

Auto & Motor
TECHNIEK

© **WWW.AMT.NL** - Dé internetsite voor de Automotive Professional

TECHNIEK

BMW opent nieuw windtunnelcomplex



Op naar een Cw van 0,20. BMW bouwde pal naast zijn Forschungs- und Innovationszentrum in München een splinternieuw Aerodynamic Test Center met twee windtunnels.

Aerodynamica helpt EfficientDynamics

Hard blazen loont

Tien procent minder luchtweerstand is 2,5% minder brandstofverbruik. Dat tikt aan. Dus nam EfficientDynamics-merk BMW begin dit jaar een nieuw windtunnelcomplex in gebruik. Kosten 170 miljoen euro. Wat krijgen de Beierse ingenieurs voor al dat geld en wat levert het op? AMT ging op onderzoek.

Tot 1980 had BMW geen eigen windtunnel. Als de BMW-ontwerpers van toen wilden weten hoe hun modellen door de wind sneden, huurden ze een windtunnel. Of ze maten gewoon op de weg. En eerlijk is eerlijk, met die metingen met lintjes aan de auto in de buitenlucht was BMW ooit heel succesvol. Tot 1938 liep de achterkant van gestroomlijnde auto's uit in een punt. Vliegtuigbouwer Paul Jaray had in de jaren '20 namelijk bedacht dat auto's zo de ideale druppelvorm het best benaderden. Na-deel was dat die lange staart erg veel materiaal en ruimte vroeg, zonder dat daar binnenruimte tegenoverstond.

En toen kwam Wunibald Kamm. Hij ontwikkelde op basis van een BMW 328 Coupé uit 1938 een gezinsauto die veel binnenruimte bood en toch een goede stroomlijn had. Zijn geheim: hij kapte de staart gewoon af. "De lucht moet het idee krijgen rond een druppel te stromen", was zijn redenering. "Ontbreekt dan een groot deel van de staart, dan verhoogt dat nauwelijks de luchtweerstand." In 1940 won een BMW 328 Touring Coupé de Mille Miglia dankzij zijn uitstekende stroomlijn en tot op de dag van vandaag is de invloed van Kamm terug te zien in de nieuwste automodellen. Kijk maar naar zuinigheidswonders als de

Toyota Prius en de Honda Insight. Van achteren lopen die auto's taps toe, tot Kamm het genoeg vindt en de punt recht afkapt om ze een zogenaamde 'Kammback' te geven.

Alle specialisten bij elkaar

In 1980 nam BMW voor het eerst een eigen windtunnel in gebruik. Sindsdien zijn enorme aerodynamische vorderingen gemaakt. Had een BMW 3 Serie uit 1982 nog een Cw-waarde van 0,38; de in de eigen windtunnel ontwikkelde 3 Serie van 1991 haalde al 0,29. De huidige 3 zit op 0,26 en de 3 van 2011 haalt zelfs 0,24, belooft BMW.

Toch had die inmiddels 30 jaar oude BMW-windtunnel een paar nadelen. De eerste is zijn locatie: Aschheim. Die plaats ligt een kilometer of 20 buiten München en dus op een kilometer of 20 van BMW's eigen FIZ (Forschungs- und Innovationszentrum). Dat klinkt als niet ver, maar BMW wil dat zijn 500 aerodynamica-specialisten directe burens zijn van zijn 6000 ontwerpers, constructeurs, motorontwikkelaars en andere technisch specialisten. Vandaar dat BMW zijn nieuwe ATC (Aerodynamic Test Center) pal naast het Forschungs- und Innovationszentrum heeft gebouwd.

De weg van de lucht

Luchtweerstand in de praktijk

Luchtweerstand verlagen? Over de duim is de luchtweerstand bij een auto als volgt verdeeld:

Vorm en dimensies:	40%
Oppervlakestructuur spiegels en lampen,	
kentekenplaat en antennes:	25%
Koelopeningen voor remmen motor en transmissie:	10%
Bodem:	20%
Wielen en wielkasten:	30%

Foto's BMW



Aerodynamica in het prewindtunneltijdperk. Rechts de BMW 328 Coupé met Jaray-staart. Links de saloon van Wunibald Kamm met veel meer interieurruimte en nauwelijks meer luchtweerstand.

190 is te traag

Een tweede nadeel van de windtunnel in Aschheim is zijn topsnelheid. De maximale luchtsnelheid is er 190 km/u. Je zou zeggen dat je daar een heel eind mee komt, maar dat valt tegen. De uniforme meetstandaard voor de bepaling van de Cw-waarde schrijft een windsnelheid van 140 km/u voor. Althans, bij een levensecht model. Aan de 1:2 schaalmodellen, die BMW in het voertuigontwikkelingsproces gebruikt, stelt de natuur andere eisen. Volgens de zogenaamde Reynolds-vergelijking uit de stromingsleer, kun je windtunnelresultaten van een schaalmodel vergelijken met het origineel, als je het product van voertuiglengte en windsnelheid gelijk houdt. Kortom, als de lengte van het model maar de helft is van de werkelijke lengte, dan moet je de snelheid verdubbelen. Om de Cw-waarde van een auto bij 140 km/u te bepalen, moet je de windtunnel dus met 280 km/u tegen het 1:2 schaalmodel laten blazen.

Uiteraard houdt BMW daar rekening mee in de twee splinternieuwe windtunnels in zijn ATC. De kleine windtunnel, die BMW Aerolab noemt, is speciaal ontworpen voor 1:2 schaalmodellen en haalt een windsnelheid van 300

De lucht in een windtunnel draait rondjes in een grote ring. We maken één rondje mee in de grote windtunnel van BMW's Aerodynamic Test Center.



De uitstroombuizen (nozzle) naar de meetruimte is 25 m² groot. Dat is 6 keer zo klein als de doorgangsoppervlakte in de ruimte daarvoor. Die vernauwing jaagt de luchtsnelheid op tot 250 km/u. De nozzle kan verkleind worden tot 18 m². Dan loopt de luchtsnelheid op tot maximaal 300 km/u.



Na de meetruimte wordt de lucht opgevangen in een collector. De vorm daarvan zorgt voor een zo egaal mogelijk drukverloop in de meetruimte.



Daar staat deze jongen. Hij is 8 meter in doorsnede, heeft carbonfiber bladen, wordt aangedreven door een 4,4 mW elektromotor en hij draait maximaal 300 t/min om een luchtstroom van 18.000 kuub in beweging te zetten.



De drempel net voor de nozzle is een sloop. Hij vangt de langzaam stromende lucht net boven de vloer af.



Na de collector veranderen deze divertors de lucht 90° van richting. Even verderop zit nog zo'n bocht, die de lucht via een filter, op het tweede rechte stuk van de ring brengt.



Na de fan verloopt de doorsnede weer van rond naar rechthoekig. De luchtstroom wacht dan opnieuw twee setjes divertors en een filter, voor hij weer via de nozzle de meetruimte in wordt gejaagd.

km/u. De grote windtunnel haalt die snelheid ook. Dat is praktisch bij het verlagen van de luchtweerstand van recordauto's als de op waterstof rijdende H2R. Maar die hoge windsnelheid is ook nodig om te zien wat er met de asdrukken van een voertuig gebeurt bij hogere snelheden. De aslift is immers bepalend voor de voertuigstabiliteit. BMW meldt trots dat de

aslift op de achteras van de nieuwe Z4 25% lager is dan bij het vorige model. Overigens zijn de Cw-waarde en aslift lang niet de enige redenen voor windtunneltests. De BMW-ingenieurs meten er ook om de koellucht voor motor, transmissie en remmen beter te kunnen doseren, windgeruis en vervuiling van de auto door turbulentie te verminderen en

TECHNIEK

BMW opent nieuw windtunnelcomplex



De vloer onder de auto is een rolling road. De breedte van de rolling road in de grote windtunnel is elektronisch te verstellen in vijf standen. Op die manier is hij geschikt voor auto's met uiteenlopende spoorbreedte. De auto staat vast op pootjes zodat de wielen meedraaien.



De rolling road in het aerolab is 3,2 m breed. Het schaalmodel hangt aan een meetzwaard. De wielen zijn via armen met opnemers verbonden. Staat er een echt voertuig in het Aerolab, dan meten diezelfde opnemers de luchtweerstand en meet de weegschaal onder de rolling road de aslift.



Heel vervelend die wielen. Als 'gliding fish' scoort dit BMW 5-model een C_w van 0,18.



Dankzij een instroomopening daar, met een kanaaltje naar de wielkast, ontstaat een luchtgordijn naast het voorwiel. Resultaat: de C_w daalt met 0,01 punt.



"Daar was nog wat te halen", zegt Z4-designer Holger Winkelmann. De nieuwe Z4 heeft nu net als de andere BMW's ook de zogenaamde 'tail off edge' in het achterlicht. "Het scheelt 0,004 in de C_w -waarde. Dat lijkt weinig, maar het is wel goed voor ongeveer 150 watt minder gevraagd vermogen bij 120 km/h."

trek en tocht in open cabrio's te voorkomen.

Luchtstroming bij inhalen

Terug naar Aschheim. De windtunnel daar heeft nog een derde tekortkoming. Hij heeft geen 'rolling road'. Buiten staan, even uitgaande van windstilte, de lucht en de weg stil

terwijl het voertuig beweegt. Als je dan binnen het voertuig stil zet, moet je niet alleen de lucht laten bewegen, maar ook de weg en de wielen. Zeker omdat autobodem, wielen en wielkasten samen verantwoordelijk zijn voor 50% van de luchtweerstand. En dus beweegt de weg in beide windtunnels onder de auto's door.

De rolling road in de kleine windtunnel, het Aerolab, is het breedst. Maar liefst 3,2 meter. Waarom zo'n breedte in een windtunnel die vooral bedoeld is voor 1:2 schaalmodellen? Het antwoord is simpel: "In het hedendaagse verkeer rijdt je zelden alleen. Dus willen we ook het effect van de ene auto op de andere kunnen meten, bijvoorbeeld bij inhalen".

Kleimodel met draaiende wielen

De rolling road zelf is een 1 mm dunne stalen band. Die band draait op luchtliggers over rollen van een meter doorsnede en is 21,4 meter lang. De 550 kg zware band maakt onderdeel uit van een weegschaal die de asdrukken, van een voertuig dat er op staat, tot 2 newton nauwkeurig kan meten. Het geheel van weegschaal en rolling road is opgenomen in een draaitafel die tot 30° kan draaien, om ook de luchtstroom in bochten te kunnen simuleren.

Cw-waarde, luchtweerstand, kracht en vermogen

Een BMW 3 Cabrio uit 1987 heeft een Cw-waarde van 0,39. De 320i Cabrio van vandaag komt aan 0,27. Dat is ruim 30% lager. Heeft de moderne 3 Cabrio dan ook een 30% lagere luchtweerstand? Nee! De Cw-waarde zegt iets over de vorm van een object, maar niets over de grootte. Om de luchtweerstand te bepalen is ook de grootte, of beter het frontaal oppervlak, van het object van belang. Sinds 1987 groeien auto's een flink stuk in de breedte en hoogte. Vandaar dat het frontaal oppervlak van de 3 Cabrio uit 1987 nog 1,86 m² bedroeg, terwijl de huidige aan 2,08 m² komt. Daarmee komt het product van

Cw-waarde en frontaal oppervlak ($C_w * A$) van de oude 3 Cabrio op 0,73 en de nieuwe op 0,56. Dat verschil is maar 23%. Auto-ontwerpers kunnen de Cw en de A van een auto beïnvloeden, maar Cw-waarde en frontaal oppervlak zijn niet de enige variabelen die invloed hebben op de luchtweerstand. Ook de dichtheid van de lucht (ρ) en vooral de snelheid (V) van de lucht ten opzichte van de auto spelen een rol. In formulevorm ziet dat er zo uit:

$$F = C_w * A * \frac{1}{2} * \rho * V^2$$

In de formule is F de kracht waarmee de lucht de auto afremt. Die kracht noemen we luchtweerstand. Belangrijk, de snelheid (V) heeft een kwadraat in de formule. Kortom, de auto-ingenieurs kunnen nog zo hun best doen op Cw en A, de automobilist controleert de snelheid en heeft dus de grootste invloed op de luchtweerstand. Aan de andere kant, hoe hoger de snelheid, hoe groter ook weer de invloed van een net iets lagere Cw * A.

Acht keer zoveel pk's

Ten slotte het verband tussen luchtweerstand en motorvermogen. Vermogen (P) is energie per seconde (E/t). Energie is kracht maal afgelegde weg ($F * x$).



Experimentje bij luchtsnelheid 60 km/h. Steek een klein schijfje aan een steel boven de voorruit uit, en voel de kracht die de lucht er op uitoefent. Nu een schijf met een viermaal zo groot oppervlak. Oef, die moet je met twee handen vasthouden. Ten slotte een druppelvorm met lange staart en dezelfde diameter als de grote schijf. Ongelooflijk! Dit voelt nog lichter dan het kleine schijfje. "Klopt", weet onze begeleider. "De Cw-waarde van een platte schijf is 1,17, die van de druppel is minder dan 0,1. De luchtweerstand van het kleine schijfje is dus zeker driemaal zo groot als die van de veel grotere druppel."

Kortom: vermogen is kracht maal afgelegde weg per seconde ($P = F * x/t$). En hé, afgelegde weg per seconde, dat is snelheid ($x/t = V$)! Met andere woorden: het motorvermogen dat nodig is om de luchtweerstand te overwinnen is gelijk aan $F * V$. En dat is: $C_w * A * \frac{1}{2} * \rho * V^3$. Het motorvermogen om de luchtweerstand te overwinnen neemt dus toe met

de derde macht van de snelheid. Concreet: stel dat voor een bepaalde auto 100 pk genoeg is om de luchtweerstand bij 200 km/h te overwinnen. Voor een verdubbeling van de snelheid is dan $2^3 = 8$ keer 100 pk nodig. Niet zo vreemd dus dat een Bugatti Veyron voor 400 km/h maar liefst 1000 pk aan motorvermogen nodig heeft.



Inderdaad, de Cw-waarde van de 3 Serie is met sprongen gedaald. Doordat het frontaal oppervlak toename, daalde de luchtweerstand minder hard.

De weegschaal onder de rolling road speelt geen rol bij het testen van schaalmodellen. Die immers zijn meestal van klei en hebben geen wielophanging. De carrosserie van die modellen staat niet op de rolling road, maar hangt aan een 'zwaard' dat nauwkeurig alle krachten op de carrosserie opneemt. De wielen zitten aan armen met opnemers waarvan de luchtweerstand heel precies bekend is. Met de armen zijn sporing en camber gewoon instelbaar. Op die manier is in het Aerolab zelfs op kleimodellen de invloed van de draaiende wielen in hun wielkasten op de luchtweerstand te meten. Een experimentje toont het belang daarvan. Een 1:2 schaalmodel van de BMW 5 komt in het Aerolab aan een Cw van 0,28. Dat is iets meer dan normaal, door de grotere luchtopeningen in de nieren bij dit model. De engineers verwijderen de wielen en dekken de wielkasten af met platen. Dus blijft alleen een carrosserie

over die boven de weg zweeft. De Cw-waarde van deze zogenaamde 'gliding fish' is 0,18! Niet zo vreemd dus dat de aerodynamici van BMW sinds de ingebruikname van het Aerolab voortdurend studeren op de luchtweerstand van wielen en wielkasten. Ze hebben al een eerste succesje geboekt. Naast de mistlamp plaatsen ze een luchtkanaal, naar de wielkast. Op hoge snelheid vormt de straalstroom uit dat kanaaltje een dunne luchtfilm tegen het voorwiel. Een luchtgordijn noemt BMW dat. Het blijkt te werken. Met de kanaaltjes in het front scoort het 5 Serie-schaalmodel een vol honderdste lager dan zonder: 0,27.

Wat brengt het op?

Dat brengt ons bij de slotvraag. Tot hoever zou de Cw-waarde van praktisch bruikbare auto's nog kunnen dalen. "We denken dat 0,20 goed haalbaar is", zegt een aerodynamicus van BMW.

Juist, in brandstofverbruik scheelt dat, voorzichtig geschat, een procent of 7. Stel dat een BMW-rijder voor 2.500 euro per jaar tankt, dan spaart hij straks dus 175 euro per jaar. Doe dat maal de één miljoen auto's, die BMW per jaar verkoopt, en na een jaar hebben de nieuwkopers het 170 miljoen kostende ATC al terugverdiend. BMW's luchtkasteel is dus niet alleen een technisch hoogstandje, het is ook nog economisch rendabel.

Erwin den Hoed

www.AMT.nl

Dé internetsite voor de Automotive Professional

De BMW windtunnels in actie zien?
Ga naar Video op www.AMT.nl.