Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Klausur zur Vorlesung Verkehrsdynamik und -simulation SS 2019

Insgesamt 120 Punkte

Aufgabe 1 (25 Punkte)

Gegeben ist ein Diesel-Fahrzeug mit folgenden Spezifikationen: Masse mit Fahrer $m = 1\,300\,\mathrm{kg}$, spezifischer Verbrauch $c_{\text{spez}} = 250\,\mathrm{ml/kWh}$, Rollreibungskoeffizient $\mu = 0.02$, Luftwiderstand $F_L = c_L v^2$ mit Luftwiderstands-Vorfaktor $c_L = 0.5\,\mathrm{N/(m/s)^2}$, und die Grundleistung $P_0 = 2\,\mathrm{kW}$. Zum Vergleich ist ein Fahrzeug mit Elektroantrieb gegeben. Die Grundleistung und die Roll- und Luftwiderstände sind gleich, aber es ist 200 kg schwerer. Der E-Motor hat einen Wirkungsgrad von 80 % und einen Rekuperationswirkungsgrad (Speicherung der kinetischen Energie im Akku und zurück) von 50 %.

(a) Berechnen Sie für eine Autobahnfahrt (konstant 144 km/h) den streckenbezogenen Dieselverbrauch [l/100 km] des Verbrenners bzw. die benötigte Energie [kWh/100 km] des Elektroautos. Bestimmen Sie daraus die CO_2-Emissionen [g/km], wenn Sie die durch die Verbrennung entstehenden spezifischen Emissionen von 2.6 kg CO_2 pro Liter bzw. den deutschen Energiemix von 0.5 kg CO_2 pro kWh berücksichtigen.

(b) Betrachten Sie nun, stellvertretend für eine Stadtfahrt, eine Fahrt von einem Stopp zum nächsten (z.B. roten Ampel) nach 500 m. Dazwischen wird die Wunschgeschwindigkeit von 54 km/h erreicht. Die Gesamtzeit einschließlich der Wartephase an der Ampel beträgt 60 s und die Bremsphase 10 s bei einem Bremsweg von 100 m.

Berechnen Sie für dieses Szenario die auf 100 km hochgerechneten Verbräuche an Diesel bzw. den Energiebedarf des E-Autos sowie die CO_2- Emissionen. Machen Sie dabei folgende Vereinfachungen:

- Der Luftwiderstand wird vernachlässigt
- Während der Bremsphase verbraucht der Diesel keinen Treibstoff und das E-Auto kann 50 % der kinetischen Energie speichern.

Hinweis: Die für die Rollreibung benötigte Energie kann direkt durch "Kraft mal Weg" berechnet werden. Ferner ist die durch die gesamte Beschleunigung benötigte Energie direkt durch die kinetische Energie $1/2mv^2$ gegeben. Für den Verbrauchsanteil durch die Grundleistung P_0 benötigen Sie die angegebenen Zeiten, da Energie auch gleich "Leistung mal Zeit" ist.

Aufgabe 2 (30 Punkte)

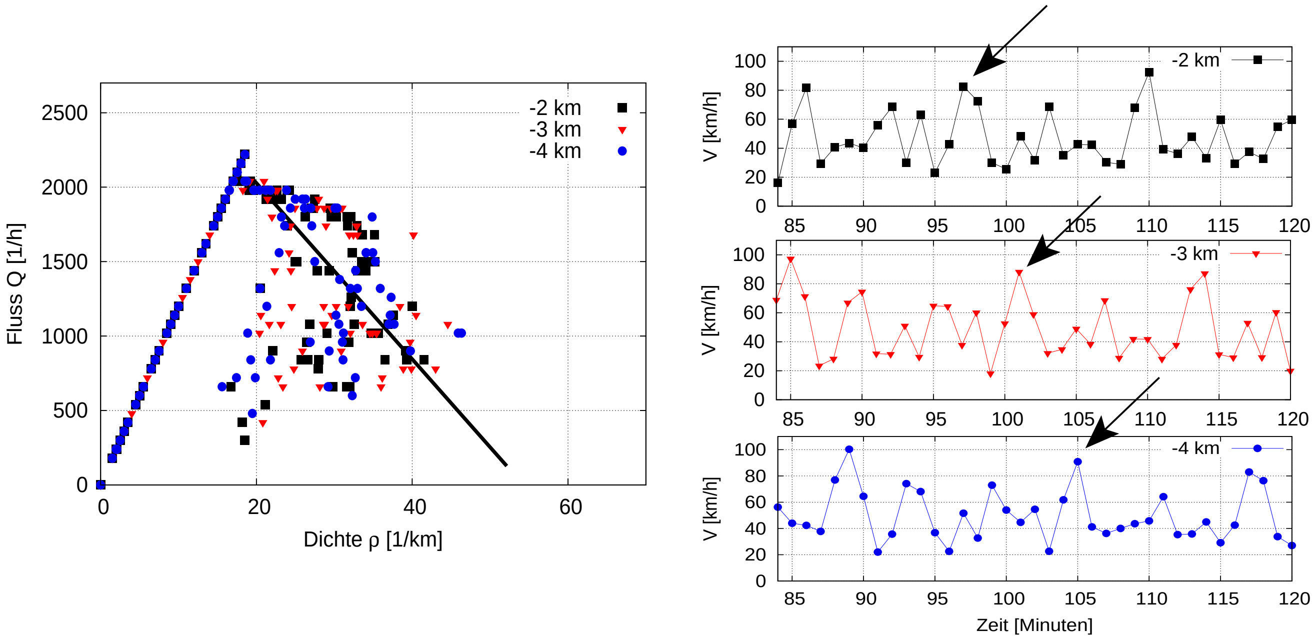
Gegeben sei das Lighthill-Whitham-Richards-Modell mit dem dreieckigen, auf einen Fahrstreifen bezogenen Fundamentaldiagramm

$$Q(\rho) = \min\left(V_0\rho, \frac{1}{T}\left(1 - \frac{\rho}{\rho_{\max}}\right)\right).$$

(a) Geben Sie Ausdrücke für die Kapazität $Q_{\max}$, die kritische Dichte ρ_c beim Flussmaximum und die Ausbreitungsgeschwindigkeit c bei gebundenem Verkehr an.

(b) Drücken sie nun das Fundamentaldiagramm und die kritische Dichte durch die Parameter V_0, $Q_{\max}$ und c aus. Was hat diese Darstellung für Vorteile?

(c) In folgender Abbildung sind aggregierte Fluss-Dichte-Daten und Zeitreihen dreier stationärer Detektoren mit je 1 km Abstand voneinander gegeben. Bestimmen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit c auf zwei Arten: (i) aus den Fluss-Dichte-Daten anhand der dargestellten Fitgerade, (ii) anhand des Zeitversatzes der Stauwellen (Pfeile rechts).



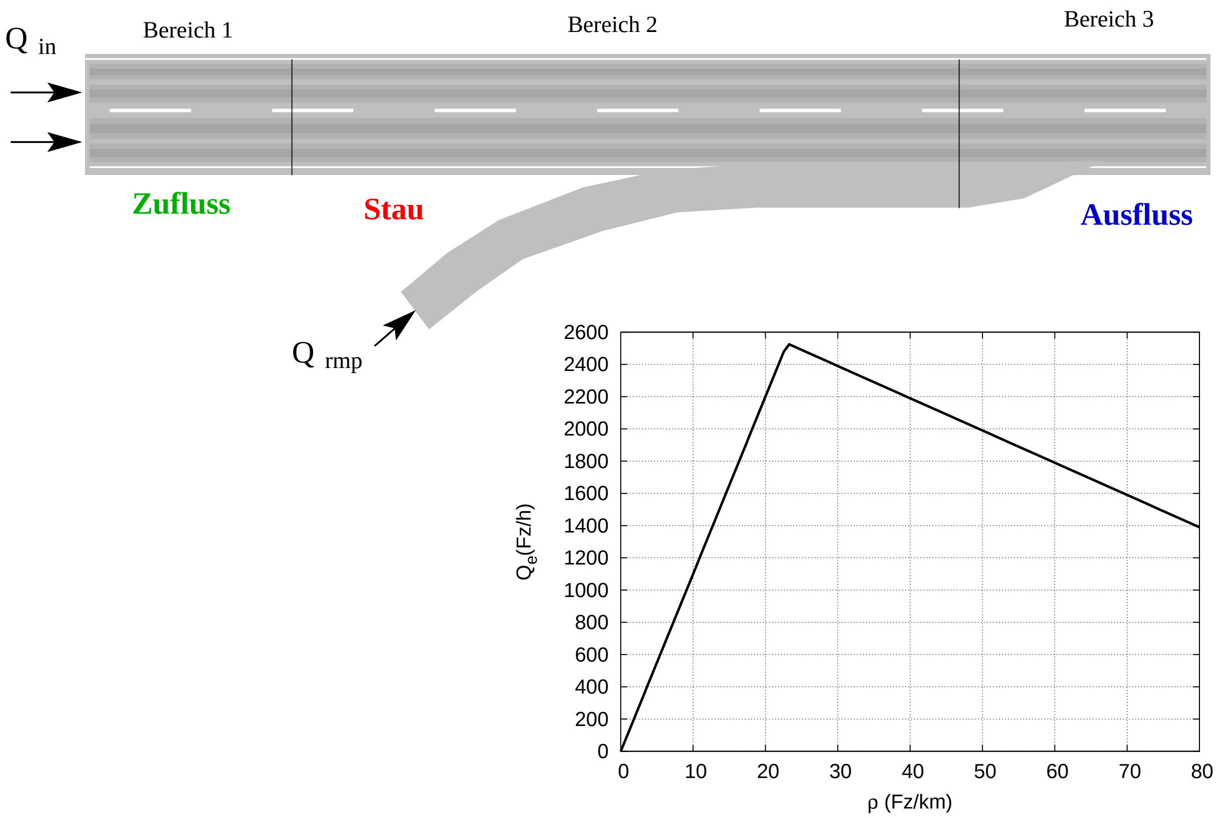
(d) Schätzen Sie die Kapazität $Q_{\max}$ ab. Bestimmen Sie den Folgezeitparameter T und die maximale Dichte (i) aus der Fitgeraden der Fluss-Dichte-Daten, (ii) aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit c. Nehmen Sie dabei $c = -15$ km/h an.

(e) Warum kann man die maximale Dichte nicht direkt mittels stationärer Detektoren bestimmen?

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 3 (40 Punkte)

Der Verkehr auf einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn mit Rampe wird mit dem LWR-Modell und den in der Abbildung angegebenen Fundamentaldiagramm (pro Streifen) modelliert.



(a) Lesen Sie aus dem Diagramm den maximalen Fluss $Q_{\max}$ pro Streifen und die kritische Dichte ρ_c ab und ermitteln Sie aus den Tangentensteigungen die Wunschgeschwindigkeit V_0 und die Ausbreitungsgeschwindigkeit c von Stauwellen. Berechnen Sie daraus die maximale Dichte $\rho_{\max}$.

(b) Der gesamte Zufluss ist konstant und beträgt $Q_{\text{in}} = 4\,400\,\text{Fz/h}$, während der Fluss auf der Rampe zunächst $400\,\text{Fz/h}$ beträgt. Begründen Sie, warum es nicht zum Stau kommt. Charakterisieren Sie den Verkehr in den Bereichen 1 und 3 (Bereich 2 existiert noch nicht) durch je einen Punkt im Fundamentaldiagramm.

(c) Um 16:00 erhöht sich der Zufluss auf der Rampe plötzlich auf 1 400 Fz/h. Begründen Sie, warum es nun zum Verkehrszusammenbruch kommt (der Bereich 2 entsteht). Charakterisieren Sie die drei Bereiche durch je einen Punkt im Fundamentaldiagramm und bestimmen Sie graphisch die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_{12} der stromaufwärtigen Staufront $1 \to 2$.

Hinweis: Gehen Sie dabei davon aus, dass alle Rampenfahrzeuge auf die Hauptfahrbahn kommen und im Ausflussbereich 3 das Flussmaximum herrscht, also $Q_3^{\text{tot}} = Q_2^{\text{tot}} + Q_{\text{rmp}} = 2Q_{\text{max}}$ gilt.

(d) Um 17:00 reduziert sich der Rampenfluss wieder auf 400 Fz/h. Wie lang ist der Stau um diese Zeit? Welche Zeit*verzögerung* hätte ein Autofahrer, der gerade um 17:00 in den Stau hineinfährt? Ist die Zeitverzögerung um 17:00 am größten? Wächst der Stau nach 17:00 noch weiter? Wann hat er ggf seine maximale Länge und wann hat er sich wieder aufgelöst?

Hinweis: Falls Sie (a) oder (c) nicht gelöst haben, rechnen Sie mit $c = -20\,\text{km/h}$ und $c_{12} = -10\,\text{km/h}$.

Aufgabe 4 (25 Punkte)

Ein zeitkontinuierliches Fahrzeugfolgemodell ist durch folgende Beschleunigung als Funktion des Stoßstange-zu-Stoßstange-Abstands s, der Geschwindigkeit v, und der Geschwindigkeit v_l des Vorderfahrzeugs definiert:

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = f(s, v, v_l) = \frac{V_{\text{opt}}(s) - v}{\tau} - \frac{\gamma v(v - v_l)}{s}, \quad V_{\text{opt}}(s) = \min\left(V_0, \frac{s}{T}\right)$$

(a) Geben Sie die Bedeutung der Modellparameter V_0, τ, T und γ an.

(b) Testen Sie, ob dieses Modell den Plausibilitätsbedingungen für vollständige Fahrzeugfolgemodelle genügt ($\partial f / \partial s \geq 0$ usw.)

(c) Zeigen Sie, dass die Geschwindigkeit $v_e(s)$ im Fließgleichgewicht gleich der optimalen Geschwindigkeitsfunktion $v_{\text{opt}}(s)$ ist

(d) Bestimmen Sie anhand des Kriteriums für Kolonnenstabilität,

$$V_e'(s) < \frac{1}{2}\left(\frac{\partial f}{\partial v_l} - \frac{\partial f}{\partial v}\right),$$

für welche Parameterkombinationen der mit diesem Modell simulierte Verkehr im gebundenen Verkehr $v = V_e < V_0$ kolonnenstabil ist, und dass er im freien Verkehr immer kolonnenstabil ist.