

Ergebnisse neuerer Messungen mit Segelflugzeugen

von Dipl.-Ing. Hans Zacher, FFM (früher DFS), München

Vortrag am 9. OSTIV-Kongress, Februar 1963, Junin (Argentinien)

I. Einleitung

Das Institut für Segelflug der FFM in München hat in den vergangenen vier Jahren die Flugeigenschaften von rund zwanzig Segelflugzeugen (1) geprüft und die Flugeleistungen von zwölf Segelflugzeugen (2) gemessen. Darüber hinaus wurden auch einige Motorsegler und mehrere Motorflugzeuge (3), die sich zum Teil zum Schleppen eignen, sowie viele spezielle Probleme untersucht.

Im folgenden möchte ich einige Erfahrungen mitteilen, die bei den Untersuchungen gewonnen wurden, und ein paar charakteristische Ergebnisse zeigen, die von allgemeinem Interesse sein dürften.

II. Einige Erfahrungen

1. Geschwindigkeitsmessung bzw. Messung des statischen und des Gesamtdruckes (4).

Bekanntlich ist beim heutigen Stand der Instrumentenfertigung der Anzeigerätefehler fast immer kleiner als der Fehler, der sich aus der Druckentnahme am Flugzeug ergibt. Die heute bei Leistungssegelflugzeugen übliche Methode, den Gesamtdruck einem an der Rumpfspitze befindlichen Rohr und den statischen Druck zwei Bohrungen zu beiden Seiten des Rumpfvorderteils zu entnehmen, hat nach unseren Messungen noch Fehler bis zu $\pm 10\%$ der Geschwindigkeitsanzeige zur Folge. Vom Standpunkt der Flugsicherheit hat das keine Bedeutung, doch verlangt der Leistungsflieger neben einer gemessenen Polare seines Segelflugzeuges auch eine zuverlässige Angabe der wirklichen Geschwindigkeit, damit er mit Optimalwerten fliegen kann. Der Gesamtdruckfehler ist in manchen Geschwindigkeitsbereichen nur dann klein, wenn das Rohr an der Rumpfspitze um einige Millimeter herausragt und so bei wandern dem Staupunkt keine falschen Drucke erhält. Die Fälschung des statischen Druckes in den Bohrungen an den Seitenwänden des Rumpfvorderteils ergibt sich einestils aus dem grossen Druckgradienten (Anströmempfindlichkeit!) und andernteils auch aus der Nähe von Spalten (z. B. an Hauben!), Vorsprüngen und Unstetigkeiten der Oberfläche.

Durch längere Leitungen benachteiligt, aber ziemlich fehlerarm sind Bohrungen für statischen Druck an beiden Rumpfsseitenwänden zwischen Tragwerk und Leitwerk und ein Pitot-Rohr für den Gesamtdruck am Seitenleitwerk. Dadurch wird die Grenzschicht des Rumpfes nicht gestört und vielleicht sogar ein kleiner Leistungsgewinn erzielt. Ein solches Drucknahmesystem sollte deshalb empfohlen werden.

2. Geschwindigkeitspolaren (2)

Es ist bekannt, dass die in Prospekten und auch in der Literatur (5) angegebenen Leistungszahlen und Geschwindigkeitspolaren eher zu günstig liegen. Das gilt, nebenbei bemerkt, nicht nur für Segelflugzeuge. Jeder, der Werkangaben objektiv nachprüft, hat dies schon gefunden. Es ist zweifellos eine Kunst, Prospektwerte so zusammenzufügen, dass sie im einzelnen zwar nicht falsch, im ganzen aber doch sehr günstig dargestellt sind, indem zum Beispiel für einige Werte unterschiedliche Beladezustände, Oberflächengüten und dergleichen vorausgesetzt, aber nicht besonders erwähnt werden. Dr. Raspet (6) hat mehrfach versuchsmässig nachgewiesen, dass die Leistungen gegebener Segelflugzeuge durch nicht einmal allzudeutlich erkennbare Änderungen (Spalte, Welligkeit usw.) wesentlich, manchmal um 25%, verbessert werden können. Unsere Messungen mit zwölf verschiedenen Segelflugzeugen, die teils fabrikneu, teils auch schon mehrere Jahre alt waren, haben uns erkennen lassen, dass die Literaturangaben der Leistungen im allgemeinen eine obere Grenze darstellen, die mit viel Wissen, Arbeit, Sorgfalt und ständiger Pflege erreicht werden kann. Es ist nur in zwei Fällen gelungen, mit unseren Messwerten die angegebene Polare zu erreichen. So merkte man zum Beispiel beim «Bocian», dass die Prospektangaben auf Messungen beruhen und nicht wertetechnisch «berichtigt» wurden. Vergleichsflüge vermessener Segelflugzeuge mit anderen in- und ausländischen Typen sowie die praktischen Erfahrungen einer grossen Zahl befragter Piloten bestätigen das Gesagte. Ich bringe also eigentlich nichts Neues, wenn ich auf Grund unserer Messergebnisse empfehle, für die Planung und Bewertung von Leistungsflügen 5...10% schlechtere Werte als üblich anzunehmen. Selbstverständlich müssen für besonders wellige oder rissige Oberflächen, für Insektenrauhigkeit, für falsche Schwerpunktage und dergleichen weitere Minderungen angesetzt werden.

III. Einzelne Ergebnisse

1. D 34-Messungen

Die D 34 ist eine Eigenkonstruktion der Akaflieg Darmstadt mit 12,65 m Spannweite. Zum gleichen Rumpf, in dem der Pilot übrigens sehr bequem aufrecht sitzt, waren zwei Flügel vorhanden: einer (D 34b) in alter Schaumstoffbauweise, beplankt mit 0,6 mm Sperrholz, das leichte Wellen und im Lack auch Risse zeigte, der andere (D 34d) in der neuen Kunststoffbauweise (7) mit formtreuer und glatter Oberfläche.

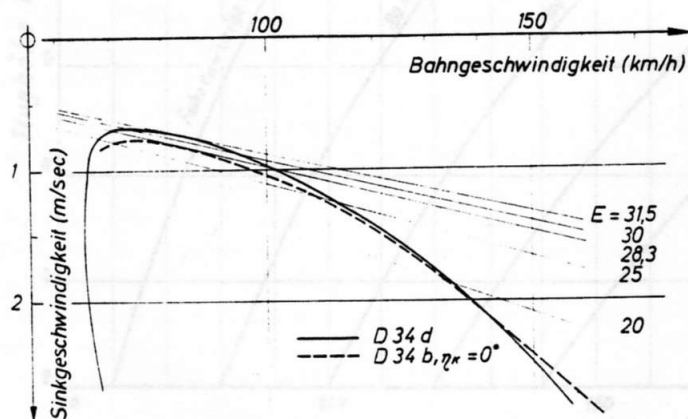


Bild 1: Polaren D 34 d ($G/F = 27,8 \text{ kp/m}^2$); D 34 b ($G/F = 30,0 \text{ kp/m}^2$)

Die Flugmessungen beider Ausführungen ergaben einen um 20% besseren Widerstandsbeiwert (bezogen auf die gespülte Oberfläche). Die einzelnen Werte sind:

	Profil	Spannweite b	Seitenverhältnis A	Flächenbelastung G/F	Beste Gleitzahl E_{best}	minimale Sinkgeschwindigkeit $w_{s, min}$
		m	-	kp/m ²	-	m/s
D 34b	64 ₄ - 621	12,65	20	30	28,3	0,77
D 34d	64 ₄ - 618	12,65	17,5	27,8	31,5	0,69

Das Beispiel der D 34 zeigt (Bild 1) unter anderem folgendes:

a) Der Gewinn an Flugleistung, den man durch einwandfreie Oberfläche erzielen kann, liegt über 10%.

b) In der Literatur (5) findet man meist zu günstige Leistungen. Ich kenne die Entwicklungsgeschichte der D 34 ziemlich genau und weiss, dass in den ersten Veröffentlichungen der Akaflieg Darmstadt (Jahresbericht 1953) eine errechnete Gleitzahl von 30 und ein Sinken von 0,66 m/s angegeben wurde, Werte also, die der gemessenen Wirklichkeit sehr nahe kommen. Nach den ersten Flugerfolgen und Vergleichsflügen mit anderen Segelflugzeugen liess man sich verleiten, nochmals «nachzurechnen» und fand dann mit $E = 36,6$ und $w_s = 0,56$ m/s die wahrscheinlich richtige Relation zu den verglichenen Segelflugzeugen. Diese Episode habe ich deshalb in aller Offenheit geschildert, weil ich damit erreichen möchte, dass einmal möglichst viele Segelflugzeuge nachgemessen werden, und dass zum anderen die Entwurfsingenieure und Hersteller ihre veröffentlichten Werte nochmals überprüfen und sie der Wirklichkeit anpassen. Einige sind schon vorsichtig geworden und sagen beispielsweise:

«Gleitzahl bis zu 36, je nach Oberflächengüte». Ich glaube auch, dass nach Herausgabe des «Guide for Sailplane Designers» genügend allgemein gültige Daten und Rechenunterlagen vorhanden sein werden, um das Bestreben zu unterstützen. Auch kann vielleicht eine gute Ka 6 mit bekannten Leistungen als brauchbares Vergleichsflugzeug dienen.

c) Schliesslich erkennt man die Leistungsgrenzen der 12-13-m-Klasse, die mit normalen Rümpfen bei guten Flugeigenschaften erreichbar sind. Das flache $c_{A, max}$ ergibt hier zwar harmloses Überziehverhalten, es führt aber auch beim unachtsamen Kurvenflug um v_{min} zu hohen Sinkgeschwindigkeiten. - Bei den Deutschen Meisterschaften 1962 hat die D 34d, die wegen der Klappen und des Einziehfahrwerks in der offenen Klasse fliegen musste, mit einem Nachwuchspiloten ohne Wettbewerbserfahrung noch vor Weltklassepiloten den 6. Platz belegt. Sie gibt der OSTIV ein gutes Beispiel für die Schaffung einer Mini-Standard-Klasse.

2. Ka-6-Messungen

Besonderes Interesse finden sicherlich die Leistungsmessungen der Ka 6 CR, die die OSTIV-Trophäe gewann. Ein fabrikneues Normalflugzeug (Ka 6 CR) sowie eines (Ka 6 BR/S) mit dem Profil FX 07-S-181/06-S-137 wurden untersucht. Nun muss gesagt werden, dass es sich nicht um das neueste und beste Segelflugzeugprofil von Dr. Wortmann (8) (9) handelte, dass das Messergebnis aber eines besonderen Effektes wegen hier gezeigt werden soll. Beide Ka 6 waren auf der Oberfläche nicht aussergewöhnlich behandelt; Spalte und Übergänge, insbesondere an der Kabine, waren nicht besonders abgedeckt; der Flugschwerpunkt lag ungefähr in der Mitte des zulässigen Bereiches. Die Geschwindigkeitspolaren haben folgende charakteristischen Werte:

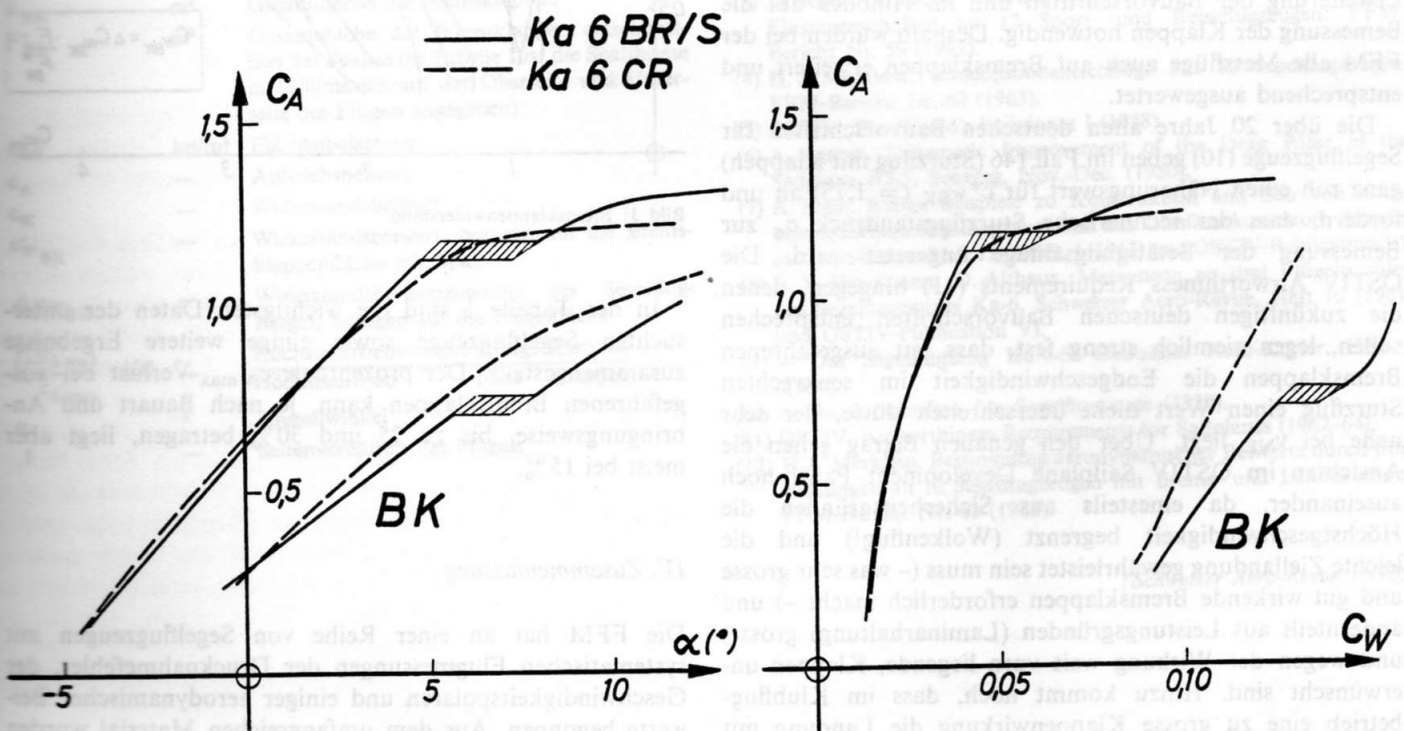


Bild 2: Polaren Ka 6 CR, Profil NACA 63-618/614/Jouk. 12%, und Ka 6 BR/S, Profil F. X. Wortmann 07-S-181/06-S-137

	Flächenbelastung	v_{\min}	w_s min bei v		E_{best} bei v		w_s bei $2v_{\min}$	
	G/F		m/s	km/h	—	km/h	m/s	km/h
	kp/m ²	km/h	m/s	km/h	—	km/h	m/s	km/h
Ka 6 CR	22,2	61	0,68	67	29	78	1,77	122
Ka 6 BR/S...	22,2	59	0,66	63	29	78	1,53	118
Zum Vergleich (nach [5]):								
Ka 6 B	24,2	59,5	0,63	68	31,5	76	1,48	119

Sie liegen ziemlich nahe beisammen und etwas unter den allgemein bekannten Werten. Man kann vermuten, dass diese bei bester Oberfläche, bei verklebten Spalten und bei günstigster Schwerpunktlage gerade erreicht werden.

Das Bild 2 zeigt nun einen Vergleich der beiden Segelflugzeuge im c_A - α - und c_A - c_W -Diagramm, in dem auch die Ergebnisse mit Bremsklappen enthalten sind. In grossen Zügen scheinen beide gleich zu sein, mit einem etwas höheren $c_{A \max}$ beim FX-Profil (8). Nun wird aber im Bereich $c_A = 1,2$ sowohl im c_W als auch im α ein Sprung erkennbar, den einwandfrei zu erklären uns nicht gelungen ist. Er tritt auch bei Bremsklappen ($c_A \approx 0,7$) auf. Mir kommt es hier darauf an, den Effekt zu zeigen, der im Fluge von keinem Piloten bemerkt worden war, bei den Messungen aber deutlich hervortrat. Er wirkt sich vielleicht auf die Leistungen im Kurvenflug aus.

3. Bremsklappen-Messungen

Über die Wirkung der Bremsklappen, insbesondere über ihre Zusatzwiderstände und Auftriebsminderung am Flügel, gibt es nur sehr wenige Windkanaluntersuchungen und keine systematischen Flugmessungen. In diese Fragenbereiche mehr Licht zu bringen, ist aus Gründen der Erneuerung und Erweiterung der Bauvorschriften und im Hinblick auf die Bemessung der Klappen notwendig. Deshalb wurden bei der FFM alle Messflüge auch auf Bremsklappen erweitert und entsprechend ausgewertet.

Die über 20 Jahre alten deutschen Bauvorschriften für Segelflugzeuge (10) geben im Fall 146 (Sturzflug mit Klappen) ganz roh einen Näherungswert für c^*_{wBK} ($= 1,75$) an und fordern, dass der rechnerische Sturzflugstaudruck q_c zur Bemessung der Betätigungsanlage angesetzt wird. Die OSTIV Airworthiness Requirements (11) hingegen, denen die zukünftigen deutschen Bauvorschriften entsprechen sollen, legen ziemlich streng fest, dass mit ausgefahrenen Bremsklappen die Endgeschwindigkeit im senkrechten Sturzflug einen Wert nicht überschreiten dürfe, der sehr nahe bei v_{NE} liegt. Über den genauen Betrag gehen die Ansichten im OSTIV Sailplane Development Panel noch auseinander, da einesteils aus Sicherheitsgründen die Höchstgeschwindigkeit begrenzt (Wolkenflug!) und die leichte Ziellandung gewährleistet sein muss (– was sehr grosse und gut wirkende Bremsklappen erforderlich macht –) und andernteils aus Leistungsgründen (Laminarhaltung) grosse, und wegen der Wirkung weit vorn liegende, Klappen unerwünscht sind. Hinzu kommt noch, dass im Klubflugbetrieb eine zu grosse Klappenwirkung die Landung mit ihren hohen Sink- und Aufsetzgeschwindigkeiten auch nicht sicherer macht. Die Fragen sollen hier nicht beantwortet

werden; sie sollen nur auf die Themen hinweisen, die behandelt und mit gemessenen Unterlagen versehen sein müssen.

Das Bild 3 zeigt den Verlauf des Widerstandsbeiwertes c^*_{wBK} der Bremsklappen, bezogen auf ihre Fläche einschliesslich des etwa vorhandenen Spaltes. c^*_{wBK} wurde ermittelt aus der Widerstandsänderung des Segelflugzeuges infolge Bremsklappen (Δc_{wBK}) multipliziert mit dem Verhältnis der Flügelfläche zur Bremsklappenfläche. Aus dem Verlauf der Kurven lassen sich Anhaltspunkte für die Gleitwinkelsteuerung beim Landeanflug und für die Landestossgeschwindigkeit gewinnen. Durch Extrapolation der Kurven auf $c_A = 0$ erhält man dort ein $c^*_{wBK} = 1,5 \pm 0,5$ für den Sturzflug.

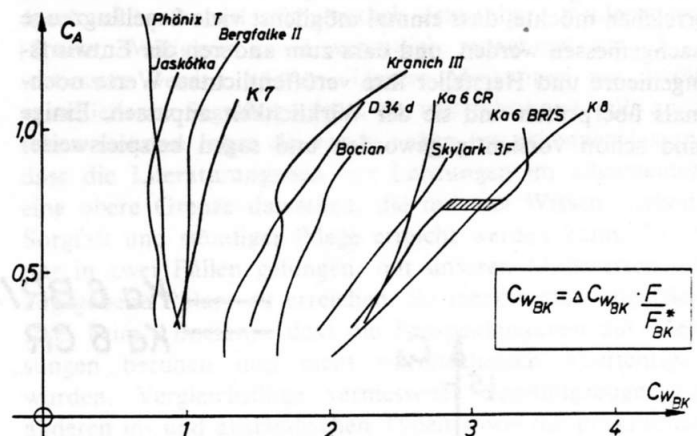


Bild 3: Bremsklappenwiderstand

In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Daten der untersuchten Segelflugzeuge sowie einige weitere Ergebnisse zusammengestellt. Der prozentuale $c_{A \max}$ -Verlust bei ausgefahrenen Bremsklappen kann, je nach Bauart und Anbringungsweise, bis zu 25 und 30% betragen, liegt aber meist bei 15%.

IV. Zusammenfassung

Die FFM hat an einer Reihe von Segelflugzeugen mit systematischen Flugmessungen der Drucknahmefehler, der Geschwindigkeitspolaren und einiger aerodynamischer Beiwerte begonnen. Aus dem umfangreichen Material wurden einige Ergebnisse ausgewählt. Es ist noch vieles auszuwerten und durch weitere Messungen zu ergänzen.

Nr.	Flugzeugtyp	b m	F m ²	λ -	F_{BK}^* m ²	$\frac{F_{BK}^*}{F}$ %	Spalt mm	$\frac{\Delta C_{A \max}}{C_{A \max}}$ %	$C_{w_{BK}}^*$ bei $C_A = 0,3 \frac{1}{2} C_{A \max}$	
1	Bergfalke II	16,6	17,7	15,6	0,94	5,3	90 75	- 6	0,98	1,02
2	K 7	16,0	17,5	14,6	0,60	3,4	0 0	(- 15)	0,92	1,06
3	Kranich III	18,0	21,1	15,6	0,77	3,7	61 0	- 4	1,44	1,66
4	Bocian	18,1	20,0	16,2	0,64	3,5	0 0	(- 31)	1,65	1,91
5	K 8	15,0	14,1	15,9	0,45	3,2	20 20	- 14	2,24	3,10
6	Ka 6 CR	15,0	12,4	18,1	0,40	3,2	10 10	- 13	2,23	2,53
7	Ka 6 BR/S	15,0	12,4	18,1	0,46	3,7	23 23	- 25	2,15	2,67
8	D 34d	12,7	9,2	17,5	0,38	4,1	12 17	- 16	1,26	1,63
9	Skylark 3 F	18,2	16,1	20,5	0,55	3,4	20 20	- 20	1,93	2,41
10	Jaskólka	16,0	13,6	18,8	0,98	7,2	41 50	- 13	0,80	0,74

Benutzte Formelzeichen

b	m	Spannweite
E	—	Gleitzahl
F	m ²	Flügelfläche
F_{BK}	m ²	Gesamtfläche der Bremsklappen
F_{BK}^*	m ²	Gesamtfläche der Bremsklappen, einschliesslich des Spaltes (in Tabelle 1 ist die Spaltbreite in Millimetern auf der Oberseite und Unterseite des Flügels angegeben)
G/F	kp/m ²	Flächenbelastung
c_A	—	Auftriebsbeiwert
c_w	—	Widerstandsbeiwert
$c_{w_{BK}}^*$	—	Widerstandsbeiwert, bezogen auf die Bremsklappenfläche mit Spalt
$\Delta c_{w_{BK}}^*$	—	Widerstandsbeiwertzuwachs des Segelflugzeuges, bezogen auf die Flügelfläche
$\frac{\Delta C_{A \max}}{C_{A \max}} \cdot 100$	%	Höchstauftriebsverlust infolge Klappen Höchstauftrieb ohne Klappen
α	°	Anstellwinkel
λ	—	Seitenverhältnis des Flügels

Schrifttum

- (1) H. Zacher, Flugeigenschaftenuntersuchungen an 14 Segelflugzeugen FFM-Bericht Nr. 40 (1960).
- (2) H. J. Merklein, H. Zacher, Flugleistungsmessungen an 12 Segelflugzeugen. Deutscher Aero-Kurier, Heft 12 (1963) und 1 (1964).
- (3) M. Rade, H. Zacher, Prüfung des Überziehverhaltens und anderer Flugeigenschaften an 12 Sport- und Reiseflugzeugen. FFM Bericht Nr. 59 (1963).
- (4) H. J. Merklein, Schleppsondeneichflüge mit 12 Segelflugzeugen. FFM-Bericht Nr. 60 (1963).
- (5) OSTIV, The World's Sailplanes I (1958).
- (6) A. Raspet, Systematic Improvement of the Drag Polar of the Sailplane RJ-5. Soaring, Nov.-Dec. (1950).
- (7) A. Puck, Einige Beispiele zu Konstruktion und Bau von hochbeanspruchten Segelflugzeugteilen aus Glasfaserkunststoff. Schweizer Aero-Revue-Heft 12 (1962), 1 (1963) und OSTIV-Publication VI.
- (8) F. X. Wortmann, D. Althaus, Messungen an drei Flügelprofilen des Segelflugzeuges Ka-6. Schweizer Aero-Revue, Heft 10 (1961) und OSTIV-Publication VI.
- (9) — Das Segelflugzeug Ka 6-S. Deutscher Aero-Kurier, Heft 2 (1964).
- (10) — Bauvorschriften für Segelflugzeuge (1939).
- (11) OSTIV, Airworthiness Requirements for Sailplanes (1962-64).
- (12) H. J. Merklein, Bestimmung aerodynamischer Beiwerte durch Flugmessungen an 12 Segelflugzeugen mit Brems- und Landeklappen FFM-Bericht Nr. 63 (1963).

(Schweizer Aero-Revue 1/1965)