

Verkehrsdynamik und -simulation

SS 2021, Lösungsvorschläge zu Übung Nr. 1

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1.1: Trajektorien Daten

(a) • Beispiel für freien Verkehr $[10 \text{ s}, 30 \text{ s}] \times [20 \text{ m}, 80 \text{ m}]$:

- Fluss $Q = 12 \text{ Fz}/20 \text{ s} = \underline{\underline{2\,160 \text{ Fz/h}}}$
- Dichte $\rho = 3 \text{ Fz}/60 \text{ m} = \underline{\underline{50 \text{ Fz/km}}}$
- Geschwindigkeit $V = 60 \text{ m}/5 \text{ s} = 12 \text{ m/s} = \underline{\underline{43.2 \text{ km/h}}}$
- Konsistenzcheck: Geschwindigkeit aus der hydrodynamischen Beziehung:

$$V = \frac{Q}{\rho} = \underline{\underline{43.2 \text{ km/h}}}.$$

Im Rahmen der "Messgenauigkeit" OK. (Man könnte beim Fluss auch 12 Fahrzeuge in 20 s zählen, käme dann auf $Q = 2\,160 \text{ Fz/h}$ und damit $Q/\rho = 43.2 \text{ km/h}$)

• Beispiel für gestauten Verkehr $[50 \text{ s}, 60 \text{ s}] \times [40 \text{ m}, 100 \text{ m}]$:

- Fluss $Q = 2 \text{ Fz}/10 \text{ s} = \underline{\underline{720 \text{ Fz/h}}}$
- Dichte $\rho = 6 \text{ Fz}/60 \text{ m} = \underline{\underline{100 \text{ Fz/km}}}$
- Geschwindigkeit $V = 20 \text{ m}/10 \text{ s} = 2 \text{ m/s} = \underline{\underline{7.2 \text{ km/h}}}$
- Konsistenzcheck: Geschwindigkeit aus der hydrodynamischen Beziehung:

$$V = \frac{Q}{\rho} = \underline{\underline{7.2 \text{ km/h}}}.$$

Hier sogar (zufällig) identisch. Eine Abweichung von bis zu $\pm 20\%$ wäre hier wegen des geringen Messbereichs und der Heterogenität innerhalb dieses Bereichs ebenfalls OK.

(b) Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$c \approx -\frac{200 \text{ m}}{(60 - 22) \text{ s}} = -\frac{200 \text{ m}}{38 \text{ s}} = -5.3 \text{ m/s} = \underline{\underline{-19 \text{ km/h}}}$$

Die Ausbreitung ist *entgegen* der Fahrtrichtung.

(c) Zeitverlust des zur Zeit $t = 50 \text{ s}$ einfahrenden Fz: Differenz der aktuellen Ausfahrtzeit der entsprechenden Trajektorie ($\approx 86 \text{ s}$) und der extrapolierten Ausfahrtzeit bei freiem Verkehr ($\approx 70 \text{ s}$):

$$\tau_{50} = (86 - 70) \text{ s} = \underline{\underline{16 \text{ s}}}.$$

(d) Spurwechselrate in der raumzeitlichen Region $[0 \text{ s}, 80 \text{ s}] \times [0 \text{ m}, 120 \text{ m}]$:

$$r \approx \frac{4 \text{ Wechsel}}{80 \text{ s} \cdot 120 \text{ m}} = 0.0004 \text{ Wechsel/m/s} \approx \underline{\underline{1\,400 \text{ Wechsel/km/h}}}.$$

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1.2: Trajektorien eines Verkehrsflusses mit Störung

(a) Stopp an einer roten Ampel. Der dicke horizontale Strich stellt die Ampelposition zur Zeit der Rotphase dar.

(b) Zufluss $Q_{\text{in}} = 5$ Linien pro 20 s = $0.25 \text{ Fz/s} = 900 \text{ Fz/h}$.

(c) z.B. Linie, welche bei $x = -80$ m zur Zeit $t = -16$ s beginnt und bei $(x, t) = (80 \text{ m}, 0 \text{ s})$ endet:

$$v_{\text{in}} = 160 \text{ m}/16 \text{ s} = \underline{10 \text{ m/s}} = \underline{36 \text{ km/h}}.$$

Dichte: Entweder 1 Strich pro 40 m oder $\rho = Q/v$. Beides führt auf $\rho = \underline{25 \text{ Fz/km}}$.

(d) Staudichte: 8 horizontale Striche/40 m $\Rightarrow \rho_{\text{jam}} = \underline{200 \text{ Fz/km}}$.

(e) Ausfluss nach Aufhebung der Behinderung: Am besten Zahl der Striche in einem 20 s-Kasten oberhalb der blauen "Ende der Beschleunigungs"-Punkte: 10 Striche/20 s $\Rightarrow Q_{\text{out}} = \underline{0.5 \text{ Fz/s} = 1800 \text{ Fz/h}}$.

Geschwindigkeit wie beim freien Upstream-Verkehr, da Linien zu jenen parallel: $V = 36 \text{ km/h}$.

Dichte durch Strichezählen (2 Striche pro 40 m) oder hydrodynamische Relation: $\rho = 50 \text{ Fz/km}$.

(f) Front-Ausbreitungsgeschwindigkeiten entweder durch Steigung der Front-Linien (bzw. der "Punkteketten") oder durch die Kontinuitätsgleichung:

$$\text{Frei} \rightarrow \text{Stau: } v_g^{\text{up}} = \frac{\Delta Q}{\Delta \rho} = \frac{-900 \text{ Fz/h}}{175 \text{ Fz/km}} = \underline{-5.14 \text{ km/h}}.$$

$$\text{Stau} \rightarrow \text{frei: } v_g^{\text{down}} = \frac{\Delta Q}{\Delta \rho} = \frac{1800 \text{ Fz/h}}{-150 \text{ Fz/km}} = \underline{-12 \text{ km/h}}.$$

(g) Ohne Verzögerung wäre das bei $x = -80$ m zur Zeit $t = 20$ s einfahrende Fahrzeug zur Zeit $t_{\text{end}} = 38$ s am "Ende" des Diagramms bei $x = 100$ m. Tatsächlich ist es erst zur Zeit $t = 69$ s dort. Also 31 s Verzögerung.

(h) Bremsweg: $s_b = 25$ m; Beschleunigungsweg: $s_a = 50$ m, also

$$b = \frac{v^2}{2s_b} = \underline{2 \text{ m/s}^2}, \quad a = \frac{v^2}{2s_a} = \underline{1 \text{ m/s}^2}.$$

Man kann den Bremsweg nicht nur mit obiger "Schulformel", sondern auch direkt aus der Definition der Beschleunigung berechnen:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{10 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = \underline{1 \text{ m/s}^2}, \quad b = -\frac{\Delta V}{\Delta t} = -\frac{-10 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = \underline{2 \text{ m/s}^2}$$

Hierbei gibt Δt die Dauer der Beschleunigungs- bzw. Bremsphase an.