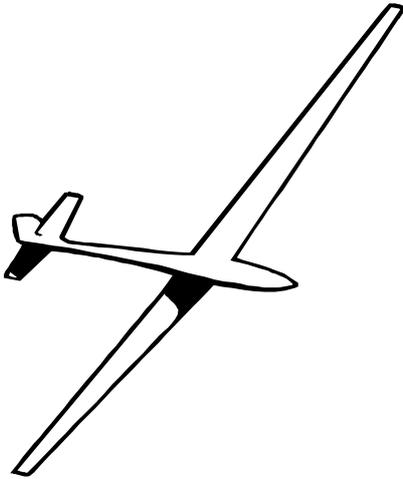


## Optimierung des E-Antriebes für Thermiksegler



In einem Antriebsakku steckt eine bestimmte elektrische Energie, die nach dem Energieerhaltungssatz in eine potentielle Energie umgewandelt werden kann, um ein bestimmtes Gewicht eine bestimmte Höhe hochzuheben. Das Gewicht um das es geht, ist unser Modellflugzeug. Für **Thermikflieger** gilt somit, dieses **möglichst hoch** zu heben um dann entsprechend lange fliegen zu können. Wie lange der Vorgang des Hochhebens dauert ist dabei unwichtig.

### Inhalt

1	Zur Mathematik	2
2	Wie kann ich das Optimum berechnen?	4

# 1 Zur Mathematik

Bei jedem Energieumwandlungsprozess treten Verluste auf, die die erreichbare Höhe einschränken. Für einen Elektrosegler gelten folgende Verlustfaktoren:

- Wirkungsgrad des E-Motors, bestimmt durch den Leerlaufstrom und den elektrischen Innenwiderstand des Motors
- Innenwiderstand des Akkus (warum wird der so warm?)
- Wirkungsgrad des Propellers
- Aerodynamischer Widerstand des Modellflugzeuges

Betrachten wir zunächst nur einmal ein Gewicht, das wir durch einen E-Motor hochheben wollen. Dem Energieerhaltungssatz ist es **wurst**, **wie schnell** wir dies tun. Bei Evidenz, je schneller wir das tun, um so mehr Leistung, d.h. Strom, wird benötigt. Über den Innenwiderstand des Antriebsstranges ( $R$ ) und dem Strom ( $i$ ) treten dabei "quadratische" Verluste ( $P_v$ ) auf.

$$P_v = R * i^2$$

Der Innenwiderstand des Antriebsstranges wird gebildet durch eine Reihenschaltung von den Innenwiderständen des E-Motors ( $R_M$ ), des Akkus ( $R_{iz}$ ) und dem Fahrtregler ( $R_{iR}$ ).

$$R = R_M + n_{Zellen} * R_{iz} + R_{iR}$$

Es kann mathematisch bewiesen werden, dass infolge der quadratischen Abhängigkeit der Verlustleistung vom Strom ( $i$ ) es nur einen bestimmten Strom ( $i_{opt}$ ) gibt, mit dem die maximale Höhe ( $h_{max}$ ) erreicht kann.



**Haben wir dieses verinnerlicht, wird es uns klar, dass die Devise der Hotliner, " je mehr Power desto besser", für einen Thermikflieger **so** nicht gelten kann! 😊**

Man könnte jetzt annehmen, dass der optimale Strom wohl derjenige ist, bei dem der Motor seinen besten Wirkungsgrad erzielt (siehe Wirkungsgrad des Antriebsstranges). Dies ist jedoch nicht der Fall, da weitere Faktoren zu berücksichtigen sind.

Ein weiterer, bestimmender, Faktor ist der Wirkungsgrad des Propellers. Bei diesem treten wiederum quadratische Abhängigkeiten von der Fluggeschwindigkeit und der Propellervorwärtsgeschwindigkeit auf. D. h. der Propeller muss über Durchmesser und Steigung angepasst werden, damit die optimale Höhe erreicht wird.

Ein weiterer wichtiger Parameter in diesem Prozess ist die Fluggeschwindigkeit, die nicht nur den Propellerwirkungsgrad beeinflusst, sondern auch über den Flugbahnwinkel (Gamma) die notwendige elektrische Antriebsleistung, also den Motorstrom, bestimmt. Der Flugbahnwinkel ist dabei, mehr populär ausgedrückt, derjenige Winkel mit dem das Modell hochsteigt.

Als wesentlicher geometrischer Kennwert geht die Flügelfläche über das Fluggewicht in die Fluggeschwindigkeit ein. Weitere aerodynamische Kennwerte wie Flügelstreckung und Profilpolare gehen, bewiesen durch eine numerischen Analyse des Autors, nur marginal in das Ergebnis ein. Daher genügt eine grobes Abschätzung dieser Kennwerte.

Die Optimierung verwendet die von Martin Hepperle [1] veröffentlichten Propellerformeln. Zusätzlich zu den Verlusten durch Beschleunigen des Propellerluftstromes wird ein Beiwert des Wirkungsgrades eingeführt, der weitere Verluste wie z.B. den Drall der Propellerluftstromes berücksichtigt.

Die erreichte Steighöhe wird nicht in absoluten Höhenmetern angegeben sondern es wird ein relativer Höhengewinn berechnet. Die erreichte Höhe wird dabei auf diejenige potentielle Energie bezogen die in der Akkuladung steckt. Mit anderen Worten, die Prozentzahl entspricht dem Gesamtwirkungsgrad des Antriebsstranges, Propellers und Modells.

Der errechnete Gesamtwirkungsgrad berücksichtigt auch nicht das Nachlassen der Akkuspannung, sodass die realen Werte über die gesamte Akkukapazität noch einmal schlechter liegen.

## 2 Wie kann ich das Optimum berechnen?

Die notwendigen numerischen Berechnungen wären mit einem einfachen wissenschaftlichen Taschenrechner eine Sträflingsarbeit. Daher habe ich ein MS-Excel Programm (OptiProp.xls) zu dieser Aufgabenstellung unter „Downloads“ auf unserer Page (???) ins Netz gestellt.

Im folgenden sollen an einem Fallbeispiel die Ergebnisse des Programms diskutiert werden. Der Rechengang des Programms fliegt mit konstanter Fluggeschwindigkeit verschiedene Bahnwinkel ab. Zu jedem Bahnwinkel werden der dazu notwendige Motorstrom, die notwendige Propellersteigung [Zoll] und relative Steighöhe ermittelt, die dem Verhältnis der im Akku gespeicherten Energie zur potentiellen Energie des Höhengewinns entspricht. Weitere Einflüsse wie z. B. das Nachlassen der Akkuspannung werden nicht betrachtet.

Der durch Beschleunigungsverluste des Luftstromes resultierende Propellerwirkungsgrad wird mit einem weiteren konstanten Faktor (z.B. 0.75) multipliziert um realistischere Werte zu erreichen. Damit wird z.B. der Einfluss des Rumpfes berücksichtigt.

Das Kriterium für die Optimierung ist der relative Höhengewinn. Die erreichte Höhe wird dabei auf potentielle Energie bezogen die in der Akkuladung steckt. Mit anderen Worten, die Prozentzahl entspricht dem Gesamtwirkungsgrad, der sicherlich für viele Leser unerwartet schlecht ist :Optimisten werden diesen Gesamtwirkungsgrad meinem schlechten Algorithmus andichten, „c'est la vie“.

Zur Optimierung benötigen Sie nicht nur die relevanten Modelldaten sondern auch die charakteristischen Daten des E-Antriebes. Auf unserer Seite finden Sie die Daten für viele Motoren sowie weitere Hilfestellungen. Wir (die Autoren dieser Internet-Seite) können und wollen auch nicht eine aktuelle Datenbank zu den auf dem Markt befindlichen Motoren veröffentlichen.

