



Windkanal

Wie man Fahrzeuge noch windschlüpfriger macht

Im Windkanal können wir den Luftwiderstand für verschiedene Körper ermitteln.

Diese Erkenntnisse sind bei der Fahrzeugentwicklung von großer Bedeutung: Ein Flugzeug, ein Schienenfahrzeug oder ein Auto mit weniger Luftwiderstand verbraucht bei gleicher Geschwindigkeit weniger Treibstoff als eins mit mehr Luftwiderstand.

Der Luftwiderstand



Abb. 1/2: Flugzeugmodell im Windkanal der NASA

Körper in Gasen oder Flüssigkeiten erfahren durch den im Medium (hier Luft) herrschenden Druck Kräfte auf ihre Oberfläche. Sobald sich die Luft um einen Körper herum bewegt, entstehen Druckunterschiede, die Kräfte auf den umströmten Körper ausüben. Außerdem entsteht durch die Reibung der Luft an der Oberfläche des Körpers weiterer Widerstand. Die Summe dieser beiden Arten von Widerstand und noch einiger weiterer Widerstandsformen ist der Gesamtwiderstand. Diesen wollen wir im Windkanal ermitteln.

Wie funktioniert der Windkanal?

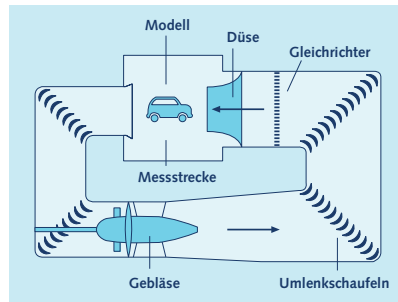


Abb. 3: Schema des Windkanals: Durch Umlenkschaufeln und Gleichrichter entsteht eine möglichst gleichmäßige, unverwirbelte Strömung

Der Aufbau

Mit Hilfe eines Gebläses wird Wind erzeugt. Dieser bewegt sich als Luftströmung durch den geschlossenen Kanal. In den Ecken befinden sich Umlenkschaufeln, die dafür sorgen, dass der Wind gleichmäßig umgeleitet wird und sich nicht staut. Bevor die Strömung die Messstrecke erreicht, passiert sie den Gleichrichter, der eine möglichst gleichmäßige und unverwirbelte Strömung gewährleisten soll, und die Düse, die die Strömungsgeschwindigkeit in der Messstrecke erhöht. In die Messstrecke können verschiedene Modelle gestellt und ihr Luftwiderstand gemessen werden.

Messungen

Durch den Wind, der das Modell umströmt, wird eine Kraft ausgeübt. Die Kraft wird über Hebel weitergeleitet und drückt auf eine Kraftmessdose, welche sich dadurch verformt. Verformungen kann man mit sogenannten Dehnungsmessstreifen erfassen und somit schließlich die Kraft ermitteln. Die tatsächliche Windgeschwindigkeit in der Messstrecke kann man über die Druckdifferenz an der Düse oder mit Hilfe einer Messsonde bestimmen. Aus den gesammelten Ergebnissen ermittelt man den sog. C_w -Wert (Luftwiderstandsbeiwert). Dies ist ein Wert, der die Strömungsgünstigkeit eines Modells angibt. Je kleiner der Wert, desto günstiger die Form.

Versuche

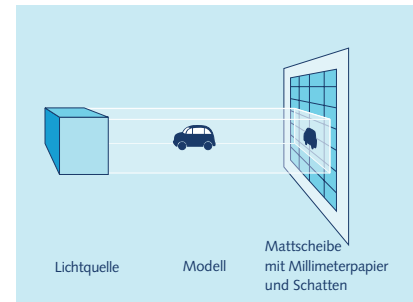


Abb. 4: Versuchsanordnung zur Ermittlung der Frontfläche eines Modells

Ermittlung der projizierten Frontfläche

Zur Ermittlung des C_w -Wertes benötigt man unter anderem die projizierte Querschnittsfläche des Modells. Dies ist die Schattenfläche, die durch Anstrahlen des Körpers mit parallelem Licht in Strömungsrichtung entsteht. Man stellt daher das Modell in den Lichtstrahl eines Scheinwerfers und überträgt die Konturen des auf eine Mattscheibe geworfenen Schattens auf Millimeterpapier. Nun kann man die Größe der Fläche bestimmen.

Ermittlung des C_w -Wertes

Hierzu wird das zu untersuchende Modell in den Windkanal gebracht und das Gebläse angestellt. Zunächst wird die Strömungsgeschwindigkeit mit Hilfe einer Messsonde festgestellt. Die Windwiderstandskraft kann man dann auf dem Anzeigegerät ablesen. Nun setzt man die ermittelten Daten in die Formel für den C_w -Wert ein. (siehe Glossar)

Sichtbarmachen von Strömungen

Mit Hilfe eines Drahtes, an dessen Ende mehrere Fäden befestigt sind, lässt sich die Strömung gut sichtbar machen. Dazu kann man diesen Draht rund um das umströmte Modell halten und erkennen, wie sich die Luft an diesen Stellen verhält. Man kann auf diese Weise sogar beobachten, wo die Strömung laminar und wo sie turbulent ist. Eine weitere Möglichkeit wäre das Bekleben des Modells mit Fäden.

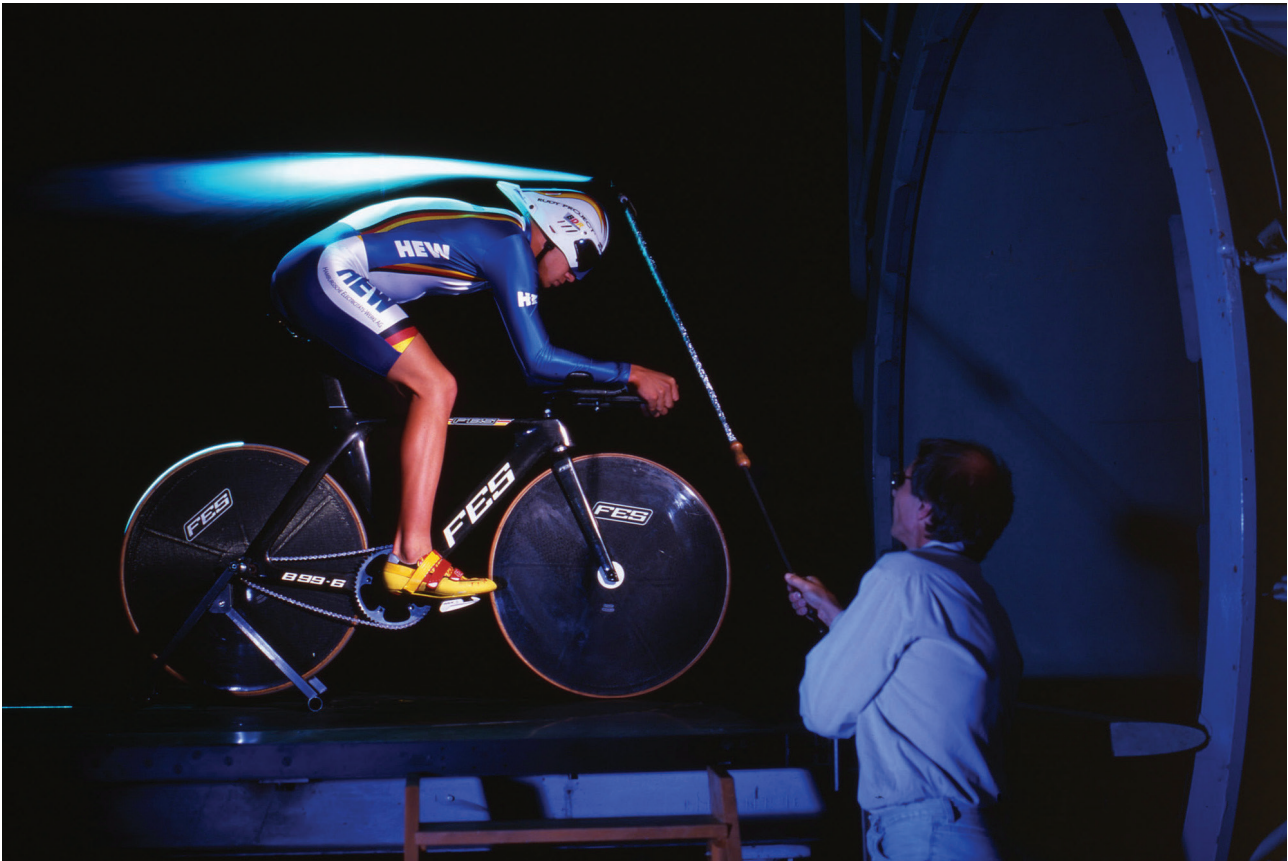


Abb. 5: In einem Windkanal der TU Dresden werden die Fahrräder der Olympiaradler getestet. (Foto: Norbert Michalke, Berlin)

Wichtige Begriffe

Cw-Wert

Der Luftwiderstand F eines Körpers ist proportional zur sogenannten Stirn- oder Frontfläche A (der maximalen Querschnittsfläche, die der Körper dem Luftstrom entgegenhält) und dem Stau- oder dynamischen Druck $p_d = 0.5 \rho v^2$, worin v die Strömungsgeschwindigkeit und ρ die Dichte des umströmenden Mediums sind.

Es ist also

$$F = C_w \cdot p_d \cdot A = C_w \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A.$$

Der dabei auftretende Proportionalitätsfaktor C_w heißt der Widerstandsbeiwert des Körpers. Er ist charakteristisch für die Körperform und kann umgekehrt durch Messung von F , A , v und ρ in einem Windkanal experimentell bestimmt werden zu

$$C_w = 2 \cdot F / (\rho \cdot A \cdot v^2)$$

Die erforderliche Motorleistung

$P = F \cdot v \sim C_w \cdot A$ kann also heruntergesetzt werden, wenn der C_w -Wert gesenkt wird oder die Stirnfläche klein ist. Deshalb sind Sportwagen einerseits ganz schlank und haben andererseits einen kleinen C_w -Wert.

Beispielhafte Beiwerte sind

Platte (senkrecht zum Strom)	1.1
Kugel	0.45
Halbkugel	0.34
Stromlinienkörper	0.04
Tragflügel (Flugzeug)	0.08
Audi A2	0.25
Toyota Prius	0.26
VW Golf	0.33
Lieferwagen	0.43
Lastwagen	0.56
Sattelschlepper	0.71
US-Sattelschlepper	1.1
Fallschirm	1.33

Aus $P = F \cdot v \sim v^3$ entnimmt man bei der Gelegenheit aber auch, dass die Senkung der Geschwindigkeit die erforderliche Motorleistung viel effizienter reduziert.

Dehnungsmessstreifen (DMS)

Ein Dehnungsmessstreifen ist ein kleiner Klebestreifen, auf dem sich ein Draht befindet. Verformt sich ein Körper, auf den der Messstreifen geklebt wurde, so verformt sich auch der DMS. Der Draht wird dabei entweder in die Länge gezogen oder gestaucht. Dies verkleinert bzw. vergrößert seine Quer-

schnittsfläche und ändert damit seinen elektrischen Widerstand. Letzterer ist von außen messbar, und so gelangt man durch Rückschluss zu einer Aussage darüber, wie sich der untersuchte Körper verformt.

Kraftmessdose

Eine Kraftmessdose ist eine (je nach Anwendung mehr oder weniger komplexe) elektromechanische Messeinrichtung, welche durch den Einsatz mehrerer Dehnungsmessstreifen die äußeren Kräfte, die auf sie ausgeübt werden, in von außen messbare elektrische Spannungen umwandelt.

Laminare bzw. turbulente Strömung

Eine laminare Strömung hat die Eigenschaft, stabil gegenüber kleinen Störungen zu sein, d.h. auch nach kleinen Störungen bewegen sich die Fluidteilchen weiter auf geordneten Bahnen nebeneinander. Dadurch entsteht ein geringerer Reibungswiderstand. Eine turbulente Strömung entsteht, wenn kleine Störungen nicht mehr ausreichend gedämpft werden und deshalb stark schwankende, unregelmäßige und nahezu chaotische Fluidbewegungen auftreten. Weil in diesen Schwankungsbewegungen zusätzliche Bewegungsenergie enthalten ist, entsteht ein höherer Reibungswiderstand. Turbulenz sollte allerdings nicht mit dem Auftreten klar erkennbarer Wirbelstrukturen gleichgesetzt werden. Es gibt auch laminare Wirbel und turbulente Strömungen ohne klar erkennbare Wirbelstrukturen.

Zum Nachdenken

1. Welche anderen Messmethoden für Kräfte außer Kraftmessdosen kennst Du noch?
2. Wie sieht das Feld der Windgeschwindigkeiten im Messbereich aus?
3. Wie groß dürfen untersuchte Objekte sein, ohne dass die Messungen durch die Reibung der Strömung am Kanalrand beeinträchtigt werden?



Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Es betreibt Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Das DLR Raumfahrtmanagement ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 54 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Seine mehr als 9.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Sie erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen sie dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

TU Hamburg

Die TU Hamburg ist eine Universität mit hohem Leistungs- und Qualitätsanspruch, die in der Grundlagenforschung und ihren Kompetenzfeldern Forschungsexzellenz anstrebt. Etwa 100 Professorinnen und Professoren mit knapp 700 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bilden hier derzeit mehr als 7500 Studierende der Ingenieurwissenschaften und der Technomathematik aus. Luftfahrt und maritime Systeme gehören zu den Forschungsschwerpunkten der TUHH. Das DLR_School_Lab TU Hamburg bietet Schülerinnen und Schülern Einblicke in diese Kompetenzfelder.



**Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt**

DLR_School_Lab
TU Hamburg

DLR_School_Lab TU Hamburg
Am Schwarzenberg-Campus 4 (C)
21073 Hamburg

Telefon: 040 42878-4363

schoollab@tuhh.de

<https://www.tuhh.de/nachwuchs/fuer-schulklassen-1/dlr-school-lab>
<https://www.dlr.de/schoollab>