

Luchtweerstand

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
2	Theorie	1
3	Verkennen opstelling	2
4	Onderzoeksvragen en werkplan	5
5	Metingen	6
6	Rapportage	6

1 Introductie

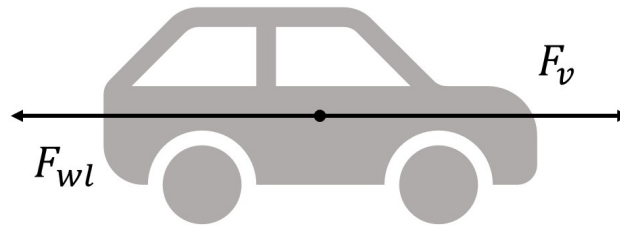
Een bewegend voertuig zoals een fiets, auto of vliegtuig ondervindt bijna altijd luchtweerstand. Bij het bewegen stroomt de lucht langs het voertuig. Het voertuig botst als het ware voortdurend tegen de lucht aan. Op het voertuig wordt dan een luchtwrijvingskracht uitgeoefend die de beweging tegenwerkt. Hoe groter deze luchtwrijvingskracht is, des te groter is het brandstofverbruik van het voertuig. Of – in het geval van fietsen – des te meer moeite je zelf moet doen om in beweging te blijven. In dit experiment gaan jullie onderzoeken hoe de luchtweerstand verschilt per voertuig en waar deze van afhangt.

2 Theorie

Om je goed voor te bereiden op het experiment wordt eerst de theorie bestudeerd.

2.1 Luchtwrijvingskracht

Bij een beweging met constante snelheid is de netto-kracht op een voertuig nul, zoals weergegeven in figuur 1. Als we de andere wrijvingskrachten (zoals bijvoorbeeld de rolwrijvingskracht tussen de wielen en het wegdek) buiten beschouwing laten, is de voorwaartse kracht op het voertuig gelijk aan de achterwaartse luchtwrijvingskracht. Hoe groter deze luchtwrijvingskracht is, des te groter moet dus de voorwaartse kracht zijn om het voertuig met een constante snelheid te laten bewegen. En hoe groter de voorwaartse kracht is, des te groter is de arbeid die de motor of je eigen lichaam moet leveren voor het afleggen van een bepaalde afstand – en des te groter is het energieverbruik. Het is dus van belang om de luchtwrijvingskracht op een voertuig zo klein mogelijk te maken.



Figuur 1: Bij een constante snelheid is de netto-kracht op een voertuig nul: de voorwaartse kracht F_v is even groot als de achterwaartse luchtwrijvingskracht $F_{w,l}$. Daarbij laten we de achterwaartse rolwrijvingskracht op het voertuig buiten beschouwing.

Opdracht 1: Luchtweerstand verminderen

In de praktijk zijn er verschillende manieren om de luchtweerstand op een bewegend voertuig zo klein mogelijk te maken. In figuur 2 zie je een paar voorbeelden.

- Op welke manieren wordt in de situaties van figuur 2 de luchtweerstand zo klein mogelijk gemaakt? Welke andere manieren zijn er volgens jou ook nog?
- Welke veronderstellingen kun je hieruit afleiden over de factoren die invloed hebben op de grootte van de luchtweerstand op een bewegend voertuig?



Figuur 2: Voorbeelden van situaties waarin de luchtweerstand op een bewegend voertuig zo klein mogelijk is gemaakt.

Een onderzoek naar het wel of niet juist zijn van deze veronderstellingen is in het verkeer zelf moeilijk uit te voeren. Het meten van de krachten op een bewegend voertuig is lastig. De veronderstellingen zijn makkelijker te controleren met metingen van de luchtweerstand als de lucht beweegt het voertuig stil staat. Dus: in een windtunnel. Voor metingen aan echte voertuigen moet zo'n windtunnel vrij groot zijn. Ook dat is lastig. Maar het onderzoek is ook uit te voeren met modelvoertuigen in een modelwindtunnel.

3 Verkennen opstelling

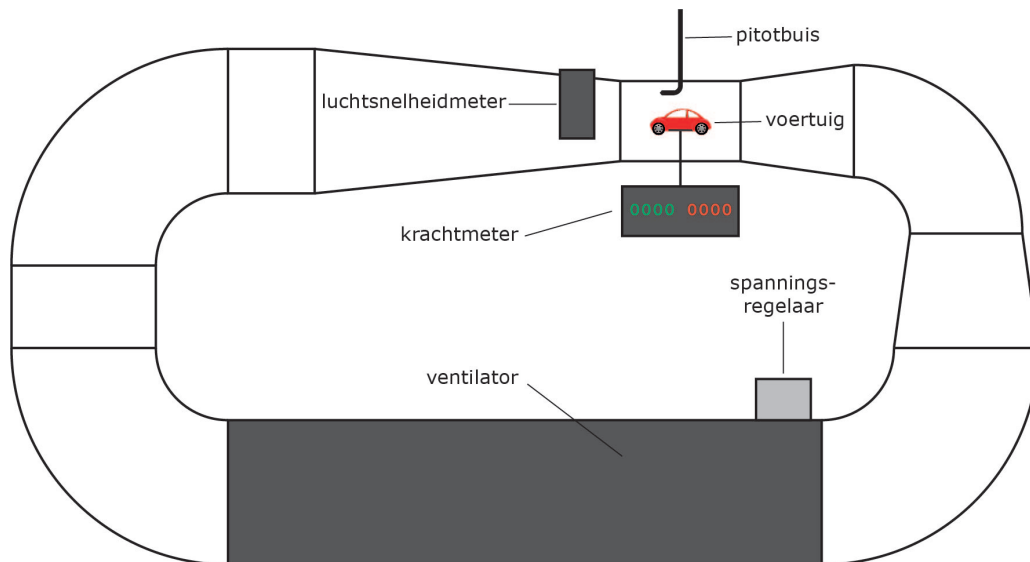
Je gaat nu aan de slag met de opstelling waarbij je eerst zal lezen over hoe de opstelling werkt en daarna een aantal proefmetingen zal uitvoeren. Op deze manier begrijp je goed hoe de

opstelling werkt. Daarna ga je, op basis van deze kennis, een werkplan opstellen.

3.1 De opstelling

Windtunnel

In figuur 3 is de modelwindtunnel weergegeven. Deze meetopstelling bestaat uit een tunnel met een ventilator die de lucht rond circuleert en een meetplateau. De ventilator in de windtunnel is aangesloten op een regelbare spanningsbron. Daarmee is het toerental van de ventilator, en dus de luchtsnelheid in de tunnel te regelen. Deze luchtsnelheid v is te meten met een pitotbuis. De pitotbuis hangt boven het voertuig in het doorzichtige stuk van de tunnel. De tunnel is zó ontworpen dat de luchtstroom die binnen komt in het doorzichtige deel laminair is. Op het meetplateau in het doorzichtige deel van de tunnel kan een modelvoertuig worden geplaatst. Dit zit vast op de tweedimensionale sensor waarmee de luchtwrijvingskracht $F_{w,l}$ en de liftkracht F_{lift} op het modelvoertuig tegelijk gemeten kunnen worden.



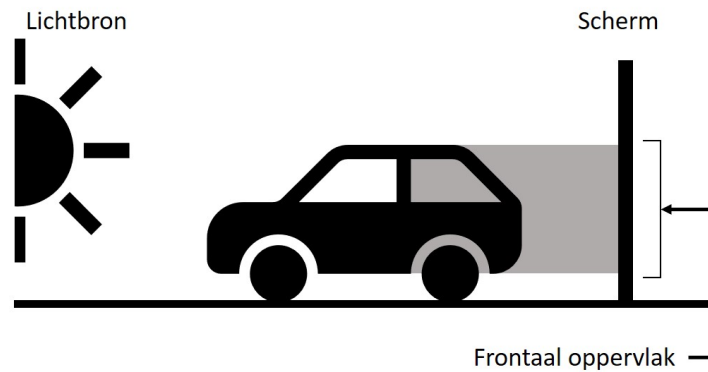
Figuur 3: Modelwindtunnel voor het meten van de luchtwrijvingskracht op een voertuig.

Frontaal oppervlak

De luchtwrijvingskracht op een voertuig of een ander voorwerp hangt onder andere af van het frontaal oppervlak van dat voertuig: het dwarsdoorsnede-oppervlak loodrecht op de bewegingsrichting. Met het in figuur 4 weergegeven onderdeel van de meetopstelling is het frontaal oppervlak A te meten met de projectiemethode.

3.2 Proefmeting

Voordat je nu in het volgende onderdeel bij opdracht 7 je werkplan kunt uitvoeren, is eerst een verkenning van de meetopstelling en de meetmethode nodig. Bij opdracht 2 doe je enkele oriënterende metingen om een indruk te krijgen van de meetonzekerheid in metingen van de luchtwrijvingskracht, de liftkracht en de windsnelheid. Bij opdracht 3 bepaal je het frontaal oppervlak van de modelvoertuigen en voorwerpen die je bij het experimenteel onderzoek gaat gebruiken.



Figuur 4: De projectiemethode voor het meten van het frontaal oppervlak van een voertuig. De lichtbron levert een vrijwel evenwijdige lichtbundel. De schaduw van het voertuig is zichtbaar op het scherm met een millimetteraster. Na het intekenen van de schaduwomtrek op het scherm is het frontaal oppervlak te bepalen door het aantal mm^2 of cm^2 te tellen.

Opdracht 2: Luchtwrijvingskracht en luchtsnelheid

Het belangrijk om te achterhalen of de gemeten luchtweerstand uitsluitend door het voertuig wordt veroorzaakt en niet door de bijvoorbeeld de houder of het vastmaakmechanisme. Natuurlijk kan de houder niet weggelaten worden, dus is het belangrijk om te weten hoe groot de invloed hiervan is. Daarnaast is het goed om te weten tussen welke waarden en hoe nauwkeurig je bijvoorbeeld de windsnelheid kunt variëren en hoe groot de krachten zijn die je hierbij reproduceerbaar kunt meten. Met de informatie uit deze proefmetingen kun je een goed werkplan opstellen.

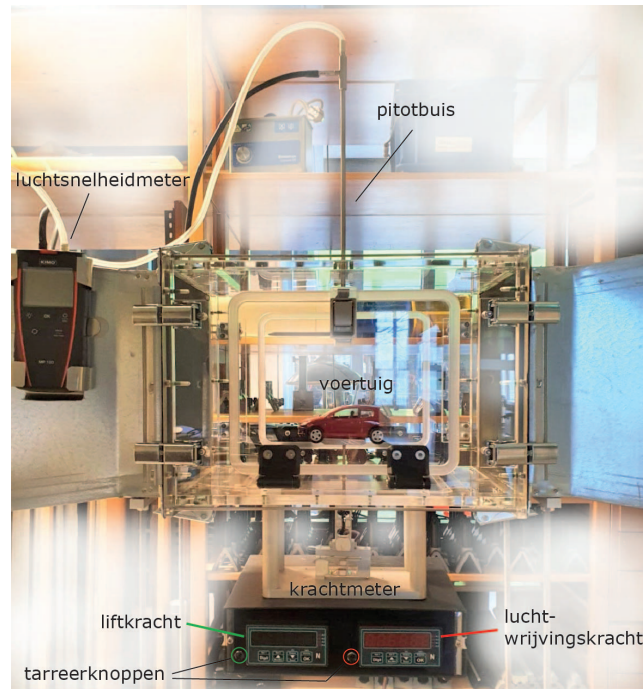
- **Meting**

Schakel de luchtsnelheidsmeter en de algemene schakelaar aan. Zet een modelvoertuig vast op het meetplateau, en tarreer de krachtmeters, zie figuur 5. Stel de regelbare spanningsbron voor de ventilator in op een bepaalde waarde, en verander deze instelling niet meer. Schakel de ventilator in met de schakelaar aan de zijkant. Meet de luchtsnelheid v in de windtunnel, de luchtwrijvingskracht $F_{w,l}$ en de liftkracht F_{lift} op het modelvoertuig. Schakel dan de ventilator uit met de schakelaar, en laat de meetopstelling ‘tot rust komen’. Herhaal deze metingen (bij dezelfde instelling van de spanningsbron) een aantal keer. Wat is je conclusie: zijn de metingen voldoende reproduceerbaar?

Ga ook na hoe hoog en laag je de luchtsnelheid kunt maken. Is de luchtsnelheid bij alle waarden even stabiel? Na het veranderen van de spanning of het inschakelen van de ventilator, hoe lang duurt het voordat de luchtsnelheid stabiel is (gemiddeld niet meer toe- of afneemt)?

- **Meetmethode**

Bedenk hoe je een meting van ‘de’ luchtsnelheid v en ‘de’ lucht-wrijvingskracht $F_{w,l}$ het beste zou kunnen uitvoeren. Hoe groot is dan ruwweg de meet-onzekerheid in deze metingen?



Figuur 5: Foto van de opstelling met relevante onderdelen benoemd.

Opdracht 3: Frontaal oppervlak

Bepaal met de projectiemethode zo nauwkeurig mogelijk het frontaal oppervlak A van de modelvoertuigen en voorwerpen die je in het experimenteel onderzoek gaat gebruiken.

Opdracht 4: Modelvoertuigen

Ga na welke modelvoertuigen en andere voorwerpen bij de meetopstelling beschikbaar zijn. Zoek of maak – als dat nodig is – de voor het experimenteel onderzoek benodigde modelvoertuigen. De maximale hoogte, breedte en diepte van een object zijn $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$. Informatie over hoe het object bevestigd moet worden aan de krachtmeter kan worden aangevraagd via het contactformulier op de website.

4 Onderzoeksvragen en werkplan

Na de theoretische voorbereiding en het verkennen van de opstelling kun je nu de onderzoeksvraag en een werkplan op te stellen.

Opdracht 5: Onderzoeksvragen

Formuleer de onderzoeksvraag die je met deze opstelling wilt beantwoorden. Gebruik hiervoor de kennis die je hebt opgedaan in de voorbereiding. Je moet de onderzoeksvraag kunnen beantwoorden met deze opstelling. Stel voor de onderzoeksvraag een hypothese op. De hypothese is wat je verwacht dat het antwoord zal zijn op de onderzoeksvraag.

Opdracht 6: Werkplan

Stel nu het werkplan op waarin in ieder geval de volgende punten behandeld worden:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- De grootheden die gevarieerd worden.
- De grootheden die gemeten worden en hoe deze metingen gedaan worden.
- Het aantal metingen.
- Hoe de data weergegeven wordt.

Aandachtspunten werkplan

- De te behalen nauwkeurigheid: hoe verkrijg je een zo nauwkeurig mogelijk resultaat voor v_{lucht} en $F_{w,l}$ met de beschikbare meetopstelling en tijd? Heeft het zin om de (enkele) bepalingen te herhalen (en waarom)?
- Hoe vind je de luchtweerstandscoefficiënt uit de gemeten grootheden?

Laat het werkplan controleren voordat je verder gaat.

5 Metingen

Nadat je de voorbereiding hebt uitgevoerd en het werkplan is goedgekeurd door de docent of assistent, kan je het experiment gaan uitvoeren.

Opdracht 7: Metingen

Zoek met behulp van de meetopstelling volgens je werkplan een antwoord op de onderzoeksvraag en controleer de opgestelde hypothese.

6 Rapportage

Afhankelijk van wat je docent van je verwacht rapporteer je met een schriftelijk verslag of een presentatie over het onderzoek. Zorg ervoor dat in dit verslag of deze presentatie de volgende onderdelen duidelijk naar voren komen:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- Een beschrijving en een uitleg van de werking van de meetopstelling.
- Grafische weergave van de meetresultaten.
- Verwerking en interpretatie van de meetresultaten.
- Het antwoord op de onderzoeksvraag verkregen door de meetresultaten.