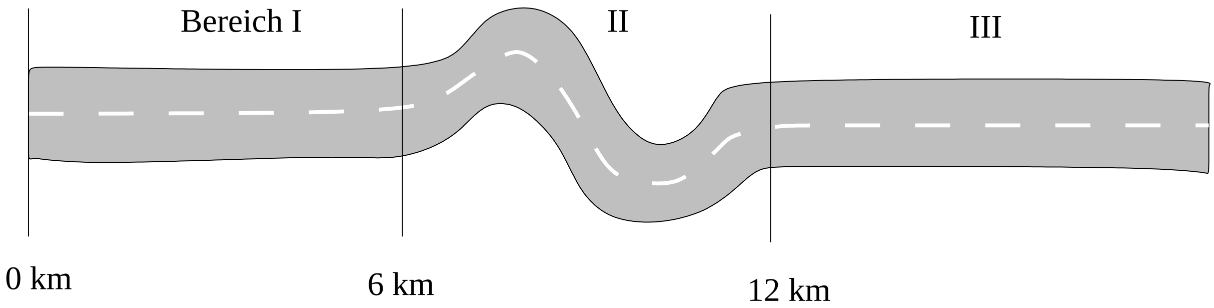
Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Klausur zur Vorlesung
Verkehrsdynamik und -simulation
SS 2016

Insgesamt 120 Punkte

Aufgabe 1 (40 Punkte)

Gegeben ist eine zweistreifige Richtungsfahrbahn mit zwei im Wesentlichen geraden Abschnitten I und III sowie dem kurvigen Abschnitt II:



Der Verkehrsfluss auf dieser Strecke soll mit dem LWR-Modell mit dreieckigem Fundamentaldiagramm

$$Q_e(\rho) = \min\left[V_0\rho, \frac{1}{T}\left(1 - \rho l_{\text{eff}}\right)\right]$$

modelliert werden. Flüsse und Dichten sind dabei als effektive Spurmittelwerte zu verstehen. Auf den geraden Abschnitten gelten die Modellparameter $V_0 = 120\,\text{km/h}$, $T = 1.2\,\text{s}$ und $l_{\text{eff}} = 10\,\text{m}$, während die Kurvenstrecke II mit $V_0 = 90\,\text{km/h}$, $T = 1.6\,\text{s}$ und $l_{\text{eff}} = 10\,\text{m}$ parametrisiert wird.

(a) Auf welche Weise spiegelt die Reparametrisierung die veränderte Verkehrssituation auf der Kurvenstrecke wider?

(b) Zeigen Sie, dass eine Verkehrsnachfrage von 3 000 Fahrzeugen pro Stunde keinen Stau verursacht.

(c) Um 16:00 steigt die Nachfrage bei Kilometer Null plötzlich von 3 000 Fz/h auf 4 000 Fz/h. Wann und wo bricht der Verkehr zusammen? Mit welcher Geschwindigkeit breitet sich die stromaufwärtige Front des entstehenden Staus aus? Wie schnell fahren die Fahrzeuge im Stau?

(d) Um 17:00 sinkt bei Kilometer Null die Nachfrage plötzlich auf 2 000 Fz/h. Wann und wo trifft die verminderte Nachfrage auf den Stau?

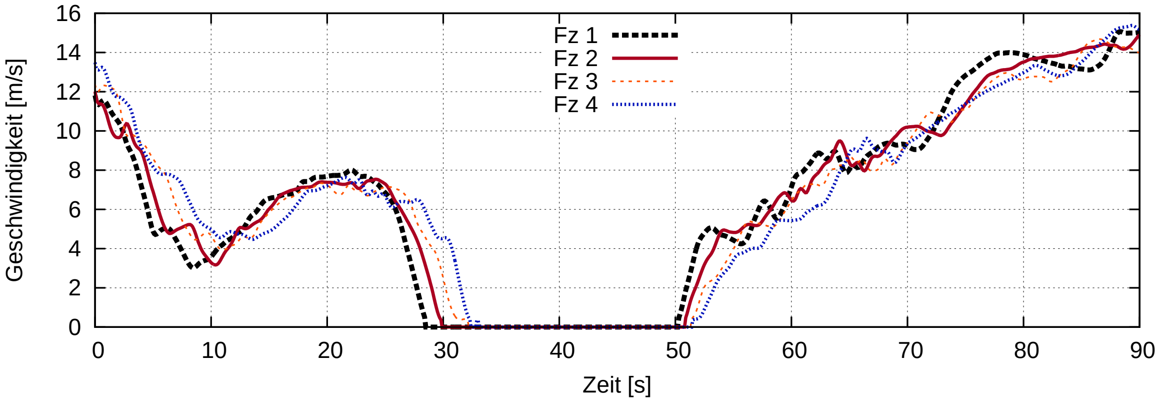
Hinweis: Wenn Sie (c) nicht bearbeitet haben, gehen Sie von einem Verkehrszusammenbruch um 16:05 und einer Ausbreitungsgeschwindigkeit der stromaufwärtigen Front von $-8\,\text{km/h}$ aus.

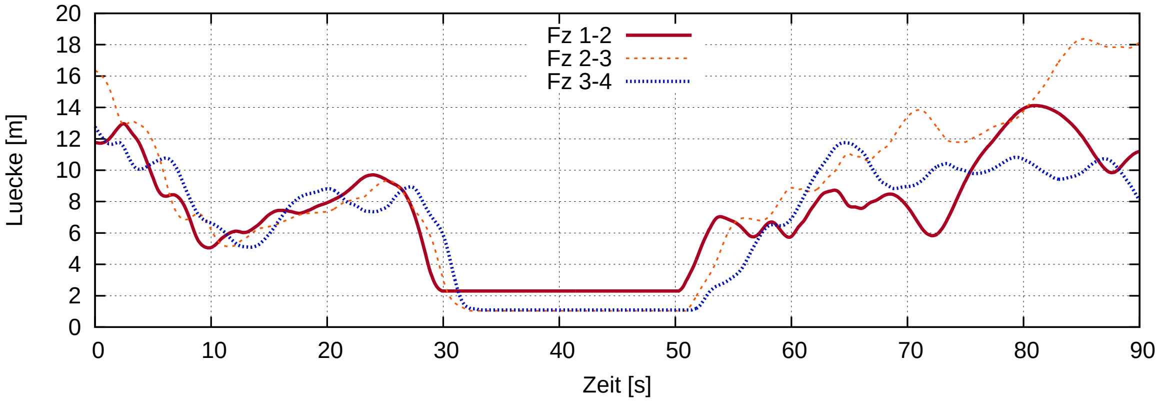
(e) Mit welcher Geschwindigkeit schrumpft der Stau bei der geringeren Nachfrage von 2 000 Fz/h?

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 2 (30 Punkte)

Geben sind Extended Floating-Car Data von vier in einer Kolonne fahrenden Fahrzeugen in Form von Zeitreihen für die Geschwindigkeiten und die (Stoßstange-zu-Stoßstange-) Lücken der drei Folgefahrzeuge 2, 3 und 4 vom jeweiligen Führungsfahrzeug:





(a) Beschreiben Sie kurz die Situation anhand der Geschwindigkeits-Zeitreihen

(b) Woran sieht man, dass es sich um menschliche Fahrer und nicht um autonom beschleunigte Fahrzeuge handelt?

(c) Geben Sie eine untere Grenze für die Wunschgeschwindigkeit v_0 der drei Folgefahrzeuge 2-4 an (mit Begründung!)

(d) Schätzen Sie die Mindestlücke s_0 der drei Folgefahrzeuge ab. Kann man s_0 anhand der Daten auch für das Führungsfahrzeug bestimmen?

(e) Nehmen Sie nun für den am wenigsten dynamischen Zeitraum $t \in [80\,\text{s}, 90\,\text{s}]$ eine Abstands-Geschwindigkeitsrelation gemäß $s(v) = s_0 + vT$ an und schätzen Sie grob die Zeitlückenparameter der drei Fahrer der Folgefahrzeuge ab. Begründen Sie, warum sich offensichtlich der Fahrer des letzten Fahrzeugs 4 nicht durch obige Relation beschreiben lässt, indem Sie den erweiterten Zeitraum $t \in [65\,\text{s}, 90\,\text{s}]$ betrachten.

(f) Gehen Sie davon aus, dass Fahrzeug 1 ab $t = 50\,\text{s}$ frei beschleunigen kann. Warum kann man nur von dessen Fahrer, nicht aber von den Fahrern der weiteren Fahrzeuge, die Wunschbeschleunigungen abschätzen? Wie hoch ist die des ersten Fahrers?

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 3 (50 Punkte)

Gegeben ist ein zeitkontinuierliches Fahrzeugfolgemodell mit folgender Beschleunigungsgleichung als Funktion der Lücke s, der Geschwindigkeit v und der Geschwindigkeit v_l des Vorderfahrzeugs:

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = a \min\left[1 - \left(\frac{v}{v_0}\right)^4, 1 - \left(\frac{s^*}{s}\right)^2\right], \quad s^* = s_0 + vT + \frac{v(v - v_l)}{2\sqrt{ab}}.$$

Der erste Ausdruck der Minimum-Bedingung steht für freien und der zweite für gebundenen Verkehr.

(a) Welche Aspekte des Fahrverhaltens beschreiben die Modellparameter v_0, s_0, T, a und b?

(b) Die Fließgleichgewichts-Bedingungen lauten (i) $\mathrm{d}v/\,\mathrm{d}t = 0$ und (ii) $v_l = v$. Beschreiben Sie allgemein diese Bedingungen in Worten.

(c) Nehmen Sie nun eine Kolonne gleichartiger Fahrer und Fahrzeuge an und leiten Sie für obiges Modell die Geschwindigkeits-Abstands-Relation $v_e(s)$ im Fließgleichgewicht her. *Hinweis:* Die Minimum-Bedingung des Modells sorgt dafür, dass auch die Funktion $v_e(s)$ zwei Abschnitte für freien und gestauten Verkehr aufweist, die Sie unabhängig voneinander berechnen können.

(d) Alle Parameter seien nun positiv. Erfüllt dieses Modell folgende Konsistenzbedingungen an die Beschleunigungsfunktion $\dot{v} = f(s, v, v_l)$ (jeweils kurze Begründung)?

   (i) Die Beschleunigung $f(s, v, v_l)$ nimmt streng monoton mit der Geschwindigkeit ab.

   (ii) Die Beschleunigung steigt monoton mit der Geschwindigkeit des Führungsfahrzeuges.

   (iii) Die Beschleunigung steigt monoton mit dem Abstand.

   (iv) Für hinreichend weit entfernte Vorderfahrzeuge ist die Geschwindigkeit im Fließgleichgewicht gleich der Wunschgeschwindigkeit.

   (v) Allgemein spielt für hinreichend weit entfernte Vorderfahrzeuge deren Geschwindigkeit sowie der konkrete Wert des Abstands keine Rolle mehr.

   (vi) Bei endlichem Abstand zum Vorderfahrzeug ist die Beschleunigung nie höher als bei gleicher Geschwindigkeit auf völlig freier Strecke (kein "Mitzieheffekt").

(e) Mit Hilfe dieses Modells wird nun das Heranfahren an eine rote Ampel (=stehendes virtuelles Fahrzeug) bei anfänglich freier Fahrt mit der Wunschgeschwindigkeit von 54 km/h simuliert. In welchem Abstand beginnt das Fahrzeug zu bremsen, wenn die restlichen Parameter durch $T = 1\,\mathrm{s}$, $a = b = 2\,\mathrm{m/s^2}$ und $s_0 = 2\,\mathrm{m}$ gegeben sind?

(f) Es sei nun eine Folgefahrt bei einer konstanten Geschwindigkeit von 36 km/h gegeben. Geben Sie für die Parameter der vorigen Teilaufgabe die resultierenden Beschleunigungen an, wenn (i) das Führungsfahrzeug bei unverändertem Abstand um 5 km/h langsamer ist, (ii) der Abstand bei unveränderter Geschwindigkeit um 2 m geringer ist.