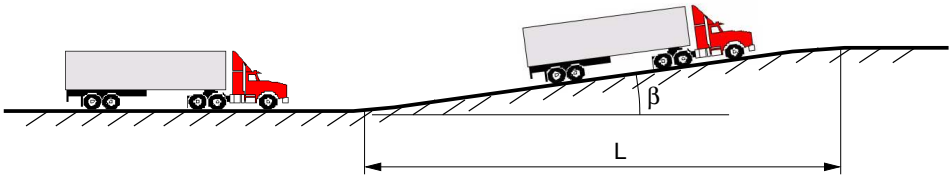
Traffic Flow Dynamics and Simulation

Summer semester, Tutorial 13, page 1

Problem 13.1: LKW an Steigungsstrecken

Um zu langsame LKW an Steigungsstrecken zu verhindern, ist die Steigung auf Autobahnen im Allgemeinen auf $\beta = 4\,\%$ begrenzt (in Sonderfällen $\beta = 5\,\%$). Allerdings hängt die Behinderung, d.h. die minimale Geschwindigkeit der LKW am Ende der Steigung auch von der Länge L der Steigungsstrecke ab.



Zur Modellierung wird als "Worst Case" ein LKW betrachtet, welcher vollbeladen auf ebener Strecke gerade die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h erreicht und dessen Motor unabhängig von der Geschwindigkeit eine konstante Maximalleistung abgeben kann. Die relevanten Parameter sind: Fahrzeugmasse 38 t, Reibungskoeffizient 0.03, ein c_w-Wert von 0.8 und eine Stirnfläche von 10 m^2. Nehmen Sie außerdem für die Gravitationskonstante $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$ und für die Dichte der Luft 1.3 kg/m^3 an.

(a) Wie groß ist die für den Antrieb benötigte Leistung?

(b) Der LKW fährt nun mit seiner Maximalgeschwindigkeit von 80 km/h in eine Steigung mit 4% bzw. 5% hinein. Wie groß sind jeweils die anfänglichen Verzögerungen bei unveränderter Motorleistung? Berechnen Sie außerdem die Endgeschwindigkeiten, wenn die beiden Steigungen hinreichend lang sind. Da die Endgeschwindigkeiten sehr niedrig sind, können Sie bei ihrer Berechnung den Luftwiderstand vernachlässigen.

(c) Der Verzögerungsvorgang an der Steigung soll nun mit dem "Optimal-Velocity-Model" (OVM) für eine freie Strecke nachgebildet werden:

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{v_0 - v}{\tau}.$$

Ermitteln Sie für die beiden Steigungsstrecken jeweils die zwei Modellparameter v_0 und τ unter folgenden Vorgaben:

- Die Geschwindigkeit nähert sich für hinreichend lange Steigung den Endgeschwindigkeiten 37 km/h (5%-Steigung) bzw. 42 km/h (4%-Steigung),
- die anfängliche Verzögerung bei Beginn der Steigung beträgt 0.5 m/s^2 (5%-Steigung) bzw. 0.4 m/s^2 (4%-Steigung).

(d) Ermitteln Sie nun die Geschwindigkeit und die zurückgelegte Wegstrecke als Funktion der Zeit, indem Sie das obige Mikromodell lösen. Dabei soll der LKW zur Zeit $t = 0$ den Beginn der Steigung passieren. Geben Sie das Ergebnis allgemein an.

(e) Werden die LKW auf einer 5-%igen Steigung von 500 m Länge oder auf einer 1 km langen 4 %-igen Steigung langsamer? Gehen Sie dabei von den Zahlenwerten $v_0 = 37\,\mathrm{km/h}$, $\tau = 24\,\mathrm{s}$ (Steigung 5%) bzw. $v_0 = 42\,\mathrm{km/h}$, $\tau = 26\,\mathrm{s}$ (Steigung 4%) aus. Nehmen Sie außerdem an, dass das Ende der 5-%igen Steigung nach 29.1 s und das Ende der 4-%igen Steigung nach 64.2 s erreicht wird (diese Zeiten sind nicht elementar ausrechenbar).