

## Speedvergleich von Liegerädern und Velomobil

### Motivation

Seit ich mir ein Velomobil zugelegt habe, bewegte mich die Frage: „Wie schnell sind die einzelnen Liegeräder im Vergleich?“ Bringt die Vollverkleidung eines Velomobils so viel, dass trotz erheblich größerer Stirnfläche die Speed höher als bei einem unverkleideten Tieflieger ausfällt? Und wie verhält sich ein Midracer zum Tieflieger? Subjektiv hätte ich den Tieflieger etwa gleich schnell wie das Velomobil eingeschätzt, der Midracer ist langsamer – das empfand ich jedenfalls so.

Angeregt durch einen Artikel aus Ligfiets 2004-5 bzw. Velovision 14\_2004 wollte ich einen Speedvergleich der drei Liegeräder fahren. Zu Auswahl standen diese drei Räder:

- Midracer Challenge Furai 24"
- Tieflieger Challenge Fujin SL2
- Velomobil Sinner Mango Sport



Bild 1: Maßstäbliche Stirnfläche und Seitenansicht der Liegeräder Challenge Furai, Challenge Fujin SL2, Sinner Mango sport

Die Idee aus dem Artikel war die Räder mit konstantem Puls auf identischen Messstrecken nacheinander durch den gleichen Fahrer zu bewegen und dabei die Geschwindigkeit zu messen.

Die Räder wurden in folgender Ausstattung gefahren:

Furai: ohne Hecktasche, Schwalbe Kojak 40-507

Fujin: Schwalbe Stelvio, vorn 28-406, hinten 28-559

Mango: mit Pannenzubehör wie Standpumpe etc., vorn Schwalbe Durano 28-406, hinten Kojak 35-406

Da das Gewicht bei Fahrten in der Ebene untergeordnet ist, wurde die Liegeräder zwar gewogen, aber nicht um Zubehör erleichtert.

### Randbedingung

Für die Messung wird ein trainierter Fahrer benötigt, der die nötige Fitness aufbringt, um über ca. 2 h mit konstantem Puls von 150 bpm unterhalb der anaeroben Schwelle fahren zu können. Da ich dieses Jahr zum Zeitpunkt der Messfahrten bereits 9.000 Jahreskilometer gefahren war, habe ich kurzerhand mich selber ausgewählt. Ein Leistungstest ergab, dass meine anaerobe Schwelle bei 165 bpm liegt, mit einem Maximalpuls von 195 bpm.

Ich selber bin 1,83 m groß, wiege 74 kg und habe während der Messfahrten die Kleidung nicht verändert. Es wurde „doppelkurz“ gefahren, mit einer Windweste als Schutz. Während der Messung habe ich eine Trittfrequenz von 90...100 eingehalten. Alle Liegeräder waren perfekt auf mich eingestellt.

Als Strecke wurde eine ebene Straße auf 210 m über NN gewählt. Die Länge der Messstrecke betrug 4 km und war direkt neben einem Fluss gelegen. Sie war ziemlich windgeschützt zwischen Weinbergen und einer Eisenbahnstrecke gelegen. Der Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende betrug weniger als 2 Hm. Der Asphalt war sehr gut und ziemlich glatt.

Die Messung fand am 17. September 2011 um die Mittagszeit statt, einem ziemlich windstillem Tag mit ca. 20°C. Die Temperatur veränderte sich über Messungen nur um 3°C.

Die Messungen wurden wie folgt durchgeführt: Ich habe mich zunächst solange auf der Messstrecke eingerollt, bis sowohl der Puls von 150 bpm als auch die Geschwindigkeit einen stationären Wert erreicht haben. Dafür benötigte ich ca. 1 km. Dann wurde die Geschwindigkeitsmessung per GPS (Garmin Dakota) gestartet. Über die Messstrecke von 3 km hatte dann das Fahren eines konstanten Puls von 150 bpm oberste Priorität. Am Ende der Messstrecke wurde bei voller Fahrt die Durchschnittsgeschwindigkeit der Messung notiert. Anschließend wurde gewendet und das gleiche Vorgehen in entgegengesetzter Richtung angewendet. So wurde je 2 Fahrten in beide Richtungen durchgeführt. Waren die Messwerte innerhalb einer Streuung von kleiner 1 km/h, dann wurde die Messfahrt beendet. Ansonsten wurden erneut eine Fahrt in beide Richtungen durchgeführt.

Alle Messfahrten wurden dabei mit dem Sigma Rox 9.0 protokolliert, wobei hierbei die Geschwindigkeit nicht ausgewertet wurde, um Fehler durch die Reifengröße auszuschließen. Anbei ein Beispiel für die Messungen exemplarisch für die Fahrten mit dem Mango Velomobil:



Bild 2: Messschrieb Mango. WP sind Messstart und -stopp. Rote Kurve = Puls, der grüne Bereich ist 140 .. 160 bpm. Grüne Linie = Geschwindigkeit.

Anschließend musste das Liegerad getauscht werden. Dazu musste die Messstrecke für zwei Kilometer verlassen werden, 60 Hm wurden zurück gelegt, dann wieder mit einem anderen Liegerad zur Messstrecke, um die gleichen Messungen erneut durchzuführen.

Am Ende wurde zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit erneut eine Messfahrt mit dem zuerst gewählten Rad durchgeführt. Dadurch stellte ich sicher, dass über die Messreihe keine relevante Ermüdung des Fahrers eingetreten ist.

Insgesamt wurden 78,5 km gefahren mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 32,3 km/h, inklusive der Fahrten zum Tauschen der Fahrzeuge.

Über die Messreihen eines jeden Liegerads wurde dann der Mittelwert der Durchschnittsgeschwindigkeiten berechnet, um Gefälle- und Windeinfluss heraus zu mitteln. Hier das Ergebnis:

Furai: 35,9 km/h  
 Fujin: 39,3 km/h  
 Mango: 42,0 km/h

Damit stand fest, dass das Velomobil definitiv am schnellsten war! Dass dies aber so deutlich ist hätte ich vom subjektiven Eindruck her nicht erwartet. Das Furai hatte ich subjektiv als langsamer als das Fujin erlebt, was auch bestätigt wurde.

In dem Bericht in Velovision 2004 hatte man die Geschwindigkeit unter ähnlichen Randbedingungen mit 41,2 km/h ermittelt. Somit haben sich meine Annahmen im Rahmen der Messgenauigkeit als brauchbar erwiesen.

#### Fehlerbetrachtung

Der Puls konnte gut bei 150 bpm im Bereich +/- 5 bpm gehalten werden. Somit kann von ziemlich vergleichbaren Antriebsleistungen ausgegangen werden.

Schwankung der Geschwindigkeit waren teilweise durch Windböen und überholende Lkw oder Busse bedingt. Im Mittel sollte sich dies aber ausgeglichen haben.

Leider ist der Wirkungsgrad der Antriebsstränge nicht bekannt. Da nur die Antriebsleitung

am Tretlager konstant gehalten wurde, kann durch die verschiedenen Antriebsstränge durchaus eine Rückwirkung auf die Geschwindigkeit eingetreten sein.

### Berechnung

Die ermittelte Geschwindigkeit habe ich nun für eine vergleichende Berechnung der Liegeräder benutzt.

Meine Antriebsleistung habe ich aus dem Befahren von Alpenpässen berechnet. Dies ist möglich wenn die Pässe lange konstante große Steigungen von ca. 10% aufweisen, so dass die Fahrwiderstände vernachlässigbar werden (<5% der Antriebsleistung). Nahezu vollständig wird also dann die Antriebsleistung in Steigleistung umgewandelt.

Fährt man nun mit konstanter Herzfrequenz die Pässe hinauf, so kann die Steigleistung aus  $Masse * g * Höhe / Zeit$  berechnet werden. Das Ergebnis ist die Leistung am Hinterrad. Unterstellt man einen Wirkungsgrad von 95% des Antriebsstrangs, so kann die Antriebsleistung am Tretlager abgeschätzt werden. Für mich ergab sich daraus bei 150 Puls eine Antriebsleistung von 210 W am Tretlager. Für die nachfolgenden Berechnungen wurde dann aber nur 200 W angesetzt, da für die Geschwindigkeit die Antriebsleistung am Hinterrad relevant ist.

Die Fahrwiderstandsgleichung beinhaltet dann für die Messreihen in der Ebene nur Roll- und Luftwiderstand. Viele Eckdaten konnten gemessen (Gewicht), über Rechnungen ermittelt werden (Stirnfläche mit mir als Fahrer: Projizierte Fläche ausgemessen aus Foto) oder Literatur entnommen werden (Rollwiderstandszahl 0,0058; Dichte der Luft 1,21 kg/m<sup>3</sup> bei 20°C in 200m Höhe).

Dann bleibt als einzige Unbekannte die Luftwiderstandszahl  $c_w$ , die nun aus der Fahrwiderstandsgleichung mit der Leistung am Hinterrad berechnet wird.

Darüber hinaus habe ich zum Vergleich die Literaturdaten für einen Rennradfahrer ergänzt:

	Furai	Fujin	Mango	<i>Rennrad (Literatur) Oberlenkerhaltung</i>
Gesamtgewicht	90 kg	84 kg	106 kg	84 kg
Maximalhöhe	1,28 m	1,12 m	0,96 m	?
Stirnfläche	0,29 m <sup>2</sup>	0,27 m <sup>2</sup>	0,44 m <sup>2</sup>	0,4 m <sup>2</sup>
$c_w$ (berechnet)	0,86	0,7	0,31	0,88
$c_w \times A$ (berechnet)	0,25	0,19	0,14	0,35
v mit 200 W	35,9 km/h	39,3 km/h	42,0 km/h	32,6 km/h

Spannend war die Erkenntnis, dass die Stirnfläche beim Furai kam größer als beim Fujin ist. Nun ist das Fujin aber so perfekt um den Fahrer geschmiegt, dass sich ein deutlich geringerer  $c_w$ -Wert ergibt. Das Fujin ist ein echtes Renngerät, während das Furai durch Schutzbleche und Gepäckträger ein schneller Alltagslieger ist. Schneller als ein Rennrad ist es allemal, wie die Abschätzung aus Literaturwerten zeigt.

Das Mango schließlich kompensiert seine erheblich größere Stirnfläche über den fantastischen  $c_w$ -Wert von 0,31. So einen Wert hat man im Automobilbau erst in den letzten Jahren geschafft! Spannend wäre die Frage, ob mit der Mango-Abdeckung der  $c_w$ -Wert beim Velomobil sogar noch ein bisschen besser würde. Ich fürchte allerdings, dass diese Feinheiten mit der pragmatischen Speedmessung nicht sicher aufgezeigt werden können.

Martin Dettmar