

Projektarbeit: Inbetriebnahme und konstruktive / messtechnische Optimierung eines Modell-Windkanals

Messtechnik am Windkanal

Messung von

- Kräfte am Tragflügel
- Statischer Druck am Tragflügel
- Strömungsgeschwindigkeit

Drucksensoren am Tragflügel: ①

Zur Messung des statischen Drucks an Tragflügelunterseite und -oberseite werden Drucksensoren verwendet. Diese sind über Silikonschläuche mit den Öffnungen an der Tragflügeloberfläche verbunden.



Thermisches Anemometer: ②

Zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit wird ein Sensorelement verwendet, welches sich an der Spitze der Messsonde befindet. Dieses wird elektrisch beheizt. Durch die Umströmung des Sensorelements wird Wärme an das Strömungsmedium abgegeben. Der elektrische Widerstand des Sensorelements ist von der Temperatur abhängig. Durch Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit ändert sich auch der Wärmeverlust am Sensorelement. Über den Widerstand kann die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden.

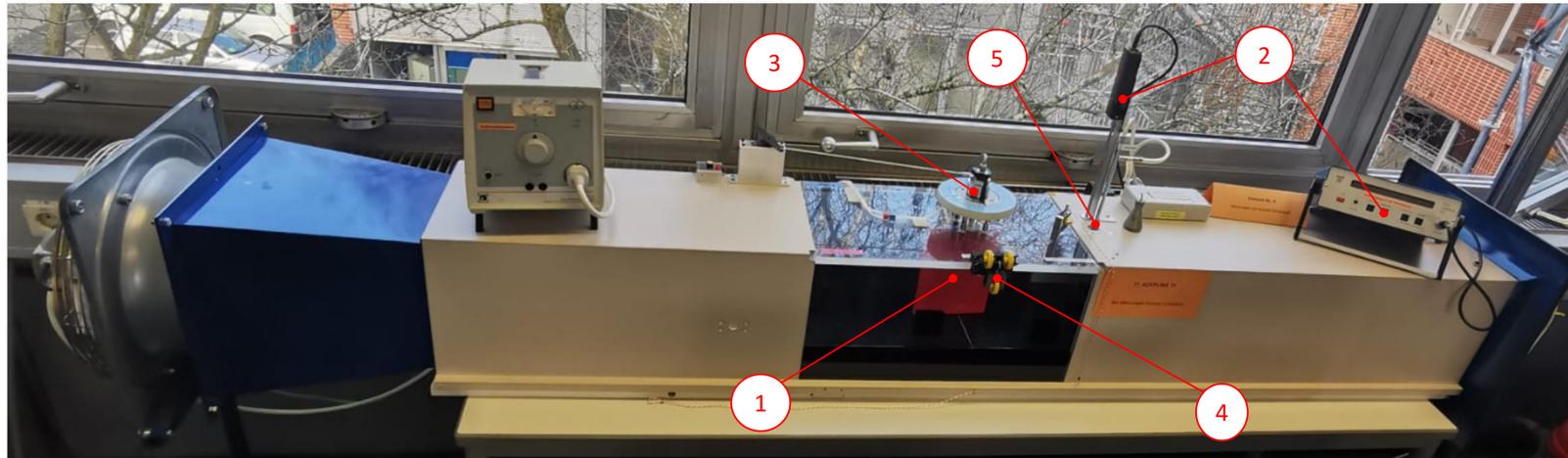
Radialkraftsensor: ③

Dieser Sensor kann in zwei zueinander senkrecht stehenden Achsen sehr kleine Kräfte messen. Durch eine vektorielle Zerlegung in x- und y-Richtung kann auch bei einer Anstellwinkelveränderung des Tragflügels die Widerstandskraft und Auftriebskraft ermittelt werden.



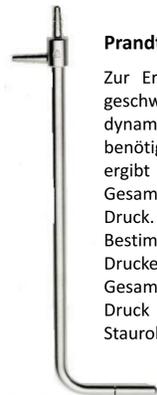
Kalibrier-Vorrichtung: ④

Um genaue Messergebnisse zu erhalten, muss der Radialkraftsensor in x- und y-Richtung kalibriert werden. Dies erfolgt über eine Zweipunktkalibrierung. Hier wird ein linearer Funktionswert aus zwei Spannungswerten eingemessen. Durch anhängen eines Gewichts wird die Achse verformt und der DMS liefert den dazugehörigen Spannungswert, der im Catman gespeichert wird.



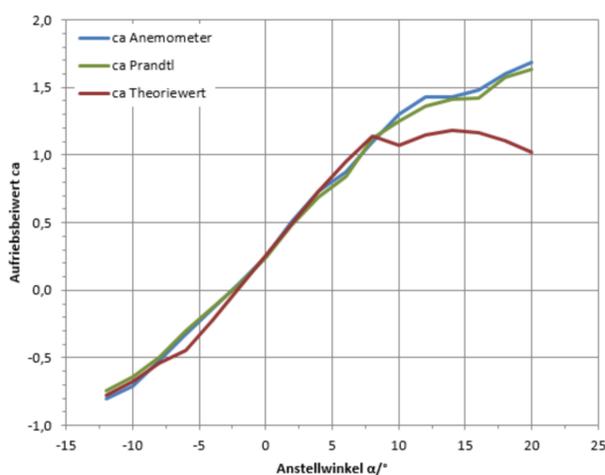
Prandtl-Rohr: ⑤

Zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit wird der dynamische Druck der Strömung benötigt. Der dynamische Druck ergibt sich als Differenz aus Gesamtdruck und statischem Druck. Eine solche Sonde zur Bestimmung des dynamischen Druckes als Differenz aus Gesamtdruck und statischem Druck wird als Prandtl'sches Staurohr bezeichnet.



Messung der relevanten Kennwerte eines Tragflügels

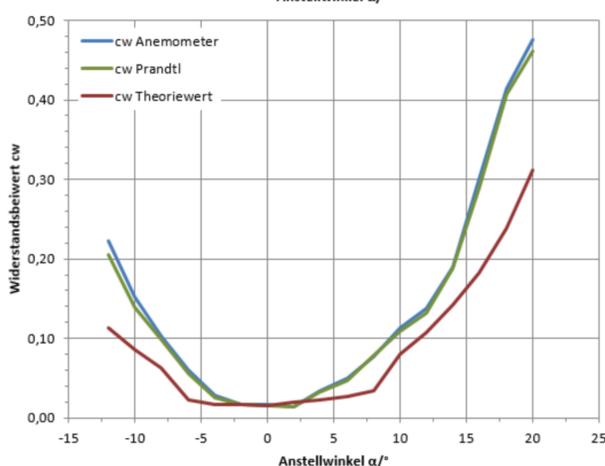
In einer Messreihe wird bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit der Anstellwinkel im Bereich von -12° bis 20° variiert. Gemessen werden die Kräfte am Tragflügel, der statische Druck am Tragflügel und die Strömungsgeschwindigkeit. Aus diesen Messwerten können die Auftriebskraft, die Widerstandskraft, der Auftriebsbeiwert sowie der Widerstandsbeiwert berechnet werden. Anhand dieser Kennwerte können das aufgelöste und das Polardiagramm nach Lilienthal erstellt werden. In den Diagrammen ist zusätzlich, der zum Vergleich, nützliche Theoriewert dargestellt. Außerdem wird die Druckverteilung am Tragflügel ausgewertet.



Aufgelöstes Polardiagramm (c_a über α):

Der dimensionslose Auftriebsbeiwert steht für den dynamischen Auftrieb eines umströmten Körpers in einem Fluid. Dieser Wert lässt sich aus der vorhandenen Auftriebskraft, der Flügelfläche, der Strömungsgeschwindigkeit und der Dichte des Umgebungsmediums berechnen.

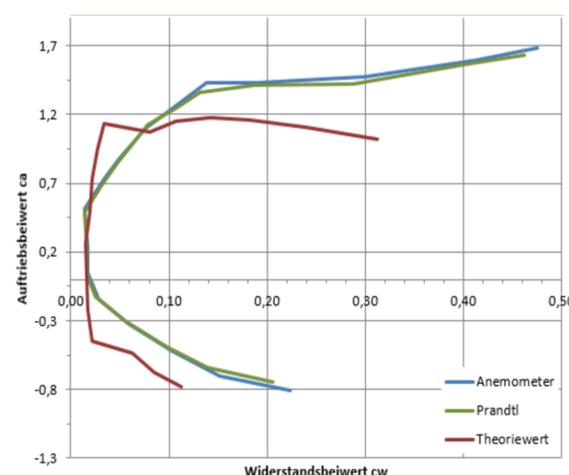
Das Diagramm zeigt, dass mit größer werdendem Anstellwinkel der Auftriebsbeiwert steigt. Dies ist Voraussetzung damit ein Flugzeug überhaupt abheben kann.



Aufgelöstes Polardiagramm (c_w über α):

Der dimensionslose Widerstandsbeiwert ist dem Auftriebsbeiwert sehr ähnlich, jedoch steht er für den dynamischen Widerstand eines umströmten Körpers in einem Fluid. Die Berechnung unterscheidet sich in der Verwendung der Widerstandskraft anstatt der Auftriebskraft.

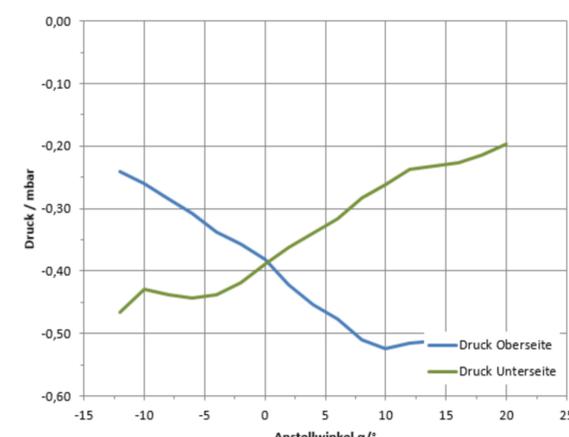
Das Diagramm zeigt eine parabelähnliche Form. Der Widerstandsbeiwert steigt mit großen Anstellwinkeln sowohl im positiven wie auch im negativen Bereich. Der Grund dafür ist die größer werdende Angriffsfläche des Tragflügelprofils.



Polardiagramm nach Lilienthal:

In den aufgelösten Polardiagrammen werden der Widerstandsbeiwert und Auftriebsbeiwert getrennt betrachtet. Diese Kennwerte sind jedoch erst bei gemeinsamer Betrachtung aussagekräftig. Denn mit steigendem Auftriebsbeiwert steigt auch der Widerstandsbeiwert an.

Das Polardiagramm nach Lilienthal zeigt den Zusammenhang der beiden Kennwerte auf. Anhand dieses Diagramms lässt sich der optimale Anstellwinkel des Tragflügels bestimmen. An dieser Stelle ist der Quotient aus c_w und c_a minimal.



Druckverlauf am Tragflügel:

Mit steigendem Anstellwinkel sinkt der statische Druck an der Tragflügeloberseite und steigt an der Tragflügelunterseite. Durch den Anstellwinkel kommt es zu einer unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeit an Ober- und Unterseite. Eine höhere Strömungsgeschwindigkeit, die an der Oberseite des Tragflügels vorherrscht, führt zu einem Druckabfall. Dies bedeutet, es bildet sich ein Unterdruck mit Sogkräften. Im Gegenzug bildet sich auf der Unterseite ein Überdruck aus. Hier entsteht eine Druckkraft. Das Resultat ist eine dynamische Auftriebskraft, die der Tragflügel erfährt.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Hartmut Gimpel
Dipl.-Ing. (FH) Dietmar Merk

Bearbeiter:

Mario Huber MKE7
Nikolai Streicher MKE7