



## Der Windkanal – was ist das?

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.



## Glossar

### Kraftmessdose

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

### 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  $\rho$  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  $\rho$  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 heruntersetzt 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.

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

### 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

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.

### Laminare bzw. turbulente Strömung

In der laminaren Strömung strömt die Luft in sich nicht vermischenden Schichten. Die Wirbel der turbulenten Strömung verbrauchen zusätzliche Energie und sorgen dadurch für höheren Luftwiderstand.

Weitere Informationen unter

[www.dlr-schoollab-hamburg.de](http://www.dlr-schoollab-hamburg.de)  
[www.schoollab.dlr.de](http://www.schoollab.dlr.de)  
[www.tuhh.de/schule/](http://www.tuhh.de/schule/)

Partner und Unterstützer des DLR\_School\_Lab Hamburg



**NORDMETALL**  
Verband der Metall- und Elektro-Industrie e.V.



**Lufthansa Technik**



Behörde für  
Wirtschaft und Arbeit



Juni 2007 / Gestaltung: [www.formlabor.de](http://www.formlabor.de)



**DLR\_School\_Lab**  
Hamburg

Wie man Fahrzeuge noch  
windschlüpfriger macht

# Windkanal



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Behörde für  
Bildung und Sport

**TUHH**  
Technische Universität Hamburg - Harburg

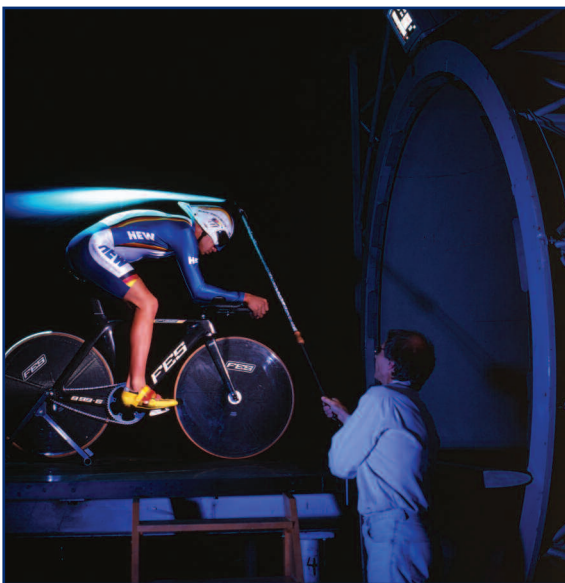
Luftfahrtstandort  
Hamburg

## Der Luftwiderstand

Körper in Gasen oder Flüssigkeiten erfahren durch den im Medium (hier Luft) herrschenden Druck Kräfte auf ihre Oberfläche. Sobald sich die Luft bewegt, entstehen z.B. durch Reibung lokale Druckunterschiede, die Kräfte auf die Körper ausüben. Auf diese Weise entsteht der Luftwiderstand. Diesen wollen wir im Windkanal ermitteln.



Flugzeugmodell im Windkanal der NASA

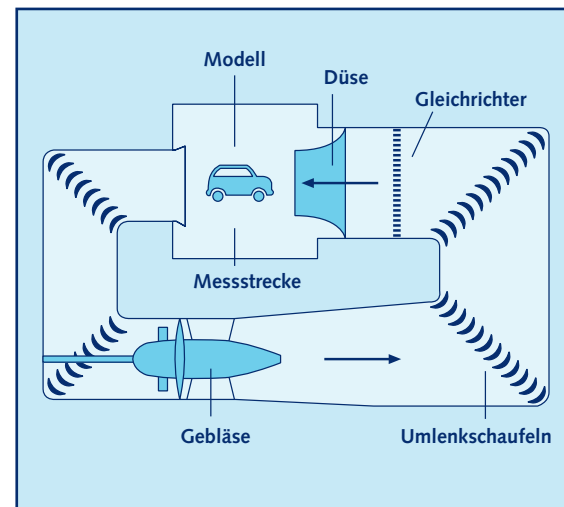


In einem Windkanal der TU Dresden werden die Fahrräder der Olympiaradler getestet. (Foto: Norbert Michalke, Berlin)

## Wie funktioniert der Windkanal?

### 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 umgelenkt wird und sich nicht staut. Bevor die Strömung die Messstrecke erreicht, passiert sie den Gleichrichter und die Düse. Diese sollen eine möglichst gleichmäßige und unverwirbelte Strömung gewährleisten. In die Messstrecke können verschiedene Modelle gestellt und ihr Luftwiderstand gemessen werden.



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

### 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.

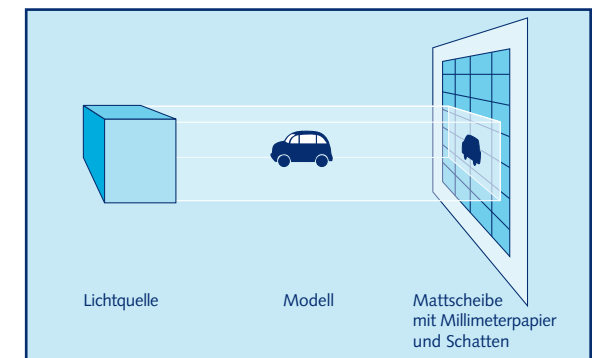
Die tatsächliche Windgeschwindigkeit in der Messstrecke kann man über die Druckdifferenz an der Düse oder mit Hilfe einer Messsonde bestimmen.

Aus den gesammelten Ergebnissen ermittelt man den sog. Cw-Wert (Luftwiderstandsbeiwert). Dies ist ein Wert, der die Strömungsgünstigkeit eines Modells angibt. Je kleiner der Wert, desto günstiger die Form.

## Versuche

### Ermittlung der projizierten Frontfläche

Zur Ermittlung des Cw-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.



Versuchsanordnung zur Ermittlung der Frontfläche eines Modells

### Ermittlung des Cw-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 Anzeigergerät ablesen. Nun setzt man die ermittelten Daten in die Formel für den Cw-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.

### 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?