

Der Widerstand von Körpern,  
die an einer Wand angebracht sind.

Übersicht: Um Unterlagen für den Entwurf von Kühlerverkleidungen, Hutzen und sonstigen aus dem Rumpf oder dem Flügel herausragenden Störkörpern zu haben, wurden die Widerstände von Körpern verschiedener Dicke, Breite und Form, die an einer ebenen Wand angebracht waren, gemessen.

Gliederung: 1. Veranlassung.  
2. Versuchsanordnung.  
3. Ergebnisse.  
4. Zusammenfassung.  
5. Schrifttum.

AVA-Bericht 45/A/13  
20.7.45

Der Bericht umfaßt:  
10 Seiten.

AERODYNAMISCHE VERSUCHSANSTALT GÖTTINGEN E. V.

Institut für theoretische Aerodynamik.

Der Leiter:

*Alb. Betz*

Alb. Betz

Der Bearbeiter:

*Dietrich Küchemann*

Dietrich Küchemann

Deutsche  
Forschungsanstalt  
für Luft-  
und Raumfahrt e. V.  
Hist. Archiv  
Bunsenstraße 10  
3400 Göttingen

### 1. Veranlassung.

Der Widerstand von Körpern, die an eine Wand angebaut sind, hat uns vor allem im Hinblick auf den äusseren Widerstand von Kühlanlagen interessiert. Obwohl man sich in neuerer Zeit bemüht, solche Einbauformen zu entwickeln, welche nur eine sehr geringe oder auch gar keine zusätzliche Stirnfläche aufweisen, beanspruchen doch auch die älteren Einbauweisen wie zB der Bauchkühler und der Flügelkühler noch eine gewisse Bedeutung. Zum mindesten möchte man den äusseren Verkleidungswiderstand kennen, um zu wissen was man gewinnt, wenn man von diesen Formen abgeht und die zusätzliche äussere Stirnfläche vermeidet. Es ist verschiedentlich versucht worden, den Widerstand derartiger Körper abzuschätzen, so zB von A. W e i s e [1] für den Fall von Kühlerverkleidungen, der dabei zu sehr kleinen Werten kommt; wir haben uns mit dieser Arbeit bereits in [2] auseinandergesetzt. Darüber hinaus gibt es jedoch bereits einige Messungen, vor allem von S. H o e r n e r [3], wo noch weiteres Schrifttum angegeben ist, und von H. B r a u n e [4]. Wenn auch diese Messungen noch keinen systematischen Überblick geben können, so zeigen sie doch die hauptsächlichsten Strömungsvorgänge und Interferenzerscheinungen, welche der Grund dafür sind, dass der Widerstand derartiger angebaute Störkörper häufig so unerwartet hoch ist. S. H o e r n e r weist vor allem auf zwei Wirkungen der Grenzschicht hin: Erstens ist der Staudruck innerhalb der Grenzschicht geringer als in der ungestörten Strömung, sodass Oberflächenstörungen geringer Höhe einen kleineren Widerstand haben. Zweitens wird das Strömungsbild der Störkörper durch die Grenzschicht geändert, was meistens eine erhebliche Widerstandserhöhung (auf etwa den doppelten Wert) zur Folge hat.

Da das Problem einerseits für die verschiedensten Anwendungen im Flugzeugbau wichtig ist, und um andererseits etwas genauere Unterlagen für den Aussenwiderstand von Kühlanlagen zu schaffen, haben wir noch einige Prinzipversuche durchgeführt. Wir haben hauptsächlich Körper von rechteckigem Grundriß vermessen, die Ähnlichkeit mit Kühlerverkleidungen haben. Da es sich beim Einbau von Kühlern zur Erzielung eines möglichst verlustfreien Zustromes als zweckmässig erwiesen hat, der Verkleidung eine geringe Breite und dafür eine grössere Höhe zu geben, um ein möglichst glattes

seitliches Ausweichen der Grenzschicht zu erhalten, haben wir die Höhe bzw. Dicke des Körpers sowie auch dessen Breite verändert. Da es sich nur um Prinzipversuche handeln sollte, haben wir die Störkörper nicht an einen Flügel oder einen Rumpf angebaut, sondern an eine ebene Platte.

## 2. Versuchsanordnung.

Die untersuchten Körperformen sind in Abb.1 dargestellt, ihre Querschnitte in Abb.2. Die verschiedenen Dicken  $d$  wurden durch Unterlagen, deren Höhe  $h$  geändert wurde, erreicht, sodass die Aussenkontur bis auf das Heckteil immer die gleiche war. In einem Falle begann die Unterlage bei dem flachen Körper nicht an der Vorderkante, sondern war um 30 mm zurückgezogen (Abb.1), sodass sich eine Ähnlichkeit mit einem Kühlereinlauf (in den allerdings nichts hineinfiel) ergab. Die Körper waren auf einer ebenen Holzplatte von 750 mm Tiefe, 500 mm Breite und 22 mm Dicke angebracht, die ihrerseits an der Waage aufgehängt war. Die Versuche wurden im Windkanal des KWI (0,7m x 1 m Freistrah) durchgeführt.

Gemessen wurde jeweils der Widerstand der Gesamtanordnung, von dem der Widerstand der Platte allein wieder abgezogen wurde. Diese Differenz  $W$  haben wir auf den Anblasestaudruck  $q_0$  und die Stirnfläche  $b \cdot d$  des Störkörpers bezogen und so einen Beiwert  $c_w$  gebildet:

$$c_w = \frac{W}{q_0 b d}$$

Verändert wurde bei jeder Anordnung die Anblasegeschwindigkeit  $v_0$  und damit die Reynoldssche Kennzahl

$$Re = \frac{v_0 l}{\nu}$$

Es zeigte sich während der Messung, dass die Meßpunkte stark streuten, weil sich die Differenz der Widerstände nur ungenau messen liess. Um die Genauigkeit zu steigern, wurde daher jeder Punkt sechs Male hintereinander gemessen und aus diesen sechs Werten das arithmetische Mittel gebildet. Im folgenden sind nur diese Mittelwerte angegeben.

Die eine sehr grosse Sorgfalt erfordernden Messungen wurden von Herrn H. E g g e r t vorbereitet und durchgeführt.

### 3. Ergebnisse.

Die gemessenen Widerstandsbeiwerte sind in den Abb. 3 bis 8 über der Reynoldsschen Zahl  $Re$  und in den Abb. 9 und 10 über dem Seitenverhältnis  $b/l$  aufgetragen. Wir stellen zunächst fest, daß wir uns leider in einem unangenehmen Übergangsbereich im Hinblick auf die Reynoldssche Zahl befinden, sowohl bezüglich der Plattenströmung als auch bezüglich der Strömung um die Körper. Dies hat verschiedene Schwankungen des Widerstandsbeiwertes zur Folge und macht die Ergebnisse unübersichtlich. Trotzdem deuten sich Grenzwerte bei den grösseren der gemessenen  $Re$ -Zahlen an, auf die wir unser Augenmerk richten werden.

Ein Vergleich der Ergebnisse in den Abb. 3 und 4 zeigt, dass ein merklicher Unterschied besteht, je nachdem ob die Störkörper ganz vorn an der Platte angebracht sind und daher nur die Grenzschicht in ihrem Nachlauf stören oder ob sie am hinteren Ende der Platte angebracht sind und daher selbst durch die anlaufende Grenzschicht gestört werden. Im letzteren Falle ist der Widerstand grösser. Im ersteren Falle scheint die Störung hauptsächlich von den seitlichen Rändern des Körpers auszugehen, da der Widerstandsbeiwert mit zunehmender Breite  $b/l$  merklich abnimmt (Abb. 9). Dies bedeutet, dass es im praktischen Falle, wo der Körper nicht an eine ebene Wand sondern an einen beliebig geformten Grundkörper angebaut ist, sehr darauf ankommen wird, wie dieser Grundkörper geformt ist, und ob sich hinter dem Störkörper noch eine nennenswerte Wand mit Grenzschicht befindet. Besonders im letztgenannten Fall kann der Widerstand merklich grösser als unsere Werte sein, sodass allgemein die von uns gemessenen Widerstände als Mindestwerte anzusehen sind.

Die Körper mit eingezogener Vorderkante (Abb. 5 und 9) zeigen einen weiteren Widerstandszuwachs, was insbesondere bei den kleineren  $Re$ -Zahlen auf eine unregelmässige Strömung vor dem Körper zurückzuführen sein dürfte.

Ganz besonders gross sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen dicken Körpern (Abb. 4, 6, 7, 10). Leider ist dabei sowohl das Dickenverhältnis  $d/l$  des Körpers als auch das Verhältnis zwischen der Grenzschichtdicke  $\delta$  (die bei Nichtanwesenheit des Körpers am Ort der Vorderkante des Körpers gemessen wurde) und

der Dicke  $d$  des Körpers verändert. Bei den dünnen Körpern mit  $d/l = 0,09$  ist der kleine  $c_w$ -Wert sicherlich zum grossen Teil darauf zurückzuführen, dass die Grenzschicht relativ dick ist ( $\delta/d = 0,6$ ) und den Körper zum Teil einhüllt. Bei den dicken Körpern wird der grosse  $c_w$ -Wert auch durch das ungünstige Dickenverhältnis  $d/l = 0,17$  mitbedingt sein. Auch liegen bei diesen wahrscheinlich besonders grosse Randstörungen vor.

Diese Randstörungen werden ganz erheblich kleiner, wenn die Störkörper keinen rechteckigen Grundriss sondern einen profilierten haben wie die untersuchten Tropfenkörper (Abb. 9). In diesem Falle hat der Körper mit dem grössten  $d/l$  den kleinsten  $c_w$ -Wert. Die  $c_w$ -Werte selbst liegen dann in dem für freifahrende Tropfenkörper üblichen Bereich.

In den Abb. 11 und 12 sind noch zwei andere Auftragsarten gewählt: Einmal ist  $c_w$  in Abhängigkeit vom Schlankheitsverhältnis der Stirnfläche  $b/d$  angegeben; zum anderen haben wir einen anderen Widerstandsbeiwert

$$c_{wp} = \frac{W}{q_0 b l} = c_w \cdot \frac{d}{l}$$

gebildet entsprechend dem normalen Profilwiderstandsbeiwert, um einen Vergleichmasstab zu haben. Die  $c_{wp}$ -Werte liegen im normalen Bereich; lediglich die für die Körper mit  $d/l = 0,09$  sind sehr klein, wobei jedoch ausser der bereits erwähnten Widerstandsabnahme infolge des verringerten Staudruckes in der Grenzschicht zu bedenken ist, dass bei der Differenzbildung für  $W$  der Widerstand des vom Körper abgedeckten Teiles der Platte mit abgezogen wurde.

Allgemein können wir im Hinblick auf den Kühlereinbau feststellen:

1. Das *W e i s e* sche Verfahren zur Berechnung des äusseren Widerstandes eines Kühlerverkleidung [1] (welches hier nicht näher auseinandergesetzt werden kann) erfasst die hauptsächlichsten Widerstandsursachen nicht und liefert zu kleine Werte.

2. Die von uns vertretene Konstruktionsregel: besser schmale und hohe Kühlerverkleidungen anstelle von breiten und flachen zu verwenden, darf nicht ohne weiteres bei beliebigen Körperformen

angewandt werden. Ein störungsfreies seitliches Ausweichen der Grenzschicht ist nur gewährleistet, wenn die Auskleidung zwischen dem Verkleidungskörper und der Wand einwandfrei profiliert ist. Diese Auskleidung darf keinesfalls rechteckigen Grundriss mit nur wenig abgerundeten Ecken haben, da dann erhebliche Randstörungen auftreten. Diese Erkenntnis wurde bereits bei unseren Untersuchungen über wandnahe Einläufe [5] gewonnen und nun durch die Widerstandsmessungen erneut bestätigt.

#### 4. Zusammenfassung.

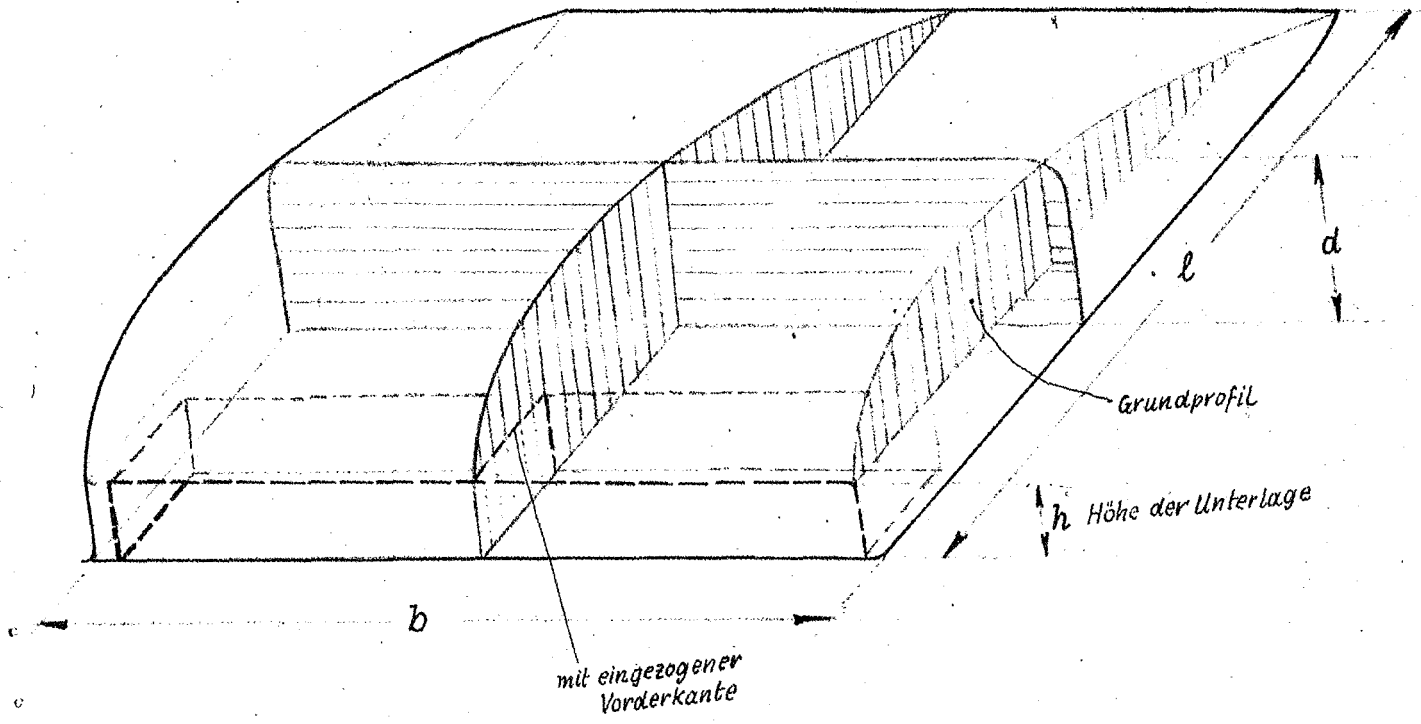
Es wurden die Widerstände von Körpern verschiedener Dicke, Breite und Form, die an einer ebenen Wand angebracht waren, gemessen, um Unterlagen für den Entwurf von Kühlerverkleidungen, Hutzen und sonstigen aus dem Rumpf oder dem Flügel herausragenden Störkörpern zu haben. Es zeigte sich, daß besonders bei Körpern mit rechteckigem Grundriß erhebliche Randstörungen auftreten, die den Widerstand erhöhen. Ein störungsfreies seitliches Ausweichen der Grenzschicht ist auch bei schmalen und hohen Körpern nur dann gewährleistet, wenn die Auskleidung zwischen dem Körper und der Wand gut profiliert ist. Dieser Randeinfluss ist besonders merklich, wenn auch hinter dem Körper noch eine Wand vorhanden ist, deren Grenzschicht durch den Nachlauf gestört werden kann. - Die von uns gemessenen Widerstandsbeiwerte liegen in dem gleichen Bereich wie die von S. Hoerner [3] und H. Braune [4] an anderen Körpern gemessenen. Das Weisesche Verfahren zur Berechnung des äusseren Widerstandes einer Kühlerverkleidung [1] erfasst die hauptsächlichsten Widerstandsursachen nicht und liefert zu kleine Werte.

#### 5. Schrifttum.

- [1] A. Weise: Der äussere Reibungswiderstand von Kühlerverkleidungen. UM 1435 (1944).
- [2] D. Küchemann und J. Weber: Der Einbau von Kühlern. XX. Teilbericht. AVA-Bericht 45/A/12 (1945).
- [3] S. Hoerner: Der Widerstand von Halbkörpern. UM 7813 (1943).
- [4] H. Braune: Windkanalversuche an drei verschiedenen Kühlerverkleidungen für einen Flügelhinterkantenkühler. Blohm und Voss - Bericht S 322 (1944).
- [5] D. Küchemann und J. Weber: Über die Strömung an ringförmigen Verkleidungen. XI. Mitteilung. UM 3051 (1943).

Die untersuchten Störkörper

Flacher Körper



Tropfenkörper

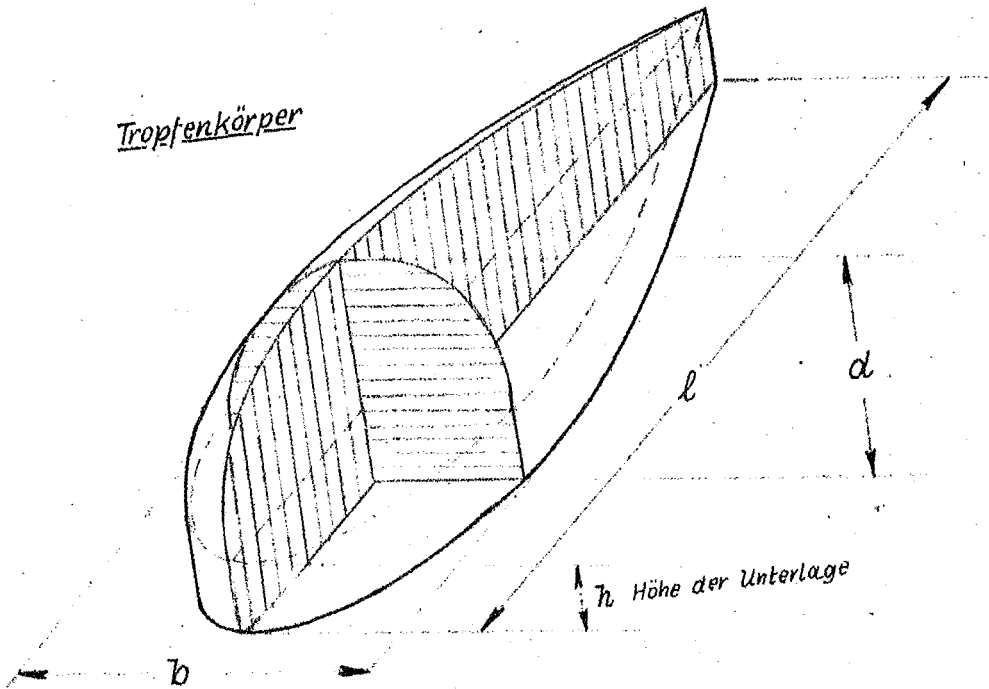


Abb. 1

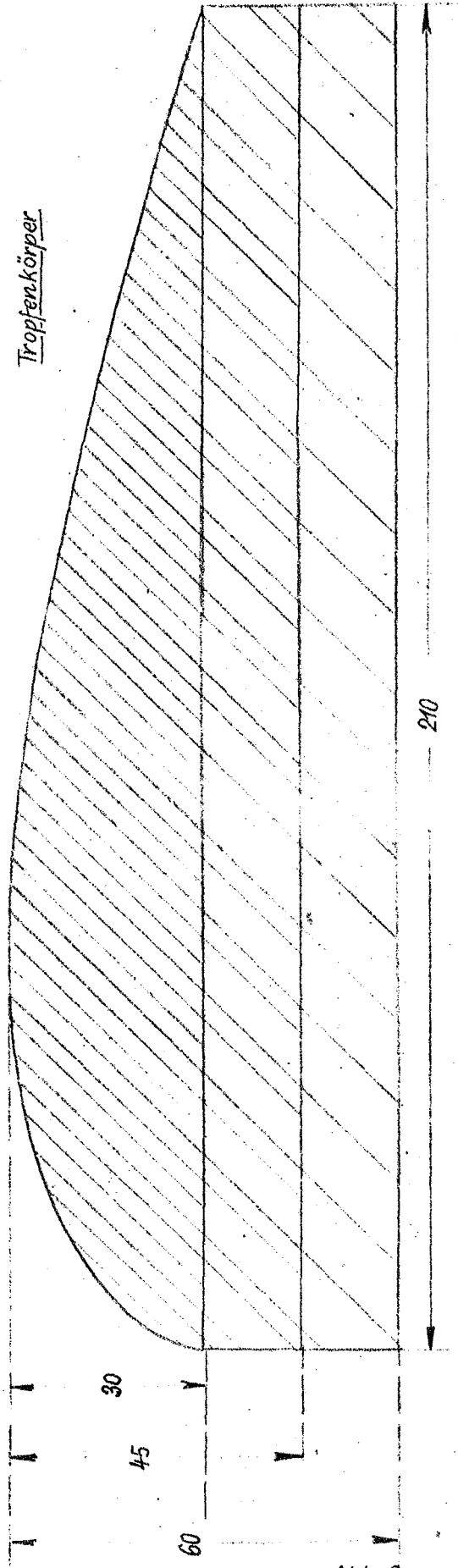
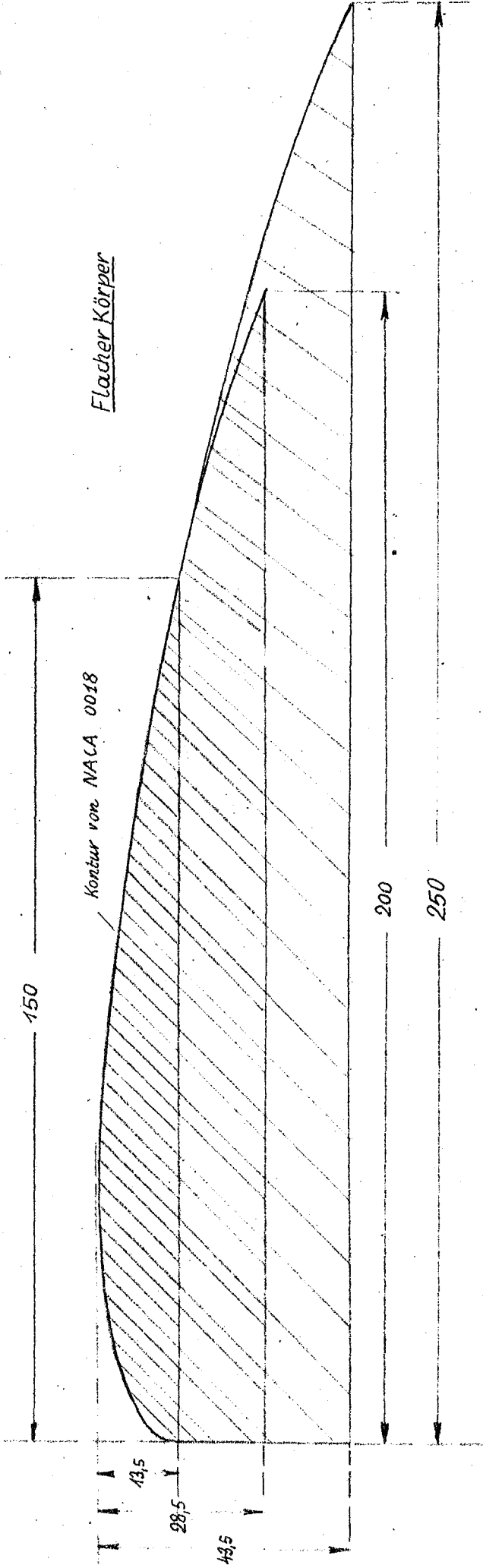
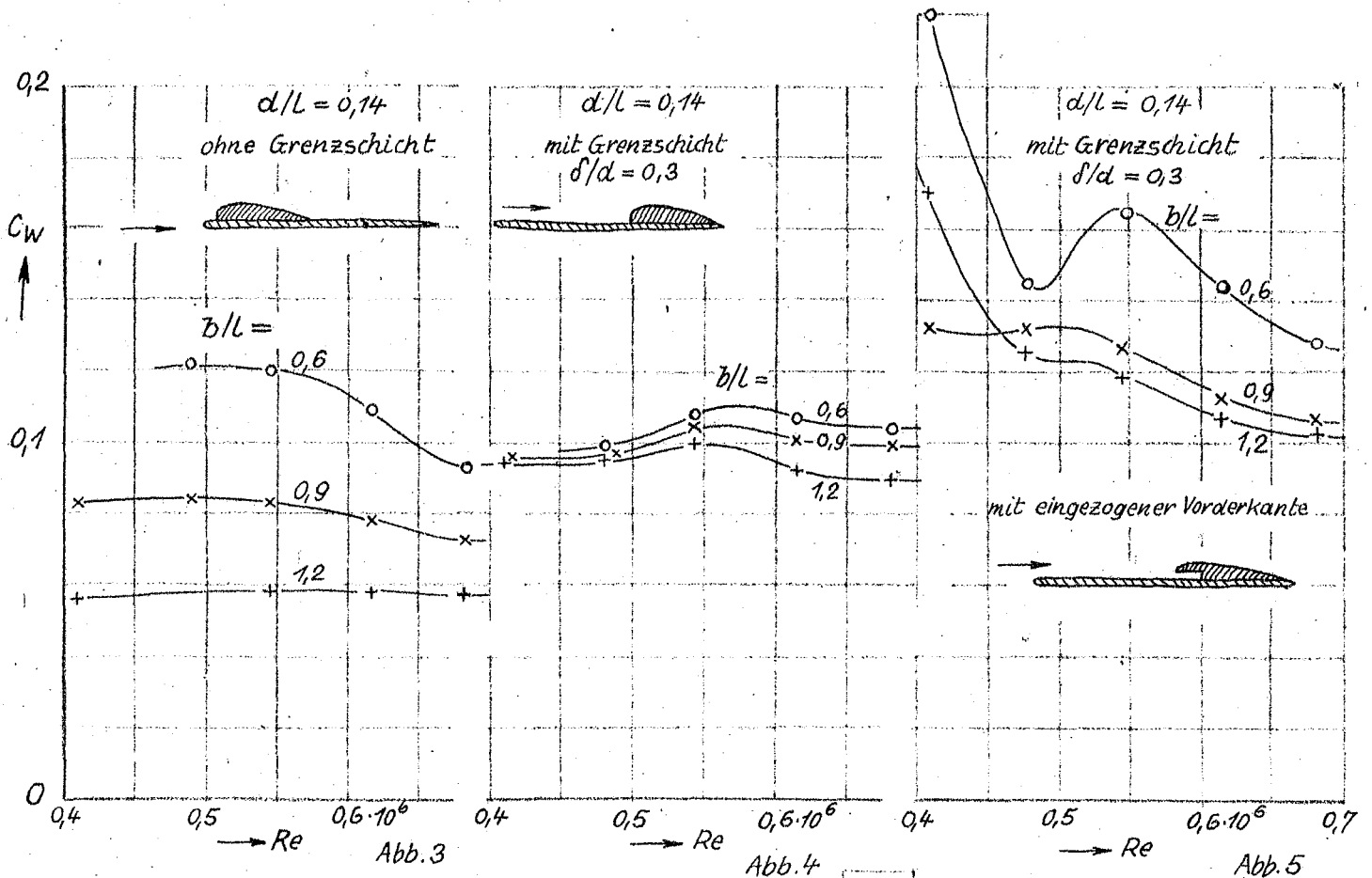
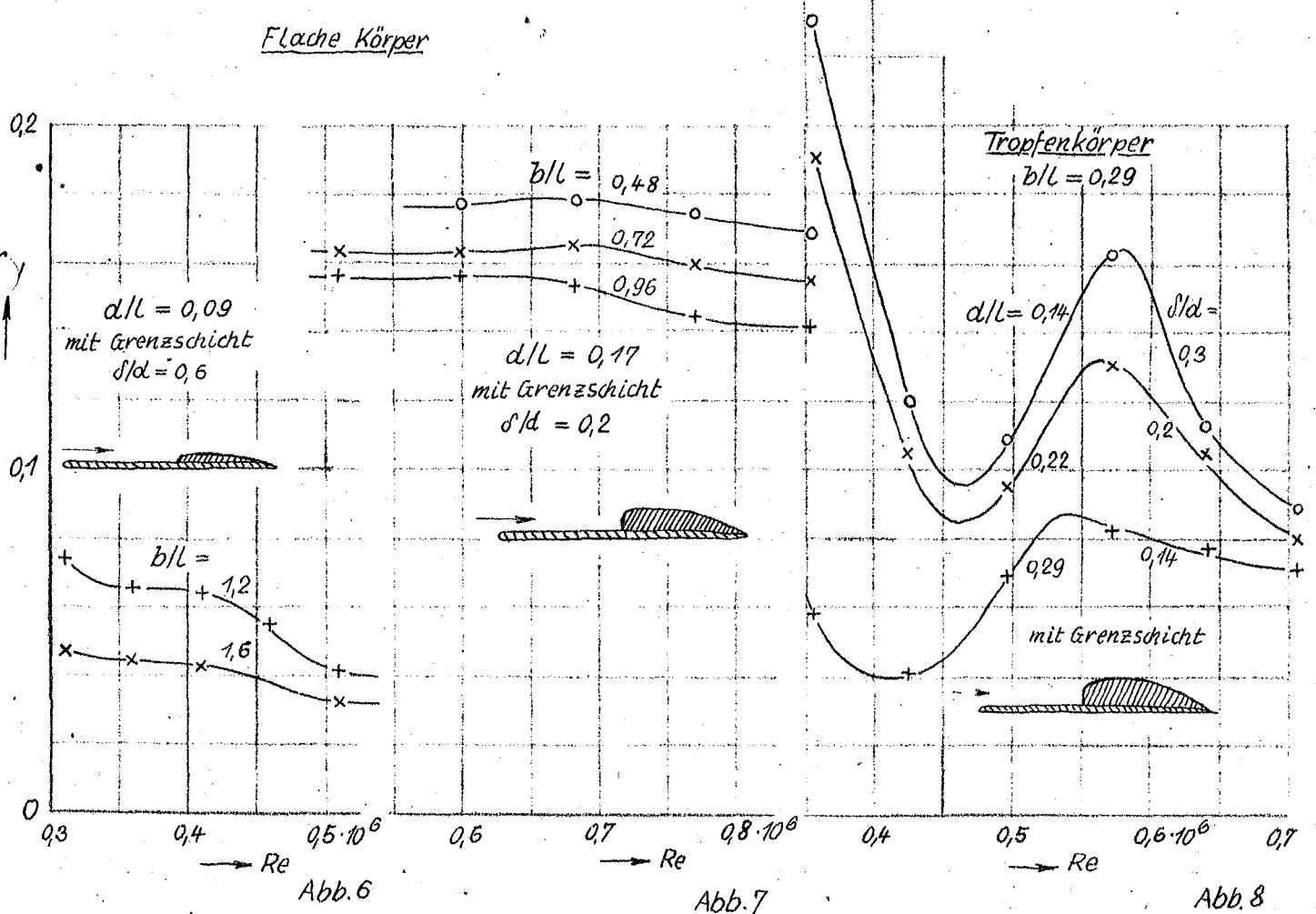


Abb. 2





Flache Körper



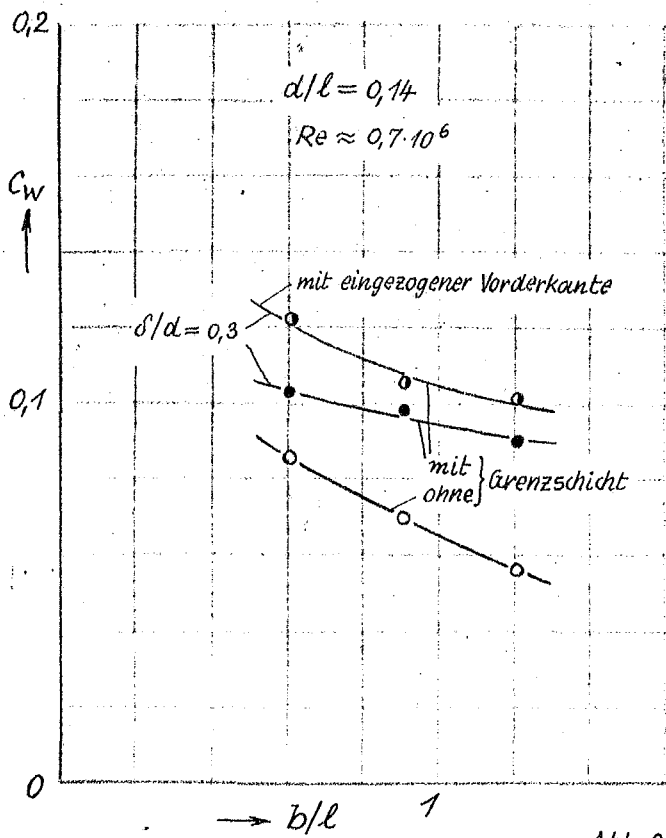


Abb. 9

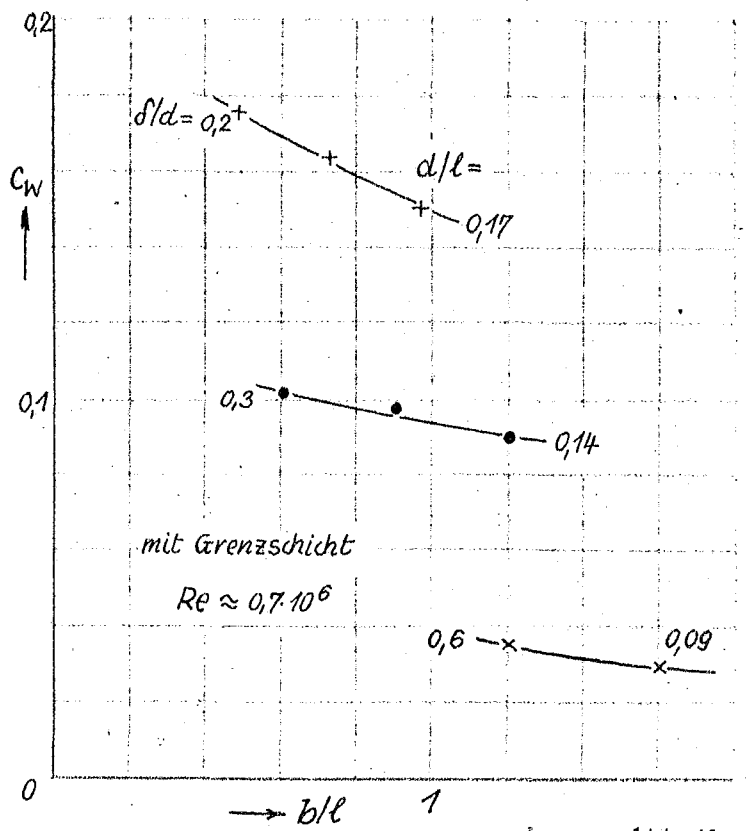


Abb. 10

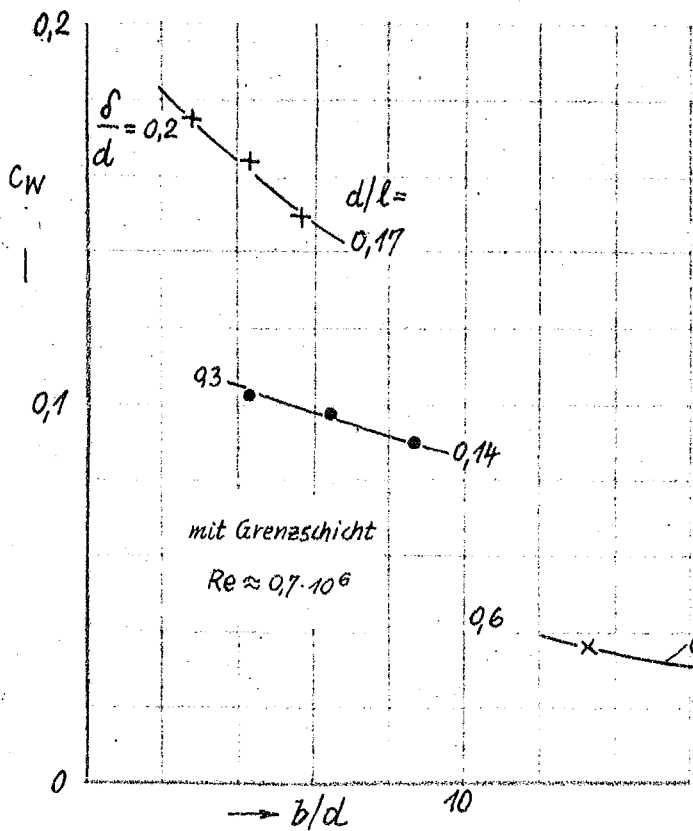


Abb. 11

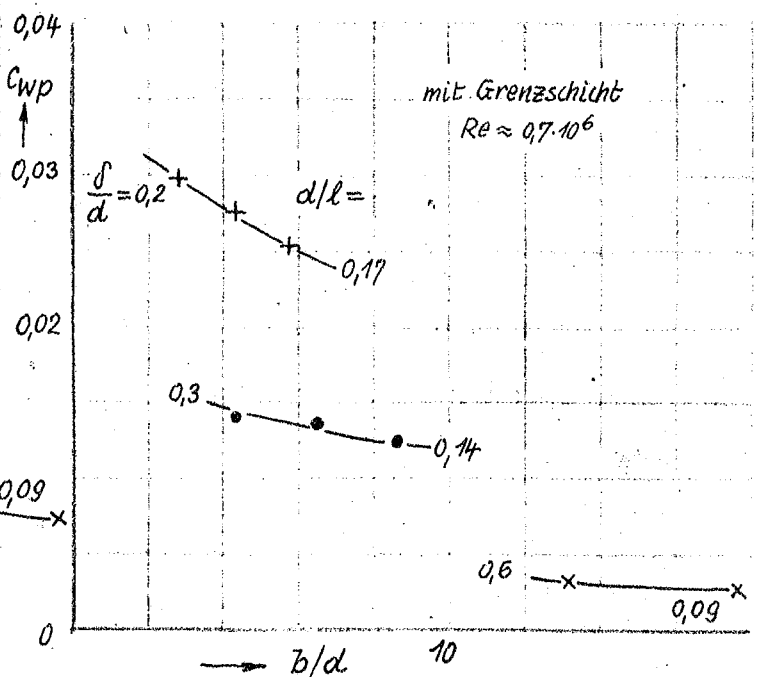


Abb. 12