

Fahrzeitberechnung bei Veloland Schweiz

Von Peter Früh

Abstract

Auf der Webseite von veloland.ch wird für eine beliebige Route eine Schätzung der Fahrzeit angegeben. Dabei muss der Benutzer seine geschätzte Geschwindigkeit auf einer horizontalen Strecke eingeben. Damit wird die Fahrleistung und mit Hilfe des Streckenprofils die Fahrzeit berechnet.

In diesem Artikel wird das zugrunde liegende Programm beschrieben.

1. Einleitung

Die Basis der Fahrzeitberechnung ist die Bestimmung der Geschwindigkeit auf Grund der Fahrleistung und der Steigung, bzw. Gefälle. Die Fahrleistung wird aus dem Eingabewert „Geschwindigkeit in einer Ebene“ berechnet.

In die Berechnung gehen verschiedene Parameter ein, für die mittlere Werte eingesetzt werden.

Die Fahrleistung wird entsprechend der Steigung /dem Gefälle angepasst.

Die berechnete Geschwindigkeit wird nach oben und unten begrenzt.

Die Fahrzeitberechnung berücksichtigt nicht:

- Die Beschaffenheit der Wege
- Reduktion der Geschwindigkeit bei Kurven, Kreuzungen etc.
- Windverhältnisse
- Die Beschleunigung bei Änderung von Steigung und Gefälle

2. Verwendete Gleichungen

Die Leistung P , die auf dem Velo erbracht wird, rechnet sich mit der aktuellen Geschwindigkeit v und dem zu überwindenden Widerstand F :

$$P = v \cdot F$$

$F = F_A + G + F_R$ setzt sich zusammen aus:

- Dem Luftwiderstand $F_A = 0.5 \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot (v - v_w) \cdot |v - v_w|$ mit:
 - c_w dem Luftwiderstandsbeiwert
 - A der dem Wind ausgesetzten Fläche
 - ρ der Luftdichte

- v_w der realen Windgeschwindigkeit in Fahrtrichtung

Der Luftwiderstand wird negativ wenn $v_w > v$

- Dem Gewicht $G = m \cdot g \cdot \sin(\beta)$ mit
 - m der Masse (Fahrer+Velo)
 - g der Erdbeschleunigung
 - β dem Steigungswinkel

Das Gewicht wird negativ für $\beta < 0$

- Dem Rollwiderstand $F_R = m \cdot g \cdot c_r \cdot \cos(\beta)$ mit
 - c_r dem Rollwiderstandskoeffizienten

Aus der Geschwindigkeit v_h auf horizontaler Strecke (bei Windstille) erhält man die Leistung:

$$P = (0.5 \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v_h^2 + m \cdot g \cdot c_r) \cdot v_h \quad (1)$$

Damit erhält man eine Gleichung für v :

$$(0.5 \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot (v - v_w) \cdot |v - v_w| + m \cdot g \cdot \sin(\beta) + m \cdot g \cdot c_r \cdot \cos(\beta)) \cdot v - P = 0 \quad (2)$$

Diese Gleichung kann iterativ nach v aufgelöst werden. Allerdings ist das Konvergenzintervall beschränkt.

Bei Windstille ($v_w = 0$) und kleiner Steigung/Gefälle ($\sin(\beta) = \beta$, $\cos(\beta) = 1$) erhält man:

$$0.5 \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 + m \cdot g \cdot (\beta + c_r) \cdot v - P = 0 \quad (3)$$

Die iterative Lösung dieser Gleichung mit einem Newton-Verfahren ist einfach und liefert nach ca. 5 Iterationen sehr genaue Werte:

$$v_{n+1} = v_n - f(v_n) / f'(v_n) \quad (4)$$

mit:

$$f(v) = 0.5 \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 + m \cdot g \cdot (\beta + c_r) \cdot v - P \quad (5)$$

und

$$f'(v) = 1.5 \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + m \cdot g \cdot (\beta + c_r) \quad (6)$$

3. Verwendete Parameter

Einige der in den obigen Gleichungen vorkommenden Parameter könnten vom Benutzer eingegeben werden. Um aber eine möglichst einfache Schnittstelle zu erhalten, werden mittlere Werte eingesetzt (siehe auch [1])

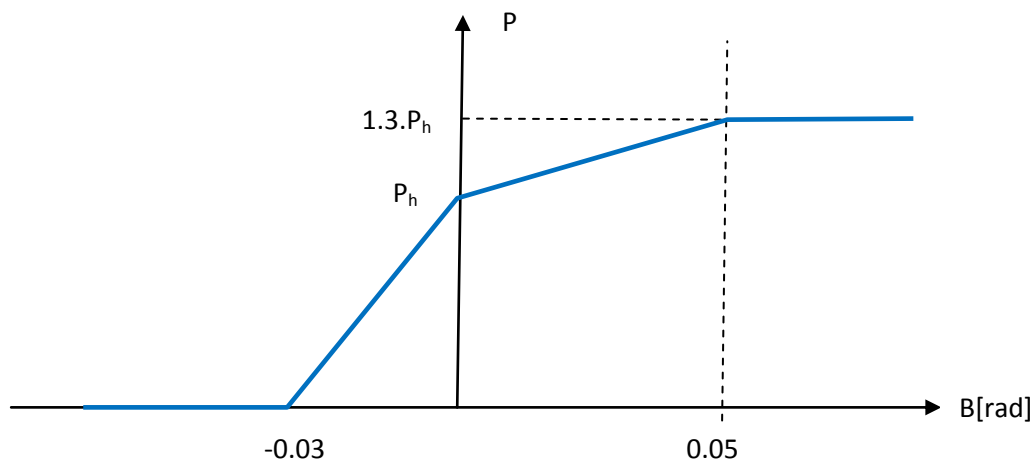
- Der Wert $c_w \cdot A$ beschreibt primär, wie der Fahrer auf dem Velo sitzt. Die Werte liegen im Bereich 0.25 m^2 (Triathlon-Lenker) und 0.75 m^2 (Holland-Lenker)
Es werden Werte zwischen $c_w \cdot A = 0.25 \text{ m}^2$ und $c_w \cdot A = 0.625 \text{ m}^2$ eingesetzt (siehe (4.3))

- Die Luftdichte ρ berechnet sich vereinfacht nach der Formel $\rho = 1.247015 \cdot \exp^{(-h \cdot 0.000104)}$ und liegt im Bereich von 200 – 2000 m.ü.M zwischen 1.22 und 1.02 kg/m³.
Es wird eine konstante Luftdichte von $\rho = 1.1962 \text{ kg/m}^3$ eingesetzt.
- Die Masse wird konstant auf $m = 90 \text{ kg}$ gesetzt.
- Der Wert der Erdbeschleunigung ist $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Der Rollwiderstandskoeffizient beschreibt primär den Effekt der Reifen und liegt zwischen 0.003 (Rennreifen) und 0.005 (Stollenreifen).
Es wird ein Rollwiderstandskoeffizient $c_r = 0.004$ eingesetzt.

4. Praktische Überlegungen

4.1 Steigungsabhängige Leistung

Die effektiv erbrachte Leistung ist sicher nicht unabhängig von der Steigung. Bei starkem Gefälle wird keine Leistung mehr erbracht und in den Steigungen ist die Leistung normalerweise höher als in der Ebene (Zeitfahren ausgeschlossen). Deshalb wird folgende Annahme getroffen (P_h = Leistung in der Ebene):



4.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

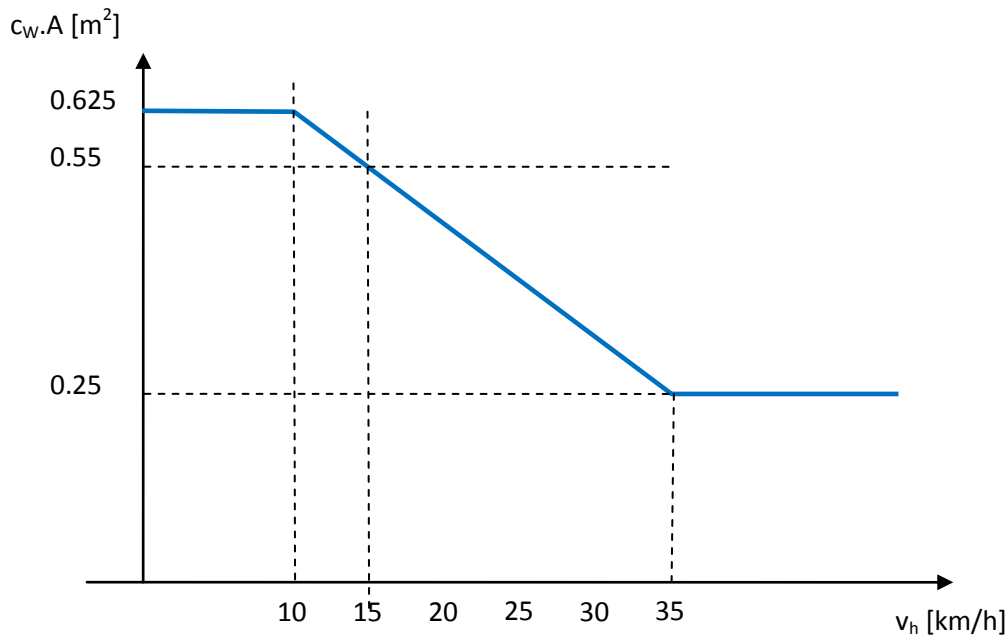
Die Geschwindigkeit wird nach unten begrenzt auf 2 km/h

Die Geschwindigkeit wird nach oben begrenzt auf 50 km/h

4.3 Geschwindigkeitsabhängige Fahrerhaltung

Wenn zum Beispiel für die Geschwindigkeit auf horizontaler Strecke 30 km/h eingegeben werden, ist es unrealistisch anzunehmen, dass der Fahrer aufrecht auf dem Velo sitzt. Umgekehrt wird man bei 10 km/h nicht auf einem Triathlon-Lenker liegen. Das heisst, der $c_w \cdot A$ Wert dürfte bei hohen Geschwindigkeiten kleiner sein und umgekehrt.

Es wird die folgende Annahme getroffen



5. Fahrzeitberechnung

1. Abgefragt wird die geschätzte Geschwindigkeit v_h auf einer horizontalen Strecke
2. Der $c_w \cdot A$ Wert wird entsprechend 4.3 bestimmt.
3. Daraus wird die erbrachte Leistung in der Ebene $P_h = (0.5 \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v_h^2 + m \cdot g \cdot c_r) \cdot v_h$ berechnet.
4. Das Streckenprofil wird eingelesen.
5. Für die einzelnen Streckenabschnitte wird die Steigung / Gefälle berechnet.
6. Daraus wird die Geschwindigkeit v mit den vereinfachten Gleichungen (4-6) bestimmt.
7. Die Zeit t_i für den Streckenabschnitt ergibt sich aus der Streckenlänge dividiert durch die Geschwindigkeit.
8. Die Gesamtzeit für die Etappe ist die Summe aller Streckenabschnittszeiten.

Literatur

[1] <http://www.kreuzotter.de>

Author

Dr. Peter Früh war bis anfangs 2013 Professor für Informatik an der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften. Er ist seither pensioniert und ist ein begeisterter Velofahrer.

e-mail: peter.fruh@gmail.com