Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Klausur zur Vorlesung
Verkehrsmodellierung und -simulation
SS 2003

Insgesamt 120 Punkte

Aufgabe 1 (40 Punkte)

(a) Beschreiben Sie jeweils knapp (1-2 Sätze) die vier grundlegenden Verfahren der Verkehrsplanung:

1. Erzeugung
2. Verteilung
3. Aufteilung
4. Umlegung

Versuchen Sie dabei, folgende Begriffe unterzubringen: Bewertungsmatrix, Bezirke, Capacity-Restraint (CR-) Funktionen, Entropie, Fahrtenmatrix, Gravitationsmodell, Modal-Split, Quell- und Zielsummen, Quelle-Ziel-Gruppe, Raumstrukturdaten, Spezifisches Verkehrsaufkommen, Verkehrsstrommatrix, Widerstandsfunktionen, Zeitscheiben.

(b) In Zukunft soll ein gewisser Anteil von mit GPS-Systemen ausgestatteten Fahrzeugen (Genauigkeit: etwa 20 m) in festen Zeitpunkten (anonymisiert) Orte und dazugehörige Zeiten an eine Verkehrsleitzentrale senden. Was könnte man mit diesen Daten zumindest ungefähr rekonstruieren?

- Trajektorien (Orts-Zeit-Linien) einzelner Fahrzeuge,
- Orte und Zeiten von Spurwechseln
- Verkehrsdichte
- Verkehrsfluss
- Geschwindigkeit,
- Länge von Staus und Lage von Staufronten

Geben Sie jeweils eine kurze Begründung

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

(c) Gegeben ist ein einminütiger Ausschnitt eines Messprotokolls eines stationären Detektors:

Zeit	07:00:05.8	07:00:08.1	07:00:14.5	07:00:43.8	07:00:47.8
Geschwindigkeit (km/h)	70	82	87	112	110

Berechnen Sie daraus (i) den Verkehrsfluss, (ii) die Dichte auf Basis des arithmetischen Geschwindigkeitsmittels $\bar{V} = \frac{1}{n}\sum_{\alpha=1}^{n} v_\alpha$, (iii) die Dichte auf Basis des harmonischen Geschwindigkeitsmittels $1/V_H = \frac{1}{n}\sum_{\alpha=1}^{n} 1/v_\alpha$.

(d) Das Kühne-Kerner-Konhäuser Modell ist stabil, falls

$$\rho \left| \frac{d\ V_e(\rho)}{d\ \rho} \right| < \sqrt{\theta_0}$$

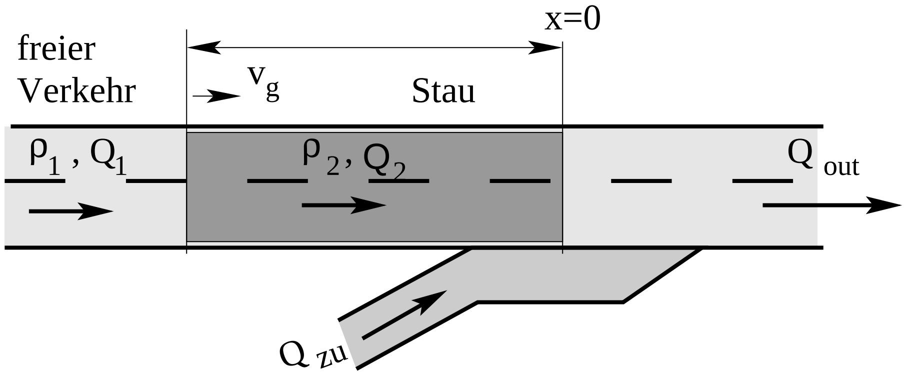
Berechnen Sie den Dichte-Bereich der Instabilität für $\theta_0 = (10\ \mathrm{m/s})^2$, falls die Geschwindigkeits-Dichte-Relation gegeben ist durch

$$V_e(\rho) = \frac{V_0}{1 + \left(\frac{\rho}{\rho_c}\right)^2}$$

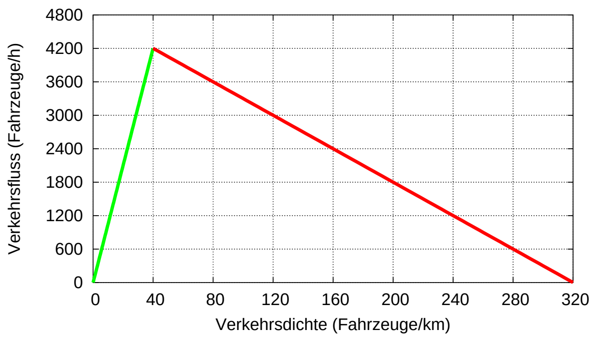
mit $V_0 = 30$ m/s und $\rho_c = 30$ Kfz/km. Für welchen minimalen Wert von θ_0 ist das Modell für alle Dichten stabil?

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 2: Fortpflanzung von Störungen (50 Punkte)



Auf der abgebildeten zweispurigen Autobahn kommt es in der morgendlichen Rush-hour zu zähfließendem Verkehr hinter der abgebildeten Zufahrt. Das Verkehrsaufkommen auf dieser Autobahn (beide Spuren zusammengenommen) steigt in der Zeit von 7:00 h bis 7:30 h linear von 3400 Kfz/km auf 4000 Kfz/h und nimmt danach linear bis auf 3100 Kfz/h um 9:00 ab. Von der Zufahrt fließen, unabhängig vom Verkehrszusammenbruch, konstant 400 Kfz/h auf die Autobahn.
Nehmen Sie an, dass sich sowohl der freie als auch der zähfließende Verkehr hinter der Engstelle im Gleichgewicht befindet, der zähfließende Verkehr in Höhe der Zufahrt ($x = 0$) in freien Verkehr übergeht sowie der über die beiden Spuren summierte Verkehrsfluss durch folgendes Fundamentaldiagramm gegeben ist:



(a) Zeigen Sie zunächst, dass mit der Zeit-Definition

$$\tau = \frac{t - t_0}{1 \text{ Minute}}, \quad t_0 = 7:00 \text{ h}$$

für das Verkehrsaufkommen gilt:

$$Q_1(\tau) = \begin{cases} (3400 + 20\tau) \text{ Kfz/h} & \text{für } 0 < \tau \leq 30, \\ (4300 - 10\tau) \text{ Kfz/h} & \text{für } \tau > 30. \end{cases}$$

Zeigen Sie außerdem, dass der Verkehr um t_c = 7:20 h zusammenbricht. Berücksichtigen Sie dabei, dass der Ausfluss Q_{out} nicht größer als der Maximalwert des Fundamentaldiagramms werden kann!

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

(b) Zeigen Sie anhand des Fundamentaldiagramms, dass für gebundenen Verkehr (=Stau oder zähfließender Verlehr) folgende Dichte als Funktion des Flusses gilt (alle Größen sind Summen über beide Spuren):

$$\rho_{\text{cong}}(Q) = (1 - \frac{TQ}{2})\rho_{\text{jam}}$$

mit $\rho_{\text{jam}} = 320$ Fz/km und $T = 1.5$ s.

(c) Berechnen Sie die Dichte im Bereich gebundenen Verkehrs unter der Voraussetzung, dass keine Hysteresis-Effekte auftreten, so dass Q_{out} gleich dem maximal möglichen Wert ist.
Hinweis: Flussbilanz an der Einfahrt!

(d) Mit welcher Geschwindigkeit pflanzt sich der Übergang freier Verkehr $\Rightarrow$ gebundener Verkehr ("stromaufwärtiges Stauende") als Funktion der Zeit unmittelbar nach Zusammenbruch ($\tau = 20$) fort? Wie groß ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Dichte- und Fluss-Schwankungen innerhalb des gebundenen Verkehrs?
Hinweis: Falls Sie (c) nicht gelöst haben, rechnen Sie im zähfließenden Verkhr mit einer Dichte von $\rho_2 = 67$ Kfz/km und einem Fluss von $Q_2 = 3800$ Kfz/h.

(e) Wann wird die maximale Staulänge erreicht? Wie groß ist sie? (Flussbilanz integrieren!) Wie lange müssen die Fahrer maximal im zähfließenden Verkehr bzw. Stau fahren?

(f) Wann löst sich der zähfließende Verkehr wieder auf?
Hinweis: Geben Sie zunächst, ausgehend von der Integration der Flussbilanzgleichung, eine Bestimmungsgleichung an, bei dem der Auflösungs-Zeitpunkt in den Integrationsgrenzen steht. Integrieren Sie und lösen Sie die sich ergebende quadratische Gleichung.

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 3: Fundamentaldiagramm (30 Punkte, alternativ zu Aufgabe 4!)

Ausgehend von Verkehrsmessungen und Detektordaten wurden auf einem Autobahnabschnitt folgende Größen ermittelt: Mittlere Fahrzeuglänge: $l = 4.67$ m, mittl. Abstand bei zähfließendem Verkehr: $s = s_0 + vT$ mit $s_0 = 2$ m und $T = 1.6$ s, Geschwindigkeit bei sehr geringem Verkehr: 120 km/h, Verkehrsdichte beim Zusammenbruch freier Verkehr → Stau: 20 Kfz/km/Spur.

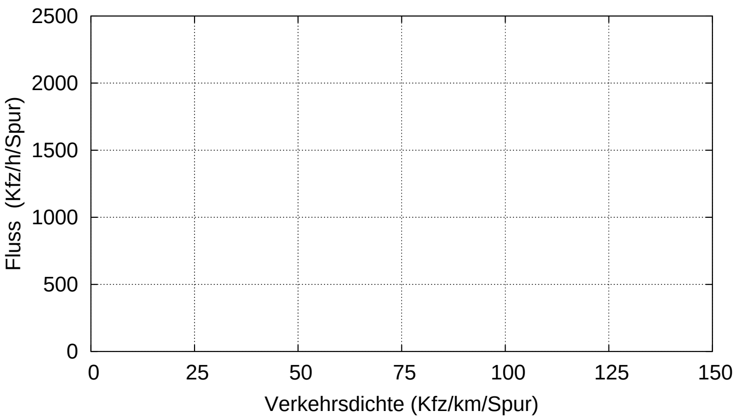
(a) Geben Sie die anschauliche Bedeutung der Größen s_0 und T an. Vergleichen Sie T mit der Fahrschulformel "Abstand (m) gleich halber Tacho (km/h)". Würde gemäß der Fahrschulformel ein größerer oder kleinerer Abstand als der mittlere gemessene Abstand resultieren?

(b) Ermitteln Sie die Gleichung des freien Zweigs des Fundamentaldiagramms. Nehmen Sie dabei eine Gerade an, die für sehr geringes Verkehrsaufkommen mit den obigen empirischen Ergebnissen übereinstimmt. Bei welcher Verkehrsfluss bricht freier Verkehr (im Mittel) zusammen, d.h., bei welchem Fluss endet der freie Zweig?

(c) Ermitteln Sie die Gleichung des Fundamentaldiagramms für gestauten Verkehr. Nehmen Sie wieder eine Gerade ("Staugerade") an. Für welche Verkehrsdichte schneidet diese Gerade die horizontale Achse (Fluss=0)? Für welchen Bereich der Dichte ("bistabiler Bereich") sind also zwei Flusswerte möglich?

(d) Der tatsächliche Verkehrsfluss befinde sich nun immer auf dem Fundamentaldiagramm (Lighthill-Whitham-Modell). Wie groß ist der Ausfluss aus den Stau? wie groß ist die Dichte im freien Verkehr hinter der Ausflusszone? wie groß ist der "Capacity drop" (in Kfz/h/Spur), d.h. der Unterschied zwischen den maximal möglichen Verkerhrsluss bei freien und gestauten Verkehr? *Hinweis:* Der Ausfluss aus dem Stau ist gleich dem Wert am Schnittpunkt der Staugeraden mit dem freien Zweig.

(e) Zeichnen Sie das Fundamentaldiagramm in das Koordinatensystem dieses Aufgabenblattes



Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 4: Verkehrsaufteilung (30 Punkte, alternativ zu Aufgabe 3!)

Im Planungsgebiet (Dresden) sind für den Berufsverkehr folgende Verkehrsmittel verfügbar: PKW , Rad, zu Fuß und ÖV.
Die Aufteilung soll nun mit dem LOGIT-Modell modelliert werden. Bei diesem Modell ist für eine gegebene Strecke der Anteil p_k des Verkehrsmittels k, $k = 1 \cdots K$, durch

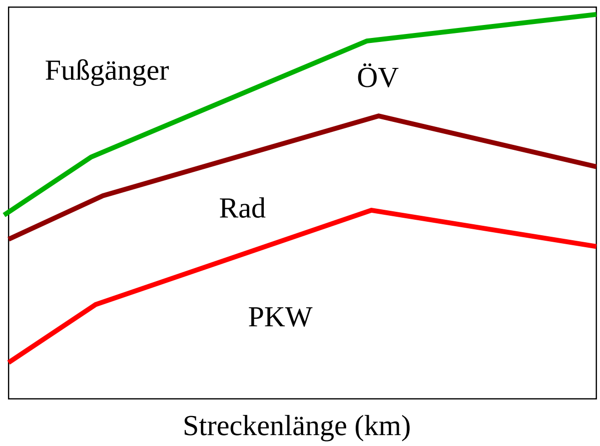
$$p_k = \frac{e^{\beta u_k}}{\sum_{l=1}^{K} e^{\beta u_l}} \tag{1}$$

gegeben. Dabei ist u_k die "Utility-Funktion", die gleich dem Negativen des gesamten Zeitaufwandes (Haustür-zu-Haustür-Zeit) T_k zum Bewältigen der Strecke mit Verkehrsmittel k gewählt wird.
Die Zeit T_k errechnet sich aus der "Rüstzeit" t_0 (Laufen zu den Haltestellen+Wartezeit bzw. Holen und Parken des Rads oder des PKW) sowie der reinen Fahrtzeit. Die Rüstzeit beträgt im Mittel 2 min für Radverkehr, 5 min für den PKW, 19 min für ÖV und 0 für Fußgänger. Die Geschwindigkeiten betragen im Mittel: Fußgänger: 4 km/h, Radverkehr: 15 km/h, PKW: 30 km/h und ÖV: 36 km/h.

(a) Bestimmen Sie den Modellparameter β (2 signifikante Stellen), falls für etwa 3 km lange Strecken folgende Aufteilung (Modal-Split) festgestellt wurde:

$$p_{\text{PKW}} = 39.4\%, \quad p_{\text{Rad}} = 33.9\%, \quad p_{\text{Fuß}} = 7.2\%, \quad p_{\text{ÖV}} = 19.6\%.$$

(b) Zeichnen Sie die nach dem kalibrierten Logit-Modell ermittelte Aufteilung in Abhängigkeit der Streckenlänge, indem Sie den Modal-Split für $L = 1$ km, 3 km und 5 km Streckenlänge berechnen. Das Ergebnis sollte wie folgendes Beispiel (ist nicht die Lösung!) geplottet werden:



Hinweis: Rechnen Sie hier und im Folgenden mit $\beta = 0.05$, falls Sie Teil (a) nicht gelöst haben!

(c) Der ÖV soll nun so verbessert werden, dass die Gesamtzeit für Zugang, Abgang und Wartezeit 10 min statt 20 min beträgt. Wie vergrößert sich bei 3 km der ÖV-Anteil?

(d) Diskutieren Sie eine Schwäche des Logit-Modells, indem Sie mit den Parametern von (b) sowie $\beta = 0.05$ bei einer Strecke von 180 km den ÖV-Anteil mit dem PKW-Anteil vergleichen.