

Biofysica van het wielrennen

Hoeveel kilometer kan het Werelduurrecord worden verbeterd?

In 2014 vestigde Jens Voigt een nieuw werelduurrecord wielrennen met 51,110 km in 60,00 min. In korte tijd werd het record nog een aantal keer verbeterd. Het huidige record werd op 7 juni 2015 door de Brit Bradley Wiggins gevestigd: 54,526 km in 60,00 minuten. Hij fietste dit record in een velodrome in London, wat ligt op zeeniveau [1].

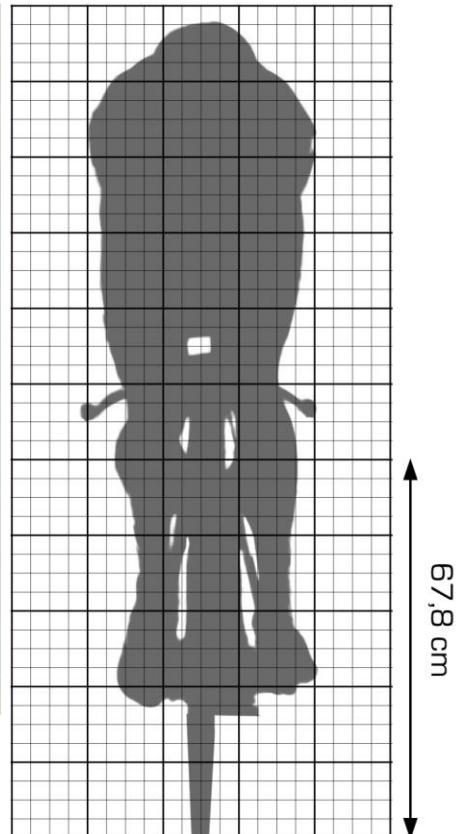
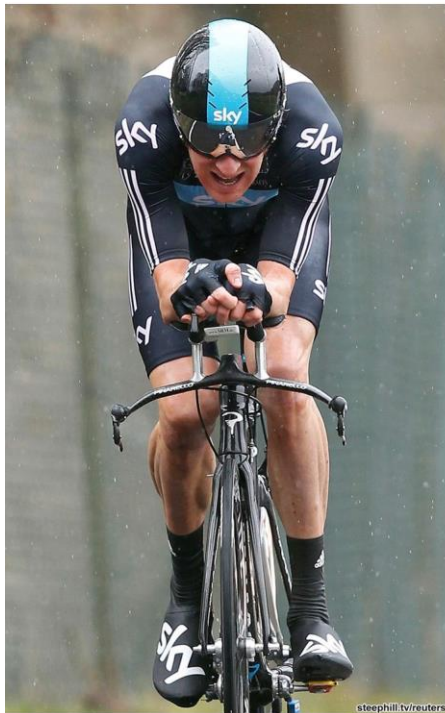
Er werken in totaal drie krachten op de fiets: de weg duwt de fiets vooruit, er is rolwrijving en tot slot luchtweerstand [2]. Voor de twee tegenwerkende krachten geldt:

$$F_{rol} = \mu \cdot F_N = \mu \cdot mg$$
$$F_{lucht} = \frac{1}{2} \rho C_d A \cdot v^2$$

We nemen in het vervolg bovendien aan dat Bradley Wiggins tijdens zijn recordrit een constant vermogen leverde [3].

Opdracht 1: frontaal oppervlak

Om de luchtweerstand op Wiggins te kunnen schatten hebben we het frontaal oppervlak van de wielrenner (met fiets) nodig. We gebruiken daarvoor een foto die zo goed mogelijk frontaal van voren is genomen [4]. Daarbij is bekend dat de diameter van het wiel 67,8 cm is. Schat nu het frontaal oppervlak A van de renner.



Om antwoorden op vervolgvragen makkelijk te kunnen controleren hanteren we als uitkomst van opdracht 1 een oppervlakte $A = 0,389\text{m}^2$ [5]. Daarnaast gebruiken we de volgende gegevens:

$$\mu = 0,00231 \quad [6], [7]$$

$$g = 9,812\text{m/s}^2 \quad [8]$$

$$\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3 \quad [9]$$

$$C_d = 0,700 \quad [10]$$

$$m = 84,0 \text{ kg (renner + fiets)} \quad [11][12]$$

Opdracht 2: geleverd vermogen

Gebruik bovenstaande informatie met de relatie $P = F \cdot v$ om het nuttig vermogen, geleverd door Bradley Wiggins tijdens zijn werelduurrecord, te berekenen.

Opdracht 3: beentempo van Wiggins

Wiggins gebruikte voor zijn race een verzet van 58 tanden voor en 14 tanden achter. Bereken het beentempo waarmee hij gefietst heeft. Dit noemen we de cadans [13].

De Nederlandse wielrenner Dion Beukeboom wil dit record in 2018 gaan verbeteren. Dion Beukeboom is, zeker in vergelijking met Bradley Wiggins, een onbekende wielrenner. Hij wil het Werelduurrecord aanvallen in Mexico, op 2250 meter [14]. Op die hoogte is de luchtdichtheid lager, evenals de zwaartekrachtsversnelling. Neem aan dat de volgende waardes gelden:

$$\rho_{\text{lucht}} (\text{Mexico}) = 0,980 \text{ kg/m}^3 \quad g (\text{Mexico}) = 9,779 \text{ m/s}^2$$

Opdracht 4: een nieuw record?

Gebruik dezelfde relatie als in opdracht 2 maar houd nu het vermogen constant en bepaal of bereken de afstand die Wiggins onder deze omstandigheden met een verder identieke race zou afleggen.

Tip: maak een Excel-sheet met alle gegevens en probeer verschillende waardes voor de snelheid uit, tot je de snelheid vindt die het juiste vermogen oplevert.

Hoeveel kilometer zou je zelf in een uur kunnen fietsen?

Om te schatten welke afstand je zelf zou kunnen fietsen in een uur (in een aerodynamische houding op een racefiets) moet je weten welk vermogen je langere tijd vol kunt houden. Een hartslagmeter en een constant parcours is hiervoor voldoende.

Opdracht 4: fietsen op hartslag (1)

Leg uit dat hartslag een goede maat is voor het vermogen dat je levert. Anders gezegd: fietsen met een constant vermogen is fietsen met een constante hartslag.

Je spieren beginnen meer melkzuur aan te maken dan ze af kunnen voeren vanaf 91% van de maximale hartslag. Dit heet het omslagpunt. Anders gezegd: je zou in staat moeten zijn om, met enige training, een uur lang rond de 90% van je maximale hartslag te fietsen. Daar boven begin je te verzuren. Presteren met een hartslag boven de 91% houdt je niet veel langer dan 5 minuten vol. Verder geldt voor veel mensen geldt de volgende empirische relatie: maximale hartslag = 220 - leeftijd [15].

Opdracht 5: op hartslag een berg opfietsen

Op 21 juli 2017 fietste een 35-jarige, gemiddelde man de Ballon d'Alsace op vanaf Saint-Maurice-sur-Moselle. Hij deed dit met een hartslag rond zijn omslagpunt in een tijd van 43:04 minuten [16]. De 9,0 km lange klim bevindt zich in een bosrijke omgeving en heeft een nagenoeg constant stijgingspercentage van 6,9%. Het totale hoogteverschil dat wordt overwonnen is 620 m [17]. De massa van de fietser, fiets, water en eten samen is 98,0 kg. De coëfficiënt van de rolweerstand μ was 0,00375 bij een C_d van 1,0. Bereken het gemiddeld nuttig vermogen dat deze fietser gedurende de klim levert en vertaal dit naar een 'werelduur'-afstand. Doe dit op twee manieren:

- Met behulp van $P = F \cdot v$ zoals in de eerdere opdrachten
- Met behulp van $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$

Vergelijk beide antwoorden onderling en met de schatting door de Strava-app van 246 W.

Opdracht 6: energieverbruik

De metabolische efficiëntie van het menselijk lichaam betreft zo'n 25%. Bereken het totaal energieverbruik van de wielrenner uit opdracht 5 tijdens de klim en reken dit om naar kcal.

Opdracht 7: een vlakke tijdrit in Nederland modelleren

Een magische grens voor veel amateur wielrenners is het fietsen van een 10 kilometertijdrit in 15 minuten. In Nederland is hiervoor best een vlak, recht stuk weg te vinden. Helaas speelt wind in Nederland vrijwel altijd een rol. Dat betekent dat de methode die tot nu gebruikt is, voor windstille situaties, als volgt moet worden aangepast:

$$F_{lucht} = \frac{1}{2} \rho C_d A \cdot (v - v_{wind}) \cdot |v - v_{wind}|$$

Stel dat de tijdrit bestaat uit 5,00 km heen en 5,00 km terug bij een windsnelheid van 5,5 m/s. Optrekken bij de start en het keerpunt verwaarlozen we. Schrijf een computermodel voor deze tijdrit en bepaal welk vermogen de tijdrijder moet leveren.

Bronnen

- [1] [http://nl.wikipedia.org/wiki/Werelduurrecord_\(wielrennen\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Werelduurrecord_(wielrennen))
- [2] Randy Knight, *The Bicyclist's Paradox*, Phys. Teach. 46, 275 (2008)
- [3] Volgens Xavier Disley op Twitter fietste Wiggins in werkelijkheid op een licht aflopend schema, zie <https://pbs.twimg.com/media/CG62hLOWwAAasxV.png>
- [4] Foto afkomstig van steephill.tv
- [5] Bepaald door pixels tellen m.b.v. Photoshop Selectie en Histogram
- [6] <https://www.bicyclerollingresistance.com/road-bike-reviews/vittoria-corsa-speed-2016>
- [7] <https://www.bicyclerollingresistance.com/the-test>
- [8] [http://en.wikipedia.org/wiki/Gravity_\(Earth\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Gravity_(Earth))
- [9] <https://www.wired.com/2012/08/long-jump-air-density/>
- [10] <https://www.cyclingpowerlab.com/CyclingAerodynamics.aspx>
- [11] https://nl.wikipedia.org/wiki/Bradley_Wiggins
- [12] Volgens UCI regels moet een fiets minimaal een massa van 6,8 kg hebben. Zie *Clarification Guide* op <http://www.uci.ch/inside-uci/rules-and-regulations/equipment-165067/>
- [13] <http://www.cyclingweekly.com/cycling-weekly/the-tech-behind-bradley-wiggins-hour-record-success-175720>
- [14] <https://nos.nl/artikel/2197739-beukeboom-beter-dan-wiggins-hoe-dan.html>
- [15] Peter Konopka, *Sportwijzer Wielrennen*, Tirion 2005
- [16] Bepaald via GPS met Strava-app
- [17] <http://cyclingcols.com/col/BallonDAIsace>