

Korrektur für das Quermoment von Tragflügeln bei Untersuchungen im Windkanal mit Kreisquerschnitt.

Von M. Biot, California Institute of Technology (Pasadena).

Es soll im folgenden gezeigt werden, daß die Windkanalbegrenzung eine Beeinflussung auf die Messungen des Quermoments ausübt, die entgegen den bisherigen Annahmen im allgemeinen nicht zu vernachlässigen ist. Eine geeignete Korrekturformel für diesen Einfluß wird angegeben.

Wir betrachten im geschlossenen Windkanal einen Tragflügel (Abb. 1 a), dessen Querruder so gestellt sind, daß ein Quermoment M besteht. Die Veränderung der Auftriebsverteilung, die von der Einstellung der Querruder herrührt,

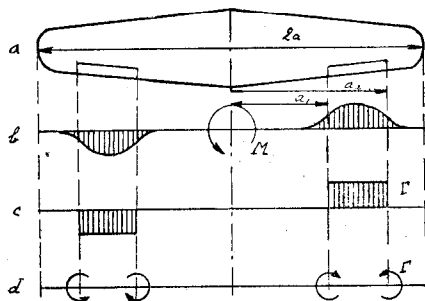


Abb. 1.

ist in Abb. 1 b dargestellt. Wir wollen diese Auftriebsverteilung durch die vereinfachte mittlere Verteilung der Abb. 1 c ersetzen wobei Abb. 1 d das entsprechende Wirbelsystem darstellt.

Zunächst wollen wir zwei Wirbel von gleichem Drehsinn und gleicher Stärke Γ in einen Windkanal mit dem Radius r legen, wobei der Abstand der Wirbel von der Achse des Kanals je a_2 sei (Abb. 2). Zur Erfüllung der Randbedingungen an der festen Windkanalwand (Kreiskontur = Stromlinie) werden in bekannter Weise die Spiegelbilder der Wirbel in einem Abstand $\frac{r^2}{a_2}$ gelegt, so daß die Strömung durch die beiden Wirbel und ihre Spiegelbilder in der unbegrenzten Flüssigkeit erzeugt gedacht werden kann. Man erhält dadurch einen Aufwind, dessen Verteilung annähernd geradlinig ist, nämlich:

$$w_2 = \left[\frac{\Gamma}{4\pi \left(\frac{r^2}{a_2} - a_2 \right)} - \frac{\Gamma}{4\pi \left(\frac{r^2}{a_2} + a_2 \right)} \right] \frac{y}{a_2} \\ = \frac{\Gamma}{2\pi a_2} \frac{1}{\left[\left(\frac{r}{a_2} \right)^4 - 1 \right]} \cdot \frac{y}{a_2}.$$

Der gesamte Aufwind im vorliegenden Fall rührt nun von zwei solchen Wirbelpaaren mit gegenseitigem Einfluß her und ist

$$w = w_2 - w_1 = \frac{\Gamma y}{2\pi} \left\{ \frac{1}{a_2^2 \left[\left(\frac{r}{a_2} \right)^4 - 1 \right]} - \frac{1}{a_1^2 \left[\left(\frac{r}{a_1} \right)^4 - 1 \right]} \right\}.$$

Diese Aufwindverteilung wird einen Zuwachs des gemessenen Quermoments verursachen. Wir nehmen $2\pi\eta(\alpha - \alpha_0)$ für den gemessenen Auftriebsbeiwert für einen Tragflügel

unendlicher Spannweite an, wo α der Anstellwinkel ist und η einen Beiwert zwischen 0,85 und 0,90 darstellt, während α_0 den Anstellwinkel angibt, bei dem der Auftrieb verschwindet. Der Zuwachs des Auftriebsbeiwerts, der vom Aufwind herrührt, wird dann

$$2\pi\eta \frac{w}{V},$$

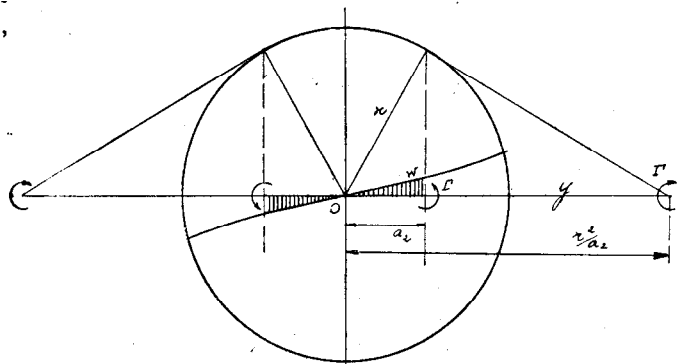


Abb. 2.

wo V die Strömungsgeschwindigkeit im Windkanal darstellt; $t(y)$ sei die Flügeltiefe. Die Zunahme des Moments wird

$$\Delta M = \frac{\eta \cdot \Gamma}{V} \left\{ \frac{1}{a_2^2 \left[\left(\frac{r}{a_2} \right)^4 - 1 \right]} - \frac{1}{a_1^2 \left[\left(\frac{r}{a_1} \right)^4 - 1 \right]} \right\} \\ \times \frac{\rho}{2} V^2 \int_{-a}^{+a} y^2 t(y) dy \dots (1)$$

Bezeichnen wir den Trägheitsradius der Flügelfläche F mit k , dann können wir schreiben:

$$\int_{-a}^{+a} y^2 t(y) dy = k^2 F.$$

Andererseits wird das gesamte gemessene Quermoment in erster Annäherung (unter Vernachlässigung der eben angegebenen kleinen Korrektur)

$$M = 2\rho \Gamma V \left(\frac{a_2^2 - a_1^2}{2} \right) \\ = \rho \Gamma V (a_2^2 - a_1^2) \dots (2)$$

Durch Vereinigung der Ansätze (1) und (2) bekommen wir

$$\frac{\Delta c_a}{c_a} = \frac{\Delta M}{M} = \frac{\eta k^2}{2(a_2^2 - a_1^2)} \\ \times \left\{ \frac{1}{\frac{a_2^2}{F} \left[\left(\frac{r}{a_2} \right)^4 - 1 \right]} - \frac{1}{\frac{a_1^2}{F} \left[\left(\frac{r}{a_1} \right)^4 - 1 \right]} \right\}.$$

Diese Formel stellt allgemein die Korrektur des Quermoments dar.

Für den Fall eines rechteckigen Tragflügels mit Querrudern, die sich über die ganze Spannweite erstrecken, ist $a_2 = a$, wo a die halbe Spannweite bedeutet und $a_1 = 0$. Mit λ bezeichnen wir das Seitenverhältnis $\frac{2a}{t}$. Hier wird

$$\frac{\Delta c_q}{c_q} = \frac{8}{9} \eta \cdot \frac{1}{\lambda \left[\left(\frac{r}{a} \right)^4 - 1 \right]}.$$

Setzen wir z. B. die halbe Spannweite a gleich $\frac{2}{3}r$ und $\lambda = 6$, dann wird

$$\frac{\Delta c_q}{c_q} \cong 3\%.$$

Das gemessene Quermoment wird also in diesem extremen Fall 3% zu groß.

Für den offenen Windkanal erhält man in bekannter Weise eine Korrektur von demselben Betrag, doch mit entgegengesetztem Vorzeichen.