

In sporten waar snelheid belangrijk is, is luchtweerstand een grote prestatiebepalende factor. Zo ook in het wielrennen. Een optimale aerodynamica is voor de wielrenner dus van groot belang. Na het lezen van dit artikel zou iedereen, met het juiste gereedschap, in staat moeten zijn om zelf aerodynamicatesten op de fiets uit te voeren.

Aerodynamica testen op de fiets: voor dummies

Albert Smit

Voor aerodynamische metingen was vroeger altijd een laboratorium (windtunnel) nodig, maar met de komst van mobiele vermogensmeters zoals SRM (Schoberer Rad Messtechnik) behoort dit nu ook in het veld tot de mogelijkheden. Dat kan het beste op de wielersbaan, maar eventueel ook gewoon op een (rustig stukje) openbare weg. Dat dit niet zo moeilijk is als het lijkt is het onderwerp van dit artikel.

Klassieke mechanica

Elke aerodynamicatest is gebaseerd op de klassieke wetten van de mechanica, met als belangrijkste de wetten van Newton. Dit betekent voor fietsen, dat als je met een constante snelheid fietst, de kracht (of het vermogen) die je levert gelijk moet zijn aan de kracht (of het vermogen) die je aan weerstand ondervindt. Als dat niet zo was, dan zou je versnellen of vertragen tot deze krachten weer gelijk zouden zijn. In principe is deze kennis al genoeg om een aerodynamicatest uit te kunnen voeren.

Alles wat je nodig hebt is 1) een vermogensmeter die meet hoeveel kracht/vermogen je op de fiets levert en 2) een windarm stukje weg. Als je nu in een bepaalde houding met een

constante snelheid rijdt en je meet hoeveel vermogen je daarbij levert, dan kun je een vergelijking maken met het rijden in een andere houding met exact hetzelfde geleverde vermogen. Het verschil in snelheid geeft dan direct aan hoeveel beter of slechter de tweede houding – aerodynamisch gezien – is ten opzichte van de eerste houding. Het is echter bijna onmogelijk om twee keer een periode met exact hetzelfde vermogen te rijden. Iets gemakkelijker is het om gedurende een bepaalde tijd met (gemiddeld) dezelfde snelheid te rijden. Door dan het vermogen bij deze snelheid af te lezen en te kijken bij welke houding het geleverde vermogen het laagste is kan de meest aerodynamische houding gevonden worden.

In de praktijk blijkt echter dat twee keer met dezelfde gemiddelde snelheid rijden ook heel lastig is, behalve voor ervaren achtervolgers op de baan, die net als schaatsers ronde na ronde exact dezelfde rondetijden kunnen produceren. Je kunt dit probleem omzeilen door in één houding met drie of meer verschillende snelheden te gaan rijden. Vervolgens zet je het vermogen tegen de snelheid uit en plot hier een regressielijn doorheen (een rechte lijn



die zo dicht mogelijk bij alle punten ligt). Vervolgens doe je met de tweede houding hetzelfde en vergelijkt dan de twee regressielijnen met elkaar om te kijken welke houding het snelste is (zie figuur 1). De laagste lijn is hierin het snelste.

Het nadeel van deze aanpak is dat je moet aannemen dat temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid, die alle drie van invloed zijn op de luchtdichtheid en daarmee op de luchtweerstand, gelijk blijven bij het doen van de testen. Een verandering in één van deze waarden zal je testresultaten beïnvloeden. Maar als je je testen maar kort genoeg achter elkaar uitvoert (bijvoorbeeld binnen 1-2 uur), dan zullen deze veranderingen beperkt zijn. Heb je meer tijd nodig omdat je veel te testen hebt of omdat het

$$F_{lucht} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_p \cdot C_d \cdot v_{lucht}^2$$

waarbij

- F_{lucht} de luchtweerstand is (in N)
- ρ de luchtdichtheid is (in kg/m^3)
- A_p het frontale oppervlak is (in m^2)
- C_d luchtweerstandcoëfficiënt is (dimensieloos)
- v_{lucht} de windsnelheid is (in m/s).

Bij een veranderende houding bij het fietsen is de luchtweerstandcoëfficiënt (C_d) sterk afhankelijk van het frontale oppervlak (A_p) en worden deze twee vaak samen als één waarde genomen, de $A_p C_d$ -waarde. Het is deze waarde die je zou willen weten wanneer je verschillende houdingen of materialen met elkaar vergelijkt.

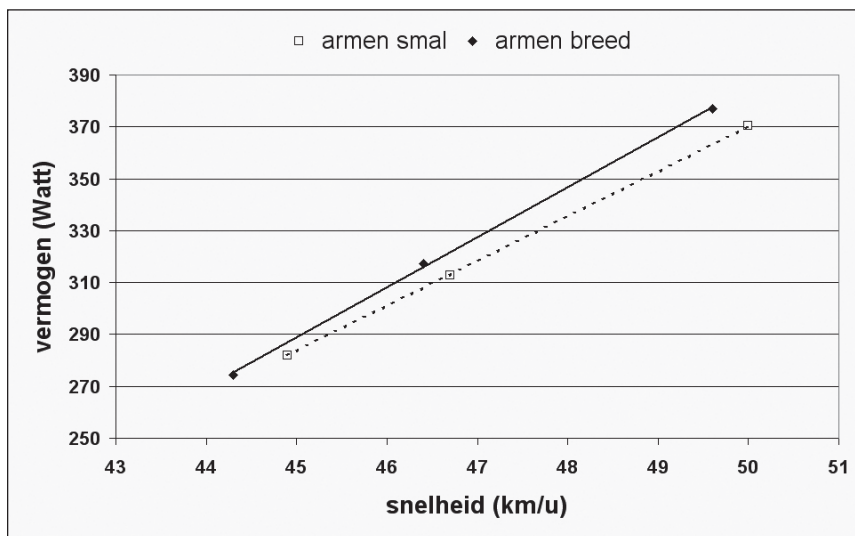
Om het vermogen dat aan het over-

heid met kennis van het geleverde vermogen, de luchtdichtheid (te berekenen uit temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid) en fietssnelheid de $A_p C_d$ -waarde te berekenen.

Spreadsheet

Martin en collega's¹ hebben een spreadsheet gepubliceerd waarmee door het uitvoeren van een veldtest met 6 snelheden de $A_p C_d$ -waarde van een fietser te bepalen is. Ze hebben dit gedaan voor testen op de openbare weg en voor testen op een wielervedbaan. Door simpelweg alle benodigde cellen in het spreadsheet in te vullen komt er vanzelf de $A_p C_d$ -waarde uit. Dit spreadsheet is te downloaden van de website van *Sportgericht* (www.sport-gericht.nl)!

Het benodigde gereedschap is als volgt:



Figuur 1.

slutelen aan je fiets veel tijd kost, dan kan een ietwat complexere benadering uitkomst bieden.

Wetten van de aerodynamica

Om aerodynamicatesten op de fiets over langere tijd of zelfs meerdere dagen te kunnen uitspreiden en vergelijken moet je de afzonderlijke factoren die van invloed zijn op de luchtweerstand bepalen. De relatie tussen deze factoren is als volgt:

winnen van de luchtweerstand (P_{lucht}) wordt besteed te berekenen moet de bovenstaande vergelijking voor kracht (F_{lucht}) nog worden vermenigvuldigd met de snelheid van de fietser ten opzichte van de grond (v_{grond}):

$$P_{lucht} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_p \cdot C_d \cdot v_{lucht}^2 \cdot v_{grond}$$

Bij windstille omstandigheden, zoals een overdekte wielervedbaan, worden v_{lucht} en v_{grond} vaak samen genomen tot v^3 . Hieruit is dus bij constante snel-

Voor buitentesten

- een fiets uitgerust met SRM of een vergelijkbare, betrouwbare vermogensmeter;
- een rustig stuk vlakke weg met glad asfalt en kennis over het eventuele hellingpercentage;
- windmeter;
- weegschaal;
- weerstation met absolute weergave van luchtdruk, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid.

Voor testen op de wielervedbaan (indoor)

- een fiets uitgerust met SRM of een vergelijkbare betrouwbare vermogensmeter;
- een afgesloten wielervedbaan;
- weegschaal;
- meetlint;
- weerstation met absolute weergave van luchtdruk, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid.

Een voorbeeld staat in tabel 1. Zowel de testen op de weg als op de baan bestaan uit 6 snelheden. Deze moeten allemaal ingevuld worden. Lukt

het door omstandigheden niet om 6 trials te doen, dan kun je een aantal trials dubbel invullen, maar dit is niet ideaal. Elke trial moet met constante snelheid gereden worden, in ieder geval voor het stuk dat je gaat meten en gebruiken. Probeer om een zo groot mogelijke spreiding in de trials te krijgen, dus als laagste snelheid bijvoorbeeld 10 km/u en als hoogste de snelheid die gedurende de lengte van de testsectie nog net volgehouden kan worden. Hoe langer het gemeten stuk, des te betrouwbaarder de data, dus wellicht kan bij de lagere snelheden langer gemeten worden dan bij de hoge snelheid.

Bij het gebruik van de echte spreadsheet moet vooraf eerst de Air Density Calculator ingevuld worden. Hierbij wordt de temperatuur in °C ingevuld, de relatieve luchtvochtigheid in percentage en de luchtdruk in millibar. Hieruit wordt dan in het spreadsheet de luchtdichtheid berekend.

Aanwijzingen voor de buitentest

Gebruik een wegdeel dat lang en vlak is en zonder verkeer. 500 meter kan genoeg zijn, maar langer is beter. Bij elke trial moet je het volgende invullen:

- Gewicht van fiets + fietser
- De hellinghoek in percentage. Dit hangt af van de richting die je opfietst. Omhoog is een positief percentage en naar beneden een negatief percentage.
- De windsnelheid in meter per seconde. Hiervoor moet je de windsnelheid en -richting weten en moet je de windcomponent berekenen die parallel aan de weg is. Een negatieve waarde betekent dat de wind in dezelfde richting blaast als er gefietst wordt (wind mee), een positieve waarde dat de wind tegen is.
- De begin- en eindsnelheid wanneer de meting begonnen en beëindigd wordt in meter per seconde. Deze kan uit de SRM gelezen worden,

maar dan moet je wel precies weten wanneer de meting begonnen en beëindigd is (Tip: gebruik Set om bij het begin en einde een markering aan te maken).

- De gemiddelde snelheid over de trial in meter per seconde. Dit is ook uit de SRM data te halen.
- Het gemiddelde vermogen over de trial, in Watt.
- De tijd die voor de trial nodig was, in seconden.
- Een waarde voor de rolwrijvingscoëfficiënt. Typische waarden worden in de spreadsheet gegeven voor een ruwe weg, een gladde weg en een houten baan.

Als dit allemaal ingevuld is verschijnt er een $A_P C_d$ -waarde voor fietser en fiets inclusief een 95% betrouwbaarheidsinterval.

Aanwijzingen voor de velodrometest (indoor)

Gebruik een lege wielersbaan. Elke andere renner in de baan zorgt voor turbulentie en een circulatie van de lucht die de metingen sterk beïnvloeden. De spreadsheet gaat er vanuit dat er geen wind is. Er wordt van één complete ronde uitgegaan, maar de betrouwbaarheid zal verbeteren bij 2 of meer ronden. Dit zal bij de hoogste snelheid misschien moeilijk zijn, maar probeer minstens twee ronden bij elke snelheid te doen. Je kunt bijvoorbeeld ongeveer 30s per snelheid laten doen, waardoor bij de zeer lage snelheid soms maar één ronde gedaan wordt en bij hogere snelheden 2 ronden.

Vul eenmaal voor een serie trials het volgende in:

- De lengte van de baan in meters (dit blijft in principe voor alle metingen hetzelfde, tenzij je bijvoorbeeld de ene dag in Alkmaar en de volgende dag in Amsterdam gaat testen);
- De hoogte van het zadel naar de grond in meters. Dit heeft te maken met het fenomeen van de bochten op een wielersbaan. Een renner hangt

in de bocht en komt weer overeind. Hierdoor gaat het lichaamszwaartepunt ook naar beneden en weer omhoog. In de spreadsheet wordt geprobeerd hier rekening mee te houden. Ook dit blijft vaak voor alle metingen hetzelfde, maar soms wordt hier tijdens houdingstesten aan gesleuteld;

- Een waarde voor de rolwrijvingscoëfficiënt. Typische waarden worden in de spreadsheet gegeven voor een ruwe weg, een gladde weg en een houten baan.

Vul voor elke trial het volgende in, alle data zijn uit de SRM te halen:

- De begin- en eindsnelheid wanneer de meting begonnen en beëindigd wordt, in meter per seconde (Tip: gebruik Set om bij het begin en einde een markering aan te maken);
- De gemiddelde snelheid over de trial, in meter per seconde;
- Het gemiddelde vermogen over de trial, in Watt;
- De tijd die voor de trial nodig was, in seconden.

Als dit allemaal ingevuld is verschijnt er een $A_P C_d$ -waarde voor fietser en fiets inclusief een 95% betrouwbaarheidsinterval.

Praktijkvoorbeeld

De gegevens in tabel 1 komen uit een houdingstest met een professionele wegwielrenner. De testen werden uitgevoerd op een indoor wielersbaan van 250 meter. De renner voerde 3 testen uit: 1) een test in zijn huidige houding, 2) een test met het zadel 1 cm hoger en 3) een test met het stuur 1 cm naar beneden, vergeleken met de huidige houding. Zijn totale gewicht met fiets was 83,6 kg. Zijn zadelhoogte tot de grond (loodrecht gemeten) was 102 cm in de huidige houding (test 1) en 103 cm in test 2. De luchtdruk nam bij elke test iets af, van 1029,7 millibar bij test 1 naar 1029,3 millibar bij test 3, maar temperatuur en relatieve luchtvochtig-

Tabel 1

Voorbeeld van aangepast invulspreedsheet voor het bepalen van de luchtweerstand. De cursief gedrukte getallen worden automatisch berekend.

Gewicht fiets + fietser (kg)	Begin-snelheid meting (km/h)	Begin-snelheid meting (m/s)	Eind-snelheid meting (km/h)	Eind-snelheid meting (m/s)	Gemiddelde snelheid (km/h)	Gemiddelde snelheid (m/s)	Gemiddelde snelheid lichaams-zwaartepunt (m/s)	SRM vermogen (W)	Duur meting (s)
83.6	34.10	9.47	32.80	9.11	33.27	9.24	9.19	131.4	50
83.6	30.00	8.33	30.70	8.53	30.20	8.39	8.35	101.1	46
83.6	34.10	9.47	35.30	9.81	35.51	9.86	9.80	161.0	40
83.6	40.30	11.19	42.20	11.72	41.00	11.39	11.29	243.4	33.5
83.6	44.70	12.42	45.40	12.61	45.96	12.77	12.64	320.4	42
83.6	49.20	13.67	50.00	13.89	51.00	14.17	13.99	435.1	40.5

heid bleven praktisch gelijk.

Het protocol was:

1. 1 ronde 25 km/u = 36s over een ronde
2. 1 ronde 30 km/u = 30s over een ronde
3. 1 ronde 35 km/u = 25,7s over een ronde
4. 2 rondes 40 km/u = 22,5s per ronde
5. 2 rondes 45 km/u = 20s per ronde
6. 2 rondes 50 km/u = 18s per ronde

Tussen elke snelheid kreeg de renner 1 ronde om te versnellen naar de volgende snelheid. De totale tijd per meting komt dan op ruim 5 minuten. De renner had de eerste trial moeite om zo langzaam (25 km/u) te rijden en reed de eerste ronde dus met een gemiddelde van 32,8 km/u. De volgende stap reed hij wel op ongeveer 30 km/u (30,7) en daarna 35,3 km/u, 42,2 km/u, 45,4 km/u en 50,0 km/u. Het is niet erg dat de snelheid iets afwijkt van het protocol. Veel erger is het als de renner gaat versnellen of vertragen tijdens een meting, waardoor de snelheid niet constant is en daarmee het geleverde vermogen ook niet.

Tabel 1 geeft de meetresultaten weer van de eerste sessie van deze renner. De tabel is enigszins aangepast ten opzichte van het spreadsheet die op de website van *Sportgericht* wordt gepubliceerd (www.sport-gericht.nl). Hierdoor is het onder andere gemakkelijker om direct de gegevens uit de SRM data over te nemen.

De $A_p C_d$ -waarde voor de eerste sessie kwam voor deze renner uit op 0,228 m² (95% betrouwbaarheidsinterval 0.2245-0.2309). Bij de tweede sessie

kwam de $A_p C_d$ -waarde uit op 0.245 m² (0.2423-0.2471). Deze was dus aanzienlijk hoger dan bij zijn huidige houding. De derde sessie resulteerde in 0.236 m² (0.2327-0.2403). Ook deze waarde was significant hoger dan bij de huidige houding. De meest aerodynamische houding voor deze renner is dus zijn huidige houding.

Wat opvalt bij deze renner is de zeer kleine foutmarge, blijktend uit de kleine spreiding van het 95% betrouwbaarheidsinterval rondom de meetwaarden. Dit betekent dat de renner zeer consequent is in het vasthouden van zijn houding tijdens de verschillende snelheden. Dit is niet vanzelfsprekend. Renners hebben namelijk de neiging om bij hogere snelheden meer in elkaar te kruipen dan bij lagere snelheden. Ook kijken sommige renners veelvuldig op hun computerdisplay, waardoor ze hun hoofd draaien en hun helm anders komt te staan, veelal met de punt omhoog. Dit zorgt natuurlijk voor afwijkende metingen, waardoor de meetpunten verder van de regressievergelijking af komen te liggen en het 95% betrouwbaarheidsinterval groter wordt. Rijden met een niet constante snelheid is verder ook een grote verstoorder van de betrouwbaarheid.

Tips

Afsluitend nog enkele tips voor het doen van aerodynamicatesten op de fiets:

- Zorg er voor dat de vermogensmeter

voor elke meting goed gekalibreerd is;

- Neem ruim de tijd per meting wanneer je een wielersbaan afhuurt;
- Instrueer de renners goed op het rijden met constante snelheid, niet bewegen met hoofd of bovenlichaam en niet in elkaar duiken.

Conclusie

Het is met een in de handel verkrijgbare vermogensmeter mogelijk om zelf aerodynamicatesten bij wielrenners te doen, zowel buiten als op een indoor wielersbaan. Een goed ingevuld spreadsheet geeft een nauwkeurige waarde voor de luchtweerstand van de renner. Het zo goed mogelijk standaardiseren van de werkwijze en vastlegging van de resultaten is noodzakelijk voor een betrouwbare meting.

Referentie

I. Martin JC, Gardner AS, Barras M & Martin DT (2006). Aerodynamic drag area of cyclists determined with field-based measures. *Sport-science*, 10, 68-69. (sportsci.org/2006/jcm.htm)

Over de auteur

Albert Smit heeft Bewegingswetenschappen gestudeerd en werkt als wetenschappelijk medewerker bij NOC*NSF. Hij was van 2004-2008 als expert adviseur verbonden aan de KNWU, waar hij onder andere houding- en materiaaltesten heeft uitgevoerd bij baanwielrenners, zowel in de windtunnel als op de wielersbaan. Email: albert.smit@noc-nsf.nl