

## Lösung der Hausaufgabe für die zweite Lehrveranstaltung

Hinweis: Es gibt verschiedene Lösungswege, die aber alle zum selben Ergebnis führen. Im Folgenden wird ein Lösungsweg erläutert, dessen einzelne Schritte besonders gut begründbar sind.

### Fall 1 (unrealistisch)

Urlaub, Feiertage und krankheitsbedingte Ausfälle verteilen sich gleichmäßig über das Jahr.

#### (1.1a) Wie viele Schichten steht ein Fahrdienstleiter durchschnittlich pro Jahr zur Verfügung?

Ein Jahr wird gemäß Aufgabenstellung mit 365 Kalendertagen angesetzt.

Hinweis: Die Arbeitstage werden, wie in der Aufgabenstellung erläutert, entweder durch Schichteinsätze oder durch Bereitschaftsdienst abgeleistet (in der Praxis wird der Bereitschaftsdienst nicht – wie hier in der Aufgabenstellung angenommen – voll, sondern nur teilweise als Arbeitszeit angerechnet). Der konkrete Einsatz wird für jeden Fahrdienstleiter im wöchentlichen Schichtplan festgelegt.

Jeder Fahrdienstleiter leistet grundsätzlich pro Woche 5 Schichten à 8 Stunden im Zeitraum Montag bis Sonntag. Damit leistet jeder Fahrdienstleiter maximal **260,7143** (=365\*5/7) Schichten pro Jahr.

Davon müssen nun geeignet Nichtverfügbarkeiten wegen Feiertagen, Urlaub und Krankheit abgezogen werden:

#### Feiertage

Laut Aufgabenstellung erhält jeder Fahrdienstleiter für Arbeit an Feiertagen pro Jahr 6 zusätzliche freie Tage.

Damit verbleiben pro Fahrdienstleiter **254,7143** (=260,7143-6) verfügbare Schichten pro Jahr.

#### Hinweis für besonders interessierte Studierende:

‘Für Arbeit an Feiertagen pro Jahr 6 zusätzliche freie Tage für jeden Fahrdienstleiter’ ist eine stark vereinfachende Annahme. Eigentlich erhält nämlich nur, wer tatsächlich an einem Feiertag zur Schicht eingeplant wurde, einen zusätzlichen freien Tag.

Die 11 gesetzlichen Feiertage liegen während des Jahres verstreut (Ostersonntag oder Pfingstsonntag sind keine gesetzlichen Feiertage):

- Ostermontag und Pfingstmontag (sind an einem Montag),
- Fronleichnam und Christi Himmelfahrt (sind an einem Donnerstag),
- Karfreitag (ist an einem Freitag),
- Neujahrsfeiertag (ist am 1. Januar),
- Tag der Arbeit (ist am 1. Mai),
- Tag der deutschen Einheit (ist am 3. Oktober),
- Allerheiligen (ist am 1. November),
- 1. und 2. Weihnachtsfeiertag (sind am 25. und 26. Dezember).

Die Wahrscheinlichkeit der Einplanung an einem Kalendertag und damit auch an einem Feiertag hängt von der Zahl der vorhandenen Fahrdienstleiter ab. Sind z. B. 15 Fahrdienstleiter im Stellwerk beschäftigt, beträgt

die Wahrscheinlichkeit bei den 8 pro Tag erforderlichen Schichten 53,3% ( $=8/15$ ). Die Zahl der im Stellwerk beschäftigten Fahrdienstleiter ist aber erst nach Abschluss der im Folgenden durchzuführenden Berechnungen bekannt. Es ist deshalb eine so genannte rekursive Berechnung durchzuführen:

- In der ersten Runde gibt man eine bestimmte Zahl von Fahrdienstleitern vor, z. B. 16, und berechnet durch das im Folgenden erläuterte Verfahren die Zahl der erforderlichen Fahrdienstleiter.
- In der zweiten Runde verwendet man als Vorgabe die in der ersten Runde resultierende Zahl an Fahrdienstleitern und bestimmt dann wieder die erforderliche Zahl an Fahrdienstleitern.

Man rechnet so viele Runden, bis die resultierende Änderung der erforderlichen Fahrdienstleiter ausreichend klein ist.

Dieses Vorgehen könnte sehr gut im Rahmen einer Simulation umgesetzt werden.

Übrigens: Im Jahre 2008 fiel Christi Himmelfahrt mit dem Feiertag 'Tag der Arbeit' zusammen. Das letzte Mal passierte das im Jahr 1913 (da gab es aber noch keinen Tag der Arbeit), das nächste Mal erst wieder im Jahr 2160. Für unsere Berechnungen können wir also diese Möglichkeit des Zusammentreffens unberücksichtigt lassen.

## Ende des Hinweises

## Urlaub

Jeder Fahrdienstleiter hat 30 Arbeitstage Urlaub.

Wenn er im Urlaub einen Tag erkrankt, bekommt er einen weiteren Urlaubstag. Die Wahrscheinlichkeit des Erkrankens beträgt 8%. Im ersten Schritt bekommt er also durchschnittlich 2,4 ( $=30 \cdot 0,08$ ) zusätzliche Urlaubstage wegen Krankheit im Urlaub.

Die Wahrscheinlichkeit, an diesen 2,4 Tagen zu erkranken, beträgt wieder 8%; damit gibt es weitere 0,1920 ( $=2,4 \cdot 0,08 = 30 \cdot 0,08 \cdot 0,08$ ) zusätzliche Urlaubstage.

Die Wahrscheinlichkeit, an diesen 0,19 Tagen zu erkranken, beträgt wieder 8%; damit gibt es weitere 0,0154 ( $=0,194 \cdot 0,08 = 30 \cdot 0,08 \cdot 0,08 \cdot 0,08$ ) zusätzliche Urlaubstage, usw.

Es resultiert:

$$30 + 30 \cdot 0,08 + 30 \cdot 0,08^2 + 30 \cdot 0,08^3 + \dots = 30 \cdot (1 + 0,08 + 0,08^2 + 0,08^3 + \dots).$$

Eine unendliche geometrische Reihe dieser Form kann gemäß mathematischer Formelsammlung wie folgt berechnet werden:  $1 + x^1 + x^2 + x^3 + \dots = 1/(1-x)$ .

Insgesamt erhält jeder Fahrdienstleiter also durchschnittlich 32,6087 ( $=30 \cdot 1/(1-0,08)$ ) Urlaubstage, davon 30 originäre Urlaubstage zzgl. durchschnittlich 2,6087 zusätzliche Urlaubstage für Erkrankungen im Urlaub.

Es verbleiben pro Fahrdienstleiter 222,1056 ( $=254,7143 - 32,6087$ ) verfügbare Schichten pro Jahr.

## Krankheit

Von den verbleibenden 222,1056 verfügbaren Schichten ist jeder Fahrdienstleiter durchschnittlich an 17,7684 ( $=222,1056 \cdot 0,08$ ) verfügbare Schichten krank.

Es verbleiben 204,3372 ( $=222,1056 - 17,7684$ ) verfügbare Schichten.

**Ergebnis: Jeder Fahrdienstleiter steht pro Jahr für 204,34 Schichten zur Verfügung.**

1 **(1.1b) Wie viele Schichten steht ein Fahrdienstleiter durchschnittlich pro Woche zur**  
 2 **Verfügung?**

3 Ein Jahr hat 52,1429 ( $=365/7$ ) Wochen. Bei 204,34 verfügbaren Schichten pro Jahr steht  
 4 ein Fahrdienstleiter durchschnittlich 3,9188 ( $=204,3372/52,1429$ ) Schichten pro Woche zur  
 5 Verfügung.

6 **Ergebnis: Jeder Fahrdienstleiter steht pro Woche für 3,92 Schichten zur Verfügung.**

7 **(1.1c) Wie viele Schichten stehen durchschnittlich pro Woche bei 15 Fahrdienstlei-**  
 8 **tern zur Verfügung?**

9 Bei 15 Fahrdienstleitern stehen damit durchschnittlich 58,78 ( $=3,9188*15$ ) Schichten pro  
 10 Woche zur Verfügung.

11 **Ergebnis: Es stehen 58,78 Schichten pro Woche zur Verfügung.**

12 **(1.1d) Wie viele Schichten werden durchschnittlich pro Woche bei 15 Fahrdienstlei-**  
 13 **tern nur für Bereitschaftsdienste genutzt?**

14 Erforderliche Schichten pro Woche: 56 ( $=3*7*2+2*7$ ).

15 Insgesamt resultiert daraus ein **durchschnittlicher** Überschuss von 2,78 ( $=58,78-56$ )  
 16 Schichten pro Woche; 0,71 ( $=2,78/3,9188$ ) Fahrdienstleiter stehen also nur in Bereitschaft.

17 **Ergebnis: Nur für Bereitschaftsdienste werden pro Woche 2,78 Schichten genutzt.**

18 Hinweis: Genau das ist die Planung der Netzgesellschaft der Deutschen Bundesbahn.

19 **(1.2a) Wie viele Fahrdienstleiter benötigt man, falls die wöchentliche Arbeitszeit ma-**  
 20 **ximal 40 Stunden beträgt?**

21 **Schritt 1: Bedarf für den laufenden Betrieb**

22 **Falsche** Überlegung von Prof. JARASS: Wir benötigen für Montag bis Freitag 8 Fahr-  
 23 dienstleiter und für Samstag und Sonntag weitere 8 Fahrdienstleiter, insgesamt also 16  
 24 Fahrdienstleiter.

25 **Richtige** Überlegung: Bei der angenommenen gleichmässigen Verteilung von Feiertagen,  
 26 Urlaub und Krankheit steht (wie schon in Aufgabe (1.1b) berechnet) jeder Fahrdienstleiter durch-  
 27 schnittlich 3,9188 Schichten pro Woche zur Verfügung. Jeder Fahrdienstleiter steht ent-  
 28 weder für eine volle Schicht zur Verfügung oder er steht gar nicht zur Verfügung, weil zwar  
 29 Fahrdienstleiter in Teilzeit eingestellt werden können, aber laut Aufgabenstellung "keine  
 30 teilweise Ableistung von Schichten" zulässig ist.

31 Eine nicht unvernünftige Annahme (gefunden durch schrittweises Ausprobieren) könnte sein:  
 32 Durchschnittlich stehen die Fahrdienstleiter Nr. 1 bis Nr. 5 für 4 Schichten pro Woche zur  
 33 Verfügung, Fahrdienstleiter Nr. 6 aber nur für 3 Schichten pro Woche, Fahrdienstleiter Nr.  
 34 6 bis Nr. 12 für 4 Schichten pro Woche. Daraus resultieren pro Fahrdienstleiter durch-  
 35 schnittlich 3,9167 ( $=5*4+1*3+6*4)/(5+1+6)$ ) Schichten pro Woche, also ziemlich genau die in  
 36 Aufgabe (1.1b) berechneten 3,9188 Schichten pro Woche.

Werden noch mehr Schichten pro Woche benötigt, kommt die nächste Runde: Fahrdienstleiter Nr. 13 bis Nr. 17 stehen für 4 Schichten pro Woche zur Verfügung, Fahrdienstleiter Nr. 18 nur für 3 Schichten pro Woche, Fahrdienstleiter Nr. 19 bis Nr. 24 für 4 Schichten pro Woche, etc.

Eine mögliche Lösung für die erste Woche ist dann (in Analogie zum Vorschlag von stud. inf. Leonard STAHL, 1. Semester im WS 2013/14, gratuliere!):

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Früh-	1	1	1	1	2	2	2
schicht	2	3	3	3	3	4	4
06:00-14:00	4	4	5	5	5	5	6
Spät-	6	6	6	7	7	7	7
schicht	8	8	8	8	9	9	9
14:00-22:00	9	10	10	10	10	11	11
Nachtschicht	11	11	12	12	12	12	13
22:00-06:00	13	13	13	14	14	14	14

Der 14. Fahrdienstleiter steht maximal für 4 Schichten zur Verfügung. Davon benötigt man alle 4 Schichten.

Es sind also gemäß Schritt 1 mindestens 14,00 Fahrdienstleiter erforderlich.

### Schritt 2: Bedarf für das Abfeiern der Überstunden

In Schritt 1 wurden Feiertage, Urlaub und Krankheit nur in erster Abschätzung berücksichtigt. Nun ist zu prüfen: Können während des Jahres die aus Feiertagen, Krankheits- und Urlaubsvertretungen resultierenden Überstunden abgefeiert werden?

Jeder Fahrdienstleiter steht durchschnittlich pro Woche für 3,9188 (siehe Aufgabe 1.1b) Schichten zur Verfügung. 56 ( $=3 \cdot 7 \cdot 2 + 2 \cdot 7$ ) Schichten sind pro Woche erforderlich. Damit ergibt sich:  $3,9188 \cdot x = 56$ , also  $x = 14,2901$  ( $=56/3,9188$ ).

Es sind also gemäß Schritt 2 mindestens 14,29 Fahrdienstleiter erforderlich.

Man muss nun den größeren Wert gemäß Schritt 1 (14,00) und Schritt 2 (14,29) nehmen.

**Ergebnis: Es sind mindestens 14,29 Fahrdienstleiter erforderlich.**

### (1.2b) Wie viele Schichten werden dann durchschnittlich pro Woche nur für Bereitschaftsdienste genutzt?

Bei 14,29 Fahrdienstleitern stehen durchschnittlich 56,00 ( $=14,2901 \cdot 3,9188$ ) Schichten pro Woche zur Verfügung.

**Durchschnittlich** werden dann 0,00 ( $=56,00-56,00$ ) Schichten pro Woche für Bereitschaftsdienste genutzt, nur 0,00 ( $=0,00/3,9188$ ) Fahrdienstleiter stehen also in Bereitschaft.

Das ist aus Sicht des Netzbetreibers sehr wirtschaftlich.

**(1.3a) Wie viele Fahrdienstleiter benötigt man, falls die wöchentliche Arbeitszeit maximal 48 Stunden beträgt?**

**Schritt 1: Bedarf für den laufenden Betrieb**

**Falsche** Überlegung von Prof. JARASS: Wir benötigen für Montag bis Samstag 8 Fahrdienstleiter und für Sonntag weitere 8 Fahrdienstleiter, insgesamt also 16 Fahrdienstleiter.

**Richtige** Überlegung (in Analogie zu Aufgabe (1.2a)): Durchschnittlich stehen dann die Fahrdienstleiter Nr. 1 bis Nr. 5 für 4 Schichten plus 1 Überstundenschicht, insgesamt also für 5 Schichten pro Woche zur Verfügung, Fahrdienstleiter Nr. 6 aber nur für 4 (=3+1) Schichten pro Woche, Fahrdienstleiter Nr. 7 bis Nr. 12 wieder für 5 (=4+1) Schichten pro Woche.

Werden noch mehr Schichten pro Woche benötigt, kommt die nächste Runde: Fahrdienstleiter Nr. 13 bis Nr. 17 stehen für 5 (=4+1) Schichten pro Woche zur Verfügung, Fahrdienstleiter Nr. 18 nur für 4 (=3+1) Schichten pro Woche, Fahrdienstleiter Nr. 19 bis Nr. 24 wieder für 5 (=4+1) Schichten pro Woche, etc.

Eine mögliche Lösung für die erste Woche ist dann:

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Früh-	1	1	1	1	1	2	2
schicht	2	2	2	3	3	3	3
06:00-14:00	3	4	4	4	4	4	5
Spät-	5	5	5	5	6	6	6
schicht	6	7	7	7	7	7	8
14:00-22:00	8	8	8	8	9	9	9
Nachtschicht	9	9	10	10	10	10	10
22:00-06:00	11	11	11	11	11	12	12

Der 12. Fahrdienstleiter steht maximal für 4 Schichten plus eine Überstundenschicht zur Verfügung. Davon benötigt man 2 Schichten. Man benötigt also 0,5 (=2/4) Fahrdienstleiter in Teilzeit.

Es sind also gemäß Schritt 1 mindestens 12,50 Fahrdienstleiter erforderlich.

**Schritt 2: Bedarf für das Abfeiern der Überstunden**

In Schritt 1 wurden Feiertage, Urlaub und Krankheit nur in erster Abschätzung berücksichtigt. Nun ist zu prüfen: Können während des Jahres die aus Krankheit, Feiertagen und Urlaubsvertretungen resultierenden Überstunden abgefeiert werden?

Wie schon bei Aufgabe (1.2a) erläutert, benötigen wir gemäß Schritt 2 mindestens 14,29 Fahrdienstleiter.

Man muss nun den größeren Wert gemäß Schritt 1 (12,50) und Schritt 2 (14,29) nehmen.

**Ergebnis: Es sind mindestens 14,29 Fahrdienstleiter erforderlich.**

**(1.3b) Wie viele Schichten werden dann durchschnittlich pro Woche nur für Bereitschaftsdienste genutzt?**

56,00 (=14,2901\*3,9188) Schichten stehen pro Woche zur Verfügung.

**Durchschnittlich** werden dann wieder 0 (=56,00-56,00) Schichten pro Woche für Bereitschaftsdienste genutzt, 0 (=0,00/3,9188) Fahrdienstleiter stehen also in Bereitschaft.

Das ist aus Sicht des Netzbetreibers extrem wirtschaftlich.

**(1.4a) Wie viele Fahrdienstleiter benötigt man, falls die wöchentliche Arbeitszeit maximal 56 Stunden beträgt?**

**Schritt 1: Bedarf für den laufenden Betrieb**

**Falsche** Überlegung von Prof. JARASS: Wir benötigen für Mo bis So insgesamt 8 Fahrdienstleiter.

**Richtige** Überlegung (in Analogie zu Aufgabe (1.2a)): Durchschnittlich stehen dann die Fahrdienstleiter Nr. 1 bis Nr. 4 für 4 Schichten plus 2 Überstundenschichten, insgesamt also für 6 Schichten pro Woche zur Verfügung, Fahrdienstleiter Nr. 5 aber nur für 5 (=3+2) Schichten pro Woche, Fahrdienstleiter Nr. 6 bis Nr. 9 wieder für 6 (=5+1) Schichten pro Woche.

Werden noch mehr Schichten pro Woche benötigt, kommt die nächste Runde: Fahrdienstleiter Nr. 10 bis Nr. 13 stehen für 6 (=4+2) Schichten pro Woche zur Verfügung, Fahrdienstleiter Nr. 14 nur für 5 (=3+2) Schichten pro Woche, Fahrdienstleiter Nr. 15 bis Nr. 18 wieder für 6 (=4+2) Schichten pro Woche, etc.

Eine mögliche Lösung für die erste Woche ist dann:

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Früh-	1	1	1	1	1	1	2
schicht	2	2	2	2	2	3	3
<u>06:00-14:00</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>
Spät-	4	4	4	5	5	5	5
schicht	5	6	6	6	6	6	6
<u>14:00-22:00</u>	<u>7</u>	<u>7</u>	<u>7</u>	<u>7</u>	<u>7</u>	<u>7</u>	<u>8</u>
Nachtschicht	8	8	8	8	8	9	9
22:00-06:00	9	9	9	9	10	10	10

Der 10. Fahrdienstleiter steht maximal für 4 Schichten plus eine Überstundenschicht zur Verfügung. Davon benötigt man 3 Schichten. Den 10. Fahrdienstleiter benötigt man also in 0,75 (=3/4) Teilzeit.

Es sind also gemäß Schritt 1 mindestens 9,75 Fahrdienstleiter erforderlich.

**Schritt 2: Bedarf für das Abfeiern der Überstunden**

In Schritt 1 wurden Feiertage, Urlaub und Krankheit nur in erster Abschätzung berücksichtigt. Nun ist zu prüfen: Können während des Jahres die aus Krankheit, Feiertagen und Urlaubsvertretungen resultierenden Überstunden abgefeiert werden?

Wie schon bei Aufgabe (1.2a) erläutert, benötigen wir gemäß Schritt 2 mindestens 14,2901 Fahrdienstleiter.

Man muss nun den größeren Wert gemäß Schritt 1 (9,75) und Schritt 2 (14,37) nehmen.

**Ergebnis: Es sind mindestens 14,29 Fahrdienstleiter erforderlich.**

1 **(1.4b) Wie viele Schichten werden dann durchschnittlich pro Woche nur für Bereit-**  
2 **schaftsdienste genutzt?**

3 Ergebnis wie bei Aufgabe (1.2b): 56,00 (=14,2901\*3,9188) Schichten stehen pro Woche zur  
4 Verfügung.

5 **Durchschnittlich** werden dann wieder 0 (=56,00-56,00) Schichten pro Woche für Bereit-  
6 schaftsdienste genutzt, 0 (=0,00/3,9188) Fahrdienstleiter stehen also in Bereitschaft.

7 Das ist aus Sicht des Netzbetreibers extrem wirtschaftlich.

8 **Fall 2 (realistischer)**

9 Urlaub, Feiertage und krankheitsbedingte Ausfälle verteilen sich NICHT gleichmäßig über  
10 das Jahr; vielmehr sind maximal 4 Fahrdienstleiter zeitgleich für 3 Wochen in Urlaub und  
11 zeitgleich sind maximal 3 Fahrdienstleiter krank.

12 **(2.1a) Wie viele Schichten steht ein Fahrdienstleiter durchschnittlich pro Jahr zur**  
13 **Verfügung?**

14 **Ergebnis** wie bei Aufgabe (1.1a): **Jeder Fahrdienstleiter steht pro Jahr für 202,63**  
15 **Schichten zur Verfügung.**

16 **(2.1b) Wie viele Schichten steht ein Fahrdienstleiter durchschnittlich pro Woche zur**  
17 **Verfügung?**

18 **Ergebnis** wie bei Aufgabe (1.1b): **Jeder Fahrdienstleiter steht pro Woche für 3,92**  
19 **Schichten zur Verfügung.**

20 **(2.1c) Wie viele Schichten stehen durchschnittlich pro Woche bei 15 Fahrdienstlei-**  
21 **tern zur Verfügung?**

22 **Ergebnis** wie bei Aufgabe (1.1c): **Es stehen 58,78 Schichten pro Woche zur Verfü-**  
23 **gung.**

24 **(2.1d) Wie viele Schichten werden durchschnittlich pro Woche bei 15 Fahrdienstlei-**  
25 **tern nur für Bereitschaftsdienste genutzt?**

26 **Ergebnis** wie bei Aufgabe (1.1d): **Nur für Bereitschaftsdienste werden pro Woche 2,78**  
27 **Schichten genutzt.**

28 **(2.2a) Wie viele Fahrdienstleiter benötigt man, falls die wöchentliche Arbeitszeit ma-**  
29 **ximal 40 Stunden beträgt?**

30 **Schritt 1: Bedarf für den laufenden Betrieb**

31 Kritischer Fall: 7 Fahrdienstleiter sind zeitgleich in Urlaub oder krank.

32 **Falsche** Überlegung von Prof. JARASS: Wir benötigen für Montag bis Freitag 8 Fahr-  
33 dienstleiter und für Samstag und Sonntag weitere 8 Fahrdienstleiter, insgesamt also 16

1 Fahrdienstleiter plus 7 kranke oder urlaubende Fahrdienstleiter, insgesamt also 23 Fahr-  
2 dienstleiter.

3 **Richtige Überlegung:** Bei Fall 2 sind Urlaub und Krankheit schon durch den zeitgleichen  
4 Ausfall von 7 kranken oder urlaubenden Fahrdienstleitern abgedeckt. Die verbleibenden  
5 Fahrdienstleiter sind also voll verfügbar und können pro Woche maximal für 5 Schichten  
6 eingesetzt werden.

7 Eine mögliche Lösung für die erste Woche ist dann (in Analogie zu Aufgabe (1.2a)):

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
8							
9	Früh-	1	1	1	1	2	2
10	schicht	2	2	2	3	3	3
11	<u>06:00-14:00</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
12	Spät-	5	5	5	5	6	6
13	schicht	6	6	7	7	7	7
14	<u>14:00-22:00</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>9</u>
15	Nachtschicht	9	9	9	10	10	10
16	22:00-06:00	10	11	11	11	11	12

17 Der 12. Fahrdienstleiter steht maximal für 5 Schichten zur Verfügung. Davon benötigt man  
18 1 Schicht. Den 12. Fahrdienstleiter benötigt man also in  $0,20 (=1/5)$  Teilzeit.

19 Es sind also gemäß Schritt 1 mindestens 11,20 Fahrdienstleiter erforderlich, zzgl. 7,00  
20 kranke bzw. urlaubende Fahrdienstleiter, insgesamt also mindestens 18,20 Fahrdienstlei-  
21 ter.

## 22 **Schritt 2: Bedarf für das Abfeiern der Überstunden**

23 In Schritt 1 wurden Feiertage, Urlaub und Krankheit nur in erster Abschätzung berücksich-  
24 tigt. Nun ist zu prüfen: Können während des Jahres die aus Krankheit, Feiertagen und Ur-  
25 laubsvertretungen resultierenden Überstunden abgefeiert werden?

26 Wie schon bei Aufgabe (1.2a) erläutert, benötigen wir gemäß Schritt 2 mindestens 14,29  
27 Fahrdienstleiter.

28 Man muss nun den größeren Wert gemäß Schritt 1 (18,20) und Schritt 2 (14,29) nehmen.

29 **Ergebnis: Es sind mindestens 18,20 Fahrdienstleiter erforderlich.**

## 30 **(2.2b) Wie viele Schichten werden dann durchschnittlich pro Woche nur für Bereit-** 31 **schaftsdienste genutzt?**

32 Bei 18,20 Fahrdienstleitern stehen durchschnittlich  $71,32 (=18,20 \cdot 3,9188)$  Schichten pro Wo-  
33 che zur Verfügung.

34 **Durchschnittlich** werden dann  $15,32 (=71,32/3,9188)$  Schichten pro Woche für Bereit-  
35 schaftsdienste genutzt,  $3,91 (=15,32/3,9188)$  Fahrdienstleiter stehen also durchschnittlich in  
36 Bereitschaft.

37 Das ist aus Sicht des Netzbetreibers unwirtschaftlich.

1 **(2.3a) Wie viele Fahrdienstleiter benötigt man, falls die wöchentliche Arbeitszeit ma-**  
 2 **ximal 48 Stunden beträgt?**

3 Kritischer Fall: 7 Fahrdienstleiter sind parallel in Urlaub oder krank.

4 **Falsche** Überlegung von Prof. JARASS: Wir benötigen für Montag bis Samstag 8 Fahr-  
 5 dienstleiter und für Samstag und Sonntag weitere 8 Fahrdienstleiter, insgesamt also 16  
 6 Fahrdienstleiter plus 7 Fahrdienstleiter, die zeitgleich in Urlaub oder krank sind, insgesamt  
 7 also 23 Fahrdienstleiter.

8 **Richtige** Überlegung: Bei Fall 2 sind Urlaub und Krankheit schon durch den zeitgleichen  
 9 Ausfall von 7 kranken oder urlaubenden Fahrdienstleitern abgedeckt. Die verbleibenden  
 10 Fahrdienstleiter sind also voll verfügbar und können pro Woche maximal für 5 Schichten  
 11 plus maximal 1 zusätzliche Schicht eingesetzt werden.

12 Eine mögliche Lösung für die erste Woche ist dann (in Analogie zu Aufgabe (2.2a)):

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Früh-	1	1	1	1	1	1	2
schicht	2	2	2	2	2	3	3
06:00-14:00	3	3	3	3	4	4	4
Spät-	4	4	4	5	5	5	5
schicht	5	5	6	6	6	6	6
14:00-22:00	6	7	7	7	7	7	7
Nachtschicht	8	8	8	8	8	8	9
22:00-06:00	9	9	9	9	9	10	10

22 Der 10. Fahrdienstleiter steht maximal für 5 Schichten plus eine Überstundenschicht zur  
 23 Verfügung. Davon benötigt man 3 Schichten. Den 10. Fahrdienstleiter benötigt man also in  
 24 0,60 (=3/5) Teilzeit. Es sind also mindestens 9,60 Fahrdienstleiter erforderlich zzgl. 7,00  
 25 kranke bzw. urlaubende Fahrdienstleiter, insgesamt 16,60 Fahrdienstleiter.

26 Insgesamt sind also gemäß Schritt 1 mindestens 16,60 Fahrdienstleiter erforderlich.

27 **Schritt 2: Bedarf für das Abfeiern der Überstunden**

28 In Schritt 1 wurden Feiertage, Urlaub und Krankheit nur in erster Abschätzung berücksich-  
 29 tigt. Nun ist zu prüfen: Können während des Jahres die aus Krankheit, Feiertagen und Ur-  
 30 laubsvertretungen resultierenden Überstunden abgefeiert werden?

31 Wie schon bei Aufgabe (1.2a) erläutert, benötigen wir gemäß Schritt 2 mindestens 14,29  
 32 Fahrdienstleiter.

33 Man muss nun den größeren Wert gemäß Schritt 1 (16,60) und Schritt 2 (14,29) nehmen.

34 **Ergebnis: Es sind mindestens 16,60 Fahrdienstleiter erforderlich.**

35 **(2.3b) Wie viele Schichten werden dann durchschnittlich pro Woche nur für Bereit-**  
 36 **schaftsdienste genutzt?**

37 Bei 16,60 Fahrdienstleitern stehen durchschnittlich 65,05 (=16,60\*3,9188) Schichten pro Wo-  
 38 che zur Verfügung.

**Durchschnittlich** werden dann 9,05 (=65,05-56,00) Schichten pro Woche für Bereitschaftsdienste genutzt, 2,31 (=9,05/3,9188) Fahrdienstleiter stehen also durchschnittlich in Bereitschaft.

Das ist aus Sicht des Netzbetreibers eher wirtschaftlich.

### **(2.4a) Wie viele Fahrdienstleiter benötigt man, falls die wöchentliche Arbeitszeit maximal 56 Stunden beträgt?**

Kritischer Fall: 7 Fahrdienstleiter sind parallel in Urlaub oder krank.

**Zufällig richtige** Überlegung von Prof. JARASS: Wir benötigen für Montag bis Sonntag insgesamt 8 Fahrdienstleiter plus 7 kranke oder urlaubende Fahrdienstleiter, insgesamt also 15 Fahrdienstleiter.

**Richtige** Überlegung: Bei Fall 2 sind Urlaub und Krankheit schon durch den zeitgleichen Ausfall von 7 kranken oder urlaubenden Fahrdienstleitern abgedeckt. Die verbleibenden Fahrdienstleiter sind also voll verfügbar und können pro Woche maximal für 5 Schichten plus maximal 2 zusätzliche Schichten eingesetzt werden.

Eine mögliche Lösung für die erste Woche ist dann (in Analogie zu Aufgabe (2.3a)):

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Früh-	1	1	1	1	1	1	1
schicht	2	2	2	2	2	2	2
06:00-14:00	3	3	3	3	3	3	3
Spät-	4	4	4	4	4	4	4
schicht	5	5	5	5	5	5	5
14:00-22:00	6	6	6	6	6	6	6
Nachtschicht	7	7	7	7	7	7	7
22:00-06:00	8	8	8	8	8	8	8

Der 8. Fahrdienstleiter steht maximal für 5 Schichten plus zwei Überstundenschichten zur Verfügung. Davon benötigt man alle verfügbaren 7 Schichten. Es sind also mindestens 8,00 Fahrdienstleiter erforderlich zzgl. 7,00 kranke bzw. urlaubende Fahrdienstleiter, insgesamt 15,00 Fahrdienstleiter.

Insgesamt sind also gemäß Schritt 1 mindestens 15,00 Fahrdienstleiter erforderlich.

### **Schritt 2: Bedarf für das Abfeiern der Überstunden**

In Schritt 1 wurden Feiertage, Urlaub und Krankheit nur in erster Abschätzung berücksichtigt. Nun ist zu prüfen: Können während des Jahres die aus Krankheit, Feiertagen und Urlaubsvertretungen resultierenden Überstunden abgefeiert werden?

Wie schon bei Aufgabe (1.2a) erläutert, benötigen wir gemäß Schritt 2 mindestens 14,29 Fahrdienstleiter.

Man muss nun den größeren Wert gemäß Schritt 1 (15,00) und Schritt 2 (14,29) nehmen.

**Ergebnis: Es sind mindestens 15,00 Fahrdienstleiter erforderlich.**

1 Hinweis: Das entspricht übrigens genau dem von der Netzgesellschaft der Deutschen  
2 Bundesbahn eingeplanten Bestand an Fahrdienstleitern für den Standort Mainz.

3 **(2.4b) Wie viele Schichten werden dann durchschnittlich pro Woche nur für Bereit-**  
4 **schaftsdienste genutzt?**

5 Bei 15,00 Fahrdienstleitern stehen durchschnittlich 58,78 ( $=15,00 \cdot 3,9188$ ) Schichten pro Wo-  
6 che zur Verfügung.

7 **Durchschnittlich** werden dann 2,78 ( $=58,78-56,00$ ) Schichten pro Woche für Bereitschafts-  
8 dienste genutzt, nur 0,71 ( $=2,78/3,9188$ ) Fahrdienstleiter stehen also durchschnittlich in Be-  
9 reitschaft.

10 Das ist aus Sicht des Netzbetreibers sehr wirtschaftlich.

11

12 Hinweis 1: Es wäre also für die Deutsche Bahn sehr interessant, den Mitarbeitern für sel-  
13 tene, aber dann kurzzeitig sehr viele Überstunden hohe Zuschläge oder, noch besser, ei-  
14 nen sehr hohen Zeitausgleich zu bezahlen (z. B. 2 Freischichten für jede Überstundenschicht).

15 Hinweis 2: Die maximale wöchentliche Arbeitszeit ist gesetzlich auf 60 Stunden begrenzt,  
16 soweit durchschnittlich innerhalb von 6 Monaten 48 Stunden pro Woche nicht überschrit-  
17 ten werden.

18