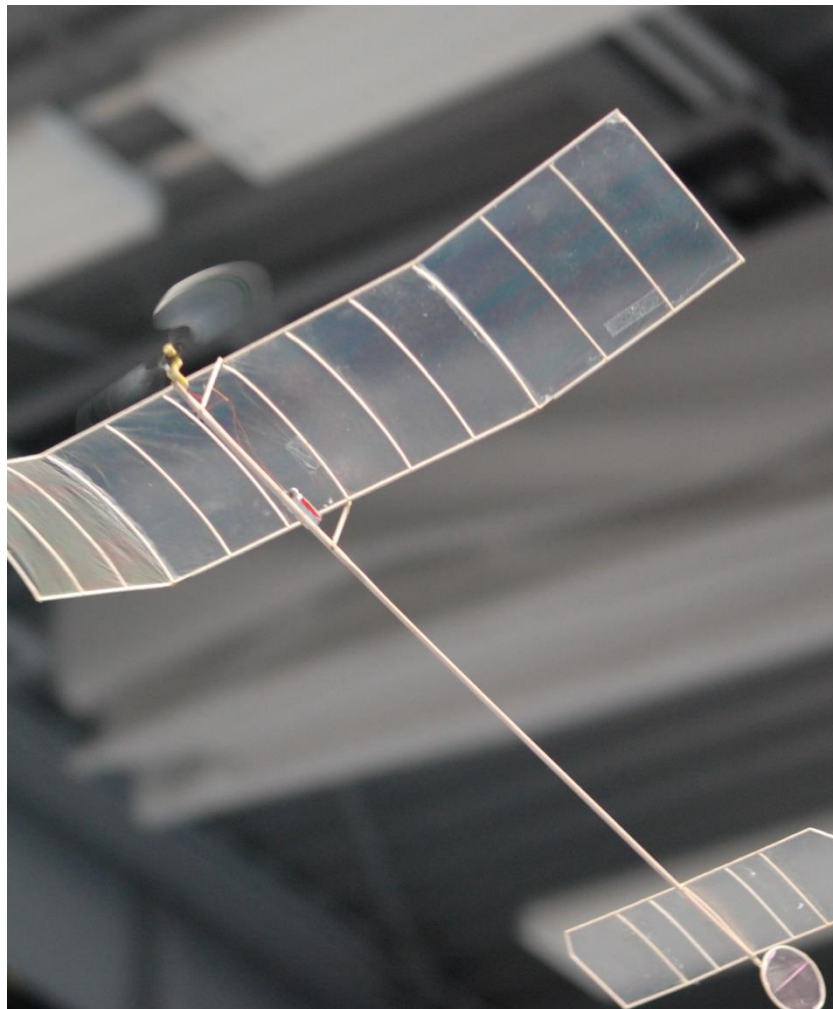


Saalflegel mit Supercaps

Zusammenstellung von Materialien zum Bauen und Fliegen

Hrsg. Heinz Eder

03/2024



Kondensator-Saalflugmodelle – wo stehen wir 2024?

Neue nationale Klasse

Nachdem wir bei vorangegangenen Wettbewerben die Kondensatorklasse als Sonderklasse zusätzlich zu den offiziellen Klassen flogen, haben wir seit 1. 1. 2024 die Elektro-Saalflugmodelle als eigene nationale Klasse mit der Bezeichnung F1M-E. Die Klassendefinition lautet:

- Spannweite max. 550 mm
- Superkondensator mit Nennwert 5 Farad
- Startspannung: Festlegung beim Wettbewerb, typ. 3,1 Volt

Quelle: https://www.modellflugimdaec.de/wp-content/uploads/F1_national-36-3-2024.pdf

Etwas Geschichte

Der Initiator des Elektro-Saalfluges mit Superkondensatoren ist Roland Oehmann. Er hat ursprünglich mit einfachen Bürstenmotoren und Goldcaps Modelle gebaut, die bis zu 90 Sekunden flogen (Bild 1) Ich konnte das auf eine Aeromesse in Friedrichshafen bewundern.

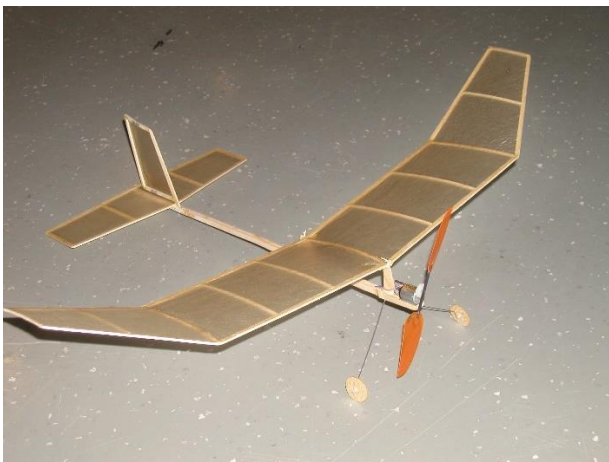


Bild 1 Modell der „ersten Stunde“ von R. Oehmann

Wir haben dann zusammen viel kontaktiert und die Modelle weiterentwickelt. Das betraf sowohl die Zelle als auch den Antrieb. Herausragendes Merkmal war das Modellgewicht, denn die Flugzeit hängt ziemlich stark vom Gewicht ab. Bei der DMM Saalflug 2014 haben wir erstmals Kondensatormodelle als Sonderklasse geflogen, siehe Bild.



Bild 2 DM 2014 erstmals mit Kondensatormodellen

Die damaligen Modelle waren mit Getrieben 1:5 bis 1:10 und 6 mm DC-Coreless Motoren ausgestattet. Die Wicklungswiderstände waren 30 Ohm, um Strom zu sparen. Wir hatten damals noch 10 Farad als Energiespeicher. Der Vorteil der Supercaps ist bekanntlich, dass sie sich in ca. 20 s laden lassen und das bis zu 500.000 mal! Für die Coreless-Motore werden als Hersteller-Spezifikation Betriebszeiten von 10 h angegeben. Auch das wird man nicht so schnell erreichen. Uwe Bundesen flog mit dem Modell CAP-14 (siehe Plan) in der DJK Halle Ingolstadt (7,5 m Höhe) erstmals eine Zeit von 5:35 Minuten. Die Ladespannung des 10F Caps war 3,3 Volt.

Die damaligen Modelle hatten jedoch folgende Nachteile: Das Gesamtgewicht war höher als das normaler Saalflugmodelle Da die E-Modelle etwas schneller getrimmt werden, ließen sie sich schlechter steuern. Das Getriebe war sehr empfindlich gegenüber Verschmutzung. Meist wurden an der Decke Spinnweben eingefangen was den Antrieb nahezu blockierte. Wir kamen in der Folge zum Direktantrieb mit dem Nachteil eines geringeren Wirkungsgrades. Die wesentlich kleinere Schraube reduzierte jedoch das Spinnwebenrisiko. Die 10 Farad wurden aus Gewichtsgründen auf 5 Farad reduziert. Das Schwergewicht lang nun auf dem Modell und nicht mehr auf dem Antrieb. 2023 gelang dem Autor bei der Bay. Meisterschaft mit Direktantrieb (3,1 Volt) ein Flug von 2:53 s. Modellgewichte unter 5 Gramm waren nun möglich, was etwa den F1M- Saalflugmodellen entsprach.

Eine weitere Entwicklungslinie geht auf Paul Willutzki zurück, der einen Prozessor zur Steuerung von Flugzyklen (Phasen mit gedrosseltem Motor bzw. Gleitflug) einsetzte. Die Programmierung der Steuerung war relativ aufwändig und die Flugzeiten verlängerten sich damit nicht nachhaltig. Vorteil war, dass ggf. die Decke nicht berührt wurde. Eine allgemeine Anwendung schied aus den genannten Gründen aus. Trotzdem war das eine beachtliche Entwicklungsleistung!

Die neue Situation

Nachdem nun die Antriebsart (direkt oder mit Getriebe) in der BeMod nicht mehr vorgeschrieben ist, wird sich herauskristallisieren, welcher Antrieb zu höheren Flugzeiten führt.

Trotz der Getriebeverluste wird es wohl die Getriebeversion sein. Getriebe mit Untersetzungen bis 1:10 sind einstufig möglich. Bei höheren Untersetzungen sind zweistufige Getriebe erforderlich, die höhere Verluste zeigen. Sie reduzieren den Wirkungsgrad etwa um 20%. Von größeren Luftschrauben wird man aus diesen Gründen wohl Abstand nehmen müssen. Schrauben bis 16 cm Durchmesser sind nach meinen Erfahrungen mit Untersetzungen 1:10 möglich. Die 6 mm DC Coreless Motore besitzen im Arbeitsbereich Wirkungsgrade um 40 %. Bei 4 mm Motoren sind es nur um die 20-25 %.

Die Nennwerte der Kapazitätsangaben der Caps werden nach meinen Erfahrungen weitgehend eingehalten. Die Streuungen betragen in der Regel weniger als 5%. Bei den meisten Typen haben wir Formierungseffekte, d. h. die volle Kapazität wird nach längerer Lagerzeit erst nach der 2. oder 3. Ladung erreicht.

Hier werden 3 erprobte Versionen vorgestellt:

Version 1: 4 mm Motor 30 Ohm mit 1:10 Getriebe 1,3 Gramm, 5 Farad Cap (entmantelt, Beine gekürzt) 1,7 g, Luftschraube 0,15 g, Draht + Schaltmagnet 0,15 g Zelle 1,1 g, Gesamtgewicht 4,4 g. Die geflogene Zeit betrug 240 s.

Version 2: 6 mm Motor 30 Ohm mit 1:9 Getriebe 2,0 g, 5 Farad 1,7 g, Luftschraube 0,25 g, Draht + Schaltmagnet 0,15g, Zelle 1,2 g, Gesamtgewicht 5,2 g. Die geflogene Zeit mit **10 Farad** und **6,2 g** Gesamtgewicht (Modell Cap-14) betrug 335 s

Version 3: Direktantrieb, 6 mm Motor 1,5g 40 mm Drohnenprop 0,18 g, 5 Farad Cap 1,7 g, Draht +Schaltmagnet 0,12 g, Zelle 1,1 g Gesamtgewicht 4,6 g Die geflogene Zeit betrug 173 s

Fazit

Die beste Version wird sich nach einer gewissen Einführungszeit herauskristallisieren. Bei Optimierung aller Komponenten sehe ich auch für den Direktantrieb durchaus noch Chancen. Vor allem Einsteiger sollten mit dem Direktantrieb beginnen.

Bezugsquellen: Micron Wings, Didel.com, Kunststoffzahnräder, 5 F Caps: Internet, 4 /6 mm Motore: Mikromodellbau.de

Theoretische Betrachtungen zu Saalflugmodellen mit Kondensatorantrieb

Paul Willutzki und Heinz Eder

Modelle mit Kondensatorantrieb sind eine spannende Erweiterung des Saalflugs [1,2]. Es gibt hier nicht die Abhängigkeit von der Gummiqualität. Der Flug ist wesentlich gleichmäßiger und reproduzierbarer, damit lassen sich die Auswirkungen verschiedener Parameter genauer beobachten. Das entbindet nicht von genauer Bauweise, Flugbeobachtung und Einstellung, wenn man lange Flugzeiten erreichen will. Welche wesentlichen Variablen gilt es zu beachten? Dazu wäre ein einfacher mathematisch/physikalischer Zusammenhang hilfreich. Im klassischen Saalflug gibt es solche Formeln schon seit langem [3]. In dieser Arbeit stellen wir ähnliche Betrachtungen für den Kondensatorflug vor.

Ausgehend von den vereinfachten Bewegungsgleichungen des stationären Flugzustands, die speziell im Kondensatorflug angewendet werden können (kleine Steig- und Sinkwinkel, gleichmäßiger Flug) und angereichert um die Energiebeziehungen für den Kondensator, kommt man zu einer relativ einfachen Formel für die Flugzeit (die genauere Ableitung findet man in Box 2):

$$t_{\text{Flug}} = \frac{\eta_{\text{ges}} \cdot C \cdot (U_{\text{Start}}^2 - U_{\text{End}}^2)}{2 \cdot v_s \cdot m \cdot g} \quad [\text{s}] \quad (1)$$

Man sieht hier sofort, worauf es ankommt:

- die Wirkungsgrade des Antriebs
 $(\eta_{\text{ges}} = \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Luftschaube}})$
- die Kondensatorkapazität C (in Farad) und die Spannungen (in Volt) zu Beginn U_{Start} und Ende U_{End} des Fluges
- die Sinkgeschwindigkeit v_s (in m/s) als Maß für die aerodynamische Güte des Modells
- das Fluggewicht m (in kg)

Natürlich hat das der interessierte Leser schon irgendwie geahnt, trotzdem hilft es, sich die Beziehung mal direkt vor Auge zu führen. Gehen wir auf die Parameter und ihre Größenordnungen im Einzelnen ein.

Wirkungsgrade

Die Motorwirkungsgrade der derzeit verwendeten Bürstenmotoren (Fa. www.didel.com, ca. 30 Ohm) liegen in der Spitze bei ca. 50-55% [4, sowie eigene Messungen], die der verwendeten Getrieben können zu ca. 0.9...0.95 abgeschätzt werden. Der derzeit

vermessene Luftschaubenwirkungsgrad der im Vergleich zum klassischen Saalflug deutlich kleineren und wesentlich höher drehenden Luftschauben liegt derzeit bei maximal 40% [5]. Mit aktuellen Programmen berechnete Luftschauben liegen maximal nur wenige Prozent höher, ob sich das in der Praxis umsetzen lässt, bleibt abzuwarten.

Kondensator

Die Kondensatorkapazität geht ebenfalls direkt proportional in die Flugzeitformel ein. Die Vermessung von unselektierten 10 Farad-Kondensatoren (z.B. Greencap Nennwert 10 F, 2,7 V von www.conrad.de [6]) ergibt eine nutzbare Kapazität von 8.5-9 Farad ([7]). Conrad gibt eine Streubreite von ca. 20% an. Sollte sich das bewahrheiten, muss man sich die Kondensatoren gut aussuchen.

Sinkgeschwindigkeit und Gewicht

Die Sinkgeschwindigkeit eines gut ausgelegten Kondensatormodells liegt nach eigenen Messungen bei 0,22 m/s. Im Gegensatz zu klassischen Saalfliegern sind die Gewichte der Modelle mit ca. 6 bis 7g deutlich höher, so dass diese festigkeitsmäßig ausreichend und wegen der höheren Geschwindigkeit auch aerodynamisch widerstandsarm ausgelegt werden müssen. Zu kleine Streckungen haben sich z.B. bisher als ungünstig erwiesen. Sinkgeschwindigkeit und Gewicht sind nicht unabhängig, in der Formel für v_s ist die Masse m ebenfalls enthalten:

$$v_s = \sqrt{\frac{2mg}{\rho F} \frac{Cw^2}{Ca^3}} \quad (2)$$

(ρ : Luftdichte (kg/m³), F: Flügelfläche (m²), ca^3/cw^2 : Steigzahl, m·g: Gewichtskraft (N))

Eingesetzt in Formel (1) erhält man für ein gutes 10-Farad-Normalmodell die Massenabhängigkeit der Flugzeit zu:

$$t_{\text{Flug}} \approx 0.22/m^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

Von einem Referenzmodell wurde die Gleitpolare (ohne Propeller, gewichtskompensiert) vermessen und daraus Gleit- und Steigzahl im Arbeitspunkt bestimmt (siehe Box 1). Diese sind neben den elektrischen Parametern in folgender Tabelle aufgetragen und führen zum Proportionalitätsfaktor von 0.22 in Formel (3):

| Variable | | Wert | Einheit |
|----------------------------------|--------------------------|-------------|-----------------------|
| ca | Auftriebsbeiwert | 1 | |
| cw | Gesamtwiderstandsbeiwert | 0,18 | |
| ca/cw | Gleitzahl | 5,56 | |
| ca ³ /cw ² | Steigzahl | 30,86 | |
| ρ | Luftdichte | 1,204 | kg/m ³ |
| F | Flügelfläche | 0,066 | m ² |
| C | Kapazität | 9 | F |
| Ustart | Ustart | 3,3 | V |
| Uend | Uend | 2,1 | V |
| η | Motor | 0,55 | |
| η | Getriebe | 0,95 | |
| η | Luftschraube | 0,4 | |
| η | Gesamt | 0,21 | |
| Proportionalitätsfaktor | | 0,22 | s*kg ^(3/2) |

Ein interessantes Nebenergebnis ist, dass sich die Sinkgeschwindigkeit bzw. Steigzahl in Abhängigkeit von der Trimmung kaum ändern. Das ist vermutlich dem Re-Zahleinfluss zuzuschreiben: höhere Fluggeschwindigkeit bedeutet größere Re-Zahl und damit verminderten Widerstand bzw. umgekehrt. Das würde wiederum bedeuten, dass die Massenabhängigkeit der Flugzeit (Formel 3) etwas geringer ist als hier angenommen (etwa proportional zu 1/m).

Wenn man die Formel (3) grafisch aufträgt und zusätzlich die Werte diverser bekannter Modelle einzeichnet, ergibt sich die Übersicht in Abb.1. Die Wettbewerbsmodelle gruppieren sich unterhalb der theoretischen „Durchschnittskurve“. Allein das Modell von G. Ondraczek erreicht die Werte der Referenzkurve. Diese ist auch als Einstellhilfe ohne direkten Vergleichswettbewerb sehr gut geeignet, sieht man doch sofort, wie gut die Leistung des eigenen Modells bei bekanntem Gewicht im Vergleich zu anderen Modellauslegungen ist. Für das Modell von Paul Willutzki bedeutet das z.B., dass zum einen das Modell für die gewählte Fläche und Kondensatorkapazität etwas zu schwer ist (zu weit „rechts“) und zum anderen auch weitere Parameter noch nicht optimal sind (Abstand in senkrechter Richtung zur Kurve). Als erstes ist ein zu schlechter Luftschaubenwirkungsgrad anzunehmen, wurde der Propeller doch ohne weitere Berechnung oder Vermessung „auf die Schnelle“ über ein Glas geformt.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit haben wir versucht, die Einflussgrößen beim Kondensatorflug theoretisch in Beziehung zu setzen. Mit den hier gut anwendbaren Vereinfachungen erhält man sehr übersichtliche Gleichungen. Das hilft, die wesentlichen Parameter klar herauszuarbeiten und die Auswirkungen ihrer Veränderungen auch ohne direkten Wettbewerb besser

zu bewerten. In Box 2 kann man nochmal den Rechenweg nachvollziehen und in Box 3 weitere grafische Ergebnisse.

Wir hoffen, mit dieser Arbeit etwas zur weiteren Verbreitung dieser schönen und auch pädagogisch wertvollen Saalflugklasse beizutragen.

Literaturverzeichnis

- [1]: Heinz Eder, 2014, Alles über Saalflug, VTH-Verlag, ISBN 978-3-88180-455-5, Kapitel 17
- [2]: Z.B. in Thermiksense 04/2014
- [3]: Max Hacklinger, Untersuchungen an Saalflugmodellen, Jahrbuch 1962 der WGLR, S. 237-245
- [4]: in [1], Seite 123
- [5]: Heinz Eder in 2015 NFFS Symposium, <http://freeflight.org/Communications/Announcements/announcement8-8-15-2015Sympo.htm>
- [6]: Green-Cap Kondensator 10 F 2.7 V/DC 20 % (Ø x L) 10 mm x 30 mm Samwha DS5U106Z10030BB
- [7]: Paul Willutzki, Unterlagen Saalflugseminar 2014, http://www.thermiksense.de/images/stories/heftauszuege/Saalflugseminar_Willutzki.pdf, Folie 9
- [8]: <http://me-lrt.de/steigflug-minimaler-widerstand-propellerflugzeug>

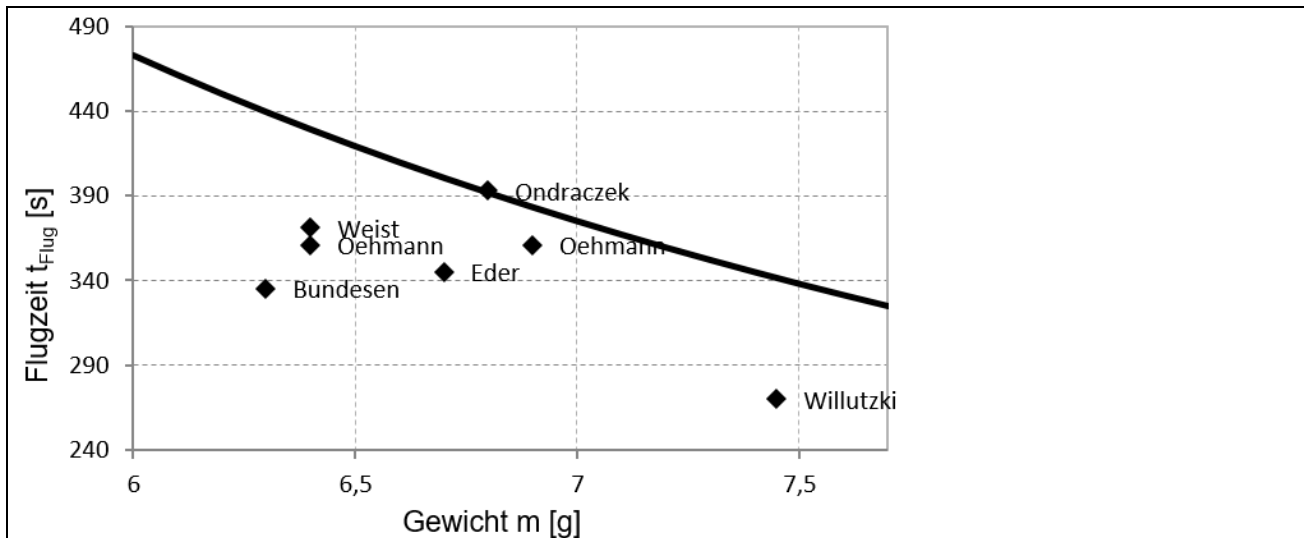
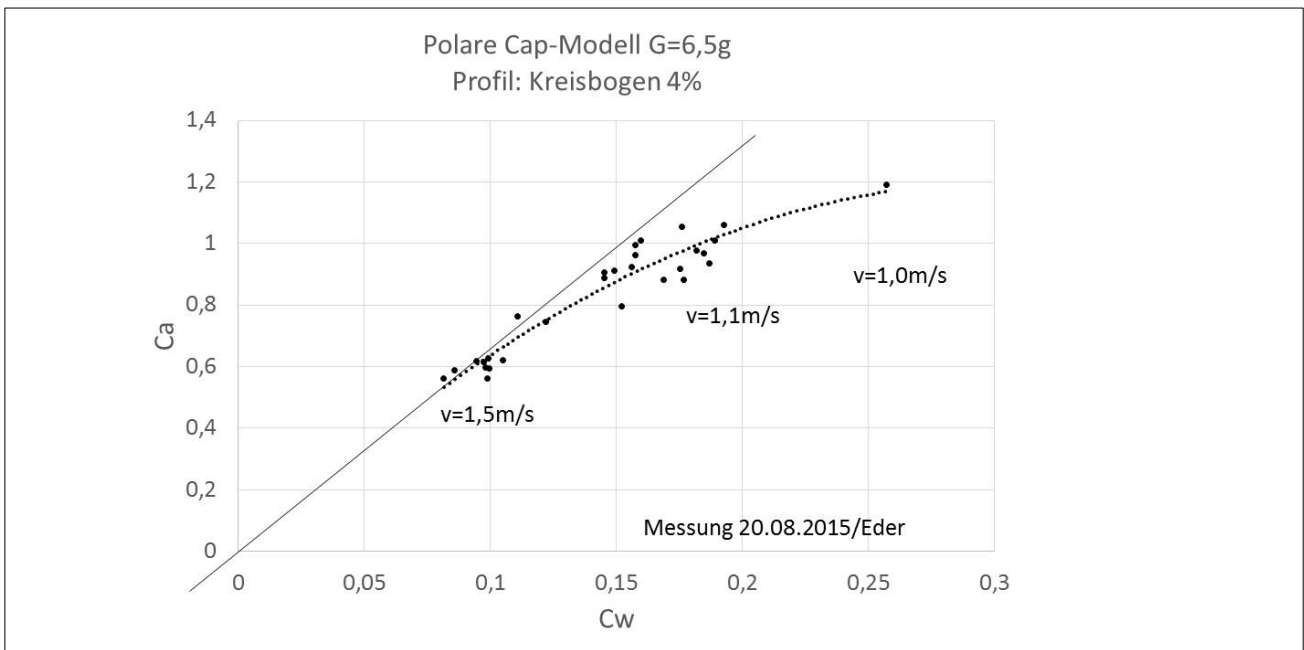


Abb. 1: Abhängigkeit der theoretischen Flugzeit der 10F-Kondensatormodelle vom Modellgewicht

Im Diagramm sind auch die Leistungen verschiedener Wettbewerbsmodelle eingezeichnet. Abweichungen ergeben sich z.B. durch Streuungen einzelner Parameter, unterschiedliche Starthöhen, sowie lokale Hallenbedingungen wie Konvektion, Deckenberührungen etc.



Box 1: Messung der Gleitpolare eines Kondensatormodells

Das Referenzmodell mit Masse 6,5 g und Spannweite 55 cm wurde ohne Propeller (durch Gewicht ersetzt) bei verschiedenen Trimmungen vermessen und daraus die Gleitpolare bestimmt. Der Polare sind die Gleit- und Steigzahlen c_a/c_w bzw. c_a^3/c_w^2 bei verschiedenen Fluggeschwindigkeiten zu entnehmen. Der Arbeitspunkt für die Berechnung des Referenzmodells wurde bei $c_a=1,0$ festgelegt.

Aus den Kräftegleichungen in x- und y-Richtung folgt mit den Vereinfachungen Propellerachse=Flugrichtung und kleine Steig-/Sinkwinkel ($\cos(\alpha) \approx 1$) für die Vertikalgeschwindigkeit:

$$\dot{h} = \frac{P}{mg} - v_s$$

v_s : Sinkgeschwindigkeit, $m \cdot g$: Gewichtskraft

Diese Rechnung ist eine gängige in der Flugphysik, man findet sie z.B. in [8].

Die Leistung P kommt bei uns aus dem Kondensator:

$$P = \eta_{ges} \frac{dE_c}{dt}$$

$$(\eta_{ges} = \eta_{Motor} \cdot \eta_{Getriebe} \cdot \eta_{Luftschraube})$$

E_c : Energie Kondensator

Eingesetzt in die Formel für die Vertikalgeschwindigkeit und integriert folgt die Bahngleichung:

$$h(t) = \eta_{ges} E_c(t) - v_s t + c$$

Die Integrationskonstante c ergibt sich bei Annahme von $h(0)=0$ und $E_c(0)=0$ ebenfalls zu 0.

Nun ist:

$$E_c = \frac{1}{2} C U^2$$

In die Bahngleichung eingesetzt und nach t aufgelöst ergibt sich für die Flugzeit t_{Flug} :

$$t = t_{Flug}$$

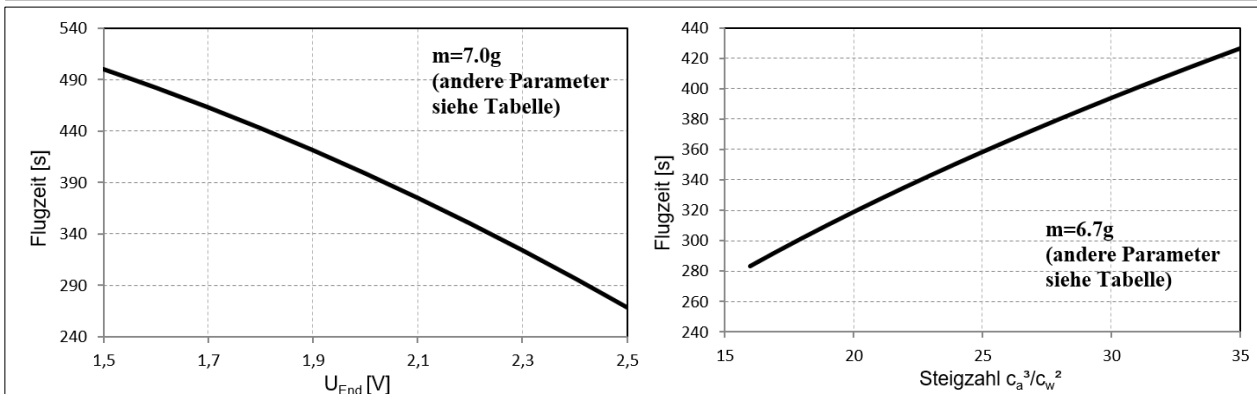
$$h = 0$$

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} C (U_{Start}^2 - U_{End}^2)$$

$$t_{Flug} = \frac{\eta_{ges} \cdot C \cdot (U_{Start}^2 - U_{End}^2)}{2 \cdot v_s \cdot m \cdot g}$$

Man beachte, dass diese Formel letztlich keine explizite ist, da auch U_{End} von der Flugzeit abhängt. Wer hier weiter rechnen möchte, kann z.B. die Abnahme von U_{End} mit einem gemittelten Motorwiderstand als ohmsche Last modellieren (e-Funktion für den Kondensator mit ohmscher Last). Eingesetzt in die Flugzeitformel und als Taylorreihe bis zum ersten Glied um einen sinnvollen Punkt (z.B. $t_{Flug}=340s$) entwickelt, kann man die sich ergebende Formel explizit nach t auflösen. Sie ist zwar nicht mehr sehr anschaulich, mit dem Rechner aber gut behandelbar. Aber auch eine numerische Lösung ist denkbar. Ebenfalls behandelbar ist der Einsatz eines Step-Up-Konverters. Hier sinkt U_{End} , auf der anderen Seite sinkt der Gesamtwirkungsgrad und steigt das Gewicht. Es besteht also noch großer Raum, z.B. für Schüler- oder Studienarbeiten.

Box 2: Rechenweg zur Ermittlung der Flugzeitformel



Box 3: Abhängigkeit der Flugzeit t_{Flug} von der Spannung bei Landung U_{End} sowie der Steigzahl

Die Abhängigkeiten von den Wirkungsgraden und der Kapazität sind nicht explizit angegeben, sie sind direkt proportional.

Tipps zum Bau von CAP- Modellen

Grundsätzliches

- Der Bau von CAP-Leistungsmodellen ist von den Anforderungen Festigkeit/Gewicht eine Herausforderung an den Erbauer
- Für den Bau der Zelle ist leichtes Balsa der Dichte ca. 80 kg/m^3 erforderlich (1 Kubikmeter Holz wiegt ca. 80 kg).
- Borfasern sind hilfreich, um die Steifigkeit der Zelle (Flügel, Rumpf) zu erhöhen
- Alle Teile vor dem Einbau auf Festigkeit/Fehlstellen prüfen!

Flügel, HLW

- Die Flügelholme sollten im Mittelteil verjüngt sein, z. B. von $2 \times 1,5$ auf $1,5 \times 1,5$ mm.
- Die Steifigkeit des Flügels wird durch Borfasern mit $75 \mu\text{m}$ im Mittelteil (Holm-Ober- und – Unterseite) erheblich verbessert.
- Es sollten genügend Rippen (min. 5) verwendet werden, um die Kräfte zu übertragen.
- Das Flügelprofil ist üblicherweise ein Kreisbogenprofil mit 4% Wölbung. Das Profil des Höhenleitwerks ist eben. Die Flügelrippen haben typischerweise eine Höhe von 1,5 mm bei 1 mm Breite.
- Das Höhenleitwerk sollte relativ groß sein, damit das Modell bei einer Schwerpunktlage von ca. 50% noch ein ausreichendes Stabilitätsmaß besitzt und gut abfährt.

Rumpf

- Der Rumpf kann aus einem konischen Rechteck-Balsastab aus leichtem Holz bestehen. Das Richtgewicht bei 40 cm Länge ist 400-500 mg. Auch kann ein konisches Rohr z. B. $6 \rightarrow 3,5$ mm aus $0,40$ mm Balsa gewickelt werden, das unter 400 mg wiegt. Der Rumpf sollte im Falle des Vollstabes mit Borfasern biegesteif gemacht werden.
Das Problem: wenn das Modell nach Deckenberührung auf den Kopf geht (unterschneidet) darf sich der Rumpf nicht durchbiegen und der Flügel sich auch nicht verdrehen. Ist die Struktur zu weich, stabilisiert sich das Modell nach dem Durchtauchen nicht mehr.

Gewicht Zelle

- Die Zelle sollte bei ca. 50 cm Spannweite und $0,9 \mu$ Mylarbespannung zwischen 1,1 und 1,4 Gramm wiegen. Man kann mit diesem Zellengewicht auf ein Fluggewicht um die 5 Gramm kommen.
- Einzel-Gewichte (ca.): Flügel 500 mg, Rumpf 400 mg Leitwerke 300 mg

Materialbeschaffung

- Soweit vorrätig, kann ich geeignetes Balsa und Borfasern zu Selbstkosten liefern. Auch die Antriebskomponenten sind meist bei mir vorrätig (eder-h@arcor.de). Es macht wenig Sinn, einzelne Komponenten bei den Lieferanten im Ausland zu bestellen.

Unterschneiden bei Kondensator-Saalflugmodellen

Das Problem

Die Kondensatormodelle kann man ja durchaus als Bereicherung des Saalfluges sehen.

Die Klasse hat allerdings schon einige Veränderungen durchlaufen: Von den Getriebeversionen ist man wieder abgekommen, da diese oft Probleme machten. Man setzt daher momentan wieder auf Direktantrieb mit einem 5 Farad Superkondensator und einem 6 mm Coreless Motor mit etwa 10 Ohm Innenwiderstand. Die Flugzeiten bei 3,3 Volt Anfangsspannung liegen um 2,5 Minuten und selbst die 3 Minuten erscheinen möglich. Verschiedene Deckenabschaltungen (mechanisch und elektronisch) wurden erprobt. Sie konnten die Flugzeiten jedoch nicht wirklich steigern. Trotzdem ist es ein Fortschritt, wenn sich der Motor bei Deckenberührung für einige Sekunden abschaltet. Das Problem der Kollision mit Querträgern oder Lampen usw. ist damit aber noch nicht gelöst.

Die Haupt-Einflussgröße bei der Optimierung der Flugzeiten ist das Modellgewicht. Es geht direkt in die Flugzeit ein (siehe frühere Artikel). Hier ist man also wieder bei der Quadratur des Kreises angelangt: Das Modell soll so leicht sein wie möglich - aber auch stabil.

Das Hauptproblem ist das Unterschneiden, wenn das Modell an der Decke oder an Querträgern bis zum Stillstand abgebremst wird und wieder beschleunigen muss. Beim Durchtauchen dreht zusätzlich der Motor hoch und das Modell geht stur auf den Kopf. Hauptursache ist eine zu weiche Struktur. Ein außen breiter Flügel verdreht sich, wenn der Druckpunkt beim Abtauchen nach hinten wandert. Auch der Rumpf kann sich verbiegen, wenn das Leitwerk negativ angeströmt wird. Das Vorverlegen des Schwerpunktes hilft in solchen Fällen nur begrenzt. Die Folge ist unweigerlich das Unterschneiden mit Aufprall auf dem Boden und ggf. Beschädigung des Modells.

Was also tun?

Meine Lösung lautet: ein **steifer Flügel, der sich nach außen verjüngt**. Die elliptischen 3D Flügel mit Borfaser-Versteifungen schaffen hier Abhilfe. Bei breiten Flügelenden verdreht sich der gesamte Flügel, was bei trapezförmig oder elliptisch verjüngten Flügelenden weniger der Fall ist. Wichtig ist auch ein **steifer Rumpf**, denn er kann das Verdrehen des Flügels fördern. Ein zu **weicher Leitwerksträger** kann sich zudem verbiegen und den Einstellwinkel des Leitwerks reduzieren. Eine **Erhöhung der Flügelpfosten** wirkt sich beim Durchtauchen eher günstig aus. Bei meiner neuen Modellversion habe ich das **Leitwerk deutlich vergrößert**. Der Schwerpunkt liegt jetzt bei 60% und kann wahrscheinlich noch weiter nach hinten gelegt werden.

Der Stresstest

Bei Windstille über Grasboden kann man den Versuch machen, das Modell aus ca. 2 m Höhe 45° nach unten gleiten zu lassen. Es sollte sich noch vor Bodenberührung abfangen. Das Gleiche kann mit laufendem Motor wiederholt werden. Das unten gezeigte Modell hat die Tests bisher erfolgreich durchlaufen.

Das Modellgewicht liegt jetzt etwas unter 5 Gramm. Wesentlich darunter wird man nicht kommen, wenn man die oben genannten Anforderungen erfüllen will.

Wie man sieht, ist die Kondensatorklasse doch recht anspruchsvoll, wenn man zuverlässig gute Leistungen erreichen will.

Ich hoffe, dass nach Lösung der beschriebenen Probleme die Klasse wieder mehr Zuspruch findet.

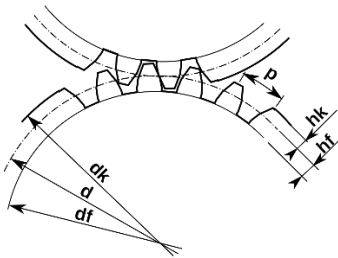


Getriebe

Zur Verwendung kommen hier meist Zahnräder mit Modul 0,3, z. B. von Didel.com. Das Material ist Polyoxymethylen Copolymer (POM-C).

Zahnräder mit Modul 0,2 haben sehr feine Zähne und sind verschmutzungs-gefährdet. Soweit möglich, werden zur Gewichtsreduzierung die Öffnungen der Zahnräder noch erweitert.

Das Ritzel hat üblicherweise 9 Zähne, das Zahnrad 60 oder 81 Zähne entsprechend Untersetzungen 1:6,66 oder 1:9.



Modul = Teilkreisdurchmesser d /Zähnezahl z

(Bild: P. Ehrenberg)

Jedes Getriebe ist verlustbehaftet. Mit Untersetzungen > 10 nehmen die Verluste zu, da das Abrollen der Flanken nicht mehr reibungsarm erfolgt. Zweistufige Getriebe zeigen mehr Verluste als einstufige. Das dürfte auch für Schneckengetriebe gelten.

Sehr wichtig ist der Wellenabstand, der so eingestellt werden muss, dass ein **minimaler Luftspalt** zwischen den gegenüberliegenden Zähnen vorhanden ist. Der Spalt darf nicht zu groß und nicht zu klein sein. Man kann zum Beispiel bei der Montage dünne Folie mit 0,02 – 0,05 mm Dicke zwischen die Zahnräder legen und diese zusammendrücken.

Ist der Spalt zu klein, wächst die Reibung. Bei zu großem Spalt ist der Abrollvorgang zwischen den Zahnradflanken gestört. Beigefügte Daten geben Auskunft über den exakten Achsenabstand.

Beispiel:

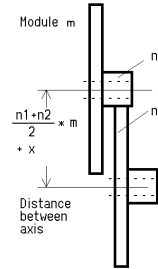
Ritzel 9 Zähne, Zahnrad 81 Zähne, Modul 0,3 \rightarrow Achsenabstand $0,3 \cdot (9+81)/2 = 13,5 \text{ mm} + 0,03 \text{ mm}$ für Spalt

Mod 0.3 and 0.2 gears

Didel now has a complete set of module 0.3 and module 0.2 gears.

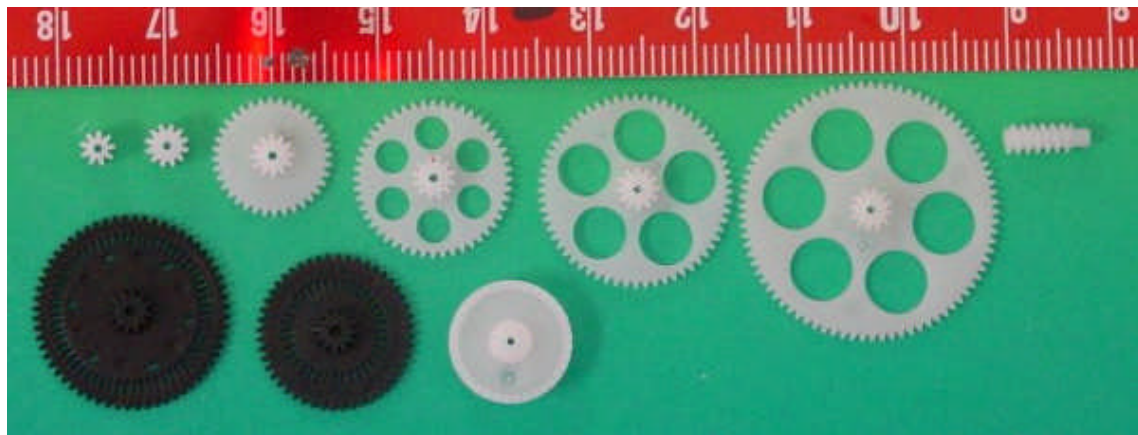
For a module m , the nominal diameter (mid-teeth) of a n -teeth pinion or gear is $n \cdot m$ millimeters. The pitch (nominal distance between two teeth) is $n \cdot 3.14$.

The distance between two shafts carrying gears of n_1 and n_2 teeth is $(n_1+n_2)/2 \cdot m + x$. The clearance x is 0.02 to 0.05mm depending on the precision of the gears and the bores.



Module 0.3 pinions, gears and worm

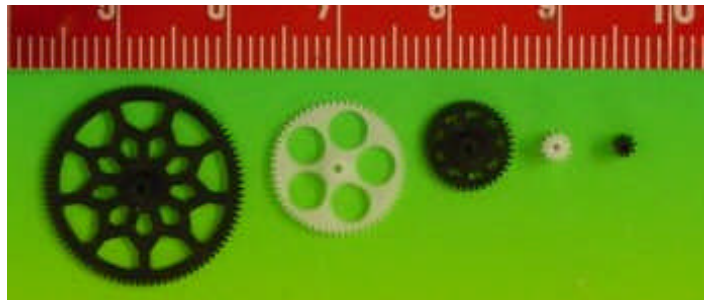
| | Number of Teeth | Nominal dia (mm) | Ext diameter | Length/ thickness | Bore diameter | Weight | Cost CHF |
|-------|-------------------|------------------|--------------|-------------------|------------------------|--------|----------|
| G309 | 9 | 2.7 | 3.3 | 3.6 | 0.62 0.72 0.82 0.97 | 0.02 | 1.60 |
| G312 | 12 | 3.6 | 4.2 | 3.4 | 0.78 0.97 | 0.04 | 1.40 |
| G336 | 36/12 | 10.8 | 11.4 | 3.0 | 0.80 | 0.13 | 4.10 |
| G348L | 48/12 | 14.4 | 15.0 | 3.0 | 0.79 | 0.15 | 6.60 |
| G360L | 60/12 | 18.0 | 18.6 | 3.0 | 0.73 | 0.18 | 6.60 |
| G681L | 81/12 | 24.3 | 24.9 | 3.0 | 0.75 | 0.34 | 10.40 |
| G336C | 36/12 | 10.8 | 11.4 | 3.0 | 0.72 | 0.17 | 4.10 |
| GW303 | 1 | 2.4 | 3.0 | 8.0 | 0.61 | 0.04 | 7.20 |
| G348S | 48/12 36 slots | 14.4 | 15.0 | 3.0 | 0.75 | 0.19 | 7.60 |
| G360S | 60/12 60 slots | 18.0 | 18.6 | 3.0 | 0.74 | 0.25 | 8.60 |



Material: POM. Manufactured in China

Module 0.2 pinions and gears

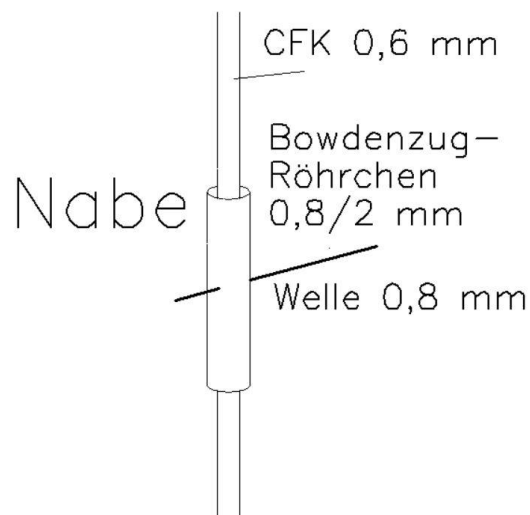
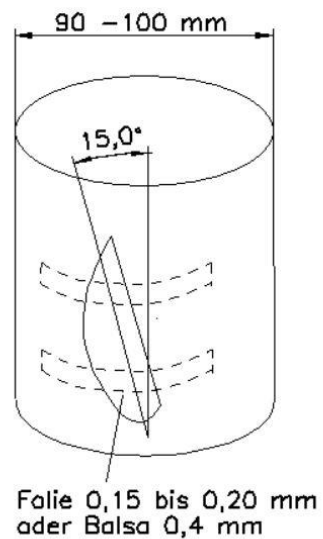
| | Teeth number | Nominal dia (mm) | Ext diameter | Length/ thickness | Bore diameter | Weight | Cost CHF |
|------|--------------|------------------|--------------|-------------------|---------------|--------|----------|
| G209 | 9 | 1.8 | 2.2 | 2.5 | 0.61 | 0.006 | 2.90 |
| G212 | 12 | 2.4 | 2.8 | 2.5 | 0.63 | 0.011 | 2.60 |
| G240 | 40/12 | 8.0 | 8.4 | 3.5 | 0.77 | 0.046 | 8.50 |
| G260 | 40/12 | 12.0 | 12.4 | 2.5 | 0.79 | 0.067 | 9.10 |
| G290 | 90/12 | 18.0 | 18.4 | 3.5 | 0.77 | 0.140 | 11.80 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



Material:POM, The black gears are Swiss made, high precision.

Propellerherstellung

- Die Propellerblätter werden z. B. aus 0,2 mm Verpackungsfolie hergestellt:
- Von ebener Verpackung (z. B. Deckel Frischkäse, s. Bild) Blattform ausschneiden und im Winkel von 15° mittels Tesafilm o. ä. auf einer Dose oder Tasse mit ca. 90 mm Durchmesser fixieren.
- Dose ca. 20 s in kochend heißes Wasser tauchen
- Propellerholm aus 0,6 mm CFK herstellen
- Nabe aus Bowdenzugröhrchen innen 0,8 mm/ außen 2,1 mm
- Nabe für Propellerwelle senkrecht durchbohren
- Verkebung Holm-Blatt Pattex Utragel



Eine ausführliche Anleitung zur Herstellung von Folienpropellern von Roland Oehmann gibt es in der Thermiksense/Infothek/Saalfly

E-Saalfiegen mit Doppelschicht-Kondensatoren

Heinrich Eder und Roland Oehmann

Vielen ist noch der „Peppino“ von Roland bekannt, der vor Jahren schon die ersten erfolgreichen Saalflüge bis 90 Sekunden Dauer absolvierte. Mit der neuen Generation von Supercaps machten wir einen neuen Anlauf. Hier kurz die neue Entwicklung:

- Doppelschichtkondensatoren (Firmenbezeichnung „Goldcaps“, „Green Caps“, usw.) besitzen heute bei gleichem Gewicht und geringen Kosten die 3-fache Kapazität. Z. B. wiegen die Green Caps mit 3Farad 1,4 g, 5F 2,1 g und 10F 2,9 g. Wenn man die Beinchen kürzt und den Schrumpfschlauch abzieht, bekommt man nochmal 0,2 g Gewichtersparnis
- Die Spannungslage hat sich verbessert: von früher 2,5 V auf heute 2,7 bis 3 Volt. Es ist also ein größerer Spannungsbereich nutzbar, gleichzeitig ist der Innenwiderstand wesentlich kleiner geworden, was die Ladezeiten verkürzt (ca. 30 - 40 s)
- Die Coreless- oder Pager-Motoren sind durch den Massen-Einsatz in Handys (Vibrationsmotoren) leistungsfähiger und kostengünstiger geworden. Auch in den kleinen Servos sind sie zu finden oder in Spielzeugen wie RC-Miniflugzeugen und Mini-Hubschraubern.
- Das geringere Kondensator- und Motorgewicht zieht wiederum ein geringeres Strukturgewicht nach sich, so dass sich heute mit einem 5 Farad-Kondensator ein Abfluggewicht von 4,4 bis 6 Gramm (je nach Motorisierung und Auslegung) erreichen lässt.
- Flugzeiten bis zu 3 Minuten haben wir bereits beim Einfliegen der Modelle erreicht. Wie funktionieren Supercaps?

Zum einen handelt es sich um einen ganz gewöhnlichen Elektrolytkondensator. Dieser besitzt jedoch an den Grenzschichten die Fähigkeit, Ladungen nicht nur elektrostatisch sondern auch elektrochemisch (mittels Redoxprozess) zu speichern. Es ist also ein Zwischending zwischen Akku und Kondensator. Im Unterschied zum Akku sind die Ladezeiten wegen der großen inneren Oberflächen (Stichwort: Kohlenstoff-Nanoröhrchen) um ein Vielfaches kürzer (<30 Sekunden). Wegen dieser Eigenschaft werden die Supercaps auch als Puffer zur Aufnahme von Bremsenergie bei Bussen und in der Formel 1 eingesetzt. Dort gewinnt man 20% Energie zurück. Es sind jedoch neue Supercaps in der Entwicklung, die 100 mal mehr Energie speichern als die heute handelsüblichen Typen und man darf gespannt sein, ob sie eines Tages die Li-Ion-Akkus verdrängen werden. Zurzeit fehlt noch ein Faktor 20 bis 50 zur Energiedichte von Lithium-Akkus. Die Supercaps lassen >500.000 Ladezyklen zu, gegenüber <1000 bei Li-Ion-Akkus.

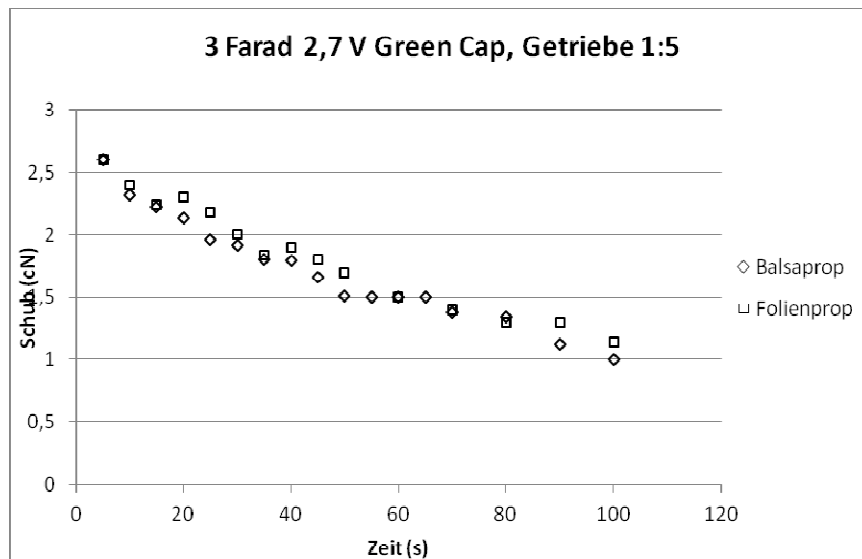
Laden, Entladen

Die Ladung ist völlig unkritisch. Ein Vorwiderstand ist nicht erforderlich. Man stellt die genaue Ladespannung an einem Netzgerät ein und verbindet die Caps 40 s lang mit der Stromquelle. Dabei fließen kurzzeitig hohe Ladeströme im A-Bereich. Eine Überladung ist nicht möglich. Als Ladespannung verwende ich bei dem 2,7 Volt-Typ 3,2 Volt. Nachteile habe ich wegen der Überspannung bisher noch nicht bemerkt. Es kann aber sein, dass die Lebensdauer reduziert wird. Auch wenn die Ladeschlussspannung schon erreicht ist, fließt infolge des Redox-Prozesses für ca. 10 s immer noch ein relativ hoher Strom. Das Entladen erfolgt nach der typischen $e^{-t/RC}$ -Entladefunktion.

Ähnlich wie beim Gummi hat man anfangs die volle Leistung für den Steigflug, am Gipfelpunkt cruist das Modell eine Weile und kommt anschließend langsam herunter.

Propeller, Triebwerk

Der Vergleich verschiedener Propeller kann über die Schub-Zeitkurve erfolgen (s. Bild). Nach ca. 90 s entscheidet sich, welcher Prop den „längsten Atem“ hat. Bislang haben die Propeller mit Blättern aus 0,2 mm PVC-Folie leichte Vorteile gegenüber den erprobten Balsaprops. Die jetzige Auslegung liegt für einen 6 mm Pagermotor und 1:5 Getriebe bei einem Durchmesser von 125 mm und einer Steigung um 60-80 mm. Pagermotore gibt es von 3 bis 40 Ohm Innenwiderstand, wobei die niederohmigen viel Leistung/Schub abgeben und so eine hohe Steigrate erzielen. Die Ladung des Kondensators ist dafür früher aufgebraucht, aber das Modell hat dafür eine große Ausgangshöhe für den anschließenden Sinkflug (mit Schleppgas) erreicht. Alternativ kann der kräftige Antrieb auch einen wesentlich schwereren Kondensator mit höherer Kapazität tragen, was die Flugzeit wiederum verlängert. Je nach Auslegung und Hallenhöhe wird das Optimum vermutlich zwischen 9 und 30 Ohm liegen. Die Erprobung hierzu läuft noch. Als Anhaltswert sollte der Anfangsschub etwa ein Drittel bis ein Viertel des Modell-Gesamtgewichts sein, um sicheres Steigen zu gewährleisten.



Schub-Zeitverläufe für 2 verschiedene Propeller (6 mm Pagermotor)

Elektrik

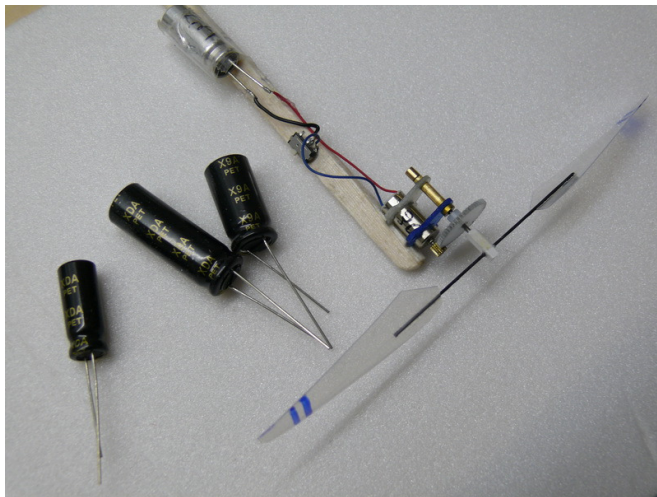
Keine Angst vor der Elektrik, man muss keine elektronischen Kenntnisse besitzen.

Der Stromkreis ist so einfach wie bei einer Taschenlampe. Es gibt nur den Kondensator als Stromquelle, der mit dünnem Kabel oder Kupferlackdraht mit dem Motor verbunden ist. Dazwischen ein kleiner Schalter zum Ein-Aus-schalten. Fertig!

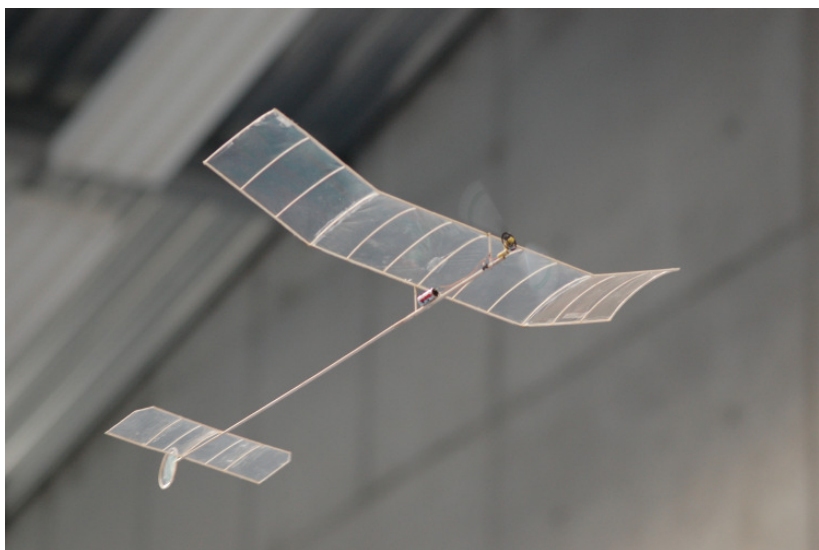
Modelle „Capino“ und „E-Quirl“ (Heinz Eder)

Das Leergewicht des „Capino“ beträgt bei 48 cm Spannweite 1,2 g. Ich habe das Modell mit einem 4 mm Coreless- (Pager-)Motor 40 Ohm und einem 1:10 Getriebe Mod. 0,2 (www.didel.com) ausgelegt. Als Schalter dient ein SMD-Schiebeschalter von Conrad. Leider stellt Didel die Getriebe

nicht mehr her, Zahnräder und Ritzel sind aber noch erhältlich. Auf der Webseite sind auch die entsprechenden Achsabstände bei korrektem Spiel der Zähne abrufbar. Mit den heutigen CNC Modellbaufräsen kann man Lagerplatten aus 0,5 mm GFK fräsen und sich ein Getriebe - z. B. aus einem Servo-Ersatzgetriebe - ohne weiteres selbst fertigen. Als Energiequelle dient ein Green Cap mit 5 Farad, 2,7 Volt (ebenfalls Conrad). Als Bespannung hat das Modell die Truelite Folie von A2ZCorp (ca. 0,9 μm). Genauso ist auch die 0,9 g/m²-Folie von Alfred Klick verwendbar (Tel. 06831-81902). Der Balsaprop mit CFK-Schaft hatte einen Durchmesser von 125 mm und eine Steigung von 80 mm. Beim Erstflug am 10. 1. 2012 schaffte das Modell in der Friedberger Halle 2min 20 s. Inzwischen werden mit einem optimiertem Plastikfolien-Propeller und reibungsarmen Getriebe über 4 Minuten erreicht. Der „E-Quirl“ ist als Nachfolger des gummibetriebenen Einsteigermodells „Quirl“ entstanden. Er ist etwas größer und nutzt den 6 mm Pagermotor 10 Ohm mit einem 1:5 Getriebe. Es findet der gleiche Prop wie beim Capino Verwendung. Damit wird ein kräftigerer Steigflug möglich und man kann das Modell auch im Freien bei Windstille fliegen. In der Halle kommt man mit dieser Motorisierung schnell an die Decke. Mit mehr „Payload“, d. h. Kondensatoren mit 5 oder 10 F, kann man wegen des Mehrgewichts den Steigflug bremsen und eine längere Flugzeit bei geringerer „Gipfelhöhe“ erzielen.



Verschiedene Green Caps und der komplette Antrieb des E-Quirl



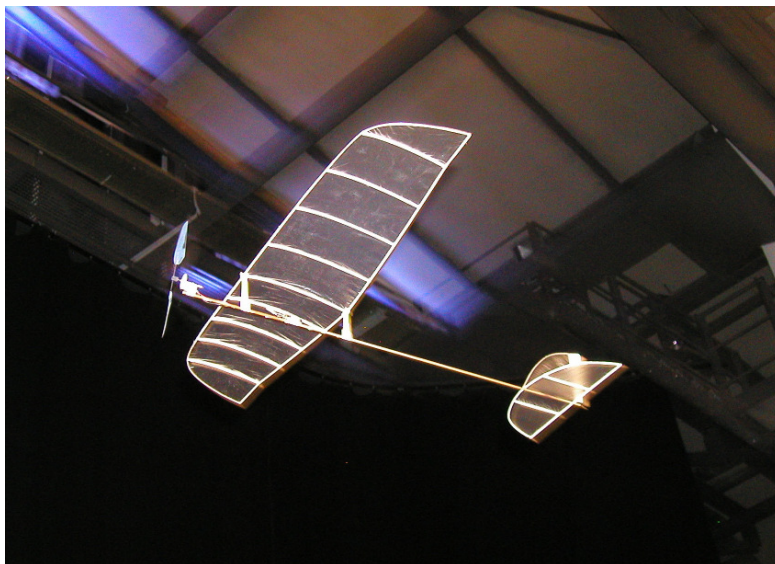
„Capino“ von Heinz Eder bei einem Flug über 4,5 min

Modelle „Cappy 1“ und „Cappy 2“ (Roland Oehmann)

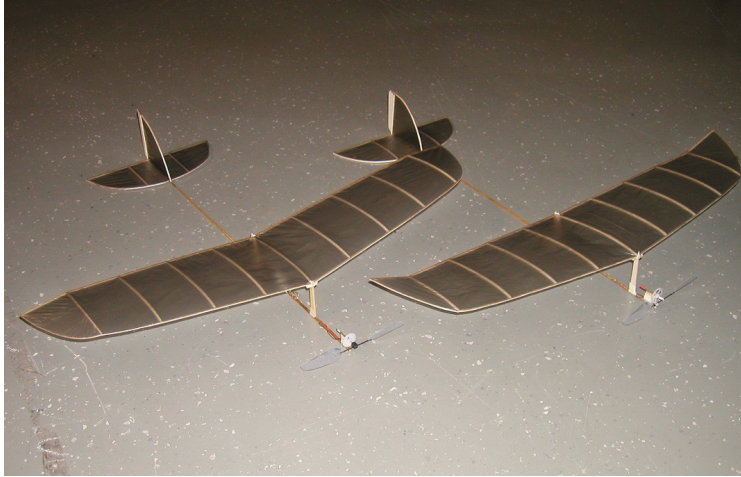
Beide Modelle sind nahezu gleich aufgebaut und unterscheiden sich hauptsächlich in der Ausstattung der Elektrik und im Getriebe. Das Einfliegen der „Cappys“ erfolgte im Wohnzimmer zuerst ohne Antrieb, so dass ein schöner Gleitflug erzielt wurde. Der Kreisflug wurde in der Halle auf ca. 5 m Durchmesser eingestellt. Beide Modelle flogen auf Antrieb zuverlässig. Die dargestellten Werte ergaben sich aus mehreren Flügen. Cappy 1 wurde außerdem mit 5 Farad und 10 Farad getestet. Allerdings wurde dabei ein 6,8 Ohm Widerstand in Reihe geschaltet, damit das Modell nicht zu hoch steigt. Mit 5 F beträgt die „gebremste Flugdauer“ 120 s bei einer Gipfelhöhe von ca. 5 Metern. Mit 10 F beträgt die „gebremste Flugdauer“ 180 s bei einer Gipfelhöhe von 8 Metern.

Modellauslegung und Flugleistungen

| | Fluggewicht | Spannw. | Propeller | Motor | Getriebe | Flugdauer mit 3 bzw. 5 Farad | Max. Steighöhe ca. |
|---------|------------------------|---------|-----------|--------------------------|----------|--------------------------------|--|
| CAPPY 1 | 6,6g | 533 mm | 126/60 | 6 mm / 9,3 Ohm ≠ 1,4g | 8,86:1 | über 110s (3 F) | 10 m |
| CAPPY 2 | 5,9g (3F) 6,6g (5F) | 533 mm | 126/60 | 6 mm / 35 Ohm ≠ 1,4g | 6,66:1 | bis 180s (3F) bis 240s (5F) | 6,2 m Hallendecke 6,2 m Hallendecke |
| Cappy 3 | 5,85 g | 550 mm | 126/60 | 6 mm / 33 Ohm ≠ 1,6 g | 8,57:1 | noch in Erprobung | ? |
| Capino | 4,4 g | 480mm | 125/80 | 4 mm / 40 Ohm 0,66 g | 10:1 | über 240 s (5 F) | >9 m |
| E-Quirl | 7,0g | 420mm | 125/80 | 6 mm / 10 Ohm 1,4 g | 5:1 | bis 110 s (5 F) | >10 m |



Der „Cappy 1“ von Roland Oehmann beim Flug in der Halle



„Cappy 1+ 2“

Fliegen

Im Grunde ergibt sich das gleiche Muster wie beim Gummi, die Eleganz und auch die langsame Fluggeschwindigkeit sind durchaus vergleichbar. Die zu beherrschenden Anfangsdrehmomente sind allerdings wesentlich geringer, so dass ein unsymmetrischer Flügel nicht erforderlich ist. Es gibt keine verbogenen Modellstrukturen durch hohen Gummitorsionskräfte und somit keine unbeherrschbaren Flugzustände in der Anfangsphase. Das Einfliegen und Einstellen der Modelle ist dadurch sehr einfach und viel leichter zu beherrschen. Der Kreisflug wird ggf. mit dem Seitenzug des Motors und mit dem Seitenruder justiert. Es ist kein Problem, wenn der Prop durch ein Hindernis blockiert wird, es fließt dann ein etwa doppelter Strom, ohne Cap oder Motor zu zerstören. Der Reiz des Fliegens liegt im entspannten Zusehen, wie das Modell seine Kreise nach oben zieht.

Im Gegensatz zum klassischen Saalflug, bei dem Gummi mit Spitzenqualität von einigen Leuten gut „gehütet“ wird und für Normalverbraucher praktisch nicht erreichbar ist, hat hier jeder die gleiche Voraussetzung. Es entscheidet wieder mehr die Modell- und Triebwerksauslegung über den Erfolg. Der „Kick“ liegt in der Abstimmung von Steig-/Schwebe- und Sinkphasen, die je nach Motorisierung, Stromquelle und Modellgewicht zu beeinflussen sind – natürlich im Hinblick auf eine möglichst hohe Gesamtflugzeit.

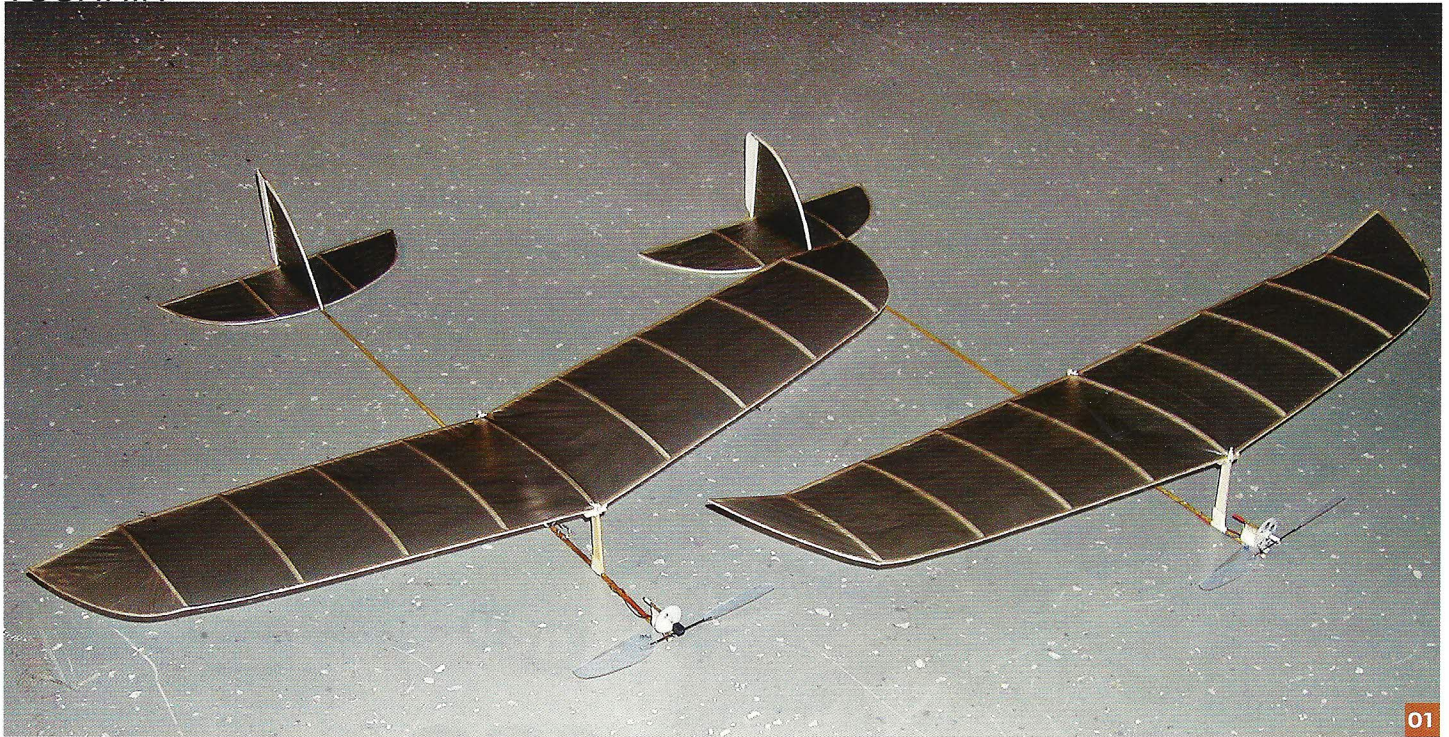
Fazit

Die Entwicklung des E-Saalflugs mit Kondensatoren ist sicher nicht am Ende, sondern erst am Anfang. Zurzeit sehen wir Dauerflüge von 5 Minuten als realistisch an – mit Optimierungen an den Modellen sogar mehr. Mit Weiterentwicklung der Caps wird es in der Zukunft sicherlich noch einige Zeitsprünge nach oben geben.

Weitere Infos: Youtube „Capino – Saalflug mit Supercaps“

<http://www.youtube.com/watch?v=YIsZ5TgKuXk>

Forum: <http://saalflug-f1d-forum.xobor.de/t120f19-Saalflug-mit-Superkondensatoren.html>



01

Energiesparer

Saalfiegen mit Kondensatoren zur Stromversorgung

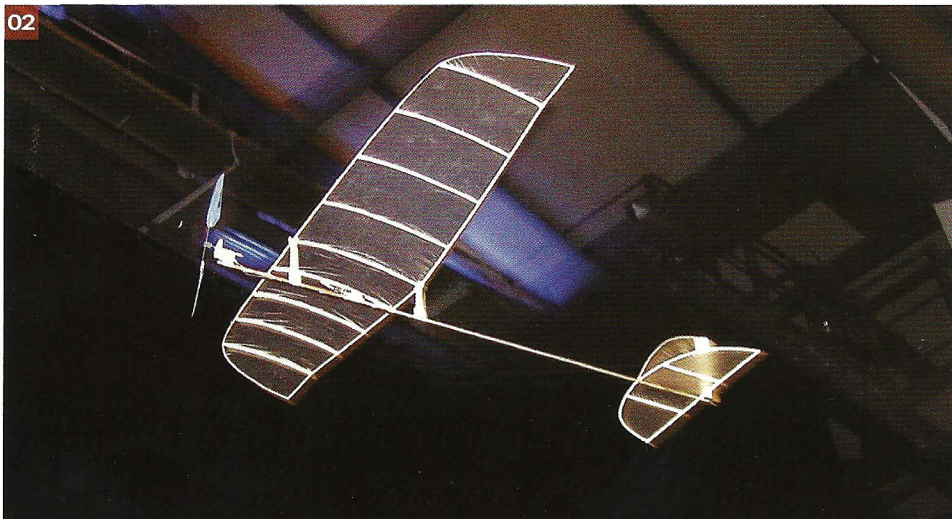
Vielen ist noch der „Peppino“ von Roland Oehmann bekannt, der vor vielen Jahren schon die ersten erfolgreichen Saalflüge bis 90 Sekunden Dauer absolvierte. Da die Entwicklung der so genannten „Goldcap“-Kondensatoren nicht stehen blieb, hatten wir die Idee, mit den neuen Möglichkeiten und Rolands früheren Erfahrungen in die Kondensatorfliegerei wieder einzusteigen.

Neu dabei sind die Doppelschicht-Kondensatoren (Firmenbezeichnung: „Goldcaps“, „Green Caps“ und einige mehr) die heute bei gleichem Gewicht und geringen Kosten die dreifache Kapazität bieten. So wiegen die „Green Caps“ mit drei Farad 1,4 Gramm, mit fünf Farad 2,1 Gramm und mit zehn Farad 2,9 Gramm. Wenn man die Beinchen kürzt und den Schrumpfschlauch abzieht, be-

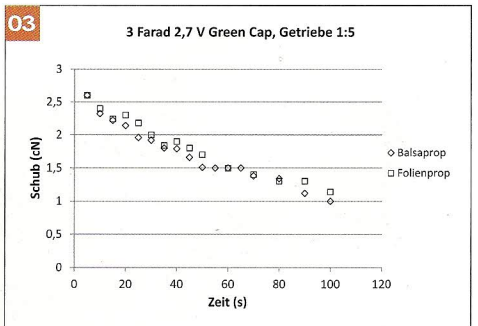
kommt man nochmal 0,2 Gramm Gewichtsersparnis. Auch die Spannungslage hat sich verbessert: Von früheren 2,5 Volt auf heutige 2,7 bis drei Volt. Es ist also ein größerer Spannungsbereich nutzbar, gleichzeitig ist der Innenwiderstand wesentlich kleiner geworden, was die Ladezeiten verkürzt (circa 30 Sekunden). Die verwendeten Coreless- oder Pager-Motoren sind durch den massenhaften Einsatz in Handys als Vibrationsmotoren leistungsfähiger und kostengünstiger geworden. Auch in kleinen Servos sind sie zu finden. Das geringere Kondensator- und Motorengewicht zieht wiederum ein geringeres Strukturgewicht nach sich, sodass sich heute mit drei Farad ein Abfluggewicht von 3,5 bis sechs Gramm (je nach Motorisierung und Auslegung) erreichen lässt. Flugzeiten bis zu vier Mi-

nuten haben wir bereits beim Einfiegen der Modelle erreicht, fünf Minuten erscheinen derzeit möglich.

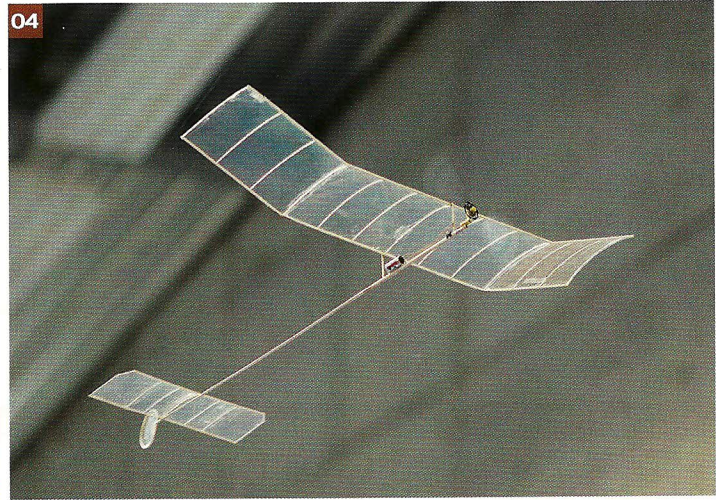
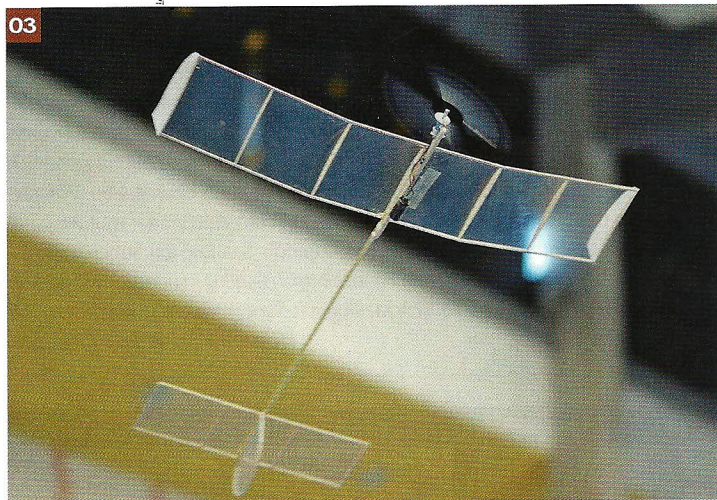
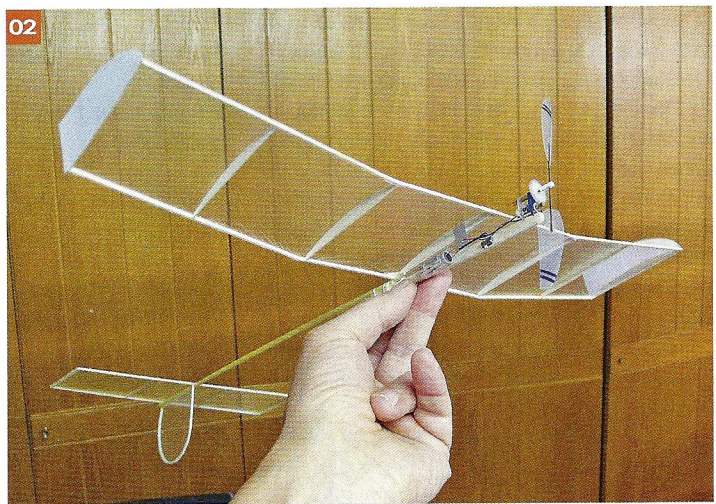
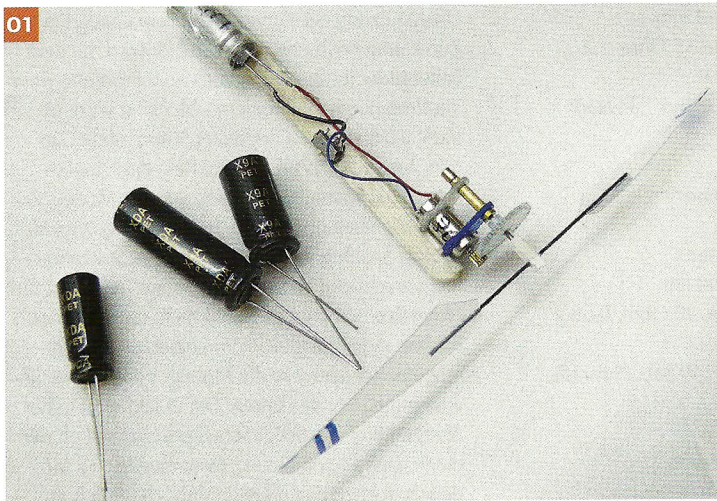
Die verwendeten Kondensatoren sind zum einen ganz gewöhnliche Elektrolytkondensatoren. Sie haben jedoch an den Grenzschichten die Fähigkeit, Ladungen nicht nur elektrostatisch sondern auch elektrochemisch (mittels Redoxprozess) zu speichern. Quasi ein Zwischending zwischen Akku und Kondensator. Im Unterschied zum Akku sind die Ladezeiten wegen der großen inneren Oberflächen (Stichwort: Kohlenstoff-Nanoröhrchen) um ein Vielfaches kürzer (30 Sekunden). Wegen dieser Eigenschaft werden die Kondensatoren auch als Puffer zur Aufnahme von Bremsenergie bei Bussen und im Rennsport eingesetzt. Dort gewinnt man 20



02



01 „Cappy 1“ und „Cappy 2“ unterscheiden sich hauptsächlich in der Ausstattung der Elektrik und im Getriebe 02 Der „Cappy 1“ von Roland Oehmann beim Flug in der Halle 03 Schub-Zeitverläufe für zwei verschiedene Propeller



01 Verschiedene „Green Caps“ und der komplette Antrieb des „E-Quirl“ **02** Der E-Quirl als Einstiegsmodell zeichnet sich durch einfache, zweckmäßige Bauweise aus **03** Der „E-Quirl“ im Flug **04** Der „Capino“ im Flug, mit 4,5 Minuten wegen Deckenbegrenzung

Prozent Energie zurück. Es sind jedoch neue „Supercaps“ in der Entwicklung, die 100-mal mehr Energie speichern als die heute handelsüblichen Typen. Man darf gespannt sein, ob sie eines Tages die Lilon-Akkus verdrängen werden. Zurzeit fehlt noch ein Faktor 20 bis 50 zur Energiedichte von Lithium-Akkus. Die „Supercaps“ lassen über 500.000 Ladezyklen zu, gegenüber weniger als 1.000 bei Lilon-Akkus.

Das Aufladen ist völlig unkritisch, ein Vorwiderstand ist nicht erforderlich. Man stellt die genaue Ladespannung an einem Netzgerät ein und verbindet die Caps 40 Sekunden lang mit der Stromquelle. Dabei fließen hohe Ladeströme im Amperebereich. Eine Überladung ist nicht möglich. Als Ladespannung verwende ich bei dem 2,7-Volt-Typ glatte 3,2 Volt. Nachteile habe ich wegen der Überspannung bisher noch nicht bemerkt. Es kann aber sein, dass die Lebensdauer reduziert wird. Auch wenn die Ladeschluss-Spannung schon erreicht ist, fließt infolge des Redox-Prozesses für circa zehn Sekunden immer noch ein relativ hoher Strom. Beim Entladen hat man ähnlich wie beim Gummi anfangs die volle Leistung für den Steigflug, am Gipfelpunkt cruist das Modell eine Weile herum und kommt anschließend langsam herunter.

Dem Propeller gebührt Aufmerksamkeit: Der Vergleich verschiedener Propeller kann über die Schub-Zeitkurve erfolgen (Grafik vergleichen). Nach circa 90 Sekunden entscheidet sich, welcher Propeller den „längsten Atem“ hat. Bislang haben

die Propeller mit Blättern aus 0,2-mm-PVC-Folie leichte Vorteile gegenüber den erprobten Balsaholz-Propellern. Die jetzige Auslegung liegt für einen 6-mm-Pagermotor und 5:1-Getriebe bei einem Durchmesser von 125 Millimetern und einer Steigung um 60 bis 80 Millimeter. Pagermotore gibt es von drei bis 40 Ohm Innenwiderstand, wobei die niederohmigen viel Leistung abgeben und eine hohe Steigrate erzielen. Die Ladung des Kondensators ist dafür früher aufgebraucht. Allerdings kann so ein kräftiger Antrieb dann auch einen wesentlich schwereren Kondensator mit höherer Kapazität tragen, was die Flugzeit wiederum verlängert. Je nach Auslegung und Hallenhöhe wird das Optimum vermutlich zwischen neun und 30 Ohm liegen. Die Erprobung hierzu läuft noch. Als Anhaltswert sollte der Anfangsschub etwa ein Drittel bis ein Viertel des Modellgesamtgewichts sein, um sicheres Steigen zu gewährleisten.

Kommen wir zu den Modellen

Das Leergewicht des „Capino“ beträgt bei 48 Zentimetern Spannweite nur 1,2 Gramm. Ich habe das Modell mit einem 4-mm-Coreless-Pager-Motor 40 Ohm und einem 10:1-Getriebe Modul 0,2 (www.didel.com) ausgelegt. Als Schalter dient ein SMD-Schiebeschalter von Conrad. Leider stellt Didel die Getriebe nicht mehr her, Zahnräder und Ritzel sind aber noch erhältlich. Auf der Webseite sind auch die entsprechenden Achsabstände bei korrektem Spiel der Zähne abrufbar. Mit den heuti-

gen CNC Modellbaufräsen kann man Lagerplatten aus 0,5-mm-GFK fräsen und sich ein Getriebe – zum Beispiel aus einem Servo-Ersatzgetriebe – ohne weiteres selbst fertigen. Als Energiequelle dient ein „Green Cap“ mit drei Farad und 2,7 Volt. Als Bespannung hat das Modell die „Truelite“-Folie von A2Z Corp. (circa 0,9 µm). Genauso ist auch die 0,9-g/m²-Folie von Alfred Klinck verwendbar (Telefon: 06831/81902). Der Balsa-Propeller mit CFK-Schaft hat einen Durchmesser von 125 Millimetern und eine Steigung von 80 Millimetern. Beim Erstflug schaffte das Modell in der Friedberger Halle zwei Minuten und 20 Sekunden. Inzwischen werden mit einem optimierten Folien-Propeller und fünf Farad über vier Minuten erreicht.

Der „E-Quirl“ ist als Nachfolger des gummibetriebenen Einsteigermodells „Quirl“ (AUFWIND 3/2012) entstanden. Er ist etwas größer und nutzt den 6-mm-Pagermotor 10 Ohm mit einem 5:1-Getriebe. Es findet der gleiche Propeller wie beim „Capino“ Verwendung. Damit wird ein kräftiger Steigflug möglich und man kann das Modell auch im Freien bei Windstille fliegen. In der Halle kommt man mit dieser Motorisierung schnell an die Decke. Mit fünf oder zehn Farad kann man den Steigflug bremsen und eine längere Flugzeit bei geringerer Gipfelhöhe erzielen.

„Cappy 1“ und „Cappy 2“ von Roland Oehmann sind nahezu gleich aufgebaut und unterscheiden sich hauptsächlich in der Ausstattung der Elektrik und im Getriebe. Das Einfliegen der

„Cappys“ erfolgte im Wohnzimmer zuerst ohne Antrieb, sodass ein schöner Gleitflug erzielt wurde. Der Kreisflug wurde in der Halle auf circa fünf Meter Durchmesser eingestellt. Beide Modelle flogen auf Antrieb zuverlässig. Die dargestellten Werte ergaben sich aus mehreren Flügen. „Cappy 1“ wurde außerdem mit fünf Farad und zehn Farad getestet. Allerdings wurde dabei ein 6,8-Ohm-Widerstand in Reihe geschaltet, damit das Modell nicht zu hoch steigt. Mit fünf Farad beträgt die „gebremste Flugdauer“ 120 Sekunden bei einer Gipfelhöhe von circa fünf Metern. Mit zehn Farad beträgt die Flugdauer 180 Sekunden bei einer Gipfelhöhe von acht Metern.

Die Daten der genannten Modelle auf einen Blick:

Modell: „Cappy 1“
Fluggewicht: 6,6 g
Spannweite: 533 mm
Propeller: 126/60 mm
Motor: 6 mm, 9,3 Ohm, 1,4 g
Getriebe: 8,86:1
Flugdauer max.: über 110 Sek. (3 Farad)
Steighöhe max.: 9 m

Modell: „Cappy 2“
Fluggewicht: 6,1 g
Spannweite: 533 mm

Propeller: 126/60 mm
Motor: 6 mm, 35 Ohm, 1,4 g
Getriebe: 6,66:1
Flugdauer max.: bis 135 Sek. (3 Farad)
Steighöhe max.: 4 m

Modell: „Capino“
Fluggewicht: 4,4 g
Spannweite: 480 mm
Propeller: 125/80 mm
Motor: 4 mm, 40 Ohm, 0,66 g
Getriebe: 10:1
Flugdauer max.: über 240 Sek. (5 Farad)
Steighöhe max.: 9 m

Modell: „E-Quirl“
Fluggewicht: 7 g
Spannweite: 420 mm
Propeller: 125/80 mm
Motor: 6 mm, 10 Ohm, 1,4 g
Getriebe: 5:1
Flugdauer max.: über 90 Sek. (5 Farad)
Steighöhe max.: 10 m

Zum Fliegen ergibt sich im Grunde das gleiche Muster wie beim Gummimotor. Allerdings sind die zu beherrschenden Anfangsdrehmomente wesentlich geringer, sodass ein unsymmetrischer Flügel nicht erforderlich ist. Die Zugrichtung kann zur

Unterstützung der Kurve bis zu zwei Grad in die Kurveninnenrichtung sein, der Rest wird mit dem Seitenruder justiert. Es ist auch kein Problem, wenn der Prop durch ein Hindernis blockiert wird, es fließt dann ein etwa doppelter Strom, ohne Cap oder Motor zu zerstören. Der Reiz des Fliegens liegt im entspannten Zusehen, wie das Modell seine Kreise nach oben zieht. Im Gegensatz zum klassischen Saalflug, bei dem Gummi mit Spitzenqualität von einigen Leuten gut „gehütet“ wird und für Normalverbraucher praktisch nicht erreichbar ist, hat hier jeder die gleiche Voraussetzung. Es entscheidet wieder mehr die Modell- und Triebwerksauslegung über den Erfolg. Der „Kick“ liegt in der Abstimmung von Steig-/Schwebe- und Sinkphasen, die je nach Motorisierung, Stromquelle und Modellgewicht zu beeinflussen sind – natürlich im Hinblick auf eine möglichst hohe Gesamtflugzeit.

Die Entwicklung des Elektrosaalfluges mit Kondensatoren ist sicher nicht am Ende, sondern erst am Anfang. Zurzeit sehe ich eine Flugdauer von fünf Minuten als realisierbar an. Mit der Weiterentwicklung der Caps wird es in der Zukunft sicherlich noch einige Zeitsprünge nach oben geben. Weitere Infos gibt es auch auf dem Videoportal Youtube.com (Suchbegriff: „Capino – Saalflug mit Supercaps“) und im Forum: <http://saalflug-f1d-forum.xobor.de/t120f19-Saalflug-mit-Superkondensatoren.html>.

Heinrich Eder, Roland Oehmann

€ 659,-

NEU



LAMINAR XLF-207

Großsegler in bester REICHARD Tradition, sehr hochwertig gefertigt. Eingefärbter GFK-Rumpf, Fertigflügel in Styro/Balsabauweise mit Kohlerovings und Glasfasermatte verstärkt sowie mit ORACOVER bespannt. Die Tragfläche ist zweiteilig. Spannweite 4,40 m, Gewicht ca. 4,2 Kg.



€ 369,-

NEU



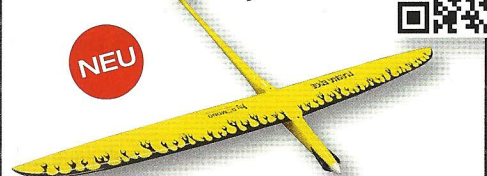
CIRRUS

Leichtes Segelflugmodell der Extraklasse, hochwertig gefertigt mit Rumpfböden und Rumpfröhre aus Kohlefaser und verstärkter Styro/Balsafäche mit Oracover bespannt. Tragfläche geteilt mit Kohlefaser-Steckung, Querruder und Wölbklappen. Spannweite 3,37 m, Leergewicht nur 980 g.



€ 579,-

NEU



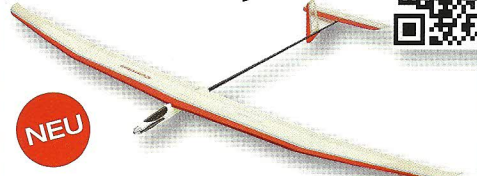
PLASMA EDGE

Wettbewerbsmodell der F5B-Klasse, hochwertig und extrem stabil gefertigt. Tragfläche und Leitwerke vollständig aus Kohlefaser gefertigt, der Rumpf ist eine Kombination aus Kohlefaser und Kevlar (Kevlar im vorderen Bereich). Querruder, Wölbklappen und Höhenruder. Spw 1,90 m, Gewicht 750 g



€ 289,-

NEU



CUMULUS Combo

F5J-Modell der Extraklasse, hochwertig gefertigt mit Rumpfböden und Rumpfröhre aus Kohlefaser und verstärkter Styro/Balsafäche mit Oracover bespannt. Tragfläche geteilt mit Kohlefaser-Steckung, Querruder und Wölbklappen. In der Combo mit AL-2836 Motor. Luftschaube und Aluspinner. Spw. 2,50 m



€ 299,-

SONDERAKTION



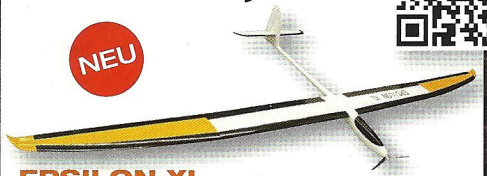
MINIMOJA D-5

Oldtimer im Maßstab 1:5, einzige dopsitzige MINIMOJA am Modellbauhimmel. GFK-Rumpf fertig eingefärbt, Tragflächen in klassischer Bauweise mit ORATEX Antik bespannt. Gutmütige Flugeigenschaften, Spannweite 3,40 m, Gewicht ca. 2,6 Kg



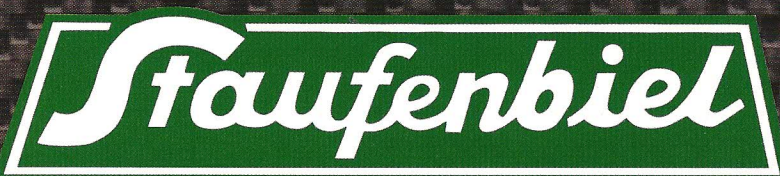
€ 399,-

NEU



EPSILON XL

Das gab's noch nie, extrem viel Flugzeug zu diesem tollen Preis. Hervorragende Flugeigenschaften, GFK-Rumpf kohlefaserverstärkt, vierteilige Fertigflügel in Styro/Balsabauweise mit Oracover bespannt. Querruder, Wölbklappen. HIMAX Hochleistungsmotor (42 mm) bereits eingebaut Luftschaube und Aluspinner im Lieferumfang. Spw. 4,0 m



www.modellhobby.de

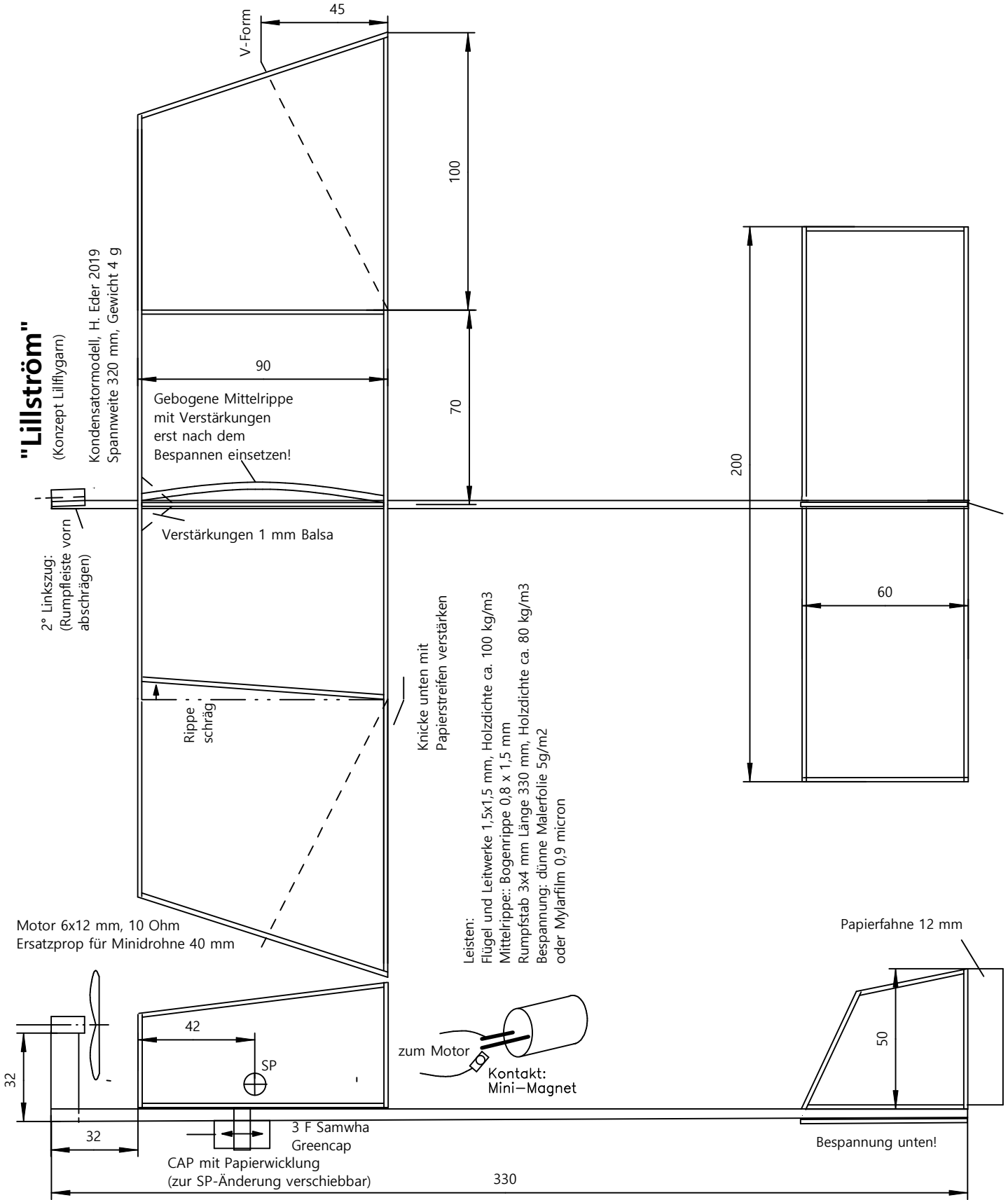


Fon: 040-3006 1950
 info@modellhobby.de
 Lieferung ab €200,- frachtfrei

"Lilström"

(Konzept Liliflygarn)

Kondensatormodell, H. Eder 2019
Spannweite 320 mm, Gewicht 4 g

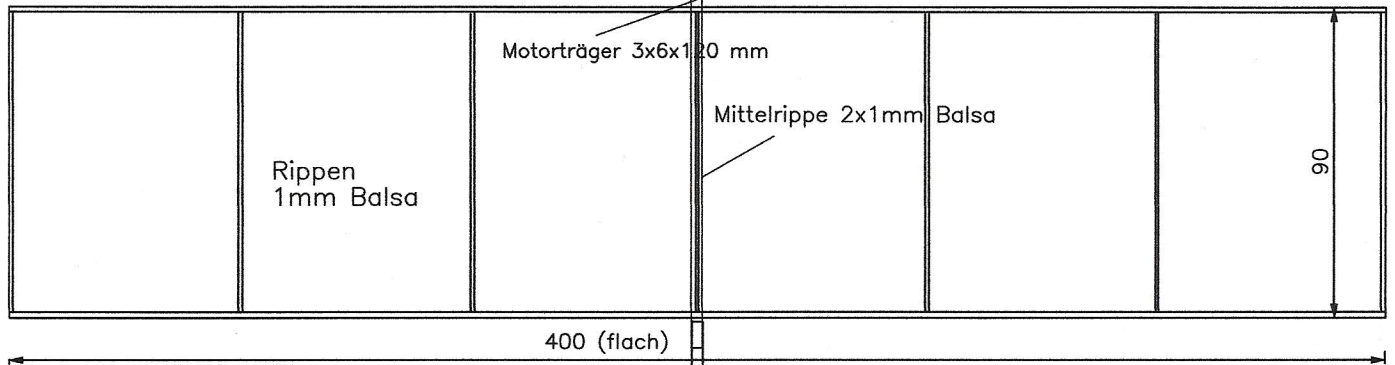
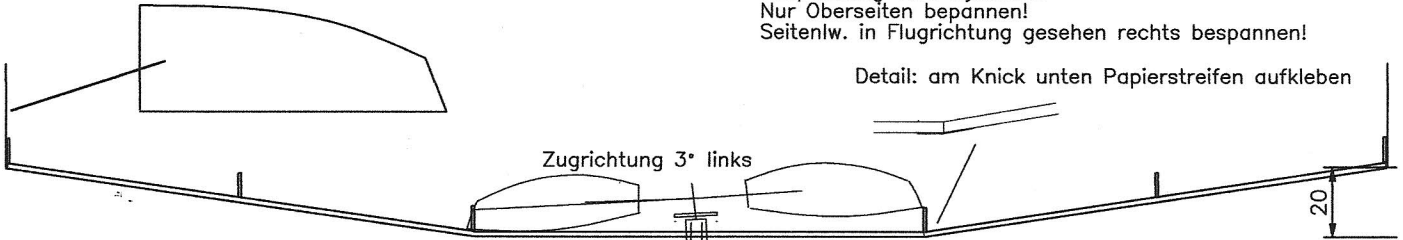


"Elektro-Quirl"
 H. Eder 2012
 Masse 6,3 g

Bespannung 1um Mylarfolie
 Nur Oberseiten bespannen!
 Seitenlw. in Flugrichtung gesehen rechts bespannen!

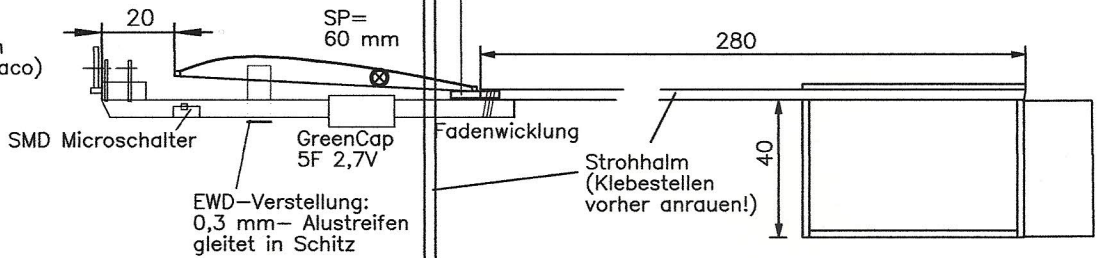
2 x Winglet (Papier od. Balsa 0,3)

Detail: am Knick unten Papierstreifen aufkleben



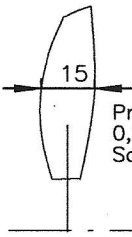
Flügelaufbau und Bespannung im flachen Zustand!
 Außenrippen 10° n. außen kippen.

Motor 10 Ohm 6mm
 Getriebe 1:6 (Plantraco)



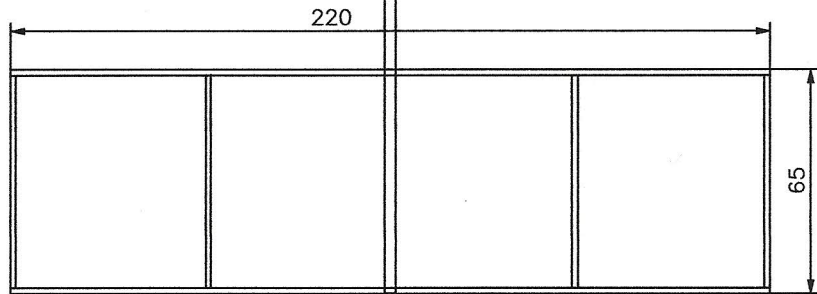
Balsadübel
 d=2mm an Unterseite
 der Mittelrippe kleben

EWD-Verstellung:
 0,3 mm- Alustreifen
 gleitet in Schitz



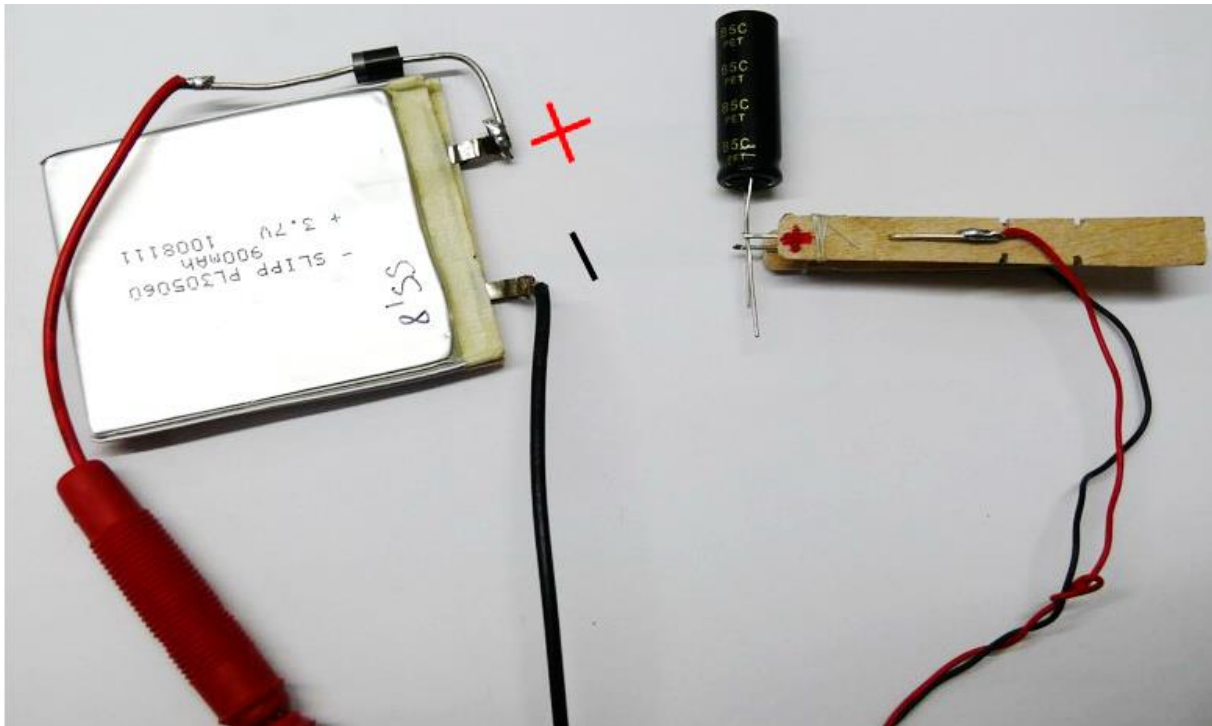
Prop d 125 mm St 75 mm
 0,25 mm Plastikfolie
 Schaft 0,7 mm CF

alle Leisten für Leitwerk,
 Flügel 1,5x1,5 Balsa
 0,01g/cm³



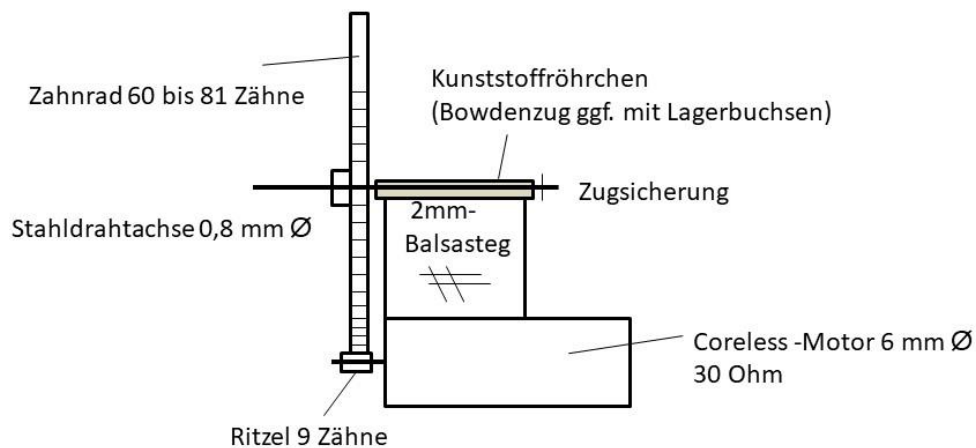
1,0 mm
 Balsaruder

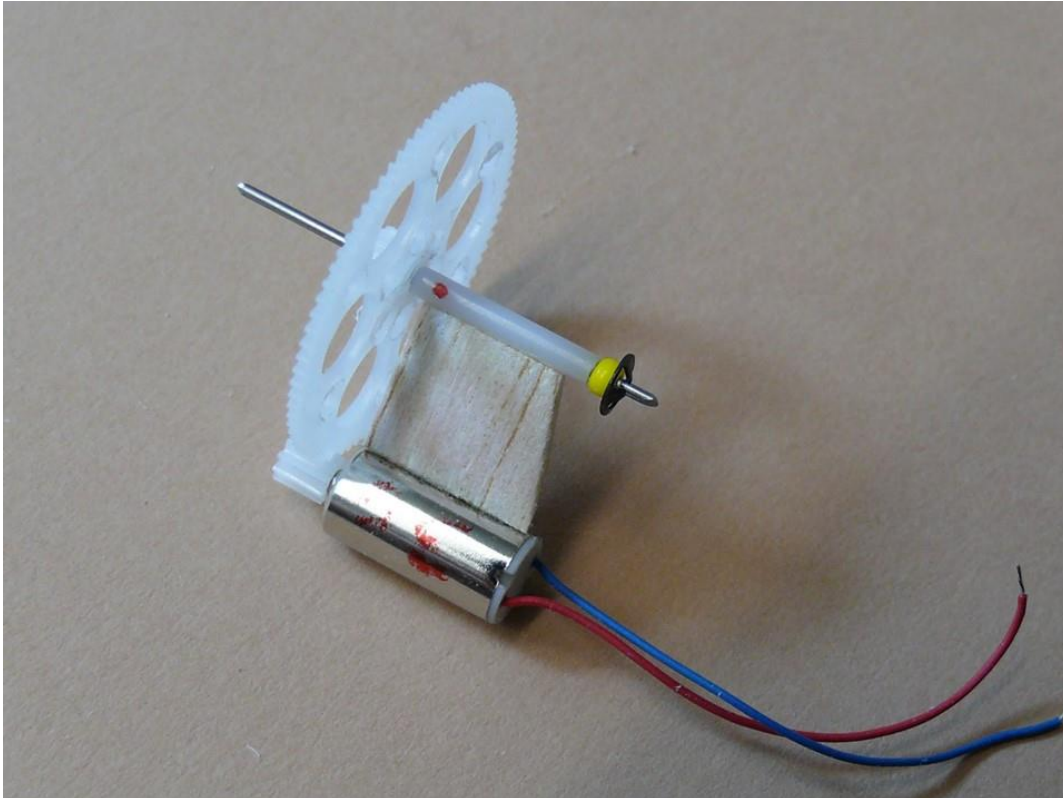
Bilder zu Kondensatormodellen



Laden eines 10 F Supercap mit LiPo-Zelle und ~~Schottky~~ Diode in Reihe. Der Spannungsabfall an der Diode beträgt 0,7 Volt

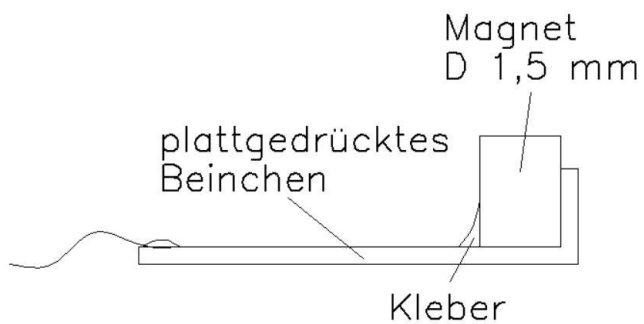
Antrieb für Kondensator-Saalflugmodelle





Das fertige Getriebe mit 6 mm Motor

Magnetkontakt

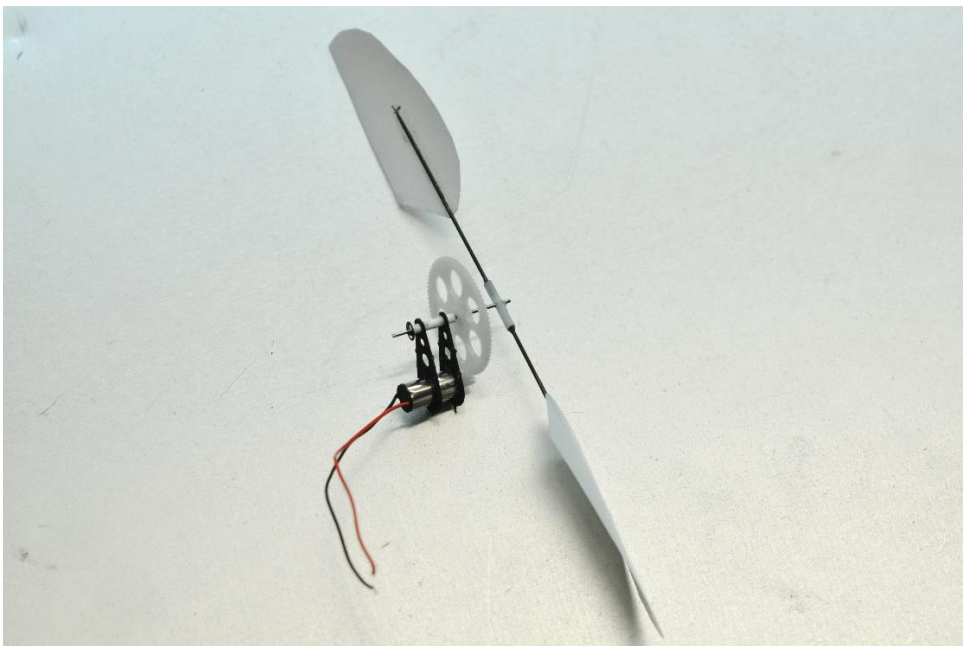


Magnetkontakt

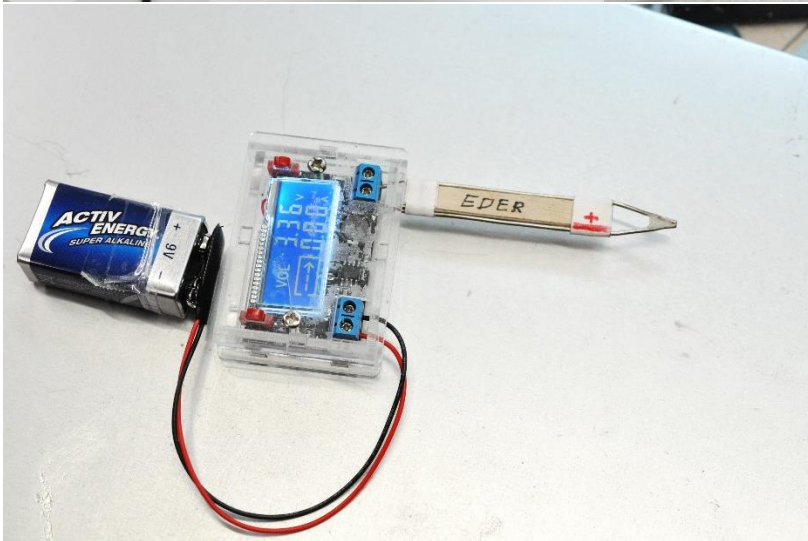
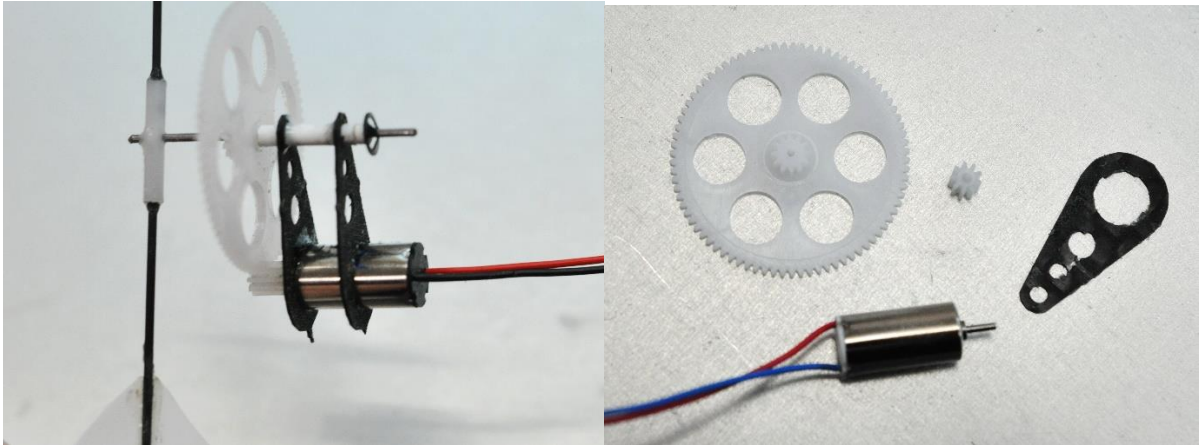
- Ein Abschnitt eines Kondensatorbeinchens wird plattgehämmert und zu einem Winkel gebogen
- Anlöten des Drahtes (unbedingt **vor Ankleben** des Magneten!)
- Der Magnet wird mit UHU hart o. ä. in den Winkel eingeklebt (Kontakt beachten!).
- Der Kontakt wird an einem Beinchen des Supercap angedockt



Verschiedene Propeller aus Folie und Balsa. Die Holme bestehen aus CFK (z. B. 0,6 mm)



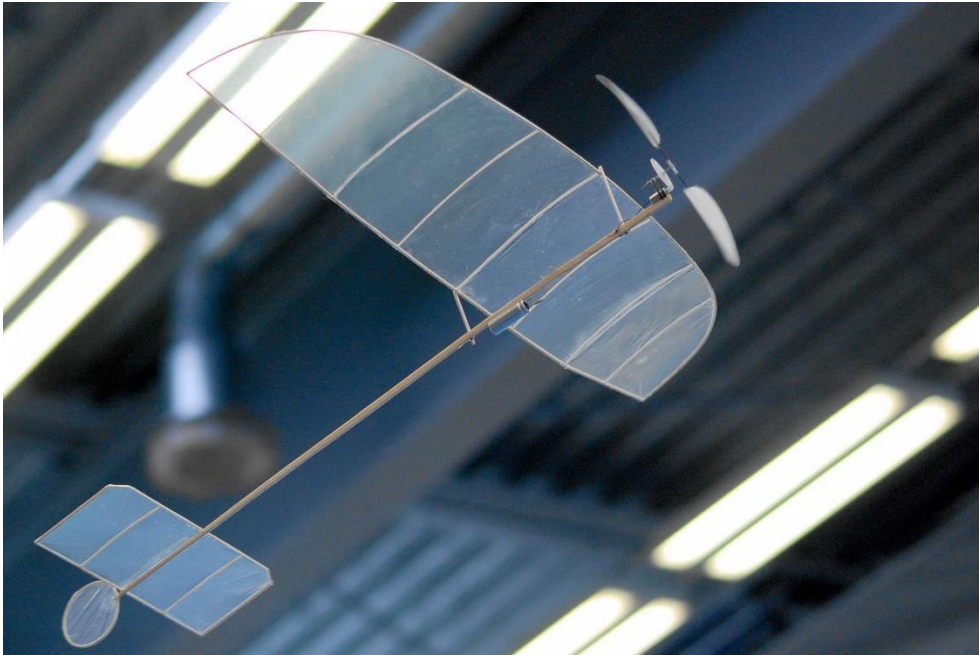
Komplettes Triebwerk 1:10 mit 30 Ohm Motor



Ladegerät mit Step-Down-Converter

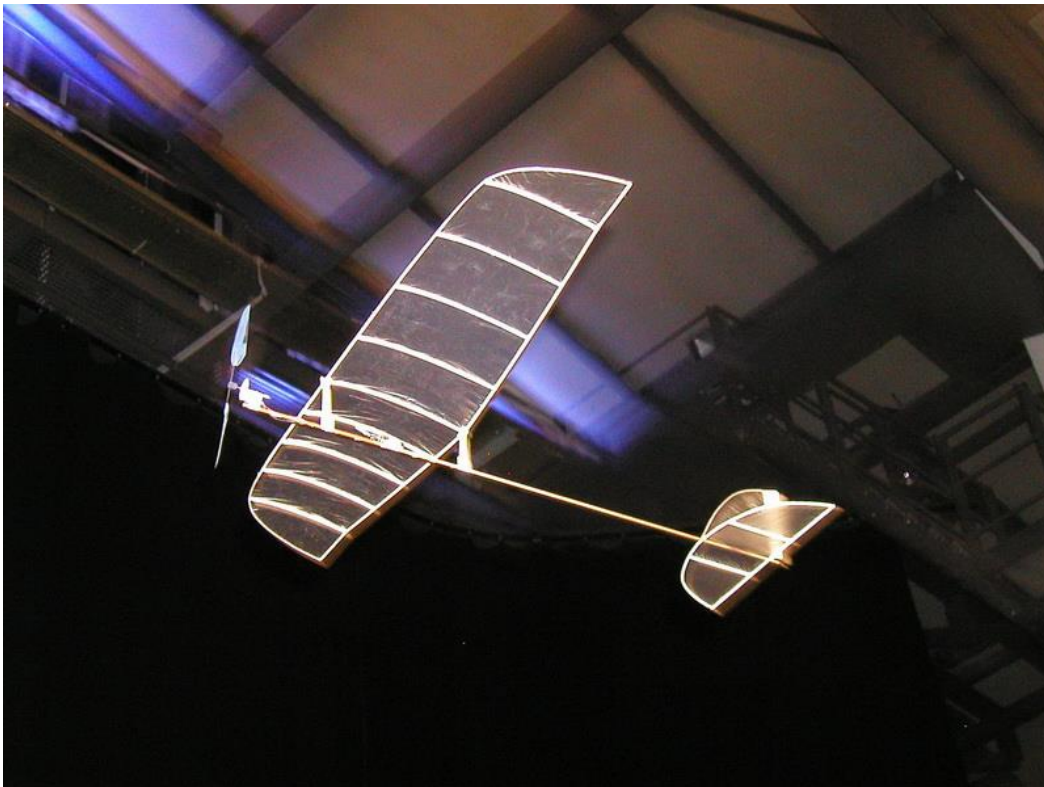


Verschiedene 5 Farad Supercaps. Abmanteln und Kürzen der Beine bringt 0,2 g weniger Gewicht.

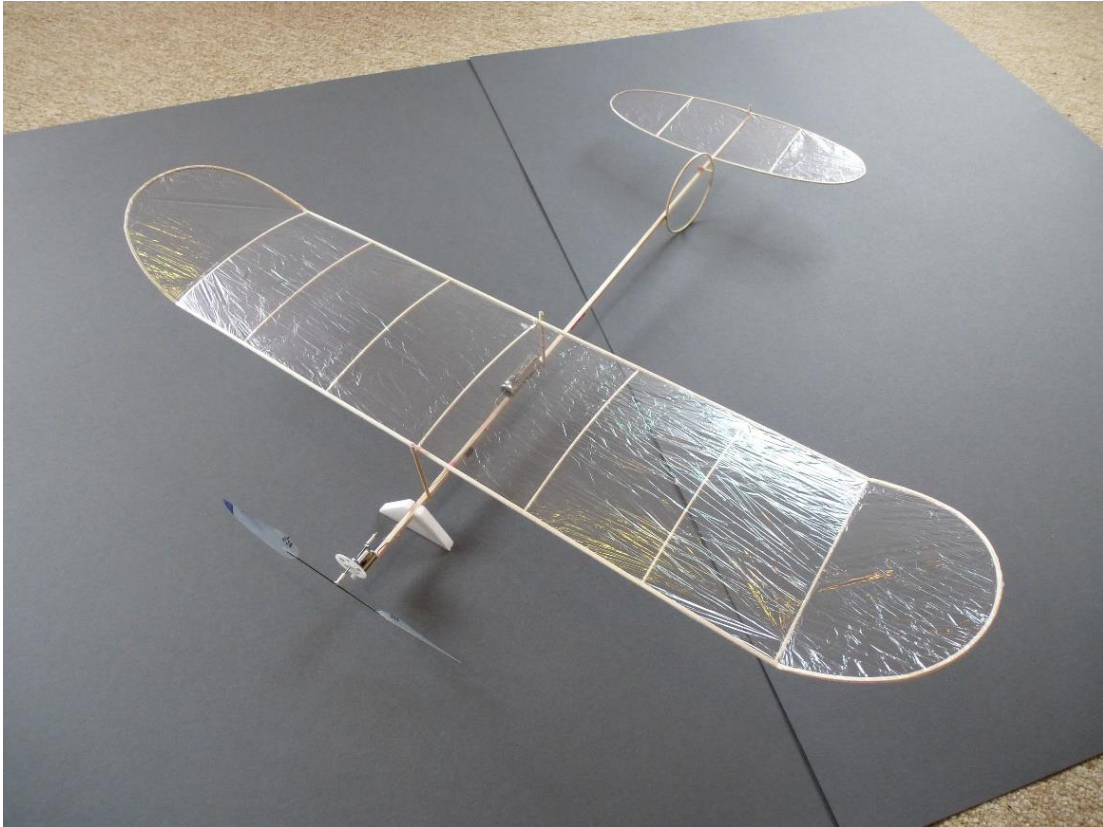


Capmodell von H. Eder (s. NFFS Report 48, 2015)

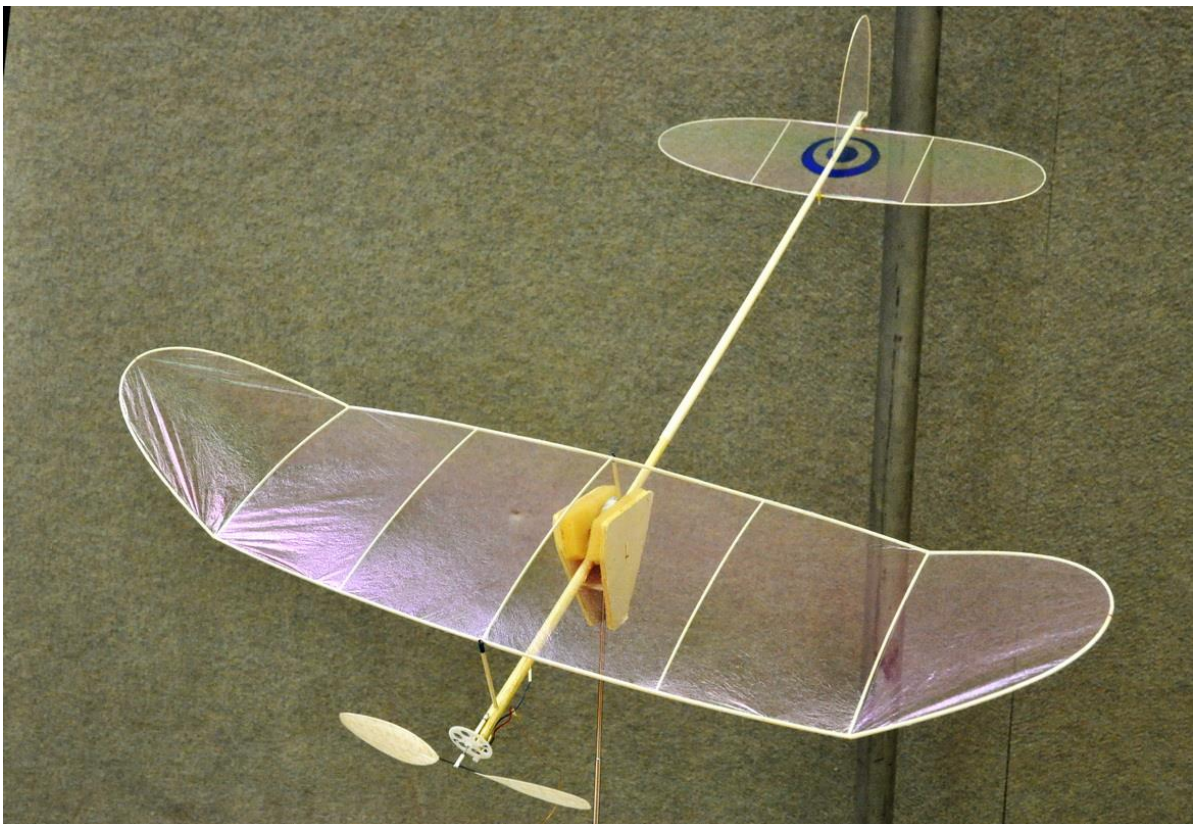
Daten: Spannweite 550 mm, 6 mm Pager Motor 30 Ohm, Getriebe 1:9, Propeller 165x90 mm, Flugmasse 6,4 g



Cappy-1 von R. Oehmann. Rumpf: Grashalm



Modell KONS von Martin Weist. Daten siehe unten. Flugzeit (10 F) 368 s



CAP-14 von Uwe Bundesen, Siegermodell DM 2014

Modell KONS von Martin Weist:

Technische Daten:

Flügel:

Spannweite: 526 mm
Flügeltiefe: 110 mm
Form: ebenes Mittelstück mit $l = 386$ mm Länge + ellipt. Ohren $b = 76$ mm, 32 mm hoch
Rippen: 7 Stück
Profil: Kreisbogen, 5%
Flügelfläche: $5,36 \text{ dm}^2$, $\lambda = 5,2$

Höhenleitwerk:

Spannweite: 215 mm
Form: elliptisch mit $t_i = 70$ mm
Rippen: 2 Stück
Profil: ebene Platte
HLW-Fläche: $1,18 \text{ dm}^2$, $\lambda = 8,1$
Anstellung verstellbar

Seitenleitwerk:

Form: Kreis mit $D = 60$ mm
Position: vor dem HLW
Anstellung verstellbar

Rumpf:

Balsa $4,3 \times 3,0$ mm zum HLW verjüngt auf 3×2 mm
Länge: 475 mm
Pylone: Balsa, $d = 2$ mm, 2 Stück, vorn 55 mm lang, hinten 50 mm lang
Abstand des vorderen Pylons zur Rumpfspitze: 58 mm

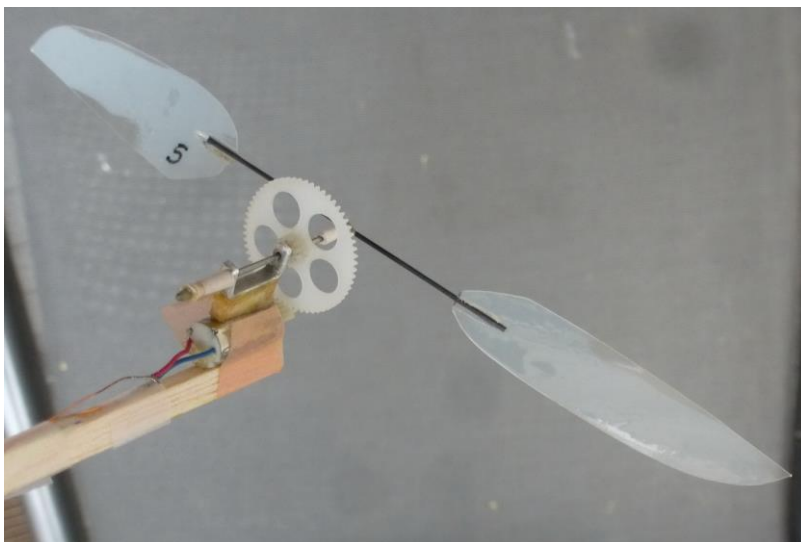
Antriebsausrüstung:

Motor : $D = 6 \times 12$ mm, 30 Ohm, Anschlüsse gekürzt, Firma Didel, CH
Getriebe: 60:9, Zahnräder von Fa. Didel, CH
Propellerwelle: $D = 0,8$ mm *30 Stahl
Wellenlagerung: Alu, 1 mm dick, 2 mm breit, 20 mm lang u-förmig gebogen
Gewicht ohne Propeller: 1,71 g
Energiespeicher: Greencap Kondensator 10F, 2,7V von Fa. Conrad Elektronik, Nr. 451427,
ohne Kunststoffummantelung, Anschlüsse gekürzt
Verkabelung: Cu-Lackdraht $d = 0,2$ mm von Fa. Conrad Elektronik, Nr.605322
Microswitch: Fa. Conrad Elektronik Nr. 248762
Propeller: $D = 145$ mm, Steigung: 110 mm, Blätter aus 0,15 mm Folie, Blatthalter: $d = 0,7 \times 60$ mm CfK
Blattform siehe Foto Nr.07 in „Thermiksense“ 1/2014, S.21

Gesamtdaten:

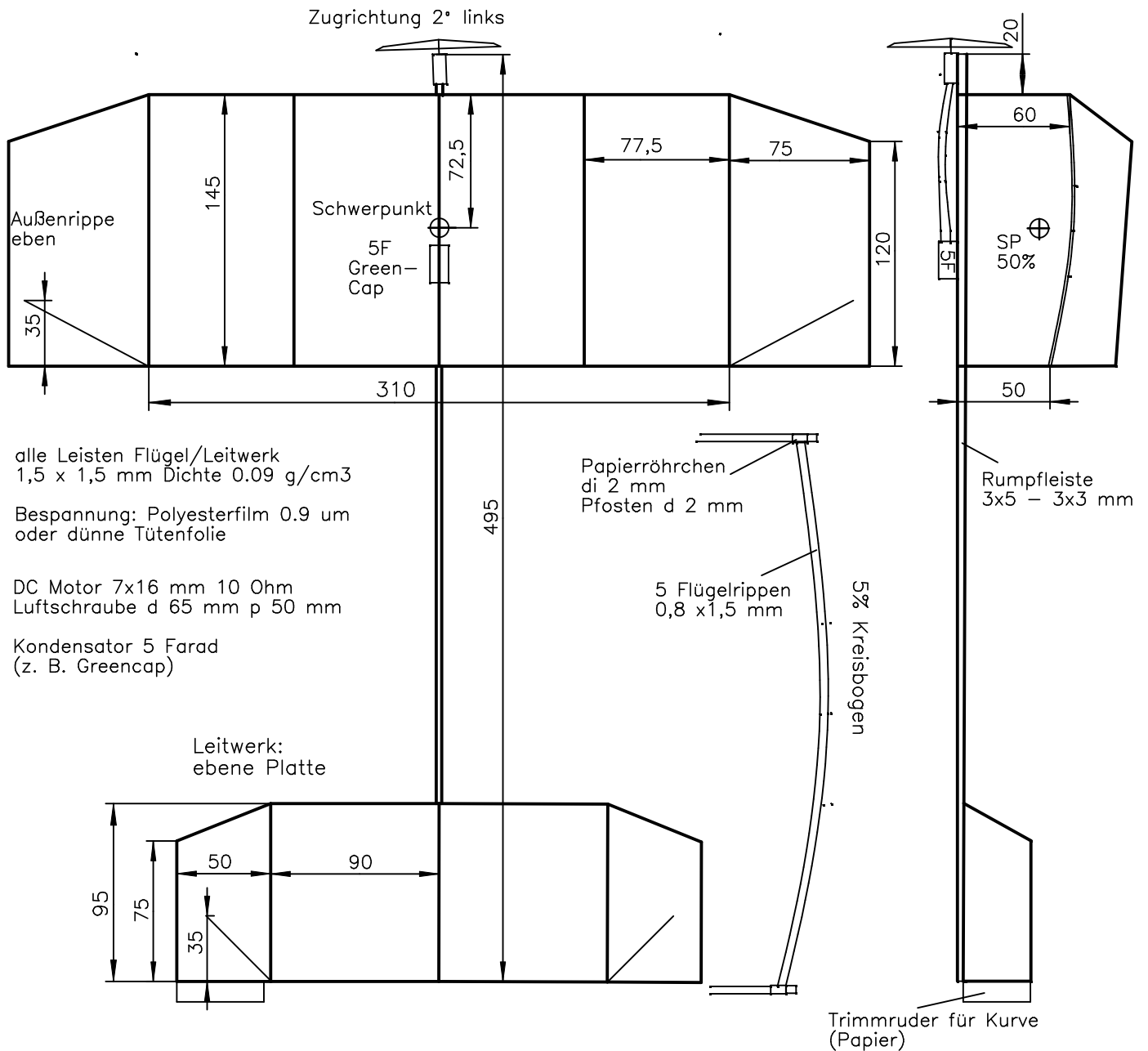
Gesamtgewicht ohne Propeller: 6,1 g
Gesamtgewicht mit Propeller: 6,4 g
Gesamtfläche: $6,54 \text{ dm}^2$
Flächenbelastung: $0,98 \text{ g/dm}^2$
Schwerpunktlage: 50% t
Höhenleitwerksvolumen: 0,7

Alle bespannten Flächen aus 0,9 my Mylarfolie



"Cap Basic"

Saalflug-Kondensatormodell mit Direktantrieb
 Spannweite 440 mm, Masse 7 g H. Eder 7/2015

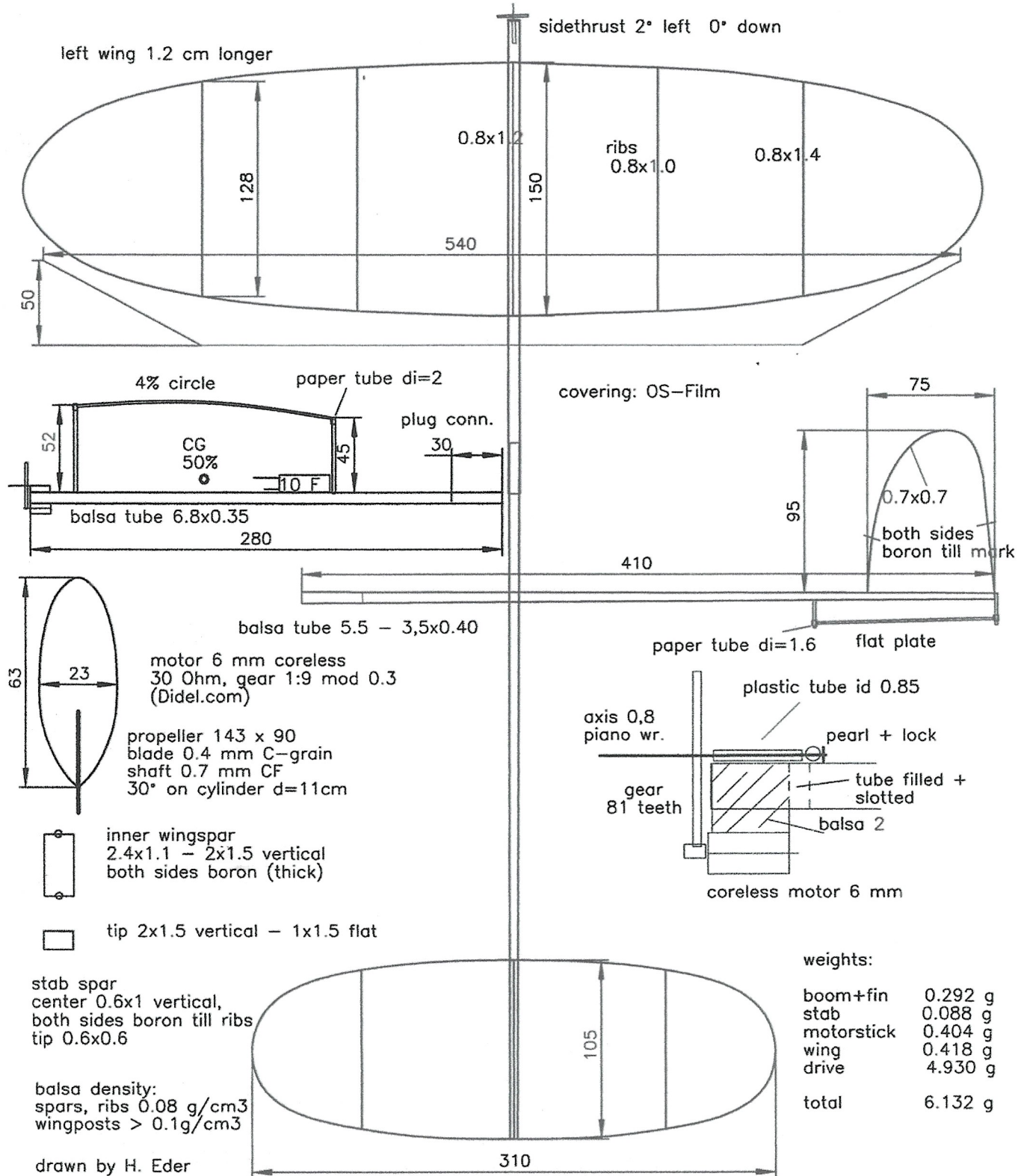


CAP-14

Uwe Bundesen

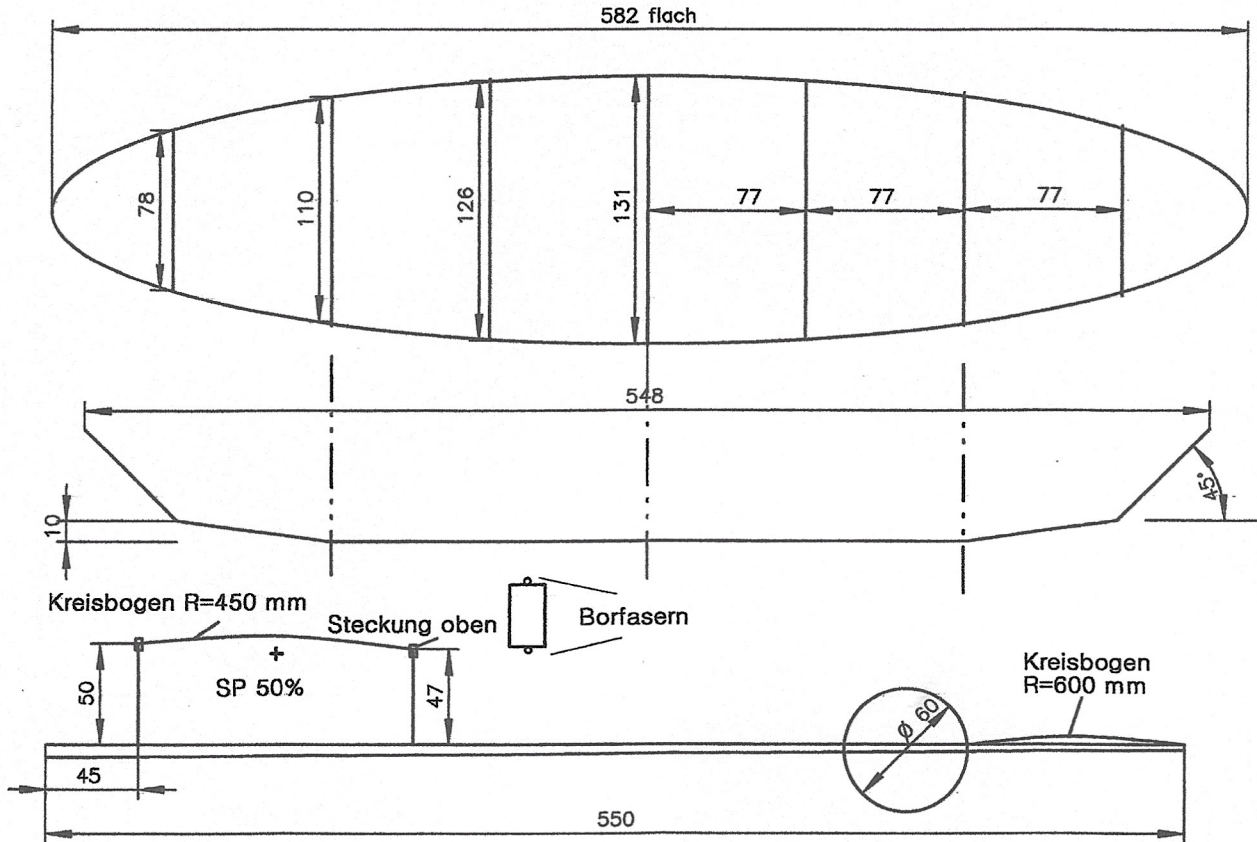
1. place German Champs 2014

Class Cap Models 5:24 5:35



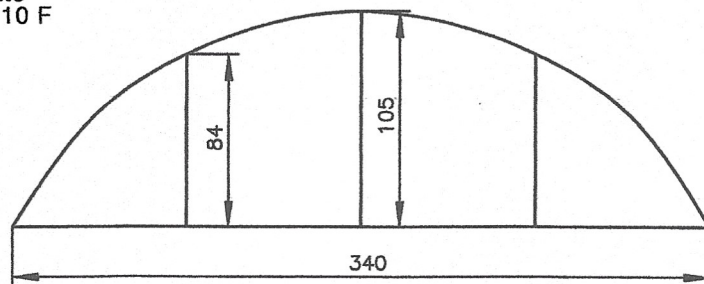
"Kongo 14-A"

Kondensator-Saalflugmodell von Günther Ondraczek
 1. Platz Augsburg 15. 3. 2015, inoffizieller Rekord CAP-Klasse: 6:33.



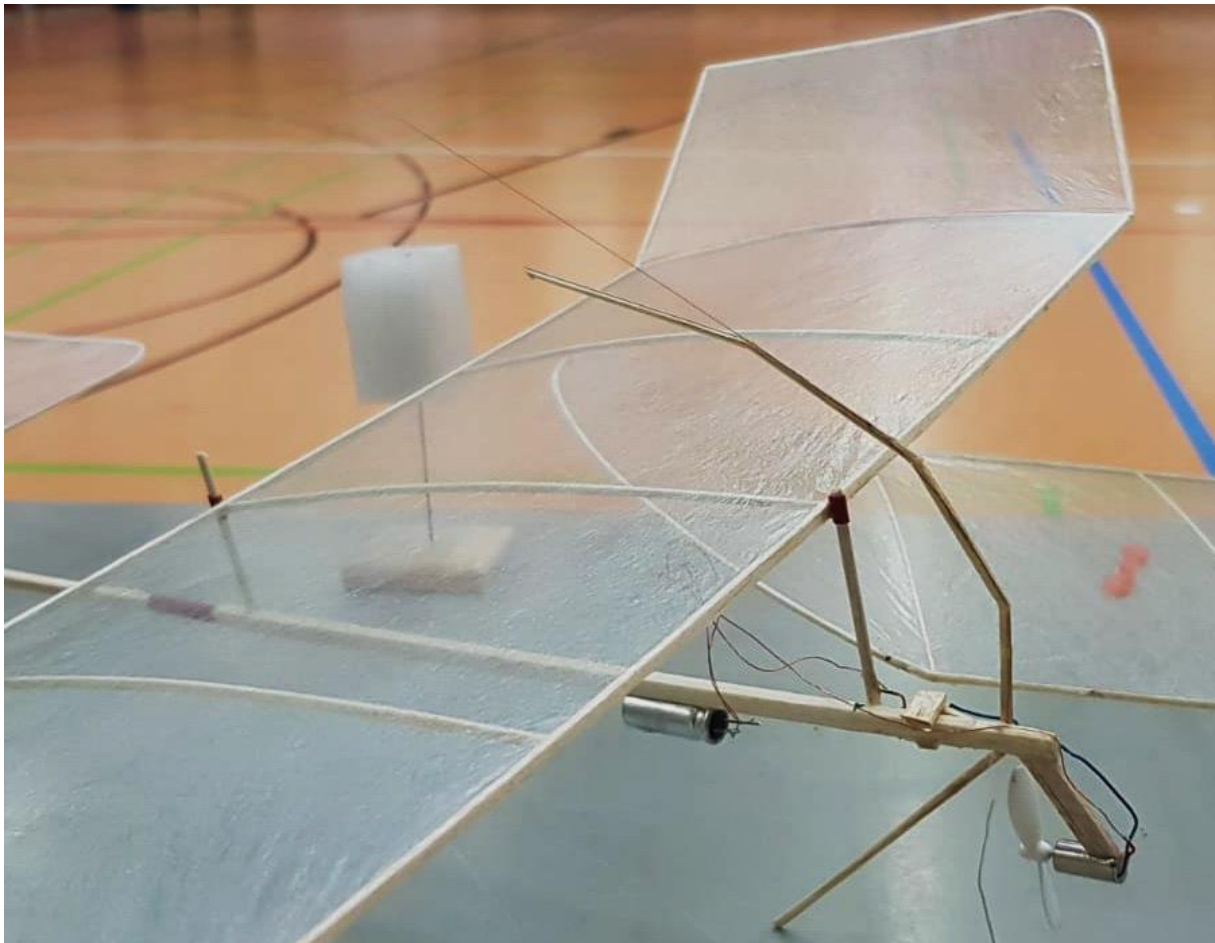
Alle tragenden Strukturen 2-seitig Borfasern
 Holzdichte 0,08 g/cm³, Bespannung Microlite
 Motor Didel 30 Ohm 6 mm, Greencap 2,7 V 10 F
 Getriebe 1:9, Fluggewicht 6,8 g
 Prop: Folie 0,15 mm d=152mm p=115mm,
 Schaft 0,6 mm CF, Gewicht 0,28 g

Zeichnung: H. Eder



Decken/-Bodenschalter

Eine einfache Wippe aus Balsastäben kann bei Deckenberührung die Stromzufuhr zum Motor unterbinden. Das Modell gleitet dann zum Boden. Sobald der nach unten stehende Ausleger den Boden berührt, wird der Stromkreis wieder geschlossen und das Modell geht wieder in den Steigflug über. Voraussetzung ist, dass der Cap noch genügend Ladung gespeichert hat. Bei 5 Farad wird das in der Regel knapp. D. h. das Modell wird die Decke nicht wieder erreichen. Die Flugzeiten wurden durch diese Schaltmechanik nicht deutlich länger. Dennoch ist es eine interessante Lösung um die vorhandene Energie möglichst sparsam einzusetzen.



Boden/-Deckenwippe von Philipp Stengele. Ein dünner CFK-Stab oben gewährleistet sanfte Deckenberührung

Super Capacitors (EDLC's) - an energy source for indoor duration flights

Heinrich Eder and Paul Willutzki

Introduction

Indoor duration models usually use highly efficient rubber as energy source. Rubber represents both at once: energy store and motor. But rubber in some respects is problematic: Quality can vary and most of model flyers do not have access to high quality grades. For conditioning of the strands a stripper is needed, which is relatively expensive. Hence, since 2010 we thought about alternatives and introduced EDLC's (super caps) as energy source for indoor models. One of the first model flyers who used super caps and an electric motor drive for indoor application was Roland Oehmann, Stuttgart (Germany). 2010 flight times of 60 -90 s were common. Later, with geared drives and 10 F caps we reached flight times over 6 min. The model weights with 10 F raised to 7-9 gm and that was the problem: the models flew faster than rubber driven models and suffered damages when hitting the ceiling or the walls. Back to direct drives we could reduce the weights to 4 - 5 gm (3-5 F), but unfortunately efficiency of direct drives is rather low. Today we do no longer think about "as much flight time as possible" but "what is the maximum flight time that we can get from a low limited quantity of energy?".

Flight times of geared model

The energy specific mass (energy density) of double layer capacitors is still a factor 30 away from lithium polymer (Li-Po) cells. Technical evolution did not proceed as fast as expected some years ago. A 10 Farad Samwha Greencap weighing 3,1 g with a rated voltage of 2,7 V can be charged within 30 - 40 s and gather an electrical charge of 10,000 mAs/V compared to 360,000 mAs/V of a 100 mAh Lipo cell with approx. the identical weight. The effective usable voltage drop in the case of an EDLC is 2,0 V compared to a Li-cell with 1,0 V. For example, an indoor duration model with a mass of 6,5 g features a dissi-

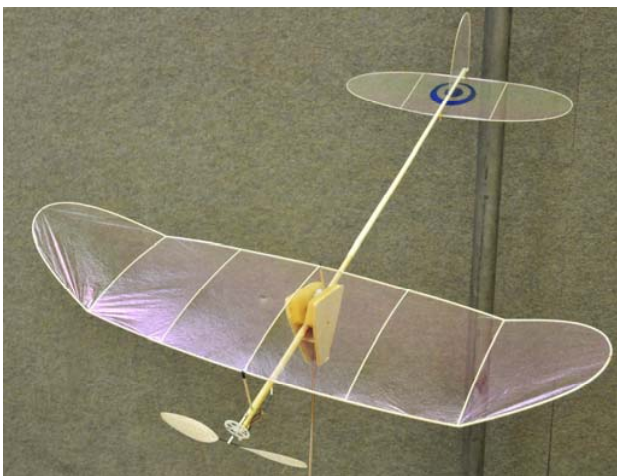


Fig 1 Cap-model from Uwe Bundesen with gear drive 1:9, DC motor 30 Ohm, 10 Farad, flight times were > 5:30 min.

ipation power of 0.016 Watt and hence requires an input power of around 0.065 Watt. Based on a voltage level of 3 V, a motor current of 0.022 A is necessary for a stationary level flight. Together with the no-load current of 11 mA the total current equals approx. 30 mA. Now, what is the achievable flight time utilizing a 10 F cap? Somewhat simplified, the result is $10,000\text{mAs}/30\text{mA} = 333 \text{ s}$. The (unofficial) German record for cap-models with a 10 F cap flown from Martin Weist currently totals 368 s. A typical geared contest model is shown in Fig. 1.

Flight times with direct drive

Because of problems with the availability of precise gears and to reduce the model weight, currently we use direct drives. A direct driven model with a 3 F cap can weigh down to 4g and, hence, the flight behavior equals more rubber driven models (as class F1M-Models). If steering is necessary, models with reduced weight can also be better handled. Further, the chance of damages is considerably lower. Hereby we accept the lower total drive effectiveness of ca. 12% compared to >20% with geared drives. For estimation of flight times we developed the formula

$$t_{\text{flight}} = \frac{\eta_{\text{total}} \times C \times (U_{\text{start}}^2 - U_{\text{end}}^2)}{2 \times v_s \times m \times g} \quad (1)$$

with $U_{\text{start}} = 3,3\text{V}$ $U_{\text{end}} = 1,3 \text{ V}$, $v_s = 0,25 \text{ m/s}$ we get for $C = 3 \text{ Farad}$ a flight time of 162 s, which is very realistic compared to the currently achieved times.

Capacitor practice

Frequently we utilize the Sanwha Green Caps or Vina Tech Caps with a capacity of 3 / 5 or 10 F and a rated voltage of 2.7 V. These caps show good efficiency and allow charge voltages up to 3,3 V without a noticeable change of their parameters. EDLC's are very uncomplicated to charge and to handle. The manufacturers guarantee min. 500,000 charging cycles compared to 500 cycles for a Li-Po cell. For saving about 0.25 g weight we remove the plastic coat of the caps and shorten the legs to one third of the original length. No special charger is necessary. A common power supply unit or a single 1000 mAh Lipo cell with a Si-diode in series (voltage drop 0.7 V) will provide the 3.3 to 3.4 Volts charge voltage. When connected with the charger, the initial current rises up to 1.5 A. A pre-resistor is not needed. Please note: the voltage rises very fast to the final value but the current flow continues for about half a minute. For maximum flight time it is necessary to wait until the load current drops down below 0.02 A. Despite rated capacities may differ +-20% we did not notice remarkable differences in capacity among several lots. Surprisingly we observed a weak memory effect: To utilize the full capacity the cap must be

charged and discharged some times prior to the final use.

Motors, gear

The coreless DC motors used in diverse electronic devices (mobiles, cameras, medical technique and other) provide high efficiency related to their weight. A coreless DC motor with 6 mm diameter and 10 or 30 Ohm coil resistance weighs 1.4 g. The electrical to mechanical transfer efficiency at low currents achieves approx. 50%. A total lifetime > 10 h is guaranteed from the manufacturer. Gears with ratio 1:6,6 or 1:9 were mostly used to drive the propeller with balsa- or thin plastic blades. The gears must have high precision and a proper clearance to feature only small losses. Otherwise the energy-losses due to friction effects can be high. We lubricate the gear with thin silicon oil or dry lubricant. Didel SA. (CH) provides the exact axle distances for its gears on the website (www.Didel.com). Hence, owners of precision milling machines can easily produce gear holders from thin carbon sheets which can be fixed on the motor housing. The shaft bearing can be a couple of short brass tubes or a piece of plastic inner bowden cable used for RC-models. Small bronze bearings can also be extracted from a defective 6 mm pager motor. To save weight, we replace motor leads by 0,25 mm enameled copper wires. A mini magnet 1,5 mm dia. serves to contact the cap (the legs are magnetic).

Propellers for geared drive

Looking on the weight, only props with balsa blades should be applied (Fig. 2). The blades usually were made from 0.4 mm C-grain balsa sheets with the cylinder method: The wetted blades are mounted on a can/glass of about 100 mm diameter under an angle of 30° to the cylinder axis and dried in the oven at 80°C (176°F). With spars made from 0.7 mm CF and ranging to half of the blade, the weight of the complete prop should result in 0.15 g. For the 6 mm 30 Ohm motor and 1:6.6 gear we use props with 125 -145 mm diameter and 70 to 110 mm pitch. For the 1:9 gear the corresponding values are 160 to 170 mm diameter and 90 to 110 mm pitch. This data should be interpreted as default values which have to be adapted to the special model concept. Especially the correct adaption to the flight velocity of the model is a dominant factor for the effectiveness. A pitch gauge is

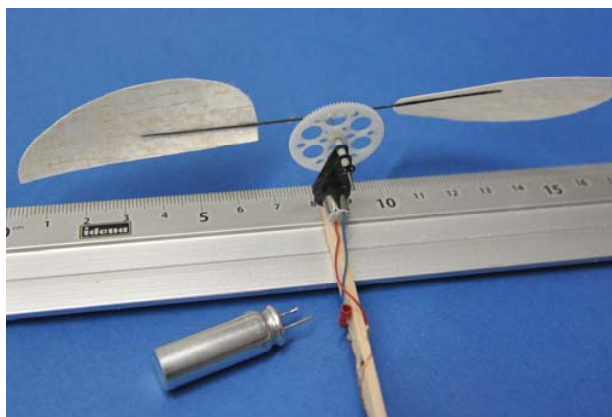


Fig. 2 Motor and gear unit 1:9, propeller with balsa blades (150 mg), 10 F cap .



Fig. 3 Two cap models with hyperbolic wing geometry, direct drive with 3 Farad span 55 cm (4,4 g) and 45 cm (4,0 g), flight time = 2:30.

necessary to construct props and check the pitch from time to time. The efficiency of cap model propellers was investigated in a custom built low speed wind tunnel from Paul Willutzki. Good propellers achieve nearly 50% efficiency whereas the all over efficiency including motor and gear moves in a range of 20- 23%.

Propellers for direct drive

There is a large variety of suited drone propellers. Best results for a 6 mm 10 Ohm motor we achieved with 40 mm drone-propellers. At start the current with 3 F, 3,3 V amounts to 150 mA and reduces to 40 mA for stationary equal flight level. We use clockwise turning props together with left flight turns and counter-clockwise props for right turns.

Models

As one can derive from formula (1) weight is crucial for the flight time. Typical direct driven Models equipped with a 3 F cap span 45 to 55 cm and weigh 4 to 5 g (Fig. 3) For wing construction we use frequently an elliptical, hyperbolic shape. The wing outline normally is being reinforced with boron fibers. The typical weight of this wing type ranges around 0,45 g for a span of 45 cm (building instructions see reference FMT 2/20). This wing – because of missing bends (kinks) and approx. elliptical lift distribution - has lower drag and provides higher flight speeds. This again results in a lower power consumption in flight.

Apart from the basic model concept, recently there are innovations to get higher flight times from a limited energy source and a better flight control – see below.

With the new techniques, especially, the continuous touching of the ceiling should be avoided. Models that do not cruise closely underneath to the ceiling can also be better steered with a telescope fishing rod.

Rocker switch

A kind of rocker switch was developed from Philipp Stengele (Deutsches Museum, Department Oberschleißheim), see Fig. 4. A balsa lever acts on contacts and switches the voltage off when the lever touches the ceiling and is tipped backwards. Then the model glides down to the floor without motor action. When touching the floor, the bottom part of the lever switches

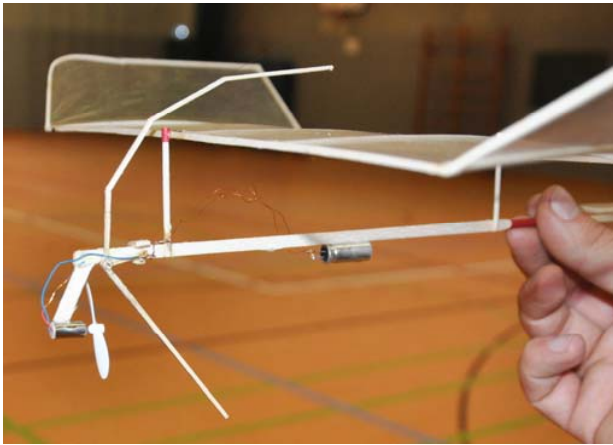


Fig. 4 Cap Model with direct drive and "rocker switch" from balsa sticks. Note the shape of the upper arm, that provides a smooth contact to the ceiling

the voltage on again. With this method and a 5 Farad cap two climbs to the ceiling can be achieved.

Microcontroller (Figs. 5-8)

One of the authors (Paul Willutzki) has introduced a SMD-microcontroller together with a FET-motor drive circuit. This technique opens a lot of possibilities to control power during flight. The controller (Attiny 85V) works down to about 1,5 V and therefore acts nearly during the full discharge time of the cap. If the voltage drops below this voltage, the FET is still open and allows further feeding of the motor. Only below 1,2 V the current stops and then the model glides. The additional weight of controller and drive circuit ranges around 180 mg. Current consumption of the onboard unit is only approx. 1 mA. The preprogrammed controller is fed with actual parameters as power and interval duration by means of an ESP 8266 based WLAN Server unit that can be connected with the MC, typically with small magnets. The programming can be done from every browser (PC, cell phone etc.) and can be set from the pilot with a comfortable menu. Data are transmitted from the cell phone wireless to the program unit. 5 flight intervals can be individually programmed. The flight pattern could be for example: start from hand in 2 m height, 5 s glide, motor-start with 80% power and climb just under the ceiling (without touching

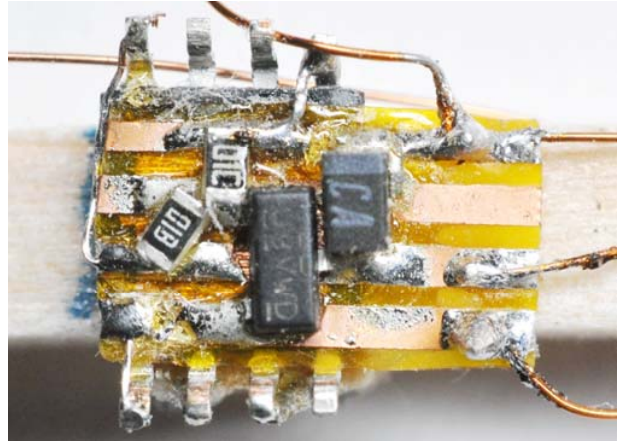


Fig. 6 Experimental setup of a circuit board with FET motor driver. Microcontroller Attiny 85V is located on the back side (original dimensions ca. 6x8 mm)

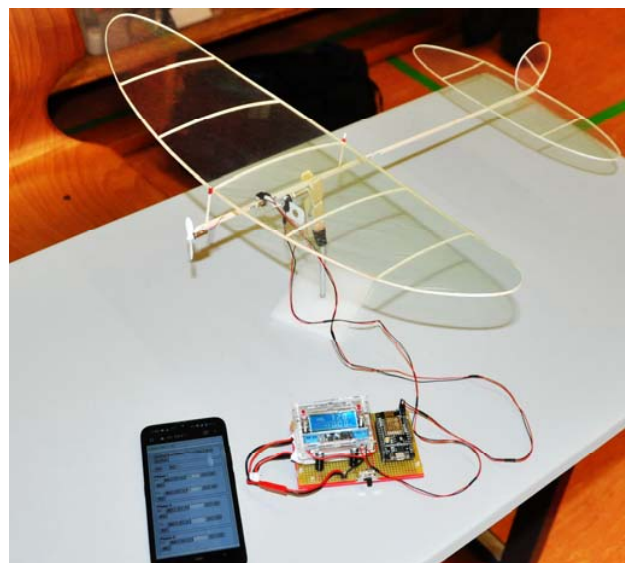


Fig. 7 Setup for programming the MC and charging the cap prior to the flight.

it), motor-stop and glide for 10 to 15 s, new climb to the ceiling and then consuming the rest of the charge during the following descent. Around 3 minutes flight time have been already achieved with 3,3 V initial voltage.

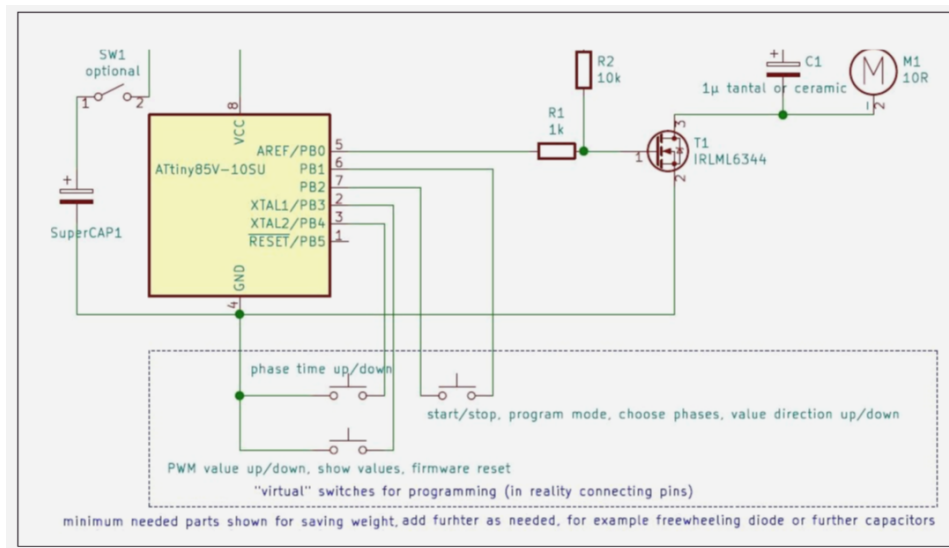


Fig. 5 Flow diagram of the MC-unit

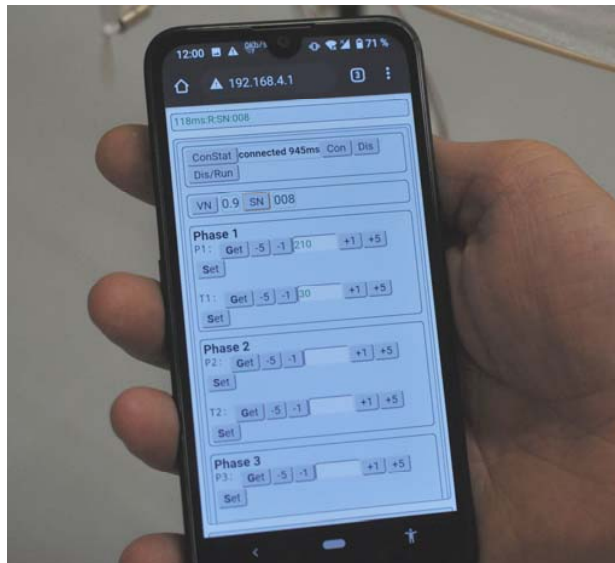


Fig. 8 Mobile display showing the user interface

Table of weights
(note: caps dismantled, legs shortened)

| Item | Weight (g) |
|---|-------------|
| 10 F Cap | 3,1 |
| 5 F Cap | 1,8 |
| 3 F Cap | 1,25 |
| Gear 1:9 with 6 mm motor | 1,92 |
| Motor 6x12 mm (10 or 30 Ohms) | 1,35 |
| Gear Prop | 0,15 |
| Direct Prop | 0,18 |
| Motor leads with micro-magnet contact (0,25 mm CuL) | 0,09 |
| Model with direct drive, 3 F | 4,0 - 4,5 |
| Model with gear drive, 5F | 5,4 - 5,8 |
| Model with direct drive and MC, 5 F | 5,0- 5,5 |
| Wing alone | 0,40 - 0,50 |
| Motorstick | 0,40 - 0,45 |
| Complete Model without drive | 1,0 -1,2 |

References

Willutzki P., Saalflugmodelle mit Prozessorsteuerung (MC controlled indoor models) Thermiksense 2/2020
 Willutzki P., Eder H., Theoretische Betrachtungen zu Saalflugmodellen mit Kondensatorantrieb, Thermiksense 1/2006
 Green Cap electric double layer capacitors, Samwha datasheet Electric double-layer capacitor, Wikipedia
 Eder H., Saalflug mit Leichtmodellen (indoor flight with light models), 2019, Verlag für Technik und Handwerk (VTH), Baden-Baden, ISBN 978-3-88180-494-3
 Eder H., Borfäden machen es möglich. Flug- und Modellechnik, FMT 02/20 VTH Verlag
 Eder H., Electric Double Layer Capacitors (EDLC's) an Energy for Indoor Duration Flights. 48. NFFS Sympo report 2015
 Eder, H. Fliegen mit Minimalenergie, vom Gummiantrieb zum Superkondensator, Make-Magazin 4/2017

Leistungsbetrachtung an einem typischen Kondensatormodell

$G(\text{Modell}) = 0,0657 \text{ N}$

$V(\text{Schwebeflug}) = 1,2 \text{ m/s}$ (gemessen)

$U(\text{Schwebeflug}) = 2,15 \text{ V}$ (gemessen)

$I(\text{Schwebeflug}) = 28 \text{ mA}$ (in Vorwärtsbewegung gemessen)

$P_{el} = U \cdot I = 2,15 \cdot 0,028 = 0,06 \text{ Watt}$

$W(\text{aus Gleitflugmessung}) = 0,011 \text{ N}$

$P_{aero} = W \cdot V = 0,013 \text{ Watt}$

Gesamtwirkungsgrad $\eta_{ges} = P_{aero}/P_{el} = 0,014/0,06 = 0,22$

$\eta(\text{Motor})$ aus Messung, siehe unten (Mittelwert) = 0,55

$\eta(\text{Getriebe}) \approx 0,95$

Daraus: $\eta(\text{Luftschraube}) = 0,23/(0,93 \cdot 0,55) = 0,42$

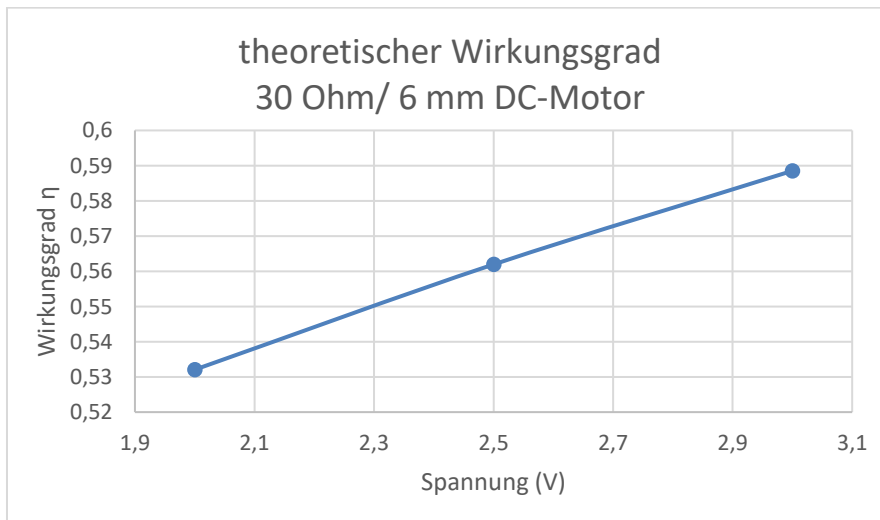
Daten Luftschraube $d = 160 \text{ mm}$ $p = 105 \text{ mm}$, Blätter aus Joghurtbecher - großer Bergbauernjoghurt

Berechnung Motor-Wirkungsgrad

Bei einem 6 mm Pager mit 30 Ohm Innenwiderstand wurden Leerlauf- und Blockierströme in Abhängigkeit von der Betriebsspannung gemessen und der Wirkungsgrad berechnet.

Der maximale theoretische Wirkungsgrad bei eisenfreiem Rotor berechnet sich zu $\eta = \left(1 - \sqrt{\frac{I_L}{I_B}}\right)^2$

I_L Leerlaufstrom I_B Strom unter Vollast (Blockierstrom)



Supercap-Saalflug

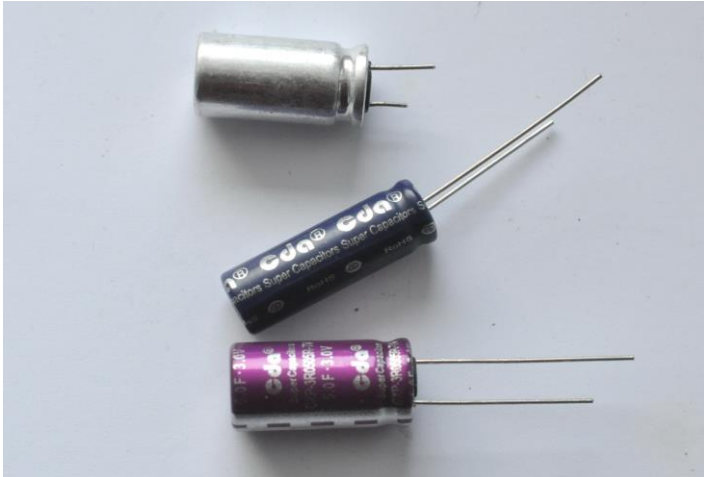
Heinz Eder

Das Fliegen mit den Supercap-betriebenen Saalfflugmodellen ist bekanntlich sehr entspannend, da im Gegensatz zum Gummiantrieb das große Anfangsdrehmoment fehlt. Die Modelle steigen ruhig und ausgeglichen nach oben. Mit einer Startspannung von 3,1 Volt erreichte ich kürzlich in der Flugwerft Schleißheim (Deckenhöhe 11,5m) rd. 10 m Höhe. Das Video hierzu ist in Youtube abrufbar unter „Kondensator Saalfflug Flugwerft“ <https://www.youtube.com/watch?v=9tI2LW0cCw0> . Leider sind es derzeit nur wenige Piloten, die mit Kondensatormodellen fliegen. Wettbewerbsmodelle stellen baulich und fliegerisch bestimmte Ansprüche, die für das Erreichen guter Leistungen erfüllt werden müssen. Die Klasse ist also keineswegs einfach oder gar „langweilig“.

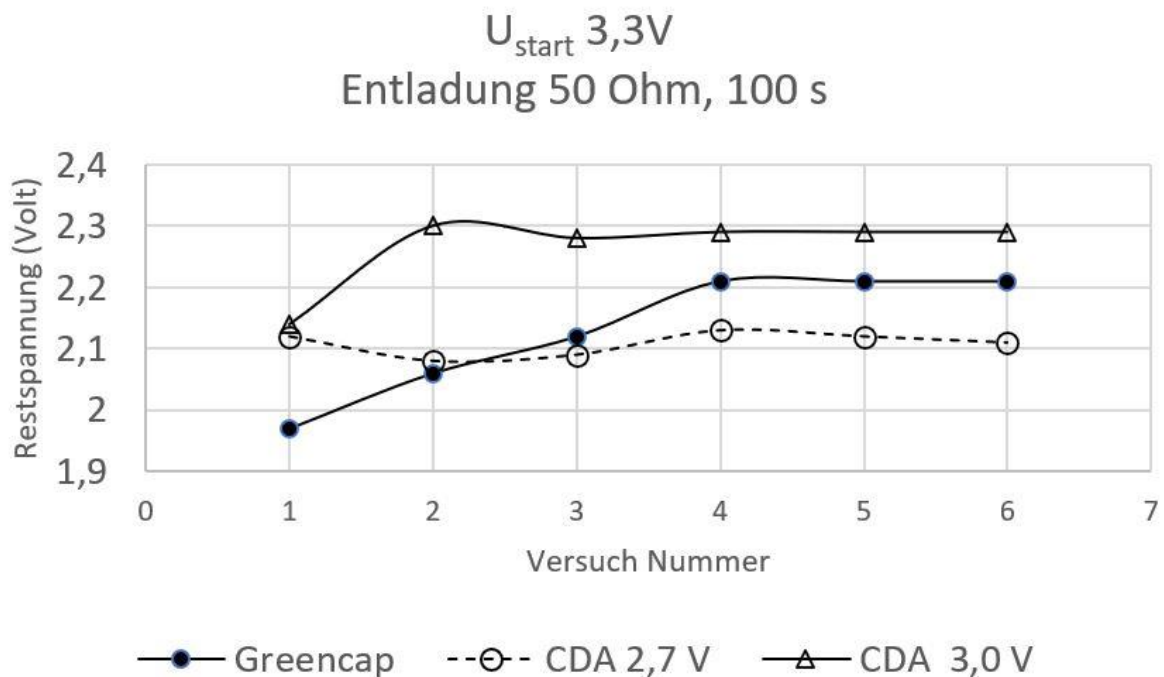
Kondensatoren, Motoren

Die bisher verwendeten Greencap 5 Farad Kondensatoren mit 2,7 Volt Nennspannung wiegen 2,2 Gramm, nach Entmantelung und Kürzen der Beine etwa 2 Gramm. Seit Jahren warten wir auf Fortschritte bei den Supercaps. Nun gibt es neue Typen aus China (CDA), die bei 5 Farad ca. 0,4 Gramm leichter sind. Das ließ natürlich aufhorchen. Leider waren die Messungen weniger erfolgreich (s. Grafik). Die etwas schlankeren Caps haben nach 100 s Entladung über einen 50 Ohm Widerstand eine geringere Spannungslage. Im Gegensatz zu den Greencaps zeigen sie jedoch keinen Formierungseffekt, d. h. die auf die Erstladung folgenden Ladungen erreichen nach definierter Entladung die gleiche Endspannung. Die Greencaps weisen dagegen eine ca. 0,1 Volt höhere Endspannung auf, allerdings erst nach dem Formieren. Neuere Typen von CDA mit Nennspannung 3,0 V wiegen ca. 2,1 g (nach Entmantelung und Kürzen der Beine 1,9 g) und haben schon ab der 2. Ladung eine höhere Spannungslage – siehe Grafik. Entgegen den Herstellerangaben (die zu übertriebener Vorsicht neigen) sind die tatsächlichen Streuungen der Supercaps gering. Bei 10 Exemplaren wurden weniger als 5% ermittelt. Wer trotzdem selektieren will, kann das tun – genauso wie beim FAI-Gummi, der ja auch nicht absolut konstante Werte im Energieinhalt aufweist. Die Preise der China-Typen liegen derzeit unter einem Euro, so dass der Kauf mehrere Exemplare kein Problem darstellt.

Als Motore werden meist die 10 Ohm/6 mm Coreless Motore verwendet, die zurzeit schwierig zu bekommen sind und im Preis wesentlich angezogen haben. Die Motor-Wirkungsgrade liegen um 50%. Allerdings ist der Gesamtwirkungsgrad mit dem kleinen 40 mm Drohnen-Prop gerade mal rd. 20%. Von der früheren Getriebe-Versionen sind wir jedoch wieder abgekommen, da sie oft Probleme bereiten. Als Schalter verwende ich winzige Cobaltmagnete, die an einem Kondensatorbein magnetisch andocken. Die Verdrahtung besteht aus Gewichtsgründen aus 0,2 mm Kupfer-Lackdraht (CuL).



5 Farad-Typen: Greencap entmantelt, mit gekürzten Beinen 2,0 g (oben) und neue CDA Supercaps



Vergleich Greencap und neuere CDA Caps. Alle Caps waren nativ, d. h. längere Zeit vorher nicht benutzt und vollständig entladen

Laden

Der üblicherweise verwendete DC/DC Step Down Converter mit 9V Batterie ist für Testflüge ausreichend. Er besitzt auch eine Kalibriervorschrift für die Spannung. Leider ist die Stromanzeige bei niedrigen Werten sehr ungenau. Das Beobachten des Stromes ist aber wichtig, damit man beurteilen kann wann der Cap vollgeladen ist. Für Wettbewerbe müssen Netzgeräte mit genauer Stromanzeige verwendet werden. Das Erreichen der Endspannung ist nämlich kein hinreichendes Kriterium, dass der Cap voll ist. Erst wenn der Ladestrom auf einen Endwert (ca. 20-30 mA) absinkt, ist der Kondensator wirklich voll geladen.

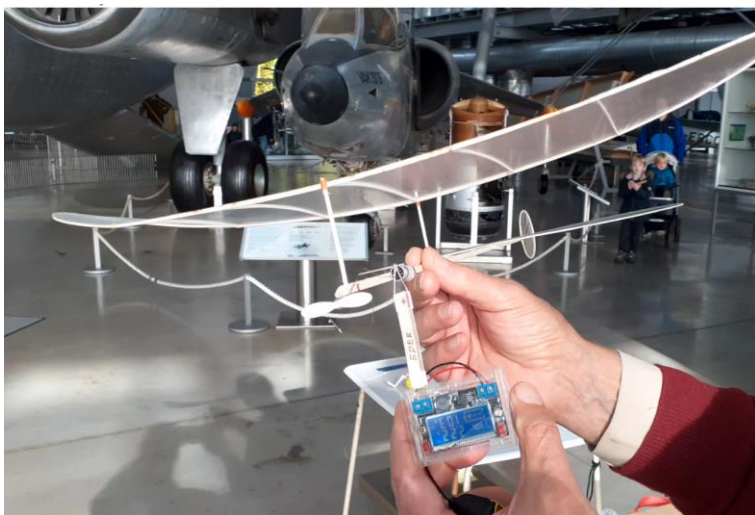
Bei den 3,0 V CDA Typen fließt nach meinen Beobachtungen wesentlich länger Ladestrom, Vollladung erst nach ca. 1 Minute.

Konstruktion; Gewicht

Kondensatormodelle haben die gleiche Herausforderung hinsichtlich Gewicht und Festigkeit wie andere Saalflugmodelle. Da sie bei 50 cm Spannweite mit ca. 5 Gramm etwas schwerer sind als übliche Saalflieger, muss ein steifer Flügel gebaut werden, der sich vor allem bei Fahrtaufnahme (Durchtauchen mit hochdrehendem Motor) nicht verwindet. Auch dem Rumpf kommt hier eine wichtige Rolle zu: er darf sich beim Beschleunigen des Modells nicht verbiegen, sonst geht das Modell unweigerlich auf den Kopf. Sowohl für den Flügel als auch für den Rumpf ist deshalb die Verwendung von Borfasern vorteilhaft. Trotz allem sollte das Endgewicht die 5 Gramm Marke nicht wesentlich überschreiten, denn das Gewicht geht direkt in die Flugdauer ein.

Fliegen

Die Trimmung des Modells ist ganz entscheidend für die Flugdauer. Ein Kondensatorflieger wird etwas schneller getrimmt, womit die Stromaufnahme des Motors sinkt. Hierdurch sind in der Regel längere Flugzeiten möglich. Ich verwende deshalb Profile mit 3% Wölbung. Die Leistung ist aber auch mit 4 bis 5% Wölbung nicht wesentlich schlechter. Schon kleine Unterschiede in der Trimmung können die Flugzeit deutlich verändern. Systematische Tests sind daher unumgänglich. Auch ein Schwebleistungstest ist ratsam. Dabei wird die minimale Spannung ermittelt, bei dem das Modell gerade noch Höhe hält. So etwas lässt sich auch in der Werkstatt oder Wohnung durchführen. Auch die geflogenen Kurvendurchmesser sind ein wesentlicher Faktor. Kreisdurchmesser unter ca. 6 m wirken leistungsmindernd. Gute Modelle mit rd. 5 Gramm Fluggewicht erreichen mindestens 2:30 Minuten Flugzeit. Mit den neuen Caps könnten jedoch die 3 Minuten in greifbare Nähe rücken.



Das Laden mit dem kleinen DC-DC Step down Converter dauert ca. 30 s

Wettbewerbe

Kondensatormodelle sind konstruktiv und fliegerisch durchaus eine Herausforderung. Das macht die Sache spannend. Als fliegerische Variante könnten zum Beispiel No-Touch-Wettbewerbe durchgeführt werden, bei denen

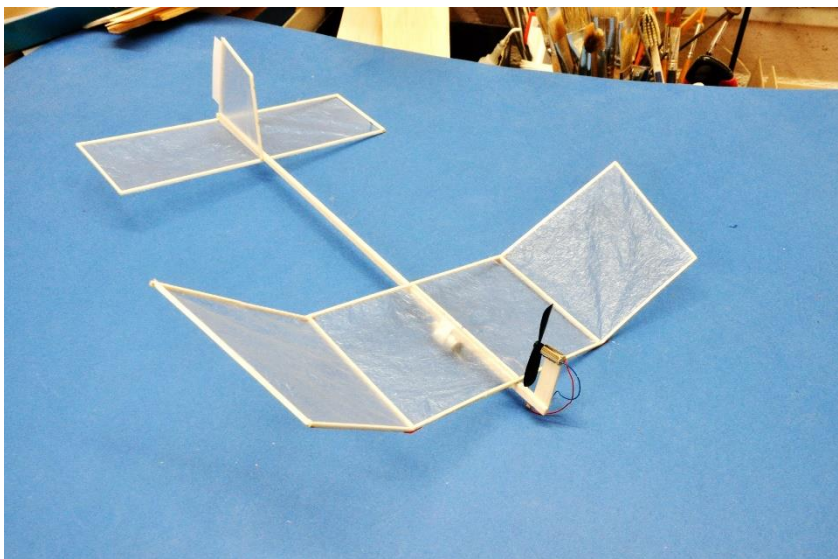
nur Flüge ohne Deckenberührung in die Wertung kommen. Durch Feinabstimmung des Modells ist die No-Touch-Bedingung gut erfüllbar.



Das Kondensator-Modell des Autors knapp unter der Hallendecke der Flugwerft

Einstiegsmodelle

Der Einstieg in das Cap-Fliegen gelingt am besten mit dem „Lillström“, der auch für Schul-Workshops empfohlen wird. Der Bau aus ebenen Leisten ist höchst einfach gehalten, was den Erfolg garantiert. Bei dosierter Ladespannung (ca. 2,8 bis 3 Volt) lassen sich in einem Klassenzimmer Flüge von einer Minute durchführen.



Der Lillström ist ein leicht zu bauendes Einstiegsmodell

Fazit

Der Saalflug mit Kondensatormodellen, könnte für diejenigen eine Einstiegshilfe sein, die den Gummi-betriebenen Saalflug als etwas „Überkommenes“ ansehen. Auch sind die Einstiegskosten wesentlich geringer, braucht man doch kein

Gummi-Schneidegerät und keinen Drehmomentmesser. Die fliegerischen Anforderungen sind wegen des Fehlens der hohen Drehmomente geringer als beim traditionellen Gummi-Saalflug, der natürlich weiterhin seine Berechtigung hat.

Bezugsquellen

6 mm /10 Ohm Coreless Motore:

<https://www.mikromodellbau.de/artikelauswahl.php?kid=100>

5 Farad Greencaps: Conrad

CDA Supercaps + DC/DC step down converter: AliExpress

Propeller: 40 mm Propeller für Minidrohnen – verschiedene Quellen im Internet

Lillström-Plan: VTH Buch Saalflug mit Leichtmodellen

Saalflugmodelle mit Kondensatorantrieb und Prozessorsteuerung

Paul Willutzki

Saalflugmodelle mit Elektromotorantrieb und einem leistungsfähigen Kondensator (Supercap) als Energiequelle gibt es inzwischen seit einigen Jahren [1]. Zunächst hatte man vor allem versucht, die hohe Drehzahl des Motors mittels Getriebe an Luftschrauben mit halbwegs ordentlichem Wirkungsgrad anzupassen. Wie wir gesehen haben, sind diese oft nicht leicht zu beherrschen. Meine aus Holz konstruierten Propeller versagten z.B. regelmäßig bei den obligatorischen Decken und Wandberührungen in den kleinen, uns zur Verfügung stehenden Hallen. Außerdem haben die vielfach verwendeten 10 Farad Caps ein hohes Eigengewicht und zusammen mit den dafür notwendigen stabilen Modellen, Getrieben und Luftschrauben kamen am Ende meist 6-8 oder mehr Gramm zusammen. Daraus wiederum resultieren hohe Fluggeschwindigkeiten und nachfolgend diverse weitere Nachteile. Wir fragten uns, was wir hier tun könnten, um diesem Dilemma zu entgehen.

Konzept

Das geht ganz klar nur mit leichteren und an manchen Stellen auch anders konstruierten Modellen. Das bedeutet z.B. die Reduzierung der Kondensatorkapazitäten auf 5 oder 3 Farad, die Verwendung von Motoren im Direktantrieb mit einfachen robusten Kunststoffpropellern beispielsweise aus dem Mikro-Drohnen-Bereich. Dass die Flugzeiten insgesamt sinken würden war klar, wie wir aber von anderen Wettbewerben, z.B. Lillfly mit Maximalzeiten von etwas mehr als 3 min wissen, ist das aber kein Nachteil, es können mehr Flüge gemacht werden, man behindert sich gegenseitig weniger und die Gefahr, dass man an eine Hallenwand driftet, ist auch wesentlich kleiner. Kurz um, es macht genauso viel, wenn nicht sogar mehr Spaß. Die prognostizierten Modellgewichte von unter 5g liegen im Bereich von F1M-L Modellen und damit sinken die Fluggeschwindigkeiten erheblich. Beim Kondensator-Vergleichsfliegen im November 2019 in Ingolstadt zeigte sich, dass alle Prognosen und Berechnungen eintraten. Es war ein herrliches Gefühl, den majestätisch fliegenden Modellen zuzusehen.

Problem Hallenhöhe

Ein Problem allerdings bleibt und es betrifft den Saalflug insgesamt. Es gibt, zumindest in Deutschland, keine

ausreichend großen, hohen Hallen mit glatten Decken und Wänden, die einem breiteren Kreis von Piloten zu Verfügung stehen. Das bedeutet immer unangenehme Deckenberührungen, die nicht selten auch zu Modellbeschädigungen und Flugabbrüchen führen. Natürlich leiden darunter auch die Flugzeiten massiv, da es sich ja immer um verlustbehaftete Stöße handelt, die die für den Flug notwendige Energie vermindern. Beim Saalflug mit Elektromotor zieht der Motor außerdem bei Propellerstillstand bis zum erneuten Erreichen der Soll-Drehzahl kurzzeitig einen höheren Strom.

Abb. 1.

Als Ausweg verwendet man bei den Gummimotor-Modellen, wenn es das Reglement zulässt, Verstellprops, meist verändert man die Propellersteigung während des Flugs, selten auch den Durchmesser. Die Mechaniken sind oft wahre Kunstwerke und gar nicht so einfach zu beherrschen.

Es kursierten auch bei den Kondensatormodellen Ideen für Flugphasensteuerungen, da aber auch die auf dem Papier diverse Nachteile hatten, lagen sie lange Zeit in der Schublade.

Lösungsmöglichkeiten für CAP-Modelle

Eine recht neue Idee stammt von Philipp Stengele, der eine Schaltwippe konstruiert hat, welche durch leichte Balsaleisten verlängert wird. Sobald das Modell die Decke berührt, schaltet der obere Teil der Wippe den Motor aus, das Modell segelt zu Boden, dort schaltet der untere Teil der Wippe den Motor wieder ein. Ein im Prinzip bestechend einfaches Prinzip, das mehrere Vorteile hat: Man muss es nicht auf verschiedene Deckenhöhen justieren und es benötigt bei guter elektrischer Ausführung auch keine Energie. Nachteilig ist wahrscheinlich, dass die Ausleger etwas Luftwiderstand erzeugen und das System auch ein gewisses Eigengewicht hat, nach Philipps Aussage derzeit etwa 300-350mg. Aber für den, der sich mit der Technologie der CAP-Flieger auseinandersetzen will, sicherlich der richtige Einstieg.

Abb. 2.

Eine andere Idee ist der Einsatz von Elektronik, um den Motor zu schalten oder zu steuern. Aber auch hier ergeben sich sofort Fragen: Elektronik wiegt meistens nicht wenig (wenn man den Bereich von wenigen 100mg

als Maßstab nimmt), sie benötigt Energie und sie muss in dem Spannungsbereich von ca. 1-3,3V zuverlässig funktionieren. Und man muss sie auch irgendwie sinnvoll bedienen und einstellen können. Ich hatte mir zwar schon vor einigen Jahren dazu Gedanken gemacht, legte sie aus eben diesen Gründen aber wieder zu Seite. Drei Wochen vor dem Ingolstadt-Termin habe ich sie wieder mal hervorgeholt und beschlossen, den Versuch zu wagen und einen Demonstrator zu bauen. Die Zeit war knapp, aber wie so oft, hilft so ein zeitlicher Anschlag enorm.

Technik

Mit konventioneller Schaltungstechnik ist bei den geforderten Rahmenbedingungen wenig zu machen, da kommt nur Mikroprozessor-Technik in Frage. Glücklicherweise gibt es von den weit verbreiteten Atmel-Prozessoren leistungsfähige und trotzdem relative kleine Exemplare (SMD) und diese zum Glück auch noch in Versionen mit einem spezifizierten Spannungsbereich bis hinunter zu 1,8V. In der Praxis funktionieren sie sogar bis ca. 1,6V. Allerdings vermögen sie nicht die 100-150mA zu schalten, die im Flug je nach Motor auftreten können. Dafür braucht man ein externes Bauteil, entweder einen Transistor oder einen FET (Feldeffekttransistor). Letzterer hat den Vorteil, wenn man den richtigen Typ benutzt, dass an ihm im durchgeschalteten Zustand nur wenige mV abfallen. Außerdem kann er einige Ampere schalten, man ist also auf der sicheren Seite. Allerdings ist die technologiebedingte Minimalspannung auf ca. 1,1-1,2V begrenzt. Der gemeine Transistor schafft es typischerweise bis 0,7V herunter, benötigt aber ca. 0,2V für den Eigenbedarf. Ich habe beide Versionen aufgebaut. Durch einen weiteren Kniff in der Schaltung bleibt die Endstufe durchgeschaltet (der Motor läuft weiter), auch wenn die Spannung unter 1,5V sinkt und der Prozessor seinen Dienst quittiert. Der Stromverbrauch der Schaltung liegt je nach Spannung zwischen 0,8 und 1,3mA, ist also gut verkraftbar. Die Programmierung ist nicht ganz ohne, so ein kleiner Prozessor hat nicht unbegrenzt Speicher und es sind doch etliche Funktionen notwendig: Flugphasen- und Motorsteuerung, Bedienung, Parametereinstellung, Interface usw. Zum Glück gelang es mir, in der kurzen Zeit bis Ingolstadt einen funktionierenden Prototyp aufzubauen. Und dann brauchte ich ein Modell, das ich während dieser Zeit auch noch bauen musste. Zum Glück hat mir Heinz da beigestanden, wir bauten noch schnell 2 Modelle in seiner unvergleichlichen Werkstatt.

Abb. 3.

Die Fluggewichte liegen bei ca. 4,7g mit 3F Kondensator, der Prozessor allein wog hier ca. 200-250mg. Die Modelle flogen sehr gut und vor allem auch nicht zu schnell. Die Einstellung der Schaltzeit war zwar etwas mühsam (wer einmal einen Regler für ein

ferngesteuertes Modell zu mit dem Fernsteuerknüppel durchgeführt hat, weiß, was ich meine). Letztlich konnte ich sie aber so justieren, dass nur bis knapp unter die Decke flogen. Auch die Flugzeiten kamen an die neuen 3D-Modelle von Heinz heran. Wobei ich sagen muss, rein aerodynamischer Sicht waren die Modelle von Heinz schon besser, sie haben ja an der Decke gekratzt. Teilweise ist an meinem Modell die Spannung so weit gesunken, dass der Motor kurz vor der Landung ausgegangen ist (FET <1,2V). Dabei war interessant zu beobachten, dass sich der Gleitwinkel nicht sichtbar verändert hat. Offensichtlich bremst der kleine Propeller im Stand nicht sonderlich. Damit war auch die Entscheidung zugunsten des FET und gegen den normalen Transistor als Endstufe gefallen.

Jetzt war mein Ehrgeiz geweckt und ich habe mich im Winter daran gemacht, die verbliebenen Schwachstellen auszumerzen. Erhöhung der verfügbaren Flugphasen (von 1 auf bisher 4) und vor allem eine Programmiermöglichkeit für die vielen Parameter. Auch am Aufbau der Schaltung habe ich gearbeitet. Durch den Einsatz von Mikroskop, Heißluftgerät und speziellem Lötkolben konnte ich das Eigengewicht der Elektronik letztlich bis auf 150-160mg senken. Das ergibt mit den für den Programmieradapter notwendigen Kontakten ein zusätzliches Modellgewicht von ca. 180mg. Man kann den theoretischen Einfluss auf die Flugzeit abschätzen [1] und kommt auf etwa 8s Verlust. Aber das ist nur Theorie, in der Praxis überwiegen viele Unwägbarkeiten, und sei es nur der Lufthauch des vorbeigehenden Piloten.

Abb. 4, Abb. 5

Beim Programmieradapter ging ich noch einen Schritt weiter und baute ihn als Wireless-Server auf, d.h. die eigentliche Programmierung führt man an einem Browser durch, sei es auf einem Computer oder an einem Handy, der Server programmiert dann den Prozessor. Am Ende war noch eine ausgefeilte Codeoptimierung notwendig um alle Funktionen im kleinen Prozessorspeicher unterzubringen.

Abb.6

Neben den vier Flugphasen (prinzipiell erweiterbar), für die man Motorleistung und Zeit einstellen kann, gibt es noch etliche weitere Parameter, z.B. eine Vorlaufzeit, die man dafür nutzen kann, das Modell in Startposition zu bringen.

Modell

Eingebaut sind die neuen Prozessorschaltungen in zwei ebenfalls neue Modelle, für die Heinz die Flächen und Leitwerke beigesteuert hat. Die Neukonstruktion hat sich gelohnt, das Gesamtgewicht diesmal mit 5F CAP liegt bei ca. 4,8g. Anfang März war alles fertig (ich auch

☺). Leider konnte ich die Modelle noch nicht in einer richtigen Halle fliegen, da machte uns Corona kurzfristig einen Strich durch die Rechnung. Zwischenzeitlich habe ich sie in einem kleineren Sportraum (10x12m, 2.6m Deckenhöhe) erprobt. Allerdings erwiesen sich diese Abmessungen nicht als groß genug, um die Modelle sauber auszutrimmen. Und so wie es aussah, erzeugten sie mit ihrer Größe dort auch ihre eigenen Wirbel, die bei den notwendigen engen Kreisen zu periodischen Störungen führten. Ein einziges Mal gelang mir aber doch ein halbwegs ordentlicher Flug mit etwa 90s.

Abb.7

Und so freue ich mich schon sehr auf den Hallenflug-Termin im November, den Heinz vorbehaltlich möglicher Hallenbeschränkungen vereinbart hat.

Literaturverzeichnis

- [1]: Heinz Eder, 2014, Alles über Saalflug, VTH-Verlag, ISBN 978-3-88180-455-5, Kapitel 17
- [2]: Paul Willutzki und Heinz Eder, Theoretische Betrachtungen zu Saalflugmodellen mit Kondensatorantrieb, Thermiksense 2&3, 2015
- [3]: Max Hacklinger, Untersuchungen an Saalflugmodellen, Jahrbuch 1962 der WGLR, S. 237-245
- [4]: Paul Willutzki, Unterlagen Saalflugseminar 2014

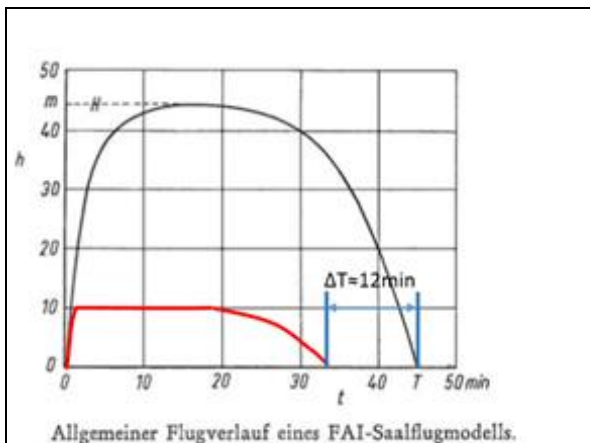


Abb. 1: Abhängigkeit der Flugzeit eines Saalflugmodells von der Hallenhöhe h nach [2], [3]

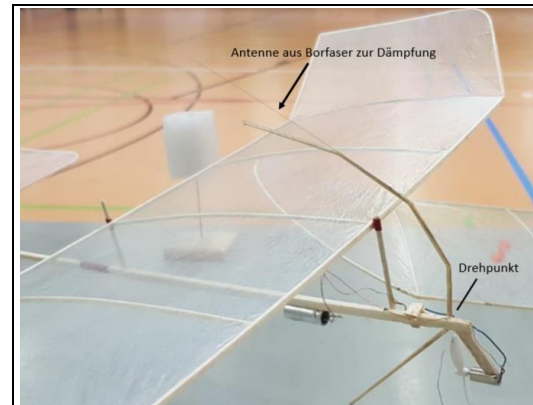


Abb. 2: Kondensatormodell mit Schaltwippe, Modell von Philipp Stengele, Bild: Heinz Eder

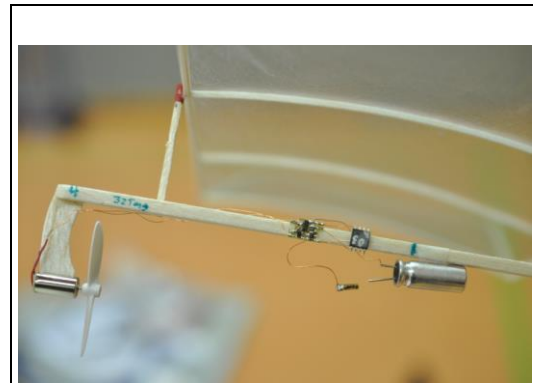
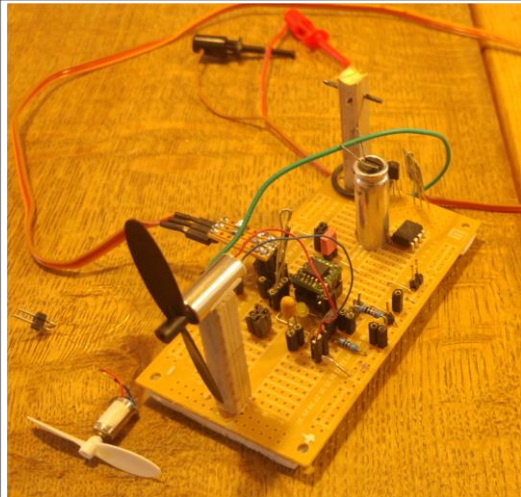


Abb. 3: Demonstrator für das CAP-Vergleichsfliegen im November 2019 in Ingolstadt



Microscope



Abb. 4 & 5: Testschaltung für den Prozessor, unten endgültige Version unter dem Digital-Mikroskop, die Schaltstufe liegt auf der Rückseite

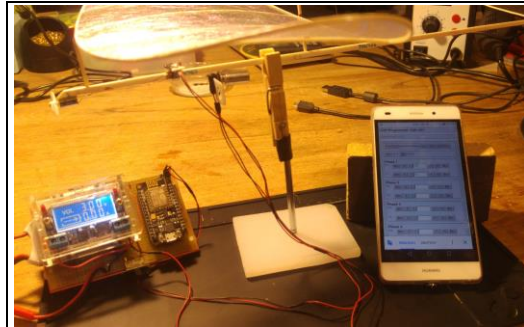


Abb. 6: Einbau im Modell; Links das Ladegerät mit dem WLAN-Programmierserver und rechts die Programmieroberfläche auf einem Handy. Strom- und Programmieranschluss am Modell erfolgen über magnetische Kontakte



Abb. 7: Fertiges CAP-Modell mit Prozessorsteuerung

Kondensatormodelle mit elektronischem Deckenschalter

Paul Willutzki

Vor einiger Zeit berichtete ich in einem Artikel von meinen Arbeiten an einem Saalflugmodell mit Kondensatorantrieb (Super Cap) und einer Prozessorsteuerung zu Limitierung der Antriebsenergie in verschiedenen Flugphasen [1]. Damit ist es bei richtiger Einstellung möglich, das Modell vor einer Deckenberührung zu bewahren. Das Konzept funktioniert gut und ich konnte es auch auf der DM im Saalflug in Ingolstadt im November 2021 erfolgreich fliegen. Aber es ist sehr komplex und daher prinzipiell nur für wenige Piloten geeignet (so ähnlich wie F1D bei den Gummimodellen).

Philipp Stengele stellte ebenfalls ein interessantes Modell mit mechanischem Schalter vor, der an der Decke aus und am Boden wieder einschaltet. Ebenfalls ein sehr reizvolles Konzept, allerdings stellt es sich als schwierig heraus, dieses mechanisch/elektrisch robust und gleichzeitig gewichtsmäßig leicht genug aufzubauen. Auch Heinz Eder hat schon Modelle mit mechanischem Deckenschalter geflogen.

Und so machte ich mir im Winter immer wieder Gedanken, wären an meiner Schaltung vielleicht entscheidende Vereinfachungen möglich? Etwas was man nicht einstellen muss, was praktisch nichts wiegt und was auch für viele andere verwendbar ist? Sozusagen das beste beider Welten.

Und so kam irgendwann die Idee mit dem elektronischen Deckenschalter. In der Woche vor Ingolstadt packte es mich dann und ich baute den ersten Prototyp.

Technisches Konzept

Der Schalter soll den Motor bei Deckenberührung abschalten und am besten nach einer Zeitspanne von wenigen Sekunden wieder einschalten.

Die elektronische Schaltung dazu ist einfach. Den FET (Feldeffekttransistor) als Schalter habe ich schon beim Prozessor erfolgreich eingesetzt.

Die Funktion der Schaltung ist einfach. Über den Super CAP und R1 liegt das (hochohmige) Gate des FET T1 auf high. Wenn die Spannung über eine Mindestspannung ($>1.1-1.2V$) steigt, schaltet der FET und der Motor läuft. Der FET hat dann nur noch einen geringen Restwiderstand von $<30m\Omega$.

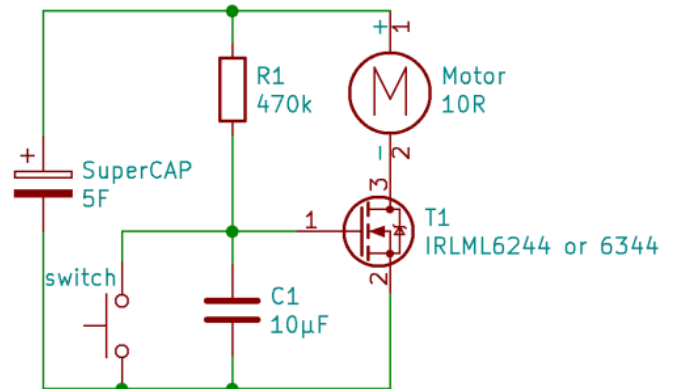


Abb1. Elektronische Schaltung

Durch die kurze Betätigung des Schalters (Switch) bei Deckenberührung entlädt sich der Kondensator C1, das Gate liegt auf Low, der FET sperrt und der Motor stoppt. Jetzt steigt die Spannung am Gate wieder über die RC-Kombination R1C1 mit der dazugehörigen Zeitkonstante und bei Überschreiten der Mindestspannung schaltet der FET wieder und der Motor springt wieder an.

Dabei ist es egal, ob der Schalter prellt oder wie gut der elektrische Kontakt letztlich ist (in Grenzen natürlich), hier fließt nicht der Motorstrom wie bei einem mechanischen Schalter. Daher kann er einfach und leicht konstruiert sein. Wenn er nicht funktionieren sollte, läuft der Motor dauernd. Die Abschaltzeit ist bei dieser einfachen Schaltung nicht konstant, sondern hängt von der momentanen CAP-Spannung ab.

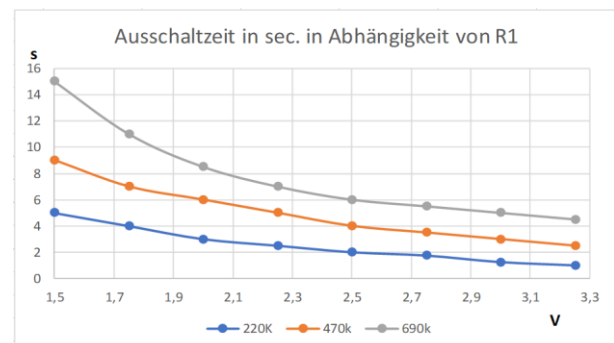


Abb.2 Abhängigkeit der Ausschaltzeit vom Widerstand R1 und der Spannung am Super CAP

Derzeit beträgt der Widerstandswert für R1 470k, ob dieser Wert noch etwas nach oben oder unten variiert werden muss, wird Gegenstand weiterer

Untersuchungen sein (korrespondierend mit der Anzahl der zu erwartenden Deckenberührungen). Mit sinkender Spannung steigt die Ausschaltzeit, das ist aber unkritisch. Die hohen Schaltzeiten bei sehr niedrigen Spannungen werden im Flug nicht eintreten, da dann die Modelle schon lange wieder im Abstieg sind.

Diese Variation der Abschaltzeit hat aber auch einen Vorteil. Man kann durch Beobachtung (Zeitmessung) der Abschaltzeit auf die momentan anliegende CAP-Spannung schließen und daraus Rückschlüsse auf die Güte des Modells und der Trimmung ziehen. Auch am Ende bei Bodenberührung kann man den Schalter nochmal betätigen und damit abschätzen, mit welcher Spannung man in etwa gelandet ist (wenn man sie nicht exakt am CAP messen will).

Die Schaltung ist auf ein Mindestmaß an drei elektronischen Bauteilen reduziert und lässt sich sehr daher leicht bauen (ca. 100-120mg).

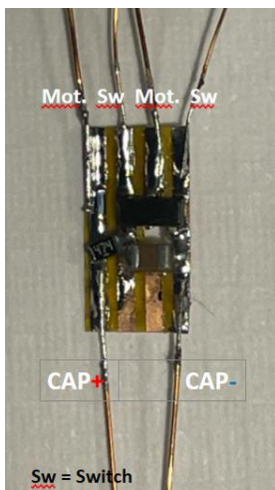


Abb. 3 und 4: mechanischer Aufbau, Gewicht 100mg

Dabei spart man sich den normalerweise verwendeten Stecker am CAP, da der Motor ja mit dem Schalter ausgeschaltet werden kann. Ein solcher Steckkontakt wiegt mit etwas Lötzinn auch mindestens ca. 60mg. Das resultierende Mehrgewicht ist unkritisch.

Den Schalter selbst habe ich ganz auf die Schnelle gebaut, es ist einfach ein dünner CFK-Stab (0.3mm),

die Kontakte etwas Balsa mit selbstklebendem CU-Streifen. Bisher funktioniert diese Schalterlösung für mich gut, man muss nur auf den Abstand der beiden CU-Kontakte achten. Zu weit und er schaltet nicht sauber und zu nah, dann führen Schwingungen der CFK-Stange ggf. schon zum Schalten. Etwa 1-1,5mm ist bisher ein guter Wert der funktioniert. Aber vielleicht fällt aber jemanden noch eine bessere Lösung ein.

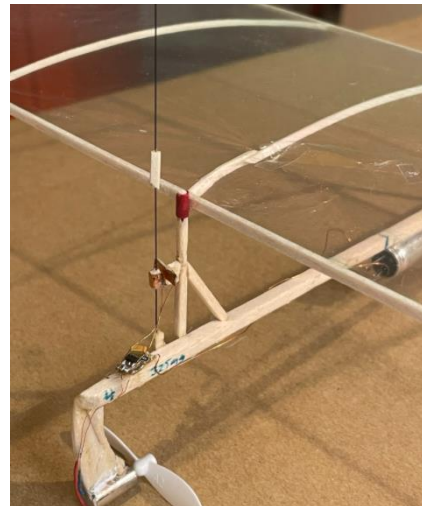


Abb. 5: Erster Testaufbau des Schalters. Hier mit Balsastücken am CFK-Stab zum Bedämpfen etwaiger Schwingungen.

Ergebnisse

Nachdem das System beim Test an der Zimmerdecke gut funktionierte, habe ich es in Ingolstadt ausprobiert. Zum Einsatz kam es in dem Flieger, in dem ich auch den ersten Prototyp des Prozessors erprobt hatte. Es ein ganz konventionelles Modell ohne Besonderheiten, 45cm Spannweite, 15cm Flächentiefe mit flachem HLW. Mit 5.3g ist es auch nicht besonders leicht. Der Antrieb besteht wie üblich aus einem 6mm Motor mit 10 Ohm und einem Drohnenpropeller mit 40mm Durchmesser.



Abb. 6: Das eingesetzte Modell. Zum Stoppen des Motors schiebe ich einen Kurzschluss (z.B. etwas Balsa mit CU-Folie beklebt) zwischen die Schalterkontakte. Dadurch spare ich das Gewicht für den zusätzlichen Steckkontakt am Super CAP.

Trotzdem gelang mit eine gute Trimmeinstellung, und so erreichte es trotz der diesmal niedrig angesetzten Anfangsspannung von 3.1V (alle Piloten benutzten dasselbe Ladegerät) die Decke 1- bis 2-mal. Und auch hier verrichtete der Deckenschalter klaglos seinen Dienst und die Wertungsflüge verliefen ohne Störungen der Flugbahn.

Bei weiteren Testflügen trat aber wieder eine Eigenschaft dieser Modelle auf, die wir auch früher schon gesehen haben: Wenn das Modell an einem größeren Hindernis hängenbleibt, z.B. an einer Beleuchtung, dann nickt es stärker ab. Und da die bremsende Wirkung der großen Luftschrauben der Gummiflieger fehlt, beschleunigt es auch mehr. Manchmal tordieren dabei die Flächen zu stark und es fängt nicht mehr ab. Dem kann man beispielsweise durch Änderung der EWD und auch des Schwerpunkts (Erhöhung des Stabilitätsmaßes) gegenwirken, aber das kosten Leitung und damit Flugzeit. Der richtige Weg ist wohl eine Fläche mit etwas steiferen Holmen, die ich als nächstes bauen werde.

Bei der DM im Saalflug machte ich in kurzem Abstand zwei vergleichbare Flüge mit unterschiedlichen Anfangsspannungen (3.1V und 3.3V). Bei 3.1V waren es 154s und bei 3.3V 175s. In [2] haben wir die Flugzeit für eine Super CAP Modell theoretisch hergeleitet, die Formel hat seitdem die Realität immer wieder relativ gut abgebildet. Wenn man alle anderen Parameter gleich lässt, ergibt sich für die Abhängigkeit von der Startspannung:

$$t_{Flug} \sim U_{Start}^2 - U_{End}^2$$

mit einer Proportionalitätskonstante von $21.4 [s/V^2]$ und einer Endspannung von 1.6V bildet die Formel beide geflogenen Zeiten gut ab.

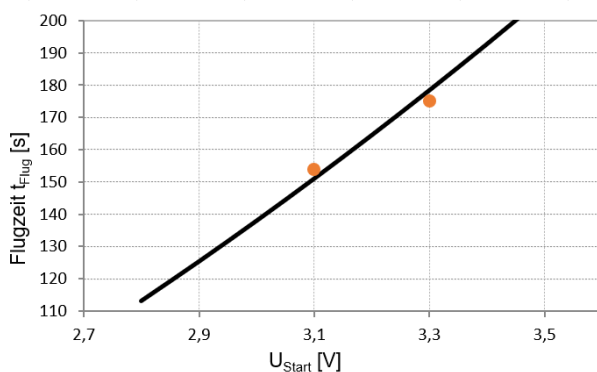


Abb. 7: Abhängigkeit der Flugzeit von der Startspannung des Super CAP. Markiert sind die beiden unter gleichen Bedingungen aber mit verschiedenen Startspannungen geflogenen Werte.

Natürlich sind hier weitere Flüge notwendig. Weiterhin kann man aus der in [2] abgeleiteten Formel, den hier geflogenen Zeiten und einigen sinnvollen Annahmen ($v_{sink} \approx 0.24m/s$, $C \approx 4.8 F$, $\eta_{Motor} \approx 0.55$) den Gesamtwirkungsgrad des Antriebs zu etwa 10-12% und den Luftschraubenwirkungsgrad um die 20% abschätzen. Und trotz dieser kleinen Antriebswirkungsgrade fliegen die Modelle in der niedrigen Halle bis zu 3 min! Mit einigen möglichen Verbesserungen sollte auch diese Marke noch zu knacken sein.

Zusammenfassung

Mit dem in diesem Artikel vorgestellten elektronischen Deckenschalter möchte ich einen weiteren Impuls für die Kondensatorklasse im Saalflug geben. Neben den klassischen Gummimotormodellen ist sie eine wirkliche Bereicherung und Abwechslung, kann man doch an diesen Modellen wegen der viel gleichmäßigeren und wiederholbaren Flüge aerodynamische Effekte, Einfluss von Trimmung, etc. deutlich besser studieren. So haben wir in Ingolstadt am Samstagnachmittag mit 7 Piloten in völlig entspannter Atmosphäre innerhalb von 1.5h jeweils 6 Durchgänge geflogen. Alle Piloten und auch die anderen als Zuschauer standen beieinander, da keiner zum Gummiaufziehen an seinen Platz musste.

Bei Bedarf kann ich einige Schalter für einen geringen Obolus und Porto bauen, oder auch für Leute, die sich das Zutrauen, ein paar Bauteile abgeben (ich habe da aber keinen großen Vorrat). Aber bitte nur ernstgemeinte Anfragen, mit allem Drum und Dran inkl. Test brauche ich etwa eine Stunde für so einen Schalter. Die Versendung könnte ev. auch über das Saalflugdepot von Heinz erfolgen. Es würde mich freuen, wenn ich einige von Euch mit so einem Modell bei einem der nächsten Treffen wiedersehe.

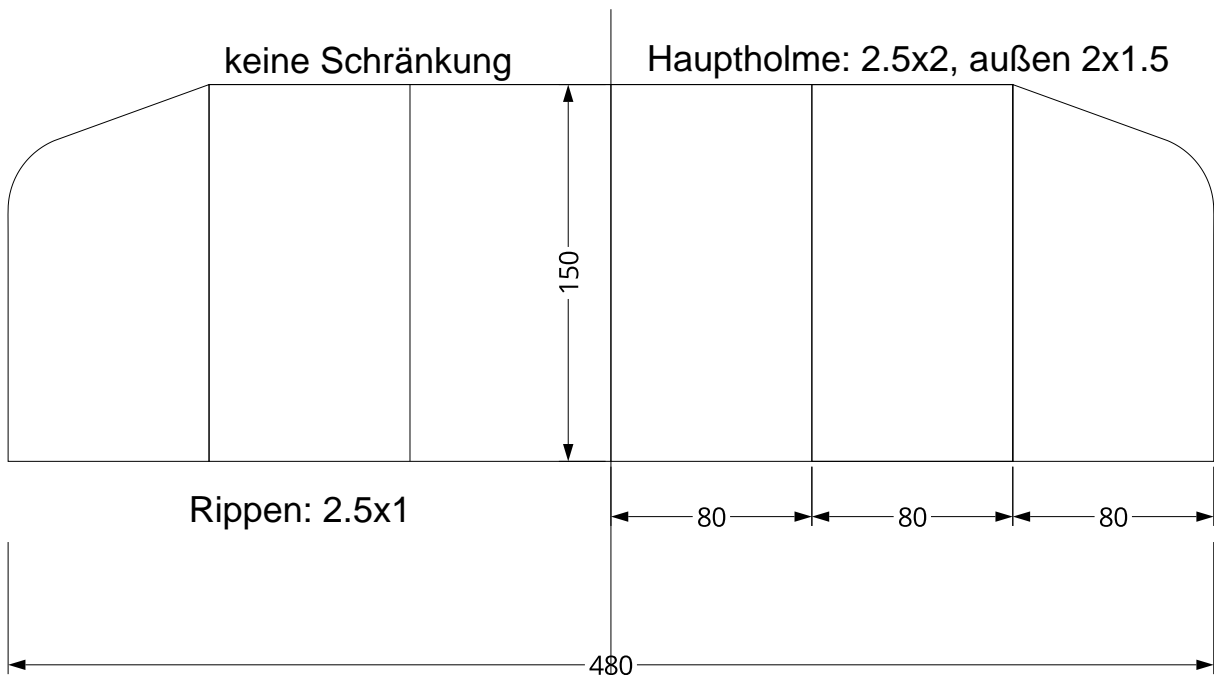
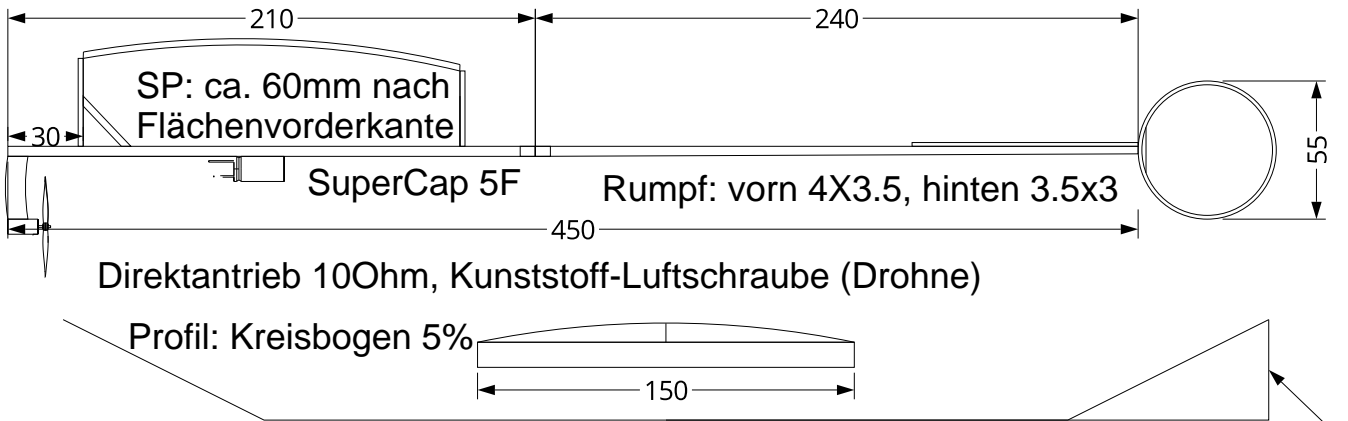
Wer will kann auch auf den empfehlenswerten YouTube-Kanal von Stephan Brehm gehen: (<https://www.youtube.com/user/stephanbre>) und das Video über den Kondensatorflug ansehen: (<https://www.youtube.com/watch?v=qZvCuEcT-PQ>) Dort ist zunächst das Modell von Heinz Eder und anschließend mein Modell zu sehen.

Literaturverzeichnis

- [1]: Paul Willutzki, Mikroprozessor für Saalflug, Thermiksense 2, 2020
- [2]: Paul Willutzki und Heinz Eder, Theoretische Betrachtungen zu Saalflugmodellen mit Kondensatorantrieb, Thermiksense 2&3, 2015

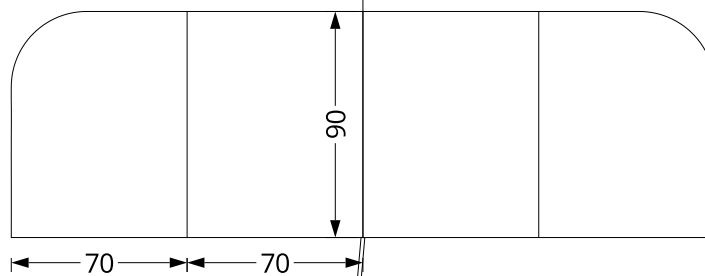
CAP - Simple Version

Paul Willutzki - 2016



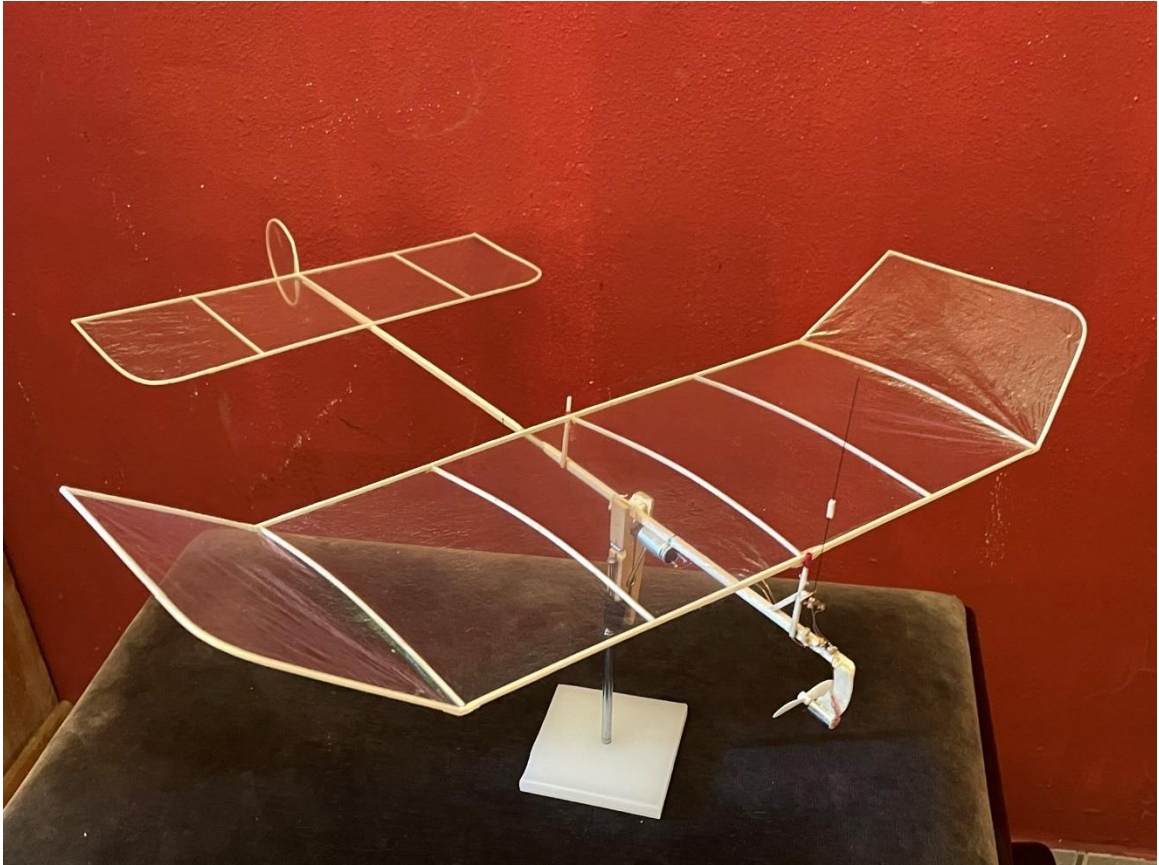
Gewicht: 5.4g inkl. Deckenschalter

HLW und SLW: 1.5x1.5
nicht profiliert



Angaben in mm

Leistungen: Bay. Meisterschaft
Ingolstadt 2022: 2:45, 2:44



Cap-Modell mit Direktantrieb von Paul Willutzki



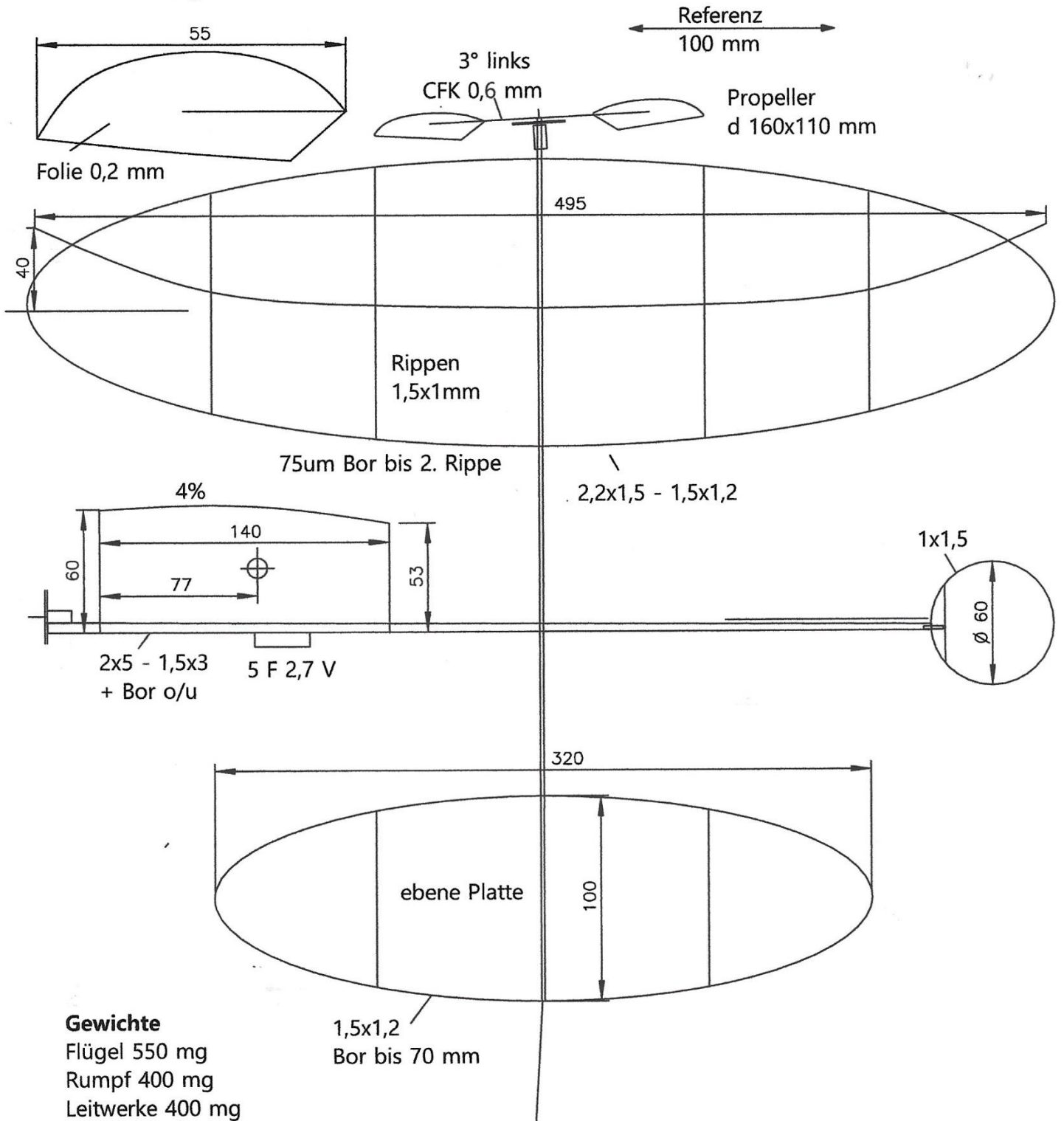
Deckenschalter mit CFK Antenne (schaltet den Motor bei Deckenberührung für einige Sekunden ab)

Da Capo 24

F1M-E Modell, H. Eder 2024

Motor 30 Ohm Getr.: 1:9

Gewicht 5,2g



Gewichte

Flügel 550 mg

Rumpf 400 mg

Leitwerke 400 mg

Motor 1300 mg

Getriebe 450 mg

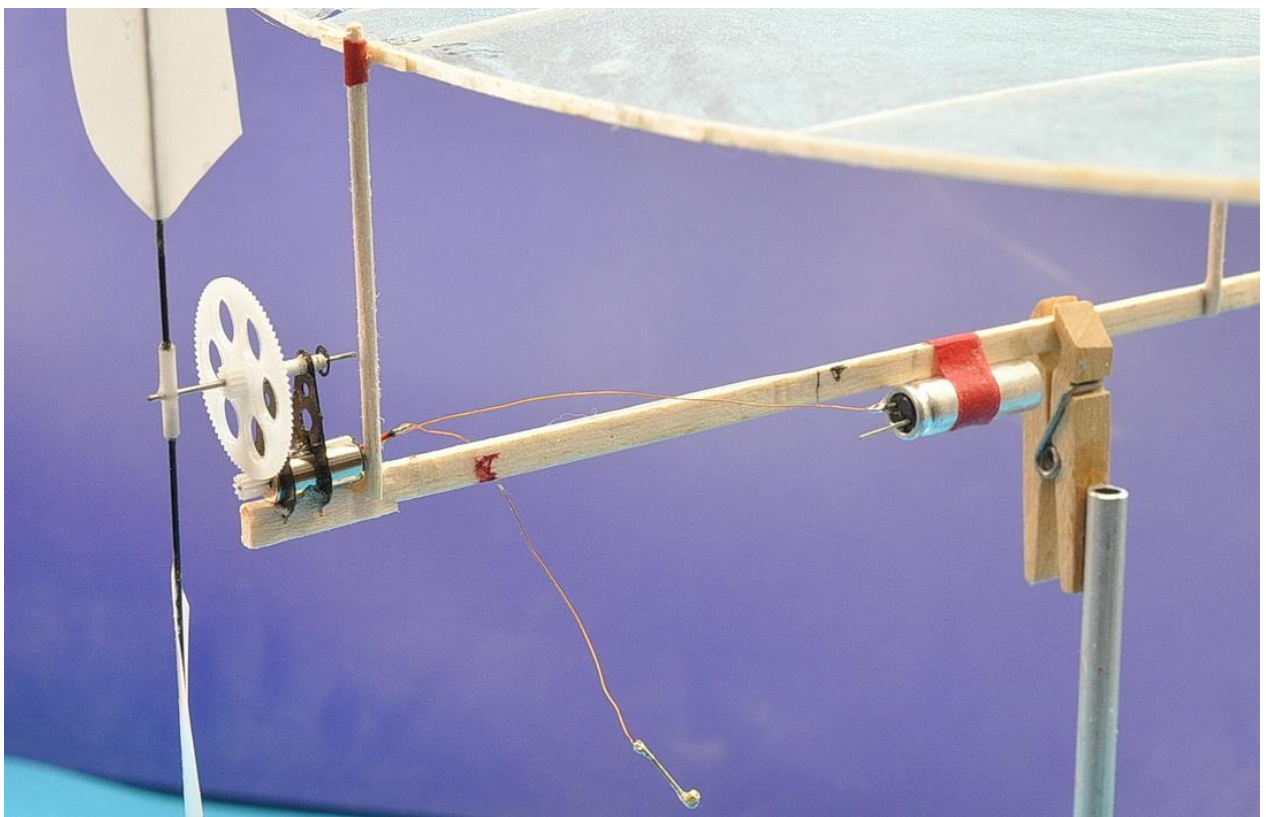
Prop 400

Cap 1700 mg

Gesamt 5200 mg



F1M-E Modell „Da Capo 24“ von H. Eder



Antrieb mit 30 Ohm Motor Untersetzung 1:9 und 5 Farad Cap