

Gerhard Wöbbeking

F1E – Segelflugmodelle mit automatischer Steuerung

A. Die Aerodynamik

I. Sinken oder Gleiten?

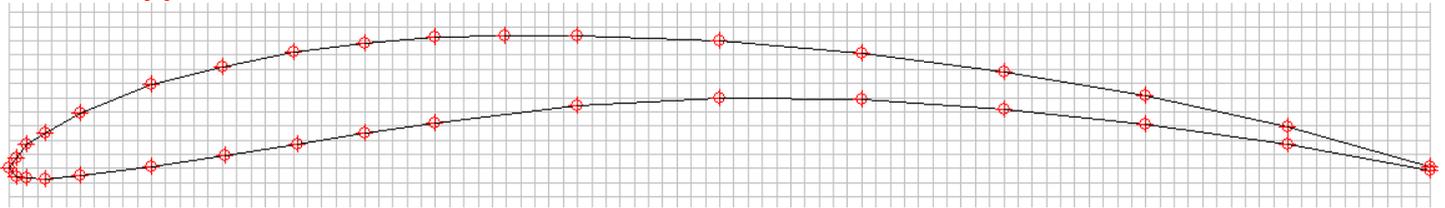
Seit den frühen 50er Jahren gab es bis ins Jahr 2008 keine offene Diskussion, wie Tragflügelprofile für das beste Gleiten von frei fliegenden Modellseglern aussehen. Erich Jedelsky stellte in „Der Modellflug“ - 1954 von Alfred Gymnich herausgegeben - die systematischen Versuche vor, die er in Österreich initiiert hatte. Er begründet diese Versuche mit der Abkehr vom Hangfliegen hin zum Hochstart: „Hier war die Sinkgeschwindigkeit das A und das O.“ Die Profilformen, die er fand, sind im Prinzip heute so gültig wie vor 65 Jahren, und sie werden es auch bleiben. Die Ergebnisse – neben den weniger populären Untersuchungen von Max Hacklinger – sind Basis auch für die F1A-Profile von Gerry Ritz, Andres Lepp und Sergeij Makarov, die modernen F1A (Hochstartsegler von 410 g) fabelhaft geringe Sinkgeschwindigkeit verleihen. Gerry Ritz erfuhr von der „Wiener Schule“ aus erster Hand durch seinen österreichischen Angestellten Oskar Czepa - dieser lebte 1955 bis 1958 in Chicago. Ohne dessen Know-how hätte Ritz die WM 1959 vielleicht nicht gewonnen.



Ritz 7.45-5.5G



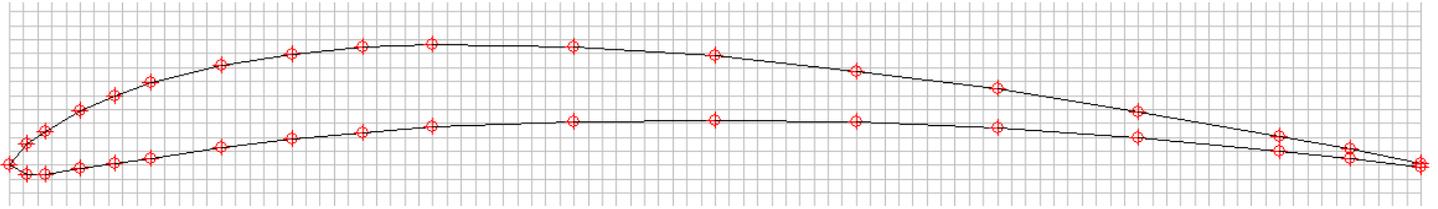
Andres Lepp F1A 28-33



Makarov

Es gibt noch eine zweite Quelle und Basis für die guten Leistungen moderner Freiflug-Segelflugmodelle. Es sind die schon in den 40er Jahren entstandenen Profile des Ungarn György Benedek, besonders sein 6% dünnes B 6356 b. Worin unterscheidet sich dieses von den oben genannten, immer noch aktuellen F1A-Spitzenprofilen? Die Oberseitenwölbung des Referenzprofils B 6356 b ist weniger weit nach hinten gezogen, der höchste Punkt liegt also etwas weiter vorne, die Wölbung fällt flach nach hinten ab. Diese klassische Vorwölbung verkleinert das Wandern des Auftriebsmittelpunkts unter wechselnden Anstellwinkeln und passt darum zu der früher eher mäßigen Längsstabilität von F1A/A2, aber besonders der kleineren

F1B (Gummimotormodelle von 230 g) und F1H/A1-Modelle (bis 18 dm²). Sie verhindert zusätzlich, dass sich die Strömung bei kleinen Re-Zahlen hinten ablöst.



Profil B 6356 b

Ablöseverhalten und Längsstabilität verbesserten sich zuerst durch Turbulatoren und dann, seit den 90er Jahren, durch Karbon-Leitwerksträger: Die Trägheitsmomente verringerten sich. Dazu kamen Leitwerksprofile, die den Flug beruhigen und Böen besser aussteuern. Eine mehr oder minder starke Verlagerung des Auftriebsmoments, die bei Profilen mit Wölbungsrücklage größer ist als bei solchen mit Wölbungsvorlage, spielt heute keine Rolle mehr; schon lange werden sehr gute Leistungen auch mit Profilen erzielt, deren Wölbung weit hinten liegt. Der Gedanke der von Jedelsky so bezeichneten mehr oder minder guten „praktischen Sinkgeschwindigkeit“ hat darum seine Bedeutung verloren.

Es soll hier um Hangsegler F1E gehen, nicht um F1A-Hochstartmodelle. Bei diesen ist ja der Gleitwinkel sekundär; es geht um möglichst geringes Sinken nach dem Hochstart, damit das Modell von der Ausgangshöhe aus so lange wie möglich gleitet. Am Hang verlangen die meisten Flugaufgaben dagegen nach möglichst flachem Gleiten, nur hin und wieder entscheidet auch das geringste Sinken. Die Maximalzeit wird erreicht, wenn das Modell unabhängig vom Aufwind das Gefälle des Geländes nutzen kann. Das stellt eine Profilauswahl in Frage, die allein auf F1A-Erfahrung aufbaut.

II. Was beeinflusst den Gleitwinkel eines F1E?

Beim Gleitwinkel geht es nicht um die Maximierung des Auftriebs, sondern darum, den Widerstand des Modells zu verringern – und damit vor allem den des Flügels. Das heißt mehr Spannweite, nicht unbedingt größere Streckung, in jedem Fall aber widerstandsarmes Profil.

Spannweite

Je größer die Spannweite, desto kleiner der Anteil des schädlichen Widerstands, den die Randwirbel verursachen. Wie wichtig die Spannweite ist, stellte ich an unterschiedlich großen Flügeln fest, mit identischem Profil. Schon zwei zusätzliche Rippenfelder (= 72 mm) erwiesen sich als Gewinn. Wenn diese These stimmt, muss man über die Auslegung von F1E-Modellen nachdenken. Die Wahrheit ist bitter, weil große Spannweite = große Flügel = viel Arbeit beim Bauen bedeutet, große Baubretter, lange Kisten, Auto-Dachbox statt umgeklappter Rücksitz. Oder: Viel Aufwand mit gesteckten Flügelteilen und Rumpfen, beides mögliche Quellen von Ungenauigkeiten.

Streckung

Freiflugmodelle der FAI-Formel F1E haben mit ferngelenkten Seglern der Klassen F3B und F3J gemeinsam, dass ihre tragenden Flächen (Flügel und Leitwerk) bis zu 150 dm² messen dürfen – also praktisch beliebig groß sein können. In den RC-Klassen haben erfahrene Aerodynamiker seit Jahrzehnten nach optimalen Flügelformen gesucht und festgestellt, dass sich jenseits einer Streckung von etwa $\lambda=15$ keine Verbesserungen mehr einstellen. Sinnvoller sei es, so der mehrfache F3B-Weltmeister Dr. Andreas Herrig über seinen "Freestyler", bei größeren Flügeln auch die Flügeltiefe zu vergrößern, um die Vorteile einer höheren Re-Zahl zu nutzen. Freilich haben die raffinierten Schalenflügel der erfolgreichsten deutschen Modellflieger aller Zeiten an Widerstandsverringering realisiert, was aerodynamisch möglich ist.



"Freestyler" mit den Autoren Martin und Andreas Herrig (hinten)

F1ABC-Freiflieger dagegen sind FAI-Formeln gewohnt, die die Flügelfläche begrenzen. Leistungsfähige Flügel bekamen im Rahmen dieser Formeln sehr große, schwierig zu bauende Streckungen. F1E-Modelle müssen dem nicht folgen, zumal sie mit ihrer langsamen Flugeschwindigkeit von einer Re-Zahl-Erhöhung eher profitieren als F3B/F3F-Modelle, die mit bis zu 120 km/h unterwegs sind.

Wer seine Flügel selber baut, tut gut daran, gewisse Standards zu setzen. Der Bauaufwand muss in Grenzen bleiben. So macht es wenig Sinn, mit jeder Spannweiten-Vergrößerung auch die Flügeltiefe zu erhöhen; zu praktischen Überlegungen später mehr.

Profile für den Flügel

Folgt man den Veröffentlichungen oder schaut sich gut fliegende F1E-Modelle an, scheinen dünne, hochgewölbte Konkav-Profile immer noch das Maß aller Dinge zu sein. Ist deren Ära vorbei?

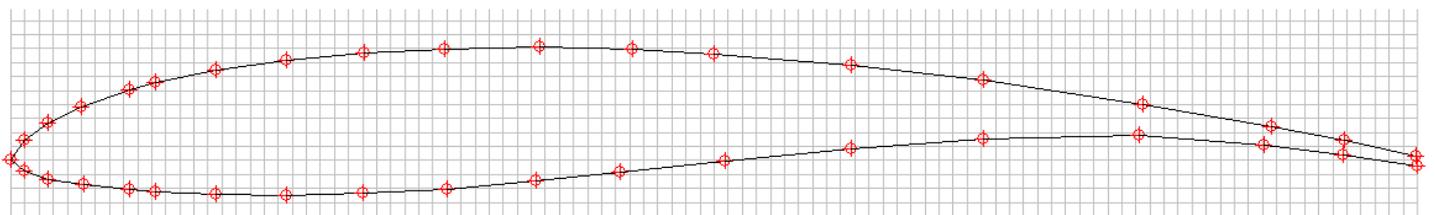


F1A von Amit Kidron (ISR) 2. der EM 2015

III. Die „neuen“ LDA-Profile

Ich wurde nachdenklich, als alle 6 Teilnehmer am abendlichen F1A-Stechen der Junioren-EM 2015 in Salonta Modelle mit LDA-Profilen (**Low Drag Airfoil**) flogen. Diese wurden bekanntlich entwickelt, um in der dynamischen Hochstartphase den Widerstand des Flügels zu verringern und bei einer Re-Zahl von über 400 000 eine Ausgangshöhe von bis zu 110 m (bei 50 m Leine) zu erzielen. Es wurde erwartet, dass der Gleitflug leidet, wenn das Profil nicht 6 bis 7% gewölbt ist, sondern nur noch 4% bis 5%. Doch die Sinkgeschwindigkeit verschlechterte sich viel weniger als angenommen. Blieben die etwas schlechteren Kurveneigenschaften und Mängel beim Einkreisen in Thermik; beides spielt bei abendlichen Stechen keine Rolle. Und beim F1E-Fliegen sowieso nicht.

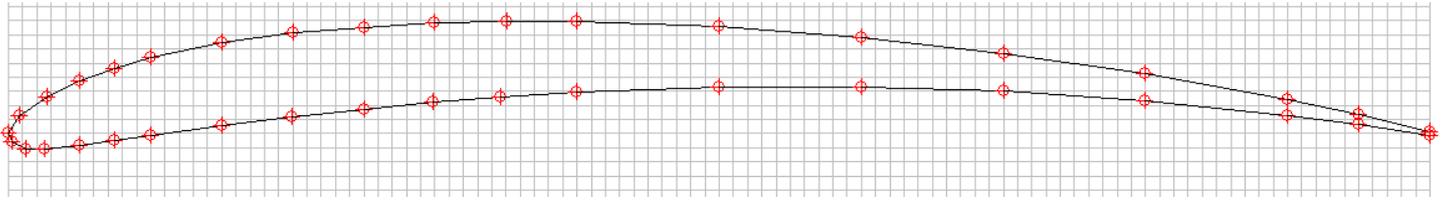
Der erste, der LDA-Profile für Magnetsegler empfahl, war F1E-Pionier Hans Gremmer. So schrieb er 1988 in der österreichischen „Prop“ über Skelettflügel mit „dickeren Profilen“; ein Jahr zuvor hatte er seinen Segler „Space-Fighter“ publiziert. Nach Studium der Althaus- Profilmessungen baute er ihn mit dem Wortmann FX 60-100, das mit 10 % eine stattliche Dicke aufweist, bei einer Oberseitenwölbung von 8 %. Die Profilhöhe wird von der Nase aus angelegt, es ist nicht die Unterseiten-Tangente! Das Wortmann-Profil bleibt bis heute – ob man Windtunnel-Ergebnissen traut oder nicht – eine gute Empfehlung; in meinem F1E 6 brachte es mir beim ersten Wettbewerb einen 1. Platz. Bei dem ebenfalls von Gremmer erwähnten Eppler 214 bin ich nicht so sicher. Eppler-Profile haben einen Wölbungsverlauf der Oberseite, der Modellflieger in der Praxis meist enttäuscht.



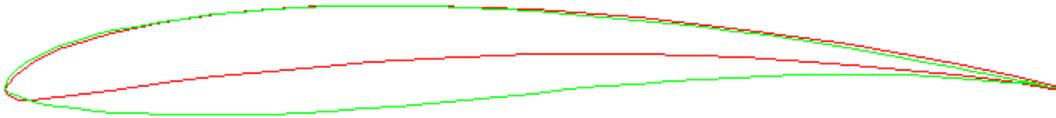
Wortmann FX 60-100

Wortmann dagegen griff bei der Gestaltung der Oberseite auf Bewährtes zurück. Es ist ziemlich genau die des Profils, das Rudi Lindner in seiner berühmten „Spinne“ einsetzte. Der A2(= F1A) -Weltmeister von 1954 und 1955 flog ein flaches Konkavprofil. Franz Xaver Wortmann

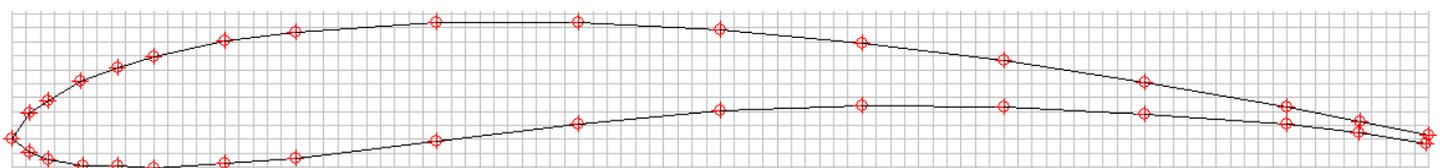
entwarf sein Profil kurz nach den Lindner-Erfolgen 1960 (die „60“ im Profilnamen, „100“ stehen für 10% Dicke).



Lindner Flügelprofil "Spinne" und Vergleich



Der niedrigen Nummer des Profils nach hat Erich Jedelsky sein LDA Profil E.J.-6 schon viel früher, in den 1940er Jahren entworfen. Fragen kann man ihn nicht mehr, und sein Archiv wurde 1992 ein Opfer des Bosnien-Krieges. Das Profil habe ich aus einer polnischen Sammlung von 1980, es findet sich aber auch in der riesigen Liste von Profilen, die das Designprogramm profili bietet. Die Oberseitenwölbung des EJ-6 ist nicht ganz so flach wie des Spinne-Profiles; es avancierte für mich mit meinem F1E 4 zum Standard. 2015 verglich ich dieses Modell in ruhiger Luft auf der Wasserkuppe mit dem für mich durchaus erfolgreichen F1E 3 (Profil SI-64009). Die ansonsten weitgehend baugleichen Modelle wurden nach 30 Sekunden gebremst. Beide Modelle flogen auf den Meter genau gleich weit (also gleich schnell) – doch das mit EJ-6 im Flügel bremste immer aus viel größerer Höhe! Ich führte den deutlich besseren Gleitwinkel auch auf eine 72 mm größere Spannweite zurück, doch das genügt nicht als Erklärung. EJ-6 lässt ein Modell einfach viel besser gleiten als mein geschätztes SI-64009. Zu diesem später mehr.



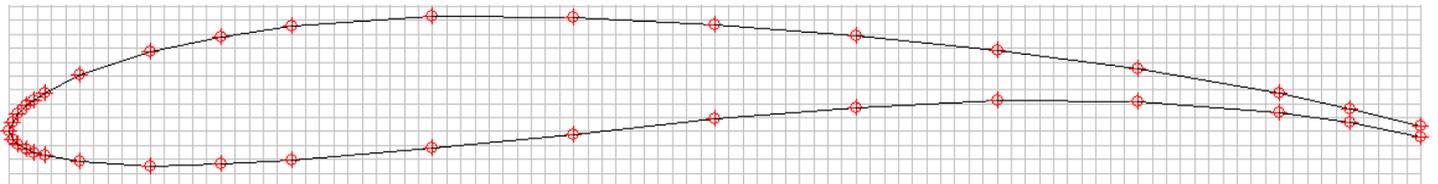
Erich Jedelsky EJ-6



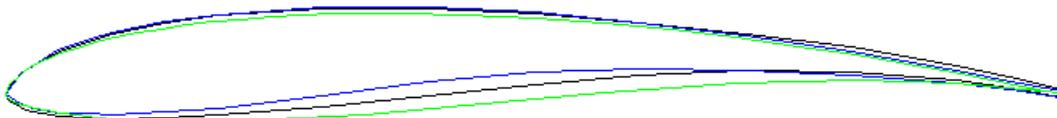
Sigurd Isacson SI-64009

Die neue Diskussion begann erst vor wenigen Jahren. Im Annual Report der NFFS, Symposium 2008 berichteten Brian Eggleston und Peter Allnutt zum ersten Mal über F1A-Flugversuche mit LDA-Profilen, die sie aber noch nicht „LDA“ nannten. Die Autoren rechneten, dass die Sinkleistung bei sonst gleicher Auslegung des Modells nur 4% schlechter sei als die eines zeitgenössischen Stamov F1A, sich im Hochstart aber deutlich mehr Höhe erzielen lasse. Das neue Eggles-

ton-Profil BE9744 ist den uralten LDA-Profilen EJ-6 und FX 60-100 ganz ähnlich; die Unterseite ist nicht ganz so weit eingezogen wie beim Jedelsky-Profil, aber etwas mehr als beim Wortmann. Die Oberseiten sind praktisch gleich, bis auf einen steileren Abfall des neuen Profils an der Hinterkante. Das bedeutet wohl, dass der Auftrieb des EJ-6 unter den drei Profilen am höchsten ist; sein Widerstand im extremen Schnellflug jedoch etwas größer. Doch da muss man aufpassen: „Schnellflug“ bei F1E heißt nicht 40 m/sec wie beim dynamischen F1A-Hochstart. F1E müssen höchstens 10 bis 11 m/sec fliegen; bei mehr als 9 m/sec Wind wird abgebrochen, sagt die FAI-Regel.



BE9744



Vergleich der 3 LDA-Profile. Grün = FX60-100, Schwarz = BE9744, Blau = EJ-6

Die LDA-Versuche haben mit einem weiteren Vorurteil aufgeräumt: Dass mit der Profildicke der Profilwiderstand zunimmt. Das stimmt nur dann, wenn man Profile von der Mittellinie aus definiert, statt – wie Erich Jedelsky schon 1954 verlangte – Ober- und Unterseite für sich betrachtet. Denn es ist klar: Der zum Teil symmetrische Vorderteil verkleinert vielleicht den Gesamtauftrieb, verringert aber trotz seines großen Querschnitts den Widerstand der Profile.

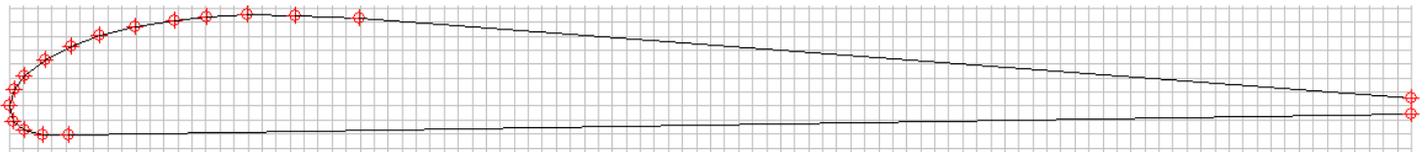
Dazu kommt ein weiteres Argument. Die Vorwärtsbewegung von F1E-Modellen gegen den Wind wird vor allem mit Ballast eingestellt. Herkömmliche, hochgewölbte Konkav-Profile lassen sich damit nur bedingt beschleunigen, die Modelle reagieren träge. Wird eine Ballastgrenze von ca. 250 g überschritten, leidet der Gleitwinkel; das System ist überfordert, sobald der niedrige Anstellwinkel des Flügelprofils die Strömung auf der Unterseite umschlagen lässt. Dabei entstehen Wirbel und bremsen das Modell. Mit den genannten LDA-Profilen genügen schon 100 g, es merklich schneller zu machen; eine Grenze ist nicht erkennbar. Modellverhalten und –leistung bleiben über einen weiten Bereich gleich.

IV. Höhenleitwerk

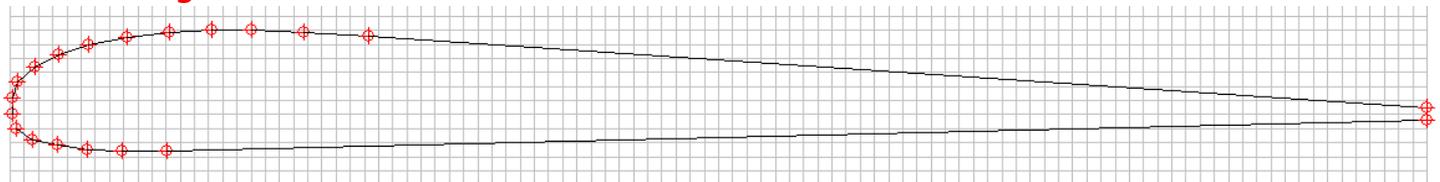
Die Veröffentlichung von Egglestone und Allnut von 2008 mitsamt ihren LDA-Profilen veränderte den F1A-Sport. Varianten der Flügelprofile – nicht 10 % dick, sondern 9 % oder nur 8% – wurden gebaut und auch von den bekannten Herstellern verkauft. Unklar blieb, welche Höhenleitwerksprofile zu den hohen Startgeschwindigkeiten passen. Herkömmliche Leitwerke wurden dafür verantwortlich gemacht, dass Modelle abstürzten oder Starts kritisch waren. Das Problem schien zu sein, dass diese Profile nicht für die negativen Anstellwinkel und entsprechenden negativen aerodynamischen Kräfte entworfen waren, die bei den Starts auftraten. Dem widmet sich ein Beitrag im Annual Report des NFFS, Symposium 2012, wieder von

Brian Egglestone. Er untersucht in „Factors in Tailplane Airfoil Selection for F1A Models“ vier Profilver schläge.

Mich hat dabei besonders interessiert, dass er eine Variante meines Höhenleitwerkprofils aus den 80ern als Lösung anbietet. Für seinen Profilver schlag hat er dessen runde Profilnase angehoben, um eine bessere Umströmung auch bei negativen Anstellwinkeln zu erzielen. Das Ergebnis ist ein gerader Verlauf der Auftriebspolare bei negativem wie bei positivem Auftrieb, statt der Ablösungen auf der Unterseite, wie sie das Höhenleitwerksprofil erwarten lässt, mit denen die Russen Makarov und Kochkarov („M&K“) ihre Modelle zunächst ausstatteten. Inzwischen liefern diese ihre Modelle mit einem Höhenleitwerksprofil, das wie ein flaches LDA-Flügelprofil aussieht, Egglestones Erwartungen jedoch ebenfalls nicht befriedigt.



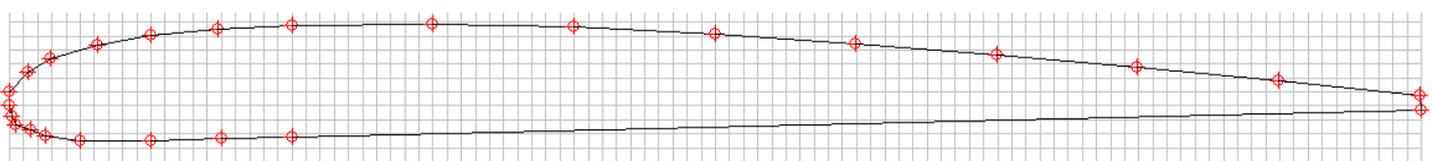
Woebbeking 8%



BEW8017

Da F1E-Segler auch bei Schleuderstarts nicht annähernd F1A-Werte erreichen, sind solche Überlegungen beim Hangflug überflüssig. Und doch ist für ihre Leistung wichtig, dass das Höhenleitwerk einen möglichst geringen Widerstand hat. Viele bauen für einen sicheren Thermikbremsen-Sackflug übergroße Leitwerke, die den Gleitflug verschlechtern, wenn ihr Profil zu viel Widerstand hat. Für diese kann das Profil BEW8017 eine Lösung sein, das im Übrigen dem Cheesman 20/A-08 aus den 50er Jahren sehr ähnlich ist. Ich bin allerdings überzeugt, dass Leitwerke, die größer sind als 15% Flügelfläche, der Leistung von Segelmodellen abträglich sind.

Noch zur runden Profilnase. Sie soll für einen glatten Strömungsverlauf sorgen, wenn sich der Einstellwinkel bei einer Störung verändert. Dabei kommt es – nach oben wie nach unten – um die Rundung herum zu einem starken Auftriebszuwachs, der den Flug schnell stabilisiert. Auch wenn Gremmer z.B. auf ein spitznasiges symmetrisches Profil schwört: Spitze Profilnasen im Leitwerk lassen Modelle in unruhiger Luft sich schlechter beruhigen und mehr Höhe verlieren als runde. Und Symmetrie macht auch keinen Sinn, weil das Ausgleichen von Störungen kein symmetrisches Geschehen ist. Gedrückte Fluglagen kosten viel weniger Höhe als Pumpen – das kann jeder mit zwei unterschiedlichen Handstarts nachvollziehen.



Cheesman 20/A-08

Anmerkung

Die gezeigten Profile stammen aus meiner Arbeitsliste für das Grafikprogramm profili 2.3 pro und können von mir auf Anfrage als .dxf per Email bezogen werden. Sie sind für die praktische Verwendung modifiziert, so wurde z.B. eine messerscharfe Hinterkante schon für die Baupraxis bearbeitet. Meine Arbeitsliste dient nicht der Theorie, sondern dem Flugmodellbau.