Verkehrsdynamik und -simulation

SS 2024, Lösungsvorschläge zu Übung Nr. 1

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1.1: Trajektoriendaten

(a)
- Beispiel für freien Verkehr $[10\,\mathrm{s}, 30\,\mathrm{s}] \times [20\,\mathrm{m}, 80\,\mathrm{m}]$:
  - Fluss $Q = 12\,\mathrm{Fz}/20\,\mathrm{s} = \underline{\underline{2\,160\,\mathrm{Fz/h}}}$
  - Dichte $\rho = 3\,\mathrm{Fz}/60\,\mathrm{m} = \underline{\underline{50\,\mathrm{Fz/km}}}$
  - Geschwindigkeit $V = 60\,\mathrm{m}/5\,\mathrm{s} = 12\,\mathrm{m/s} = \underline{\underline{43.2\,\mathrm{km/h}}}$
  - Konsistenzcheck: Geschwindigkeit aus der hydrodynamischen Beziehung:
    $$V = \frac{Q}{\rho} = \underline{\underline{43.2\,\mathrm{km/h}}}.$$
    Im Rahmen der "Messgenauigkeit" OK. (Man könnte beim Fluss auch 12 Fahrzeuge in 20 s zählen, käme dann auf $Q = 2\,160\,\mathrm{Fz/h}$ und damit $Q/\rho = 43.2\,\mathrm{km/h}$)
- Beispiel für gestauten Verkehr $[50\,\mathrm{s}, 60\,\mathrm{s}] \times [40\,\mathrm{m}, 100\,\mathrm{m}]$:
  - Fluss $Q = 2\,\mathrm{Fz}/10\,\mathrm{s} = \underline{\underline{720\,\mathrm{Fz/h}}}$
  - Dichte $\rho = 6\,\mathrm{Fz}/60\,\mathrm{m} = \underline{\underline{100\,\mathrm{Fz/km}}}$
  - Geschwindigkeit $V = 20\,\mathrm{m}/10\,\mathrm{s} = 2\,\mathrm{m/s} = \underline{\underline{7.2\,\mathrm{km/h}}}$
  - Konsistenzcheck: Geschwindigkeit aus der hydrodynamischen Beziehung:
    $$V = \frac{Q}{\rho} = \underline{\underline{7.2\,\mathrm{km/h}}}.$$
    Hier sogar (zufällig) identisch. Eine Abweichung von bis zu ±20% wäre hier wegen des geringen Messbereichs und der Heterogenität innerhalb dieses Bereichs ebenfalls OK.

(b) Ausbreitungsgeschwindigkeit
$$c \approx -\frac{200\,\mathrm{m}}{(60-22)\,\mathrm{s}} = -\frac{200\,\mathrm{m}}{38\,\mathrm{s}} = -5.3\,\mathrm{m/s} = \underline{\underline{-19\,\mathrm{km/h}}}$$
Die Ausbreitung ist *entgegen* der Fahrtrichtung.

(c) Zeitverlust des zur Zeit $t = 50\,\mathrm{s}$ einfahrenden Fz: Differenz der aktuellen Ausfahrzeit der entsprechenden Trajektorie ($\approx 86\,\mathrm{s}$) und der extrapolierten Ausfahrzeit bei freiem Verkehr ($\approx 70\,\mathrm{s}$):
$$\tau_{50} = (86 - 70)\,\mathrm{s} = \underline{\underline{16\,\mathrm{s}}}.$$

(d) Spurwechselrate in der raumzeitlichen Region $[0\,\mathrm{s}, 80\,\mathrm{s}] \times [0\,\mathrm{m}, 120\,\mathrm{m}]$:
$$r \approx \frac{4\,\mathrm{Wechsel}}{80\,\mathrm{s}\ 120\,\mathrm{m}} = 0.0004\,\mathrm{Wechsel/m/s} \approx \underline{\underline{1\,400\,\mathrm{Wechsel/km/h}}}.$$

Lösungsvorschlag zu Aufgabe 1.2: Trajektoriendaten 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_{in}=5 Linien pro 20 s = $\underline{\underline{0.25 \text{ Fz/s}}}$ =$\underline{\underline{900 \text{ Fz/h}}}$.

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

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

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

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

(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 $\Rightarrow$ $Q_{\text{out}} =\underline{\underline{0.5 \text{ Fz/s}{=}1800 \text{ Fz/h.}}}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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