

# Musculair I

**Der erste Kremer-Preis, bei dem zwei Stangen in 1/2 Meile Abstand in einer achterförmigen Schleife zu umfliegen waren, wurde im August 1977 von Bogan Allen mit Paul Mac Creadys Gossamer Condor mit 7 1/2 Minuten Flugzeit gewonnen. Der zweite Kremer-Preis war ausgesetzt für die Überquerung des englischen Kanals, ihn gewann Bryan Allen mit Mac Creadys Gossamer Albatross am 12. Juni 1979.**

Danach schrieb die Royal Aeronautical Society im Mai 1983 einen dritten Wettbewerb für muskelkraftgetriebene Flugzeuge aus. Es sollte der Erste, der einen 1500 m langen Dreieckskurs in weniger als 3 Minuten Flugzeit umrundet, eine Prämie von £ 20 000 erhalten und jeder, der die vorherige Flugzeit um mindestens 5% verbessert, jeweils £ 5000.

Der «Kremer-Speedpreis» unterscheidet sich von vorherigen Preisen darin, dass ein Energiespeicher zugelassen wird. Während 10 Minuten vor dem Flug kann der Pilot seine Energie über ein beliebiges Mittel speichern. Dies stellt eine grosse Erleichterung gegenüber den ersten beiden Preisen dar.

Als Günter Rochelt Ende 1983 Firmen und Freunde in den USA besuchte, um nach dem späten, aber doch grossen Erfolg seines Solarflugzeuges «Solair I» ein neues Solarflugzeugprojekt vorzubereiten, ermunterte ihn Mac Cready, an den Kremer-Preisen teilzunehmen. Der mit £ 10 000 dotierte Preis über die liegende Acht konnte noch von Nichtamerikanern gewonnen werden, und der Speedpreis war eben erst ausgeschrieben. Für Günter Rochelt und seine Freunde stand von Anfang an fest, dass beide Preise mit einem einzigen Flugzeug geflogen werden sollten und dass neue Wege gegangen werden mussten, wollte man die Drahtverspannungen aller bisher erfolgreichen Muskelkraftflugzeuge vermeiden.

## Erfahrung im Drachenfliegen

Die Leistungsabgabe von Radfahrern ist in Abb. 1 dargestellt. Da Günter Rochelts Sohn Holger als Pilot feststand, konnte bei den Berechnungen nur von der unteren Kurve ausgegangen werden. Holgers geringes Gewicht (52 kg) und drachenfliegerische Erfahrung machten dies weitgehend wett.

Der Schwebelastungsbedarf von Flugzeugen ergibt sich zu

$$P = \frac{1}{\eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{prop}}} \left[ \frac{2 \cdot W^2 \cdot K}{\pi \cdot \rho \cdot E \cdot b^2 \cdot U} + \frac{\rho}{2} U^3 \sum (A_i \cdot C_{di}) \right]$$

mit

- P (Watt) Leistungsbedarf (power required)
- W (N) Fluggewicht (weight)
- K (-) Bodeneffektfaktor (ground factor)
- $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) Luftdichte (air density)
- b (m) Spannweite (wing span)
- E (-) Spannweitenfaktor (wing span factor)
- U (m/s) Fluggeschwindigkeit (flying speed)
- $\Sigma$  Summe (sum)
- A<sub>i</sub> (m<sup>2</sup>) Bezugsfläche des Flugzeugteiles (area of plane component)
- C<sub>di</sub> (-) Widerstandsbeiwert des Flugzeugteiles (drag coefficient of plan component)
- $\eta_{\text{mech}}$  (-) Mechanischer Wirkungsgrad (mechanical efficiency)
- $\eta_{\text{prop}}$  (-) Propellerwirkungsgrad (prop. efficiency)

Der minimale Leistungsbedarf von Muskelkraftflugzeugen (Abb. 2) beträgt etwa 200 Watt. Dabei fliegt Musculair I mit etwa 9 m/s doppelt so schnell wie Mac Creadys Gossamer Albatross. Beim

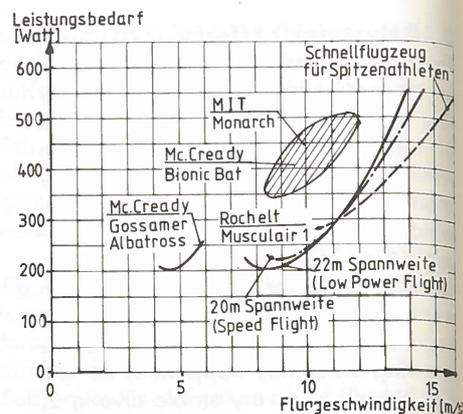


Abb. 2: Leistungsbedarf von Muskelkraftflugzeugen

Fig. 2: La force exigée par les aéronefs à propulsion musculaire.

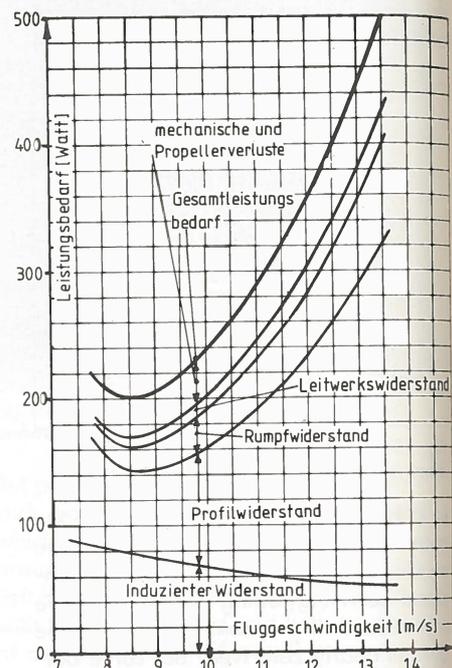


Abb. 3: Leistungsbedarf bei 22 m Spannweite und Bodeneffekt ( $k_g = 0,8$ )

Fig. 3: Force exigée pour un engin de 22 m d'envergure et effet sur le sol ( $k_g = 0,8$ )

Langsamflug mit 8,5 m/s, entsprechend einem Auftriebsbeiwert des Flügels von 1,25, macht der induzierte Widerstand 43%, der Profilwiderstand des Flügels 42% und die sonstigen Widerstände 15% des Gesamtwiderstandes aus (Abb. 3). Geringes Fluggewicht und grosse Spannweite reduzieren den Leistungsbedarf wesentlich. Es ist wichtiger, dass der Pilot leicht ist, als dass er athletische Spitzenleistungen vollbringt. Beim Schnellflug dominiert mit 11 m/s, entsprechend einem Flügelauftriebsbeiwert von 0,75, der Profilwiderstand mit 56%. Der induzierte Widerstand und die sonstigen Widerstände betragen je 22%. Kleine Flächen und geringe Widerstandsbeiwerte verlangen nach einer hochwertigen aerodynamischen Gestaltung, die

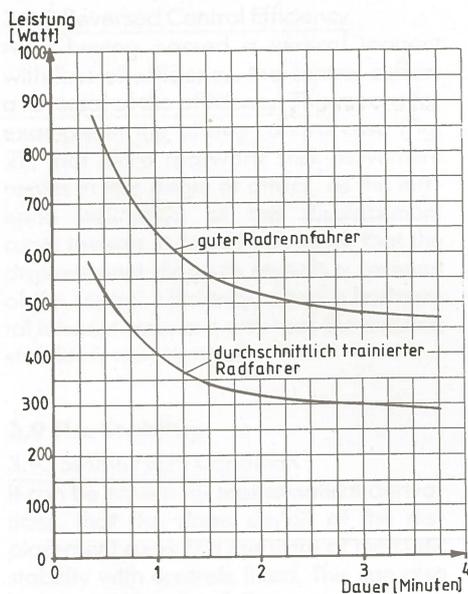


Abb. 1: Leistungsdauer von Radfahrern  
Fig. 1: La durée des prestations d'un cycliste

nur mit exakter Formtreue und hoher Oberflächengüte erreichbar ist. Hochwertige Aerodynamik in Ultraleichtbau bei Reynoldszahlen zwischen 300 000 und 600 000, dem Bereich zwischen Modellflug und Segelflug in freitragender Bauweise, machte neue Konstruktionsmethoden erforderlich.

4. Minimaler Schwebleistungsbedarf etwa 200 Watt bei möglichst hoher Fluggeschwindigkeit
5. Geringer Leistungsbedarf bei höherer Fluggeschwindigkeit (etwa 250 Watt bei 1 m/s)
6. Flügelgewicht bei hoher Festigkeit und Steifigkeit

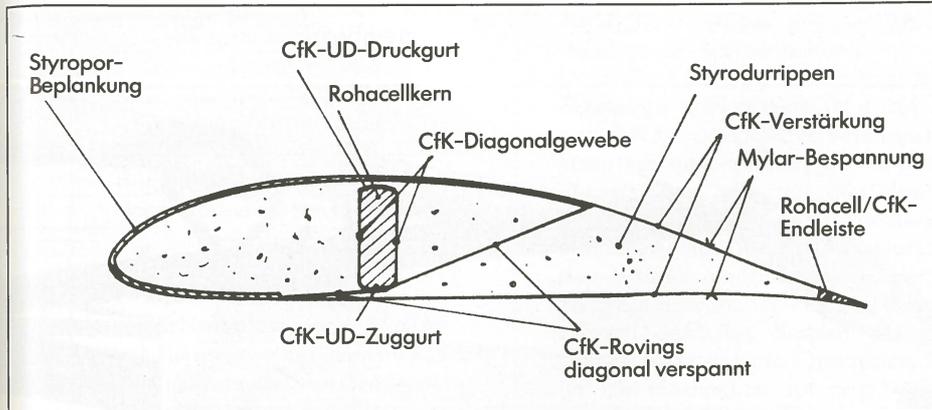


Abb. 4: Tragflügelbau mit Wortmann-Profil FX76 MP

Fig. 4: Coupe de l'aile à profil Wortmann FX76MP

## Entwicklung, Konstruktion und Bau

Die eigentlichen Arbeiten begannen am 13. Februar 1984; drei Monate später - am Himmelfahrtstag - startete Musclair I zum Erstflug.

### Gesamtkonzeption

Nach ersten Entwürfen und Berechnungen stand das Konzept fest: freitragender Hochdecker; hängende profilförmige Gondel, die dem Piloten günstige ergonomische Verhältnisse schaffen; Pendel-, Höhen- und Seitenleitwerk, die so gross sind, dass hohe Flugstabilität erreicht wird; Heckpropeller, damit kein Flugzeugteil vom stark verwirbelten Propellerstrahl getroffen und die Strömung im Leitwerksbereich beschleunigt wird.

Um das Flugzeug so formgetreu, leicht und fest wie möglich zu bauen, mussten so viel Bauteile wie möglich aus CfK, Schaumstoff und hochfester Polyesterfolie (Mylar) hergestellt werden.

### Flügel

Ursprünglich sollte ein Flügel mit grösserer Tiefe für den Langsamflug und einer mit geringerer Tiefe und kleinerer Spannweite für den Schnellflug gebaut werden. Doch stellte sich bei der Flügeloptimierung bald heraus, dass beide Anforderungen mit einem Flügel gut erfüllt werden können.

Bei der Flügeloptimierung waren im wesentlichen folgende Faktoren zu berücksichtigen:

1. Flügelfläche und Streckung
2. Profilwahl und Reynoldszahl
3. Auftriebsverteilung

7. Gute Steuerbarkeit, günstiges Abreissverhalten und gutmütiges Flugverhalten.

Es zeigte sich schnell, dass bei kleiner Fluggeschwindigkeit (etwa 8,5 m/s) der Schwebleistungsbedarf bei Spannweiten über 22 m nur noch so gering abnimmt, dass er durch das höhere Flügelgewicht fast aufgezehrt wird.

Die Reynoldszahl spielt die Hauptrolle.

Will man bei vorgegebener Spannweite die Flügelfläche verkleinern, um über eine höhere Flächenbelastung die Fluggeschwindigkeit zu steigern, so erhöht sich im Re-Zahlbereich zwischen 500 000 und 300 000 der Profilwiderstand selbst des von Professor Wortmann für diesen Zweck entwickelten Spezialprofils noch sehr stark. Dies wird hauptsächlich von der laminaren Ablöseblase beim Grenzschichtumschlag von laminar nach turbulent an der Oberseite verursacht, die bei kleiner werdender Re-Zahl stark wächst.

Um nicht unter  $Re = 500\,000$  an der Flügelwurzel und  $Re = 400\,000$  an der Flügelspitze zu kommen, musste die Tiefe innen wenigstens 0,75 m und aussen 0,60 m betragen. Diese Werte durften auch aus Gründen der Manövrierbarkeit und Flugsicherheit (Abreissverhalten) nicht unterschritten werden.

Unter weiterer Berücksichtigung einer möglichst elliptischen Auftriebsverteilung ergab sich folgender Flügel: 22 m Spannweite für den Flug mit minimalem Leistungsbedarf; 20 m Spannweite für den Schnellflug; Flügeltiefe an der Wurzel 0,90 m mit 16% dickem Profil und 0,60 m Tiefe mit dem 14% dicken Profil an der Flügelspitze.

Damit liegt man beim Langsamflug mit  $c_d = 1,2$  im oberen Bereich der Laminardelle und im Schnellflug mit  $c_d = 0,75$  im unteren Bereich. Beim Schnellflug nimmt wegen der höheren Re-Zahl der Profilwiderstandsbeiwert merklich ab.

Aus Transportgründen ergab sich ein sechsteiliger Flügel; vier 5 m grosse Stücke und zwei 1 m lange Wingtips, die beim Schnellflug abgenommen wurden. Der sechsteilige CfK-Hauptholm mit Rohacell-Schaumkern ist für 3faches statisches Lastvielfaches ausgelegt, in 35% Flügeltiefe angeordnet und wiegt nur 8 kg.

Wesentlich für den Erfolg des Flugzeuges war das von dem jüngst verstorbenen Wortmann schon im Jahr 1976 entwickelte Laminar-Profil FX76 MP (man powered), das sich von innen 16% Dicke auf 14% verjüngt. Es hat selbst bei Re-Zahlen unter 500 000, wo bei den meisten Laminarprofilen der Widerstand stark zunimmt, hohe Auftriebsbeiwerte und sehr gute Profilsteig- und Gleitzahlen. Als unschätzbare Vorteile stellten sich das gutmütige Abreissverhalten und die unerwartet guten Schnellflugeigenschaften heraus.

Die durch den Ultraleichtbau bedingten, zum Teil grösseren Profilungenaugigkeiten beeinträchtigten die guten Profileigenschaften kaum, da im gesamten laminar umströmten Bereich Unstetigkeiten vermieden wurden.

Die notwendige Formgebung wurde mit CfK-verstärkten Schaumstoffrippen, die in 25 cm Abstand eingesetzt wurden, und einer speziellen Styroporbeplankung erreicht. Die Oberseite ist im ganzen Laminarbereich bis 60% beplankt, unten nur bis zur Wendetangente der Profilkontur in etwa 20% Flügeltiefe. Die Beplankung ist aus 1 mm dickem Grundmaterial über einer Profilform heiss auf 4 mm Dicke aufgeschäumt. Der offene Rest der Profilkontur ist mit sehr leichter Mylarfolie bespannt (Abb. 4).

Bei Profilmessungen von Althaus im Laminarwindkanal an der Universität Stuttgart wurden nicht nur die guten Eigenschaften des FX76 MP-Profils bestätigt, sondern es stellte sich auch heraus, dass die Styroporbeplankung genau die feine Rauigkeit hatte, die für den widerstandsarmen Grenzschichtumschlag von laminar nach turbulent in gut 50% Flügeltiefe erforderlich ist. Über diesen Effekt am Segelflugzeugprofil E 603 hat D. Althaus schon 1981 berichtet. Es mussten nur aerodynamische Unsauberkeiten beseitigt werden, um das Flugzeug auf Hochleistung zu bringen.

### Rumpf

Tragende Elemente sind das senkrechte Hauptrohr und der Leitwerksträger, in

dem die Propellerwelle läuft. Alle Bauteile sind aus CfK. Die relativ gross geratene Gondel ist mit dem NACA-Profil 64021 verkleidet.

### Leitwerk

Höhen- und Seitenleitwerk sind als Pendelruder ausgebildet. Um eine grössere Längsstabilität zu erhalten, ist das Höhenleitwerk trotz Flächenhalbierung für den Schnellflug wesentlich grösser als erforderlich. Die Federneutralisierung, die das Leitwerk bei losgelassenem Ruder in die neutrale Lage zurückzieht, erleichtert dem Piloten die Steuerung erheblich. Die Leitwerke sind mit CfK-Rohrholmen ohne Torsionsnase mit Mylarbespannung aufgebaut.

### Antrieb

Von dem nur 450 g leichten Tretantrieb (1,2 kg im Rennradleichtbau üblich), wird die Leistung über eine Feinkette auf die 4fach gelagerte CfK-Propellerwelle übertragen. Bei knapp 100 U/min Tretedrehzahl und 1:2,36 Übersetzung läuft der Propeller mit 230 U/min.

Der Heckpropeller (Abb. 5) wurde bereits 1980 für das Solarflugzeug Solair I entwickelt. Von Windkanalmessungen im

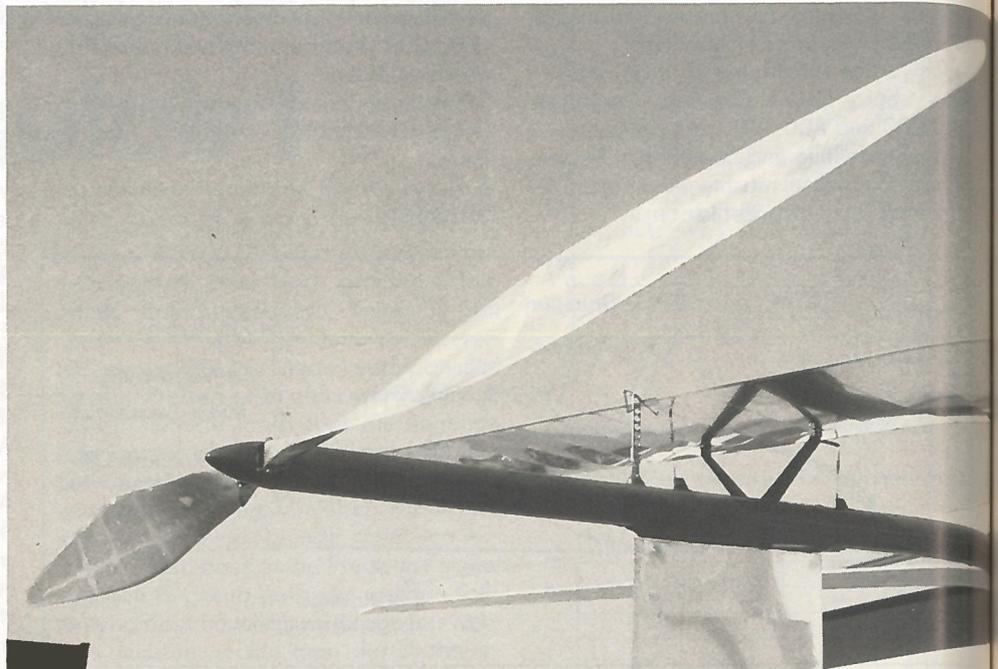


Abb. 5: Heckpropeller und Leitwerksanschlüsse

Fig. 5: L'hélice de queue et le connexions des gouvernes

BMW-Forschungszentrum war das Betriebsverhalten genau bekannt. Um ihn den völlig anderen Bedingungen anzupassen, wurde der Durchmesser von 2,65 m auf 2,72 m vergrössert, die Blätter um 1,5° flacher eingestellt und die Blattspit-

zen etwas stärker angestellt. Um unterkritische Ablösungen durch geringe Re-Zahlen zu vermeiden, wurde im Innenbereich ein Turbulator aufgeklebt. So konnte der Propeller auf beste Anpassung mit gut 86% gebracht werden.

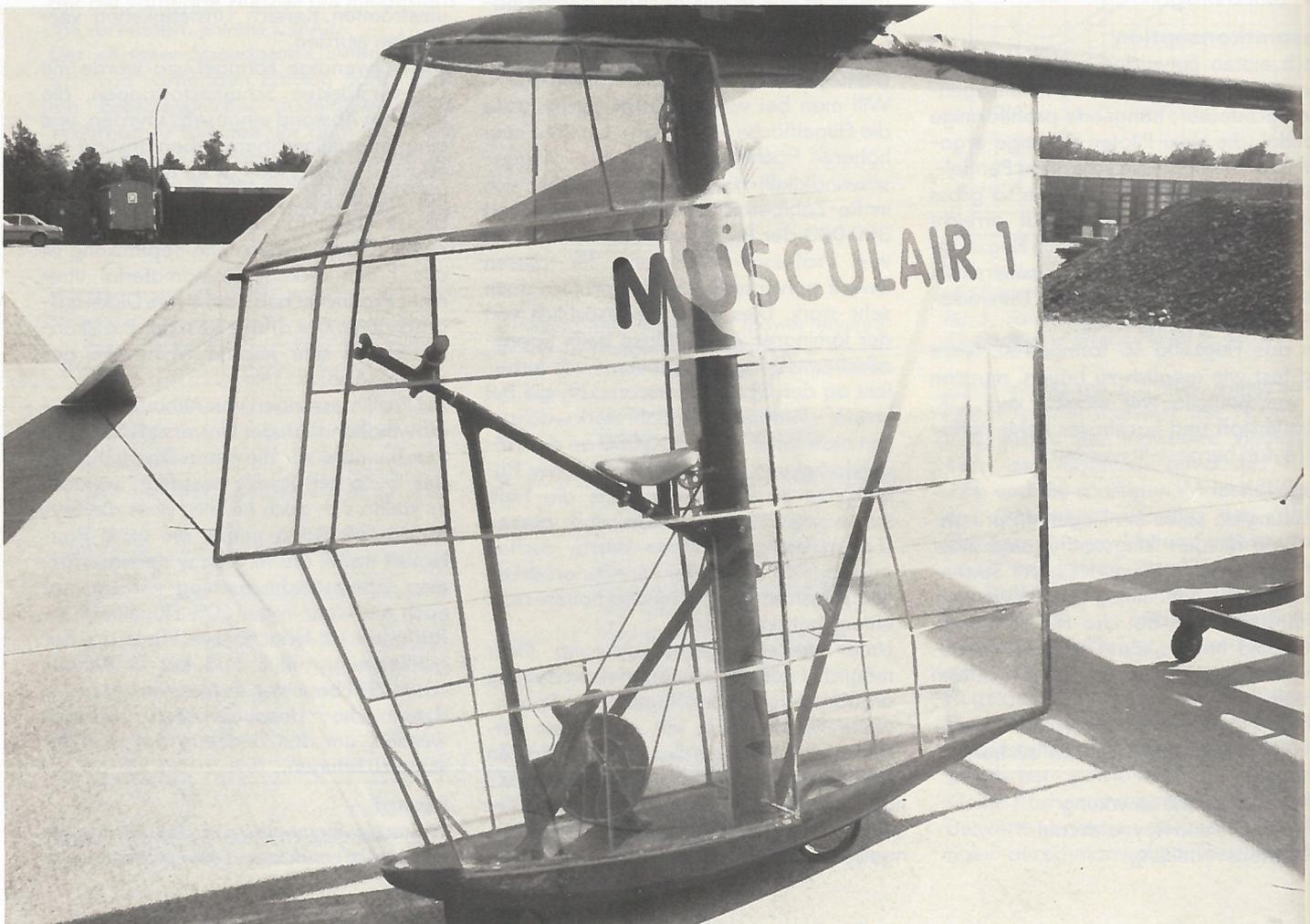


Abb. 6: Pilotengondel (endgültige Form)

Fig. 6: La nacelle de pilote (forme définitive)

## Technische Daten

Hersteller: Günter Rochelt, München

Muster: Musclair I

Klasse: Muskelkraftflugzeug

Besatzung: 1

Bauart: freitragender Hochdecker mit

Heckpropeller

Spannweite: 22 m,

20 m beim Speedpreis

Länge: 7,1 m

Rumpfhöhe: 2,12 m

Flügelfläche: 16,5 m<sup>2</sup>

Streckung: 29,3

Flügelprofil: Wortmann FX 76 MP

innen 16% dick; aussen 14% dick

Leermasse: 28 kg

Flugmasse: ~ 82 kg (110 kg beim

Passagierflug)

Flächenbelastung: ~ 5 kg/m<sup>2</sup>

mind. Fluggeschwindigkeit: ~ 7,5 m/s

mind. Leistungsbedarf (Tretleistung):

200 Watt bei 8,5 m/s

Leistungsbedarf: 265 Watt bei 11 m/s

bestes Sinken: ~ 0,22 m/s

bestes Gleiten: ~ 1:38

Propeller: Solair I mod. Ø 2,72 m

Werkstoffe: Sigri Kohlefasern,

Rohacell, Bakelite L20, Styrodur,

Mylar-Folie

## Steuerung

Sehr elegant und ergonomisch optimal ist die Steuerung gelöst.

Während ein Radrennfahrer mit dem Rahmen seines Fahrrads einen festen Verbund bildet mit Kraftschluss zwischen Füßen und Pedalen sowie Händen und Lenker, muss sich ein Muskelpilot ab der Hüfte ruhig halten, um feinfühlig steuern zu können; ruhiges präzises Steuern ist wichtiger als Spitzenleistung.

Dass der im Fliegen dreiachsgesteuerter Flugzeuge unerfahrene Pilot auf Antrieb zurecht kam, ermöglichte eine fahrradlenkerartige, ergonomisch günstig gestaltete Steuerstange, die auf alle drei Ruder wirkt. Der Pilot muss sich beim Steuern nur vorstellen, dass er die Flügelenden mit den Händen umfasst und so dem Flugzeug die gewünschte Flugbewegung aufzwingt. Seitliches Kippen der Steuerstange wirkt auf die Querruder, Drehen um die Hochachse auf das Seitenruder und Drehen der Griffe «Gasgeben» auf die Höhensteuerung. Da ein ruhig gesteuerter, gleichmässiger Flug wichtig ist für hohe Fluggeschwindigkeit, wurde das Höhenleitwerk mit einer Neutralisier- und Ausschlagsbegrenzungsmechanik nachgerüstet, die als scherenartige Feder an der Leitwerksendkante angreift. Wie leicht das Fliegen mit dieser

tes startete Musclair I am Himmelfahrtstag zu den ersten Rollversuchen mit noch unverkleideter Kanzel. Holger Rochelt – noch Gymnasiast –, der erst bei Baubeginn das von der Sporthochschule zusammengestellte Trainingsprogramm absolviert hatte, musste kräftig pedalisieren und steuerte das Flugzeug noch sehr unruhig. Mit dem Kennenlernen des Flugzeuges und provisorischer Verkleidung der Kanzel mit Folie gelang schon beim vierten Versuch ein Flug über eine Distanz von 1 km.

Nach etlichen Trainingsflügen gelang am Abend des 19. Juni 1984 der Flug über den 1,6 km langen achtförmigen Kurs in 4 Minuten 5 Sekunden, fast doppelt so schnell als 1977 Bryan Allen mit Mac Creadys «Gossamer Condor». Das bedeutete also eine erhebliche Verbesserung des Kremer-Preises um die «liegende Acht».

Die Aufgabe war nun, das Flugzeug aerodynamisch zu verfeinern und für den sog. «Speedpreis» einen Dreiecksflug von 1500 m mit Geschwindigkeitswertung zu optimieren.

Die Bostoner Studentengruppe des MIT hatte schon am 11.5.84 mit 2 Minuten 55,72 Sekunden den mit £ 20 000 dotierten «Speedpreis mit Speicherenergie» gewonnen.

Jeder, der die jeweilige Bestzeit um mindestens 5% verbessert, erhält weitere £ 5000.

Nach dem Erfolg der Amerikaner sollte zunächst der «Speedpreis mit Speicherenergie» verbessert werden.

Mit Nickel-Cadmium-Akkus und einem Elektromotor, der während der 10minütigen Ladephase als Dynamo geschaltet wurde, konnten täglich mehrere Probe-flüge durchgeführt werden, da man die Akkus vom Auto bzw. mit Ladegeräten schnell nachladen konnte.

Bei der Erprobung und Optimierung dieser Speichereinheit nach den strengen Regeln der RAS (Royal Aeronautical Society) zeigte sich, dass der Speicher-Wirkungsgrad nicht über 25% gebracht werden konnte. Daher wurde wegen der ungünstigen Energiebilanz und wegen der Störungsanfälligkeit die Speicher-Motor-Einheit ausgebaut und weiterhin nicht mehr benutzt.

Der Pilot hatte dabei wertvolle Trainingserfahrung gesammelt; über Leistungsbedarf und Flugverhalten der Musclair I lagen weitere wertvolle Erfahrungen vor.

Ohne wertvolle Zeit und Energie für eine wirksamere Speichereinheit zu verschwenden, wurden zusätzlich alle Einzelheiten auf Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten untersucht. Der Aerodynamiker Dieter Althaus testete u.a.

Steuerung wird, demonstrierte Musclair-Mitarbeiter Hans Maier, der bis auf Modellflugzeuge noch kein Flugzeug gesteuert hatte, beim Abfliegen am 1. Oktober 1984. Auf Antrieb gelang ihm ein sauberer ½ km langer Flug mit glatter Landung.

## Flugerfahrungen, Verbesserungen, gewonnene Preise

Die Bundeswehr stellte dankenswerterweise einen Hallenstellplatz und die Bahn für die Flugerprobung zur Verfügung. Genau 3 Monate nach Beginn des Projek-

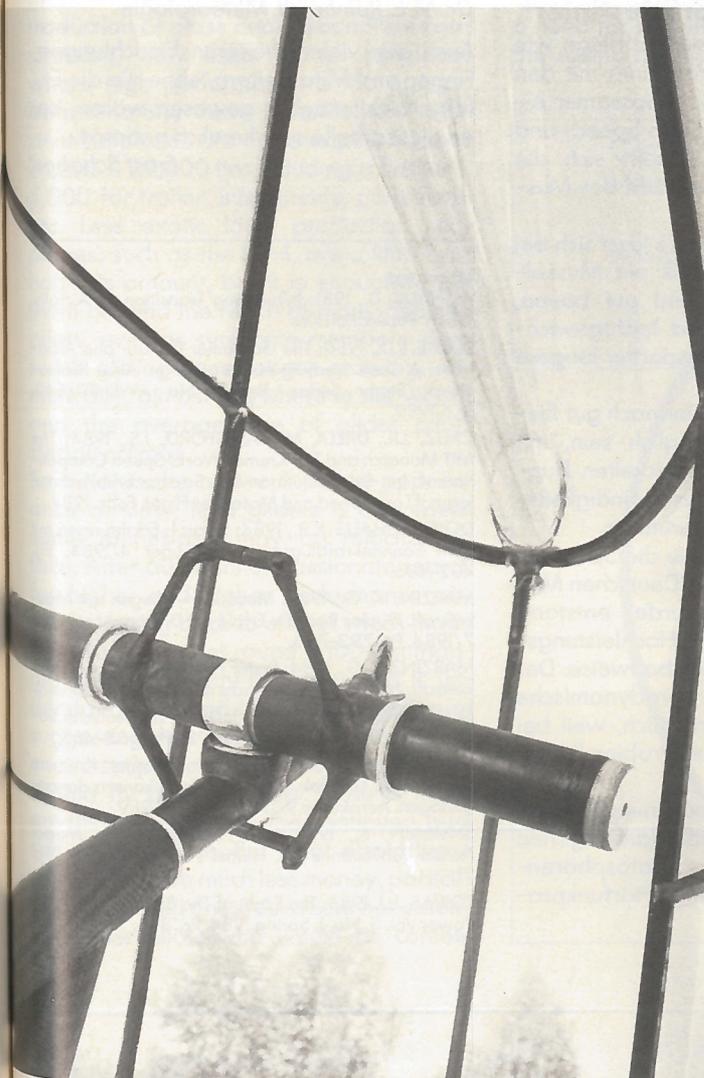


Abb. 7: Steuerlenker und Frischluftrohr (oben)

Fig. 7: La commande principale et l'amenée d'air frais (en haut)

im Stuttgarter Laminarwindkanal ein Stück Aussenflügel. Dabei stellte sich heraus, dass Wortmanns Profil FX 76 MP (man powered) auch bei den durch den extremen Leichtbau bedingten Bauungenauigkeiten noch voll leistungsfähig und gutmütig ist und die feine Oberflächenrauigkeit den Widerstand des Laminarprofils eher verringert.

Verbliebene aerodynamische Unsauberkeiten waren schnell ausgemacht und umgehend beseitigt.

Um den vom MIT aufgestellten Speedpreis überbieten zu können, wurde eine neue Pilotengondel mit weniger Stirnquerschnitt und besserer Profiltreue gebaut.

Die Verkleinerung von Höhen- und Seitenleitwerk, die für einen wesentlich grösseren Flügel vorgesehen und damit sehr reichlich dimensioniert waren, brachte wenigstens 6% Leistungseinsparung.

Während Holger Rochelt schon mehrmals 2 Minuten 50 Sekunden unterboten hatte, verbesserte Paul Mac Creadys Sohn Parker am 18.7.84 mit dem Flugzeug «Bionic Bat» mit Speicherenergie den Speedpreis auf 2 Minuten 43,28 Sekunden. Dies spornte die Muscalair-Enthusiasten an, selbst diese Zeit ohne Speicherenergie – also mit nur gut der halben Antriebsleistung – um 5% zu überbieten.

Am Abend des 21. August 1984 – genau ein Jahr nach dem Dauerflugrekord mit dem Solarflugzeug Solair I – waren alle Voraussetzungen gegeben.

### Résumé

Günter Rochelt a construit au printemps 1984 un aéronef ultraléger à propulsion musculaire, de grande qualité aérodynamique. Son fils Holger a gagné avec cet engin, le 19 juin 1984, le prix Kremer pour un vol en forme de huit accompli par un non Américain. Puis, le 21 août de la même année, sans réserve d'énergie, il a amélioré le prix Kremer de vitesse, en deux minutes et 31,38 secondes. Il a battu simultanément le record du monde de vitesse pour aéronefs à propulsion musculaire, accomplissant un parcours imposé, en forme de triangle, sans énergie de réserve pour le décollage.

Le 1er octobre 1984, le premier vol a eu lieu avec un passager, afin de tester les possibilités de l'aéronef et du pilote.

L'engin «Musculair I» constitue la somme d'un grand nombre de réflexions et de composants, qui trouveront d'autres applications dans la construction d'aéronefs ultralégers très performants.

Während der Radrennfahrer Klaus Hocke mit Holger ein Einfahrtraining absolvierte, konzentrierten sich die Vorbereitungen auf den meteorologisch günstigsten Zeitpunkt mit möglichst ruhigem Bodenwindfeld.

Holger Rochelt startete in der Dämmerung bei bester physischer Kondition, flog den Dreieckskurs mit hohem fliegerischem Können ab und verbesserte nicht nur den Speedpreis auf 2 Minuten 31,38 Sekunden, sondern stellte auch den Geschwindigkeitsweltrekord für Muskelkraftflugzeuge ohne Energiespeicherung auf.

Es gab aber noch Reserven, die auf seiten des Piloten und des Gerätes aktiviert werden konnten. Nachdem Muscalair I auf einigen Flugtagen vorgestellt worden war, sollten die Grenzen des Möglichen im Muskelkraftflugzeug erprobt werden. So kam es zum ersten Muskelkraft-Passagierflug als Abschluss einer sehr erfolgreichen Flugsaison.

Holger Rochelts Schwester Katrin – mit 28 kg genau so schwer wie das Flugzeug – sass auf einem Notsitz hinter dem Rumpfrohr und Schwerpunkt. Die Muscalair sollte das Dreifache des Eigengewichtes als Zuladung tragen. Der Pilot musste verstärkt in die Pedale treten und schaffte einen richtigen Flug in einer Maximalhöhe von 5 m mit einer Distanz von 500 m trotz Gegenwindes.

### Radfahrathleten prädestiniert

Vergleicht man die Muskelkraftflüge wie Bryan Allens Kanalüberquerung mit den Flügen von Mac Creadys «Gossamer Albatros» oder Holger Rochelts Speed- und Passagierflügen, dann erhebt sich die Frage, wo derzeit die Grenzen des Muskelkraftfluges liegen.

Mit CfK-Ultraleichtbauweise lässt sich bei hochwertiger Aerodynamik ein Muskelkraftflugzeug so leicht und gut bauen, dass selbst für nicht ganz leichtgewichtige, gut trainierte Freizeitsportler längere Flüge möglich sind.

Einem Radfahrathleten, der noch gut fliegen kann, dürfte es möglich sein, mit einem speziell für ihn entwickelten Flugzeug das 1,5 km lange Geschwindigkeitsdreieck in 2 Minuten zu umrunden.

Mit der Muscalair I, die wie die Solair I in die Luftfahrtabteilung des Deutschen Museums aufgenommen wurde, entstand erstmals ein freitragendes Hochleistungsflugzeug in extremer Leichtbauweise. Der Ultraleichtbau ohne aerodynamische Kompromisse war nur möglich, weil bei fast allen Bauteilen neue Problemlösungen erarbeitet wurden.

Die neuen Techniken sind unverzichtbar, wenn man zum Beispiel daran gehen möchte, mit unbemannten Stratosphärenflugzeugen Fernseh- und Hörfunkprogramme auszustrahlen.

Es stellen sich folgende Anforderungen an solche Flugzeuge:

- hohe Nutzlast im Verhältnis zum Zelengewicht;
- grosse Spannweite, damit bei der geringen Luftdichte der induzierte Widerstand gering wird;
- hochwertige aerodynamische Gestaltung, um eine hohe Fluggeschwindigkeit zu erreichen, damit das Flugzeug bei Starkwindlagen nicht abgetrieben wird;
- niedriger Leistungsbedarf, damit Solarenergie und Energiespeicherung eingesetzt werden können oder wenig Fremdenergie (z.B. von einem von der Erde ausgestrahlten Mikrowellenstrahl) benötigt wird;
- hohe Flugstabilität und vieles andere mehr.

Wenn man den mit der Muscalair I eingeschlagenen Weg konsequent fortführt, sind solche Stratosphärenflugzeuge in absehbarer Zeit realisierbar.

Aus der Vielzahl seien nur einige Mitarbeiter an Günter Rochelts Muscalair I mit ihrem wichtigsten Beitrag genannt und ihnen besonderer Dank ausgesprochen:

*Prof. F. X. Wortmann*, Tragflügelprofil  
*D. Althaus*, Tragflügelmessungen  
*E. Schöberl*, Aerodynamik, Flugmechanik, Festigkeit und Propeller  
*K. Hocke*, physisches und psychisches Pilotentraining vor dem Flug  
*Dr. M. E. Reinhardt*, Meteorologie

Auch den vielen weiteren Einrichtungen, Firmen und Mitarbeitern, ohne die die Erfolge nicht möglich gewesen wären, sei an dieser Stelle sehr herzlich gedankt.

*Ernst Schöberl*

### Literatur

- ALTHAUS, D., 1981: Influencing Transition on Airfoils. OSTIV Publication XVI.
- BURKE, J.D., 1980: The Gossamer Condor and Albatross: A Case Study in Aircraft Design. AIAA Professional Study Series. Report No AV-R-80/540, 16.6.1980.
- CRUZ, J.R., DRELA, M., LANGFORD, J.S., 1984: The MIT Monarch and The Kremer World Speed Competition. 4. Int. Symposium on The Science and Technology of Low Speed and Motorless Flight. Febr. 1984.
- DÖRPINGHAUS, K.R., 1984: Solair I: Erfahrungen mit dem Sonnenkraftflugzeug. Aerokurier 4/1984, Pg. 402-406.
- MARZINZIK, G., 1984: Muscalair – Fliegen mit Muskelkraft. Günter Rochelt: Erfolg mit Design. Aerokurier 7/1984, Pg. 792-795.
- MARZINZIK, G., 1984: Erster Passagierflug per Muskelkraft. Muscalair I überrascht mit Leistungsreserven.
- SCHÖBERL, E., 1980: Solair I: Das erste deutsche Solarflugzeugflight. Aerokurier 4/1981, Pg. 463-465.
- SCHÖBERL, E., 1984: Muscalair gewinnt Kremer-Speedpreis. Um Sekunden den Amerikanern davon geflogen. Aerokurier 9/1984, Pg. 988-989.
- SHERWIN, K., 1971: Man-Powered Flight. Model Acried Publications Ltd. Hemel Hempstead G.B., Pg. 71.
- TOBIAS, L.J. 1984: The Flight of The Bionic Bat Human Power Vol. 3, No. 1, Spring 1984, Pg. 3-6.