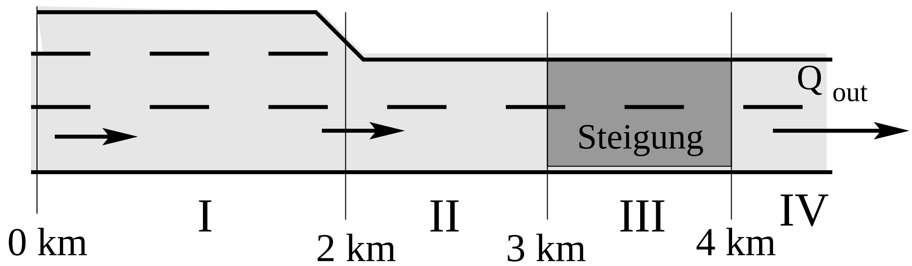
Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Klausur zur Vorlesung Verkehrsmodellierung und -simulation SS 2004

Insgesamt 120 Punkte

Aufgabe 1 (45 Punkte)
Untersucht wird die Staudynamik auf einer Fernstraße mit Steigungsstrecke sowie Spurzahlreduktion:



Wegen hohen LKW-Aufkommens ist die mittlere freie Geschwindigkeit im Bereich der Steigung nur $v_{02} = 60$ km/h, während davor und danach $v_{01} = 120$ km/h gilt. Die Folgezeit wird im Bereich der Steigung von $T_1 = 1.5$ s auf $T_2 = 1.9$ s erhöht. Die mittlere Länge einschließlich Mindestabstand beträgt $l = 10$ m. Das Fahrverhalten wird gemäß dem Lighthill-Whitham-Modell mit folgender Geschwindigkeitsrelation modelliert:

$$v_e(\rho) = \max\left[v_0, \frac{1}{T}\left(\frac{1}{\rho} - l\right)\right]$$

(a) Zeigen Sie, dass die maximale Kapazität pro Spur außerhalb der Steigungszone 2000 Fz/h beträgt, aber in der Steigungszone auf 1440 Fz/h abfällt.

(b) Von 15h bis 16h herrscht bei $x = 0$ ein konstanter über alle Spuren summierter Zufluss von 2000 Fahrzeuge/Stunde und es herrscht überall freier Verkehr. Geben Sie die Verkehrsdichten und Geschwindigkeiten in den Bereichen I bis IV an!

(c) Um 16h erhöht sich das Gesamt-Verkehrsaufkommen bei $x = 0$ schlagartig auf 3600 Fahrzeugen/Stunde. Bricht der Verkehr zusammen? Wenn ja, wann und wo?

Hinweis: Der Verkehr bricht am stromaufwärtigen Ende des ersten Streckenabschnitts zusammen, welcher eine Kapazität unterhalb desVerkehrsaufkommens aufweist. Berechnen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Verkehrszustands mit erhöhtem Fluss mit der Schockwellen-Formel!

(d) Nehmen Sie nun einen Zusammenbruch bei $x = 3$ km an und betrachten Sie zwei Situationen: (i) die stromaufwärtige Staufront liegt im Bereich I bei $x = 1$ km, (ii) die Staufront liegt im Bereich II bei $x = 2.5$ km.

Ermitteln Sie für die beiden Fälle Flüsse und Dichten auf der Gesamtstrecke.

Hinweis: Unterscheiden Sie die Bereiche I bis IV und zusätzlich im Bereich, in dem sich das stromaufwärtige Stauende befindet, die Situation vor dem Stau und im Stau.

(e) Mit welcher Geschwindigkeit breitet sich die Staufront in den Situationen (i) und (ii) von Aufgabenteil (d) aus? Welche Reisezeit ist in Situation (i) für die Strecke von $x = 0$ bis $x = 4$ km zu veranschlagen?

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 2 (30 Punkte, alternativ zu Aufgabe 3!)

Betrachten Sie ein einzelnes Fahrzeug, welches gemäß dem OVM auf leerer Strecke beschleunigt:

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{v_0 - v}{\tau}$$

(a) Bestimmen Sie τ für eine Wunschgeschwindigkeit von 120 km/h und einer Maximalbeschleunigung von 2 m/s^2.

(b) Lösen Sie die Bewegungsgleichung für den Fall, dass das Fahrzeug zur Zeit $t = 0$ aus dem Stillstand beschleunigt. Geben Sie den Rechungsweg an.

[Ergebnis: $v(t) = v_0(1 - e^{-t/\tau})$.]

(c) Nach welcher Zeit t_{100} werden 100 km/h erreicht? Welche Strecke hat das Fahrzeug bei Erreichen von 100 km/h bereits zurückgelegt?

(d) Berechnen Sie die Antriebsleistung während des Beschleunigungsvorgangs für folgende Fahrzeugparameter: Masse $m = 1500$ kg, Rollreibung $\mu = 0.02$, c_w Wert 0.35, Stirnfläche $A = 2$ m^2, Luftdichte $\rho_L = 1.3$ kg/m^3. Berücksichtigen Sie nur Fahrwiderstände durch Rollreibung, Luftwiderstand und durch die Beschleunigung. Drücken Sie das Ergebnis in der Form $A_1 v + A_2 v^2 + A_3 v^3$ aus, d.h., geben Sie die A_i an. Für welche Geschwindigkeit wird die maximale Antriebsleistung benötigt? Wie hoch ist sie? Geben Sie alle Ergebnisse erst allgemein an und setzen Sie erst zum Schluss Zahlenwerte ein!

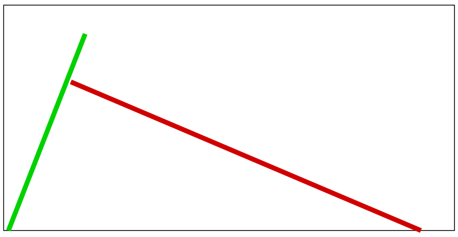
(e) Bestimmen Sie den momentanen kilometerbezogenen Treibstoff-Verbrauch als Funktion der gerade erreichten Geschwindigkeit. Nehmen Sie dabei neben der Antriebsleistung eine Grundleistung von $P_0 = 2$ kW an und rechnen Sie mit einem Wirkungsgrad $\gamma = 0.3$ und einen Brennwert des Treibstoffs von 40 Megajoule (MJ) pro Liter (1 MJ=10^6 J = 10^6 Ws). Geben Sie das Ergebnis erst allgemein an und setzen Sie erst zum Schluss Zahlenwerte ein!

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 3: Fundamentaldiagramm (30 Punkte, alternativ zu Aufgabe 2!)

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.

Aus den Angaben folgt, dass es in einem gewissen Dichtebereich zwei Werte des Verkehrsflusses geben kann. Qualitativ sieht das Fundamentaldiagramm so aus:



(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 welchem 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)?

(d) Der tatsächliche Verkehrsfluss befinde sich nun immer auf dem Fundamentaldiagramm. 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 Verkehrsfluss bei freien und gestauten Verkehr? In welchem Dichtebereich können zwei Werte des Verkehrsflusses auftreten?

Hinweis: Der Ausfluss aus dem Stau ist gleich dem Wert am Schnittpunkt der Staugeraden mit dem freien Zweig.

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

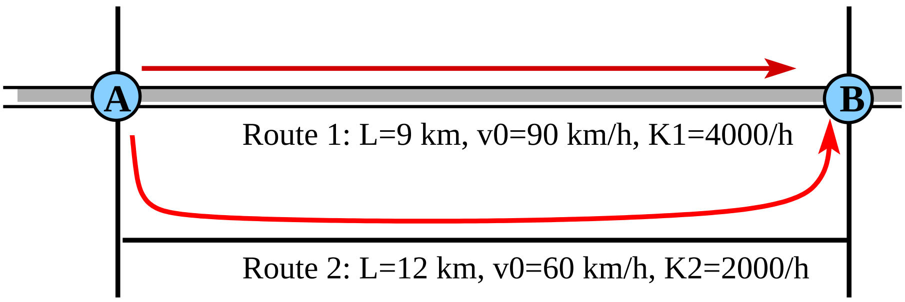
Aufgabe 4 (45 Punkte)

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

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

Geben Sie dabei jeweils die Input- und Output-Größen des jeweiligen Verfahrens an.

(b) Zwischen zwei Anschluss-Stellen A und B einer häufig überlasteten Autobahn gibt es eine Alternativroute ("Umleitung") über das untergeordnete Straßennetz gemäß Skizze. Ebenfalls in die Skizze eingetragen sind für die beiden Routen (Autobahn und Umleitungsroute) die Kapazitäten K_1 und K_2, die mittleren Geschwindigkeiten v_{01} und v_{02} der unbelasteten Strecken sowie die Routenlängen.



Erläutern Sie anhand dieser Problemstellung das Wardrop-Prinzip, wenn der individuelle Nutzen durch die negative Reisezeit gegeben ist. Ist es nach diesem Prinzip möglich, dass die zwei Zeiten unterschiedlich lang sind? Was folgt hieraus für die Flüsse?

(c) Führen Sie die Umlegung als Funktion des Gesamtflusses $Q = Q_1 + Q_2$ durch. Wählen Sie als zu optimierende Funktion wieder die Reisezeit und nehmen Sie an, dass die mittlere Geschwindigkeit auf einer Strecke der Kapazität K_i mit dem Verkehrsfluss gemäß der CR-Funktion

$$v(Q_i) = \frac{v_0}{1 + \frac{Q_i}{K_i}}$$

abfällt. Ab welchem Verkehrsfluss wird die Umleitungsstrecke erstmalig benutzt?

(d) Durch ein Verkehrsleitsystem sollen nun die Flüsse Q_1 und Q_2 so eingestellt werden, dass das *Systemoptimum* bezüglich der Reisezeiten erreicht wird. Zeigen Sie zunächst, dass für zeitlich unveränderte Flüsse die entsprechende Bedingung der Verkehrsoptimierung aus dem Skript in die Bedingung

$$Q_1 t_1 + Q_2 t_2 = \text{min!}$$

mit den Reisezeiten t_1 und t_2 übergeht .

(e) Bestimmen Sie das Systemoptimum als Funktion des Verkehrsaufkommens. Stimmt es mit dem in (c) berechneten Nutzeroptimum überein? Erläutern Sie die Unterschiede für ein Gesamtverkehrsaufkommen von $Q_1 + Q_2$ =4000/h.