

TRAGFLÄCHENENTWURF FÜR EINE WEITERENTWICKLUNG DES SEGELKUNSTFLUGZEUGS SWIFT S-1

T. Hertrampf

Institut für Strömungslehre – Fakultät für Maschinenbau
Universität Karlsruhe (TH)



BILD 1. Swift S-1 [5]

1. EINLEITUNG UND MOTIVATION

Der Weltmeister im Segelkunstflug E. Müller beschreibt den Kunstflug als „bewusste Sicherheit in allen Fluglagen und allen Flugsituationen“ [1]. Damit trifft er die Thematik des Kunstfluges gut. Es geht nicht alleine darum, mit dem Flugzeug zu spielen oder schöne Figuren an den Himmel zu zaubern, sondern das Flugzeug in allen Fluglagen zu beherrschen.

Einen ersten Eindruck gewinnen Flugschüler davon bei der Gefahreneinweisung im Doppelsitzer mit dem Fluglehrer oder als Passagier während eines Turnprogramms. Der professionelle Kunstflug stellt hohe Anforderungen an die Steuerbarkeit sowie die Belastbarkeit der Segelkunstflugzeuge. Damit reduziert sich die Anzahl der zur Verfügung stehenden Flugzeuge schnell. Bei den Doppelsitzern steht der Fox an erster Stelle, der als einziger Doppelsitzer für gerissene und gestoßene Figuren auch doppelsitzig zugelassen ist. Die Einsitzer werden dominiert vom Swift S-1.

Die Segelflugzeughersteller haben in den letzten Jahren und Jahrzehnten dem kleinen Markt der Segelflugzeuge wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Für eine Gruppe von Studenten, wie der Akaflieg Karlsruhe bietet es sich daher an, in diesem Bereich eigenen Visionen und Ideen nachzugehen.

Viele Einsitzer und Doppelsitzer sind für Kunstflugfiguren zugelassen, aber für die Ausübung des uneingeschränkten Kunstfluges in Wettbewerben stehen nur wenige Flugzeuge zur Verfügung. Um die geforderten Figuren in einer Box fliegen zu können, wird eine gute Steuerbarkeit bei guten Gleitflugeleistungen gefordert. Dominiert werden die Wettbewerbe vom Swift S-1, doch selbst dieses Flugzeug lässt Wünsche offen die sich in den folgenden Punkten zusammenfassen lassen:

- die Rollwendigkeit zu steigern,
- den Auftriebsbeiwertes im Rückenflug zu erhöhen sowie
- die Start- und Landegeschwindigkeit zu senken.

Dabei sollen die guten Eigenschaften wie

- die niedrigen Handkräfte beim Steuern und
- die steife Steuerung

unverändert bleiben.

Die Grundlage des Tragflächenentwurfs für eine Weiterentwicklung des Segelkunstflugzeuges Swift S-1 bildet eine Umfrage unter Segelkunstflugpiloten und Punktrichtern sowie die Auswertung von Berichten aus der Flugerprobung der Mü28 und weiterer Kunstflugzeuge.

2. BESCHREIBUNG DES SWIFT S-1

Der Swift S-1 ist aus dem Projekt Acrobat hervorgegangen, in dem die polnische Firma Marganski Flugzeugbau einen Nachfolger für den erfolgreichen Kobuz-3 entwickelt hat. Diesem war die Verkehrszulassung nach einem tragischen Unfall bei der Kunstflugweltmeisterschaft 1989 in Hockenheim entzogen worden. Für den Acrobat ist die Geometrie vom Kobuz-3 übernommen und die Holzstruktur gegen eine aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) ersetzt worden [2].

2.1 Das Profil und die Tragflächenkontur

Das Profil der Tragfläche des Swift S-1 ist das NACA 64,412. Es ist ein nicht symmetrisches Profil mit einer relativen Profildicke von 12 %. Die Profilkontur ist in BILD 2 gezeigt.

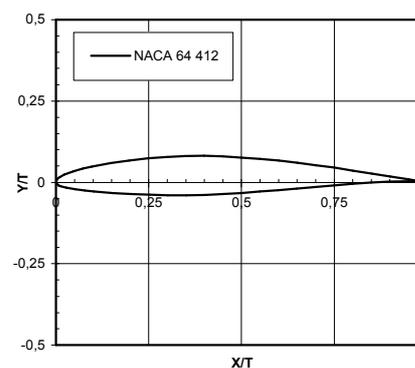


BILD 2. Profil des Swift S-1 NACA 64 412

Die Geschwindigkeitsverteilung über das Profil in BILD 3 zeigt eine gut ausgeprägte Saugspitze im vorderen Teil, die ein zügiges Abreißen für gerissene und gestoßene Figuren verspricht [3].

Der Grundriss der Tragfläche geht aus der Dreiseitenansicht in BILD 4 hervor [4]. Es handelt sich um ein einfaches Trapez mit einer gerade über die gesamte Spannweite durchgängigen Nase. Die Tragflächentiefe

beträgt an der Wurzelrippe 1,308 m und an den Flügelenden 0,507 m.

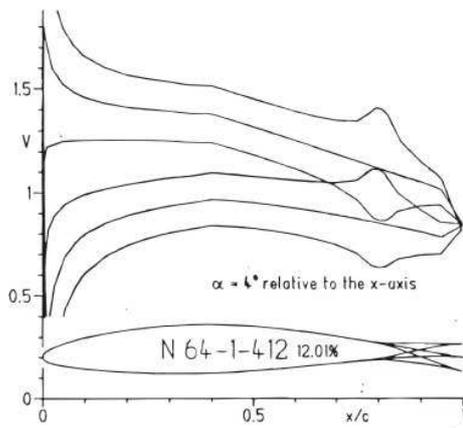


BILD 3. Geschwindigkeitsverteilung für eine Reynoldszahl von $1 \cdot 10^6$

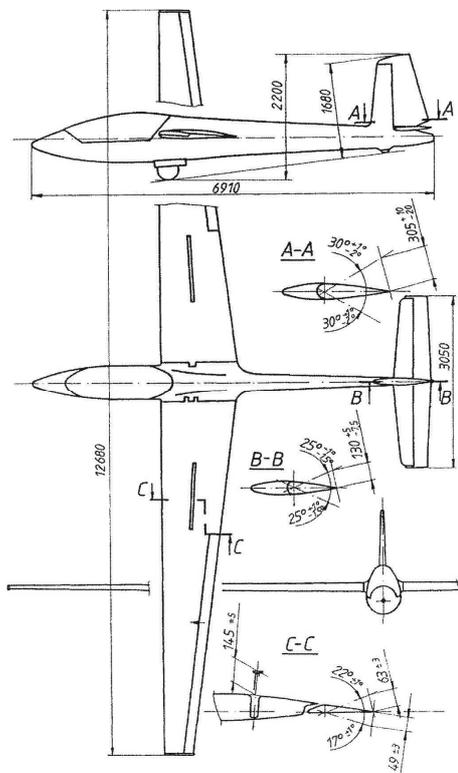


BILD 4. Dreiseitenansicht des Swift S-1

Die Tragflächen besitzen keine V-Form. Mit Beginn des Querruders sind sie 2° negativ angestellt um eine ausreichende Querruderwirkung bei Start und Landung zu garantieren.

2.2 Die Querruder

Die Querruder werden durchströmt und verfügen über einen aerodynamischen Ausgleich, die so genannte Friese Nase. Die Lagerachse liegt auf der Tragflächenunterseite und bei Ruderausschlägen nach oben, das heißt negativ, ragt die Friese Nase in die Strömung auf der Unterseite hinein und kompensiert damit einen Teil der für die

Ruderbetätigung benötigten Steuerkraft. Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion ist, dass das negative Wendemoment¹ zu einem Großteil kompensiert wird.

3. KUNSTFLUGZEUGE

Auf dem Segelflugzeugmarkt finden sich wenige Flugzeuge, die direkt für den Kunstflug optimiert wurden. Viele von ihnen sind für die Halbacro, also für einen Teil der Kunstflugfiguren zugelassen. Im Folgenden werden einige für die Vollacro zugelassene Segelkunstflugzeuge vorgestellt.

3.1 Einsitzer

3.1.1 Celair GA01 Celstar



BILD 5. Celair GA01 Celstar [5]

Der Celstar ist eine Konstruktion, die sich an den Motorkunstflugzeugen orientiert. Das symmetrische Profil hat über die gesamte Spannweite 25 % tiefe Querruder. Das Ergebnis ist ein Flugzeug mit maximaler Wendigkeit, aber schlechten Gleitflugeleistungen. Gebaut wurden gerade drei Flugzeuge.

3.1.2 Kobuz 3



BILD 6. Kobuz 3 [5]

Der Kobuz 3 wurde ab 1964 in geringer Stückzahl gebaut und flog erfolgreich auf nationalen und internationalen Wettbewerben. Nach dem tragischen Unfall 1989 auf der Weltmeisterschaft in Hockenheim ist ihm die Verkehrszulassung entzogen worden. Die Geometrie der

¹ Als negatives Wendemoment wird das Bestreben der Flugzeugnase bezeichnet, sich aus der Kurve heraus zu drehen.

Tragfläche und Leitwerke sowie die Profile sind für den Swift S-1 im Projekt Acrobat übernommen worden.

3.1.3 Mü28



BILD 7. Mü28 [5]

Die Mü28 ist ein Kunstflugzeug der Akaflieg München und 1983 zu ihrem Erstflug gestartet. Sie verfügt über eine patentierte Wölbklappenautomatik. Diese betätigt die Wölbklappen abhängig von der Flugzeugbeschleunigung senkrecht zur Flugbahn. Als Tragflächenprofil kommt das symmetrische Wortmann Profil FX71-L-150/20 mit 15 % Dicke zum Einsatz. Die Mü28 ist für Belastungen bis zu +10/-10 g und einer maximalen Geschwindigkeit von 380 km/h ausgelegt [6].

3.1.4 SZD-59 Acro



BILD 8. SZD-59 Acro [5]

Die SZD-59 Acro ist aus dem Standard Jantar SZD-48-3 entwickelt worden. Sie verfügt über gute Kunstflugeigenschaften und lässt sich durch das Anstecken der Außenflügel schnell von einem Kunstflugzeug mit 13,2 m Spannweite in ein Streckensegelflugzeug mit 15 m Spannweite verwandeln.

3.2 Doppelsitzer

Bei Doppelsitzern, die sowohl für den Schulbetrieb als auch für den Kunstflug eingesetzt werden, sind Kompromisse bei den Flugeigenschaften unumgänglich. Für den Schulbetrieb wird ein harmloses Überziehen

gefordert, während sich die Kunstflugpiloten einen definierten und scharfen Abriss der Strömung wünschen, um gerissene und gestoßene Figuren fliegen zu können. Eine Ausnahme bildet hier der MDM-1 Fox, der für den Kunstflugeinsatz ausgelegt wurde.

3.2.1 MDM-1 Fox



BILD 9. Fox [5]

Der Fox ist als doppelsitzige Variante aus dem Swift S-1 entwickelt worden und startete 1993 zum Erstflug. Der Fox war lange Zeit das einzige Segelflugzeug, in dem auch doppelsitzig gerissene und gestoßene Figuren geflogen werden durften. Da die Flügelfläche kaum größer ist als beim Swift S-1 fliegt der Fox mit einer deutlich höheren Flächenbelastung mit bis zu 43 daN/m².

3.3 Erfahrung aus der Flugerprobung, dem Alltagsbetrieb und Wettbewerb

Da es bisher keine Zusammenstellung der geforderten Eigenschaften für ein Segelkunstflugzeug gibt, galt es diese Lücke zu schließen. Erste Anhaltspunkte lieferte die Auswertung von Flugerprobungsberichten der Mü28 der Akaflieg München. Um die Tragfläche für den Swift S-1 weiter entwickeln zu können, war eine möglichst objektive Beurteilung der aktuellen Konfiguration erforderlich. Dazu führte der Autor eine Umfrage unter Segelkunstflugpiloten und Punktrichtern durch, die sich gezielt mit der Veränderung der Tragfläche beschäftigte. Ergebnisse aus dieser Recherche werden im Abschnitt „4.3 Zusammenstellung für weitere Arbeiten“ zusammengefasst.

4. ANFORDERUNGEN AN DIE NEUE TRAGFLÄCHE

4.1 Das Profil der Tragfläche

Gefordert wird von einem Tragflächenprofil einen hohen Auftrieb zu liefern und dabei wenig Widerstand zu verursachen. Der Kunstflug fordert des weiteren ein symmetrisches Verhalten im Normal- und Rückenflug bei nicht zu gutmütigen Überzieheigenschaften.

Diese Forderungen sind teilweise voneinander abhängig und so ist es erforderlich sie mit den gegenseitigen Wechselwirkungen zu betrachten. Im Folgenden wird ein Überblick über den Einsatzbereich des Profils, den Profilwiderstand und den induzierten Widerstand gegeben.

4.1.1 Der Einsatzbereich des Profils

Um ein Profil auszuwählen, müssen vorher die Anforderungen festgelegt werden. Für die bestehende Tragfläche wird der Geschwindigkeits v -, der Auftriebsbeiwerts c_a - und der Reynoldszahl Re -Bereich analysiert.

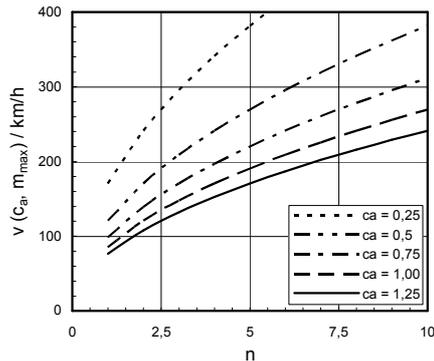


BILD 10. Geschwindigkeit v abhängig vom Auftriebsbeiwert c_a , der maximalen Masse m_{max} und dem Lastvielfachen n .

Beschleunigungen in einem Flugzeug können nur soweit auftreten, wie die Tragfläche in der Lage ist Auftrieb zu erzeugen. Daraus ergibt sich der folgende Zusammenhang für die Auftriebskraft [6]

$$(1) F_a = n m g = \frac{\rho}{2} v^2 c_a A_F$$

und umgestellt für die Geschwindigkeit

$$(2) v = \sqrt{\frac{2 n m g}{\rho c_a A_F}}$$

In einem für den Kunstflug interessanten Geschwindigkeitsbereich von 150 km/h bis 240 km/h und auftretenden Abfangbelastungen von 4 bis 6 g muss die Tragfläche Auftriebsbeiwerte von 0,5 bis 1,25 liefern, wie aus dem Diagramm in BILD 10 zu entnehmen ist. Ein Profil, dass bei diesen Auftriebsbeiwerten schon aus dem Bereich der Laminardelle fällt hat einen deutlichen Anstieg des Profilwiderstandes zur Folge.

Die Reynoldszahl

$$(3) Re = \frac{v l}{\nu}$$

aus der Geschwindigkeit v , der örtlichen Profiltiefe l und der kinematischen Zähigkeit der Luft ν beginnt für den betrachteten Geschwindigkeitsbereich bei $1,2 \cdot 10^6$ am Außenflügel und bei $3 \cdot 10^6$ am Innenflügel.

4.1.2 Der Induzierter Widerstand

Der induzierte Widerstand

$$(4) c_{w,i} = k \frac{c_a^2}{\pi \Lambda} \quad \text{mit} \quad 1,02 \leq k \leq 1,04$$

hängt quadratisch vom Auftriebsbeiwert c_a ab [7]. Für ein Streckensegelflugzeug werden die maximalen

Auftriebsbeiwerte vor allem im Langsamflug beim Kurbeln für Lastvielfache $n = 1$ erreicht. Treten höhere Lastvielfache auf, verschiebt sich der Grenzbereich in dem die Tragfläche noch ausreichend Auftrieb erzeugen kann zu immer höheren Geschwindigkeiten. Damit bleibt auch der Anteil des induzierten Widerstandes hoch, wie aus dem Diagramm in BILD 11 zu ersehen ist.

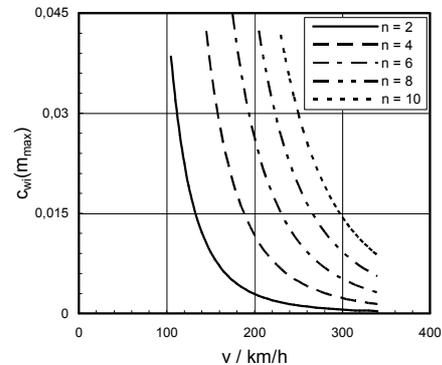


BILD 11. $c_{w,i}$ für m_{max}

Wird versucht, den induzierten Widerstand klein zu halten, bleibt nach Gleichung (4) nur die Streckung Λ groß zu wählen. Diese berechnet sich aus dem Quadrat der Spannweite dividiert durch die Flügelfläche A_F . Eine große Spannweite wird aufgrund der Wendigkeit bei Segelkunstflugzeugen vermieden. So ist das Ziel durch Leichtbau mit einer minimalen Flügelfläche auszu kommen.

4.2 Grundriss der Tragfläche

In BILD 12 sind die Tragflächengeometrien von vier einsitzigen Segelkunstflugzeugen gezeigt.

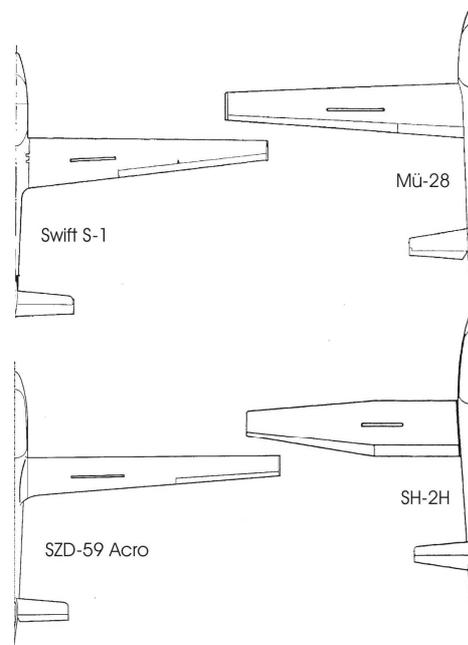


BILD 12. Vergleich von vier Tragflächengeometrien

Von den abgebildeten Flugzeugen spricht die SH-2H am besten auf Ruderausschläge um die Längsachse an. Mögliche Gründe sind die leichten Tragflächen und der rechteckige Innenflügel mit dem stark zugespitzten Außenflügel.

Der Swift S-1 verfügt als einziges der hier abgebildeten Muster über Querruder mit konstanter Tiefe. Diese führt zu einer prozentualen Zunahme der Querrudertiefe mit der Spannweite.

	A_F	b_F	Λ	E
Mü-28	13,20 m ²	12,00 m	10,9	27
Swift S-1	11,82 m ²	12,68 m	14,3	30
SH-2H	11,40 m ²	10,40 m	9,49	26
SZD-59 Acro	9,80 m ²	13,20 m	17,8	36

TAB 1. Flügelfläche A_F , Spannweite b_F , Streckung Λ und Gleitzahl E

Aus TAB 1 geht hervor, dass die SZD-59 Acro neben der geringsten Flügelfläche über die beste Gleitzahl verfügt.

4.3 Zusammenstellung der Anforderungen für weitere Arbeiten

In diesem Abschnitt werden die Daten und Meinungen zu einem Anforderungskatalog für den Tragflächenentwurf des Swift S-1 zusammengestellt.

Allgemeine Forderungen sind:

- geringes Gewicht,
- Flächenbelastung von 32 bis 34 daN/m² sowie
- dass Rumpfnase – Tragfläche – Höhenleitwerk eine Linie bilden.

4.3.1 Anforderungen an die Tragfläche:

- Die Spannweite ist nicht entscheidend zu verändern.
- Die Flügelfläche ist bei den geforderten Flächenbelastungen so klein wie möglich zu halten.
- Die Vorderkante der Tragfläche ist wie beim Swift S-1 gerade und ungefeilt beizubehalten.
- Der Swift S-1 verfügt über gute Überzieheigenschaften für den Kunstflug. Daher wird empfohlen die Zuspitzung zu übernehmen, bis klar ist aus welchem Grund die SH-2H ein besseres Ansprechverhalten um die Längsachse hat als die Mü28 und der Swift S-1.
- Eine V-Stellung der Tragflächen wird aus Symmetriegründen für den Rückenflug nicht empfohlen.
- Die Tragflächenenden mit dem geraden Abschluss des Swift S-1 sollten beibehalten werden.

4.3.2 Anforderungen an Querruder und Wölbklappen:

- Querruder mit konstanter Tiefe haben den prozentual höchsten Querruderanteil im Bereich der besten Wirksamkeit.
- Wölbklappen sollten wenn überhaupt nur für Start und Landung zum Einsatz kommen. Von der Automatik der Mü-28 wird im Rahmen dieses Projektes abgeraten.
- Kommt eine Wölbklappe zum Einsatz, ist der aerodynamische Ruderausgleich, wie er bisher am Swift S-1 zum Einsatz kommt, durch einen Ausgleich zu ersetzen oder eine Möglichkeit zu finden Wölbklappe und Querruder mit Friese Nase zu kombinieren.

4.3.3 Anforderungen an die Bremsklappen:

- Es wird empfohlen die Konstruktion der Bremsklappen zu übernehmen, da sie bisher nicht zu beanstanden war.

4.3.4 Anforderung an die Steuerung:

- Es sind große Wege in der ganzen Anlenkung zu bevorzugen, um eine steife Steuerung zu erreichen.
- Werden automatische Ruderanschlüsse gewählt, ist auf eine ausreichende Steifigkeit zu achten.

4.3.5 Anforderung an das Tragflächenprofil:

- Reißen und Stoßen sollte möglich sein.
- Es ist auf gute Gleitflugeigenschaften und einen
- ausreichenden maximalen Auftriebsbeiwert in Normalflug- und Rückenfluglage zu achten.

4.3.6 Anforderungen an den Rumpf:

- Der Tragflächen-Rumpf-Übergang ist entsprechend der neuen Tragfläche anzupassen.
- Wird für die neue Tragfläche ein Rumpf gebaut, wird empfohlen die Holmbrücke gegen eine gewöhnliche Zunge-Gabel-Verbindung zu ersetzen und ein zweites Querkraftrohr vorn einzuziehen.

4.3.7 Anforderungen an die Leitwerke:

- Die Leitwerke sollten aerodynamisch unverändert übernommen werden.

4.3.8 Die Massen

Das größte Potential für eine leichtere Konstruktion liegt im Umstieg von GFK auf kohlefaserverstärkten Kunststoff (CFK). Des weiteren im Umbau der massiven Holmbrücke im Rumpf in eine Zunge-Gabel-Verbindung der beiden Tragflächen.

4.3.9 Das Profil

Aus der Flugerprobung der Mü28 ist bekannt, dass das FX71-L-150/20 zu harmlose Überzieheigenschaften hat.

Gute Eigenschaften im instationären Bereich zeigt das Profil der Lo100 Clark y. Daher scheint es lohnenswert dieses mit dem bisher eingesetzten Profil NACA64,412 zu vergleichen.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit dem Ziel die Rollwendigkeit zu steigern und den Auftrieb im Rückenflug zu erhöhen war die Richtung zu einem neuen Profil und einer neuen Tragflächengeometrie vorgegeben.

Mangelnde Unterlagen für die Auslegung und den Entwurf von Segelkunstflugzeugen ließen die Arbeit vorübergehend ins Stocken geraten. Es fiel der Entschluss diese Lücke zu schließen und selbst die Informationen zusammenzutragen. Denn ohne eine fundierte Grundlage ist es nicht möglich den Swift S-1 deutlich zu verbessern. Zumal es sich bei dem zur Zeit erfolgreichsten Segelkunstflugzeug um eine erprobte Geometrie handelt, die vom Vorgänger, dem Kobuz 3 kaum verändert übernommen wurde.

In der Arbeit werden die wichtigsten Segelkunstflugzeuge beschrieben und die Anforderungen zusammengestellt, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

Wird dieses Projekt von der Akaflieg Karlsruhe oder einer anderen Gruppe aufgegriffen können mit Hilfe dieser Arbeit die weiteren Themen bearbeitet werden:

- Profilentwurf und Vermessung im Windkanal,
- Abschätzung der Massen,
- Festlegen der Flügelgeometrie,
- Berechnen der Lastannahmen sowie
- Dimensionieren der Struktur.

6. LITERATUR

- [1] 1 x 1 des Segelkunstfluges (2001)
SAGA – Swiss Aerobatic Gliding Association
- [2] Krawewic, K.:
Akrobat 0 / Swift Segelkunstflugzeug aus Polen
Idaflieg Berichtsheft XVII (1991)
- [3] Dibon, M.:
Profilauslegung für ein Segelkunstflugzeug
Idaflieg Berichtsheft XVII (1991)
- [4] Marganski, E.:
Flughandbuch für das Segelflugzeug Swift S-1
(2003 – Ausgabe III)
- [5] Beschreibung von Segelflugzeugen
SAGA - Swiss Aerobatic Gliding Association
- [6] Schlichting, H.; Truckenbrodt, E.:
Aerodynamik des Flugzeuges (Zweiter Band)
Springer-Verlag, 1967
- [7] Autorenkollektiv
Skript zum Konstruktionsseminar 2000
Interessensgemeinschaft Deutscher
Akademischer Fliegergruppen e. V., 2000
- [8] Just, W.:
Steuerung und Stabilität von Flugzeugen
Verlag Flugtechnik Stuttgart, 1965