

Canard-Flugzeug „Black Witch“ Ultra Light

Hans Ulrich Stalder / Visit www.quantophon.com

Die „Black Witch“ ist ein Eigenbauflugzeug. Bis auf wenige Teile wird dieses Flugzeug aus handelsüblichen Teilen zusammengebaut. Alles Wissenswerte zum Bau wird mit dieser Dokumentation vermittelt. Für den Zusammenbau der Einzelteile wird nur wenig Raum benötigt. Mit etwas handwerklicher Begabung kann der Traum vom Fliegen also realisiert werden.

Ursprünglich wurde dieses Flugzeug nur für den elektrischen Antrieb konzipiert. Alternativ ist der Betrieb aber nun auch mit einem Verbrennungs-Motor möglich. Bei der günstigsten Variante belaufen sich die Direktausgaben auf etwa 20'000 Euro. Die „High-End“ Version, nämlich elektrisch angetrieben und trotzdem nur mit wenig Gewicht, kommt auf etwa 80'000 Euro. Dazwischen sind je nach persönlichen Präferenzen viele Zwischenstufen möglich.



Dieses Flugzeug ist rein theoretischer Natur. **Ein Bauen nach dieser Vorlage wird zum jetzigen Entwicklungsstand nicht empfohlen.** Es ist nicht bestätigt, dass dieses Flugzeug weder fliegt noch den Sicherheitsnormen entspricht. Konstruktive Hinweise werden aber gerne entgegengenommen.

Inhaltsverzeichnis

Haftungsausschluss / Disclaimer.....	4
Hyperlinks.....	4
Urheberrecht / Copyright.....	4
Geschäft-Modell.....	4
1. „Black Witch“ in Übersicht.....	5
2. Technische Daten.....	8
Allgemeine Daten (ohne Gewähr).....	8
Verbrennungsmotor Antriebssystem	9
3. Flugleistungsdaten.....	10
Berechnungsprogramm zur Flugleistungsberechnung.....	10
Auszug aus den Berechnungsergebnissen.....	10
ENTEX Canard Berechnungsprogramm.....	11
Eingabewerte und Berechnungsergebnisse Elektro-Antrieb.....	11
Eingabewerte und Ergebnisse Verbrennungs-Antrieb mit Alu-Rumpf.....	14
4. Flügeldaten.....	15
Canard-Flügel	15
Haupt-Flügel	16
5. Vermassung.....	17
Frontsicht	17
Seitenansicht	17
Draufsicht	18
6. Benötigtes Material, Gewicht und Zirka-Preis.....	19
Allgemeine Artikel	19
High-End elektrisches Antriebssystem.....	20
Kostengünstiges elektrisches Antriebssystem.....	20
Verbrennungs-Motor.....	20
Rumpf in CFK gefertigt (Typ „Black Witch“.....	20
CFK Rumpf Daten.....	21
Herstellung der Holme	22
Material Holm Hauptflügel	22
Material Holm Canardflügel.....	22
Holm Konstruktion	23
Die Rippen-Konstruktion in Übersicht.....	25
Kostengünstiger Pilotensitz.....	27
Flügel-Konstruktion	28
7. Benötigte Apparaturen.....	29
Alternative zum Höhenmesser.....	30
8. Bauvorbereitung.....	31
Sicherheitshinweis.....	31
Werkplatz einrichten	31
Allgemeines Wissen	32
Schwerpunkt feststellen.....	32
Kleine Einführung in Faserverbund-Werkstoffe (CFK)	32
9. Bauvorbereitungen	35
Sicherheitshinweis.....	35
Werkplatz einrichten	35

Benötigtes Arbeitsmaterial	36
Rippen-Anordnung	38
Die Flügel Seilzüge.....	39
10. Zusammenbau der „Black Witch“	40
Flügelmontage.....	40
11. Erste Testflüge, respektive Fahrt.....	42
12. Fliegen.....	43
13. Fragen und Antworten.....	44
14. Ausblick.....	46
15. Persönliches Nachwort an Ungehorsame.....	47

Haftungsausschluss / Disclaimer

Für fehlerhafte und korrekte Angaben und deren Folgen kann weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernommen werden.

Hyperlinks

Ich distanziere mich hiermit ausdrücklich von allen Inhalten aller verlinkten Seiten und mache mir diese Inhalte nicht zu eigen. Diese Erklärung gilt für alle angezeigten externen Links und für alle Inhalte fremder Seiten, zu denen in diesem Dokument sichtbare Banner, Buttons und sonstige Verweise führen.

Urheberrecht / Copyright

Urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Diese Dokumentation darf kopiert und weitergeleitet werden solange keine kommerziellen Absichten dahinter stehen. Kopieren von Bildern und Text für gewerbliche Zwecke bedarf einer schriftlichen Genehmigung.

Im Zusammenhang mit einem Canard-Flugzeug, wo ersichtlich ist, dass dessen Ursprung diesen hat, sind die beiden Begriffe „Black Witch“ und „Silver Ghost“, auch in andere Sprachen übersetzt, urheberrechtlich geschützt. Eine Benutzung derselben ist für Eigenbauer frei, andernfalls bedarf es einer schriftlichen Genehmigung.

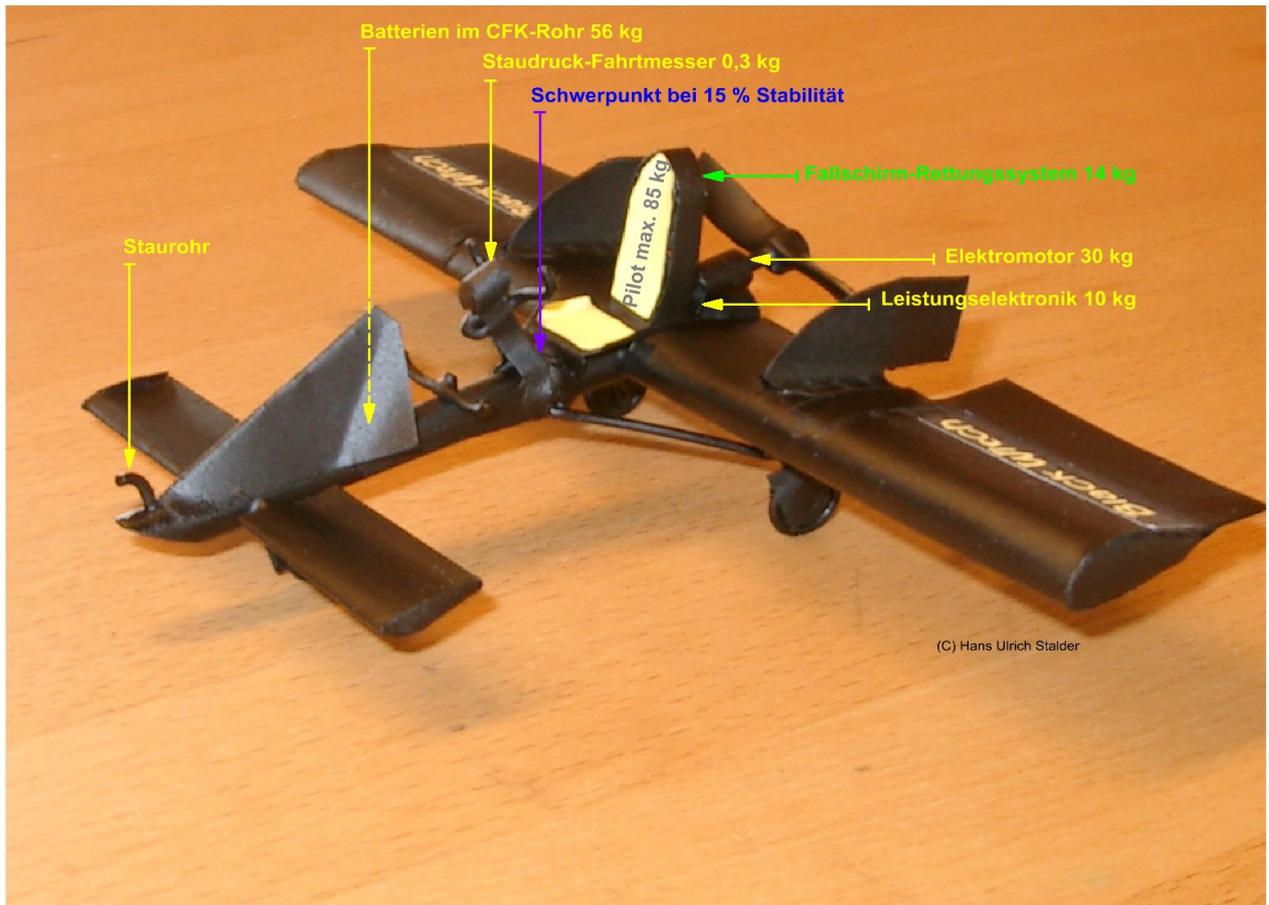
Bilder, Daten und Dokumente die in diesem Werk mit einer Quellenangabe versehen sind oder offensichtlich ist, dass diese Daten nicht der geistigen Schöpfung des Urhebers von diesem Werk entsprungen sind, sind ebenfalls ausgenommen. In den vorliegend aufgezählten Fällen gelten die Bestimmungen des Ursprungs.

Geschäft-Modell

Für dieses Projekt gibt es kein Geschäfts-Modell. Es wurde ausschliesslich für den Selbstbau privater Personen und Interessengemeinschaften ohne kommerzielle Absichten entwickelt.

1. „Black Witch“ in Übersicht

Die „Black Witch“ ist ein CFK-Rohr das fliegerisch „geritten“ wird. Alle zum Fliegen notwendigen Zubehörteile sind an diesem Rohr angelegt. Gestartet wird auf betonierter Piste. Gelandet wird auf ebenem harten Gelände oder wieder auf betonierter Piste.



Die Prioritäten von diesem Flugzeug liegen in seiner Einfachheit. Es hat wenig Eigengewicht und überzeugt durch das äussere Erscheinungsbild. Hohe Flugleistung und andere flugtechnischen Finessen haben sekundäre Priorität. Oder anders ausgedrückt, das Flugzeug entstand im Spannungsfeld von Flugphysik, Flugeigenschaft, Gewicht, Preis, Ästhetik und Machbarkeit. Das Hauptziel aber ist, dass Jedermann/Frau dieses Flugzeug selber bauen kann und wie ein Motorrad fahren, respektive fliegen kann.

Damit kein Stress aufkommt, ist für das vorliegende Flugzeug im Minimum mit einem Arbeitsaufwand von zirka 200 Stunden über ein Jahre verteilt zu rechnen. Bei konventionellen motorisierten Eigenbau-Starrflügler rechnet man von 500 bis 2000 Arbeitsstunden (zB. beim ULF-2 in Holzbauweise). Für ein Eigenbau-Flugzeug muss die Eigenleistung mehr als 50% betragen. Dabei ist mit einer Gesamtbauzeit von etwa fünf Jahren zu rechnen (dies ist aber sehr individuell). Auch bei diesem Flugzeug spielt die individuelle Komponente eine grosse Rolle, dazu kommen die Lieferfristen der Zulieferer.

Die elektrisch angetriebene Variante wurde zwischenzeitlich aufgegeben. Dafür verantwortlich war der amerikanische Hersteller der die dazu benötigten Komponenten nicht anbieten sollte. Will also mit diesem ins Geschäft gekommen werden, kommt der Überzeugungsaufwand dazu ihn zur Mitarbeit zu bewegen. Dieser kann im vorliegenden Fall sehr langwierig sein – ausser man hinterlegt schon mal ein paar Euros (siehe nachfolgenden Auszug aus unserer Korrespondenz – was Betragsmässig sicher nur eine Abschreckungstaktik ist).

... In consequence, we unfortunately will not be able to help you in your project, unless we can study the complete package and you can absorb the NRCs ¹ that are about 2 to 3 million euros. ...

Dies war natürlich „saftige“ Post für mich. Zum Glück konnte ich in Deutschland jemand finden, der ebenfalls eine Gesamtlösungen anbietet und Zusammenarbeit signalisierte.

Ausser wenn speziell erwähnt, beziehen sich die folgenden Berechnungen auf die elektrisch angetriebene Variante mit den ursprünglichen Leistungsdaten. Diese Dokumentation beinhaltet aber notgedrungen, wenigstens Ansatzweise, zusätzlich den Antrieb mit Verbrennungsmotor analoger Leistung. Um das fehlende Gewicht im Akku-Bereich zu kompensieren muss dann der Pilotensitz weiter nach vorn verlegt werden, oder - man baut einen Zweisitzer.

¹ Steht wahrscheinlich für „Non-Repayable Credits“ (nicht rückzahlbarer / zurückerhaltender Kredit)

Um mit den verfügbaren Mittel die Machbarkeit und das Flugverhalten von diesem Canard-Flugzeug auszuloten wird vorerst eine Aluminium-Konstruktion gebaut - die „Silver-Ghost“. Die Dokumentation dazu ist unter folgendem Link abrufbar:

[http://www.quantophon.com/\\$Canard-Eigenbau-Silver-Ghost.pdf](http://www.quantophon.com/$Canard-Eigenbau-Silver-Ghost.pdf)

2. Technische Daten

Allgemeine Daten (ohne Gewähr)

Flugzeugname	„Black Witch“
Flugzeugtyp	Starrflügler Ente
Flugzeug-Klasse	Ultra Light (UL)
Steuerung	aerodynamisch
Antriebssystem	Elektrisch oder Verbrennungs-Motor
Besatzung Elektro-Antrieb Sitz-Pos. auf 2700 mm	1, Pilot-Gewicht 65 kg bis 85 kg
Besatzung Verbrennungs-Antrieb ²	1, Pilot-Gewicht 65 kg bis 85 kg
MTOW	300 kg
Leermasse elektrisch angetrieben	215 kg; = bei V-Antrieb + Alu-Rumpf
Maximale Zuladung	85 kg
Kabine	offene Auslegung
Bodensteuerung	Schwenkrad vorn mit Seitensteuerung gekoppelt
Rumpflänge, resp. Rohrlänge	4 m
Sitzhöhe	1,1 m
Gesamtlänge flugbereit	4,5 m
Spannweite	6,85 m (sprich 7 Meter)
Haupt-Flügelfläche	7,7 m ²
Hauptflügel mittlere Streckung	6,1
Leitwerksart	Canard Pendelleitwerk
Canard-Flügel Spannweite	3,3 m
Canard-Flügelfläche	1,5 m ²
Canard-Flügel Streckung	6,5
Querruderfläche	1,8 m ²
Flächenbelastung	37 kg/m ²
Feststehende Seitenruderfläche 2 x	0,15 m ²
Seitenruderfläche beweglicher Teil 2 x	0,3 m ²
Seitenruderfläche gesamt	0,9 m ²
Luftschraube	Klapp-Propeller hinten Ø 2 m
Stand breite (Flügel demontiert)	0,8 m
Aussenflügel demontiert, Länge je	2,6 m
Standhöhe flugbereit	2,3 m
Federung vorn	nur Schlagabsorbierung;
hinten	Einzelradaufhängung
Bremssystem	Einzelradbremse hinten

² Beim Verbrennungsmotor liegt die Sitzposition vom Pilot bei 70 kg auf Millimeter 1700 und verschiebt sich pro 5 kg weniger um 7 Zentimeter nach vorn, respektive bei 5 kg Mehrgewicht um 7 Zentimeter nach hinten.

Abhebebeschwindigkeit	65 km/h ³
Zulässige Höchstgeschwindigkeit	140 km/h
Reisegeschwindigkeit	≈ 95 km/h bei 40 kW (54 PS)
Bestes gleiten	≈ 113 km/h
Geringstes sinken	≈ 90 km/h
Abrissgeschwindigkeit (Stall)	≈ 50 km/h (Abhebebeschw. / 1,3)
Maximale Reichweite elektrisch	≈ 110 km
Steigwinkel	≈ 6°
Startrollstrecke Betonpiste	≈ 110 m
Startrollstrecke über ein 50 ft Hindernis	≈ 300 m
Flugdauer elektrisch	≈ 70 Minuten

Elektrisches Antriebssystem

Elektroantrieb LANGE EM42 DC/DC Bürstenlos 42 kW / 30 kg / Aussenläufer
190V bis 288 V / Nenndrehzahl 1500 U/min / Max. Drehzahl 1700 U/min

Leistungselektronik	10 kg
Batterien-Rost im CFK-Rohr	D:230 x L:900 / 5 x 14 Batterien
Batterien-Gewicht	56 kg
72 Stk. Batterie SAFT VL 27M	Li-Ion (Lithiumionen-Akku)
Spannung	255 V (Serienschaltung)
Leerlaufspannung	3,6 V
Max. Andauernden Entladestrom	110 A (berechnet kurzzeitig 156 A)
Leistung	40 A/h
Durchmesser	54,3 mm
Länge	163 mm

Verbrennungsmotor Antriebssystem

Der Hirth-Motor 3503 E/V ist ein wassergekühlter, membrangesteuerter 2-Zylinder-Reihen-2-Taktmotor (Technische Änderungen vorbehalten).
51,5 kW (70 PS) bei 6500 1/min,
Flüssigkeitskühlung, 36 kg mit Schalldämpfer, Anbauteilen und Wasser im Motor.
Der optionale Elektro-Starter ist zwingend notwendig.

3 Ab hier sind alles nur Schätzungen.

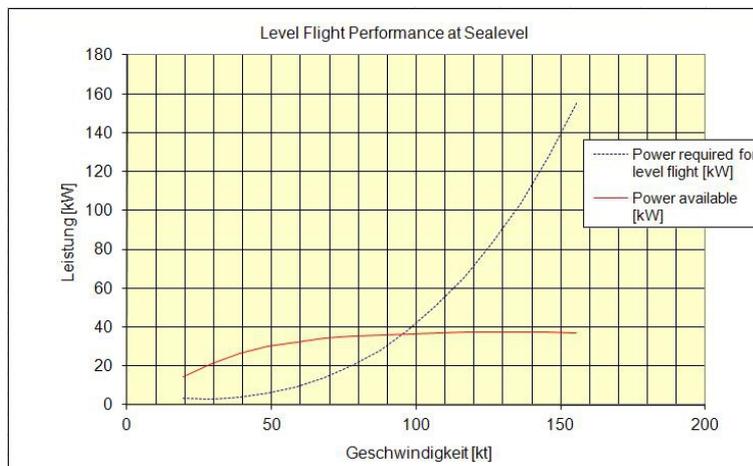
3. Flugleistungsdaten

Berechnungsprogramm zur Flugleistungsberechnung

Von kompetenter Seite wurde das zugrunde liegende Berechnungs-Programm freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Das Programm sieht Enten-Flügler nicht vor. Daher sind die Ergebnisse sehr bedacht zu interpretieren. Es gibt aber gute Anhaltspunkte. Diverse anderweitig gemachte Erkenntnisse und Vergleiche konnten zumindest untermauert werden. Es wurde darauf geachtet, dass unbestimmte Parameter-Größen eher auf die sichere Seite zu liegen kamen.

Auszug aus den Berechnungsergebnissen

Startrollstrecke	110 m
Startrollstrecke über ein 50 ft Hindernis	300 m
Abhebegeschwindigkeit	65 km/h
Triebwerksschub	1370 N
Propellerwirkungsgrad	0,5



Mit dem Verbrennungs-Motor verbessern sich, je nach eingesetztem Motor und Tankgrösse die Reichweite, Steigwinkel, Flugdauer, etc.

ENTEX Canard Berechnungsprogramm

Excel-Programm zur Berechnung von Entenflugzeugen im Modellmasstab - nicht kommerzielle Verwendung (www.modell-aviator.de).

Eingabewerte und Berechnungsergebnisse Elektro-Antrieb

2. Eingabe der Abmessungen

Projekt: Black Witch

2.1. Tragflügel		Innenflügel	Außenflügel	
Innentiefe	t_i	100.0	134.0	cm
Außentiefe	t_a	100.0	134.0	cm
Halbspannweite	s	186.0	148.5	cm
Pfeilwinkel Vorderkante	ϕ_i	0.0	0.0	Grad
V-Winkel je Fläche (oben + / unten -)		0.0	0.0	Grad

2.2. Winglets		Oberteil	Unterteil	
Innentiefe	t_i	0.0	0.0	cm
Außentiefe	t_a	0.0	0.0	cm
Höhe	h_w	0.0	0.0	cm
Pfeilwinkel Vorderkante	ϕ_i	0.0	0.0	Grad
Neigung gegen die Senkrechte		0.0	0.0	Grad

2.3. Canard			
Innentiefe	t_i	50.0	cm
Außentiefe	t_a	50.0	cm
Halbspannweite	s_i	150.0	cm
Pfeilwinkel Vorderkante	ϕ_i	0.0	Grad
Mittlere Klappentiefe	t_w/t	50	
V-Winkel (oben + / unten -)		0	Grad

2.4. Rumpfanordnung			
Rumpflänge gesamt	l_R	420.0	cm
Breite Nasenbereich	b_{RN}	27.0	cm
Breite am Canard	b_{RC}	27.0	cm
Breite am Tragflügel	b_{RF}	27.0	cm
Breite am Heck	b_{RH}	27.0	cm
Rumpfhöhe am Tragflügel	h_R	88.0	cm
Vorderkante Canard	x_C	30.0	cm
Vorderkante Tragflügel	x_F	300.0	cm
Vorderkante Winglet	x_W	0.0	cm
y-Position Winglet	y_W	0.0	cm
Höhenversatz Canard-Flügel	h_C	-5.0	cm
Faktor Rumpfform	k_R	0.14	
Längsstabilität		15%	
Höhenanordnung Flügel		2	Auswahl

Darstellung

x-Verschiebung Canard	0.0 cm
y-Verschiebung Canard	0.0 cm
x-Verschiebung Winglet	0.0 cm
y-Verschiebung Winglet	0.0 cm

(Die Verschiebungen betreffen nur die Anordnung auf dem Bild)

- Roter Kreis: Schwerpunkt eines Bauteils
- ◆ Gelbe Raute: Neutralpunkt einer Fläche
- ▭ Hellblaue Kontur: Aerodynamischer Ersatzflügel
(Gleicher Flächeninhalt, gleiches Moment, gleicher Neutralpunkt)

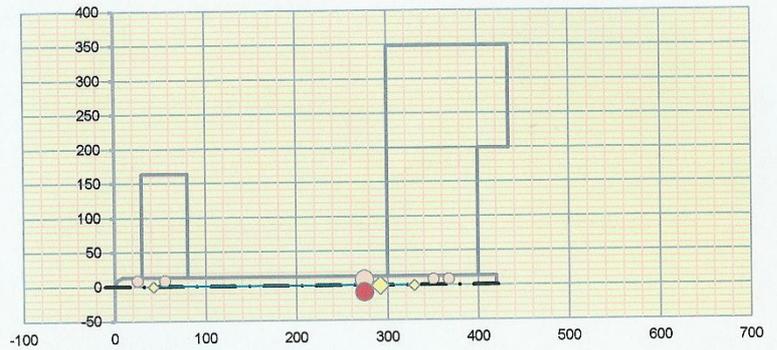
Hinweis:
 Wenn der Außenflügel im Entwurf nicht vorkommt, dann müssen die folgenden Werte eingesetzt werden:
 t_i Außenflügel = t_a Innenflügel
 t_a Außenflügel = t_a Innenflügel
 s Außenflügel = 0

Frontansicht siehe Blatt 10

2.5. Flächeninhalte		
Fläche Tragflügel	F_F	76998 cm ²
Fläche Canard	F_C	15000 cm ²
Fläche Bezugsflügel	F_{Bez}	79595 cm ²
Fläche Winglets	F_{Wl}	0 cm ²
Fläche Rumpfquerschnitt	F_R	1866 cm ²
Flächenverhältnisse	F_C/F_F	19.5%
	F_F/F_{Bez}	96.7%
	F_C/F_{Bez}	18.8%
	F_{Wl}/F_{Bez}	0.0%
	F_R/F_{Bez}	2.3%

2.6. Abmessungen		
Länge über alles	L	420.0 cm
Spannweite Tragflügel	b_F	696.0 cm
Spannweite Canard	b_C	327.0 cm
Abstand der Neutralpunkte	l_{ac}	286.5 cm
Flugzeug-Neutralpunkt (*1)	X_H	37.4 cm
Flugzeug-Schwerpunkt (*2)	X_a	54.9 cm

2.7. Flächen-Interferenz		
Interferenzflächenanteil	F_w	31400 cm ²
	F_w/F_F	0.41
Abwindgradient	d_{aw}/d_a	0.26 1/Grad
Schätzwert Abwindfaktor	$k_{aw,1}$	0.84
Aufwindgradient	d_{aa}/d_a	0.11 1/Grad
Schätzwert Aufwindfaktor	$k_{aa,1}$	1.07
Flügel-Neutralpunkt (*3)	X_{acF}	329.0 cm
Flächenbelastung	G/F_{Bez}	339 N/m ²



Darstellung	Symbol	Bedeutung
	Kleine hellrote Kreise	Teilschwerpunkte
	großer hellroter Kreis	gebauter Schwerpunkt
	großer roter Kreis	Soll-Schwerpunkt
	kleine gelbe Rauten	Teil-Neutralpunkte
	große gelbe Raute	Gesamt-Neutralpunkt

- (*1) gemessen vom Flügel-Neutralpunkt nach vorne
- (*2) gemessen vom Flügel-Neutralpunkt nach vorne
- (*3) gemessen von Null-Linie

Zum Ausdrucken:
Nur Seite 1 und 2, Rest sind Blindseiten

3. Flugzeugmasse und Schwerpunktlage									
Projekt: Black Witch					Einbauort ab Rumpfspitze				
Bauteil	Auswahl		Faktor Bauart	Gramm g	Vorschlag cm	anders eingeben cm	% I _R	m _{Teil}	m _{Teil} mal X _{Teil}
	x	Anzahl							
GFK-Rumpf		0	0.05	1071	210		50%	0	0
Holzrumpf		0	0.10	2083	210		50%	0	0
Anderer Rumpf	x	1		7000	210	220	52%	7'000	1'540'000
Tragflügel									
Innenflügel	Der Baufaktor kann		1.00	10974	330		79%	10'974	3'624'251
Außenflügel	gewählt werden		1.10	15817	347		83%	15'817	5'492'552
Canard	0,8 sehr leicht		0.90	2447	55		13%	2'447	134'578
Winglets	1,2 schwer		0.00	0	25		6%	0	0
Steuerung									
		Anzahl		Masse (g)					
Servo Canard		1	1	1	1	53		13%	1 53
Servo Querruder		1	1	1	1	329		78%	1 329
Servo Seitenruder		1	1	1	1	329		78%	1 329
Servo Motor		1	1	1	1	400		95%	1 400
Servo Bugrad		1	1	1	1	53		13%	1 53
Servo Hauptrad		1	1	1	1	329		78%	1 329
Sonstige Servos		0	1	1	0			0%	0 0
Empfänger		1	1	1	1	210	130	31%	1 130
E-Regler		0	1	1	0	400		95%	0 0
Rudernanlenkungen		1	1	1	1	210		50%	1 210
Empfänger-Akku		1	1	1	1	210	130	31%	1 130
Sonstiges	x	1	1	80000	80000	210	270	64%	80'000 21'600'000
Antrieb									
		Anzahl		Masse (gr)					
E-Motor mit Propeller	x	1	1	50000	50000	410	345	82%	50'000 17'250'000
V-Antrieb mit Propeller		1	1	30000	30000	405	400	95%	30'000 12'000'000
Tank leer		1	1	100	100	347		83%	100 34'726
Tankfüllung		1	1	250	250	347		83%	250 86'815
Akkuzellen	x	1	72	840	60480	210	135	32%	60'480 8'164'800
Fahrwerk									
Bugfahrwerk	x	1		1300	1300	55	50	12%	1'300 65'000
Hauptfahrwerk	x	1		9000	9000	329	380	90%	9'000 3'420'000
Zubehör									
Kabine		1		1000	1000	140	200	48%	1'000 200'000
Sonstiges	x	1	1	1600	1600		300	71%	1'600 480'000
Bleizugabe									
		ganz vorn		0		10	0	0%	0 0
		ganz hinten		0		415	0	0%	0 0
								269'977	74'094'684
Soll-Schwerpunkt		274	cm	alles paßt					
Ist-Schwerpunkt		274	cm						
Masse (gerundet)		270'000	g						
Anteil Trimm-Masse		0%							
<p>Anleitung:</p> <p>Die wesentlichen Einbauteile sind aufgezählt und können mit einem "x" ausgewählt werden.</p> <p>Der Einbauort der Komponenten ist entsprechend der wahrscheinlichen Anwendung vorgeschlagen</p> <p>Eine andere x-Position als der vorgeschlagene Einbauort kann in der Spalte rechts daneben eingegeben werden.</p> <p>Ein anderes Gewicht der Komponente kann durch überschreiben eingegeben werden.</p> <p>Eingaben sind nur in den grünen Feldern möglich.</p> <p>Der gerechnete Schwerpunkt ist gemessen ab der Rumpfspitze.</p>									

Eingabewerte und Ergebnisse Verbrennungs-Antrieb mit Alu-Rumpf

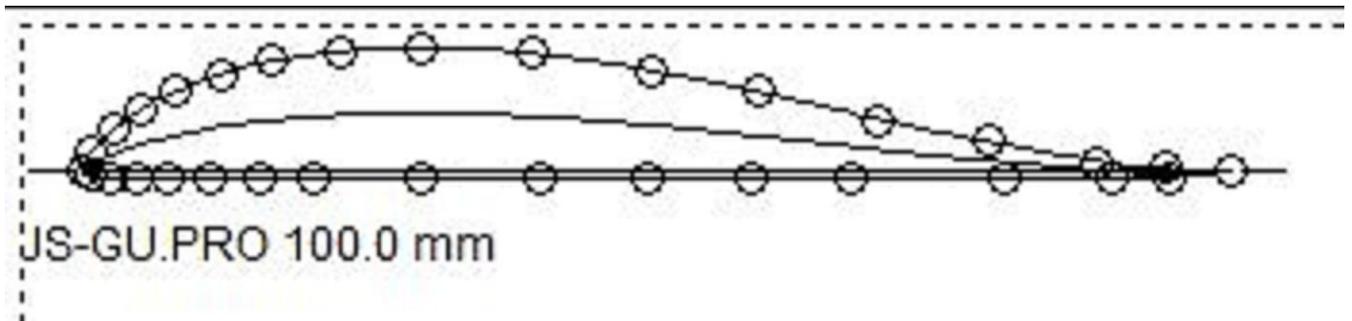
Powered by
Modell AVIATOR

Modell AVIATOR
Test und Technik für den Modellflug-Sport

3. Flugzeugmasse und Schwerpunktlage										
Projekt: Silver Ghost Benzin Mot.										
Bauteil	Auswahl x	Anzahl	Faktor Bauart	Gramm g	Einbauort ab Rumpfspitze		% I _R	m _{Teil}	m _{Teil} mal X _{Teil}	
					Vorschlag cm	anders eingeben cm				
GFK-Rumpf		0	0.05	923	200		50%	0	0	
Holzrumpf		0	0.10	1781	200		50%	0	0	
Anderer Rumpf	x	1		10500	200	210	53%	10'500	2'205'000	
Tragflügel										
Innenflügel	Der Baufaktor kann gewählt werden		1.00	10974	330		83%	10'974	3'624'251	
Außenflügel			1.20	17255	347		87%	17'255	5'991'875	
Canard	0,8 sehr leicht		0.90	2447	55		14%	2'447	134'578	
Winglets	1,2 schwer		0.00	0	25		6%	0	0	
Steuerung										
		Anzahl	Masse (g)							
Servo Canard		1	1	1	53		13%	1	53	
Servo Querruder		1	1	1	329		82%	1	329	
Servo Seitenruder		1	1	1	329		82%	1	329	
Servo Motor		1	1	1	380		95%	1	380	
Servo Bugrad		1	1	1	53		13%	1	53	
Servo Haupttrad		1	1	1	329		82%	1	329	
Sonstige Servos		0	1	1	0		0%	0	0	
Empfänger		1	1	1	200	130	33%	1	130	
E-Regler		0	1	1	380		95%	0	0	
Ruderanlenkungen		1	1	1	200		50%	1	200	
Empfänger-Akku		1	1	1	200	130	33%	1	130	
Sonstiges	x	1	1	70000	70000	200	41%	70'000	11'410'000	
Antrieb										
		Anzahl	Masse (gr)							
E-Motor mit Propeller		1	1	50000	50000	390	345	86%	50'000	17'250'000
V-Antrieb mit Propeller	x	1	1	38000	38000	385	380	95%	38'000	14'440'000
Tank leer	x	1	1	1000	1000	347	320	80%	1'000	320'000
Tankfüllung	x	1	1	30000	30000	347	320	80%	30'000	9'600'000
Akkuzellen		1	1	7000	7000	200	50	13%	7'000	350'000
Fahrwerk										
Bugfahrwerk	x	1		2800	2800	55	50	13%	2'800	140'000
Hauptfahrwerk	x	1		15000	15000	329	380	95%	15'000	5'700'000
Zubehör										
Kabine	x	1		1000	1000	133	50	13%	1'000	50'000
Sonstiges	x	1	1	20000	20000		220	55%	20'000	4'400'000
Bleizugabe										
		ganz vorn		0		10	0	0%	0	0
		ganz hinten		0		395	0	0%	0	0
								275'985	75'617'636	
Soll-Schwerpunkt		274	cm	alles paßt						
Ist-Schwerpunkt		274	cm							
Masse (gerundet)		276'000	g							
Anteil Trimm-Masse		0%								
<p>Anleitung:</p> <p>Die wesentlichen Einbauteile sind aufgezählt und können mit einem "x" ausgewählt werden.</p> <p>Der Einbauort der Komponenten ist entsprechend der wahrscheinlichen Anwendung vorgeschlagen</p> <p>Eine andere x-Position als der vorgeschlagene Einbauort kann in der Spalte rechts daneben eingegeben werden.</p> <p>Ein anderes Gewicht der Komponente kann durch überschreiben eingegeben werden.</p> <p>Eingaben sind nur in den grünen Feldern möglich.</p> <p>Der gerechnete Schwerpunkt ist gemessen ab der Rumpfspitze.</p>										

4. Flügeldaten

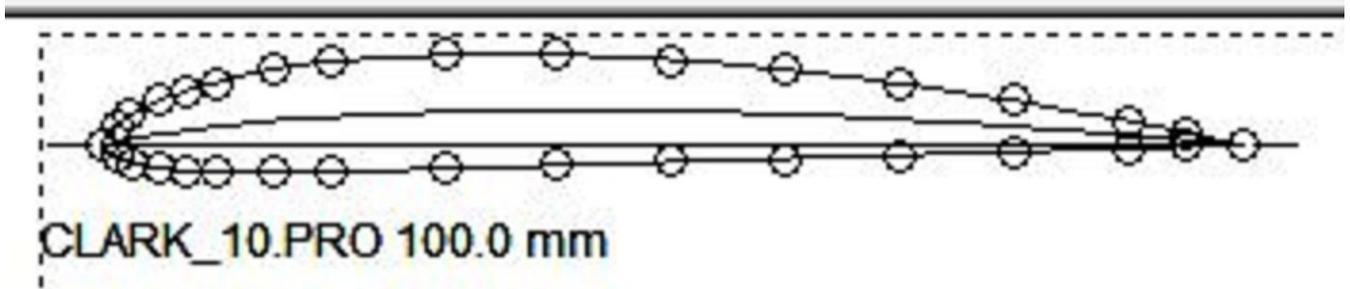
Canard-Flügel



Flügelprofil	JS-GU (S-Schlagprofil)
Spannweite	3,3 m
Flügelform	rechteckig
Randbögen	keine
Profildicke	50 mm
Dickenrücklage	120 mm
Neutralpunktlage	100 mm
Randbögen	keine (gerader Abschluss)

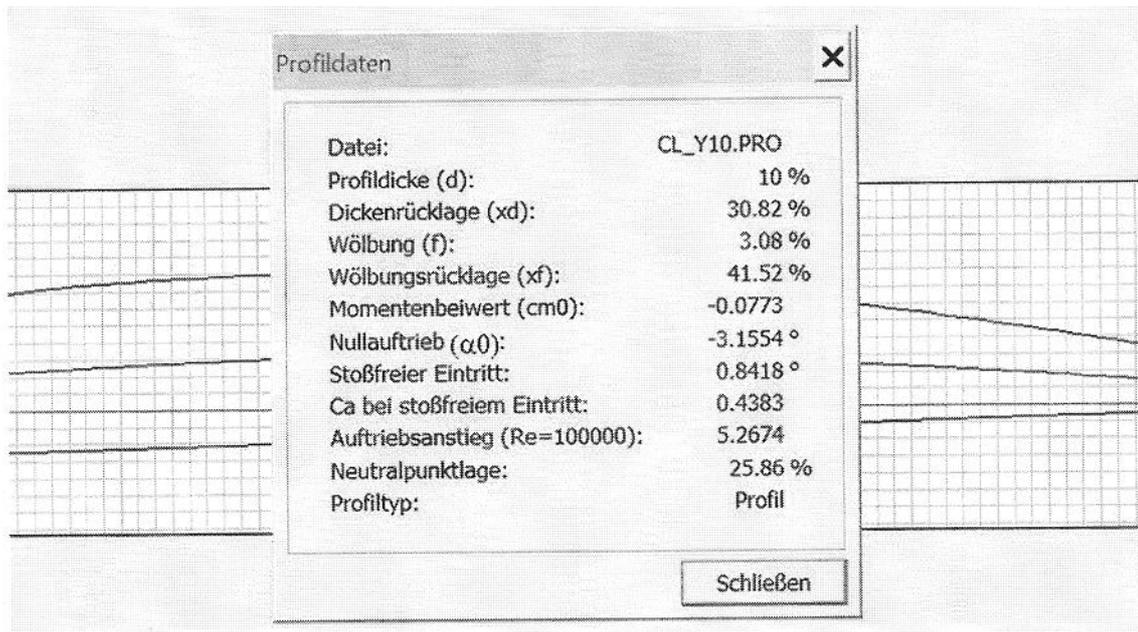


Haupt-Flügel



Flügelprofil
Spannweite
Flügelform
Randbögen
Ruderklappen

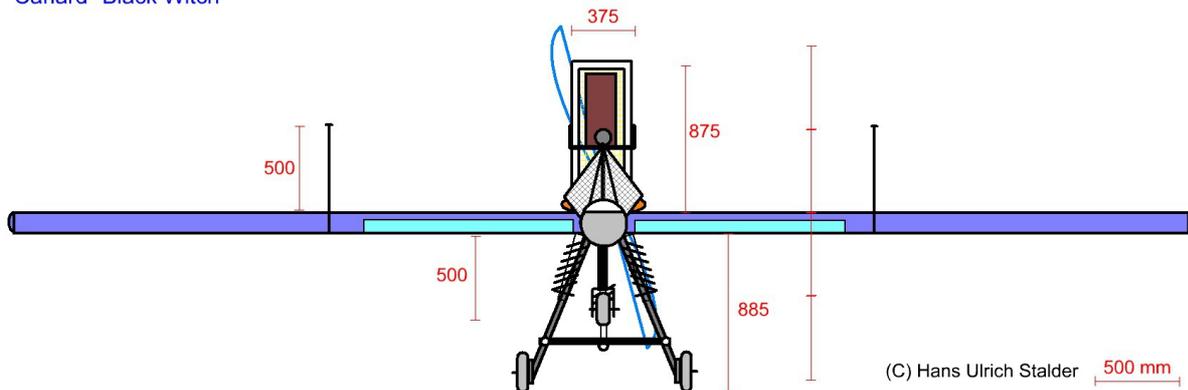
Clark Y10
7 m
rechteckig
keine (gerader Abschluss)
angehängte CFK-Platten



5. Vermassung

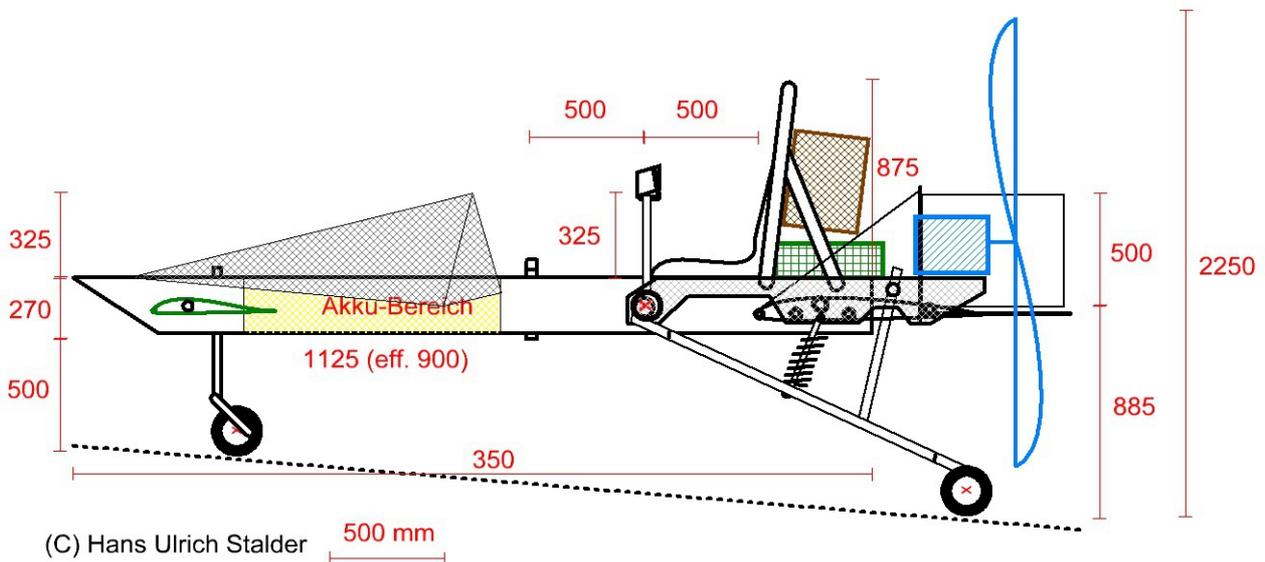
Frontsicht

Canard "Black Witch"



Spannweite 6,85 Meter

Seitenansicht

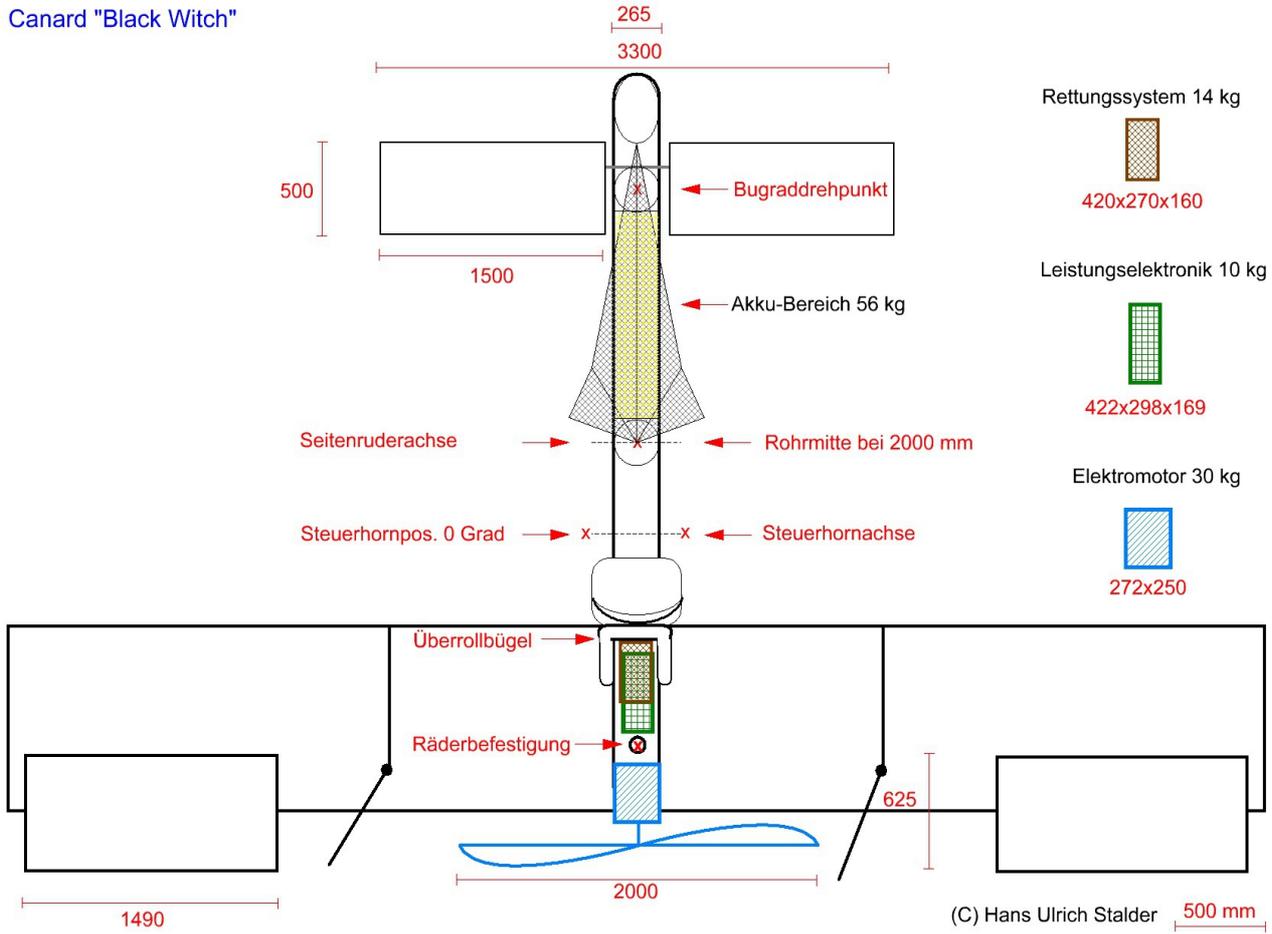


Gesamtlänge 4,5 Meter

Mit dem Verbrennungs-Motor als Antrieb verschiebt sich der Pilotensitz zirka um einen Meter nach vorn. Davor ist die Anlasser-Batterie (zwingend) zu platzieren. Der Treibstofftank muss über dem Flügel platziert werden.

Draufsicht

Canard "Black Witch"



6. Benötigtes Material, Gewicht und Zirka-Preis

Hinweis: Gewicht und Preis können von der Angabe abweichen, daher ohne Gewähr. Der Preis ist Wechselkurs abhängig und nicht zwingend beim selben Lieferant und Hersteller gefunden. Dort wo kein Einzel-Preis eingetragen ist liegt nur ein Schätzpreis vor.

Allgemeine Artikel

Benötigte Menge	Beschreibung	Lieferant / Hersteller	Gew. in kg	Einzel-Preis	Total Euro
1 Stk	Pilotensitzhalterung, Sicherheitsgurt, Motoraufhängung, Überrollbügel, Vorderrad mit Bremse, Radaufhängung hinten mit Federung, Seiten- und Querruder-Ansteuerung, alles in Alu, siehe „Silver Ghost“ als Ausgangslage	Lokaler Baubedarf	20		500
1 Stk	Windschutz-Alu-Platten 1000x600m (diagonal auftrennen und in Form biegen); alternativ können auch CFK-Platten eingesetzt werden (Abwägung von Preis und Gewicht)	Lokaler Baubedarf	1		100
1 Stk.	2-Blatt-Klapp-Druckschraube (nur bei V-Motor separat) EU 300; 2 kg	http://ul-shop.com			0
1 Stk.	Steuerhorn, Mechanik und Ruderansteuerung	Eigenbau	3		100
1 Stk.	Alu-Stuhl (siehe Bild)	Lokales Gartencenter	1		40
1 Stk.	Sitzkissen Sito 41 cm oder 44 cm breit	www.kuhnbieteri.ch	0	40	40
1 Stk.	Fallschirm Galaxy Rescue System (GRS5/450) „Soft B-B2“ R		13	800	800
1 Stk	Staudruck-Fahrtmesser Falcon Gauge ASI (D:80 mm)		1	170	170
1 Stk.	Querneigungsmesser Winter oder kombiniert mit Kompass und Fluglage-Anzeige	www.winter-instruments.de www.flugversand.de	0	250	250
X	Diverses (Griffe, Kabelzüge, etc.) und Vergessenes		2		500
Total Teilkonstruktion			41		2500

High-End elektrisches Antriebssystem

Benötigte Menge	Beschreibung	Lieferant / Hersteller	Gew. in kg	Einzel-Preis	Total Euro
1 Stk.	Elektromotor DC/DC für Schub-Propeller	www.saftbatteries.com	30		10000
72 Stk.	Li-Ion Batterien	www.saftbatteries.com	56	15000	15000
1 Stk.	Komplettes Batterie-System (Leistungselektronik, Ladegerät, Temperaturüberwachung)	www.saftbatteries.com	15		10000

Kostengünstiges elektrisches Antriebssystem

Benötigte Menge	Beschreibung	Lieferant / Hersteller	Gew. in kg	Einzel-Preis	Total Euro
1 Stk.	Gesamtlösung inkl. Propeller	www.electricsports.de	50		12000

Verbrennungs-Motor

Benötigte Menge	Beschreibung	Lieferant / Hersteller	Gew. in kg	Einzel-Preis	Total Euro
1 Stk.	Hirth-Motor 3503 V (gebraucht) 51,5 kW (70 PS) bei 6500 1/min	http://delta-mike.pair.com	36		4000

Rumpf in CFK gefertigt (Typ „Black Witch“)

Benötigte Menge	Beschreibung	Lieferant / Hersteller	Gew. in kg	Einzel-Preis	Total Euro
4,8 m	CFK-Rohr (Rumpf), D-aussen: 264 – dreilagig und Gewicht optimiert, gemäss separatem Anforderungskatalog	www.carbon-grossbauteile.com	3	7200 ⁴	3100

⁴ Dieser Preis bezieht sich auf den Prototypen, die folgenden Rohre kosten nur noch zirka 3000 Euro. Wenn aber jemand die „Black Witch“ schon mit Alu-Rumpf geflogen hat und als erster den CFK-Rumpf bestellt, würde ich die 4200 Euro vorfinanzieren und pro ausgelieferten Rumpf mir dafür 100 Euro auszahlen lassen – dies mal als Absichtserklärung.

CFK Rumpf Daten

Genauere Angaben zur Bestellung liefert der Hersteller (www.carbon-grossbauteile.com) nach der ersten Bestellung.

Rohrdaten	
Menge	1 Stk.
Gesamtlänge mm	4000
Durchm. Da mm	265
Durchm. Di mm	261
Nachbearbeitung	
Schnitt	Diagonal-Abschnitt beim 3500 mm Rohrstück, von oben nach unten, von 0 mm auf 300 mm.

Herstellung der Holme**Material Holm Hauptflügel**

Swiss Composite R&G Schweiz, www.swiss-composite.ch entspricht in Deutschland R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH, Internet: www.r-g.de

Benötigte Menge	Beschreibung	Lieferant / Hersteller	Gew. in kg	Einzel-Preis	Total Euro
Stk. a 3x1m	CFK-Prepregrohr 3990.2002 A:60/I:56 1x900+(2x50); 2x(625+375); 560g/m Türkis	www.swiss-composite.ch	2	570	570
Stk. a 1x2m 2x1m 1x2m	CFK-Prepregrohr 3985.2002 A:55/I:51 2x750 -> 500 mm nach Hilfsholme; 2x875+2x125 1x2000 510g/m Blau	www.swiss-composite.ch	1	350	1400
Stk. a 1x2m 1x2m	CFK-Prepregrohr 3980.2002 A:50/I:46 2x2000; 2x750+1x250 -> 250 mm nach Hilfsholme; 465g/m Gelb	www.swiss-composite.ch	2	250	1000
Total Teilkonstruktion			5		2970

Material Holm Canardflügel

Benötigte Menge	Beschreibung	Lieferant / Hersteller	Gew. in kg	Einzel-Preis	Total Euro
2m	CFK-Prepregrohr 3990.2002 A:60/I:56 560g/m Türkis	www.swiss-composite.ch	2	570	1140
1m	CFK-Prepregrohr 3985.2002 A:55/I:51 510g/m Blau	www.swiss-composite.ch	1	350	350
1m	CFK-Prepregrohr 3980.2002 A:50/I:46 465g/m Orange	www.swiss-composite.ch	1	250	250
Total Teilkonstruktion			4		1740

Canard-Flügel: Aufbau gemäss Hauptholm-Konstruktion, siehe nächstes Bild.

Holm Konstruktion

Das Grundprinzip der Holm-Konstruktion sind ineinander und zusammen gesteckte CFK-Rohre. Die CFK-Rohre werden nicht mit den Rippen verleimt. Quer durch den Rumpf und die darauf gesetzte Alu-U-Plattform führen die Flügel verbindenden Holme (dies sind die in einander gesteckte CFK-Rohre). Bis auf die Flügelteil-Anschlussstellen sind diese miteinander verleimt.

Um die Schergefahr an den CFK-Holmen abzuwenden (und wenn vorhanden auch am CFK-Rumpf), werden die CFK-Holme rumpfseitig durch zusätzliche Alu-Flansche mit Rohransatz geführt. Die Rohre der Alu-Flansche werden beim CFK-Rumpf durch die versiegelten Bohrlöcher geführt und kompensieren so die durch die Bohrung verursachten Schwächungen.

Bei jeder Rippe (durch Nummern gekennzeichnet) wird ein zusätzliches kurzes Rohrstück über das bestehende Rohrsystem eingeleimt und mit Alu-Klebband umwickelt (um das Scheuern am CFK-Rohr zu verhindern).

Die ganze Flügel-Konstruktion wird durch innen durchführende Drahtseile (in den CFK-Rohren) zusammengehalten.

Zwischen den äusseren Flügelteilen und den Rumpf seitigen Flügelteilen befinden sich die feststehenden Seitenflossen (CFK-Platten). Diese werden durch die durchführenden Holme gehalten und sind zusätzlich mit den Flügelteilen lose verzapft.

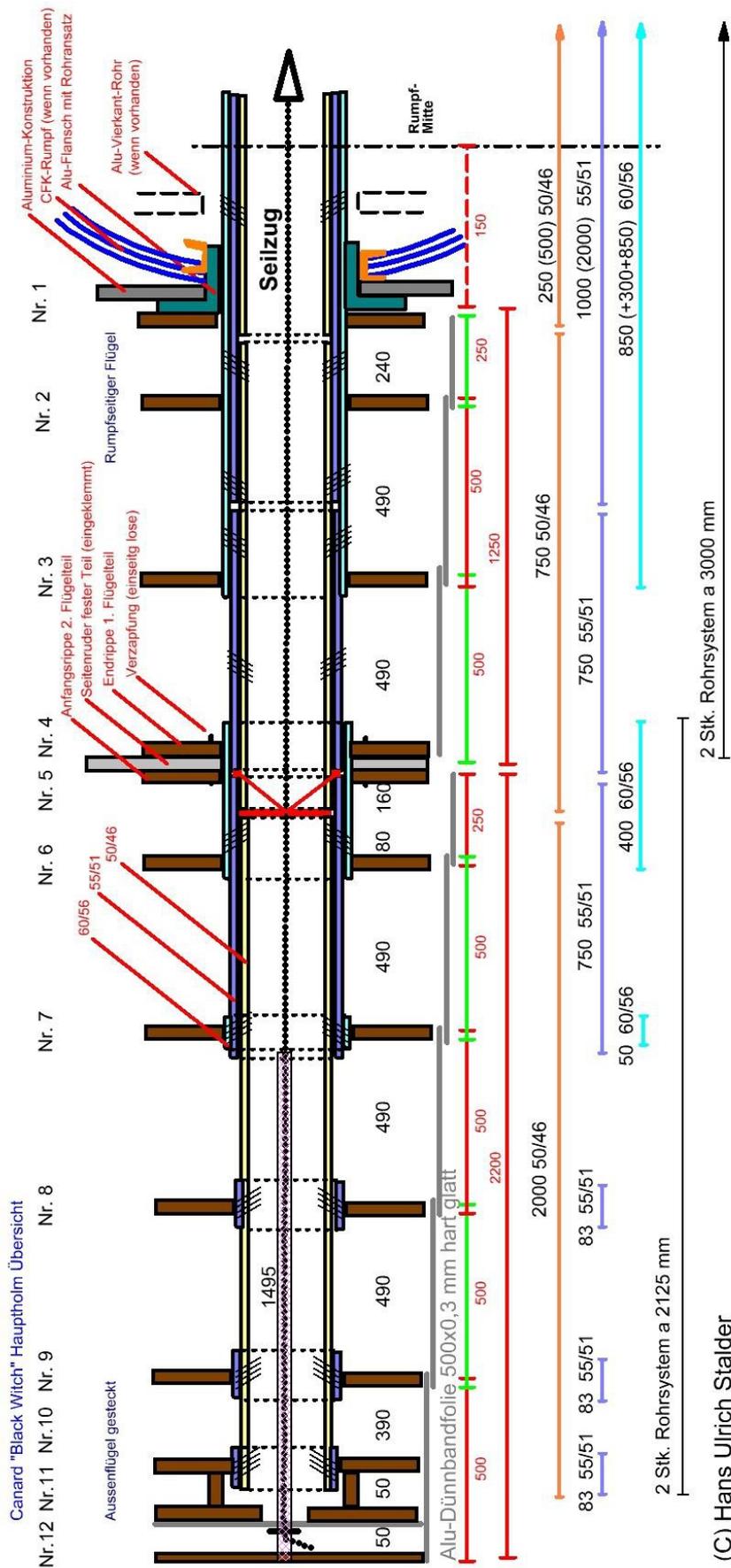
Zum transportieren der CFK-Rohre werden diese im CFK-Rumpf verstaut, resp. beim Elektroantrieb am Rumpf aufgehängt.

Zusammenbau der CFK-Holme

Die folgende Konstruktion ist nicht proportional abgebildet (Millimeterangaben beachten). Die CFK-Rohre der Hilfsholme sind analog gefertigt, aber eine Rohrgrösse kleiner gewählt (in der Stückliste bezüglich Preis bereits vorgesehen).

Im Rohr rot eingezeichnet ist die Trennstelle (**K**) der drei Rohrsysteme (zwei Aussenflügel Rohrsysteme und ein durch den Rumpf führendes Rohrsystem).

Eine weitere CFK-Rohre-Trennstelle kann in der Mitte vom Rumpf gemacht werden (nachträgliches Auftrennen ist möglich). Dazu müssen zwingend die Alu-Flansche mit Rohransatz durch durchgehende Alu-Rohre ersetzt werden. Als positive Nebenerscheinung können die CFK-Rohre mit den Rippen verleimt werden (zusammen mit dem Laminieren der Flügelaussenschicht). Informationen dazu sind auch der Dokumentation der „Low Cost Silver Ghost“ enthalten.



Die Rippen-Konstruktion in Übersicht

In alle Rippen sind die Rundhart-Holz- und Leisten-Aussparungen zu bohren, fräsen, sägen, feilen. Ausser wo speziell erwähnt ist die Sperrholz-Dicke 8 Millimeter.

Von Innen (Rumpf-seitig) nach aussen (Flügel-ende) durchnummeriert:

Nr.	Anz. Rippen	Holm-Löcher / Durchm.	Arbeits-Achse (grün) 25 mm	Gew. Reduk-tions-Löcher 25 / 38 / 44 mm	Gew. Reduk-tions-Loch 68 mm	Ruder-aus-sparung (Kurz-Rippe)	Seiten-Ruder-Achsen -Loch Durchmesser	Quer-Ruder-Achsen-Loch Durchmesser	Alu-Ab-deck-ung
1	2	63 / 57	ja	-	ja	-	25	25	-
2	2	63 / 57	ja	ja	ja	-	25	25	-
3	2	63 / 57	ja	ja	ja	-	25	25	-
4	2+2 D: 5 mm + 4 Alu- Platten 2 mm	63 / 57	ja	-	ja	-	25	25	-
5	2	63 / 57	ja	-	ja	-	-	25	-
6	2	63 / 57	ja	ja	ja	-	25	25	-
7	2	63 / 57	ja	ja	ja	-	25	markiert, später 25	rechts
8	2	57 / 52	ja	ja	ja	ja	25	20	-
9	2	57 / 52	ja	ja	ja	ja	25	20	-
10	2	57 / 52	ja	ja	ja	ja	25	markiert, später 20	links
11	2	markiert	ja	ja	ja	-	-	-	-
12	1	-	-	-	-	-	-	-	rechts (drei Teile)
12	1	-	-	-	-	-	-	-	links (drei Teile)
13	1	-	-	-	-	-	-	-	

Bei Rippe Nr. 12 ist der mittlere Teil (Deckel) rechtwinklig zur unteren Profilkante auszusägen. Zudem darf die obere und untere Seite nicht mit Alu-Dünnband verkleidet werden.

Die Rippe Rippe Nr. 13 ist eine Arbeitsrippe, wo nur der mittlere Teil benutzt wird (Deckel-Ersatz) um den Aussenflügelteil laminieren zu können. Dazu wird der mittlere Teil analog Rippe Nr. 12 ausgesägt und daraus ein Rahmen mit zirka 20 Millimeter Rahmenbreite erstellt (die innere Aussparung muss gross genug sein, so dass die temporäre Flügel-Teil-Achse, das grösste Gewichtsreduktions-Loch sowie die CFK-Rohr-Durchführungen gut zugänglich sind).

Kostengünstiger Pilotensitz

Alustuhl Bistrostuhl Gartenstuhl



Diesem oder ähnlichem Stuhl werden drei Zentimeter unter den Querstreben die Beine abgesägt. Falls es sich bei den Verbindungsrohren zwischen den Beinen um schwache Alu-Hohlrohre handelt, müssen diese durch Alu-Stangen ersetzt werden.

Letztlich werden die Querstangen auf die Aluminium-Konstruktion geschraubt und die Lehne wird mit Zugbänder am Überrollbügel festgezurr.

Flügel-Konstruktion

Die Herstellung der Flügel werden mit folgendem Link beschrieben:

[http://www.quantophon.com/\\$Canard-Eigenbau-Fluegelkonstruktion.pdf](http://www.quantophon.com/$Canard-Eigenbau-Fluegelkonstruktion.pdf) .

Die Canard-Flügel werden analog dem Hauptflügel gefertigt.

Die Menge der zu beziehenden Alu-Dünnbänder ist für eine zusätzliche Alu-Bahn berechnet. Übrig gebliebene Alu-Dünnbänder können auf eBay an diejenigen verkauft werden, die zwei Alu-Bahnen verknackst haben.

Ausser bei der Rippen- und Flügelkonstruktion sind bis jetzt die Bauanleitungen nur theoretischer Natur. Aber auch die Punkt-für-Punkt Instruktionen mit praktischem Hintergrund haben einen Anteil nur theoretischer Überlegungen. Die gemachten Erfahrungen erzwangen teilweise ein Umdenken.

7. Benötigte Apparaturen

Zwingend ist ein Staudruck-Fahrtenmesser. Auch ein Kompass kann ganz nützlich sein. Weitere Instrumente haben sich in der Fliegerei zwar bewährt, sind aber für die Art wie die „Black Witch“ geflogen wird unnötiger Ballast. Trotzdem sollen die allgemein verwendeten Instrumente vollständigheitshalber aufgeführt werden. Als Alternative zu Einzelinstrumenten bietet sich das EFIS D60 von Dynon Avionics an (zirka 2000 Euro mit allem drum und dran). Es beinhaltet zehn gängige Bordinstrumente auf einem Display. Die wichtigsten können über einen Tastendruck ausgewählt werden. Beispielsweise könnten die folgenden Anzeigen auch in Bodennähe ganz hilfreich sein.

- Der Staudruck-Fahrtmesser 0 – 200 km/h (Airspeed Indicator) verhindert das Abschmieren – daher zwingend notwendig;
- Querneigungsmesser (Bank Indicator) und die Libelle hilft beim Kurven unter Normalbedingungen;
- Der künstliche Horizont (Artificial Horizon), kombiniert mit der Libelle (rate of turn) sagt dir was nicht oben und bald unten ist;
- Der Höhenmesser (Altimeter) gibt dir einen Hinweis darüber ob man noch am Boden steht. Da eine Nullpunktberichtigung vorgenommen werden muss, ist dies eher ein unnötiges Cachet (siehe nächstes Kapitel), macht aber Eindruck wenn das auf dem Display angezeigt wird.

Wichtig, wenn die Sonne nicht gerade scheint, ist ein Flieger-Kompass. Ich habe mir sagen lassen, dass auch schon ältere Modelle selbst kalibrierend sind, was Norden betrifft.



Quelle: <http://www.der-lustige-modellbauer.com/t2782p1-fokker-dri-deagostini-umbau-m-16>

Alternative zum Höhenmesser

Bei normaler Sicht und durchschnittlicher Sehschärfe erkennen wir mit blossem Auge:

50 m	Augen, Mund, Nase, Ohren deutlich
80 m	einzelne Dachziegel
100 m	die Augen als Punkte
150 m	die Augenlinie im Gesicht
200 m	Einzelheiten der Bekleidung, glänzende Abzeichen
250-300 m	das Gesicht als hellen Fleck
300 m	Fensterkreuze
500 m	Farben verblässen (ausser dem weit sichtbaren Rot)
700 m	verschiedene Menschen nebeneinander
800-900 m	die Bewegungen der Beine
1000-1200 m	Kuh, Pferd, einzelne freistehende Bäume, Wegweiser
1500-2000 m	Menschengruppen
2000 m	grosse, freistehende Bäume
3000 m	fahrende Autos
4000 m	Kamine auf Häusern
5000 m	einzelne Häuser, Scheunen, Fabrikschornsteine
12-15 km	grosse Gebäude (Kirchen, Schlösser, Fabriken, Türme)

Quelle: jung-schar.biz

8. Bauvorbereitung

Sicherheitshinweis

Bei allen Arbeiten mit Harz sind Handschuhe, eine Schutzbrille und eine Atemschutzmaske zu tragen. Hautkontakt mit dem Harz ist zu vermeiden. Zudem muss der Arbeitsraum gut belüftet sein.

Testfahrten und -Flüge dürfen nur in Anwesenheit weiterer Person durchgeführt werden.

Canard-Flugzeuge reagieren empfindlich auf Piloten die leichter sind als der vorgesehene Pilot (ggf. ist Zusatzgewicht im vorderen Bereich zu platzieren, was aber einen Einfluss auf die Flugdynamik hat).

Werkplatz einrichten

Wenn der verfügbare Platz knapp ist, wird der Rumpf in die Diagonale vom Raum ausgerichtet. Zum Arbeiten sollte man problemlos um den Rumpf herum gehen können.

Für den Rumpf sind drei Auflagepunkte vorzusehen. Damit der Rumpf immer waagrecht ausgerichtet ist, sind die Standbeine vom Gerüstbock immer auf den gleichen angezeichneten Punkten am Boden hinzustellen (notwendigerweise ist der Boden zuerst an den Stellen zu planieren). Wird im Wohnzimmer auf Spannteppichen gewerkt, ist im Bereich der Gerüstbock-Beine der Teppich herauszuschneiden (kann später wieder eingesetzt werden). In der Höhe verstellbare Gerüstböcke können das Arbeiten erleichtern. Zudem muss jeder Gerüstbock eine Vorrichtung enthalten die den Rumpf fest halten kann.

Allgemeines Wissen

Schwerpunkt feststellen

Das Gesamtgewicht vom Flugzeug mit Pilot feststellen (unter jedes Rad eine Personenwaage stellen und die Kilogramme zusammenzählen).

Die Rumpfnase auf-bocken (Messpunkt_1) und auf der Höhe der Luftschraube das Flugzeug auf eine Personenwaage stellen (Messpunkt_2) und das Gewicht ablesen (Gewicht hinten). Nach folgender Formel die Schwerpunktlage feststellen:

Schwerpunkt = Gewicht_hinten * Abstand_der_Messpunkte / Gesamtgewicht)

Kleine Einführung in Faserverbund-Werkstoffe (CFK)

Allgemeiner Hinweis bezüglich Harze: In diesem Dokument werden Epoxyd-Harze mit „normaler“ Konsistenz nur als Harze bezeichnet. Dünneflüssige Harze werden als Laminat-Harze bezeichnet. Die Topf-Zeit von Harzen ist die Zeit von 100 Gramm Harz die benötigt wird bis zur Erhärtung bei einer Raumtemperatur zwischen 22 und 25 Grad Celsius. Grössere Mengen von Harzen verkürzen die Verarbeitungszeit, höhere Temperaturen verringern die Viskosität. Bis zur vollständigen Aushärtung wird jedoch viel mehr Zeit benötigt als die Topfzeit vorgibt. Durch erwärmen vom Flügelteil auf 30 bis 50 Grad Celsius kann die Zeit bis zur vollständigen Aushärtung verkürzt werden (empfohlen zum Schutz vom Alu-Dünnband).

Zusätzlich ein wichtiger Hinweis der über die ganze Baustrecke vor Augen gehalten werden muss. Faserverbundteile erhalten ihre Festigkeit durch die Fasern. Werden diese zerstört verliert das Teil seine ursprüngliche Festigkeit. Fazit: jede Schwächung vom Faserverbund, zum Beispiel durch eine Bohrung, muss daher irgendwie kompensiert werden oder wenigstens die Lastverteilung vergrössert werden, zum Beispiel mit Unterlegscheiben aus Kunststoff und /oder zusätzlicher Harz-Glas-Schnitzel-Mischung.

Kohlefaserverbundwerkstoffe haben einen Ausdehnungskoeffizient von -1 bis +10. Aluminium hat einen von 24. Wie also kompensieren, wenn ein anderes Material als wieder CFK genommen werden muss. Nun gibt es so etwas wie normales CFK. Bei diesem liegt der Faseranteil bei etwa 35%. Dieses hat auf einen Laufmeter gesehen beim Erhöhen der Temperatur von 0°C auf 35°C eine Längenzunahme von 1 Millimeter. Beim Aluminium beträgt die Ausdehnung bei gleicher Temperaturdifferenz lediglich 0,7 Millimeter. Bei der „Black Witch“ wird dieses Problem durch die Harz und Faser Wahl sowie konstruktionsbedingt umgangen.

Daher ist beim Flügelaufbau darauf zu achten, dass die richtige Glasfaser-Matte und das richtige Harz gewählt wird. Die Ausdehnungskoeffizienten GFK zu Aluminium stehen in folgendem Verhältnis zueinander: Ausdehnung $\text{Mm}/^\circ\text{C}$ GFK 25 bis 40×10^{-6} und $25-40 \times 10^{-6}$; Quelle: Wernli AG 1998 (www.w77.ch/logos/z84.pdf).

Es gibt daher durchwegs eine unproblematische Konstellation bei 25×10^{-6} und $25-40 \times 10^{-6}$.

Bei Bohrungen die mit Harz eingeleimter Alu-Hülse verstärkt werden, ist dies ohnehin kein Problem. Nur weite Strecken mit kombinierten Verbunden und grossen Ausdehnungskoeffizienten müssen vermieden werden.

Bei Aussparungen sind die Ränder mit Harz zu „versiegeln“ und die angrenzende Fläche ist stufenweise abfallend mit dünnem CFK- oder GFK-Material zu verstärken (vorher verstärken – danach weiter verarbeiten).

Auf Grund der Komplexität ist wichtig, dass der CFK Laie nur mit mittelhartem Mehrschicht-CFK-Verbund arbeitet das auch Kreuzgewebe beinhaltet. Beim CFK gefertigten Rumpf sind die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten schon berücksichtigt oder können vernachlässigt werden – sofern man sich an diese Bauanleitung hält.

Das CFK-Rohr muss daher auch Fasern mit einem Winkel von 45 Grad zur Längsrichtung beinhalten um so eine hohe Torsionssteifigkeit zu erreichen. Der Fasergehalt sollte zirka 60 Vol.-% sein. Die zusätzliche Bezeichnung CF-EP (Verbundwerkstoff Kohlefaser mit Epoxidharzmatrix) gewährleistet zudem, dass zumindest die Materialwahl richtig ist. HT bedeutet hochfest (High Tensity / High Tenacity). Normalfeste Faser (Bezeichnung NF) kann mit kompensierenden Massnahmen auch genügen.

Noch etwas, CFK-Staub ist ungesund, überall haftend und macht elektrische Kontakte müde.

Vergleichstabelle Aluminium und Faserverbund-Werkstoffe

Eigenschaft	Al-Leg.	GfK	CFK HT	AFK
statische Festigkeit	1	1,94	2,94	2,12
Längssteifigkeit	1	0,5	1,77	1,23
Torsionssteifigkeit	1	0,32	1,12	0,3
Knickstabilität	1	0,81	1,77	0,73
Beulstabilität	1	1	1,76	0,9
Arbeitsaufnahmefähigkeit	1	8,4	4,5	11,0
Schlagzähigkeit	1	0,75	0,2	1,02
Schwingfestigkeit	1	1,7	3,2	2,33

Quelle: <http://www.magic-scooter.de/fvw2.htm>

Weiterführende Informationen bieten die CFK-Lieferanten an, zum Beispiel <http://www.swiss-composite.ch/pdf/i-Werkstoffdaten.pdf> .

9. Bauvorbereitungen

Sicherheitshinweis

Bei allen Arbeiten mit Harz sind Handschuhe, eine Schutzbrille und eine Atemschutzmaske zu tragen. Hautkontakt mit dem Harz ist zu vermeiden. Zudem muss der Arbeitsraum gut belüftet sein.

Testfahrten und -Flüge dürfen nur in Anwesenheit weiterer Person durchgeführt werden.

Canard-Flugzeuge reagieren empfindlich auf Piloten die leichter sind als der vorgesehene Pilot (ggf. ist Zusatzgewicht im vorderen Bereich zu platzieren, was aber einen Einfluss auf die Flugdynamik hat).

Werkplatz einrichten

Wenn der verfügbare Platz knapp ist, wird der Rumpf in die Diagonale vom Raum ausgerichtet. Zum Arbeiten sollte man problemlos um den Rumpf herum gehen können.

Für den Rumpf sind drei Auflagepunkte vorzusehen. Damit der Rumpf immer waagrecht ausgerichtet ist, sind die Standbeine vom Gerüstbock immer auf den gleichen angezeichneten Punkten am Boden hinzustellen (notwendigerweise ist der Boden zuerst an den Stellen zu planieren). Wird im Wohnzimmer auf Spannteppichen gewerkt, ist im Bereich der Gerüstbock-Beine der Teppich herauszuschneiden (kann später wieder eingesetzt werden). In der Höhe verstellbare Gerüstböcke können das Arbeiten erleichtern. Zudem muss jeder Gerüstbock eine Vorrichtung enthalten die den Rumpf fest halten kann.

Fehlende Punkt-für-Punkt Instruktionen werden nach der Überarbeitung der heutigen Instruktion erstellt. Danke für das Verständnis.

Benötigtes Arbeitsmaterial

Eine kleine Bandsäge, Bohrmaschine, diverse Pinsel und allgemeines Werkzeug wird als vorhanden vorausgesetzt. Zum Gelingen können drei gute Scheren ihren Teil beitragen. Die eine für die Glasfaser-Matte, die anderen für das Alu-Dünnband für Rechts- und Links-Händer.

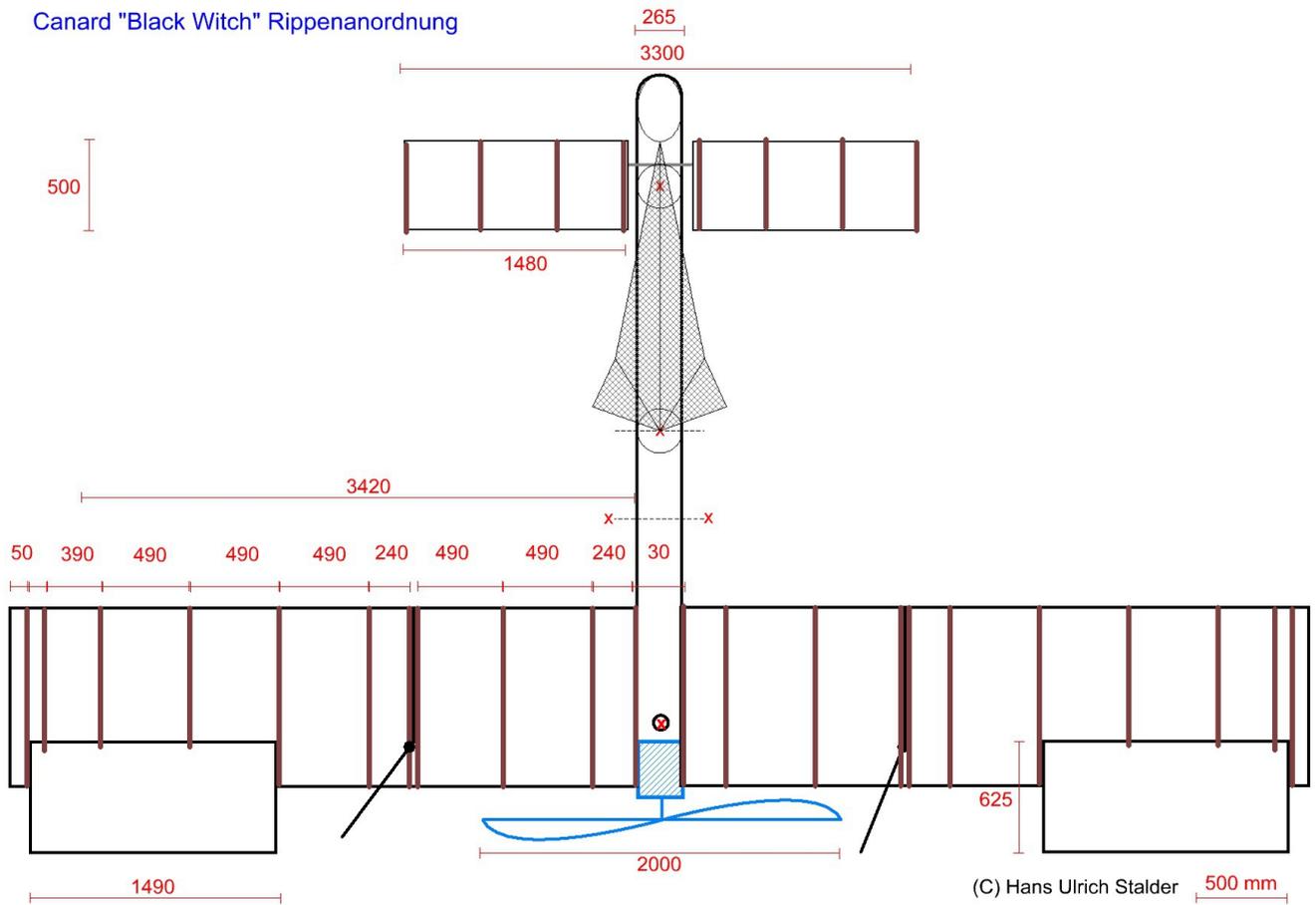
Fehler und Auslassungen vorbehalten.

Benötigte Menge	Beschreibung	Lieferant / Hersteller	Einzel-Preis	Total Euro
1 Stk.	Farbquirl L: 350, Quirlblatt 60 mm	Lokaler Baubedarf	6	6
1 Stk.	Verstellbarer Flachbohrer 15-45 mm / 22	Lokaler Baubedarf		15
1 Stk.	Lochsäge-Set (Sägekranz) 25/32/38/44/51/ 57/63 /68 andere Masse mit nur Millimeter-Abweichungen sind auch möglich Rohr-D:55= 57 , D:60= 63	Lokaler Baubedarf	20	20
1 Stk.	Handheft-Pistole (Postitch-Klammer-Automat) Heftklammern 8 mm	Lokaler Baubedarf	25	25
1 Stk.	Pinsel 50 mm breit mit Verlängerung	Eigenkonstruktion		2
1 Stk.	Pinsel 20 mm breit mit Verlängerung	Eigenkonstruktion		2
	Maler Abdeckband 50 mm	Lokaler Baubedarf		3
	Maler Abdeckband 10 mm	Lokaler Baubedarf: am gleichen Ort, zur gleichen Zeit, dieselbe Marke zu kaufen wie das 50 mm Maler Abdeckband		10
1 m	Elektro-Rohr 12 mm um das Harz in die Rippenkammern zu leiten	Abfall-Mulde auf Baustelle		0
1 m	Elektro-Rohr 20 mm um die Glas-Schnitzel in den Rippenkammer zu verteilen	Abfall-Mulde auf Baustelle		0
2 Stk	Trichter für die Elektro-Rohre	IKEA		2
1 Stk.	GFK/CFK Profi Set (Werkzeug) – vielleicht notwendig wenn mit CFK-Material gearbeitet wird	www.carbonscout-shop.de	300	0
Div.	CFK-Bohrer (hochtourig bohren – Maske tragen) alternativ HS-Stahl-Bohrer	www.sandvik.ch	200	70
Div.	Schraubensicherungen			50
1 Stk.	Bastelmesser mit stabilem Griff und 10 Reserve-Halbrund-Klingen	Lokaler Baubedarf oder Bastelgeschäft		20
1 m	Hartholzbrett gehobelt 1000x200x15	Lokaler Baubedarf		20
1 m	Hartholzplatte gehobelt 1000x60x5	Lokaler Baubedarf		10
1 Stk.	Kleinhammer 140 gr (für die Stiften)	Lokaler Baubedarf		10

Benötigte Menge	Beschreibung	Lieferant / Hersteller	Einzel-Preis	Total Euro
4 Fl a 48 ml	UHU holzfest Wackel-stopp (fixiert Zapfen und Dübel) anstelle von verdünntem Weissleim	Lokaler Baubedarf oder Bastelgeschäft		21
1 Rolle	Festes Packpapier 500 mm breit	Papeterie / Papierwaren		8
1 Stk.	Brett (Balsa) 2200x60x2 (als Stiften Abstand-Lehre)			5
1 Stk.	Sperrholz-Streifen 250x30x1 (Stiften-Einschlaglehre)			1
X	Diverses			100
Total Teilkonstruktion				400

PS. Eine Lochzange wird benötigt um Harz-Tropfen aus dem Kaschmir-Pullover zu stanzen. Für das somit entstandene Loch, etwas in die Länge gezogen, muss dann die Kleidermotte (*Tineola bisselliella*) hinhalten.

Rippen-Anordnung



Die Flügel Seilzüge



*Drei Stahlseile 1,5 Millimeter mit je 1,7 kN Zugkraft (170 kg),
beidseitig angebrachte Kabelbinder erleichtern das Einfädeln.*

Auf der Seilgegenseite ist die zweite Seilklemme wegzulassen (dies ist die Feststellklemme).

10. Zusammenbau der „Black Witch“

Hinweis: Werden, aus irgend einem Grund auch immer, die beiden seitlichen Windabweisungs-Flächen wegelassen, ist zusätzliches Gewicht im vorderen Teil notwendig (zusätzlicher Ballast oder den Pilotensitz weiter nach vorn verlegen).

Flügelmontage

1. Zuerst die Holm-Stücke zusammenstecken
2. Eine Flügelseite vollständig zusammenstecken
3. Die vier Flügel-Spann-Seile in die Rohre „schütteln“
4. Den Anschlag-Mechanismus am Seilende durch die Endrippe ziehen und die U-Scheibe querstellen
5. Die an der einseitig zusammengesteckten Flügelkonstruktion herausragenden CFK-Rohre durch den Rumpf schieben
6. Die beiden verbliebenen Flügelteile über die Holme schieben
7. Den Spann-Mechanismus am Seil durch die Endrippe ziehen und die U-Scheibe quer stellen
8. Mit der Flügel-Spann-Vorrichtung die drei Seile spannen und jeweils fixieren
9. Die beiden Flügelende-Deckel montieren.



Flügel-Spann-Vorrichtung: die Flügel-Spann-Seile auf 60 N, respektive auf 6 kg Zug vor spannen.

11. Erste Testflüge, respektive Fahrt

Was die Schweiz betrifft sind weder UL-Flugzeuge noch elektrisch angetriebene erlaubt. Zudem müssen für neue Flugzeuge die Pläne vor dem Baubeginn beim Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) eingereicht werden. Da an diesem Flugzeug das Meiste neu ist, macht es allerdings keinen Sinn Pläne in der geforderten Güte herzustellen. Diese würden nur auf theoretischer Basis verzapft werden ohne „added value“. Daher muss ein Weg gefunden werden, das Flugzeug praxisnah zu testen ohne bestehende Gesetze zu verletzen.

Nach meinem Rechtsverständnis ist ein Flugzeug dann ein Flugzeug, wenn es fliegen kann oder die Absicht besteht es fliegen zu lassen (unabhängig von der Form). Anders ausgedrückt, wird bei einem Flugzeug ähnlichen Vehikel durch technische Eingriffe verhindert, dass es sich nicht vom Boden abheben kann, ist es auch kein Flugzeug. Bei der „Black Witch“ ist daher ein kleiner Eingriff notwendig um das Abheben zu verhindern und trotzdem vieles austesten zu können. Der Seilzug zum „Gas“ wird über die Verbindungsstange der Hinterrad-Federung geführt. Entlastet der Auftrieb die Federung über einen gewissen Punkt, wird automatisch „Gas“ weggenommen. Diese Vorrichtung macht ein Abheben zwar unmöglich, trotzdem kann folgendes getestet werden:

1. Fahrverhalten am Boden;
2. Starten bis zum Abheben (das Flugzeug waagrecht aufrichten und stabilisieren);
3. Effektive Startstrecke ermitteln;
4. Flug- und Steuerverhalten der Canard-Flügel austesten (Grösse zu Dynamik);
5. Ist die theoretisch ermittelte Gewichtsverteilung richtig, respektive optimal;
6. Flügel-Auftrieb und Belastungsverhalten;
7. „Flugverhalten“ beim gemeinsamen Einsatz von Quer- und Seitenruder;
8. Landen (in den Boden fliegen);
9. Effektive Landestrecke ermitteln;

Für diese Tests ist kein Notfallschirm-System notwendig. Beim Verbrennungs-Motor angetriebenem Flugzeug ist aber ein notfallmässiges Verschliessen der Benzinzufuhr zum Motor vorzusehen sowie auch ein mitgeführtes Schaumlöscher.

Der Testfahrer sollte zudem ein gutes Motorradkombi und einen Rundhelm tragen (stromlinienförmige Helme eignen sich nicht).

PS. Zum starten wird normalerweise die hintere Federung blockiert. Für die vorliegenden Testfahrten darf der Federweg daher nur limitiert werden.

12. Fliegen

Starten und Fliegen kann eigentlich jeder, solange der Staudruck-Fahrtmesser im Auge behalten wird. Verfolgt man die Unfälle auf YouTube beim Starten wird Augenfällig, dass die Piloten sobald sich das Flugzeug vom Boden ein bisschen abhebt, meinen sie sitzen in einer MIG-15 mit Nachbrenner – Knüppel zum Bauch und senkrecht in die Höhe. Alles klar?

Das Landen ist wieder eine andere Sache. Bei „normalen“ Flugzeugen, und bei Canard-Flugzeugen im speziellen, ist dies eine Disziplin die gelernt werden muss – ausser bei der „Black Witch“. Hier fliegt man wesentlich über der Stall-Geschwindigkeit auf die Landebahn zu, knapp über dem Boden wird der Motor (zwingend) abgestellt und das Steuerhorn an den vorderen Anschlag gedrückt. Dies bewirkt das erwähnte „in den Boden fliegen“ und der hintere Flugzeugteil klatscht relativ hart auf den Boden. Dies ist aber kein Problem für die „Black Witch“ mit seinen 30 Zentimeter Federweg hinten (sofern die Federweg-Blockierung gelöst wurde). Zwei Dinge müssen beachtet werden, das Steuerhorn muss bis zum Stillstand am vorderen Anschlag anstehen und das Bremsen sollte man auch nicht vergessen.

13. Fragen und Antworten

F: Warum wurde ein Enten-Flügler für dieses Eigenbau-Flugzeug gewählt?

A: Bei den meisten Flugzeugen bleibt einem die Rundumsicht in weiten Bereichen verwehrt. Der Enten-Flügler garantiert die grösstmögliche Frontsicht und verleiht einem (hoffentlich) dasselbe Gefühl wie auf einem Motorrad.

F: Was spricht für die gewählte Canard-Flügel-Grösse.

A: Ein Canard-Flügel muss so klein sein, dass durch Böen kein Überschlag verursacht wird (und auch nicht durch übertriebene Höhensteuerung), das heisst, der Hauptflügel muss folgen können. Dazu muss der Canard-Flügel so gross sein, dass der kurze Hebelarm zum Drehpunkt (Schwerpunkt) die vor dem Drehpunkt liegende Masse ohne grosse Verzögerung in der Vertikalen beschleunigen kann. Ob aber die gewählte Grösse die Beste ist, ist noch offen.

F: Warum ist im Stand die Flugzeugnase viel weiter unten als der Hauptflügel?

A: Der Nullauftrieb vom gewählten Profil vom Hauptflügel liegt bei $3,1^\circ$. Diese sind zuerst einmal zu kompensieren. Werden doch Entenflügler beim Landen „in den Boden“ geflogen. Dies hat mehrere Gründe. Es reduziert erstens die Überschlagsgefahr (das Flugzeug wird auf den Boden gedrückt). Wird beim Entenflügler klassisch gelandet, also über dem Boden schweben bis zum Strömungsabriss, wird wiederum „in den Boden“ geflogen. Der Hintergrund ist die kleinere Re-Zahl am Canard-Flügel, das heisst, der vordere kleinere Flügel verliert zuerst den Auftrieb was zur Folge hat, dass der vordere Teil vom Entenflügler auf dem Boden aufsetzt und der hintere Teil folgt nach. Also wie eingangs vermerkt – Entenflügler werden beim Landen „in den Boden“ geflogen.

F: Wann wird das Flugzeug beim Starten aus der Schräglage in die Horizontale aufgerichtet?

A: Sobald der Staudruck-Fahrtmesser mehr als die Abhebegeschwindigkeit anzeigt, können die Canard-Flügel in die horizontale Ausrichtung geschwenkt werden.

F: Verursacht das Pendelleitwerk am Canard-Flügel nicht stetige Bewegungen am Steuerhorn?

A: Grundsätzlich schon. Dem entgegen wirkt allerdings das S-Schlag ähnliche Profil. Ich nehme an, dass die Vorteile vom Pendelleitwerk überwiegen. Der Auftrieb und der Abriss werden gefühlt bevor das Flugzeug seine Lage verändert. Es muss die Geschwindigkeit gefunden werden wo sich die Canard-Flügel selber stabilisieren. In Notfällen werden auch grosszügige Ausschläge ermöglicht. Zudem wirken diese am Boden beim Landen als Bremsklappen.

F: Sind die Flugeigenschaften vom elektrisch angetriebenen Flugzeug zum Verbrennungs-Motor angetriebenen unterschiedlich?

A: In beiden Fällen liegt der Schwerpunkt vor dem Hauptflügel und bildet den Drehpunkt. Beim Verbrennungs-Motor angetriebenen Flugzeug sitzt der Pilot vor dem Drehpunkt. Das heisst, er wird er bei jeder horizontalen Richtungsänderung zusätzlich in der vertikalen Richtung beschleunigt. Oder salopp ausgedrückt, das Verbrennungs-Motor angetriebene Flugzeug entspricht einem Gelände-Fahrzeug und das elektrisch angetriebene einer Luxus-Limousine.

F: Müssen die Flügel schwarz eingefärbt werden?

A: Das kommt darauf an. Wenn die Alu-Oberfläche mit Knickstellen und Kratzer übersät ist, mag es durchaus Sinn machen.

14. Ausblick

Es gibt noch viel zu tun. Die Limits für ein UL Flugzeug sollten einmal für jedes Land erreicht werden. Die folgenden Eckdaten einmal erfüllt, kann die „Black Witch“ in den USA ohne Fluglizenz geflogen werden und auf einer Betonpiste gestartet nach 40 Meter bereits in der Luft sein.

- Gesamtgewicht max. 115 kg, inkl. Rettungssystem und Schwimmer
- nicht schneller als 100 km/h
- mit 46 km/h noch flugfähig
- max. 19 lt Kraftstoff

Man kann annehmen, dass in den USA das Gewichtslimit für elektrisch betriebene Flugzeuge noch angehoben wird.

15. Persönliches Nachwort an Ungehorsame

Sollte jemand auf die wahnsinnige Idee kommen, entgegen den Warnungen und Vorschriften und obwohl noch nie ein Flugzeug geflogen, trotzdem dieses Flugzeug schon jetzt zu bauen und den Erstflug gerade ab der Dachterrasse zu starten, möchte ich folgende wichtige Hinweise geben.

Fliegt ein Flugzeug einmal eine Kurve, bleibt es im Kurvenflug auch wenn das Steuerrad schon wieder in die Geradeaus-Position zurückgedreht wurde. Um zum Geradeaus-Flug zu kommen ist also kurzzeitig Gegensteuer zu geben - und dabei immer schön die Staudruck-Anzeige im Auge behalten. Vielleicht ist dieser Hinweis ja überflüssig. Auf jedem Fall wünsche ich einen guten Flug.

Hans Ulrich Stalder (Hansueli)

* * *

* * * * *