

Flexible Personaleinsatzplanung von Krankenhausärzten

Jens O. Brunner, TUM School of Management

Rainer Kolisch, TUM School of Management

Tagung der GOR-Arbeitsgruppe „Health Care Management“

Cottbus, den 12. Februar 2010

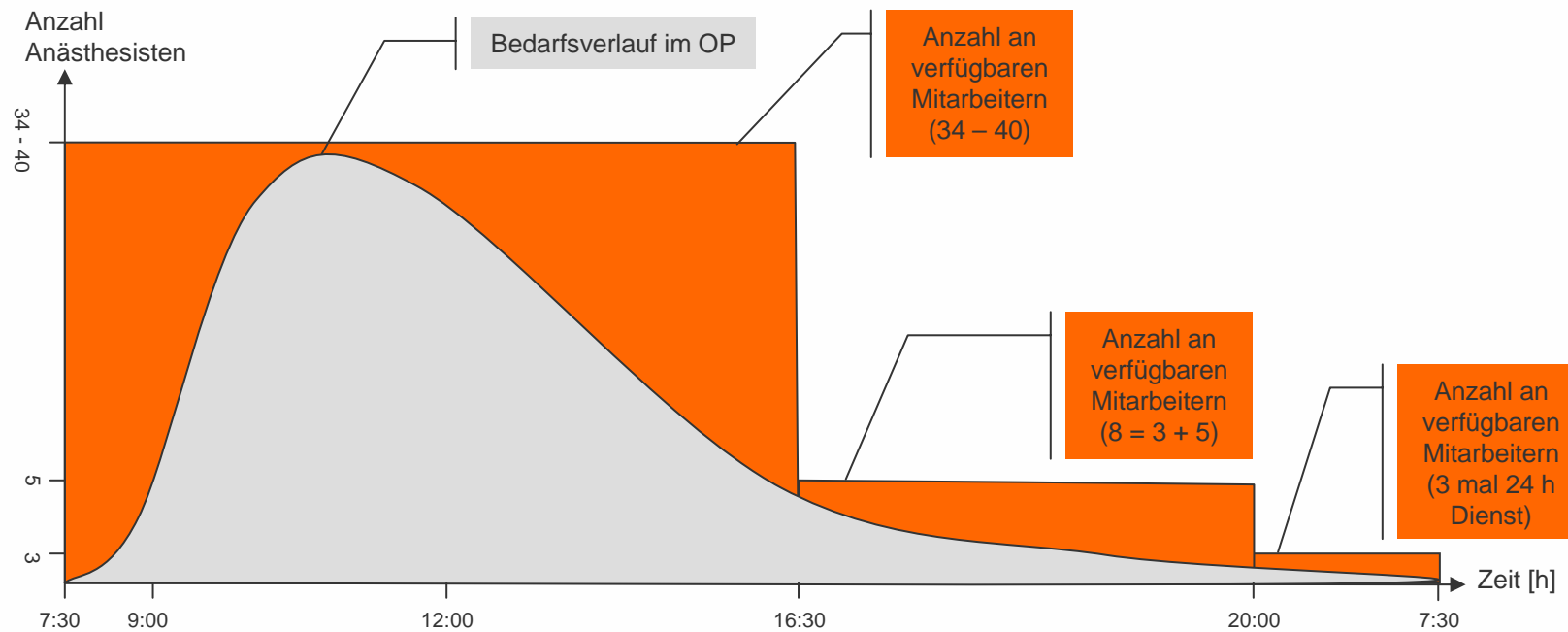
Agenda

1. Motivation und Ziel der Forschungsarbeit
2. Modellierung als gemischt-ganzzahliges Programm (MIP)
3. Lösungsverfahren
4. Beispiel: Einplanung von Anästhesisten
5. Experimentelle Untersuchungen
6. Zusammenfassung und Ausblick

Momentane Situation in der Anästhesie

- Aktuelle Arbeitszeitregelung in der Anästhesie
 - Regelarbeitszeit 42 h pro Woche
 - Fixe Schichtlänge 8,5 h → Arbeitsende ist 16:30 Uhr
 - 5 Anästhesisten arbeiten bei Bedarf länger im OP (ca. 13,5 h)
 - 3 Anästhesisten haben einen 24 h Dienst
 - Überstunden werden ausbezahlt
 - Bereitschaftsdienst ist keine Arbeitszeit (65% Vergütung)
- Veränderungen durch den neuen Tarifvertrag
 - Maximale Schichtlänge von 12 h
 - Im Anschluss an einen 8 h Dienst kann ein Bereitschaftsdienst von bis zu 16 h erfolgen (entspricht 24 h Dienst)
 - Bereitschaftsdienst zählt zur regulären Arbeitszeit
 - Überstunden nur bei Bedarf
 - Ausgleich von Überstunden ist möglich

Grafische Darstellung der momentanen Situation



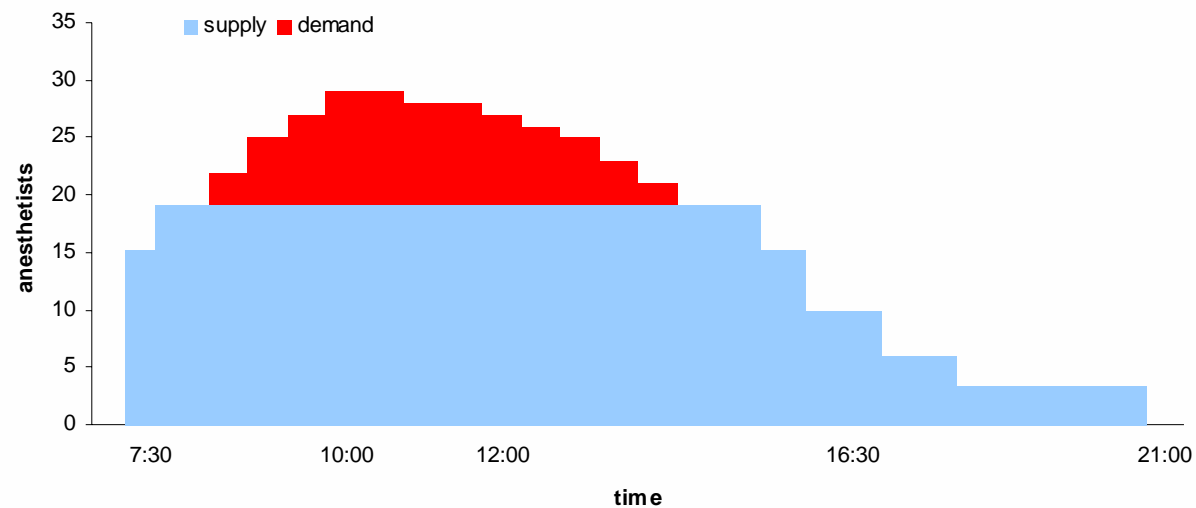
Problemkomplexität

- Starke Schwankungen der Nachfrage (Operationen)
 - Bereitschaftsdienste außerhalb des regulären Dienstes
 - Hohe Spezialisierung der Ärzte
 - Sehr starke Verhandlungsposition der Ärzte
- Detaillierte allgemeine/individuelle Arbeitsverträge für Ärzte
- Keine allgemeingültige Modellformulierung des Problems
- Meist manuelle Verfahren, die zeit- und kostenintensiv sind

Ziel der Forschungsarbeit

→ Flexibilisierung der Schichten

- Abkehr von einem festen Schichtsystem
- Ärzte werden zu einzelnen Bedarfsperioden zugeteilt
- Generierung mitarbeiterspezifischer Arbeitspläne



Agenda

1. Motivation und Ziel der Forschungsarbeit
2. Modellierung als gemischt-ganzzahliges Programm (MIP)
3. Lösungsverfahren
4. Beispiel: Einplanung von Anästhesisten
5. Experimentelle Untersuchungen
6. Zusammenfassung und Ausblick

Entscheidungsvariablen

$$x_{j,i,t} = \begin{cases} 1, & \text{falls Arzt } i \in \mathcal{I}_j \text{ der Gruppe } j \in \mathcal{J} \text{ in Periode } t \in \mathcal{T} \text{ arbeitet,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$y_{j,i,t}^{shift} = \begin{cases} 1, & \text{falls Arzt } i \in \mathcal{I}_j \text{ der Gruppe } j \in \mathcal{J} \text{ in Periode } t \in \mathcal{T} \text{ eine Schicht beginnt,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$y_{j,i,t}^{rest} = \begin{cases} 1, & \text{falls Arzt } i \in \mathcal{I}_j \text{ der Gruppe } j \in \mathcal{J} \text{ in Periode } t \in \mathcal{T} \text{ eine Ruhephase beginnt,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
dienst/-frei ($x_{j,i,t}$)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Schichtbeginn ($y_{j,i,t}^{shift}$)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schichtende ($y_{j,i,t}^{rest}$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Zielfunktion und Kopplungsnebenbedingungen

$$(1) \quad \min \sum_{w \in \mathcal{W}} \sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{i \in \mathcal{I}_j} \left(c_{j,i}^{paid} \cdot h_{j,i,w} + c_{j,i}^{over} \cdot o_{j,i,w} \right) + \sum_{t \in \mathcal{T}} c^{out} \cdot x_t^{out}$$

subject to

$$(2) \quad y_{j,i,t}^{shift} = x_{j,i,t} \cdot (1 - x_{j,i,t-1}) \quad \forall j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{I}_j, t \in \mathcal{T}$$

$$(3) \quad y_{j,i,t}^{rest} = x_{j,i,t-1} \cdot (1 - x_{j,i,t}) \quad \forall j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{I}_j, t \in \mathcal{T}$$

Parameter:

$c_{j,i}^{paid}$ Arztspezifische Kosten für ausbezahlte Überstunden

$c_{j,i}^{over}$ Arztspezifische Kosten für Überstunden

c^{out} Kosten für eine externe Arztstunde

Entscheidungsvariablen:

$h_{j,i,w}$ Ausbezahlte Überstunden pro Arzt und Woche

$o_{j,i,w}$ Überstunden pro Arzt und Woche

x_t^{out} Anzahl externer Ärzte in Periode t

Zielfunktion und Kopplungsnebenbedingungen

$$(1) \quad \min \sum_{w \in \mathcal{W}} \sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{i \in \mathcal{I}_j} (c_{j,i}^{paid} \cdot h_{j,i,w} + c_{j,i}^{over} \cdot o_{j,i,w}) + \sum_{t \in \mathcal{T}} c^{out} \cdot x_t^{out}$$

subject to

$$(2) \quad y_{j,i,t}^{shift} = x_{j,i,t} \cdot (1 - x_{j,i,t-1}) \quad \forall j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{I}_j, t \in \mathcal{T}$$

$$(3) \quad y_{j,i,t}^{rest} = x_{j,i,t-1} \cdot (1 - x_{j,i,t}) \quad \forall j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{I}_j, t \in \mathcal{T}$$

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
dienst/-frei ($x_{j,i,t}$)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Schichtbeginn ($y_{j,i,t}^{shift}$)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schichtende ($y_{j,i,t}^{rest}$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Schichtnebenbedingungen

$$(4) \quad \sum_{\tau=t}^{t+\underline{T}_j^{shift}-1} x_{j,i,\tau} \geq \underline{T}_j^{shift} \cdot y_{j,i,t}^{shift} \quad \forall j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{I}_j, t \in \mathcal{T}$$

$$(5) \quad \sum_{\tau=t}^{t+\bar{T}_j^{shift}} (1 - x_{j,i,\tau}) \geq y_{j,i,t}^{shift} \quad \forall j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{I}_j, t \in \mathcal{T}$$

$$(6) \quad \sum_{\tau=t}^{t+\underline{T}_j^{rest}-1} (1 - x_{j,i,\tau}) \geq \underline{T}_j^{rest} \cdot y_{j,i,t}^{rest} \quad \forall j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{I}_j, t \in \mathcal{T}$$

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
dienst/-frei ($x_{j,i,t}$)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Schichtbeginn ($y_{j,i,t}^{shift}$)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	\underline{T}^{shift}	0	0	0	0	0	0	0	0
Schichtende ($y_{j,i,t}^{rest}$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Nachfrage- und Arbeitszeitnebenbedingungen

$$(7) \quad \sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{i \in \mathcal{I}_j} x_{j,i,t} + x_t^{out} \geq d_t \quad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$(8) \quad \sum_{t \in \mathcal{T}^w} x_{j,i,t} = r_{j,i} + o_{j,i,w} - u_{j,i,w} \quad \forall j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{I}, w \in \mathcal{W}$$

$$(9) \quad h_{j,i,w} \geq o_{j,i,w-1} - u_{j,i,w} \quad \forall j \in \mathcal{J}, i \in \mathcal{I}, w \in \mathcal{W}$$

Parameter:

d_t Nachfrage in Period $t \in \mathcal{T}$

$r_{j,i}$ reguläre Arbeitszeit pro Woche für Arzt i der Gruppe j
gemäß dem individuellen oder allgemeinen Arbeitsvertrag

Entscheidungsvariable:

$u_{j,i,w}$ Fehlstunden von Arzt i der Gruppe j in Woche w

Weiterer Nebenbedingungen

Zusätzliche Nebenbedingungen und Modifikationen sind notwendig, um:

- Bereitschaftsdienste,
- Startzeitfenster für Schichten,
- Mittagspausen,
- ...

in die Modellformulierung aufzunehmen.

Agenda

1. Motivation und Ziel der Forschungsarbeit
2. Modellierung als gemischt-ganzzahliges Programm (MIP)
3. Lösungsverfahren
4. Beispiel: Einplanung von Anästhesisten
5. Experimentelle Untersuchungen
6. Zusammenfassung und Ausblick

Überblick der Lösungsverfahren

1. Preprocessing

- Berücksichtigung von Bereitschaftsdiensten in Bezug auf die reguläre Nachfrage
- Ausnutzung der Struktur der regulären Nachfrage
 - Reduzierung der Problemgröße

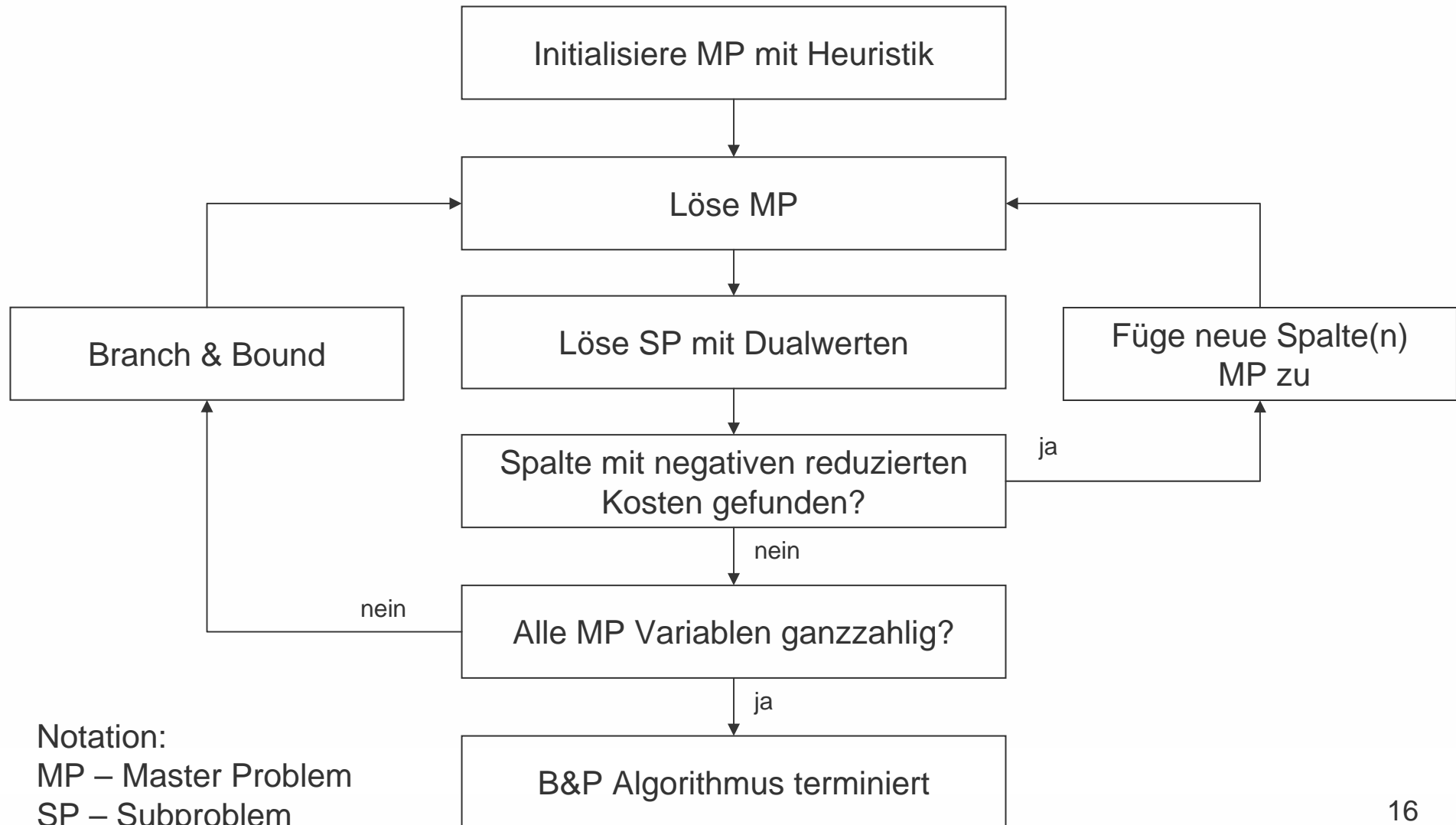
2. Dekompositionsheuristik

- Zerlege MIP nach Wochen
- Bereitschaftsdienst- und Überstundenzuweisung der letzten Planungsperiode

3. Branch & Price (B&P) Algorithmus

- Zerlege MIP nach Ärzten (Arztgruppe)
- Master Problem Variable Branching (MPVarB)
- Subproblem Variable Branching (SPVarB)

Verfahrensablauf des B&P-Algorithmus



Agenda

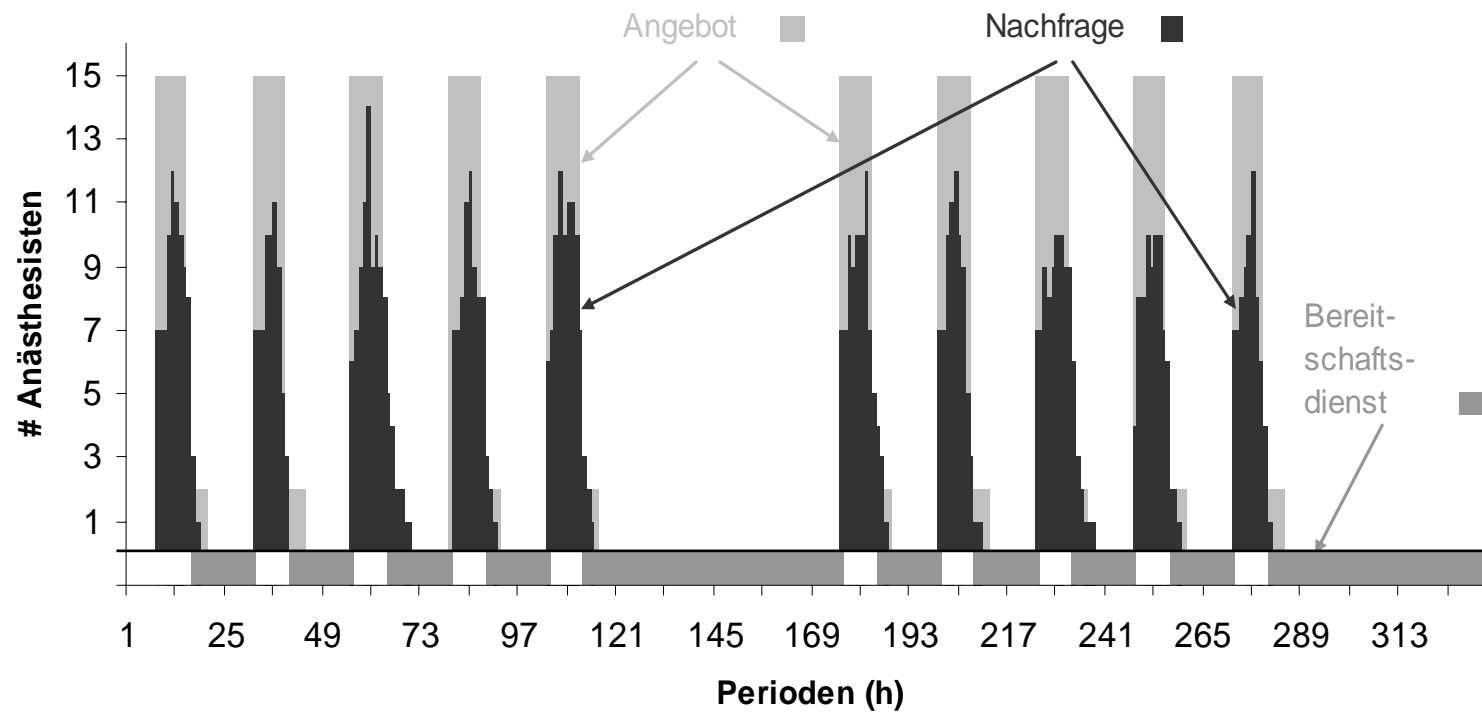
1. Motivation und Ziel der Forschungsarbeit
2. Modellierung als gemischt-ganzzahliges Programm (MIP)
3. Lösungsverfahren
4. Beispiel: Einplanung von Anästhesisten
5. Experimentelle Untersuchungen
6. Zusammenfassung und Ausblick

Inputdaten für das Beispiel

- 16 Anästhesisten mit identischer Qualifikation
- Zeitvariable Nachfrage für einen 2-Wochen Planungshorizont mit 336 Perioden (h)
- Vordefinierter Bereitschaftsdienst in Bezug auf die Startperiode und die Dauer
- Maximale Schichtlänge von 13 h inklusive einer Mittagspause (1 h)
- Minimale Schichtlänge von 7 h inklusive einer Mittagspause (1 h)
- 12 h Ruhephase nach einer Schicht
- Jeder Schicht wird eine Mittagspause (1 h) zugewiesen

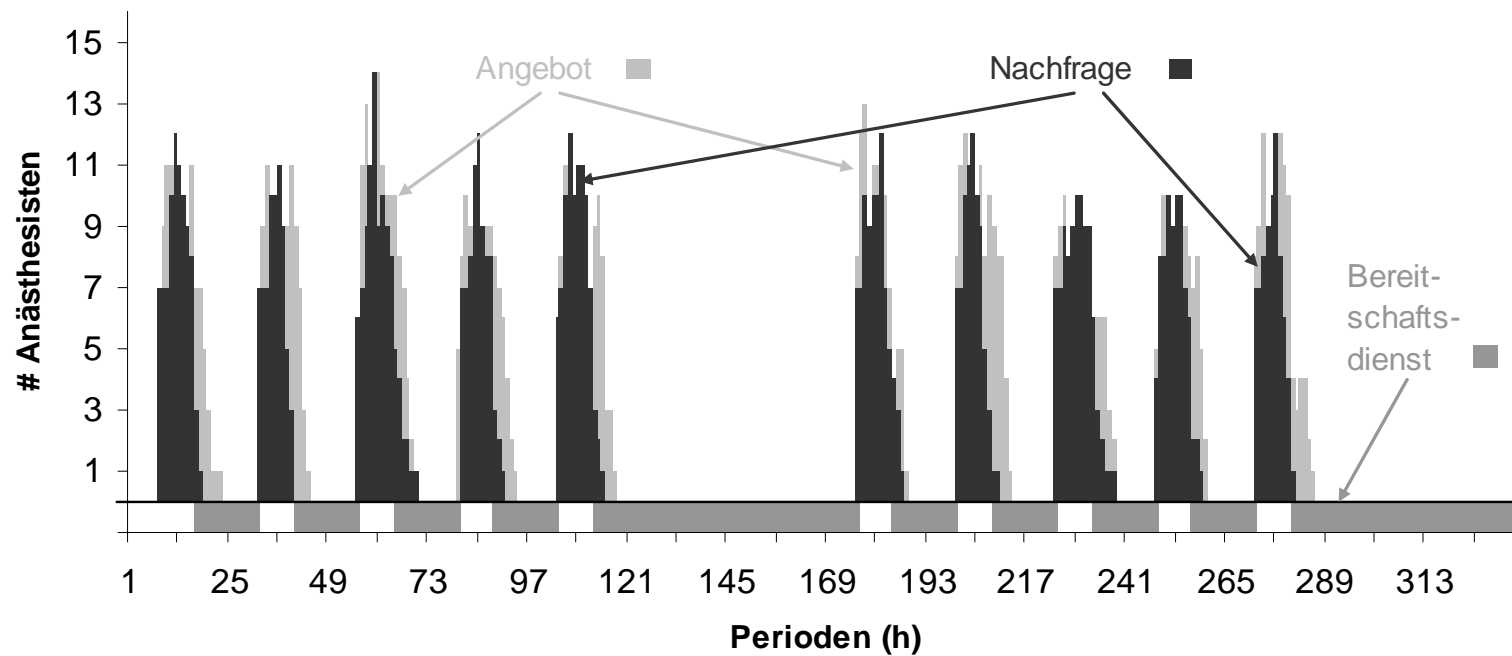
Vergleich mit momentaner Planung

→ Manuell erstellter Plan mit 160 ausbezahlten Überstunden



Vergleich mit momentaner Planung

→ Erstellter Plan ohne Überstunden



Detailergebnisse

- Keine ausbezahlten Überstunden
- Keine Überstunden
- Keine externen Ärzte, um Nachfragespitzen zu decken
- Keine Verletzung der individuellen oder generellen Arbeitsrichtlinien
- Mittagspausen werden in der Planung berücksichtigt
- Dennoch 154 Fehlstunden

Agenda

1. Motivation und Ziel der Forschungsarbeit
2. Modellierung als gemischt-ganzzahliges Programm (MIP)
3. Lösungsverfahren
4. Beispiel: Einplanung von Anästhesisten
5. Experimentelle Untersuchungen
6. Zusammenfassung und Ausblick

Überblick der experimentellen Studien

- Dekompositionsheuristik
 - Analyse verschiedener Modelleigenschaften
 - Parametrische Analyse
 - Analyse verschiedener Problemgrößen
- B&P-Algorithmus
 - Untersuchung verschiedener Planungshorizonte (2-, 4- und 6-Wochen Probleme)
 - Untersuchung der Verzeigungsstrategie (MPVarB vs. SPVarB)
 - Untersuchung der Belegschaftszusammensetzung (Vollzeitärzte vs. Teilzeitärzte)
 - Untersuchung verschiedener Nachfragestrukturen
- Vergleich beider Lösungsverfahren

Allgemeine Ergebnisse

- Erzeugung qualitativ hochwertiger Pläne
- Dekompositionsheuristik kann nicht alle Probleme optimal lösen
- Dekompositionsheuristik scheitert, die Untere Schranke zu verbessern
- B&P-Algorithmus erzeugt bessere Schranken
- Performance der Verzweigungsstrategien ist ungefähr gleich, jedoch benötigt SPVarB viel mehr Zeit als MPVarB
- B&P-Algorithmus zeigt eine sehr gute Performance bei Planungshorizonten von 2 und 4 Wochen
 - **B&P-Algorithmus übertrifft die Dekompositionsheuristik in Bezug auf Lösungszeit und -qualität**

Agenda

1. Motivation und Ziel der Forschungsarbeit
2. Modellierung als gemischt-ganzzahliges Programm (MIP)
3. Lösungsverfahren
4. Beispiel: Einplanung von Anästhesisten
5. Experimentelle Untersuchungen
6. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Einführung einer impliziten Schichtmodellierung für die Personaleinsatzplanung von Krankenhausärzten
- Entwicklung von zwei Lösungsverfahren:
 - Dekompositionsheuristik (Zerlegung nach Wochen)
 - B&P Algorithmus (Zerlegung nach Ärzten)
- Erzeugung qualitativ hochwertiger Pläne in akzeptabler Lösungszeit
- Die finalen Pläne ...
 - ... erlauben volle Flexibilität in Bezug auf Schichtstart und Schichtlänge,
 - ... berücksichtigen Mittagspausen sowie geplante Überstunden und
 - ... beachten die Einhaltung der Arbeitsverträge

Ausblick

- Entwicklung spezieller Algorithmen zur Lösung der Subprobleme (z.B. Netzwerkflussalgorithmen)
- Entwicklung verschiedener Heuristiken, um ganzzahlige Lösungen zu finden (z.B. Rundungsheuristiken, Metaheuristiken)
- Implementierung einer Software für den Einsatz im Krankenhaus
- Anwendung der impliziten Schichtformulierung auf andere Planungsprobleme in der Dienstleistungsindustrie (z.B. Postarbeiter, Personal am Check-in Schalter)

Benutzeroberfläche Software



- Start
- User data
- Schedules
- Day off requests
- Documentation
- Administration

requests > Create day off request

Create new day off request

Year/CW

Monday

Tuesday

Wednesday

Thursday

Friday

Saturday

Sunday

(A checked checkbox for a weekday equals requesting a day off on that day.)

You are here: Schedules > Show schedules in day view

Show black/white version
Open coloured print version
Open black/white print version

Schedule in day view for calendar week 12 in 2009 for Mr (landthal)

Date \ Time (since)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
Monday 16/03/2009																	
Tuesday 17/03/2009																	
Wednesday 18/03/2009																	
Thursday 19/03/2009																	
Friday 20/03/2009																	
Saturday 21/03/2009																	
Sunday 22/03/2009																	

Year	CW	Overtime hours	Missing hours	Salaried hours
2009	12	0	0	0

Legend: off duty on duty break assignment on call duty holiday

...Fragen?

Publikation und Arbeitspapier

- J. O. Brunner, J. F. Bard and R. Kolisch (2009): *Flexible Shift Scheduling of Physicians*, **Health Care Management Science**, 12(3), 285–305.
- J. O. Brunner, J. F. Bard and R. Kolisch (2009): *Midterm Scheduling of Physicians with Flexible Shifts Using Branch-and-Price*, in Begutachtung für **IIE Transactions**.