

F. B. 18/36

Auftriebssteigerung
beim Pfeilflügel.

Übersicht: An einem Pfeilflügel wurden Windkanalmessungen durchgeführt, die eine Erhöhung des c_{amax} - Wertes mit Landehilfe zum Ziel hatten. Es wurden Vorflügel verschiedener Grundrißform untersucht und weiterhin eine sog. Ausfahr-Spreizklappe. Die Messungen mit Vorflügel ergaben kein befriedigendes Ergebnis, sind andererseits auch noch nicht als abgeschlossen zu betrachten. Dagegen lieferte die untersuchte Spreizklappenanordnung eine verhältnismäßig günstige c_{amax} - Steigerung.

- Gliederung:
- I. Einleitung
 - II. Verschiedene Anordnungen des Vorflügels
 - III. Ausfahr-Spreizklappe als Landehilfe
 - IV. Zusammenfassung
 - V. Schrifttum

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

Der Bericht umfaßt:
17 Seiten mit
11 Abbildungen.

AERODYNAMISCHE VERSUCHSANSTALT GOETTINGEN E.V.

Institut Windkanäle.

Der Institutsleiter

R. Seiferth
(R. Seiferth)

Der Bearbeiter

G. Brennecke
(G. Brennecke)

gesehen

Alb. Betz
(Alb. Betz)

Göttingen, den 17.7.1943

Bericht 43/W/35

I. Einleitung.

Infolge der Bedeutung, die der gepfeilte Flügel als Tragflügel schneller Flugzeuge neuerdings gewinnt, ist auch eine Vergrößerung des Höchstauftriebes beim gepfeilten Flügel mit Landehilfe dringlich geworden, da der bisher erreichte Höchstauftrieb unbefriedigend ist. Es besteht somit die Aufgabe, eine für das Pfeilflügelflugzeug geeignete Landehilfe zu finden, wobei die Aufgabenstellung für die beiden Entwicklungsrichtungen, die man beim Pfeilflügelflugzeug zu unterscheiden hat, zweckmäßig getrennt behandelt wird. Die erste Entwicklungsrichtung, fassend auf dem Vorteil, den der Pfeilflügel bei hohen Geschwindigkeiten bezüglich des Widerstandes besitzt [1], führt zum Bau eines Flugzeuges mit Rumpf und üblicher Leitwerksanordnung. Die zweite Entwicklungsrichtung, ausgehend von dem Vorteil, den der Pfeilflügel durch die Möglichkeit des Momentenausgleiches im Flügel bietet, führt zum Nurflügelflugzeug oder zur schwanzlosen Bauart mit Gondelrumpf.

Bei der erstgenannten Bauweise hat der Tragflügel ein kleines Streckungsverhältnis und die Landehilfe wird sich im allgemeinen über die ganze Spannweite erstrecken müssen. Ferner ist zu fordern, daß bei beginnender Strömungsablösung nach Überschreiten des Höchstauftriebes möglichst kein schwanzlastiges Moment auftritt, die Ablösung also in Flügelmitte beginnt. Bei der zweitgenannten, schwanzlosen Bauweise müssen die äußeren Flügelenden die Rolle des Höhenleitwerkes übernehmen und fallen daher für die Hochauftriebserzeugung aus. Insgesamt sind drei Klappenpaare längs der Spannweite als notwendig anzusehen. Dies zwingt zur Verwendung eines vergleichsweise grossen Streckungsverhältnisses im Gegensatz zur erstgenannten Bauweise.^{*)} Besondere Beachtung verlangt die Änderung des Momentengleichgewichtes während des Ausfahrens der Landehilfe bei der letzteren Bauweise.

Außer der Auftriebssteigerung sind somit noch andere Erfordernisse von der Landehilfe zu erfüllen, die aber für die beiden genannten Entwicklungsrichtungen verschiedenartig sind. Im vorliegenden Bericht werden Meßergebnisse an Pfeilflügeln mit Landehilfe nur unter dem Gesichtspunkt der Verwendung für ein Flugzeug mit üblicher Leitwerksanordnung betrachtet.

^{*)} Beim Vergleich der beiden, genannten Bauweisen hinsichtlich ihres Streckungsverhältnisses treten allerdings i. a. noch weitere Gesichtspunkte hinzu.

Es liegt nahe, beim Pfeilflügel die gleichen Hilfsmittel zur Auftriebssteigerung anzuwenden, die beim ungepfeilten Flügel erfolgreich sind. Diese Hilfsmittel sind wirksam einerseits durch Vergrößerung der Zirkulation (Flächenvergrößerung; Wölbungsklappen u.s.w.) und andererseits durch Grenzschichtbeeinflussung (Vorflügel, Spaltanordnungen; Absaugung der Grenzschicht), in vielen Fällen durch beides (Spaltklappen; Spreizklappen). Überträgt man diese bei ebener oder annähernd ebener Strömung bewährten Verfahren auf die räumliche Strömung um einen Pfeilflügel, so müßte in erster Linie von den grenzschichtbeeinflussenden Hilfsmitteln ein Erfolg zu erwarten sein, da am Pfeilflügel die Strömungsablösung schon bei Anstellwinkeln einsetzt, die kleiner sind als diejenigen bei entsprechender, ebener Strömung. Daher wurden zuerst Versuche mit Vorflügeln verschiedener Grundrißform unternommen, über die an dieser Stelle berichtet wird.

Die Versuche ergaben jedoch, daß der große Unterschied im Höchstauftrieb, der zwischen gepfeiltem und ungepfeiltem Flügel besteht, mindestens in gleicher Größe auch zwischen gepfeiltem Flügel mit Vorflügel und ungepfeiltem Flügel mit Vorflügel bestehen bleibt. Auch andere, bisher veröffentlichte Versuche über Auftriebssteigerung am Pfeilflügel [2] lassen das gleiche Ergebnis für Vorflügel- und auch für Spaltklappenanordnungen erkennen. Es zeigt sich allgemein, daß die einfache Übertragung der bekannten, auftriebssteigernden Hilfsmittel auf die Verhältnisse der Pfeilflügelströmung nicht die erstrebte Annäherung des Höchstauftriebes an den bei ebener Strömung unter gleichem Flächenaufwand erreichbaren Wert bringt.

Einen gewissen Erfolg brachte die sog. Ausfahrspreizklappe, d.h. eine Spreizklappe, die außer der Drehbewegung noch eine Verschiebe-Bewegung bis zur Flügelhinterkante beim Ausfahren macht. Die mit dieser Klappe erreichten Auftriebswerte sind den in ebener Strömung bei gleichem Aufwand an Klappenfläche erreichbaren Werten nur um etwa 10 + 15 v.H. unterlegen. Messungen mit dieser Klappenanordnung wurden in den vorliegenden Bericht aufgenommen.

Die in diesem Bericht zusammengefaßten Ergebnisse von Messungen bilden keine systematische Untersuchungsreihe. Die Aufgabe bestand darin, die Möglichkeiten für eine Auftriebserhöhung am Pfeilflügel abzutasten, und die Ergebnisse der Messungen sol-

len dementsprechend nur als Hinweis und Richtlinien für weitere Messungen dienen.

II. Verschiedene Anordnungen des Vorflügels.

Der für die Untersuchung benutzte Pfeilflügel ($\gamma = 35^\circ$) war ursprünglich als Tragflügel eines schwanzlosen Flugzeuges entworfen. Der Flügel war ohne geometrische Verwindung aus Sonderprofilen aufgebaut. (Bild 1 siehe Seite 5).

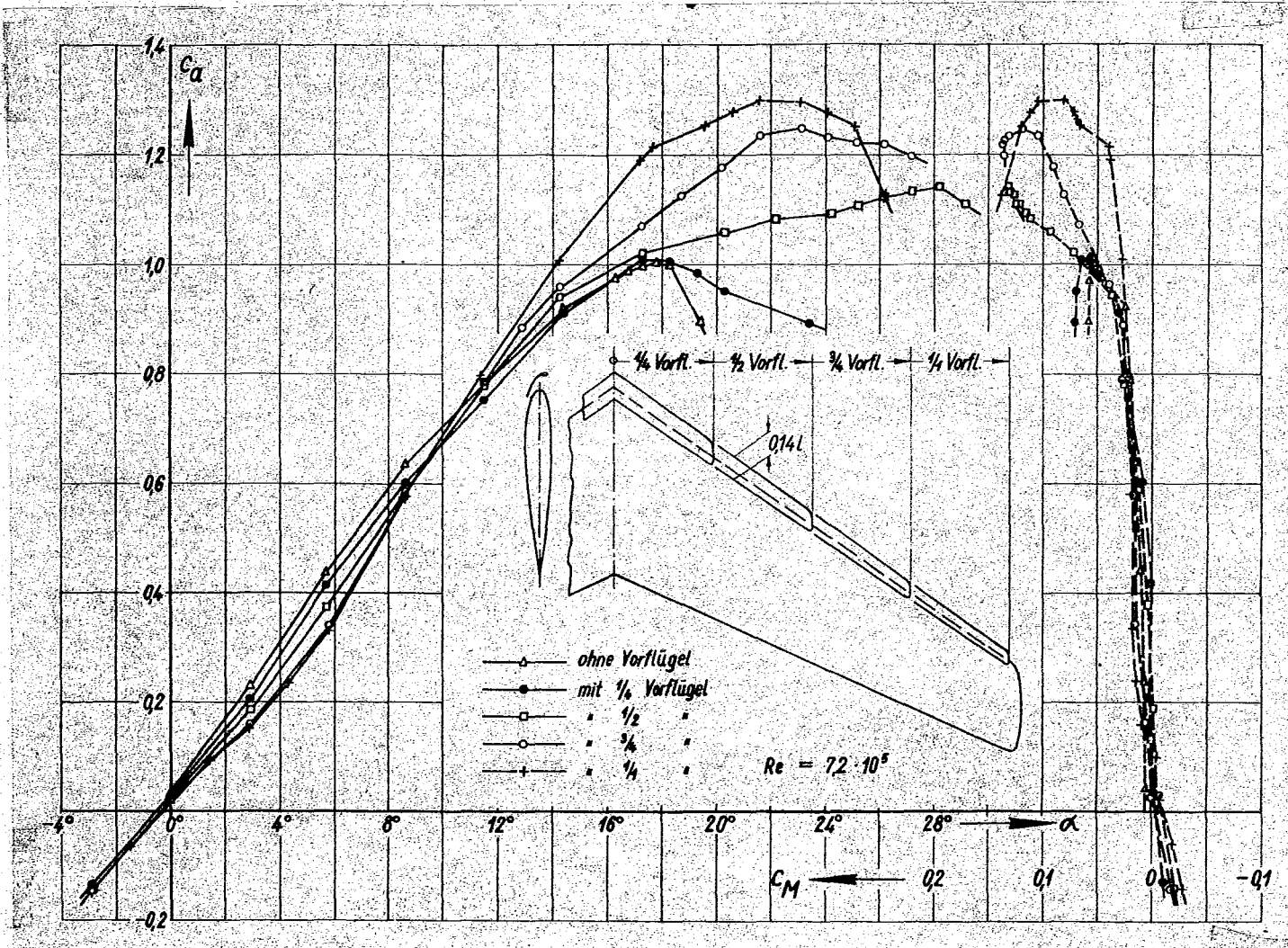
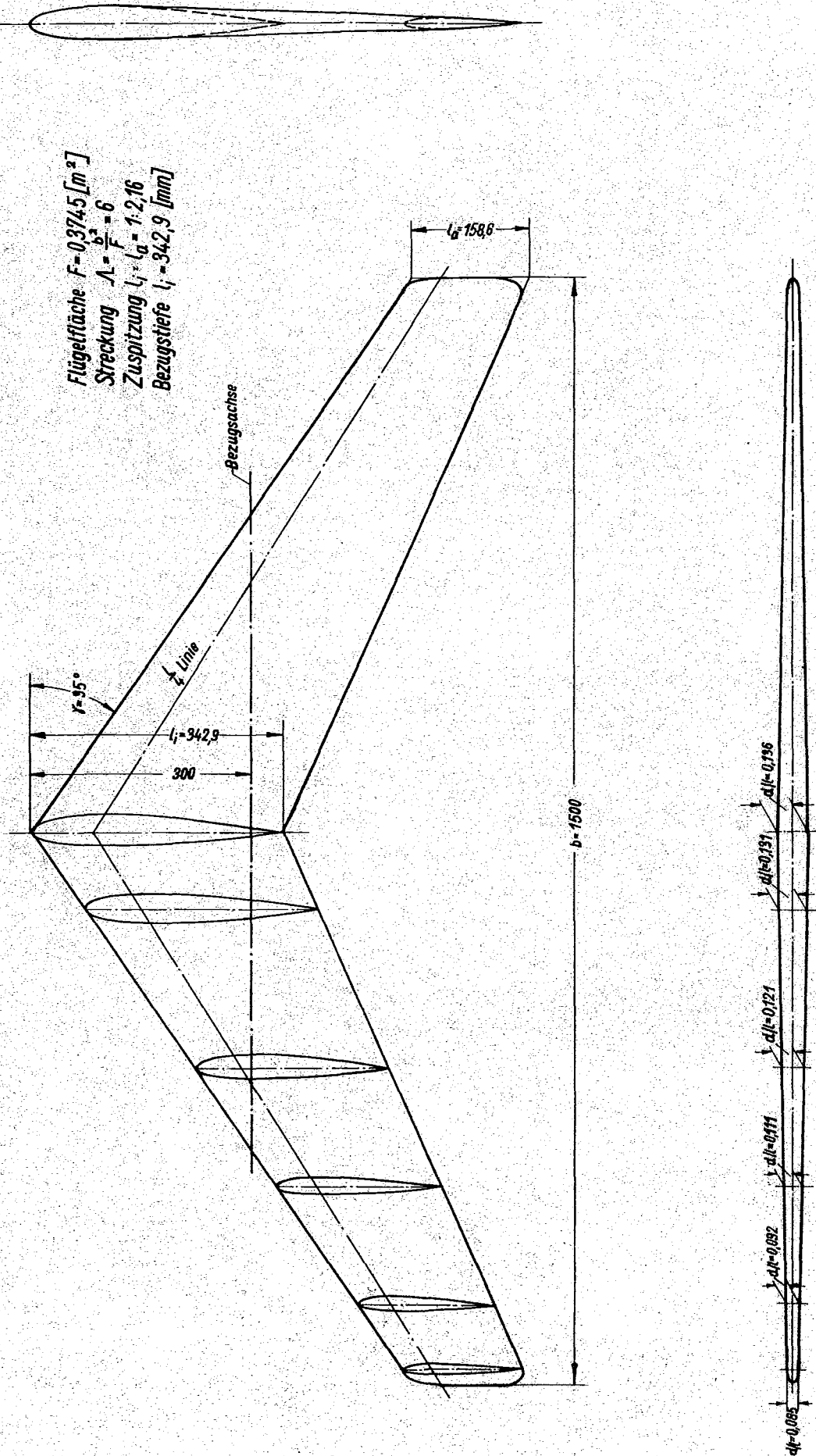


Bild 2: Pfeilflügel mit stufenweis verkürztem Vorflügel.

Die verschiedenen Vorflügel-Grundrißformen, die untersucht wurden, sind in Bild 2, 3 und 6 gezeigt. Die Vorflügel waren nicht profiliert und aus gebogenem Blech hergestellt. Form und Ausfahrstellung der Vorflügel wurde so bestimmt, daß innerhalb der Ebene eines jeden Flügelschnittes die Vorflügelform der Flügelnasenkontur angeglichen und nur parallel verschoben wurde, wobei für die Größe der parallelen Verschiebung, bezogen auf

Pfeilflügelmodell

Flügelfläche $F = 0,3745 \text{ [m}^2\text{]}$
Streckung $\Lambda = \frac{b^2}{F} = 6$
Zuspitzung $l_1 = l_a = 1,2,16$
Bezugstiefe $l_2 = 342,9 \text{ [mm]}$



Vorflügelhinterkante, Werte genommen wurden, die von der ebenen Strömung her als günstig bekannt sind. Infolge der Trapezform des Flügels ist hierbei die absolute Größe der Parallelverschiebung entsprechend der jeweiligen Flügeltiefe verschieden bei verhältnisgleicher Größe der Verschiebung. Bei wirklichkeitsgetreuer Nachahmung der Ausfahrbewegung würden sich etwas andere Lagen der Vorflügel ergeben, da sich die Ausfahrbewegung vor einem Trapezflügel aus einer Drehung und einer parallelen Verschiebung zusammensetzt. Auf Einzelheiten dieser Art sowie auf Ermittlung der günstigsten Vorflügelanordnung und der günstigsten Vorflügelanordnung wurde verzichtet. Bild 2 zeigt den Versuch mit einem über die ganze Spannweite sich erstreckenden Vorflügel von 0,14 l gleichbleibender Tiefe. Der Vorflügel wurde schrittweise verkürzt und zwar so, daß der innere Teil stehen blieb. Um die Wirkung der einzelnen Vorflügelstücke vergleichbar zu machen, wurde der jeweils erreichte c_{amax} - Wert über der Flächenverhältniszahl $1 + F_{Vorfl.}/F_{Flügel}$ aufgetragen (Bild 4). In dieser Darstellung bildet die Steilheit der c_a - Vergrößerung, nämlich die Größe $\Delta c_{amax} \cdot F_{Flügel}/F_{Vorfl.}$, ein Gütemaß des betreffenden Vorflügels. In gleicher Weise wurde der kritische Anstellwinkel α_{Kr} über der Flächenverhältniszahl aufgetragen. Es zeigt sich, daß das in Flügelmitte angeordnete Vorflügelstück ($\frac{1}{4}$ Vorflügel in Bild 4) wenig günstig ist, während sich die anderen Vorflügelabschnitte ($\frac{1}{2}$; $\frac{3}{4}$; $\frac{1}{1}$ Vorflügel in Bild 4) in ihrer Wirkung nur wenig unterscheiden. Der Vergleich mit einem annähernd gleichen Vorflügel in ebener Strömung ergibt, daß die Gütegrade der Vorflügel (entsprechend der oben gegebenen Begriffsbestimmung) bei Pfeilflügel- und bei ebener Strömung annähernd gleich sind und dementsprechend die Unterlegenheit des Pfeilflügels ohne Vorflügel in mindestens gleicher Größe auch beim Pfeilflügel mit Vorflügel bestehen bleibt.

Ferner zeigt der Momentenverlauf (Bild 2) bei den genannten Vorflügelanordnungen nach Überschreitung des Höchstauftriebes, daß die Strömung sich am Außenflügel zuerst ablöst. Diese Vorflügelanordnungen sind also aus diesem Grunde ungünstig.

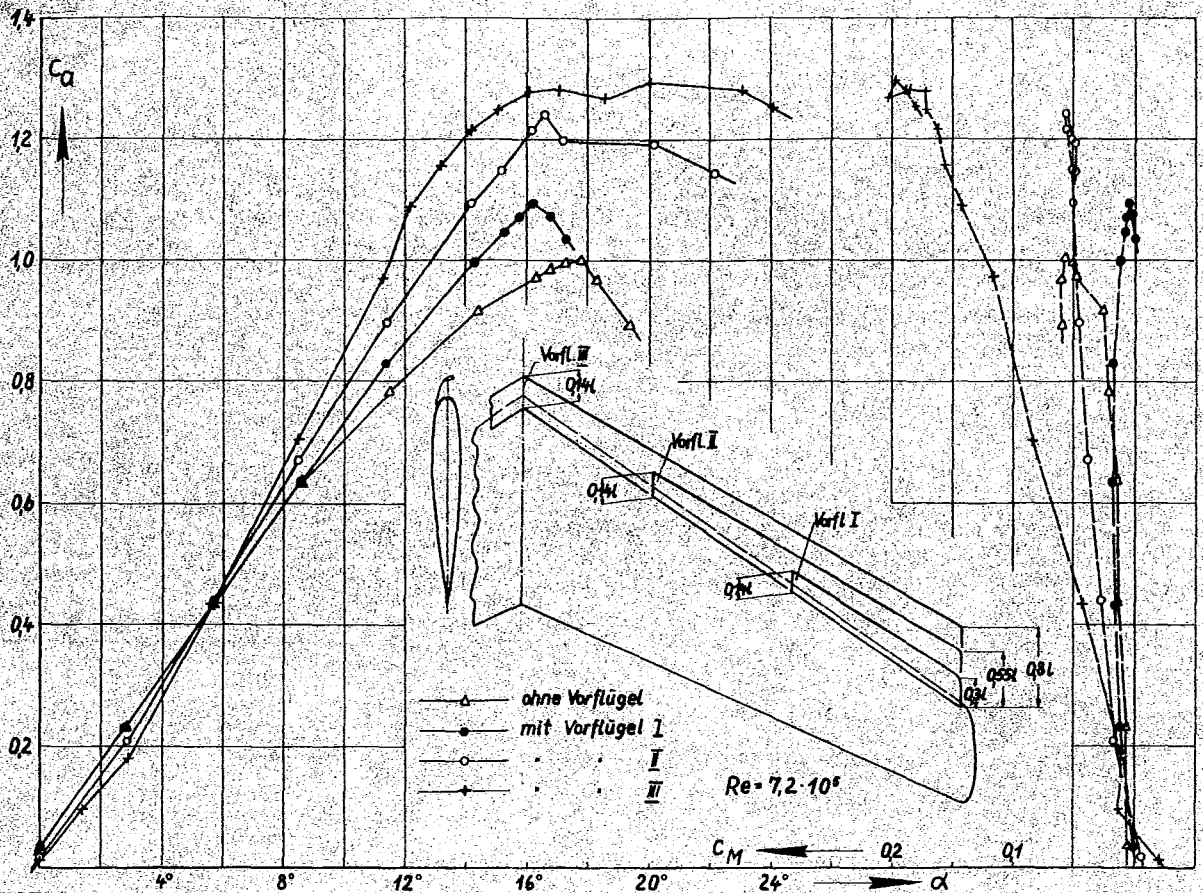


Bild 3: Pfeilflügel mit Vorflügeln ungleicher Tiefenverteilung.

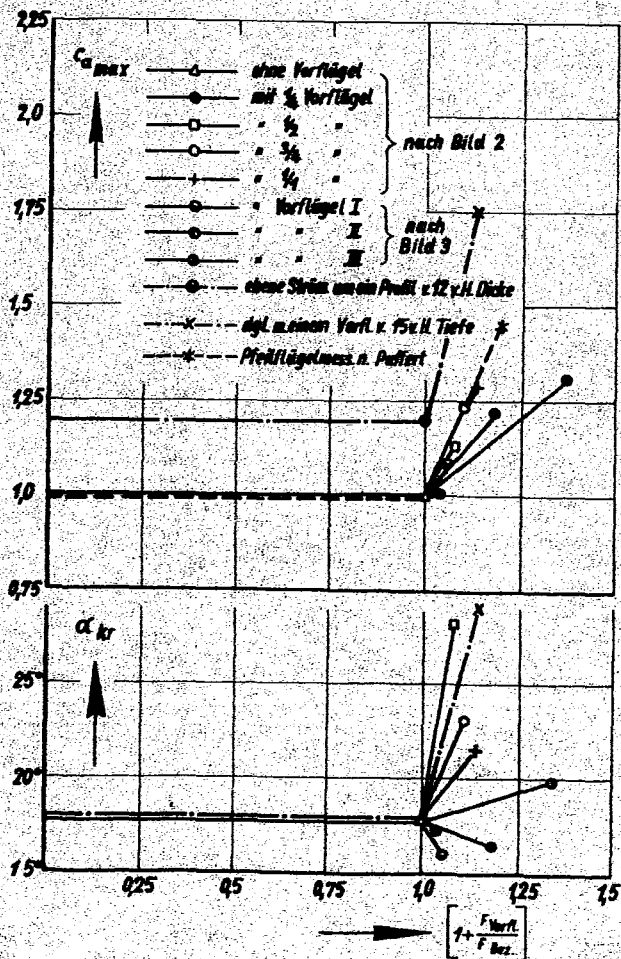


Bild 4: Gütevergleich der untersuchten Vorflügel.

Ein weiterer Versuch wurde mit 3 Vorflügeln verschiedener Spannweite gemacht, von denen zwei sich nur über den Außenflügel erstreckten. Die Tiefe dieser 3 Vorflügel war außerdem nicht mehr gleichbleibend, sondern nach außen größer werdend (Bild 3). Der Vergleich in Bild 4 zeigt, daß die Vorflügelgütegrade meistens ungünstig sind, daß jedoch eine günstige Einwirkung auf das Momentverhalten durch die außen angebrachten Vorflügel erreicht wird. Die gleichen Vorflügel wurden auch zusammenwirkend mit einer Spreizklappe (0,25 l) untersucht (Bild 5 und 7). Im Vergleich mit den Werten, die in ebener Strömung bei gleicher Spreizklappe und gleichwertigem Vorflügel erzielt werden, sind die erreichten $c_{a_{max}}$ - Werte wiederum recht unbefriedigend.

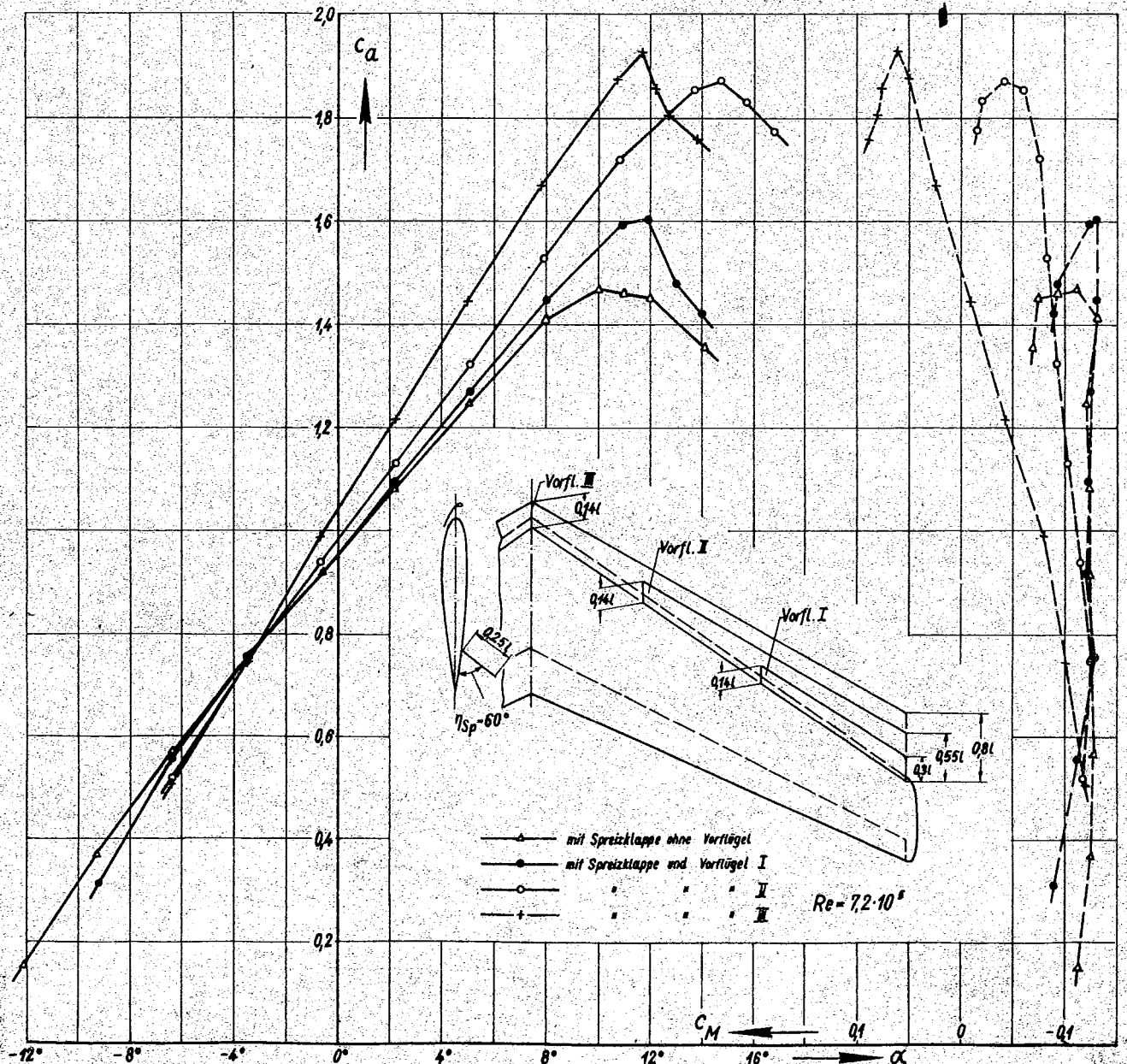


Bild 5: Pfeilflügel mit Vorflügeln ungleicher Tiefenverteilung und Spreizklappe.

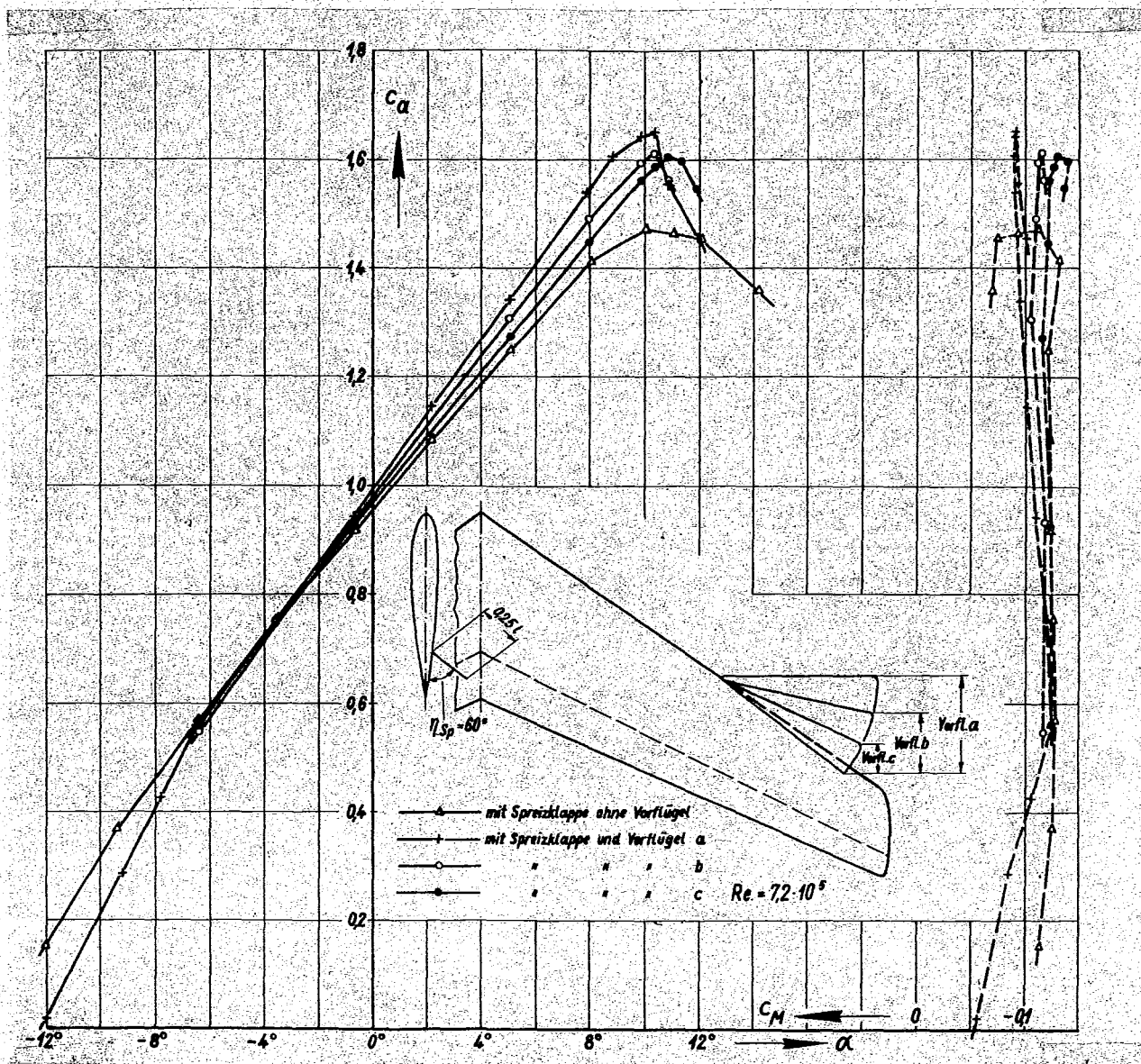


Bild 6: Pfeilflügel mit fächerartigen Vorflügeln und Spreizklappe.

Als letztes Beispiel sei der Versuch mit einigen Vorflügeln am Pfeilflügel mit Spreizklappe gezeigt, die um einen flügel festen Punkt allseitig drehbar gelagert waren und fächerartig ausgefahren wurden und zwar in einem Falle so weit, daß die Vorflügelvorderkante keine Pfeilung mehr hatte (Bild 6). Die Einwirkung auf das Momentenverhalten bzw. Abreißverhalten ist durchweg günstig. Weniger günstig liegen die Vorflügelgütegrade (Bild 7). Es ist jedoch denkbar, daß in dieser Hinsicht eine Verbesserung noch erreicht werden kann, wenn im Vorflügel unmittelbar hinter der Vorflügelvorderkante ein Schlitz angebracht wird, denn für einen weit außen liegenden Flügelschnitt ist der zwischen Vorflügel und Pfeilflügel gelegene Schlitz zu weit von der Vorderkante entfernt und daher unwirksamer. Die Versuche mit dieser Vorflügelanordnung sind also noch nicht als abgeschlossen zu betrachten.

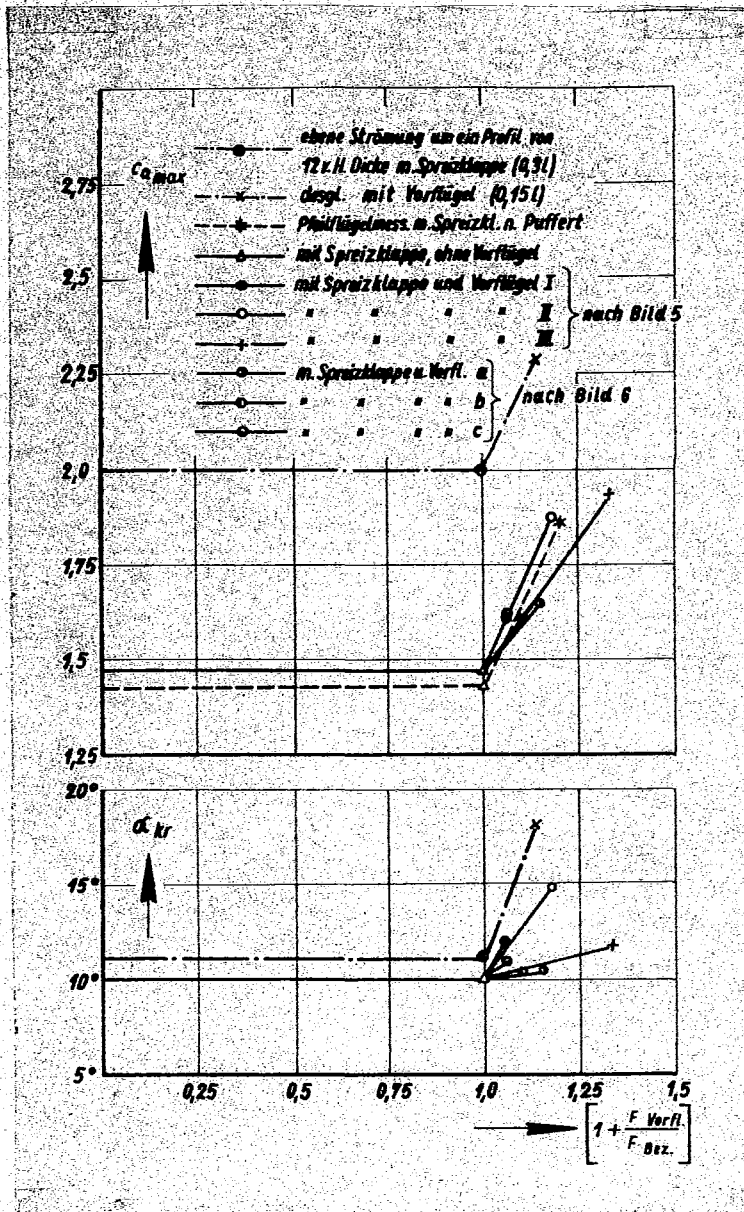


Bild 7: Gütevergleich der mit Spreizklappe untersuchten Vorflügel.

Eine andere, inzwischen veröffentlichte Untersuchung [2] über Messungen an Pfeilflügeln mit Landehilfen gelangt im wesentlichen zu gleichen Ergebnissen. Die dort erreichten Vorflügelgütegrade sind in Bild 4 und 7 ebenfalls eingetragen. Der untersuchte Vorflügel war profiliert und vorher auf beste Ausfahrstellung hin untersucht worden. Ferner wurde dort auch die günstige Wirkung eines außen angeordneten Vorflügels auf das Momentverhalten nach beginnender Strömungsablösung festgestellt.

III. Ausfahr-Spreizklappe als Landehilfe.

Einige Vorversuche ergaben den Hinweis, daß durch Verschieben der Spreizklappe bis an die Flügelhinterkante eine wesentliche Auftriebssteigerung erreichbar ist. Die Klappe würde dann nach Art einer Zap-Klappe durch eine Drehung und eine Verschiebewegung auszufahren sein. Sie wird daher nachstehend als Ausfahr-Spreizklappe bezeichnet. Eine andere Möglichkeit, nämlich die Klappe nur durch eine Drehung um die Flügelhinterkante als Achse auszufahren, dürfte weniger günstig sein, da hierbei in den Zwischenstellungen große Widerstände und vermutlich auch große Klappenkräfte auftreten, welche die gleichzeitige Verwendung der Klappe als Starthilfe unmöglich machen.

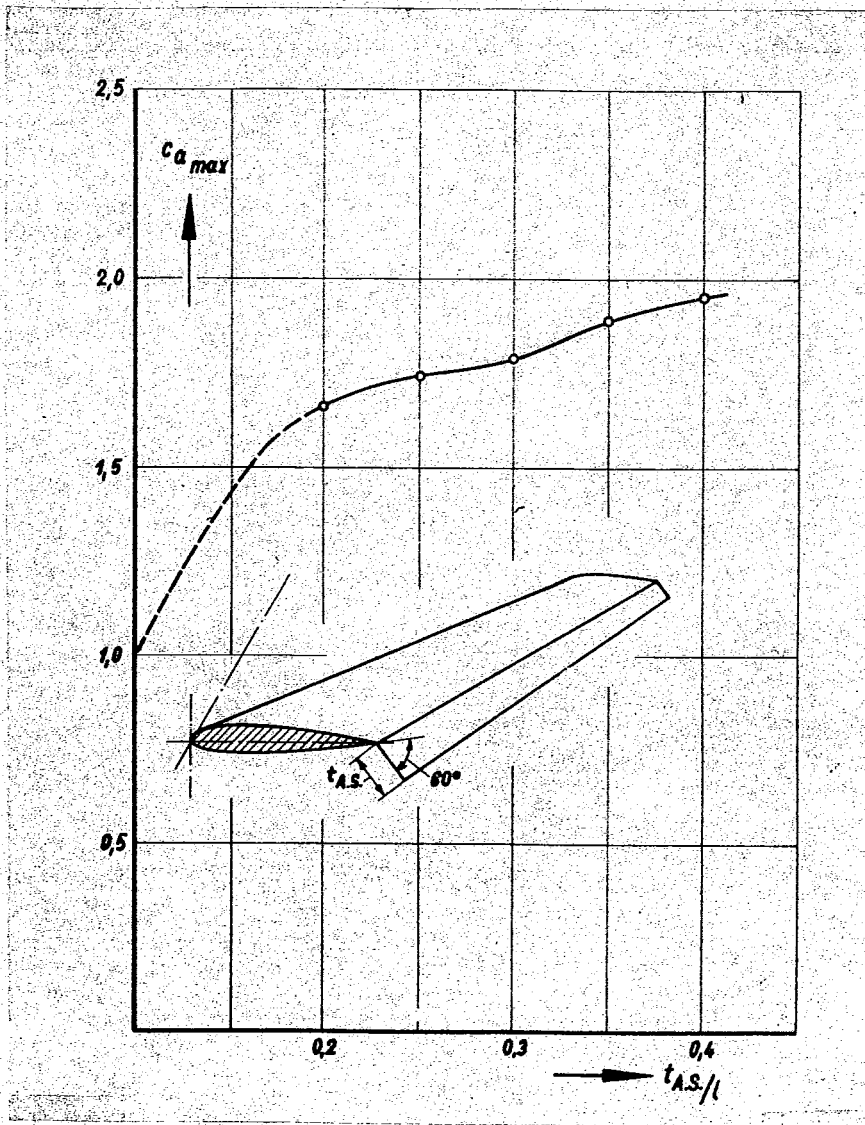


Bild 8: Höchstauftrieb am Pfeilflügel mit Ausfahr-Spreizklappe in Abhängigkeit von der Klappentiefe.

Bild 8 zeigt die mit Ausfahr-Spreizklappe erreichten $c_{a_{max}}$ - Werte bei einem Ausschlagwinkel von $\eta_{AS} = 60^\circ$, der wahrscheinlich für alle Klappentiefen der günstigste Wert ist.

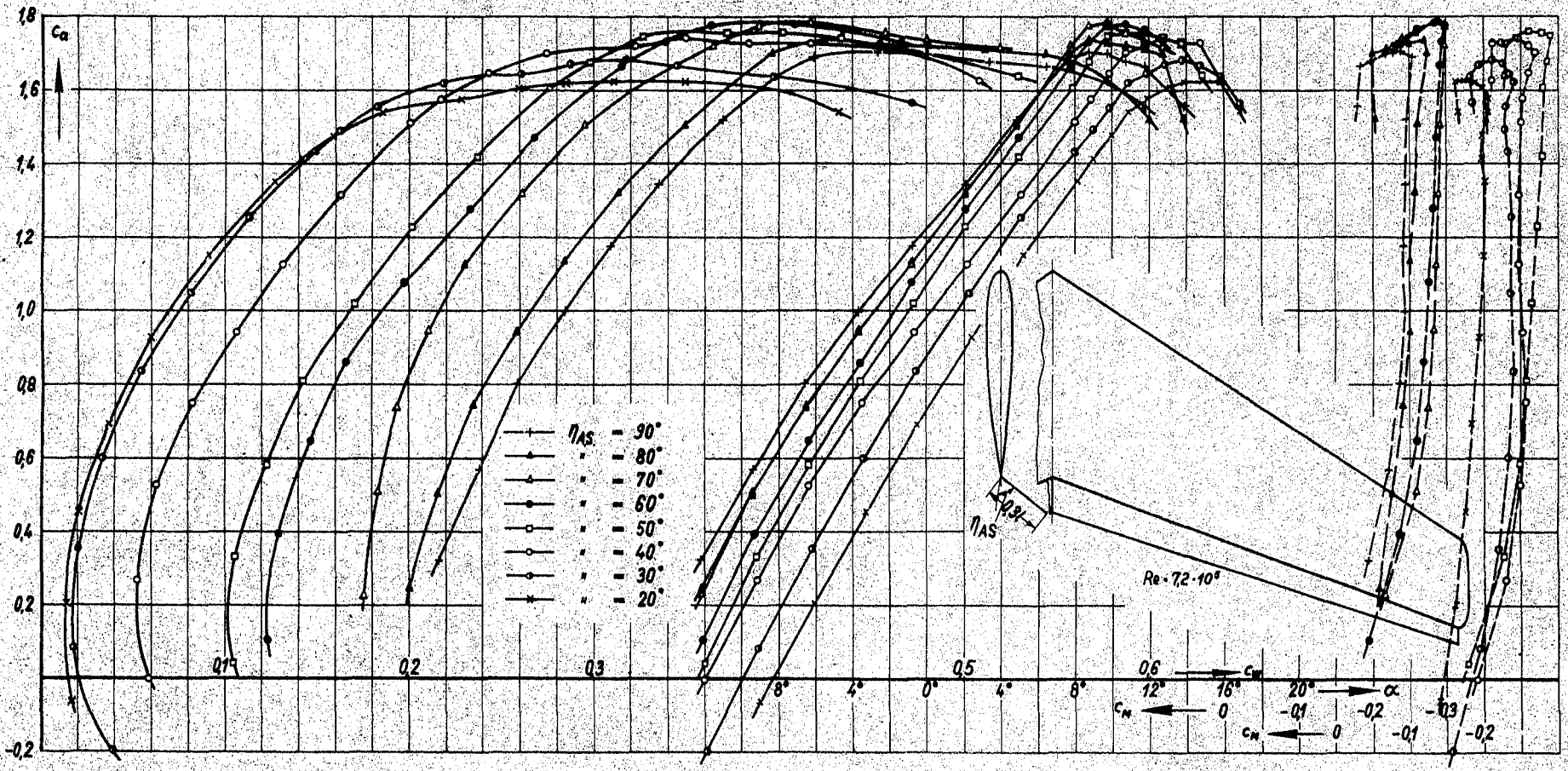


Bild 9: Pfeilflügel mit 0,3 l tiefer Ausfahr-Spreizklappe bei verschiedenen Klappenausschlägen.

Die Werte für Auftrieb, Moment und Widerstand bei einer Klappentiefe von 0,3 l (für verschiedene Klappenausschläge sind in Bild 9 zusammengestellt. Bei einer solchen Klappentiefe und üblicher Spreizklappenanordnung werden am ungepfeilten Flügel c_a - Werte von 2 bis höchstens 2,1 erreicht.

Bei den Versuchen zeigte sich außerdem folgende bemerkenswerte Tatsache. Schon der geringste Spalt zwischen Flügel und Klappen längs der Flügelhinterkante ergab einen deutlichen c_a - Abfall. Ein Spalt in der Größe von einigen Zehnteln der Klappentiefe ergibt eine starke Herabsetzung des Höchstauftriebes, aber auch des Widerstandes.

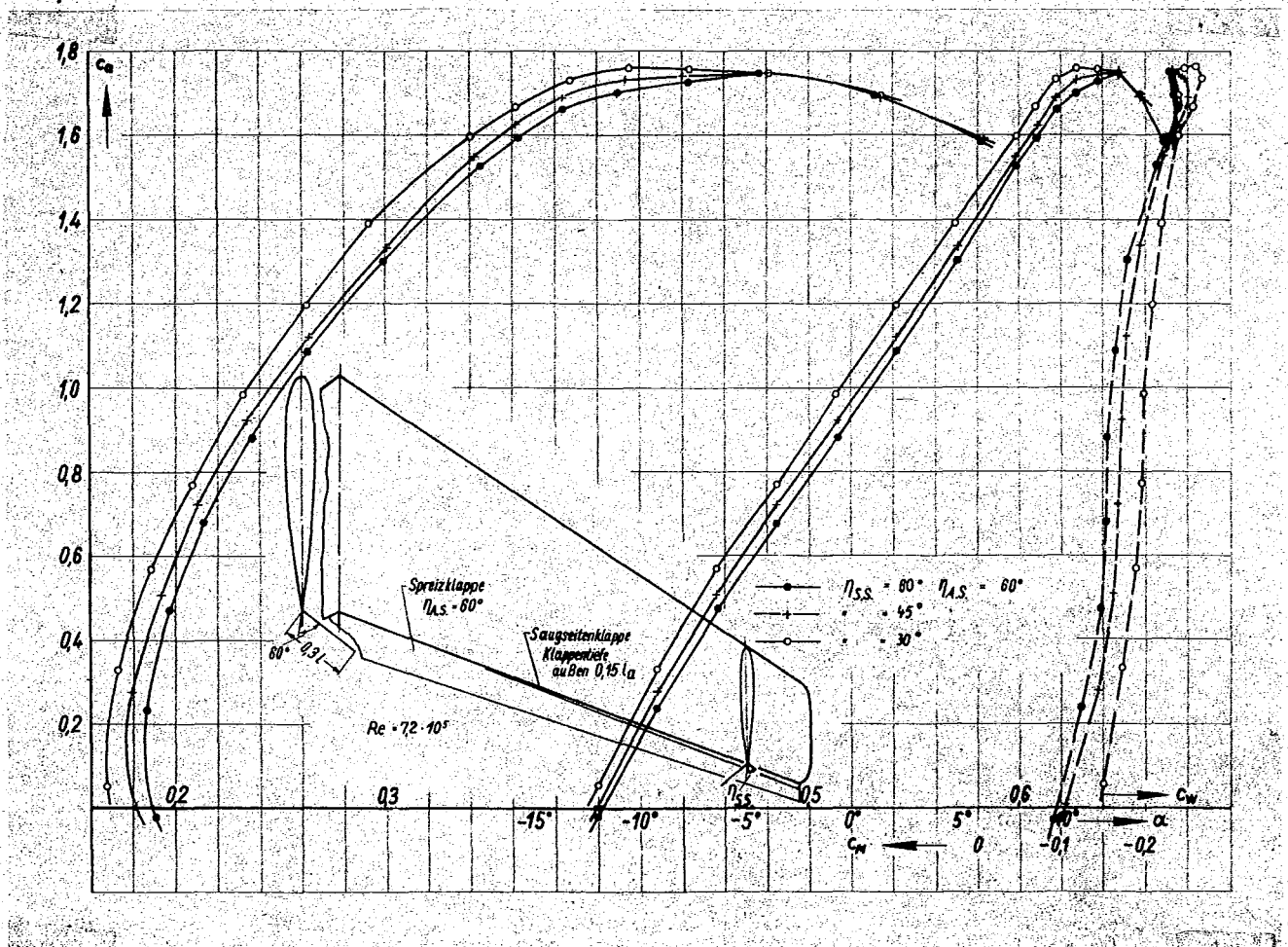


Bild 10: Pfeilflügel mit 0,3 l tiefer Ausfahr-Spreizklappe und Saugseitenklappe

Ferner wurde versucht, das ungünstige Verhalten des Momentes bei Überschreitung des Höchstauftriebes am Pfeilflügel mit Ausfahr-Spreizklappe zu beseitigen oder zu mildern. Zu diesem Zwecke wurde eine weitere Klappe angebracht, die ebenfalls um die Flügelhinterkante als Achse drehbar war und nach der

Saugseite hin ausgeschlagen wurde. Sie wird nachstehend als Saugseitenklappe bezeichnet. Die beabsichtigte Wirkung soll in einer starken, aerodynamischen Verwindung der äußeren Flügelteile bestehen. In Bild 10 zeigen die bei verschiedenen Ausschlägen der Saugseitenklappe und gleichbleibendem Ausschlag der Ausfahr-Spreizklappe vorgenommenen Messungen eine Beeinflussung des Momentverhaltens in der gewünschten Richtung ohne nennenswerte Minderung des Höchstauftriebes, jedoch unter starker Widerstandszunahme.

Um den bisher gebotenen Überblick über einige auftriebssteigernde Hilfsmittel noch etwas zu erweitern, soll eine Messung^{†)} hinzugezogen werden, die an einem Pfeilflügel mit Doppelflügel durchgeführt wurde. Einzelheiten dieses Pfeilflügelmodelles sind aus Bild 11 ersichtlich. Der Doppelflügel kann als ausgefahrene Fowlerklappe aufgefaßt werden, wenn man den unerheblichen Einfluß der Aussparung auf der Flügeldruckseite unberücksichtigt läßt. Die Größe des Klappenausschlages konnte aus konstruktionsbedingtem Grunde nicht über 40° gesteigert werden. Die Lage der Klappen zum Hauptflügel wurde zuvor auf ihren Bestwert untersucht. Diese ergab sich bei Anordnung der Klappennase unmittelbar hinter und dicht unter der Flügelhinterkante. Der mit Vorflügel (0,25 l tief) und Doppelflügel (0,3 l tief) erreichte $c_{a_{max}}$ - Wert ist zwar absolut genommen der bisher höchste am Pfeilflügel, bleibt aber hinter dem in ebener Strömung bei gleichem Flächenaufwand erreichbaren $c_{a_{max}}$ - Wert sehr weit zurück. Der ohne Vorflügel nur mit Doppelflügel erzielte Höchstauftrieb ist bei dem untersuchten Klappenausschlag von 40° etwas größer als der bei den vorher aufgeführten Messungen (Bild 8) mit gleich tiefer Ausfahr-Spreizklappe erreichte Höchstauftrieb.

IV. Zusammenfassung.

Einige Messungen, die an einem Pfeilflügel mit und ohne Spreizklappe mit Vorflügeln verschiedener Grundrißform durchgeführt wurden, zeigen, daß der Vorsprung, den der ungepfeilte Flügel gegenüber dem gepfeilten hinsichtlich des Höchstauftrie-

^{†)} Im Auftrage der Firma Messerschmitt A.G. Augsburg bei der AVA durchgeführte Messung.

bes besitzt, auch nach Hinzutritt eines Vorflügels etwa in gleicher Größe bestehen bleibt. Durch Veränderung der Vorflügelgrundrißform war keine Verbesserung der Vorflügelwirksamkeit, d.h. der auf die Vorflügelfläche bezogenen c_{amax} - Steigerung zu erreichen. Hervorzuheben ist jedoch, daß das bei Überschreiten des Höchstauftriebes auftretende, schwanzlastige Moment durch einen verhältnismaßig kleinen Vorflügel am äußeren Flügelende vermieden werden kann.

Weitere Untersuchungen am gleichen Pfeilflügel mit einer sog. Ausfahr-Spreizklappe führten zu einem befriedigenden Ergebnis. Mit einer 0,3 l tiefen Klappe wurde ein c_{amax} - Wert von 1,78 erreicht.

Ergänzend wird noch über einen Versuch an einem Pfeilflügel mit Doppelflügel berichtet.

Die Untersuchungen sind in mehrfacher Hinsicht noch nicht als abgeschlossen zu betrachten.

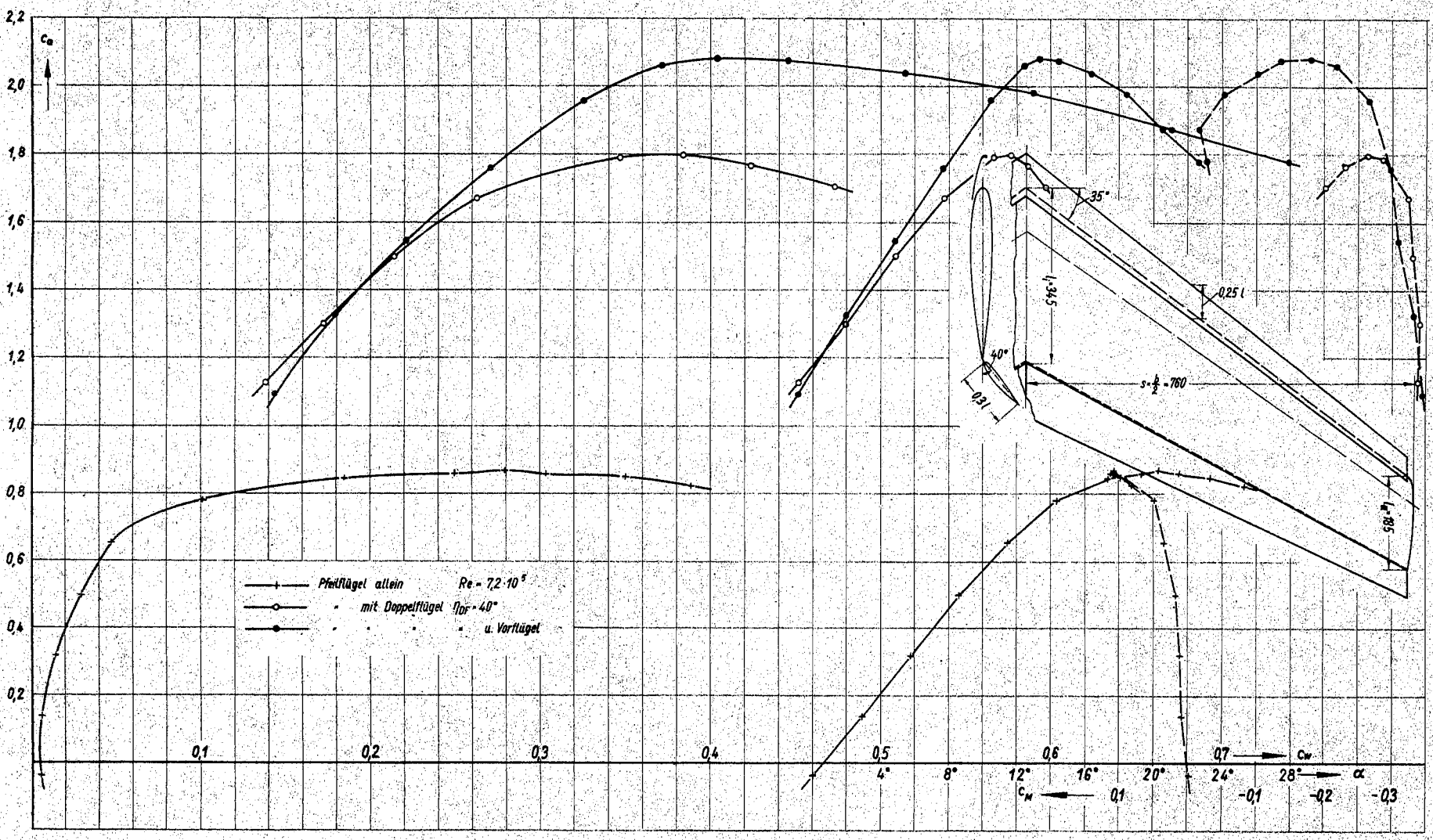


Bild 11: Pfeilflügel mit Doppelflügel (0,3 l tief) und Vorflügel (0,25 l tief)

V. Schrifttum.

- [1] H. Ludwig: Pfeilflügel bei hohen Geschwindigkeiten. Bericht 127 der Lilienthalgesellschaft für Luftfahrtforschung.
- [2] Puffert: 3-Komponenten-Windkanalmessungen an gepfeilten Flügeln und an einem Pfeilflügel-Gesamtmodell. F.B. 1726.
- [3] Luetgebrune: Beiträge zur Pfeilflügeluntersuchung F.B. 1458.
- [4] Hansen: Dreikomponentenmessungen an Pfeilflügeln mit Spreizklappe. F.B. 1626