

Antriebssysteme

Das Antriebssystem für ein Scalemodell kann auf der Basis von Verbrennungsmotor oder Elektromotor realisiert werden. Für welches Prinzip man sich entscheidet, hängt zunächst einmal von den Vorlieben des Modellfliegers ab. Im Wettbewerb haben Verbrennungsmotoren einen Vorteil bezüglich der Flugbewertung. Dort wird unter anderem der Realismus des Motorengeräuschs in die Bewertung einbezogen. Bewährt haben sich großvolumige (max. 15cm³ einmotorig; 20 cm³ mehrmotorig) Viertaktmotoren.

Für den Elektroantrieb spricht der geringere Aufwand beim Lackieren, weil die abschließende kraftstoffeste Lackierung entfällt. Auch müssen z.B. den Motor tragende Teile nicht so robust ausgeführt werden, was der notwendigen Gewichtsoptimierung entgegen kommt. Für das realistische Motorgeräusch sind Soundmodule eine Perspektive, bringen aber auch einen Massezuwachs.

Welche Leistung braucht das Antriebssystem?

Es gilt die Regel:

„Nimm den größtmöglichen Motor, der beim gewählten Modellmaßstab, noch ohne überstehende Teile in die Motorverkleidung passt“.

In verschiedenen Artikeln oder Büchern gibt es Tabellen, die die Auswahl erleichtern.

Sie berücksichtigen aber nicht die heutigen Leistungen der Motoren.

Flugzeugtyp	Hubraum [cm ³]							
	1,5 oder 2x0,8		2,5 oder 2x1,5		5 oder 2x2,5 oder 4x1,5		10 oder 2x5 oder 4x2,5	
	m	A	m	A	m	A	m	A
Sportflugzeug	420	9	700	14	1400	26	2600	48
Trainingsflugzeug	360	6	600	10	1200	18	2400	32
Jagdflugzeug / Jagdbomber	300	4	500	7	900	12	1600	20
Bomben oder Verkehrsflugzeug	420	6	700	10	1400	16	2600	28
Schwerer Bomber / Großflugzeug	480	8	800	12	1600	24	3200	44
Kunstflugzeug	300	10	500	16	1000	32	2000	64

Wislaw Schier "Miniature lotnictwo" WKL Verlag 1978 S. 120

Natürlich kann die erforderliche Leistung auch berechnet werden.

Die notwendigen Gleichungen beinhalten aber viele Faktoren, die wir für unser Modell nicht genau kennen. Auftriebsbeiwert, Widerstandsbeiwert und Wirkungsgrade sollen hier als Beispiel genannt werden. Diese sind auch in Tabellen zu finden, meistens aber nicht speziell für unser jeweiliges Modell. Ob der Auftriebsbeiwert 0,7 oder 1,0 beträgt, beeinflusst das Rechenergebnis nur unwesentlich. Viel einflussreicher sind das Modellgewicht, der Flächeninhalt und die Flugeschwindigkeit. Alle drei Größen spielen bei der Modellauswahl eine zentrale Rolle.

Das bedeutet, eine exakte Berechnung ist wegen der vielen variablen Einflussfaktoren nur schwer möglich. Erfahrungswerte bringen uns da schneller zum Ziel. Wenn man nach der oben genannten Regel verfährt, wird das Ziel eines gut fliegenden Modells sicher erreicht. Für elektrische Antriebe gibt es diese Erfahrungswerte noch nicht. Bleibt nur eine Näherungsrechnung, die auch für Antriebe mit Verbrennungsmotor eingesetzt werden kann.

Dazu eine Vorbemerkung:

Mit maßstabsgerechter Geschwindigkeit können wir nicht fliegen.

Für meine An-2 würde das zum Beispiel folgendes bedeuten:

Das Original fliegt mit einer Reisegeschwindigkeit von 230 km/h = 63m/s. Würde eine AN-2 mit dieser Geschwindigkeit einen Vollkreis mit einem Radius von 220m(Flugradius des Modells mal Maßstab) fliegen, braucht sie dafür rund 23 s. Das Modell benötigt für eine Runde 6 bis 10 s.

Langsamer geht nicht, weil wir für die sichere Funktion der Steuerung eine bestimmte Fliehkraft und damit eine bestimmte Mindestgeschwindigkeit benötigen. Außerdem wir bauen unsere Modelle in einem bestimmten, verkleinernden Maßstab, die aerodynamischen Gesetze lassen sich aber nicht maßstabsgetreu verkleinern. Sie wirken auf unser Modell genauso, wie auf das Original.

Wie groß die erforderliche Fluggeschwindigkeit sein muss, beantwortet sich ganz schnell aus dem zukünftigen Flugprogramm. Kreise in der 30° beziehungsweise 45° Ebene sollten immer möglich sein.

Der Wingover ist eine mögliche Flugfigur. Das bedeutet in der 45° Ebene oder im Wingover muss das Modell noch schnell genug fliegen, um die zum Steuern erforderliche Fliehkraft zu erzeugen.

Peter German hat in einem Artikel zur Bestimmung der erforderlichen Motorleistung bei elektrisch angetriebenen Kunstflugmodellen eine praktikable Methode beschrieben. (veröffentlicht bei „fesselflug. eu“) Er geht vom Standpunkt aus, dass für den Gipfelpunkt des Wingovers die größte Motorleistung erforderlich ist. Seine Annahme, eine Fliehkraft, die dem dreifachen des Modellgewichts entspricht ist notwendig, um sicher einen Wingover zu fliegen. Da wir bei Scale Modellen keine großen Ruderausschläge und keine Flaps verwenden, reicht nach meinen Erkenntnissen ein Faktor von 2,5 völlig aus.

Die Gleichung für die Fliehkraft (Zentrifugalkraft) ist:

$$F_z = \frac{mv^2}{r}$$

Die Gleichung nach der Geschwindigkeit umgestellt lautet dann:

$$v_{\text{erf}} = \sqrt{\frac{F_z r}{m}}$$

Für $F_z = 2,5gm$ eingesetzt,

$$v_{\text{erf}} = \sqrt{\frac{2,5 g m r}{m}}$$

m in kg r in m $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Die Masse lässt sich kürzen, für g annähernd 10 eingesetzt, ergibt die für unsere Abschätzung der erforderlichen Modellgeschwindigkeit folgende Näherungsformel.

$$v_{\text{erf}} = \sqrt{25r}$$

gilt für r in m und v_{erf} in m/s

Als Beispiel hier die Daten der P-47 von Stephan Rätsch.

Das Modell wird mit einer 17,5m langen Leine geflogen. Das entspricht bei einer Spannweite von 1,4m und einer angenommenen Armlänge von 0,6m einem Flugradius von 18,8m.

$$v_{\text{erf}} = \sqrt{25 \cdot 18,8} \text{ m/s}$$

$$\underline{v_{\text{erf}} = 21,8 \text{ m/s} = 78,0 \text{ km/h}}$$

Mit der errechneten notwendigen Fluggeschwindigkeit kann jetzt die erforderliche Leistung berechnet werden.

Dazu fand ich im Buch „Miniaturowe lotnistwo“ von W.Schier S.276 folgende Formel:

$$v = 74 \sqrt[3]{\frac{P_{\text{Mot}}}{A}}$$

Diese gilt unter der Annahme von Luftschraubenwirkungsgrad = 0,7 und Gesamtwiderstandsbeiwert des Modells von 0,1. Dabei sind die Leistung in kW, der Flächeninhalt in m² und die Geschwindigkeit in km/h einzusetzen.

Umgestellt nach der Motorleistung und für $v = v_{\text{erf}}$ eingesetzt ergibt:

$$P_{\text{Mot}} = \left(\frac{v_{\text{erf}}}{74} \right)^3 A$$

Für das Modell sind 27,3 dm² (0,273m²) als Flächeninhalt angegeben.

$$P_{\text{Mot}} = \left(\frac{78,0}{74} \right)^3 * 0,273 \quad \text{kW}$$

$$\underline{P_{\text{Mot}} = 0,320 \text{ kW} = 320 \text{ W}}$$

Das ist die für einen Wingover erforderliche Leistung. Durch Berücksichtigung des Motorwirkungsgrades (ich verwende immer 0,70 bis 0,9) erhalte ich die notwendige Antriebsleistung. Für 0,7 als schlechtesten Wirkungsgrad sind das:

320W geteilt durch 0,7 gleich 457,5 W.

Mit dieser erforderlichen Leistung von ca. 457,5 W und der Spannung des 4-zelligen Akkus von 14V kann der entsprechende Strom berechnet werden.

$$P = U I$$

$$I = \frac{P}{U}$$

$$I = \frac{457,5 \text{ W}}{14 \text{ V}}$$

$$\underline{I = 32,7 \text{ A}}$$

Die erforderliche Akkukapazität lässt sich jetzt auch bestimmen. Üblicherweise werden die Akkukapazitäten in mAh angegeben.

Ich brauche für eine Stunde Flug 32700 mAh. Das sind 544,7 mAh pro Minute.

Für die Flugzeit stehen entsprechend den Wettbewerbsregeln 9 min zur Verfügung. Diese Zeit wird selbstverständlich nicht ständig mit Vollgas geflogen, so dass die erforderliche Akkukapazität um einiges geringer ausfallen dürfte. Unter der Annahme, dass nur die halbe Zeit mit Vollgas geflogen wird, wäre demnach ein Akku

mit 4,5 mal 544,7 mAh = 2451 mAh erforderlich.

Zum Vergleich die von Stephan angegebenen Modelldaten seiner P-47:

Modell von FMS gekauft bei osmot powertoys.de.

Es ist fast im serienmäßigen Zustand mit Motor, Regler, 4-Blatt Propeller etc.
Folgende Daten habe ich von dem Modell:

- Spannweite: 1400mm
- Länge: 1250mm
- Flächeninhalt: 27,3 dm²
- Fluggewicht: 2200g
- Servos: für die Landeklappen, 9gr
- Akku: **4S 14.8V**, 2600MAh Flugdauer reicht für das Semi-Scale Programm aus (knapp 6 min)
- Regler: 50A Brushless
- Elektrisches Einziehfahrwerk
- Brodak 4" Segment
- Leinenlänge 17,50 m
- Kusy Steuerung für Motor, Fahrwerk und Landeklappen
Im Flug reicht $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ Gas aus.

Stephan musste den Schwerpunkt von RC (112 mm von Flügelvorderkante) auf 90mm verkürzen, damit das Modell stabil fliegt. D.h. ca.70 g Blei in der Motorhaube zusätzlich.

Offensichtlich ist, dass mit dem gezeigten Weg der Abschätzung der erforderlichen Antriebsdaten ausreichende Genauigkeit erreicht wurde.