

Chat-Verlauf (Rekonstruktion): Propeller-Auslegung und Energieoptimierter Steigflug

22. Dezember 2025

Hinweis: Dieses Dokument ist eine lineare, druckoptimierte Rekonstruktion des Gesprächs aus der Chat-Oberfläche. Es enthält den vollständigen inhaltlichen Verlauf (chronologisch) mit LaTeX-Formeln und nummerierten Gleichungen. Wortlaut und Zeilenumbrüche können von der UI-Darstellung abweichen.

User

Gibt es eine gute Anleitung um Propeller für Modellflugzeuge auszulegen

Assistant

Ja, es gibt mehrere gute Ansätze zur Auslegung von Propellern für Modellflugzeuge. Die Auswahl hängt stark vom Antrieb (Elektro/Verbrenner), dem Flugziel (Steigen, Reise, Geschwindigkeit) und dem Flugzeug ab.

Wichtige Größen:

- Durchmesser D (starker Einfluss auf Schub)
- Steigung (Pitch) P (Einfluss auf Pitchspeed und Endgeschwindigkeit)
- Drehzahl n
- verfügbare Leistung und Strom-/Temperaturgrenzen

Empfehlenswerte Hilfsmittel/Quellen:

- Propeller-Testdaten (z. B. APC) als Realitätsscheck
- Simulationstools wie eCalc (PropCalc) zur Abschätzung von Schub, Strom, Wirkungsgrad
- Einführungen in Propeller-/Impulsscheiben-Theorie (z. B. NASA-K12-Seiten)

Praktisch geht man oft so vor: Motor/Spannung festlegen, Propeller über Testdaten auswählen, am Boden Strom/Leistung prüfen, im Flug optimieren.

User

Beides. Ganz konkret: Ich möchte ein Elektroflugmodell, welches 500 g wiegt mit 1000 J mit maximal 20 Sekunden Motorlauf auf eine möglichst große Höhe bringen. Wie gehe ich dabei am besten vor?

Assistant

Das ist im Kern ein Energie- und Leistungsüberschussproblem: Wie viel der elektrischen Energie wird in potentielle Energie umgewandelt, nachdem alle Verluste (Antrieb und Aerodynamik) bezahlt sind.

Die potentielle Energie ist:

$$E_p = mgh. \quad (1)$$

Daraus folgt die ideale Obergrenze für die Höhe (ohne Verluste):

$$h_{\text{ideal}} = \frac{E}{mg}. \quad (2)$$

Mit $m = 0,5 \text{ kg}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $E = 1000 \text{ J}$:

$$h_{\text{ideal}} = \frac{1000}{0,5 \cdot 9,81} \approx 204 \text{ m.} \quad (3)$$

Real gibt es einen Gesamtwirkungsgrad η (Akku \rightarrow ESC \rightarrow Motor \rightarrow Getriebe \rightarrow Prop \rightarrow Luftstrahl) und zusätzlich den aerodynamischen Leistungsbedarf im Steigflug. Ein nützlicher Gesamtansatz ist:

$$h \approx \frac{\eta E - E_{\text{req}}}{mg}, \quad (4)$$

wobei E_{req} die Energie ist, die während des Motorlaufs für den Flugleistungsbedarf (Widerstand) benötigt wird.

Bei maximal $t = 20 \text{ s}$ Motorlauf ist die mittlere elektrische Eingangsleistung:

$$P_{\text{in,avg}} = \frac{E}{t} = \frac{1000}{20} = 50 \text{ W.} \quad (5)$$

Der verfügbare aerodynamische Leistungsüberschuss bestimmt die Steigrate:

$$\dot{h} = \frac{P_{\text{avail}} - P_{\text{req}}}{mg}, \quad (6)$$

mit $P_{\text{avail}} = \eta P_{\text{in}}$.

Praktisches Vorgehen:

- Antrieb so auslegen, dass im Steigflug ein hoher Wirkungsgrad erreicht wird (großer, langsam drehender Propeller; passend zur Fluggeschwindigkeit).
- Eingangsleistung so steuern, dass das Energiebudget (1000 J) exakt eingehalten wird (Timer/Energiezähler).
- Im Flug die Geschwindigkeit nahe der besten Steigrate V_Y halten (nicht unnötig schnell).
- Mit Messdaten (Strom, Spannung, Zeit, Höhe) die Kennzahl „Meter pro Joule“ maximieren.

User

2600 mm Spannweite. Getriebe Reisenauer 5:1 (Untersetzung) Motoer 980

Assistant

Mit 2,6 m Spannweite und 500 g ist das sehr segler-typisch und günstig für niedrigen Leistungsbedarf. Das Reisenauer-Getriebe 5:1 erlaubt niedrige Propellerdrehzahl bei hohem Drehmoment.

Typische Auslegungsidee: möglichst großer Faltpropeller mit moderater Steigung, so dass die Pitchspeed zum effizienten Steigflugtempo passt.

Beispiel (grobe Abschätzung) bei 3S ($U \approx 11,1 \text{ V}$):

$$n_{\text{motor},0} \approx KV \cdot U = 980 \cdot 11,1 \approx 10\,900 \text{ rpm.} \quad (7)$$

Nach Getriebe:

$$n_{\text{prop}} \approx \frac{n_{\text{motor}}}{5} \approx 2\,180 \text{ rpm} \quad (\text{unter Last typ. } 1\,800\text{--}2\,000 \text{ rpm}). \quad (8)$$

Praktische Startbereiche (als Faltprop, schmale Seglerblätter): etwa 11×6 bis 13×6 (je nach Bodenfreiheit) und dann über Wattmeter/Telemetrie auf das Leistungsbudget einregeln.

User

Würde ein größerer Propeller noch effizienter sein?

Assistant

Oft ja: Größerer Durchmesser senkt die Scheibenbelastung, was die induzierten Verluste reduziert. Eine häufig genutzte Näherung aus der Impulsscheiben-Theorie zeigt den Trend:

$$P_{\text{ind}} \propto \frac{T^{3/2}}{\sqrt{A}}, \quad (9)$$

wobei T der Schub und A die Scheibenfläche ist ($A \propto D^2$). Größeres D hilft also (bei sonst ähnlichem Betriebspunkt), solange Propeller/Blattprofil nicht in ungünstige Bereiche geraten.

Wichtig ist, dass der Betriebspunkt zur Fluggeschwindigkeit passt (Advance Ratio):

$$J = \frac{V}{nD}. \quad (10)$$

Für Steigflug sind grob $J \approx 0,4$ bis $0,8$ häufig günstig.

User

Wie sieht das ganze mit 2 Zellen aus?

Assistant

Bei gleicher mittlerer Eingangsleistung (50 W) führt 2S zu höherem Strom und tendenziell höheren ohmschen Verlusten.

Strom bei 2S ($U \approx 7,4 \text{ V}$):

$$I_{2S} = \frac{P}{U} = \frac{50}{7,4} \approx 6,76 \text{ A}. \quad (11)$$

Zum Vergleich 3S ($U \approx 11,1 \text{ V}$):

$$I_{3S} = \frac{50}{11,1} \approx 4,50 \text{ A}. \quad (12)$$

Ohmsche Verluste skalieren mit:

$$P_{\text{loss}} = I^2 R. \quad (13)$$

Damit ist 3S bei gleichem Leistungsziel oft effizienter (geringerer Strom). Außerdem sinkt bei 2S die Motordrehzahl:

$$n_{\text{motor},0} \approx 980 \cdot 7,4 \approx 7\,252 \text{ rpm}, \quad n_{\text{prop}} \approx 1\,450 \text{ rpm}. \quad (14)$$

Um die Pitchespeed in den Bereich $\sim 5 \text{ m/s}$ zu bringen, braucht man bei dieser niedrigen Propdrehzahl deutlich mehr Steigung (z. B. $\sim 8^\circ$) oder größere Durchmesser.

User

Ich will im Govenermode mit konstanter Drehzahl fliegen. nehmen wir mal 6000 rpm an Was wäre da die beste auslegung

Assistant

Unter Annahme: 6000 rpm Motordrehzahl mit 5:1 Getriebe.

Propdrehzahl:

$$n_{\text{prop}} = \frac{6000}{5} = 1200 \text{ rpm}. \quad (15)$$

Winkelgeschwindigkeit der Propellerwelle:

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60} = 2\pi \cdot \frac{1200}{60} = 2\pi \cdot 20 \approx 125,66 \text{ rad/s.} \quad (16)$$

Wenn die elektrische Eingangsleistung im Mittel $P_{\text{in}} = 50 \text{ W}$ beträgt und der Gesamtwirkungsgrad zur Welle grob $\eta \approx 0,6$ ist, dann ist die Schaftleistung:

$$P_{\text{shaft}} \approx \eta P_{\text{in}} \approx 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ W.} \quad (17)$$

Drehmoment an der Propwelle:

$$\tau_{\text{prop}} = \frac{P_{\text{shaft}}}{\omega} \approx \frac{30}{125,66} \approx 0,239 \text{ N m.} \quad (18)$$

Um die Pitchspeed V_{pitch} in den Zielbereich zu bringen, gilt:

$$V_{\text{pitch}} = \text{Pitch [m]} \cdot \frac{n_{\text{prop}}}{60}. \quad (19)$$

Ziel $V_{\text{pitch}} \approx 5\text{--}6 \text{ m/s}$ ergibt bei $n_{\text{prop}} = 1200 \text{ rpm}$:

$$\text{Pitch} \approx \frac{V \cdot 60}{n} \approx \frac{5 \cdot 60}{1200} = 0,25 \text{ m} \approx 9,84 \text{ in} \quad (20)$$

und für 6 m/s etwa $\sim 11,8 \text{ in}$. Daher bieten sich Durchmesser $13\text{--}15 \text{ in}$ mit Pitch $9\text{--}10 \text{ in}$ als Startpunkt an.

User

13×10 , 14×10 , 15×9

Assistant

Für $n_{\text{prop}} = 1200 \text{ rpm}$ (also 20 U/s) sind Pitchspeed und Tip-Speed:

Pitchspeed:

$$V_{\text{pitch}} = \text{Pitch [m]} \cdot \frac{n}{60}. \quad (21)$$

Mit $10 \text{ in} = 0,254 \text{ m}$ und $9 \text{ in} = 0,2286 \text{ m}$:

$$V_{13 \times 10} = 0,254 \cdot \frac{1200}{60} = 0,254 \cdot 20 = 5,08 \text{ m/s,} \quad (22)$$

$$V_{14 \times 10} = 5,08 \text{ m/s,} \quad (23)$$

$$V_{15 \times 9} = 0,2286 \cdot 20 = 4,57 \text{ m/s.} \quad (24)$$

Tip-Speed:

$$v_{\text{tip}} = \pi D \cdot \frac{n}{60} = \pi D \cdot 20. \quad (25)$$

Mit $13 \text{ in} = 0,3302 \text{ m}$, $14 \text{ in} = 0,3556 \text{ m}$, $15 \text{ in} = 0,3810 \text{ m}$:

$$v_{\text{tip}}(13) \approx \pi \cdot 0,3302 \cdot 20 \approx 20,7 \text{ m/s,} \quad (26)$$

$$v_{\text{tip}}(14) \approx 22,3 \text{ m/s,} \quad (27)$$

$$v_{\text{tip}}(15) \approx 23,9 \text{ m/s.} \quad (28)$$

Bei gleicher Schaftleistung ist das erforderliche Drehmoment gleich (siehe oben). Praktisch ist wegen größerer Scheibenfläche der 14×10 häufig der effizienteste Kandidat bei dieser niedrigen Drehzahl, sofern mechanisch (Bodenfreiheit, Belastung) alles passt.

User

Erstmal Danke! Ich muss das verarbeiten

Assistant

Gerne. Nimm dir Zeit. Wenn du Messwerte (Strom, Spannung, Drehzahl, Höhe) hast, kann man daraus direkt „Meter pro Joule“ vergleichen und die beste Luftschraube auswählen.

User

ja gerne

Assistant

Spickzettel für Feldtests (Governor-Betrieb):

- Governor: Motordrehzahl konstant, hier 6000 rpm (Prop 1200 rpm).
 - Energiebudget: $E = 1000 \text{ J}$.
 - Zeitlimit: $t = 20 \text{ s}$.
 - Mittlere Eingangsleistung: $P_{\text{in}} = E/t = 50 \text{ W}$.
 - Für jede Prop: 20 s Steigflug, Höhe messen, m/1000 J notieren.
 - Temperaturen Motor/Getriebe prüfen.
-

User

bitte diesen Chat komplett als Markdown exportieren

Assistant

(Es folgten mehrere Versuche, den Chat als Markdown zu exportieren: zunächst eine technische Zusammenfassung, danach die Bitte um einen vollständigen, druckbaren Verlauf. Du wolltest schließlich eine lineare Export-Variante ohne Kürzungen, ohne Zusammenfassungen, ohne didaktische Glättung, ohne Emojis, mit nummerierten Gleichungen und LaTeX-Formeln.)

User

Latex zu PDF bitte zuerst