. Beschreibung der Methode

Der Spaltengenerierungsalgorithmus wird verwendet, wenn das lineare Programm, das zur Modellierung des Problems verwendet wird, zu viele Variablen aufweist, die global gelöst werden sollen. Häufiger wird diese Technik angewandt, wenn das Problem mit einer Dantzig-Wolfe-Dekomposition modelliert wird. Basierend auf dem Simplex-Algorithmus kann das Spaltenerzeugungsverfahren für die lineare Programmierung mit kontinuierlichen Variablen verwendet werden. Für gemischte ganzzahlige lineare Programmierung kann die Säulenerzeugung verwendet werden, um eine lineare Relaxation zu berechnen.

Angenommen P entspricht dem linearen Programm:

Wobei X der Satz der Variablen ist. Sei Ω die Menge der Indizes von X: $\Omega = \{_{p,\, xp} \in X\}$, Ω

$$\min c.x.$$

a.x. = b

P = $x \in X$

$x \geq 0$

Und alle X besitzen einen hohen Betrag. Aufgrund der großen Anzahl von Variablen kann keine globale Methode wie der Simplex-Algorithmus angewendet werden. So wird das Problem P in zwei Teile zerlegt: ein Masterproblem (MP) und ein Subproblem (SP).

• Das Masterproblem:

$$\sum_{p \in \Omega} cp \cdot xp$$

MP =

$x \in X$

Die Beschränkung $x \in X$ wird in das Subproblem verschoben, das die Variablen sucht, um das Masterproblem hinzuzufügen. Der Spaltenerzeugungsalgorithmus beginnt mit einem eingeschränkten Satz von Variablen $\Omega' \subseteq \Omega$. Das beschränkte Masterproblem wird mit der Simplexmethode gelöst. Jede Iteration besteht aus zwei Schritten:

- Der Lösungsschritt: Um das beschränkte Master Problem mit Simplex-Algorithmus zu lösen. Die Dual-Variablen werden in diesem Schritt berechnet.

- Der Preisschritt: Um das Subproblem zu lösen, werden eine oder mehrere Variablen aus $\Omega \setminus \Omega'$ gewählt, um diese in das Masterproblem einzugeben und die Lösung zu verbessern. Für ein Minimierungsproblem können nur Variablen mit negativ reduzierten Kosten gewählt werden, um die Lösung zu verbessern. Das Subproblem besteht darin, die Variable mit minimal reduzierten Kosten durchzusuchen. Die Methode stoppt, wenn alle Variablen in Ω nicht negativ reduzierte Kosten haben. Die aktuelle Lösung ist dann die optimale Lösung für das Problem P.

• Das Subproblem:

Es sei α die Doppelvariable für die Einschränkung $\sum_{p\in\Omega}$ 'ap.xp = b. Die reduzierten Kosten von $x_p \in X$ sind: $c_p = c_p - a_p.\alpha$. Die Notationen a (xp) = ap, c (xp) = c_p und c (x_p) = c_p können verwendet werden und die reduzierten Kosten von $x_p \in X$ sind: c (x_p) = c (x_p) - a (x_p) .α. Das Subproblem ist also:

$$\min c(x) = c(x) - a(x).\alpha$$

$$SP = \quad \sum_{p\in\Omega} cp \cdot xp = b$$

$$x \geq 0$$

Anwendung auf P_2:

Für jede Person $i \in I$ und jeden Tag $d \in D$ ist das Teilproblem der Zeitplan $\omega \in \Omega i, d$, so dass die reduzierten Kosten c (ω) minimal sind. Es ist formal definiert durch SP_2 (i, d).

$$\min c\hat{}(\omega) = -\beta i,d + \eta i.1\omega=\emptyset + \sum_{t\in W} (\alpha_t + \delta_i \times dur_t)$$

$$SP2(i,d) = \quad \forall s\in\{1,...,|\omega|-1\}, end_{ts} \leq beg_{ts+1}$$

$$\omega \subseteq T^i_d$$

Um es zu lösen, werden die Graphen $G_{i,\,d}$ betrachtet, wo die Knoten die Aufgaben des Tages d für Mitarbeiter i darstellen und kompatible Aufgaben verknüpfen:

$G_{i,\,d} = (N_{i,d}; A_{i,d})$, $N_{i,d} = T_d^i$ und $A_{i,d} = \{(t_1, t_2), t_1, t_2 \in T_d^i, end_{t1} \leq beg_{t2}\}$.

Zu jedem Knoten $n \in Ni, d$ wird ein Gewicht gleich dur_t assoziiert, wobei t die Aufgabe ist, die mit n verbunden ist. Alle Pfade in der Grafik Gi, d, für die die Summe der Gewichte kleiner als *TagW* ist (Ressourcenbeschränkung erfüllt ist), wird ein gültiger Zeitplan in $\Omega_{i,\,d}$ angegeben und umgekehrt.

Die Lösung von SP2 (i,d) ist gleichbedeutend mit der Lösung eines beschränkten kürzesten Pfadproblems in $G_{i,\,d}$, wo die reduzierten Kosten an Knoten durch reduzierte Kosten der Aufgaben gegeben werden:

$\forall t \in T_d^i$, $c_t = -\alpha_t - \delta_i \times dur_t$ und c (ω) = -βi, d-ηi.1ω = ø + t∈ωct.

γi, k_1, k_2 erscheint nicht in den reduzierten Kosten, da es gleich Null ist, wenn y_i, k_1 oder y_i, k_2 noch nicht erzeugt wurden. ηi.1ω = ø ist gleich Null, wenn der Zeitplan w leer ist.

Da αt ≥ 0 und δi ≤ 0 ist, enthält c_t einen positiven oder negativen Wert. Dann ist das beschränkte kürzeste Wegproblem in $G_{i,\,d}$ NP-hart (vgl. Dror). Es kann mit einem dynamischen Programmieralgorithmus gelöst werden (vgl. Desrochers und Soumis).

3.3.Modell und Algorithmus langfristiger Variablen

Das dritte Modell, das auch durch eine Dantzig-Wolfe-Dekomposition auf Modell 1 erhalten wird, verwendet Zuordnungsvariablen, die gültige Wochenzeitschriften darstellen. Die Ressourcenbeschränkungen für die Arbeitnehmer, die begrenzten Arbeitszeitbeschränkungen und die tägliche Ruhezeit werden implizit durch die Variablen eingehalten.

Dabei wird Ψi als die Menge der gültigen Zeitpläne für Mitarbeiter i betrachtet und L_i die Menge der entsprechenden Indizes dieser Zeitpläne. Das Problem wird durch P_3 definiert. Die Entscheidungsvariable $z_{i,\,k} = 1$ gibt an, dass der Mitarbeiter i dem gültigen Wochenplan k, $z_{i,\,k} = 0$ zugeordnet ist.

α und β sind die Doppelvariablen, die mit Einschränkungen (20) und (21) zugeordnet werden.

$$P_3 = \begin{cases} \min \sum_{t \in T} ct \cdot st = b \\ \sum_{i \in I} \sum_{k \in Li} \bullet z_{i,k}\, \mu^i_{k,t} + s_t \geq \quad \forall t \in T\ (\alpha t \geq 0) \text{ (Formel 20)} \\ \sum_{k \in Li} \sum_{k \in Li} \bullet z_{i,k} \leq 1 \quad \forall i \in I\ (\beta i \leq 0) \text{ (Formel 21)} \\ \sum_{k \in Li} \bullet \mu^i_{k,t} \bullet z_{i,k} \in \{0; 1\}, \quad \forall i \in I, \forall t \in T^i \text{ (Formel 22)} \\ \sum_{k \in Li} rest_{k,d} \bullet z_{i,k} \in \{0; 1\}, \quad \forall i \in I, \forall d \in D \text{ (Formel 23)} \\ s_t \in IN\ , \forall t \in T \qquad \text{(Formel 24)} \end{cases}$$

$\mu^i_{k,\,t}$ ist gleich 1, wenn die Aufgabe t im Zeitplan k des Mitarbeiters i enthalten ist und 0 entspricht: $\forall i \in I, \forall k \in Li$, sei ψk der k-te Zeitplan, $\mu^i_{k,t} = 1 \leftrightarrow t \in \Psi k$

Restk, d ist gleich 1, wenn der Tag d ein Ruhetag im Zeitplan k ist und gleich 0 ist.

$\psi = (t_1, ..., t_l)$ eine Permutation von Aufgaben, $\psi \subseteq T^i$

$\forall s \in \{1,...,|\psi|-1\}, end_{ts} \leq beg_{ts+\square}$ (Formel 25)

$\forall s \in \{1,...,|\psi|-1\} / Tag_{ts} + 1 = Tag_{ts+1,}\ end_{t,s} + TagR \leq beg_{ts+1}$

$\Psi i =$

$\forall d \in D$ dur $(\psi,d) = \sum_{t \in \psi}$ iNTd

$\forall d \in D$, dur $(\psi,d) \leq$ TagW (Formel 26)

$\sum_{t \in \psi}$ dur $\leq$ WocheW (Formel 27)

$\sum_{d \in D}$ 11 dur $\leq$ WocheW (Formel 28)

$dur_{(\psi,d)=0} \geq$ N bRest (Formel 29)

Die Beschreibung des Modells:

- Die Aufgabenstellung: Die Einschränkungen (20) definieren die Unterbesatzung jeder Aufgabe t. Aufgabe t induziert die linearen Kosten c_t, wenn es unterbesetzt ist. P_3 minimiert die Kosten des Gesamtbetrags.

- Die Mitarbeiterzuweisungsbeschränkung: Jeder Mitarbeiter kann maximal einem gültigen Zeitplan zugeordnet werden (21). Unter Berücksichtigung von zwei aufeinanderfolgenden Aufgaben, die am selben Tag auftreten, (25) wird sichergestellt, dass sie sich nicht überlappen.

- Die Mindestaufenthaltsdauer für jeden Mitarbeiter i: Bei zwei aufeinanderfolgenden Aufgaben, die an aufeinanderfolgenden Tagen auftreten, muss die Restlaufzeit mindestens TagR (26) erreichen.

- Maximale tägliche Arbeitsdauer für jeden Mitarbeiter i und Tag d: (27) stellt sicher, dass die Summe der Laufzeiten aller Aufgaben, die i auf d zugewiesen sind, kleiner oder gleich TagW ist.

- Die maximale wöchentliche Arbeitszeit, für jeden Mitarbeiter i: Die Summe der Laufzeiten von Aufgaben, die i zugeordnet sind, müssen kleiner oder gleich WocheW sein; Es wird durch (22) versichert.

- Die Mindestanzahl der Ruhetage (29), für jeden Mitarbeiter i: Die Anzahl der Ruhetage in der Woche muss größer oder gleich *NbRest* sein.

- Die Einschränkungen (22), (23) und (24) sind Integritätsbeschränkungen. Da P3 eine Dantzig-Wolfe-Dekomposition von P1 ist, sind sie als Zuordnungsvariablen auf der Grundlage der Aufgabe (22) und auf der Grundlage der Tagesruhe (21) formuliert.

Die linearen Gleichungen sind Einschränkungen des folgenden Types:

- Die Abdeckung: für die unterliegende Einschränkung (20);

- Die generalisierte obere Grenze (GOB): für die Ressourcenbeschränkung (21).

Hier ist das Subproblem ein beschränktes kürzeres Pfadproblem in einem Graphen G_i, wobei die Knoten die Aufgaben über den ganzen Horizont darstellen und die Bögen kompatible Aufgaben verbinden: $G_i = (N_i; A_i)$, wobei $N_i = T^i$ und A_i, wie unten beschrieben wird.

$$(t_1,t_2), t_1, t_2 \in T^i$$

$$Ai = \begin{cases} Tagt_1 = Tagt_2 \text{ und } endt_1 \leq begt_2 & \text{(Formel 30)} \\ \text{oder } Tagt_1 + 1 = Tagt_{2\ \text{und}}\ endt1 + TagR \leq begt_2 & \text{(Formel 31)} \\ \text{oder } Tagt_1 + 2 \leq Tagt_2 \end{cases}$$

Dann werden die Ressourcenbeschränkung und die minimale tägliche Restdauerbeschränkung durch den Aufbau des Graphen erfüllt. Die anderen

Einschränkungen (maximale tägliche Arbeitszeit (27), die gesamte wöchentliche Dauer (28) und die Anzahl der Tage (29)) werden als Ressourcenbeschränkungen behandelt und während der Spaltengenerierung berücksichtigt.

Branch-and-Bound wurde mit einer unteren Grenze verwendet, die mit einer linearen Relaxation berechnet wurde. Das anfängliche beschränkte Problem enthält eine Untermenge von Variablen, die durch den oben beschriebenen Spaltenerzeugungsalgorithmus erzeugt wird. Sas CPLEX MIP-Verfahren wurde verwendet, um einen Teil von Branch-and-Bound zu machen. Wenn die optimale Lösung des eingeschränkten Problems gefunden wird, wird ein eigenes Branch-and-Bound-Verfahren für die Suche durch die Spaltengenerierung fortgesetzt, die nicht mit CPLEX MIP durchgeführt werden kann. Tabelle 1 setzt die Verarbeitung jeder Einschränkung in den drei Modellen fort.

Tabelle 1. Umsetzung verschiedener Einschränkungen in den Modellen

Beschränkung	Model 1	Model 2	Model 3
Personalbedarf (1)	MP: Set Deckung	MP: Set Deckung	MP: Set Deckung
Ressourcenbeschränkung (2)	MP: Konflikt	MP: GOB SP: Grafik	MP: GOB SP: Grahik
Tägliche Ruhezeit (3)	MP: Konflikt	MP: Konflikt	SP: Grafik
Tägliche Arbeitsdauer (4)	MP: Rucksack	SP: Kapazizät	SP: Kapazizät

Gesamtarbeitsdauer (5)	MP: Rucksack	MP: Rucksack	SP: Kapazizät
Anzahl der Ruhetage (6)	MP: Konflikt und Rucksack	MP: Rucksack	SP: Resource

4. Modellierung der Personaleinsatzplanung im Flugverkehr

4.1.Das Grundmodell der Personaleinsatzplanung im Flugverkehr

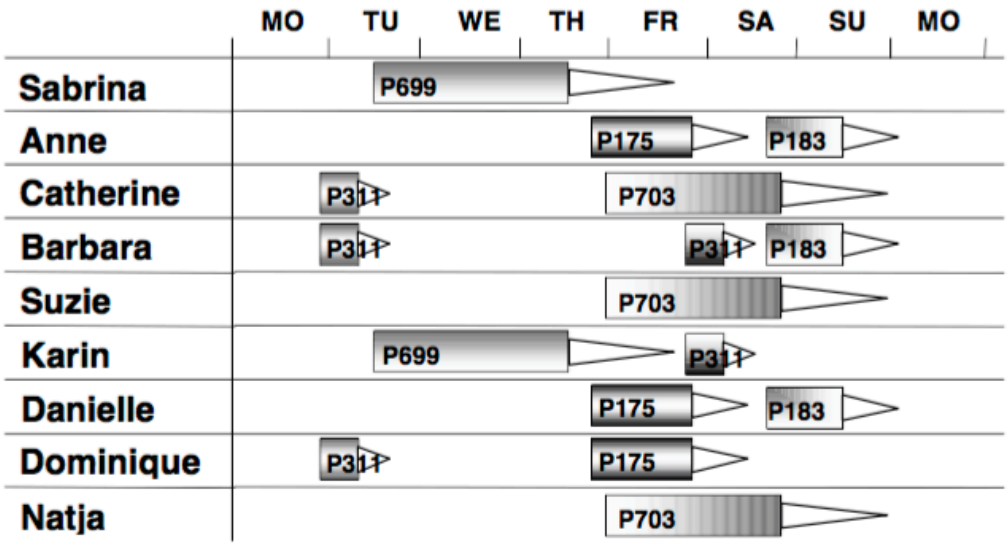
Unter der Personaleinsatzplanung im Flugverkehr versteht man sowohl die methodische Einteilung der Mitarbeiter nach ihren spezifischen Anforderungsprofilen als auch die Umstrukturierung der freien Kapazitäten. Hierzu werden vor allem die Besatzungsanforderungen (z.B. für spezielle Flüge) berücksichtigt, indem individualisierte Zeitpläne für jeden Mitarbeiter erstellt werden. Das primäre Ziel der Besatzungsplanung im Flugverkehr ist es, eine gerechte und gleichmäßige Verteilung der Arbeitsbelastung zwischen allen Besatzungsmitgliedern zu ermöglichen und die aggregierte Zufriedenheit des Personals mit ihren individuellen Zeitplänen zu maximieren. Das andere weit verbreitete Modell ist die so genannte „Bidline"-Methode, in der die Zeitpläne anonym erstellt werden und die Mitarbeiter ihre bevorzugten Arbeitszeiten nach ihrem Alter wählen. Das „bevorzugte Gebot" charakterisiert einen Kompromiss zwischen den Bidline- und Rostering-Ansätzen, da diese personalisierte Zeitpläne generieren, die zahlreiche Gebote berücksichtigen, welche gewichtet wurden, um die Präferenzen der Mitarbeiter zu reflektieren.

Abbildung 1 zeigt ein Segment der grafischen Darstellung eines Dienstplans im Flugverkehr (vgl. König und Strauss, 1999). Jedes Besatzungsmitglied hat eine so genannte „Arbeitslinie", die mehrere Pflichten enthält (sog. „Paarungen"). Diese werden durch eine Leiste dargestellt und deren Länge spiegelt die Anfangs- und Endzeiten wider. Der abgebildete Pfeil entspricht der minimalen Ruhezeit. Zum Beispiel beginnen Catherines Pflichten am Montagabend mit der Paarung 311

(zusammen mit Barbara und Dominique) und zudem mit der Paarung 703 (zusammen mit Suzie und Natja).

Um einen Dienstplan automatisch zu generieren, muss das Problem in ein adäquates formalisiertes Modell verwandelt werden. Die Eingabedaten zu diesem Modell sind ein Satz W, welcher eine große Anzahl von a-priori erzeugten gültigen Arbeitslinien beinhaltet, sowie einen Satz von gegebenen Besatzungsmitgliedern M und einen Satz von gegebenen Paarungen P enthält, wobei jede Paarung j eine bestimmte Anzahl dj der Mannschaftsmitglieder erfordert.

Abbildung 1. Ein Beispiel eines Dienstplans im Flugverkehr



Quelle: König und Strauss, 1999

Auch um einen Roller automatisch zu erzeugen, muss das Problem in ein adäquates formalisiertes Modell verwandelt werden. Die Eingabedaten zu unserem Modell sind ein Satz W, der eine große Anzahl von a-priori erzeugten gültigen Arbeitslinien umfasst, ebenso einen Satz von gegebenen Besatzungsmitgliedern M und einen Satz von gegebenen Paarungen P enthält, wobei jede Paarung j eine bestimmte Anzahl dj an Mannschaftsmitgliedern erfordert.

Eine Arbeitslinie L wird als Teilmenge von nicht überlappenden Paarungen $j \in P$ definiert, vorbehaltlich der Einschränkungen, die durch regulatorische

Anforderungen gegeben sind. Modellierung der nicht überlappenden Eigenschaft, bezeichnen sich Pt als die Menge der Paarungen, die eine bestimmte Zeit t abdecken. Daher muss sich $P \leq 1$ für alle t innerhalb jeder Arbeitslinie L aufhalten. Weiterhin wird $Wk \subseteq tW$ als die Menge aller Arbeitslinien definiert, die für das Besatzungsmitglied k möglich sind. Alle Wk sind disjunkt, formell $Wk1 \cup Wk2 = \{\}$ für alle $k1 \neq k2$. Außerdem wird $Wj = \{L \mid J \in L\}$ als die Menge aller Arbeitslinien L definiert, welche die Kopplung j enthalten.

Eine binäre Variable $xi \in \{0,1\}$ für jede Zeile der Arbeit in W wird eingeführt. Wenn die i-te Zeile der Arbeit in der Lösung erscheint, dann ist xi = 1, ansonsten 0. Ein Dienstwert ui kann jeder Zeile der Arbeit zugeordnet werden, um den Gesamtnutzungswert der Lösung zu maximieren.

$\text{Max} \sum^{n}_{i=1} u_i x_i$ (Formel 32)

, wobei n die Anzahl der Arbeitslinien im Satz W ist.

Für jedes Besatzungsmitglied k wurde ein Satz von den Zeilen der Arbeit erzeugt. Von diesem Set Wk muss genau jeder Zeitplan jedem Besatzungsmitglied k zugeordnet werden.

$\sum i \in W_k \; x_i = 1 \quad k = 1,\ldots, m$ (Formel 33)

, wobei *m* die Anzahl der Mitarbeiter im Satz M ist.

Die Nachfrage dj der Besatzungsmitglieder für die Paarung j muss für jede Paarung erfüllt werden.

$\sum i \in W_i \; x_i = d_j \quad j = 1,\ldots, q$ (Formel 34)

, wobei q die Anzahl der Paarungen im Satz P ist.

Abbildung 2 sieht als Beispiel eine Auswahl aus dem Set-Partitionierungstableau vor, die aus dem oben beschriebenen Modell resultiert. Aus Gründen der Lesbarkeit haben alle leeren Zellen einen Wert von Null. Die Auswahl umfasst zwei verschiedene Besatzungsmitglieder, Ariane und Nicole. Die für Ariane erzeugten

drei Arbeitslinien (LoW) werden durch Spalte $x_{(1,1)}$ bis $x_{(1,3)}$ dargestellt, während die beiden für Nicole erzeugten Arbeitslinien durch Spalte $x_{(2,1)}$ bis x dargestellt sind $_{(2,2)}$. Zum Beispiel enthält Arianes erste Arbeitslinie die Paarungen p1 und p4, die mit „1“ in der jeweiligen Zeile bezeichnet sind.

Die Besatzungsbeschränkung in der ersten Reihe stellt sicher, dass genau eine Arbeitslinie für Ariane in einer machbaren Lösung gewählt wird (vgl. Gleichung (33)). Die Paarungsbeschränkung in der letzten Zeile stellt sicher, dass die Paarung p4 genau dreimal in einer realisierbaren Lösung erscheint (vgl. Gleichung (34)) und daher garantiert, dass es genügend Besatzungsmitglieder auf einem Flug gibt.

Abbildung 2. Beispiel für das Mengenzerlegungsproblem als Tableau für das Besatzungszuordnungsmodell

Ariane			***Nicole***				
LoW	LoW	LoW	LoW	LoW			
x(1,1)	x(1,2)	x(1,3)	x(2,1)	x(2,2)			
u(1,1)	u(1,2)	u(1,3)	u(2,1)	u(2,2)	...	==> max	***Zielfunktion***
							Besatzungseinschränkungen
1	**1**	**1**			**...**	**= 1**	
			1	**1**	**...**	**= 1**	
							Paarungsbeschränkungen
1			**1**		**...**	**= 2**	p1(LHR, Montag)
	1	**1**		**1**	**...**	**= 3**	p2 (FRA, Montag))
	1		**1**	**1**	**...**	**= 2**	p3 (LHR, Mittwoch)
1		**1**			**...**	**= 3**	p4 (FRA, Mittwoch)

Quelle: König und Strauss, 1999

Bisher wurde wenig Arbeit in Bezug auf die Modellierung des CRP für

Anwendungen im Flugverkehr veröffentlicht (vgl. Barnhart et al., 1997, 2000). Ein verbessertes Besatzungsprogramm, welches problemspezifisches Wissen nutzt, bildet die Basis für SWIFTROSTER, bei dem es sich um eine branchen- und gebundene Prozedur handelt, die einen Algorithmus implementiert, um Flugverkehrspläne effizient zu erstellen (vgl. Dawid et al., 2000). Da dieses Modell typischerweise auf große Datenmengen angewendet wird, legt man großen Wert darauf, eine machbare Lösung zu finden, anstatt eine bestimmte Nutzenfunktion zu maximieren (vgl. Wren, 1996, S. 53). Ryan (vgl. 1992), der ein vergleichbares Modell implementiert, behebt dieses Problem durch Anwendung linearer Programmierungstechniken. Allerdings könnten sich andere Ansätze als effizienter erweisen, wenn keine Zielfunktion maximiert wird.

Gamache et al (vgl. 1998, S. 148) implementieren ein ähnliches Modell. Allerdings konzentrieren sie sich auf die Verwendung von Säulengenerationen, um eine Optimierung herbeizuführen und ihre Untersuchung der Auswirkungen von Vorbelegungen auf Problemfälle von eher begrenztem Maßstab zu beschränken (nämlich diejenigen, bei denen nur 22 Mitarbeiter beteiligt sind). Auch die jüngsten akademischen Publikationen (vgl. Gamache, 1998, 1999) konzentrierten sich vor allem auf die Suche weiteren Lösungen. Darüber hinaus gilt die Optimierung von Arbeitslinien, wie in diesem Arbeitsbereich skizziert, nur für ein einzelnes Besatzungsmitglied – und nicht für eine Flugbesatzung als Ganzes. Wenn die in diesen Publikationen vorgestellte lokale Optimierungsstrategie angewendet wird, muss eine maßstäbliche Lösung mindestens m-mal gefunden werden, wobei m der numerischen Größe der Besatzung entspricht. Folglich ist eine schnelle Methode, um mögliche Lösungen (auch bei mittelgroßen Problemen) herbeizuführen, von großer Bedeutung, falls diese Strategie verfolgt wird. Mehrere akademische Arbeiten (vgl. Bianco et al., 1992; vgl. Caprara et al., 1998; vgl. Wren, 1996) haben in Bezug auf diese Herausforderungen wie die Terminierung von Massenverkehrspersonen entsprechende Annäherungsansätze vorgestellt. Allerdings können die in diesen Arbeiten dargestellten Modelle nicht auf restriktive und komplexe CRPs angewendet werden, in denen Arbeitslinien so erzeugt werden müssen, dass sie die Präferenzen und Qualifikationen jedes einzelnen Besatzungsmitglieds erfüllen.

4.2.SWIFTROSTER Modell und seine Anwendung

Im folgenden Abschnitt wird das SWIFTROSTER-Modell skizziert und zusammengefasst, um eine Vorstellung darüber zu liefern, wie Lösungen erzeugt werden können (vgl. Dawid et al. (2000)). SWIFTROSTER ist ein rekursiver, impliziter Enumerationsansatz, der auf dem Davis-Putnam-Algorithmus basiert (vgl. Davis, 1960), welcher Elemente der Constraint-Programmierung (d.h. Propagation) enthält. Der Ansatz wurde von Peter Barths pseudo-booleanem Davis-Putnam-Algorithmus OPBDP (vgl. Barth 1996, S. 75) inspiriert und angepasst, um CRPs zu lösen. In diesem Kontext stellt SWIFTROSTER nur eine Instanz eines implementierten Tools dar. Experimente mit OSLMIP, einem speziellen kommerziellen „Branch-and-bound"-gebundenen Simplex-Solver für gemischte ganzzahlige Probleme, zeigten, dass SWIFTROSTER bis zu 1.000 Mal schneller ist. Ähnliche Ergebnisse wurden mit ILOG erhalten: große CRPs konnten überhaupt nicht gelöst werden, und die Lösung von mittleren Variablen implizierte Laufzeiten, die bis zu 500 mal länger sind als SWIFTROSTER.

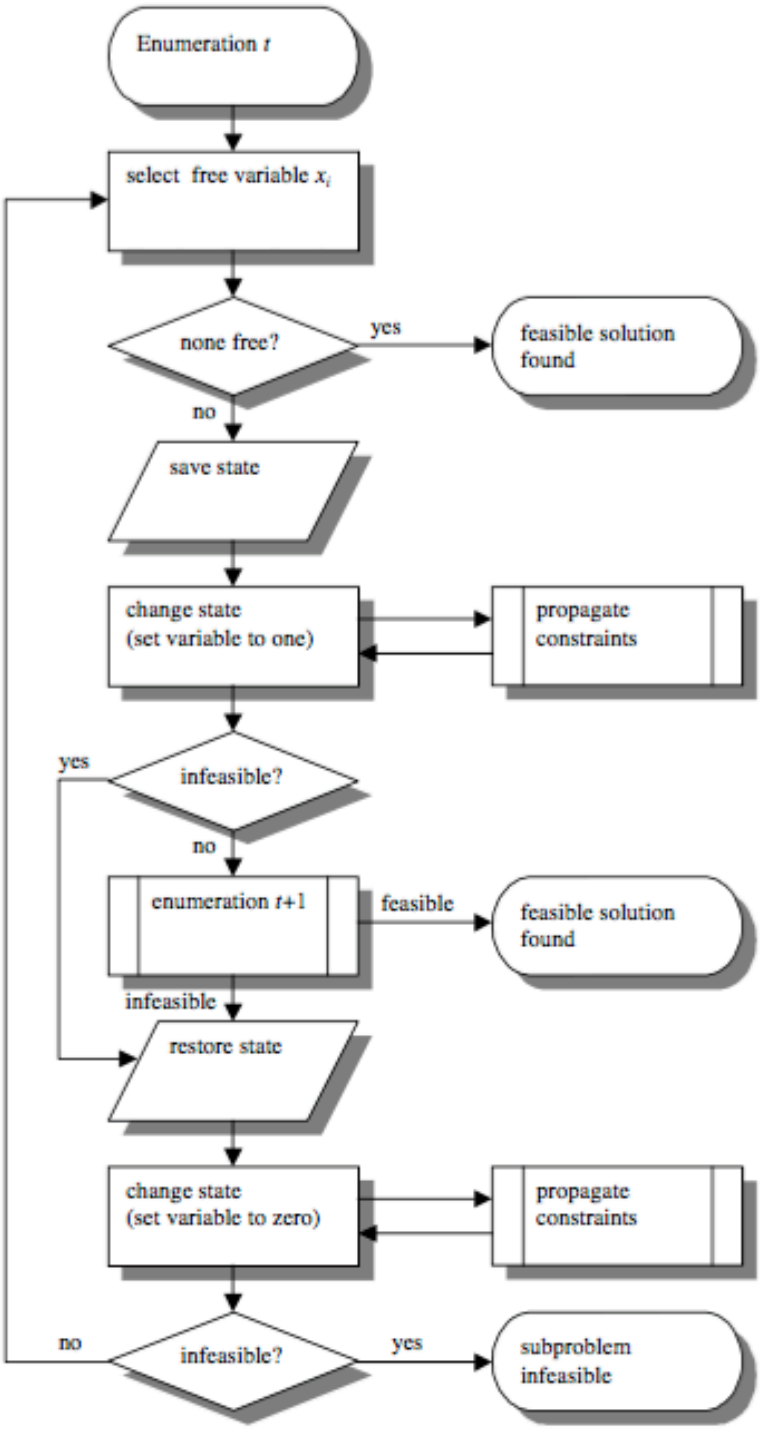
Das SWIFTROSTER-Modell beinhaltet keine „Branch-and-bound"-gebundenen Elemente im traditionellen Sinne: Es gibt keine Grenzen, um die Suche im Lösungsraum zu kontrollieren. Auch die Ausbreitung wird so angewandt, um die Anzahl der ausgewerteten Knoten zu reduzieren. SWIFTROSTER nutzt jedoch eine Verzweigungsstrategie, die – zusammen mit der Variablenauswahl – die entscheidenden Kriterien liefert, welche den Algorithmus so effizient machen. In der Wurzel des Enumerationsbaums sind alle Variable x_i freie Variable. Der Zustand des Modells ändert sich, wenn eine freie Variable auf Null oder Eins gesetzt wird, was bedeutet, dass seine Auswahl oder Ablehnung für eine bestimmte Arbeitslinie angenommen wird. Eine realisierbare Lösung wird erreicht, wenn jede freie Variable auf Null oder eins gesetzt wurde und alle Einschränkungen erfüllt sind.

Im Einzelnen bedeutet dies, dass eine Verzweigungsvariable aus dem Satz freier Variablen in jedem Enumerationsknoten ausgewählt wird. Sobald eine Lösung gefunden wurde und der Algorithmus zu einem Ende kommt, falls keine freien Variablen verbleiben und das Modell gleichzeitig in einem machbaren/potentiellen Zustand ist. Der aktuelle Zustand des Modells wird gespeichert, bevor irgendwelche

Änderungen in diesen Zustand eingeführt werden (d.h. bevor eine Variable gewählt ist). Danach wird die bestimmte Variable auf eine Constraint-Ausbreitung gesetzt. Sollte das Modell weiterhin realisierbar sein, wird eine rekursive Untersuchung des nächsten Aufzählungsknotens auf einer tieferen Ebene durchgeführt. Der alte Zustand des Modells muss wiederhergestellt werden und die gewählte Variable wird auf Null gesetzt, falls es nach der Zustandsänderung unmöglich wird oder wenn ein Backtracking auf einer tieferen Ebene des Aufzählungsbaums auftritt. Für den Fall, dass dieser Schritt erneut ein unlösbares Resultat erzeugt, wird der aktuelle Enumerationsknoten gelöscht und das Backtracking wird durchgeführt. Sollte dies nicht der Fall sein, so wird die Prozedur mit einer anderen freien Variable wiederholt. Die Beschränkungsausbreitung könnte dazu führen, dass andere freie Variable gleichzeitig auf Null gesetzt werden. Dieser Beschränkungsfortpflanzungsprozess begrenzt die Tiefe des Aufzählungsbaums auf die Anzahl der Besatzungsmitglieder m. Das Flussdiagramm in der Abbildung 3 zeigt diesen rekursiven Prozess für einen Enumerationsknoten.

Die heuristische Variablenauswahl und Verzweigungsstrategie haben einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des SWIFTROSTER-Algorithmus. In jedem Enumerationsknoten wählen wir eine Verzweigungsvariable aus, die dazu beiträgt, Limitierungen einzuhalten, an die eine Lösung gebunden ist. In der Tat berechnen wir die Dichte jeder Pairing-Einschränkung.

Abbildung 3. Die Beschreibung des SWIFTROSTER-Modells



Quelle: König und Strauss, 1999

Eines der Eigenschaften des vorliegenden Modells liegt darin, dass die möglichen

Lösungen, die produziert werden, ein charakteristisches Verhältnis von Variable x_i, die auf Null gesetzt wurde: m: (n-m), wobei m die Zahl von Besatzungsmitgliedern und n die Anzahl der Arbeitslinien ist. Da n >> m in solchen Variablen, werden deutlich mehr Variablen auf Null gesetzt als auf eins. Angesichts dieser Tatsache ist eine Verzweigungsstrategie für jene Probleme effizient, bei denen der „Einzweig“ in jedem Enumerationsknoten zuerst erforscht wird.

Um eine effiziente Navigation durch den Aufzählungsbaum zu gewährleisten, ist es notwendig, so schnell wie möglich herauszufinden, ob das Problem unlösbar ist. Der Berechnungsaufwand für die Prüfung auf Unfähigkeit nach jeder Wahl eines LoW ist relativ gering (nur ein Vergleich pro Einschränkung) im Vergleich zu dem Suchaufwand in einem Teilbaum, der nicht gelingen kann. Integration von Servicemodelle in den Besatzungsplanungsprozess.

4.3.Integration von Servicemodellen in den Besatzungsplanungsprozess

Neben der Preisstrategie verlassen sich die Fluggesellschaften auf ihren Dienstleistungsstand als wesentlicher Faktor, um sich von ihren Konkurrenten zu unterscheiden. Die Flugverkehrslinien versuchen sich von den Konkurrenten abzuheben, indem sie einen besseren Kabinen-Service und ein Produkt mit einem Alleinstellungsmerkmal anbieten – das gilt vor allem für das Business-Class-Segment, das weitestgehend frei von einem Preiswettbewerb ist. Diese Marketingstrategie hat auch einen auffälligen Einfluss auf den Prozess der Besatzung, insbesondere für Kabinenbesatzungen.

Die folgenden Abschnitte zeigen, wie sich Marketingentscheidungen auf den Bau von Besatzungsdienstplänen auswirken und wie diese Anforderungen in das oben dargestellte mathematische Besatzungsmodell eingeführt werden können.

4.3.1. Sprachbarrieren

Eines der Ergebnisse des Booms in der Tourismusbranche ist, dass mehr Menschen in ein Land verreisen, wo sie der Landessprache nicht mächtig sind. Mindestens ein Besatzungsmitglied sollte eine gute Beherrschung der Muttersprache eines Passagiers haben, um sicherzustellen, dass auch monolinguale Passagiere auf ihrer

Reise einen optimalen Komfort (und Sicherheit) genießen. Die polyglotische Natur unserer globalen Gesellschaft wird es eindeutig unmöglich machen, dieses Ziel immer vollständig zu verwirklichen. Daher sollte diese Ergänzungsstelle auf Flüge beschränkt werden, auf denen regelmäßig Kommunikationsprobleme auftreten. Zu diesen Zielen gehören nicht nur Japan (Japanisch) und Afrika (Französisch), sondern auch Süd- und Mittelamerika (Spanisch und Portugiesisch). Infolgedessen sollte mindestens einer der Flugbegleiter auf jedem Flug die Sprache sprechen, die am Ziel des Fluges gesprochen wird.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, das Sprachproblem in der Besatzungsplanung zu lösen. Da die Besatzungsvergabe zunehmend von automatisierten Planungssystemen abgewickelt wird, müssen die Anforderungen in ein mathematisches Besatzungsmodell umgesetzt werden. Der folgende Abschnitt stellt drei ideale Ansätze vor: Das Modell „Codeshare-Flügen“ basiert auf Codeshare-Partnern, deren Besatzungen über die erforderlichen Sprachqualifikationen verfügen, während das Model der „kleinen Outward-Crew-Base“ durch ökonomische Kriterien stark eingeschränkt wird. Das dritte Modell der „sprachorientierten Besatzungsvergabe an der Heimatbasis“ wird durch diese Einschränkungen nicht beeinträchtigt, doch der Erfolg hängt von der Verfügbarkeit einer ausreichenden Versorgung mit qualifizierten Besatzungsmitgliedern ab.

4.3.2. Codeshare Flüge mit einer gemischten Besatzung

Codeshare-Flüge sind Flüge, die häufig nur von einer Fluggesellschaft durchgeführt werden, aber unter verschiedenen Flugnummern der teilnehmenden Codeshare-Fluggesellschaften angeboten werden. Die Motivation für dieses Modell liegt oft darin, dass Fluggesellschaften ihren Kunden ein größeres Flugnetz anbieten wollen. Mit der Entstehung globaler Allianzen der Fluglinien erhöhte sich die Anzahl der Codeshare-Flüge deutlich. In einigen Fällen stellten Codeshare-Flüge Besatzungen bereit, die aus Mitarbeitern beider, teilnehmender Fluggesellschaften bestanden. Zum Beispiel während der Zusammenarbeit von Austrian Airlines mit All Nippon Airways (ANA) befanden sich stets japanische Muttersprachler an Bord, wenn der Ankunftsort Japan hieß. Das liegt daran, dass ein Teil der Besatzung von ANA bereitgestellt wurde.

Ein solches Angebot, an dem der Planungsprozess und seine Integration in das Programm, dazu beitragen den Service als Teil der Marketingpolitik einer Fluggesellschaft zu verankern.

Derzeit werden Codeshare-Flüge ausschließlich von einer Fluggesellschaft durchgeführt, während die anderen teilnehmenden Fluggesellschaften nur Sitzkontingente kaufen, die sie dann in ihrem Namen verkaufen. Allerdings wäre es vorteilhaft, Besatzungen zu verwenden, die aus qualifiziertem Personal von den teilnehmenden Fluggesellschaften auf jenen Codeshare-Flügen bestehen, auf denen Sprachbarrieren eine Herausforderung darstellen könnten. Jede Besatzungsplanungsabteilung der beteiligten Partnerfluggesellschaften muss diesen Flügen eine vereinbarte Anzahl qualifizierter Besatzungsmitglieder zuordnen. Das Grundbesatzungsmodell muss für diesen Ansatz nicht verlängert werden. Nur der Bedarfsvektor d muss entsprechend angepasst werden.

Obwohl diese Methode in ihrer Realisierung sehr einfach ist, kann sie nur für eine begrenzte Anzahl von Flügen genutzt werden, d.h. für Codeshare-Flüge, bei denen die kooperierenden Fluglinien (s) den Besatzungsmitgliedern die erforderlichen Sprachkenntnisse zur Verfügung stellen können. Codeshare-Kooperationen zwischen europäischen Fluggesellschaften und asiatischen bzw. nord- oder südamerikanischen Partnern bieten Beispiele für diesen Ansatz.

4.3.3. Ausländische Flugbesatzungsstationen

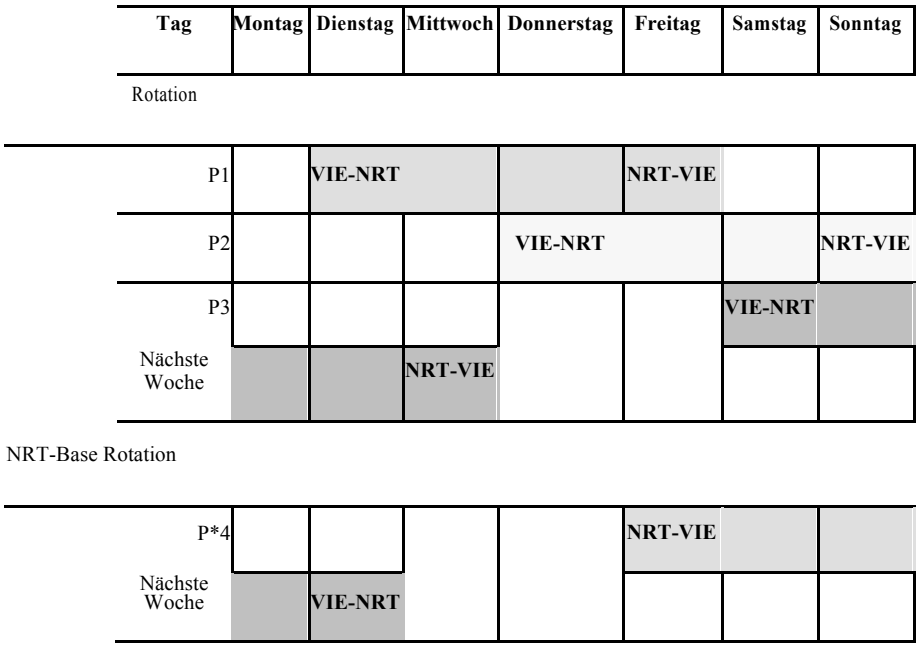
Aufgrund der Tatsache, dass es in der Regel nicht genügend Personal mit den erforderlichen Qualifikationen in einem Heimatland einer Fluggesellschaft gibt, ist es oft vorteilhaft, kleine Standorte am Rande des Netzes der Fluggesellschaft zu schaffen. Eine solche Station benötigt nur so viele Besatzungsmitglieder, wie sie für die jeweilige Flugrotation eingesetzt werden. Diese Methode wird in der Regel für Langstreckenflüge verwendet, für die kein Codesharing-Vertrag mit einer am Ziel befindlichen Fluggesellschaft besteht.

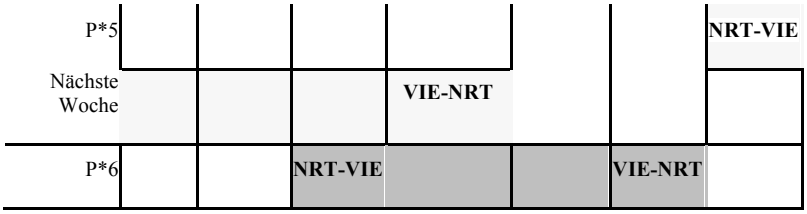
Ein zusätzlicher Vorteil ergibt sich dadurch, dass Unterschiede zwischen den Lohnniveaus, in den endsprechenden Ländern, existieren. Das vorherrschende Lohniveau des Zielorts übersteigt oftmals das des Heimatlandes der Fluggesellschaft.

Natürlich bedeutet dieses Modell eine größere Herausforderung für die Besatzungsplanungsabteilung, da die ausländische Station in eine langfristige und mittelfristige Planung einbezogen werden muss. Darüber hinaus erfordert dieses Modell wesentliche Änderungen im mathematischen Besatzungsmodell.

Der ausländische Standort sichert sowohl eine gewisse Anzahl an Besatzungsmitgliedern für alle Flüge zu als auch Personal, das die Sprache des Zielorts beherrscht. Die Flugszenen, die in der Besatzungsplanung verwendet werden, ergänzen die ursprünglichen Paarungen. Beispielsweise wird eine Fluggesellschaft betrachtet, die von Wien (VIE) nach Narita (NRT) in Japan an den Wochentagen 2, 4 und 6 (Dienstag, Donnerstag und Samstag) fliegt. Jeder Flug benötigt mindestens zehn Kabinenbegleiter. Diese Flüge können von der Heimatbasis durch drei Umdrehungen P1, P2 und P3 abgedeckt werden, die jeweils eine Nachfrage nach zehn Besatzungsmitgliedern haben. Alternativ können sie von der NRT-Crew-Basis durch die komplementären Rotationen P * 4, P * 5 und P * 6 abgedeckt werden. Die folgende Abbildung 4 zeigt diese Rotation grafisch. Wenn z. B. die komplementäre Rotation P * 4 mit zwei Narita-Mitarbeitern besetzt ist, kann die Nachfrage nach Rotation P1 auf acht Besatzungsmitglieder reduziert werden.

Abbildung 4. Beispiel für ergänzende Rotationen an einer ausländischen Station





Quelle: König und Strauss, 1999

Formal können solche Anforderungen in das Grundbesatzungsmodell aufgenommen werden. Neben der Anzahl der Besatzungsmitglieder M, die in der Heimatbasis stationiert sind, wurden eine Reihe von Besatzungsmitgliedern O auf einer ausländischen Station positioniert. Für diese ausgehende Basis existiert ein Satz komplementärer Paarungen Q, ebenso wie ein Satz von Arbeitslinien V$k \subseteq$ V für diese Besatzungsmitglieder k. Die Besatzungsbeschränkung des vorliegenden Grundmodells ist die folgende:

$\sum i \in W_k \; x_i = 1 \quad k = 1,\ldots, m$ (Formel 35)

$\sum i \in V_k \; x_i = 1 \quad k = 1,\ldots, o$ (Formel 36)

Eine Paarung j wird normalerweise von zwei komplementären Paarungen, für den ausgehenden und den eingehenden Flug, abgedeckt. Wird die Menge Vj + als die Zeilen der Arbeit von ausgehenden Basisbesatzungsmitgliedern eingeführt, welche die komplementär ausgehende Paarung der Kombination j und Vj, als die Zeilen der Arbeit der Besatzungsmitglieder der fremden Station, welche die komplementär eingehende Paarung für die Paarung j enthalten. Die Paarungsbeschränkung für unser Modell kann nun umgeschrieben werden als:

$\sum i \in W_j \; x_i \sum i \in V_{j+} \; x_i \geq d_j \; j = 1,\ldots,q$ (Formel 37)

$\sum i \in W_j \; x_i \sum i \in V_{j-} \; x_i \geq d_j \; j = 1,\ldots,q$ (Formel 38)

Abbildung 5 zeigt ein Segment eines Beispiel-erweiterten Set-Partitionierungs-Tableaus mit Sprachbeschränkungen. Ein solches Tableau ergibt sich aus der oben beschriebenen Implementierung des Modells und ist analog zu dem in Abbildung 2 dargestellten. Der VIE-NRT-Flug am Dienstag wird aus Abbildung 3 betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass bereits neun Besatzungsmitglieder zugewiesen

wurden. Die zehnte Position kann entweder von der Heimatbasis von Mary (LoW1) oder von der NRT-Basis durch Chen (LoW1) oder Yuan (LoW2) gefüllt werden. Zum Beispiel, wenn man sich für Chen entschieden hat, dann muss man unbedingt Yuan dem Rückflug NRT-VIE am Freitag zuordnen.

Abbildung 5. Beispiel für das Mengenzerlegungsproblem als Tableau für das Boardbesatzungs Model unter Einbeziehung der Sprachbarrieren

Home-Basis-Mitarbeiter			***Outward-Basis-Mitarbeiter***						
Mary LoW1	Mary LoW2	Ann LoW1	Chen LoW1	Chen LoW2	Yuan LoW1	Yuan LoW2			
u(1,1)	u(1,2)	u(1,3)	u(2,1)	u(2,2)	u(2,1)	u(2,2)	...	=> max	***Zielfunktion***
									Besatzungseinschränkungen
1	**1**						**...**	**= 1**	
		1					**...**	**= 1**	
			1	**1**			**...**	**= 1**	
					1	**1**	**...**	**= 1**	
									Paarungseinschräänkungen
1			**1**			**1**	**...**	**= 10**	VIE-NRT; TU; p1 or p*4 (outbound)
1				**1**	**1**		**...**	**= 10**	NRT-VIE; FR; p1or p*4 (inbound)
	1	**1**					**...**	**= 10**	VIE-NRT; TH; p2 or p*5 (outbound)
	1	**1**	**1**				**...**	**= 10**	NRT-VIE; SU; p2 or p*5 (inbound)

Quelle: König und Strauss, 1999

4.3.4. Sprachorientierte Besatzungszuweisung am Abflugsort

Das alternative Modell verwendet sprachorientierte Besatzungszuweisungen an der eigentlichen Heimatbasis und dient für den Fall, wenn beide oben genannten Modelle nicht angewandt werden können, sei es aufgrund des Fehlens eines jeweiligen Codeshare-Vertrages oder aufgrund der Tatsache, dass die Schaffung einer kleinen Besatzungsbasis wirtschaftlich ineffizient wäre.

Ein Modell, das auf den Sprachqualifikationen der Heimat-Besatzungsmitglieder basiert, erfordert langfristige und kurzfristige Entscheidungen: Erstens müssen die Planer Sprachkenntnisse in ihrer Kapazitätsplanung berücksichtigen, um sicherzustellen, dass eine ausreichende Anzahl von Besatzungsmitgliedern mit der erforderliche Sprachqualifikation zur Verfügung stehen. Bei Bedarf kann dieses Potenzial mittelfristig durch Sprachkurse verbessert werden. Eine angemessene Personalisierungsstrategie, die sprachliche Anforderungen berücksichtigt, ist in diesem Zusammenhang noch wichtiger. Das kurzfristige Problem in der Besatzungsplanung ist für diese Arbeit von größerer Bedeutung. Die Herausforderung, die dieses Problem aufwirft, liegt in der optimalen Zuordnung der knappen Ressource qualifizierter Besatzungsmitglieder zu wichtigen Flügen.

Für diese Methode wird das zuvor eingeführte Grundbesatzungsmodell mit zusätzlichen Einschränkungen erweitert, die sicherstellen, dass die Nachfrage nach Besatzungen mit Fremdsprachenkenntnissen erfüllt ist. Das Modell wird entsprechend verändert. Es kann auch passieren, dass nicht alle Flüge mit sprachkundigen Besatzungen besetzt werden können, falls die Besatzungsressourcen eng sind. Um dennoch einen realisierbaren Besatzungsplan zu erhalten, werden solche Sprachbeschränkungen nicht als harte Regeln modelliert, sondern eher als weiche Regeln. Die Zielfunktion wird verwendet, um das Modell auf eine Lösung zu bringen, die die höchstmögliche Anzahl von Flügen mit der Besatzungszusammensetzung, die sie benötigen, zuweist.

Formell wird eine Teilmenge $Ml \subseteq M$ als Besatzungsmitglieder vorgestellt, die die Sprachqualifikation l besitzen. Weiterhin bezeichnet $d_{l(j)}$ die Anzahl der Besatzungsmitglieder der Paarung j, die erforderlich sind, um Sprachqualifikation g

zu besitzen. Darüber hinaus für diejenigen Paarungen, die eine Besatzung mit besonderen Sprachqualifikationen erfordern, wird eine zusätzliche Pairing-Einschränkung eingeführt:

$\sum i \in W_j \, i \in M_j \, x_i + y_{lj} \geq d_{l(j)} \; j=1,...,q$ (Formel 39)

Die Integer-Variable y_{lj} ist eine künstliche Variable, die verwendet wird, um eine negative Strafe für unerreichte Sprachanforderungen in der Zielfunktion zu berechnen. Die Zielfunktion wird also:

$\max \sum_{i=1}^{n} u_i x_i - \sum_{\forall (l,j)} v_l y_{jl}$ (Formel 40)

, wobei v_l die Strafe für keinen Angestellten mit der erforderlichen Sprache an Bord ist.

4.3.5. Geschlechterrolle und besondere Qualifikationen der Besatzung

Um die individuellen Leistungsmerkmale einer Fluggesellschaft zu betonen, werden die Besatzungsmitglieder in Schulungen und Seminaren weitergebildet, die darauf abzielen, ihnen zusätzliche Qualifikationen zu bieten. Zum Beispiel können die Besatzungsmitglieder trainiert werden, um als Sommeliers zu dienen und beraten die Passagiere zu hochwertigen Weine, die an Bord angeboten werden. Wenn ein solcher Dienst auf allen Flügen angeboten werden sollte, dann müsste mindestens ein Besatzungsmitglied mit einer entsprechenden Qualifikation auf jedem Flug zur Verfügung stehen. Gleichzeitig können wirtschaftliche Gründe und / oder die fehlenden individuellen Voraussetzungen der Besatzungsmitglieder behoben werden. Daher wird das Problem in Richtung der Besatzungsplanungsabteilung verschoben, die sicherstellen muss, dass eine solche Marketingmaßnahme tatsächlich realisiert werden kann.

Ein weiterer Orientierung an den Wünschen des Kunden ist es, während eines Fluges, der ein islamisches Land verlässt oder erreicht, keine ausschließlich weibliche Flugbegleiter einzuteilen, aufgrund des kulturellen Hintergrunds der Passagiere, kann es möglicherweise als unannehmbar angesehen werden: Zu diesen Staaten gehören Saudi-Arabien, Kuwait, Katar, Vereinigte Arabische Emirate, Iran,

Irak, Pakistan, Algerien und Marokko. In diesem Raum sollte es eine bestimmte Quote von männlichen Flugbegleitern bei jedem Flug geben, nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, dass Passagiere aus diesen Ländern oftmals eher Anweisungen befolgen, die von einem männlichen Flugbegleiter, in beispielsweise Notfallsituationen, gegeben werden. Die Berücksichtigung dieser kulturellen Faktoren während der Planungsphase der betrieblichen Besatzung könnte sicherstellen, dass mindestens ein männliches Besatzungsmitglied an Bord bei Flügen nach und aus dem Nahen Osten bereitsteht. Beide optionalen Anforderungen können durch zusätzliche Einschränkungen in das Besatzungsmodell umgesetzt werden (König & Strauss, 1999).

Eine Teilmenge $M_g \subseteq M$ wird vorgestellt, um die Besatzungsmitglieder darzustellen, die eine geforderte Qualifikation besitzen. Weiterhin bezeichnet $d_{g(j)}$ die Anzahl der Besatzungsmitglieder der Paarung j, die erforderlich sind, um eine spezielle Qualifikation g zu besitzen. Darüber hinaus stellen wir für diese Paarungen, die eine spezielle Regelung erfordern, eine zusätzliche Pairing-Einschränkung vor:

$$\sum i \in W_j \, x_i \sum i \in M_g \, x_i + y_{gj} \geq d_{g(j)} \; j=1,...,q \quad \text{(Formel 41)}$$

Die Integer-Variable y_{gj} ist eine künstliche Variable, die verwendet wird, um eine negative Strafe für unerreichte Qualifikationsanforderungen in der Zielfunktion zu berechnen. Die Zielfunktion wird also:

$$\max \sum_{i=1}^{n} u_i x_i - \sum_{\forall (g,j)} v_g \, y_{gj} \quad \text{(Formel 42)}$$

, wobei v_g die Strafe für keinen Angestellten mit der erforderlichen Sonderregelung an Bord ist.

4.4.Ergebnisse

Durch die Verwendung von realen Daten einer mittelständischen europäischen Fluggesellschaft, um Ergebnisse, die als Beispiel dienen, zu liefern, zeigt die vorliegende Bachelorarbeit die “real-world” Erweiterung und Anpassung des erweiterten Modells, um Zeitpläne zu generieren, die das Qualitätsniveau der für die Passagiere erbrachten Dienstleistungen erhöhen. Die Testinstanzen wurden unter

Verwendung einer Adaption von SWIFTROSTER, einer effizienten C ++ - Implementierung für das CRP (vgl. Dawid et al. (2000)), auf einem Pentium II mit 300 MHz mit 196 MB Speicher berechnet. Die Anwendung des erweiterten Algorithmus auf ein numerisches Beispiel wird zur Verfügung gestellt, um den Nutzen der sprachorientierten Besatzung zu begründen.

Tabelle 1 zeigt ein Beispiel, das beweist, wie Sprachbarrieren während eines Langstrecken-Routing-Problems verbessert werden können. Von den 45 Besatzungsmitgliedern haben vier ein gutes Sprachniveau in Französisch m_F und weitere sechs Besatzungsmitglieder sprechen Spanisch m_S. Diese Besatzungsmitglieder müssen 60 Langstreckenpaarungen q zugeordnet werden, die jeweils zwei und drei Besatzungsmitgliedern verlangen. Um den Kabinen-Service für nichtdeutsche oder nicht-englischsprachige Passagiere zu verbessern, sollten fünf Paarungen q_F mit mindestens einem französischsprachigen Besatzungsmitglied und dreizehn Paarungen q_S mit mindestens einem spanischsprachigen Besatzungsmitglied besetzt sein.

Zuerst wird das Problem ohne jegliche Einbeziehung der Sprachbarrieren gelöst. Die Zuordnung von qualifizierten Besatzungsmitgliedern zu Paarungen, die Französisch oder Spanisch erfordern, erfolgt zufällig. Die Lösung, die durch dieses Modell gefunden wird, erfüllen nur drei von fünf Paarungen die französische Sprachanforderung R_F, während zehn von dreizehn Paarungen die spanische Sprachanforderung R_S erfüllen. Dieses Modell führt zu einem Erfüllungsniveau ff_F und ff_S von 60 % bzw. 77 %. Das Hinzufügen von Sprachbarrieren zum Modell führt zur vollständigen Erfüllung der Sprachanforderungen. Die Servicequalität in Bezug auf Sprachangebote steigt um 40 % auf Flüge, bei denen Französisch gefordert wird und 23 % auf Flüge, die Spanisch benötigen – diese Erhöhung der Servicequalität kann ohne zusätzliche Kosten für die Fluggesellschaft erreicht werden.

Tabelle 2. Verbesserungen durch zusätzliche Sprachangebote

	m, m_F, m_S	**q, q_F, q_S**	**R_F**	**ff_F**	**R_S**	**ff_S**

Zufällige Sprachzuweisung	45, 4, 6	60, 5, 13	3	0.60	10	0.77
Sprachorientierte Zuordnung	45, 4, 6	60, 5, 13	5	1.00	13	1.00
Verbesserung			2	0.40	3	0.23

Quelle: König und Strauss, 1999

5. Fazit

Wie aus dieser Bachelorarbeit ersichtlich ist, wurde befasst sich ein bedeutender Teil der Literatur mit der Personaleinsatzplanung. Trotzdem gibt es noch erhebliche Verbesserungsmöglichkeiten in diesem Bereich. Die Bachelorarbeit betrachtete die Verbesserungen, die nicht nur im Bereich der Personaleinsatzplanungsalgorithmen auftreten, sondern auch in der breiteren Anwendbarkeit der Personaleinsatzplanung, die, aufgrund von einem Gewinn an Flexibilität in Zukunft, noch anspruchsvollere Software-Tools zur Verfügung hat. Im Laufe der Arbeit wurden einige Schlüsselfelder herausgearbeitet, die voraussichtlich in kurzer bis mittelfristiger Zukunft eine große Rolle spielen werden in der Personaleinsatzplanung.

Der erste Integrationsbereich trifft vor allem auf Anwendungen zu, in denen eine effektive Strategie bereits etabliert ist, wie z.B. der Transportsektor im Allgemeinen und insbesondere die Luftfahrtindustrie. Hier besteht die größte Herausforderung darin, größere Effizienzgewinne zu erzielen, nicht allein durch die Verbesserung der Algorithmen, die zur Lösung des Problems beitragen, sondern auch durch die Integration mehrerer Schritte in eines Problems. Darüber hinaus kann es möglich sein, zumindest einige Aspekte des Planungsproblems in anderen Problemstellungen zu berücksichtigen. Zum Beispiel ist es wahrscheinlich, dass die Personalkosten für eine Fluggesellschaft reduziert werden könnten, wenn die Personaleinsatzplanung die Fahrpläne und die Planung der Flugzeugen optimiert.

Ein weiterer wichtiger Bereich, der eine komplexere Ausarbeitung erfordert, ist die Verallgemeinerung von Modellen und Methoden. Derzeit benötigen Modelle und Algorithmen oft eine signifikante Veränderung, wenn sie auf einen anderen Anwendungsbereich übertragen werden sollen oder um Änderungen innerhalb einer Organisation zu implementieren. In einer sich kontinuierlich verändernden

Umgebung ist es nicht sinnvoll, die internen Strukturen, Prozesse und Arbeitsrichtlinien einer Organisation festzulegen, die in Modellen, Algorithmen und Software für die Personalplanung integriert sind. Neue Modelle müssen formuliert werden, die mehr Flexibilität bieten, um individuelle Arbeitsplatzpraktiken anzupassen. Dies kann dann zu der Entwicklung von allgemeineren Algorithmen führen, die robuster gegenüber Änderungen von internen wie externen Faktoren reagieren.

Der Technologietransfer im Bereich der Vorbereitung wird teilweise durch die Fragen der algorithmischen Inflexibilität getragen. Es gibt viele Anwendungsbereiche, in denen manuelle Personaleinsatzplanungspraktiken bestehen bleiben. Dies liegt zum Teil daran, dass die bestehende Programmiersoftware als nicht flexibel genug wahrgenommen wird, um spezifische individuelle Arbeitsplatzpraktiken zu bewältigen. Eine weitere Herausforderung besteht darin, bestehende Algorithmen und Software mit branchenüblichen Resource Planning- und Human Resource-Systemen zu kombinieren, um sie für eine größere Anzahl von Benutzern zugänglich zu machen.

Da der moderne Arbeitsplatz immer komplexer wird und sich die Tarifvereinbarungen der Unternehmen eher auf das Individuum als auf die Gruppe oder das Team konzentrieren, ist es wahrscheinlich, dass Lösungen erarbeitet werden müssen, die den individuellen Vorlieben der Personals gerecht werden. Mit anderen Worten, müssen die Algorithmen der Personaleinsatzplanung und Anwendungen des Dienstplanes individuell-zentrische Arbeitsbeschränkungen, Präferenzen und Geschäftsregeln beinhalten. Während die Möglichkeiten existieren die Personalisierung und die persönliche Arbeitszufriedenheit am Arbeitsplatz zu bewerkstelligen, erhöht dies die Komplexität, der daraus resultierenden Programmierungsprobleme, enorm. Als Ergebnis der sich ändernden Arbeitsumgebungen und -bedingungen ist es wahrscheinlich, dass die Algorithmen in Zukunft immer häufiger angewandt werden müssen. Angesichts der daraus resultierenden Flexibilität, die von den Algorithmen benötigt wird, ist es wahrscheinlich, dass ein stärker integrierter Ansatz für die Entwicklung von Lösungen erstellt wird. Zum Beispiel wird es notwendig sein, integrierte

Lösungsrahmen zu berücksichtigen, die CP, Heuristik-Suche, Integer-Programmierung und Simulationsansätze beinhalten, um eine Vielzahl von Subproblemen im Rahmen komplexerer, zukünftiger Programmierungsprobleme zu lösen.

Die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens in der Tourismusbranche ist in hohem Maße durch die Servicequalität des Unternehmens bestimmt. Gleichzeitig erfordert die Einstellung und Beibehaltung von qualifiziertem Personal erhebliche Kosten für Firmen. Aus diesem Grund können sich tourismusbezogene Unternehmen nur gegen ihre Konkurrenten durchsetzen, indem sie eine größere Effizienz bei der Nutzung ihrer Belegschaft zeigen, d.h. durch eine stärkere Ausnutzung der Fähigkeiten ihrer Mitarbeiter. Obwohl die allgemeine Entwicklung in der Personaleinsatzplanung bereits sehr fortgeschritten ist, zeigt die vorliegende Bachelorarbeit die Existenz von „versteckten“ Potenzialen zur Verbesserung der Servicequalität. In der Bachelorarbeit wurden beispielhaft zwei Maßnahmen vorgestellt, mit denen die Unternehmen der Flugverkehrsbranche ihr Service-Level ohne zusätzlichen Kosten erhöhen können. Diese Service-Qualitätsverbesserungen können jedoch nur durch anspruchsvolle und leistungsstarke Instrumente unterstützt werden. Da die Human Ressources in der Regel knapp bemessen sind, wurden auch zwei Konzepte vorgestellt, die zur Lösung von engen Planungsproblemen beitragen, ohne die Servicequalität zu verdünnen. Die numerischen Ergebnisse, die durch Beispielanwendungen dieser Verfahren bereitgestellt wurden, begründen die Vorschläge, die in dieser Bachelorarbeit vorgestellt wurden. Obwohl sich die Arbeit primär mit der Behandlung der Flugverkehrsbranche befasste, können die vorliegenden Konzepte leicht für andere Anwendungen übernommen werden, z. B. Kreuzfahrtschiffe, internationale Hotelketten oder Eisenbahnunternehmen.

Literaturverzeichnis

Aardal, A. Ari, Decomposition principles applied to the dynamic production and work-force scheduling prob- lem, Engineering Costs and Production Economics 12 (1– 4) (1987) 39–49.

S. Aggarwal, A focused review of scheduling in services, European Journal of Operational Research 9 (2) (1982) 114–121.

J. Arabeyre, J. Fearnley, F. Steiger, W. Teather, The airline crew scheduling problem: A survey, Transportation Science 3 (1969) 140–163.

J. Bailey, Integrated days off and shift personnel sched-uling, Computers and Industrial Engineering 9 (4) (1985) 395–404.

J. Bailey, H. Alfares, W. Lin, Optimization and heuristic models to integrate project task and manpower schedul- ing, Computers and Industrial Engineering 29 (1995) 473–476.

R. Bailey, K. Garner, M. Hobbs, Using simulated annealing and genetic algorithms to solve staff scheduling problems, Asia–Pacific Journal of Operational Research 14 (2) (1997) 27–43.

Barnhart, C., & Talluri, K. T. (1997). Airlines Operations Research. In A. McGarity, & C. Revelle (Eds.), Design and Operation of Civil and Environmental Engineering Systems (pp. 435 - 469), New York: Wiley.

Barnhart, C., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L., & Vance, P. H. (2000). Airline Crew Scheduling. In R.W. Hall (Ed.), Handbook of Transportation, Boston: Kluwer, to appear.

Barth, P. (1996). Logic-Based 0-1 Constraint Programming. Boston: Kluwer.

S. Bechtold, M. Brusco, M. Showalter, A comparative evaluation of labor tour scheduling methods, Decision Sciences 22 (1991) 683–699.

S. Bechtold, L. Jacobs, The equivalence of general set- covering and implicit integer programming formulations for shift scheduling, Naval Research Logistics 43 (2) (1996) 233–249.

Bianco, L., Bielli, M., Mingozzi, A., Ricciardelli, S., & Spadoni, M. (1992). A heuristic procedure for the crew rostering problem. European Journal of Operational Research, 58 (2), 272-283.

L. Bodin, B. Golden, A. Assad, M. Ball, Routing and scheduling of vehicles and crews—the state of the art, Computers and Operations Research 10 (2) (1983) 63–211.

D. Bradley, J. Martin, Continuous personnel scheduling algorithms: A literature review, Journal of the Society for Health Systems 2 (1991) 2–8.

Caprara, A., Toth, P., Vigo, D., & Fischetti, M. (1998) Modeling and Solving The Crew Rostering Problem. Operations Research, 46 (6), 820-830.

J. Daduna, S. Voss (Eds.), Computer-Aided Scheduling of Public Transport, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 505, Springer Publishers, 2001.

J. Daduna, A. Wren (Eds.), Computer-Aided Transit Scheduling, Lecture Notes in Economics and Mathemathical Systems, vol. 308, Springer-Verlag, 1988.

Dantzig, G.B., Wolfe, P.: Decomposition Principle for Linear Programs, Operations Research, vol. 8, pp. 101-111, 1960.

Davis, M., & Putnam, H. (1960). A computing procedure for quantifaction theory, Journal of the ACM, 7 (3), 201-215.

Desrochers, M., Soumis, F.: A generalised permanent labelling algorithm for the short-est path problem with time windows, INFOR, vol. 26(3), pp. 191-212, 1988.

Dror, M.: Note on the Complexity of the Shortest Path Models for Column Generation in VRPTW, Operations Research, Technical Note, vol. 42, pp. 977-978, 1994.

Gamache, M., & Soumis, F. (1998). A method for optimally solving the rostering problem. In G. Yu G. (Ed.), Operations Research in the Airline Industry (pp. 124-157). Boston: Kluwer.

Gamache, M., Soumis, F., & Villeneuve, D. (1998). The Preferential Bidding System at Air Canada. Transportation Science, 32 (3), 246-255.

Gamache, M., Soumis, F., Marquis, G., & Desrosiers, J. (1999). A column generation approach for large-scale aircrew rostering problems. Operations Research, 47 (2), 247-263.

T. Grossman, D. Samuelson, S. Oh, T. Rohleder, Call centers, Technical Report, Haskayne School of Business, University of Calgary, 1999.

König, H., Strauss, C. (1999). Supplements in Airline Cabin Service. POM working paper 9/99, Department of Management Science, University of Vienna.

V. Mehrotra, Ringing up big business, OR/MS Today (1997).

Ryan, D. M. (1992). The Solution of Massive Generalized Set Partitioning Problems in Aircrew Rostering. Journal of the Operational Research Society, 43 (5), 459-467.

J. Rousseau, Computer Scheduling of Public Transport 2, North Holland, 1985.

J. Rousseau, J. Blais, HASTUS: An interactive system for buses and crew scheduling, in: J. Rousseau (Ed.), Com- puter Scheduling of Public Transport 2, North-Holland, 1985, pp. 45–60.

R. Rushmeier, K. Hoffman, M. Padberg, Recent advances in exact optimization of airline scheduling problems, Technical Report, Department of Operations Research and Operations Engineering, George Mason University, 1995.

D. Sitompul, S. Radhawa, Nurse scheduling: A state- of-the-art review, Journal of the Society for Health Systems 2 (1990) 62–72.

J. Tien, A. Kamiyama, On manpower scheduling algo- rithms, SIAM Review 24 (3) (1982) 275–287.

N. Wilson, Lecture Notes in Economics and Mathemat- ical Systems: Computer-Aided Transit Scheduling, vol. 471, Springer-Verlag, Berlin, 1999.

Wren, A. (1996). Scheduling, Timetabling and Rostering – A Special Relationship? In G. Goos, J. Hartmanis, J. van Leeuven (Eds.), Practice and Theory of Automated Timetabling (pp. 46-75). Berlin: Springer.