

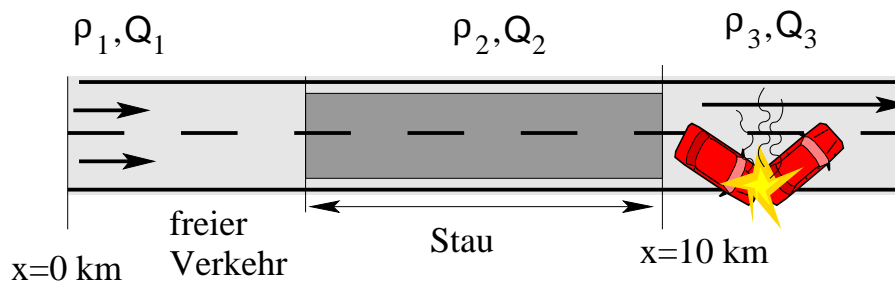
|       |          |               |
|-------|----------|---------------|
| Name: | Vorname: | Matrikel-Nr.: |
|-------|----------|---------------|

## Klausur zur Vorlesung Verkehrsmodellierung und -simulation SS 2005

Insgesamt 120 Punkte

### Aufgabe 1 (40 Punkte)

Untersucht wird der Verkehrsfluss auf einem Fernstraßenabschnitt mit zwei Richtungsfahrbahnen zwischen Streckenkilometer 0 und 10 während und nach der Sperrung einer Spur infolge eines Unfalls bei Kilometer 10 um 15:00 h. Im betrachteten Zeitraum liegt die Verkehrsnachfrage auf diesem Abschnitt konstant bei 3024 Fahrzeugen/h. Die Spursperrung dauert bis zur Räumung des Unfalls um 15:30 h an.

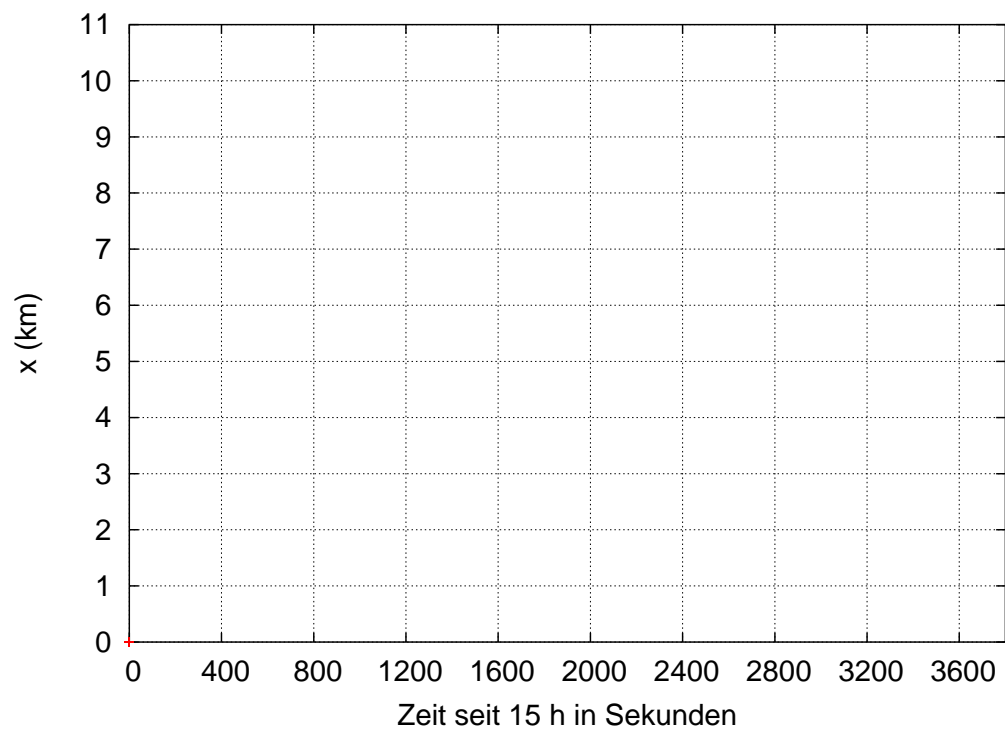


Der Verkehrsfluss wird mit dem "Section-Based Model" unter Verwendung der Parameter  $s_0 = 4$  m,  $T = 1.5$  s,  $v_0 = 28$  m/s und einer mittleren Fahrzeuglänge von 4 m modelliert.

- Berechnen Sie zunächst die Streckenkapazität pro Spur und die Gesamtkapazität vor dem Unfall. Ist die Kapazität ausreichend? Welche Verkehrsdichte herrscht auf der Strecke? Wie hoch ist die Reisezeit zum Durchfahren des 10 km langen Abschnitts (Streckenkilometer 0 bis 10)?
- Zeigen Sie, dass die Kapazität einer Spur geringer als die Nachfrage ist, es also ab 15 h an der Unfallstelle zu einem Stau kommt. Wie hoch ist die Verkehrsdichte im Bereich gestauten Verkehrs? Berücksichtigen Sie dabei, dass im verwendeten Modell der Ausfluss aus dem Stau gleich dem maximal möglichem Fluss ist und sich die Fahrzeuge, wo dies möglich ist, gleichmäßig auf beiden Spuren verteilen.
- Mit welcher Geschwindigkeit breitet sich die stromaufwärtige Staufront aus? Falls Sie (b) nicht gerechnet haben, rechnen Sie im Stau mit einer Dichte von 72.5 Fz/km/Spur und einem Fluss von 1008 Fz/h/Spur. *Tipp:* Unterscheiden Sie sorgfältig Verkehrsdichten und Flüsse auf der Gesamtfahrbahn und spurbezogene Dichten und Flüsse!
- Nach Räumung der Unfallstelle sind beide Spuren wieder frei und der Stau löst sich von der Unfallstelle her auf. Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich der Übergang Stau  $\rightarrow$  freier Verkehr stromaufwärts? Wann löst sich der Stau vollständig auf? *Tipp:* Angabe in Sekunden seit 15:00 genügt.

|       |          |               |
|-------|----------|---------------|
| Name: | Vorname: | Matrikel-Nr.: |
|-------|----------|---------------|

(e) Zeichnen Sie die Grenzen des Verkehrsstaus in folgendes raumzeitliches Diagramm.



|       |          |               |
|-------|----------|---------------|
| Name: | Vorname: | Matrikel-Nr.: |
|-------|----------|---------------|

**Aufgabe 2 (40 Punkte, alternativ zu Aufgabe 3!)**

Gegeben ist ein Fahrzeug mit folgenden Kenngrößen:

|   |                       |
|---|-----------------------|
| Grundleistung $P_0$ der Nebenaggregate (ohne Klimaanlage) | 2 kW                  |
| Fahrzeugmasse (leer)                                      | 1200 kg               |
| Reibungskoeffizient                                       | 0.02                  |
| $C_w$ -Wert ohne/mit Dachträger                           | 0.3 bzw. 0.38         |
| Stirnfläche   | 2 m <sup>2</sup>      |
| Dichte der Luft   | 1.3 kg/m <sup>3</sup> |
| Gravitationskonstante                                     | 10 m/s <sup>2</sup>   |

Das Fahrzeug besitzt eine Schubabschaltung, es wird also kein Kraftstoff verbraucht, wenn man die Motorbremse beim Abbremsen oder Bergabfahren nutzt.

- (a) Diskutieren Sie, welche der folgenden Aussagen bezüglich des Kraftstoffverbrauches korrekt sind und welche nicht. Begründen Sie ihr Ergebnis, indem Sie zeigen, an welcher Formel aus dem Skript und an welcher Stelle sich der Inhalt der Aussage auswirkt. Rechnen Sie ggf. explizit die Änderungen aus.
- (a2) Der Mehrverbrauch durch Dachgepäckträger wirkt sich vor allem in der Stadt aus.
- (a3) Der Mehrverbrauch durch Klimaanlage wirkt sich vor allem in der Stadt aus.
- (a4) Fährt man bergab im Leerlauf statt mit Motorbremse, schadet das zwar den Bremsen, führt aber zu geringerem Verbrauch.
- (a1) Auf Autobahnen (Geschwindigkeit 144 km/h) kann man wesentlich (d.h. mehr als 2%) Benzin sparen, wenn man nicht volltankt, sondern den Tank nur zur Hälfte füllt und dafür häufiger auftankt (Tankfüllung 60 l).
- (a5) Tempo-30 Zonen statt Tempo 50 reduzieren den Kraftstoffverbrauch
- (a6) Tempo 130 statt 150 reduziert den Kraftstoffverbrauch deutlich.

Nehmen Sie für diesen Aufgabenteil einen konstanten Wirkungsgrad des Motors an.

*Tipp:* Da es nur um Änderungen geht, kommt es auf den genauen Wert gar nicht an. Bei den letzten drei Teilfragen ist es sinnvoll, zunächst zu begründen, warum der Kraftstoffverbrauch proportional zu  $P/v$  (Motorleistung durch Geschwindigkeit) ist. Dann reicht es aus, lediglich die entsprechenden Werte von  $P/v$  zu vergleichen.

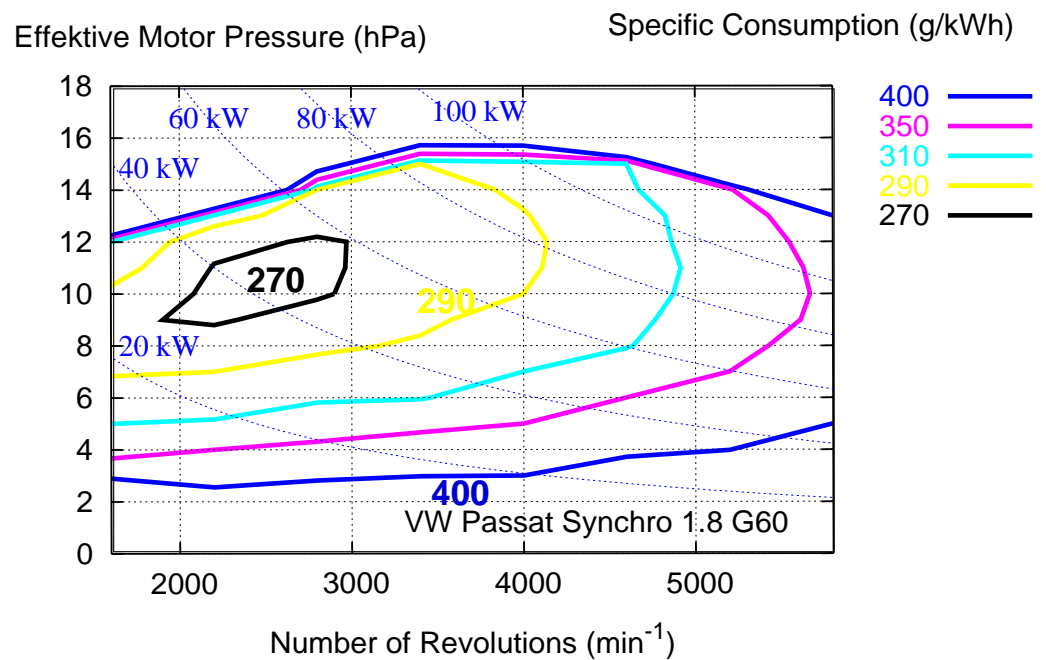
- (b) Unter welchen Bedingungen verbraucht man im Mittel mehr Treibstoff pro km:
- (i) Konstantfahrt mit 150 km/h auf einer ebenen Autobahn,
- (ii) Pass-Straße mit Steigung  $\beta = 10\%$ , die man im Aufstieg mit 72 km/h sowie bei der Abfahrt mit Motorbremse fährt.

Berücksichtigen Sie, dass die Hangabtriebskraft einen zusätzlichen Beitrag  $\beta mg$  zum Fahrwiderstand liefert und nehmen Sie einen konstanten spezifischen Verbrauch von 300 g/kWh an.

*Tipp:* Dann ist auch der Wirkungsgrad in beiden Fällen derselbe.

|       |          |               |
|-------|----------|---------------|
| Name: | Vorname: | Matrikel-Nr.: |
|-------|----------|---------------|

- (c) In diesem Aufgabenteil wird ein vom Betriebszustand des Motors abhängiger spezifischer Verbrauch (verbrauchte Kraftstoffmasse pro abgegebener mechanische Arbeit) gemäß folgendem Kennfeld betrachtet. Zusätzlich ist auch die im jeweiligen Betriebszustand abgegebene Leistung (punktiert) eingetragen.



- (i) Welche Leistung erhält man bei 2600 Umdrehungen pro Minute, wenn man Vollgas gibt?
- (ii) Ist es bergauf bei einer benötigte Leistung von 40 kW besser, bei niedriger Drehzahl (2600 pro Minute) viel Gas zu geben oder bei höherer Drehzahl (4000 pro Minute) entsprechend weniger Gas?

|       |          |               |
|-------|----------|---------------|
| Name: | Vorname: | Matrikel-Nr.: |
|-------|----------|---------------|

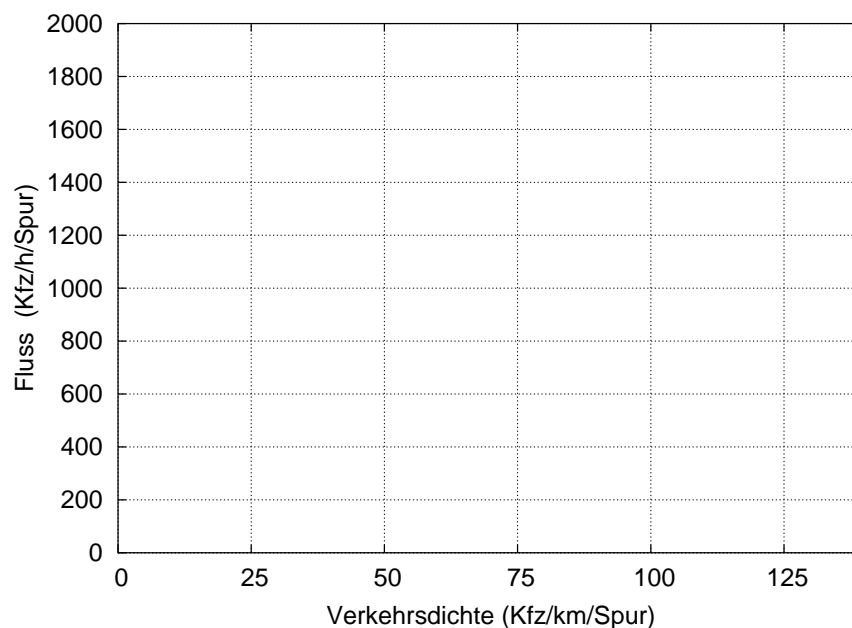
### Aufgabe 3: Mikromodell (40 Punkte, alternativ zu Aufgabe 2!)

Gegeben ist ein Fahrzeugfolgemodell, das durch folgende Beschleunigungsgleichung beschrieben wird:

$$\frac{dv}{dt} = \begin{cases} a & \text{falls } v < \min(v_0, v_{\text{safe}}), \\ 0 & \text{falls } v = \min(v_0, v_{\text{safe}}), \\ -a & \text{sonst,} \end{cases} \quad v_{\text{safe}} = -aT + \sqrt{a^2T^2 + v_p^2 + 2a(s - s_0)}.$$

Hierbei bedeuten  $v_p$  die Geschwindigkeit des Vorderfahrzeugs und  $s$  der Stoßstange-zu-Stoßstange-Abstand zu diesem.

- Erläutern Sie die Bedeutung der Modellparameter  $a$ ,  $s_0$ ,  $v_0$  und  $T$ , indem Sie (i) die Beschleunigung bei freier Strecke, (ii) das Folgeverhalten bei gleichbleibendem Abstand und konstanter Geschwindigkeit, (iii) das Abbremsen vor einem einzelnen stehenden Fahrzeug betrachten. (Einfaches Abschreiben der Bedeutung von ähnlichen Modellen aus dem Skript reicht nicht!)
- Welche Werte würden sich für  $s_0$  und  $T$  ergeben, wenn die modellierten Fahrer beim Kolonnenfahren der Fahrschulformel “Abstand gleich halber Tacho” gehorchten?
- Es sei nun  $v_0 = 20 \text{ m/s}$ ,  $a = 1 \text{ m/s}^2$ ,  $T = 1.6 \text{ s}$  und  $s_0 = 3 \text{ m}$ . Bestimmen Sie die Gleichgewichtsgeschwindigkeit  $v_e(s)$  als Funktion des Abstandes sowie das Fundamentaldiagramm für 5 m lange Fahrzeuge. Zeichnen Sie das Fundamentaldiagramm in die folgende Abbildung:



- Nehmen Sie für diesen Aufgabenteil  $T = 0$  an. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit als Funktion der Zeit für ein zur Zeit  $t = 0$  am Ort  $x = 0$  aus dem Stillstand anfahrenes Fahrzeug, welches vor einer roten Ampel bei  $x = 603 \text{ m}$  wieder anhalten muss.

*Hinweis:* Die Ampel wird durch ein stehendes, “virtuelles” Fahrzeug modelliert; im Verlauf der Fahrt wird die Wunschgeschwindigkeit erreicht.

|       |          |               |
|-------|----------|---------------|
| Name: | Vorname: | Matrikel-Nr.: |
|-------|----------|---------------|

**Aufgabe 4 (40 Punkte)**

(a) Beschreiben Sie jeweils knapp (1 Satz), was man unter folgenden Begriffen versteht:

1. Verkehrsumlegung,
2. CR-Funktion,
3. Nutzergleichgewicht und Wardrop-Bedingung,
4. System-Optimum.

(b) Beantworten Sie kurz folgende Fragen:

(i) Was versteht man unter dem “Braess’schen Paradoxon”? Unter welchen Bedingungen könnte eines entstehen? Diskutieren Sie dies anhand von Neuplanungen von Brücken hoher Kapazität (wie die der Waldschlösschenbrücke).

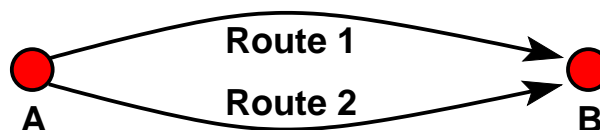
*Hinweis:* Anbindungen!

(ii) Kann bei durch CR-Funktionen beschriebenen Streckenelementen das Verkehrsaufkommen (Fahrzeuge pro Zeiteinheit) größer als die Kapazität werden? Wenn ja, erläutern Sie, warum dies dennoch keinen Widerspruch darstellen würde.

(c) Der Weg von Ausgangspunkt  $A$  nach Zielpunkt  $B$  kann über zwei Routen zurückgelegt werden (siehe Skizze). Beide Routen  $i$  haben dieselbe Kapazität  $K$ . Die Reisezeiten auf den jeweiligen Strecken in Abhängigkeit des jeweiligen Verkehrsaufkommens  $Q_i$  werden durch eine quadratische CR-Funktion der Form

$$T_i(Q_i)/T_{i0} = \left[ 1 + \left( \frac{Q_i}{K} \right)^2 \right]$$

beschrieben. Im leerem Netzwerk (keine Verkehrsnachfrage) ist die Reisezeit auf Route 1 gleich 5 Minuten und die auf Route 2 gleich 10 Minuten. Führen Sie eine Umlegung in Abhängigkeit der Verkehrsnachfrage  $Q_{AB}$  durch.



Geben Sie den Anteil  $\alpha(q)$  der Verkehrsnachfrage, der über Route 1 läuft, als Funktion der auf die Kapazität bezogene relative Verkehrsnachfrage  $q = Q_{AB}/K$  an.

Ab welchem Wert von  $q$  werden erstmals beide Strecken benutzt? Gegen welchen Wert konvergieren die Belegungsanteile für sehr hohe Verkehrsnachfragen? Können die Reisezeiten für bestimmte Werte der normierten Nachfrage auf beiden Routen unterschiedlich sein? Was muss dann für die Verkehrsstrom-Anteile gelten?

(d) Berechnen Sie für die Nachfrage  $Q_{AB} = K$  den Verkehrsanteil  $\alpha_{\text{opt}}$  für das Systemoptimum und vergleichen Sie ihn mit dem Ergebnis der Umlegung aus Teil (c).