

Entscheidungsunterstützung durch historienbasierte Dienstreihenfolgeplanung mit Pattern

Lena Wolbeck¹, Bastian Amberg¹, und Natalia Kliewer¹

¹ Department Wirtschaftsinformatik, Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland
{lena.wolbeck,bastian.amberg,natalia.kliewer}@fu-berlin.de

Abstract. Die Verwendung von Softwarelösungen zur Unterstützung der Personaleinsatzplanung personalintensiver Unternehmen ermöglicht Planungsabläufe zu erleichtern und Einsatzpläne zu optimieren. Dieser Beitrag zielt ab auf eine sozialverträglichere und effizientere Organisation des Personaleinsatzes bei Arbeit im Schichtdienst durch automatisierte Erstellung bestmöglicher Dienstreihenfolgepläne unter Fortschreibung historienbasierter Daten zu Arbeitszeiten und Wunscherfüllung der einzelnen Arbeitskräfte. Als Grundlage dieser Dienstreihenfolgeoptimierung dienen Pattern. Ein Pattern entspricht einem potenziellen Muster an Dienstreihenfolgen in einer Kalenderwoche, das individuell je Arbeitskraft hinsichtlich Gültigkeit, Arbeitszeit und Zufriedenheit bewertet wird. Eingebettet in ein Entscheidungsunterstützungssystem erfolgt die Planerstellung zweistufig. Zuerst werden potenzielle Pattern hinsichtlich der Planungsperiode generiert (Stufe 1). Anschließend erfolgt die Verknüpfung von Pattern und die Generierung eines Dienstreihenfolgeplanes, der den Bedarf an Arbeitskräften abdeckt, mit Hilfe eines Optimierungsmodells (Stufe 2). Der entwickelte Lösungsansatz wird anhand realer Daten eines Wohnheimes für Menschen mit Behinderung evaluiert. Bei maximalen Zufriedenheitswerten generiert das System Dienstreihenfolgepläne, die die Arbeitszeitkonten erheblich besser ausbalancieren als eine manuelle Planung.

Keywords: Entscheidungsunterstützungssystem, Dienstreihenfolge, Pattern, Personaleinsatzplanung, historische Daten

1 Einleitung und Motivation

Jede Einrichtung und jedes Unternehmen, das Dienstleistungen rund um die Uhr (24/7) anbietet, ist mit den Herausforderungen einer lückenlosen Dienstreihenfolgeplanung konfrontiert. Basierend auf längerfristigen Entscheidungen über den Bedarf an Arbeitskräften, die Zusammensetzung der Belegschaft sowie die Art der Schichttypen als Grundlage der Dienste gilt es für den operativen Einsatz der Arbeitskräfte die Dienstreihenfolgeplanung durchzuführen. Eine Dienstreihenfolge bezeichnet hierbei die Abfolge von Diensten und freien Tagen einer Arbeitskraft für eine Planungsperiode.

1.1 Betrachtete Problemstellung

Bei einem Dienstreihenfolgeplanungsproblem (DRPP) wird folgendes Entscheidungsproblem betrachtet: Es wird eine Zuordnung von einer zu erfüllenden Menge an Diensten einer Planungsperiode zu einer vorgegebenen Menge an Arbeitskräften unter Einhaltung festgesetzter Regeln gesucht. Je nach Anwendungsfall differieren die Zielsetzungen eines DRPP. Unter Einbeziehung individueller Wünsche wird in diesem Beitrag bei der Lösung auf eine maximale Sozialverträglichkeit abgezielt. Quantifiziert wird diese mit Hilfe eines Zufriedenheitswertes sowie der Balance der entstehenden Über- und Unterstunden.

Ohne Beschränkung der Allgemeingültigkeit wird in diesem Beitrag als Planungsperiode ein Monat betrachtet und als Schichttypen zur Dienstbildung werden Frühschicht und Spätschicht berücksichtigt. Jede konkret durchzuführende Schicht entspricht daher einem notwendigen Dienst (pro Tag). Neben Wünschen hinsichtlich bestimmter Dienste bzw. freier Tage werden Urlaubstage und individuelle Arbeitszeitkonten (AZK) der einzelnen Arbeitskräfte beachtet. Bei der Planung sind übliche Regelungen hinsichtlich der Arbeits- und Ruhezeiten wie bspw. *keine Frühschicht nach einer Spätschicht, am Wochenende beide Tage frei oder beide Tage Dienst* sowie *Berücksichtigung minimaler und maximaler konsekutiver Arbeitstage* zu beachten.

Die Dienstreihenfolgeplanung ist aufgrund der vielfältigen Regeln eine komplexe Problemstellung und wird heutzutage weitgehend von informationstechnischen Systemen begleitet. Dabei reicht die Entscheidungsunterstützung bei der Planerstellung von simplen Excel-Tabellen zur Veranschaulichung der Pläne zur Erleichterung der manuellen Planung bis hin zu ausgereiften Softwarelösungen mit eingebundenen Optimierungskomponenten, die automatisiert mögliche Pläne vorschlagen. Ein DRPP weist als Optimierungsproblem eine hohe kombinatorische Komplexität auf, die sich aus der hohen Anzahl an möglichen Kombinationen von individuellen Dienstreihenfolgen ergibt. Gemäß [1] ist ein DRPP NP-schwer. Deswegen werden Problemformulierungen häufig vereinfacht, um die Laufzeit der Optimierung zu verringern. Eine simplifizierte Darstellung eines DRPPs kann zu einer Lösung führen, die nicht den realen Anforderungen genügt. Eine historienbasierte Planung, bei der Daten der vorherigen Planungsperiode(n) berücksichtigt werden, wird bspw. oftmals nicht ausgeführt. Die praktische Durchführbarkeit eines Dienstreihenfolgeplanes ist für die Akzeptanz und den Einsatz eines Verfahrens zur Entscheidungsunterstützung jedoch unabdingbar. Eine Anknüpfung an vergangene Perioden erlaubt zudem eine bessere Balance der individuellen AZK und somit eine höhere soziale Verträglichkeit der Pläne.

1.2 Zielsetzung des Beitrages

Dieser Beitrag widmet sich der Fragestellung, wie leitende Arbeitskräfte darin unterstützt werden können, unter Fortschreibung der historischen Daten aus den vorangegangenen Perioden einen optimalen Dienstreihenfolgeplan für eine Planungsperiode zu finden. Der Fokus liegt auf der Erstellung eines Planes, bei dem die Zufriedenheit der Arbeitskräfte sowie ein ausbalanciertes Verhältnis der Über- und Unterstunden innerhalb der Belegschaft als Zielgrößen definiert sind.

Zur Generierung eines optimalen sowie praktikablen Dienstreihenfolgeplanes wird ein zweistufiges Verfahren entwickelt. Die Basis bildet eine Pattern-basierte Planung, die als Instrument für die Planung potenzielle Muster für Dienstreihenfolgen verwendet. Ein Pattern umfasst eine potenzielle Reihenfolge von Diensten und freien Tagen in einem vorab definierten Zeitraum, z. B. eine Woche. Die erste Stufe umfasst die Generierung der potenziellen Pattern. In der zweiten Stufe wird mit Hilfe des entwickelten mathematischen Modells ein optimaler Dienstreihenfolgeplan generiert.

Dieser Ansatz zielt insbesondere auf einen Einsatz in der Praxis ab, weswegen die Berücksichtigung aller praxisrelevanten Restriktionen gewährleistet wird. Als Optimierungskomponente eingebettet in ein IT-System kann dieses Verfahren Dienstreihenfolgepläne empfehlen und die Planung unterstützen. Das mathematische Modell als auch die Implementierung als Entscheidungsunterstützungssystem (engl. *decision support system*, DSS) sind allgemein gehalten, so dass verschiedene zeitliche Planungsperioden sowie andere Schichttypen und Regeln abbildbar sind.

Als Fallbeispiel dient ein Pflegewohnheim für Menschen mit Behinderung. Der entwickelte Ansatz wird anhand dessen realer Daten evaluiert. Die Probleminstanzen für das DRPP umfassen bis zu 53 Arbeitskräfte, die in sechs Wohngruppen organisiert sind. Pro Tag sind bis zu 22 Dienste zu besetzen. Es wird eine heterogene Belegschaft berücksichtigt, da die Arbeitskräfte eine individuell vertraglich vereinbarte Anzahl an Arbeitsstunden pro Woche sowie individuelle Wünsche haben.

Der Beitrag ist wie folgt gegliedert: Abschnitt 2 ordnet diese Arbeit in den Stand der Forschung im Bereich der Dienstreihenfolgeplanung unter Verwendung von Pattern ein. Der entwickelte zweistufige Ansatz wird in Abschnitt 3 (Stufe 1: Pattern-Generierung) und Abschnitt 4 (Stufe 2: Optimierungsmodell) erläutert. Abschnitt 5 skizziert die Einbettung des Lösungsansatzes in ein DSS zur Unterstützung der Planung. Abschnitt 6 diskutiert numerische Ergebnisse eines Fallbeispiels. In Abschnitt 7 wird ein Fazit gezogen und es werden Implikationen für die Praxis abgeleitet.

2 Stand der Forschung – Ansätze für Pattern-basierte Dienstreihenfolgeplanung

Im Kontext der Personaleinsatzplanung gibt es eine Vielzahl an Veröffentlichungen zu Methoden und Lösungsansätzen für die Dienstreihenfolgeplanung, (engl. *rostering/scheduling*), bei der zunehmend die Berücksichtigung von Wünschen der Arbeitskräfte für die Planbildung in den Fokus rückt. Für einen allgemeinen Literaturüberblick zu „rostering/scheduling“ wird auf [2] und [3] verwiesen.

Bei Problemen der Dienstreihenfolgeplanung sind Restriktionen wie bspw. zur Abdeckung aller benötigten Dienste ähnlich geartet [4]. Differierende Anforderungen und Regelungen hinsichtlich individueller Dienstreihenfolgen erschweren die Verallgemeinerung von Problemmodellierungen und stellen so ein Hindernis bezüglich des Einsatzes von DSS dar, die über eine Optimierungskomponente zur automatisierten Erstellung von Dienstreihenfolgeplänen verfügen. Eine Lösung dieser Schwierigkeit bieten Pattern, da mit ihnen verschiedene Regeln gleich gut abgebildet werden können (wie in Abschnitt 3 verdeutlicht). Da die Mehrzahl an Regeln durch passende

Patternbildung abgedeckt werden können [4], kann ihre Verwendung helfen, ein allgemeingültiges, einsatzfähiges Modell zu formulieren. In diesem Abschnitt liegt der Fokus somit auf exakten und heuristischen Ansätzen, die Pattern als Instrument bei der Dienstreihenfolgeplanung verwenden.

In [5] werden Pattern (engl. auch *stint*) aus konsekutiven Arbeitstagen und freien Tagen jeweils Kostenwerte zugewiesen. Netzwerkbasierte Formulierungen zur Optimierung eines *Nurse Scheduling Problems* mit Zielsetzung der Kostenminimierung liefern für kleine Probleminstanzen gute Ergebnisse. Aufgezeigt wird in [5] zudem, dass eine nicht-zyklische Modellierung von dem Dienstreihenfolgeproblem komplexer ist als ein zyklisches Modell. Basierend auf Pattern ausschließlich für Dienstage werden in [6] zyklische Dienstreihenfolgepläne an mittelgroßen Probleminstanzen mit einer homogenen Belegschaft optimiert. Zielgröße ist hierbei neben Wünschen und Regelungen zur Arbeit am Wochenende die Abfolge von verschiedenen Schichttypen. In [7] werden ebenfalls Pattern bestehend aus Diensten zur Lösung eines kleinen nicht-zyklischen Dienstreihenfolgeproblems genutzt. Diese Pattern sind äquivalent zu möglichen Abfolgen von Schichttypen an aufeinanderfolgenden Tagen. Modelliert als Set Partitioning Problem werden die Anzahl der Dienste bzw. entsprechende Kostenwerte minimiert. Basierend auf denselben Probleminstanzen werden Pattern aus zwei Schichttypen, die einer Kalenderwoche entsprechen, in [8] und [9] genutzt, um jährliche Dienstreihenfolgepläne zu generieren. Die Zielsetzung in diesen beiden Studien ist es, die Erfüllung der Wünsche der bis zu 30 Arbeitskräfte zu maximieren. In einem metaheuristischen Lösungsverfahren von [10] werden monatliche Pattern verwendet, um unter Berücksichtigung von Wünschen für kleine Probleminstanzen automatisiert Dienstreihenfolgepläne zu generieren.

Eine zyklische Planung ist insbesondere bei Planungsproblemen mit kontinuierlichem Bedarf, einer homogenen Belegschaft und Wünschen hinsichtlich Schichtreihenfolgen möglich [6]. Zyklisch zu planen bedeutet zwar die Berücksichtigung vorheriger Planungsperioden, es ist jedoch nicht möglich, Wünsche für spezifische Schichten und einzelne freie Tage zu berücksichtigen. Bei Ansätzen, die nicht historienbasiert sind, d. h. nicht die vorherigen Planungsperioden beachten, können die erzeugten Pläne insbesondere an den Übergängen zwischen den Perioden ungültig sein. Diese Problematik (siehe [7]) führt zu Dienstreihenfolgeplänen, die praktisch nicht einsetzbar sind. Eine fehlende Praktikabilität der mathematischen Lösungsansätze führt zu einer geringen Akzeptanz von Optimierungsmethoden im Bereich der Personaleinsatzplanung [11].

Dieser Beitrag erweitert den aktuellen Forschungsstand, indem der Fokus auf die Integration von historienbasierten Daten bei der Dienstreihenfolgeplanung und damit auf die praktische Einsetzbarkeit einer durch die Verwendung von Pattern verallgemeinerbaren Optimierungskomponente gelegt wird. Diesem identifizierten Problem wird mit einem zweistufigen Verfahren begegnet, das anhand realer Probleminstanzen eines DRPP evaluiert wird. In der ersten Stufe, die in Abschnitt 3 beschrieben wird, werden anhand der Input-Daten potenzielle Pattern generiert. Bei diesem regelbasierten Vorgehen wird eine heterogene Belegschaft berücksichtigt, um die individuell ausführbaren Dienstreihenfolgen sowie die jeweiligen Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen den Pattern zu identifizieren. Die ermittelten Mengen an

potenziellen Pattern dienen als Grundlage für die im Abschnitt 4 erläuterte zweite Stufe. Da in der ersten Stufe historische Daten explizit betrachtet werden und die zweite Stufe darauf aufbaut, berücksichtigt das weitere Vorgehen Daten der vorherigen Planungsperioden implizit. Mittels mathematischer Optimierung werden in der zweiten Stufe zugleich die individuellen Dienstreihenfolgen ausgewählt und zu einem Plan verknüpft. Das entwickelte DSS erlaubt die Erstellung von historienbasierten, nicht-zyklischen Dienstreihenfolgeplänen unter Berücksichtigung maximaler Sozialverträglichkeit durch Einbeziehen von Wünschen und ausbalancierter Arbeitszeiten.

3 Pattern als Instrument bei der Dienstreihenfolgeplanung

Angelehnt an das Vorgehen einer leitenden Arbeitskraft und aus Gründen der Nachvollziehbarkeit der automatisierten Erstellung eines Dienstreihenfolgeplanes sowie Regelungen hinsichtlich wöchentlicher Arbeitszeiten werden Pattern mit einer Länge von einer Kalenderwoche verwendet. Diese Länge der Pattern wird ebenfalls in [8], [9] und [12] genutzt. Die Zulässigkeit eines Patterns ist individuell je Arbeitskraft bestimmbar. So können beispielsweise Restriktionen hinsichtlich konsekutiver Arbeitstage die individuelle Menge von potenziellen Pattern pro Arbeitskraft verringern. Zudem erfolgt die Bewertung eines Patterns hinsichtlich der Über- und Unterstunden sowie des Zufriedenheitswertes individuell. In diesem Abschnitt wird erläutert, wie potenzielle Pattern individuell bewertet werden (siehe 3.1). In einem ersten Preprocessing-Schritt werden die Pattern basierend auf den Daten einer Probleminstanz hinsichtlich ihrer Zulässigkeit je Arbeitskraft und Woche gefiltert (siehe 3.2). Zudem werden Regeln zu Abhängigkeiten zwischen den Pattern und somit der Verknüpfung der Pattern zwischen den Kalenderwochen im zweiten Preprocessing-Schritt berücksichtigt (siehe 3.3). Dieses Vorgehen ermöglicht in der ersten Stufe des vorgeschlagenen Lösungsansatzes die Generierung von individuellen Patternmengen je Arbeitskraft. Es werden ausschließlich unzulässige Pattern entfernt, so dass keine (heuristische) Reduktion des Lösungsraumes geschieht. Die Komplexität des Entscheidungsproblems wird deutlich reduziert und somit kann die Rechenzeit der Optimierung vermindert werden.

3.1 Dienstreihenfolge als Pattern

Ein Pattern, das einer Dienstreihenfolge von sieben Tagen entspricht, beinhaltet neben Diensten auch freie Tage. In Abbildung 1 ist ein beispielhaftes Pattern dargestellt: Dienste bzw. Schichttypen (Zeile 1) werden den Wochentagen (Zeile 2) zugeordnet. Aufgrund der Betrachtung von zwei Schichttypen, gibt es die folgenden drei Ausprägungen: 'X' ist ein arbeitsfreier Tag, 'F' ist Frühschicht, 'S' ist Spätschicht.

Dienst	X	F	F	S	S	X	X
Wochentag	Mo.	Di.	Mi.	Do.	Fr.	Sa.	So.

Abbildung 1. Beispiel-Pattern

Bewertung der Arbeitszeit: Innerhalb der Pattern werden sowohl Tage, an denen Urlaub gewährt wird, als auch Tage, an denen ein arbeitsfreier Tag zugeteilt wurde, als generell arbeitsfreie Tage mit 'X' gekennzeichnet. Ein freier Tag leistet keinen Beitrag zur Arbeitszeit der Kalenderwoche. Ein Tag mit Urlaub wird bei der Bewertung der Über- bzw. Unterstunden beachtet und in Höhe von bspw. 1/5 der regulären wöchentlichen Arbeitszeit berücksichtigt. Zusätzlich zu Urlaubstagen werden die Arbeitsstunden der Dienste, die in dem Pattern beinhaltet sind, bei der Berechnung der Bewertung beachtet. Die Berechnung der Stundenanzahl eines Pattern sei beispielhaft an dem Pattern aus Abbildung 1 erläutert: Dieses Pattern beinhaltet vier Arbeitstage und drei freie Tage. Wird dieses Pattern anhand der Parameter der Arbeitskraft aus Abbildung 2 berechnet, muss der Urlaubstag 'U' am Montag (Zeile 1) einkalkuliert werden. Angenommen ein Dienst umfasst bspw. acht Stunden und diese Arbeitskraft hat eine wöchentliche Regelarbeitszeit von 38,5 Stunden, würden bei Auswahl dieses Patterns in der entsprechenden Woche 1,2¹ Überstunden anfallen.

Bewertung der Wunscherfüllung bzw. Zufriedenheit: Zusätzlich zu der Bewertung hinsichtlich der Über- bzw. Unterstunden wird einem Pattern ein Zufriedenheitswert abhängig von Arbeitskraft und Woche zugeordnet. Die Bewertung des individuellen Zufriedenheitswertes eines Patterns ist von der Zuteilung zu Diensten bzw. freien Tagen sowie den geäußerten Wünschen der Arbeitskraft abhängig. Liegen für die betrachtete Woche Wünsche für Dienste bzw. nach freien Tagen vor, erhöht ein erfüllter Wunsch den Zufriedenheitswert und ein widersprochener Wunsch hat folgerichtig einen negativen Einfluss. Die Bewertung der Wünsche ist parametrisiert, in der Regel wird einem Tag ein höherer Wert zugewiesen als einer einzelnen Schicht.²

Angenommen ein Wunsch eine spezifische Schicht betreffend wird mit (+/-) 10 Einheiten bewertet. Ist hingegen ein gesamter Tag betroffen, wird dieser Wunsch mit (+/-) 20 Einheiten bewertet. Werden keine Wünsche geäußert, wird der Zufriedenheitswert nicht verändert. Als Beispiel für die Bestimmung eines solchen Wertes seien die Wünsche einer Arbeitskraft aus Abbildung 2 verwendet. Für Dienstag ist ein früher Dienst und am Sonntag ein freier Tag gewünscht (Zeile 2). Das Beispiel-Pattern aus Abbildung 1 hat für diese spezifische Woche einen Zufriedenheitswert von +30, da beiden Wünschen entsprochen würde.

Fixierte Dienste/Urlaub	U			S			
Wünsche		F					X
Wochentag	Mo.	Di.	Mi.	Do.	Fr.	Sa.	So.

Abbildung 2. Individuelle fixierte Dienste, Urlaubstage und Wünsche einer Arbeitskraft

3.2 Pattern Preprocessing – Potenzielle Pattern pro Woche und Arbeitskraft

Bei einer Woche von sieben Tagen und drei Ausprägungsmöglichkeiten gibt es insgesamt $3^7 = 2187$ mögliche Pattern ohne Beachtung von Dienstreihenfolge-Regeln.

¹ $4 * 8 + 1/5 * 38,5 - 38,5 = 1,2$

² Diese Skalierung kann von einem Anwender des DSS angepasst werden

Da in den Pattern zwischen den Schichttypen und freien Tagen differenziert wird, können Regeln hinsichtlich eines Verbotes der Zuweisung eines Schichttyps an Tag d und eines Typs an Tag $d+1$ bei der Anzahl der möglichen Pattern berücksichtigt werden. Diese Anzahl kann generell und weiterhin individuell pro Arbeitskraft und Woche bestimmt werden. Dafür werden die folgenden vier Operatoren verwendet:

(1) Kein 'F' nach 'S': Nach einer Spätschicht darf aufgrund der gesetzlich vorgeschriebenen Pausen- und Ruhezeiten keine Frühschicht folgen. In diesem Schritt werden daher alle Pattern, welche die Abfolge 'SF' enthalten, ausgeschlossen. Somit verringert sich die Anzahl der potenziellen Pattern pro Woche auf 567.

(2a) Wochenende: Um der großen Belastung der Arbeitskräfte aufgrund von Arbeit am Wochenende entgegenzuwirken, gibt es die Regelung, dass entweder beide Tage des Wochenendes (Samstag und Sonntag) Arbeitstage sind oder beide Tage frei sind. Dementsprechend werden die Pattern, die dieser Regelung nicht entsprechen, von den potenziellen Pattern ausgeschlossen. Es sind nunmehr 288 Pattern pro Woche möglich.

(2b) Wochenende-Symmetrie: Zusätzlich zu den unter (2a) ausgeschlossenen Pattern sind Pattern mit der Abfolge 'FS' am Wochenende nicht möglich. Das Ausführen einer Frühschicht am Samstag und einer Spätschicht am Sonntag einer Arbeitskraft würde erzwingen, dass eine andere die konträre Kombination von 'SF' wahrnehmen müsste. Diese Schichtabfolge ist laut (1) nicht möglich. Daher werden weitere 32 Pattern entfernt, es verbleiben 256 potenzielle Pattern pro Woche.

(3) Individuelle konsekutive Arbeitstage: Um die individuellen Mengen an Pattern zu bestimmen, werden persönliche Regelungen zu minimalen und maximalen konsekutiven Arbeitstagen berücksichtigt. Muss eine Arbeitskraft bspw. mindestens zwei konsekutive Arbeitstage leisten, ist die Abfolge 'XFX' sowie 'XSX' verboten und die Anzahl der Pattern reduziert sich auf 161. Dürfen bspw. nur zwischen zwei und fünf konsekutive Arbeitstage wahrgenommen werden, sind grundsätzlich nur 148 Pattern möglich. Die Beispiele verdeutlichen, dass die Anzahl potenzieller Pattern teilweise drastisch reduziert und daher die Komplexität des Entscheidungsproblems gesenkt werden kann.

Zusätzlich hat die Beachtung der letzten Woche der vorherigen Planungsperiode neben der Sicherstellung der praktischen Einsatzfähigkeit des Dienstreihenfolgeplanes Einfluss auf die Anzahl der individuell möglichen Pattern (siehe Abschnitt 3.3), wodurch die Anzahl an potenziellen Pattern weiter vermindert werden kann.³ Weiterhin können die potenziellen Patternmengen aufgrund von Urlaubstagen oder anderweitigen Restriktionen zwischen den Wochen differieren.

3.3 Pattern Preprocessing – Abhängigkeiten zwischen den Pattern

Anschließend an die Aufbereitung der individuellen Patternmengen pro Woche werden Abhängigkeiten zwischen den jeweiligen Pattern betrachtet. Hierbei wird ähnlich wie in Schritt (1) und (3) des vorherigen Abschnittes vorgegangen. Die Zuweisung von einem späten Dienst folgend von einem frühen Dienst an zwei konsekutiven Tagen ist

³ Bei der größten in diesem Beitrag betrachteten Problem Instanz (siehe Abschnitt 6) scheiden so 28,86% aller potenziellen Pattern für die erste Planungswoche aus.

nicht regelkonform. Ein Pattern, das montags mit einem frühen Dienst beginnt, darf nicht nach einem Pattern folgen, das mit einer Spätschicht am Sonntag endet. Darüber hinaus sind minimale und maximale konsekutive Arbeitstage über zwei bzw. drei Pattern hinweg zu beachten. Bei zwei aufeinanderfolgenden Pattern muss die Anzahl der konsekutiven Arbeitstage innerhalb der individuellen Grenzen liegen. Da ein freier Tag eine Folge von konsekutiven Arbeitstagen unterbricht, werden nur die Pattern mit sieben Arbeitstagen (7-Tage-Arbeitswochen, z. B. 'FFFFSSS') für die Abhängigkeiten mit einem vorhergehenden und nachfolgenden Pattern überprüft. Entsprechend der Regeln sind die Pattern und deren Verknüpfungen anzupassen. Abhängig von einem potenziellen Pattern p einer Arbeitskraft e in Woche w werden die nicht erlaubten Pattern für Woche $w+1$ identifiziert (Menge $P_{w+1}^{e,NOT}(p)$). In Kombination mit 7-Tage-Arbeitswochen sind bestimmte Pattern nicht in der vorigen Woche möglich. Für Pattern q (aus der Menge $P_{w-1}^e(p)$), die in der Woche $w-1$ vor einer 7-Tage-Arbeitswoche w mit Pattern p möglich sind, sind wiederum gewisse Pattern in der darauffolgenden Woche $w+1$ verboten (Menge $P_{w+1}^{e,NOT}(p, q)$). Als Ergebnis der ersten Stufe dienen diese Mengen als Input für das Optimierungsmodell, das in dem folgenden Abschnitt erläutert wird.

4 Mathematisches Modell zur historienbasierten Dienstreihenfolgeplanung mit Pattern

Als Grundlage für Stufe 2 dient die folgende abstrakte mathematische Modellierung zur Optimierung historienbasierter Dienstreihenfolgeplanung mit der Zielsetzung einer maximalen Sozialverträglichkeit (quantifiziert als Balance der Über- und Unterstunden, sowie dem Gesamtzufriedenheitswert). Ausgangspunkt für die Modellierung bildet die in Abschnitt 1.1 beschriebene Problemstellung. Der Bedarf an erforderlichen Diensten pro Tag ist festgelegt und muss ohne Abweichung erfüllt werden. Zur Verknüpfung mit der Historie liegen individuelle AZK sowie das letzte in der vorherigen Periode durchgeführte Pattern je Arbeitskraft vor. Zusätzlich ist die Anzahl der konsekutiven Arbeitstage am Ende der letzten Periode bekannt, sollte diese sieben überschreiten.

Für die aktuelle Planungsperiode sind neben dem Bedarf Wünsche, Urlaubstage und fixierte Dienstzuteilungen der Arbeitskräfte bekannt. Diese werden wie die zahlreichen Regelungen zu Dienstreihenfolgen mit Hilfe der individuellen Mengen an Pattern pro Kalenderwoche berücksichtigt. Wesentlich für die Modellbildung ist die automatisierte Generierung der individuellen Patternmengen als Eingabe für das Optimierungsproblem (Stufe 1). Durch die Festlegung dieser Mengen ergeben sich verschiedene Kombinationsmöglichkeiten von Dienstreihenfolgen und somit verschiedene zulässige Planlösungen. Einerseits existieren die generell pro Arbeitskraft und Woche möglichen Pattern (ermittelt gemäß Abschnitt 3.2), mit „7-Tage-Arbeitswoche“-Pattern als besondere Teilmenge. Zusätzlich existieren Patternmengen (ermittelt gemäß Abschnitt 3.3), die in Abhängigkeit der einzelnen Pattern einer Woche und Arbeitskraft mögliche oder verbotene wochenübergreifende Verknüpfungen zu anderen Pattern regeln.

Die Formulierung des mathematischen Modells erfolgt als gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem (engl. *Mixed-Integer Programming*, MIP) mit binären Entscheidungsvariablen über die konkrete Auswahl jedes möglichen Pattern und

reellen Entscheidungsvariablen zur Abbildung der Zielfunktionsgrößen. Tabelle 1 fasst Mengen, Parameter und Entscheidungsvariablen des Modells zusammen.

Tabelle 1. Mengen, Parameter und Entscheidungsvariablen des Modells

Mengen:	
E	Menge der Arbeitskräfte, mit Index e
W	Menge der Wochen, mit Index w , $\{0, \dots, W \}$
D_w	Menge von Tagen, mit Index d , innerhalb Woche w
S	Menge der Schichttypen, mit Index s
P_w^e	Menge von Pattern für Arbeitskraft e in Woche w , Menge der Woche 0 besteht nur aus dem letzten durchgeführten Pattern
\tilde{P}_w^e	Menge der „7-Tage-Arbeitswoche“ Pattern für Arbeitskraft e in Woche w , Teilmenge von P_w^e
$P_{w+1}^{e,NOT}(p)$	Menge von Pattern für Arbeitskraft e , die nicht in Woche $w+1$ zugewiesen werden können, aufgrund der Auswahl von Pattern p in Woche w
$P_{w-1}^e(p)$	Menge von Pattern für Arbeitskraft e , die in Woche $w-1$ zugewiesen werden können, in Kombination mit „7-Tage-Arbeitswoche“ Pattern p aus Woche w
$P_{w+1}^{e,NOT}(p, q)$	Menge von Pattern für Arbeitskraft e , die nicht in Woche $w+1$ zugewiesen werden können, aufgrund der Auswahl von „7-Tage-Arbeitswoche“ Pattern p in Woche w und der Auswahl von Pattern q in Woche $w-1$
Parameter:	
ϵ_{sat}	Mindestwert an Zufriedenheit, der erreicht werden soll
α	Bestrafungsfaktor in Zielfunktion für Abweichung von ϵ_{sat}
dem_{ds}	Bedarf an Diensten vom Schichttyp s an Tag d
sat_{ep}	Zufriedenheitswert von Pattern p für Arbeitskraft e , umfasst für das Pattern in der Woche 0, die bisher kumulierten Werte
eh_{ep}	Summe der Über- oder Unterstunden durch Pattern p für Arbeitskraft e , umfasst für das Pattern in der Woche 0, die bisher kumulierten Werte
a_{epds}	1, falls Pattern p von Arbeitskraft e den Schichttyp s an Tag d abdeckt, sonst 0
Entscheidungsvariablen:	
x_{ep}	1, falls Arbeitskraft e Pattern p ausüben soll, sonst 0 (binär)
u	Diskrepanz um vorgegebenen Zufriedenheitswert zu erfüllen (reelle Zahl)
eh_{max}	Höchste Überstundenanzahl von allen Arbeitskräften (reelle Zahl)
eh_{min}	Höchste Unterstundenanzahl von allen Arbeitskräften (reelle Zahl)

Zur gleichzeitigen Verfolgung beider Zielsetzungen zur Sozialverträglichkeit ist die Formulierung eines bikriteriellen Optimierungsproblems notwendig. Bei solchen Problemstellungen existiert in der Regel keine eindeutig optimale Lösung, sondern es gibt eine Menge von sogenannten „effizienten Lösungen“. Diese können nicht verbessert werden, ohne dass sich die Ausprägung einer Zielsetzung verschlechtert (vgl. [13]). Die Menge effizienter Lösungen bildet somit die möglichen Kompromisse zwischen der Erfüllung der beiden Zielsetzungen ab. Sie kann mittels der ϵ -Constraint-Methode bestimmt werden, bei der die Ziele gemäß einer Rangfolge geordnet und

aufeinander aufbauend einzelne Optimierungsprobleme gelöst werden. Die zuvor erreichte Zielsetzung wird dabei zu einer Nebenbedingung umformuliert, die im neuen Optimierungsproblem zu einem Mindestanteil, vorgegeben durch den ϵ -Wert, erfüllt werden muss. In dieser Arbeit wird zunächst ein Optimum für die Zielsetzung nach maximaler Zufriedenheit berechnet. Anschließend wird als zweite Zielsetzung die Ausgeglichenheit der Über- und Unterstunden unter der Voraussetzung optimiert, dass die maximal mögliche Zufriedenheit zu einem Mindestwert ϵ_{sat} erfüllt wird. Damit das entstehende MIP rechnerisch einfacher lösbar ist, wird dies als Nebenbedingung durch eine Elastic- ϵ -Constraint formuliert (vgl. [13]), bei der eine zusätzliche Diskrepanz-Variable mögliche Abweichungen auffangen kann. Durch Veränderung des zu erfüllenden Mindestwertes sind systematisch alle effizienten Lösungen bestimmbar. Beide Zielsetzungen sind gleichzeitig vollständig erfüllbar, wenn der maximal mögliche Zufriedenheitswert zu 100% (ohne Einsatz der Diskrepanz-Variable) erreicht wird und zugleich der berechnete Zielfunktionswert des Gesamtproblems den gleichen Wert wie bei Zielsetzung nach reiner Optimierung der Ausgeglichenheit annimmt.

Das mathematische Optimierungsmodell zur Dienstreihenfolgeplanung unter Fortschreibung historischer Daten vergangener Planungsperioden (h -DRPP^(eh,sat)) und zweifacher Zielsetzung kann wie folgt formuliert werden:

$$\text{Minimiere } (eh_{max} - eh_{min}) + \alpha * u \quad (1)$$

$$s.t \quad \sum_{e \in E} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w^e} sat_{ep} x_{ep} + u \geq \epsilon_{sat} \quad (2)$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{p \in P_w^e} a_{epds} x_{ep} = dem_{ds} \quad \forall w \in W \setminus \{0\}, \forall d \in D_w, \forall s \in S \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P_w^e} x_{ep} = 1 \quad \forall e \in E, \forall w \in W \quad (4)$$

$$x_{ep} + \sum_{r \in P_{w+1}^{e,NOT}(p)} x_{er} \leq 1 \quad \forall e \in E, \forall w \in W \setminus \{|W|\}, \forall p \in P_w^e \quad (5)$$

$$x_{ep} + x_{eq} + \sum_{r \in P_{w+1}^{e,NOT}(p,q)} x_{er} \leq 2 \quad \forall e \in E, \forall w \in W \setminus \{0\}, \forall p \in \tilde{P}_w^e, \forall q \in P_{w-1}^e(p) \quad (6)$$

$$eh_{max} \geq \sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w^e} eh_{ep} x_{ep} \quad \forall e \in E \quad (7)$$

$$eh_{min} \leq \sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w^e} eh_{ep} x_{ep} \quad \forall e \in E \quad (8)$$

$$x_{ep} \in \{0,1\} \quad \forall e \in E, \forall w \in W, \forall p \in P_w^e \quad (9)$$

$$u, eh_{max}, eh_{min} \in \mathbb{R} \quad (10)$$

Mit der Zielfunktion (1) wird die Differenz zwischen der höchsten Überstundenzahl und der höchsten Unterstundenzahl von allen Arbeitskräften minimiert und gleichzeitig werden mögliche Abweichungen vom zu erfüllenden Zufriedenheitswert minimiert. Die Restriktion (2) stellt dabei sicher, dass ein Mindestmaß an vorgegebener Gesamtzufriedenheit erfüllt wird. Die Schwere möglicher Abweichungen von dieser Vorgabe wird in Abhängigkeit des Bestrafungsfaktors α in der Zielfunktion gesteuert.

Die Restriktionen (3) stellen die Bedarfserfüllung pro Tag und Schichttyp sicher. Restriktionen (4) gewährleisten, dass pro Arbeitskraft genau ein Pattern pro Woche

ausgewählt wird. Mit den Restriktionen (5) wird die Durchführung von Pattern in aufeinanderfolgenden Wochen vermieden, die nicht miteinander verknüpft werden dürfen. Restriktionen (6) stellen sicher, dass die maximale Anzahl aufeinanderfolgender Arbeitstage pro Arbeitskraft eingehalten wird. Restriktionen (7) bzw. (8) bestimmen die maximale bzw. minimale Anzahl zu leistender Zusatzstunden der Arbeitskräfte. Restriktionen (9) und (10) legen die Wertebereiche der Entscheidungsvariablen fest.

Vorgaben zu dem Zufriedenheitswert ϵ_{sat} können durch ein abgewandeltes, vereinfachtes Modell berechnet werden. Dazu wird (1) durch die Zielfunktion (11) ersetzt. In Kombination mit den Restriktionen (3), (4), (5), (6) und (9) entsteht ein Optimierungsmodell ($h-DRPP^{(sat)}$), das ausschließlich die Gesamtzufriedenheit aller Arbeitskräfte maximiert. Der resultierende Dienstreihenfolgeplan ist für den Einsatz zulässig, ohne jedoch auf einen Ausgleich der Über- und Unterstunden abzielen. Die Lösung kann als Vorgabe für obiges Modell $h-DRPP^{(eh,sat)}$ einen maximal möglichen Zufriedenheitswert liefern, der entsprechend der Wahl von ϵ_{sat} berücksichtigt wird.

$$\text{Maximiere } \sum_{e \in E} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w^e} sat_{ep} x_{ep} \quad (11)$$

Weitere Modellvariationen: Für eine Dienstreihenfolgeplanung mit alleiniger Zielsetzung nach Ausgeglichenheit von Über- und Unterstunden ($h-DRPP^{(eh)}$) entfällt in der Formulierung (1)-(10) die Restriktion (2) und der korrespondierende Summand $\alpha * u$ in der Zielfunktion (1). Für eine Dienstreihenfolgeplanung ohne Verknüpfung zu vergangenen Planungsperioden kann die Formulierung (1)-(10) wie folgt zu einem Modell $DRPP^{(eh,sat)}$ angepasst werden: Als Eingabeparameter verändert sich die Wochenmenge W in die Menge $\{1, \dots, |W|\}$. Zusätzlich sind die Restriktionen (6) über alle Wochen aus $W \setminus \{1\}$ statt aus $W \setminus \{0\}$ zu formulieren.

5 Einbettung in ein Entscheidungsunterstützungssystem

Der entwickelte Lösungsansatz kann wie in Abbildung 3 dargestellt in ein DSS eingebettet und für die Dienstreihenfolgeplanung verwendet werden (orientiert an der aktuellen Planung des in diesem Beitrag betrachteten Fallbeispiels). Als Eingabe aggregiert die leitende Arbeitskraft die notwendigen Daten zu Bedarf an Diensten, Arbeitskräften und deren Restriktionen sowie weiterer Regelungen in einer Excel-Datei. Die manuelle Planung wird anschließend durch das entwickelte Verfahren inklusive Optimierung ersetzt. Diese Optimierungskomponente ist in C# implementiert und verwendet als Solver CPLEX. Auf Grundlage der potenziellen Patternmengen werden optimale Dienstreihenfolgepläne generiert und ausgegeben – inklusive eines Lösungsreportes über den Optimierungsprozess. Der Datenaustausch zwischen den einzelnen Komponenten erfolgt durch strukturierte Textdateien (.csv). Die Lösungsgüte der Pläne kann neben einer tabellarischen Darstellung auch in einem Koordinatensystem im Hinblick auf die beiden Zielsetzungen visualisiert und miteinander verglichen werden. Schlussendlich kann aus den vorgeschlagenen Plänen ein geeigneter Plan ausgewählt und bei Bedarf manuell angepasst werden.

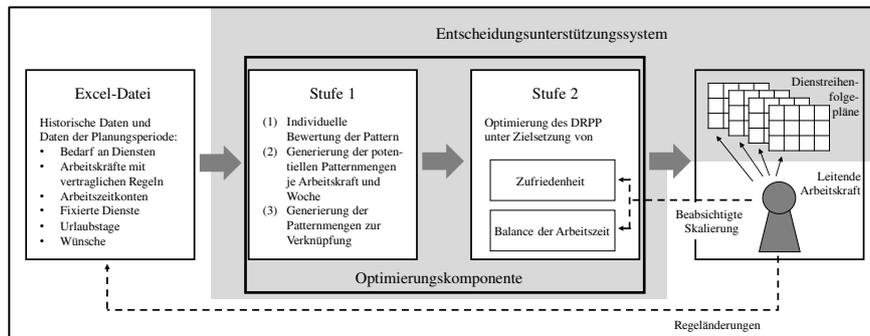


Abbildung 3. Entscheidungsunterstützungssystem für die Planung

Optimierungsbasierte DSS erfordern in der Regel eine aufwendige Einführungsphase. Im Rahmen von Einführungsprojekten wird auch eine Kalibrierung der Optimierungskomponenten vorgenommen. Gegenstand ist bspw. die Bewertung der Wünsche. Zudem wird dem Anwender des DSS als Interaktion ermöglicht, eine Skalierung zwischen Plänen mit maximalem Zufriedenheitswert und bestmöglicher Balance der Über- und Unterstunden auszuwählen (inklusive der Gewichtung möglicher Abweichungen von der gewünschten Zufriedenheit durch α) sowie ein Zeitlimit für die Optimierung vorzugeben. Anwendungsspezifisch eingestellt kann das entwickelte DSS dementsprechend in verschiedenen Fällen eingesetzt werden.

6 Numerische Ergebnisse eines Fallbeispiels

Der vorgestellte zweistufige Lösungsansatz zur Dienstreihenfolgeplanung wird anhand realer Daten eines Pflegewohnheims für Menschen mit Behinderung evaluiert. Dabei liegt der Fokus neben dem Vergleich historienbasierter Planung mit einer Planung ohne Bezug zur Vorperiode auf der Ermittlung des gesamten Potenzials optimierungsbasierter Planung. Das Pflegewohnheim umfasst sechs Wohngruppen, für die bisher einzelne Dienstreihenfolgepläne erstellt wurden. Eine Verteilung der Arbeitskräfte zwischen den Gruppen ist möglich bzw. häufig notwendig, wurde aber bisher aufgrund der nicht zu bewältigenden Komplexität einer manuellen Planung nicht ausgeführt. Generell sind im Wohnheim pro Tag 22 Dienste zu besetzen. Dabei ist eine heterogene Belegschaft zu berücksichtigen, da die insgesamt 53 Arbeitskräfte individuell vertraglich vereinbarte Wochenarbeitszeiten haben sowie individuelle Wünsche für Arbeits- bzw. Urlaubszeiten für die Planungsperiode geäußert werden können. Die Planungsperiode umfasst einen Monat. In diesem Beitrag werden 14 Probleminstanzen zur Dienstreihenfolgeplanung eines Monats betrachtet. Zum einen werden Dienstreihenfolgepläne separat für die sechs Wohngruppen erstellt wie es der bisherigen manuellen Planung entspricht. Einer Wohngruppe sind jeweils sechs bis elf Arbeitskräfte zugeordnet, pro Gruppe und Tag sind (mit einer Ausnahme) generell vier Dienste zu planen. Zum anderen wird ein gemeinsamer Dienstreihenfolgeplan über alle sechs Gruppen erstellt, um mögliches Potenzial aufzudecken, das bisher nicht erschließbar

ist. Für diese sieben Instanzen werden Pläne sowohl historienbasiert als auch ohne Bezug zur Vorperiode erstellt (insgesamt 14). Für jede der Probleminstanzen werden mit den Modellen $(h-)DRPP^{(sat)}$ und $(h-)DRPP^{(eh)}$ die jeweils bestmögliche Ausprägung der Zielsetzung nach maximaler Wunscherfüllung und nach minimaler Abweichung von Über- und Unterstunden berechnet. Mit dem Modell $(h-)DRPP^{(eh,sat)}$ werden dann beide Zielsetzungen gleichzeitig verfolgt, wobei als generelle Vorgabe der maximale Zufriedenheitswert erreicht werden soll (mögliche Verletzungen werden mit $\alpha=1$ bei der Berechnung des Zielfunktionswertes (1) bestraft, die Zusammensetzung der Zufriedenheitswerte pro Pattern ist skaliert wie in Abschnitt 3.1 beschrieben).⁴

Tabelle 2 zeigt die Zielfunktionswerte hinsichtlich Zufriedenheit sowie Ausgeglichenheit der Über- und Unterstunden exemplarisch für eine einzelne Wohngruppe (*planOpt_06*) sowie für das gesamte Wohnheim (*planOpt_gesamt*) bei historienbasierter Planung (*mit h*) bzw. bei Planung ohne Bezug zur Vorperiode (*ohne h*).

Tabelle 2. Zufriedenheitswerte sowie minimierte Differenz von Über-/Unterstunden in hh:mm

Instanz	$(h-)DRPP^{(sat)}$	$(h-)DRPP^{(eh)}$		$(h-)DRPP^{(eh,sat)}$		bei ϵ_{sat}
	mit h und ohne h	mit h	ohne h	mit h	ohne h	
<i>planOpt_06</i>	490	112:17	17:42	120:36	17:42	(100%) 490
				112:17	17:42	(90%) 450
<i>planOpt_gesamt</i>	1340	277:58	30:52	277:58	30:52	(100%) 1340

In den Tests hat sich gezeigt, dass (bis auf eine Ausnahme) für alle Instanzen gleichzeitig der höchste Zufriedenheitswert⁵ bei minimal möglicher Differenz von eh_{max} und eh_{min} erreichbar ist. Wie in Tabelle 2 zu erkennen, gilt diese Beobachtung auch für die alle Wohngruppen umfassende Gesamtplanung (*planOpt_gesamt*). Ausnahme bildet die ebenfalls in Tabelle 2 aufgeführte historienbasierte Einzelplanung für die Wohngruppe 6, bei der neben der Historie vergleichsweise viele Wünsche der Arbeitskräfte im Planungszeitraum zu berücksichtigen sind. Der maximale Zufriedenheitswert von 490 (100%) ist nur mit einer leichten Erhöhung des minimierten Differenzwertes der Über- und Unterstunden erreichbar. Anders ausgedrückt, der optimale Zielfunktionswert der Über- und Unterstunden ist erst bei 90% Zufriedenheit erreichbar.

Anzumerken ist, dass die ohne Historie erstellten Pläne zwar sehr ausgeglichen mit in der Regel geringen Unterschieden in den individuellen AZK der Arbeitskräfte sind, bei einer Verknüpfung mit der Vorperiode allerdings zu Regelverletzungen führen

⁴ Die Testläufe wurden auf einem Notebook mit Intel Core i7 Prozessor mit 2,6 Ghz und 16 GB Hauptspeicher durchgeführt. Für die historienbasierte Planung liegen alle Laufzeiten in der Regel unter 3 Minuten. Für reine Zufriedenheitsmaximierung liegen die Zeiten im geringen Sekundenbereich. Bei Planung ohne Bezug zur Historie kann der Optimalitätsbeweis beim Lösen andauern, die Laufzeiten liegen dabei in der Regel deutlich unter 30 Minuten. In allen Fällen wurden vom Solver bereits zu Beginn des Lösungsprozesses zulässige Pläne gefunden. Ein vom Anwender ausgeführter frühzeitiger Abbruch der Optimierung durch striktes Zeitlimit kann daher zwar nicht unbedingt zu optimalen, aber zu passablen Lösungen führen.

⁵ Da keine Daten über die bisherige Wunscherfüllung vorliegen, sind die maximalen Zufriedenheitswerte bei Planung *mit h* und *ohne h* gleich.

würden. Bei separater Planung ergeben sich im Hinblick auf verbotene 'SF'-Wechsel, sowie einzuhaltende maximale und minimale konsekutiver Arbeitstage insgesamt 8 Regelverletzungen, bei Wohngruppen übergreifender Gesamtplanung sind es 10.

Tabelle 3. Ausgeglichenheit von Über-/Unterstunden bei manuellen und optimierten Plänen

<i>Über- u. Unterstunden (Eh)</i>	<i>vorher</i>		<i>planMan</i>		<i>planOpt_einzeln</i>		<i>planOpt_gesamt</i>
Maximum (eh_{max})	139:57	(+4%)	145:17	(-57%)	59:39	(-82%)	25:32
Minimum (eh_{min})	-356:02	(+34%)	-478:18	(-29%)	-252:26	(-29%)	-252:26
Differenz von Max - Min	495:59	(+26%)	623:35	(-37%)	312:05	(-44%)	277:58
Summe Überstunden +	1575:03	(+16%)	1829:44	(-49%)	809:12	(-69%)	479:57
Summe Unterstunden -	-860:40	(+32%)	-1140:33	(+72%)	-1480:56	(+25%)	-1079:41
Gesamtstunden +/-	2435:43	(+22%)	2970:17	(-6%)	2290:08	(-36%)	1559:38
Mittelwert je Arbeitskraft	13:29		13:00		-12:40		-11:19
Standardabweichung	68:35		87:50		55:40		48:32

Tabelle 3 vergleicht die Ergebnisse von Varianten historienbasierter Dienstreihenfolgeoptimierung sowie der manuellen Planung. Da bei der manuellen Planung sämtliche Wünsche erfüllt werden und bei Optimierung der maximale Zufriedenheitswert erreicht werden kann, liegt der Fokus auf Kennzahlen zur Ausgeglichenheit der AZK (*Über- u. Unterstunden*). Ausgehend von kumulierten Daten der Vorperioden (*vorher*) werden diese für manuelle Planung (*planMan*) sowie für die – zusammengefasste – separate Optimierung aller Wohngruppen (*planOpt_einzeln*) und die Wohngruppen übergreifende Gesamtoptimierung (*planOpt_gesamt*) aufgeschlüsselt mit jeweiligen prozentualen Veränderungen in Bezug auf die Vorperiode. Es wird deutlich, dass durch die Optimierung eine signifikante Steigerung der Sozialverträglichkeit erreicht werden kann. Vor dem Hintergrund maximaler Zufriedenheitswerte werden Überstunden drastisch abgebaut. Zusätzlich zeigt sich, dass die bisher nicht umsetzbare Gesamtplanung erhebliche Potenziale verglichen mit separater Planung besitzt.

7 Fazit und Ausblick

Dieser Beitrag beschreibt aktuelle Entwicklungen für die informationstechnische Unterstützung der Personaleinsatzplanung mit einem Fokus auf Praktikabilität der Lösungsverfahren und Akzeptanz der automatisiert erstellten Lösungen. Es wurde ein zweistufiges Verfahren zur Lösung eines DRPP vorgestellt, das insbesondere auf die Sozialverträglichkeit der erstellten Pläne abzielt und eine historienbasierte Anknüpfung an vorausgegangene Perioden ermöglicht. Nach der problemspezifischen Generierung der Mengen potenzieller Pattern können mit Hilfe eines Optimierungsmodells je nach Skalierung der Zielsetzungen verschiedene bestmögliche Pläne erstellt werden. Darüber hinaus ist das entwickelte Optimierungsmodell für verschiedene Varianten eines DRPP einsetzbar und leicht anpassbar, bspw. für andere Planungszeiträume, Schichttypen und Regeln sowie unterschiedliche Längen der Pattern.

Die Anwendbarkeit und der Nutzen des Ansatzes wurden evaluiert und dargestellt. Der Lösungsansatz liefert für ein Fallbeispiel sehr gute Ergebnisse. Unter Beibehaltung

hoher Zufriedenheitswerte ist parallel eine deutliche Reduzierung der Überstunden möglich. Insgesamt zeigt sich, dass eine bessere Balance der Über- und Unterstunden bei einer historienbasierten Planung bewirkt werden kann. Es können darüber hinaus organisatorisch komplexere Problemstellungen betrachtet und zusätzliche Freiheitsgrade bei der Planung genutzt werden. Eine empirische Langzeitstudie kann die Auswirkungen der durch Optimierung unterstützten Planung auf die Belegschaft untersuchen. Da das DSS Wünsche leichter berücksichtigen kann als die manuelle Planung, wird erwartet, dass die Wunschanzahl im Zeitverlauf steigt.

Der Einfluss und das Zusammenspiel von Skalierung und Diversität der Wünsche sowie der Verschiedenartigkeit vorhandener AZK auf eine gute oder schlechte Lösbarkeit historienbasierter DRPP ist darüber hinaus als grundlegende Fragestellung weiter zu untersuchen. Hierfür und für einen möglichen Vergleich mit problem-spezifischen Heuristiken und metaheuristischen Ansätzen bietet das vorgestellte Modell und seine Anwendung im Rahmen eines DSS einen passenden Ansatzpunkt.

Literaturverzeichnis

1. Osogami, T., Imai, H.: Classification of various neighborhood operations for the nurse scheduling problem. In: International Symposium on Algorithms and Computation. 2000. Springer.
2. Van den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., De Boeck, L.: Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 2013. 226(3): S. 367-385.
3. Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Sier, D.: Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, 2004. 153(1): S. 3-27.
4. Burke, E.K., Curtois, T.K.: New approaches to nurse rostering benchmark instances. *European Journal of Operational Research*, 2014. 237(1): S. 71-81.
5. Millar, H.H., Kiragu, M.: Cyclic and non-cyclic scheduling of 12 h shift nurses by network programming. *European Journal of Operational Research*, 1998. 104(3): S. 582-592.
6. Becker, T., Steenweg, P.M., Werners, B.: Cyclic shift scheduling with on-call duties for emergency medical services. *Health Care Management Science*, 2018: S. 1-15.
7. Valouxis, C., Housos, E.: Hybrid optimization techniques for the workshift and rest assignment of nursing personnel. *Artificial Intelligence in Medicine*, 2000. 20(2): p.155-175.
8. Aickelin, U., Dowsland, K.A.: Exploiting problem structure in a genetic algorithm approach to a nurse rostering problem. *Journal of Scheduling*, 2000. 3(3): S. 139-153.
9. Aickelin, U., Dowsland, K.A.: An indirect genetic algorithm for a nurse-scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 2004. 31(5): S. 761-778.
10. Ikegami, A., Niwa, A.: A subproblem-centric model and approach to the nurse scheduling problem. *Mathematical Programming*, 2003. 97(3): S. 517-541.
11. Glass, C.A., Knight, R.A.: The nurse rostering problem: A critical appraisal of the problem structure. *European Journal of Operational Research*, 2010. 202(2): S. 379-389.
12. Hadwan, M., Ayob, M.: A constructive shift patterns approach with simulated annealing for nurse rostering problem. In: 2010 International Symposium in Information Technology (ITSim), 2010. IEEE.
13. Ehrgott, M., Wiecek, M.M.: Multiobjective programming. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 2005. Springer. 78: S. 667-708.