Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Klausur zur Vorlesung Verkehrsdynamik und -simulation SS 2018

Insgesamt 120 Punkte

Aufgabe 1 (30 Punkte)

Ein Fußgängerstrom auf einem $b = 2\,\mathrm{m}$ breiten Weg wird makroskopisch durch die Dichte ρ^* (Fußgänger pro m^2) und die Flussdichte Q^* (Fußgänger pro Sekunde und pro m Querschnitt) beschrieben. Das Fundamentaldiagramm sei durch

$$Q^*(\rho^*) = V_0\rho^* \left(1 - \frac{\rho^*}{\rho^*_{\mathrm{max}}}\right)$$

mit $V_0 = 1.4\,\mathrm{m/s}$ und $\rho^*_{\mathrm{max}} = 4/\mathrm{m}^2$ gegeben.

(a) Leiten Sie daraus das 1d-Fundamentaldiagramm für die Gesamtdichte $\rho = \rho^* b$ und den Gesamtfluss $Q = Q^* b$ her (Gleichung und Werte der Parameter).

(b) Das 1d-Fundamentaldiagramm sei nun durch

$$Q(\rho) = V_0\rho \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{\mathrm{max}}}\right)$$

mit $V_0 = 1.4\,\mathrm{m/s}$ und $\rho_{\mathrm{max}} = 8/\mathrm{m}$ gegeben. Wie hoch ist die Kapazität (maximaler Durchfluss) des Weges? Bei welcher 1d-Dichte und welcher Geschwindigkeit wird er erreicht? Geben Sie auch die zugehörige 2d-Dichte ρ^* und die Flussdichte Q^* an.

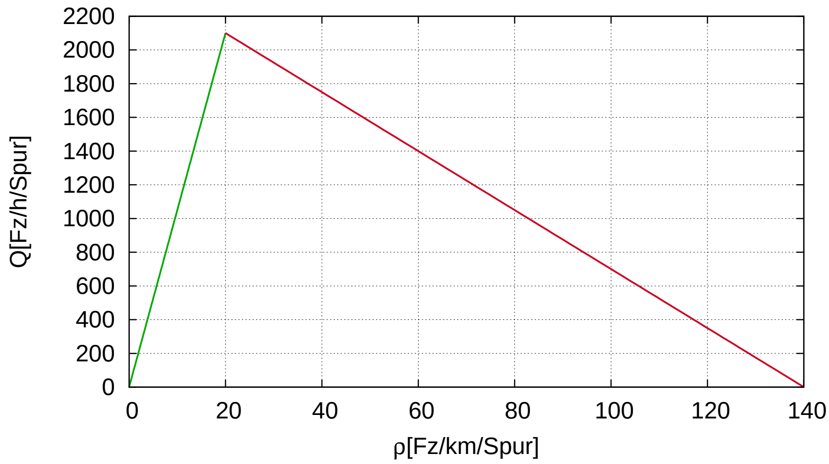
(c) Geben Sie zum Fundamentaldiagramm bei (b) die Geschwindigkeits-Dichte-Relation an.

(d) In einer in einer Woche auszustrahlenden *Galileo*-Sendung wird untersucht, ob es auf einer Rolltreppe in U-Bahnhöfen (Bewegungsgeschwindigkeit nach deutscher Norm $V_r = 0.75\,\mathrm{m/s}$) besser ist, auf der Rolltreppe zu gehen oder zu stehen bzw welche Verhaltensweise zu einer höheren Kapazität führt. Nehmen Sie dazu eine eindimensionale Fußgängerschlange mit einem Geschwindigkeits-Dichte-Diagramm $V(\rho) = V_0(1 - \rho/\rho_{\mathrm{max}})$ *bezüglich der sich bewegenden Rolltreppe* mit den Parametern $V_0 = 0.5\,\mathrm{m/s}$ und $\rho_{\mathrm{max}} = 2/\mathrm{m}$ an. Transformieren Sie die Geschwindigkeit durch Addieren der Rolltreppengeschwindigkeit in ein ortsfestes System, geben Sie das zugehörige Fundamentaldiagramm an und berechnen Sie das Argument des Maximums unter der Nebenbedingung, dass die Dichte die maximale Dichte nicht überschreiten darf.

(e) Die Fußgänger stehen nun auf der in (d) beschriebenen Rolltreppe ($\rho = \rho_{\mathrm{max}} = 2/\mathrm{m}$). Wie hoch ist der Fluss im ortsfesten System? Sind die Bereiche vor und nach der Rolltreppe ($V_0 = 1.4\,\mathrm{m/s}$, $\rho_{\mathrm{max}} = 4/\mathrm{m}$) in der Lage, diesen Fluss aufzunehmen?

Aufgabe 2 (50 Punkte)

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



(a) Lesen Sie aus dem Diagramm den maximalen Fluss Q_{max}, die maximale Dichte ρ_{max} und die kritische Dichte ρ_c beim Übergang frei-gestaut ab. Berechnen Sie daraus die Wunschgeschwindigkeit V_0, die Folgezeit T, die effektive Fahrzeuglänge l_{eff} und die Ausbreitungsgeschwindigkeit c von Störungen in gebundenem Verkehr. *Hinweis:* Bitte geben Sie bei den Berechnungen nicht nur die Zahlenwerte, sondern auch die Formeln an.

(b) Im Verkehrsfunk heißt es "Aufgrund eines Unfalls bei X ist nur eine von drei Spuren befahrbar, es hat sich bereits ein 7 km langer Stau gebildet". Dummerweise wurde aber nichts über die dadurch verursachte Verzögerung gesagt. Wie groß ist sie?

Hinweis: Nehmen Sie die LWR-Parameter $V_0 = 105\,\text{km/h}$, $\rho_{\text{max}} = 140\,\text{Fz/km}$ und $T = 1.47\,\text{s}$ an. Auch ohne Stau benötigt man eine gewisse Zeit, um die 7 km zu durchfahren.

(c) Stromaufwärts des Staus herrscht freier, aber dichter Verkehr mit einem Gesamtfluss $Q^{\text{tot}} = 5\,040\,\text{Fz/h}$. Berechnen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_{12} des Übergangs freier Verkehr $\rightarrow$ Stau (stromaufwärtige Staufront). Tragen Sie diese Geschwindigkeit in obigem Diagramm ein.

(d) Zum Zeitpunkt der Nachricht, $t = 0$, befindet man sich 20 km stromaufwärts der Unfallstelle. Welche Reisezeit muss man für die nächsten 20 km veranschlagen, wenn während dieser Zeit die Unfallstelle nicht geräumt wird? *Hinweis:* Nehmen Sie die aktuelle Position bei $x = 0$ an sowie eine Reisegeschwindigkeit V_0 und eine Staufrontengeschwindigkeit $c_{12} = -3.24\,\text{m/s}$.

(e) Im Gegensatz zur Annahme bei (d) wird nun zum Zeitpunkt $t = 0$, also bei einer Staulänge von 7 km, die Unfallstelle geräumt und alle drei Spuren sind wieder frei befahrbar. Wann löst sich der Stau bei konstantem Zufluss wieder auf? An welcher Längsposition x_{aufl} befindet sich der Auflösungspunkt?

(f) Skizzieren Sie qualitativ die raumzeitliche Entwicklung des Staus und der Bereiche stromauf- und stromabwärts für $t \geq 0$ bis zur Auflösung des Staus. Tragen Sie auch die Trajektorie des zur Zeit $t = 0$ an der Stelle $x = 0$ befindlichen Fahrzeugs ein. Kennzeichnen Sie alle Bereiche als Punkte im obigen Fundamentaldiagramm. *Hinweis:* Staukopf bei $x = 20\,\text{km}$.

Name:	Vorname:	Matrikel-Nr.:

Aufgabe 3 (40 Punkte)

Ein häufig verwendeter linearer Beschleunigungsregler für Adaptive-Cruise Control (ACC) im Bereich des Fahrzeugfolgens (Abstand s, Geschwindigkeit v, Geschwindigkeit des Vorderfahrzeugs v_l) ist definiert durch

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = f(s, v, v_l) = k_1 s + k_2 v + k_3 v_l$$

(a) Zeigen Sie, dass dieses Modell im Bereich des Fahrzeugfolgens äquivalent zum Full-Velocity Difference Model (FVDM) mit dreieckigem Fundamentaldiagramm ist:

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{\tau}(v_{\text{opt}}(s) - v) + \lambda(v_l - v), \quad v_{\text{opt}}(s) = \frac{s}{T}$$

Geben Sie die Koeffizienten k_1 bis k_3 als Funktion der FVDM-Parameter an.

(b) Testen Sie, ob dieses Modell den Plausibilitätsbedingungen für vollständige Fahrzeugfolgemodelle genügt ($\partial f/\partial v < 0$ usw.) bzw. welche Bedingungen verletzt sind. Was passiert insbesondere für sehr große Abstände?

(c) Da dieses Modell unvollständig ist und den freien Bereich nicht beschreibt, wird es nun erweitert auf

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \min\left[\frac{v_0 - v}{\tau}, \frac{1}{\tau}\left(\frac{s}{T} - v\right) + \lambda(v_l - v)\right]$$

(d) Betrachten Sie nun das homogene Fließgleichgewicht ($v = v_l = \text{const.}$) und zeigen Sie, dass das Modell ein dreieckiges Fundamentaldiagramm bzw. die Geschwindigkeits-Abstands-Relation $v_{\text{opt}} = \min(v_0, s/T)$ aufweist.

(e) Zeigen Sie, dass dieses Modell im Gegensatz zum FVDM keine Sensitivität zu sehr weit entfernten Vorderfahrzeugen aufweist.

(f) Ein ACC der nächsten Generation kann nicht nur langsame Vorderfahrzeuge, sondern auch rote Ampeln erkennen. In welchem Abstand beginnt ein so ausgestattete Fahrzeug beim Annähern an eine rote Ampel zu bremsen? Nehmen Sie das Modell von (c) mit den Parameterwerten $v_0 = 54\,\text{km/h}$, $T = 1\,\text{s}$, $\tau = 2\,\text{s}$, $\lambda = 1\,\text{s}^{-1}$ und $v = v_0$ an.

(g) Bei gleichmäßiger Folgefahrt mit $v = 36\,\text{km/h}$ "quetscht" sich ein anderes Fahrzeug mit gleicher Geschwindigkeit in die Spur, so dass der Abstand statt 10 m nur noch 4 m beträgt. Wie stark bremst das ACC-Fahrzeug? Nehmen Sie die gleichen Parameterwerte wie in Teil (f) an.

(h) Es wird nun mit dem Modell von (c) und Parameterwerten wie in (f) eine freie Beschleunigung simuliert. Wie hoch ist die maximale Beschleunigung? Geben Sie für ein Fahrzeug mit einem Gesamtgewicht von 1.5 t den streckenbezogenen Treibstoffverbrauch auf steigungsfreier Strecke nach dem physikbasierten Verbrauchsmodell in Abhängigkeit der Geschwindigkeit an und berechnen Sie Werte für $v = v_0/2$ und $v = v_0$ (Parameter $C_{\text{spez}} = 0.3\,\text{l/kWh}$, $\mu = 0.02$, $c_L = 0.5\,\text{Ns}^2/\text{m}^2$).