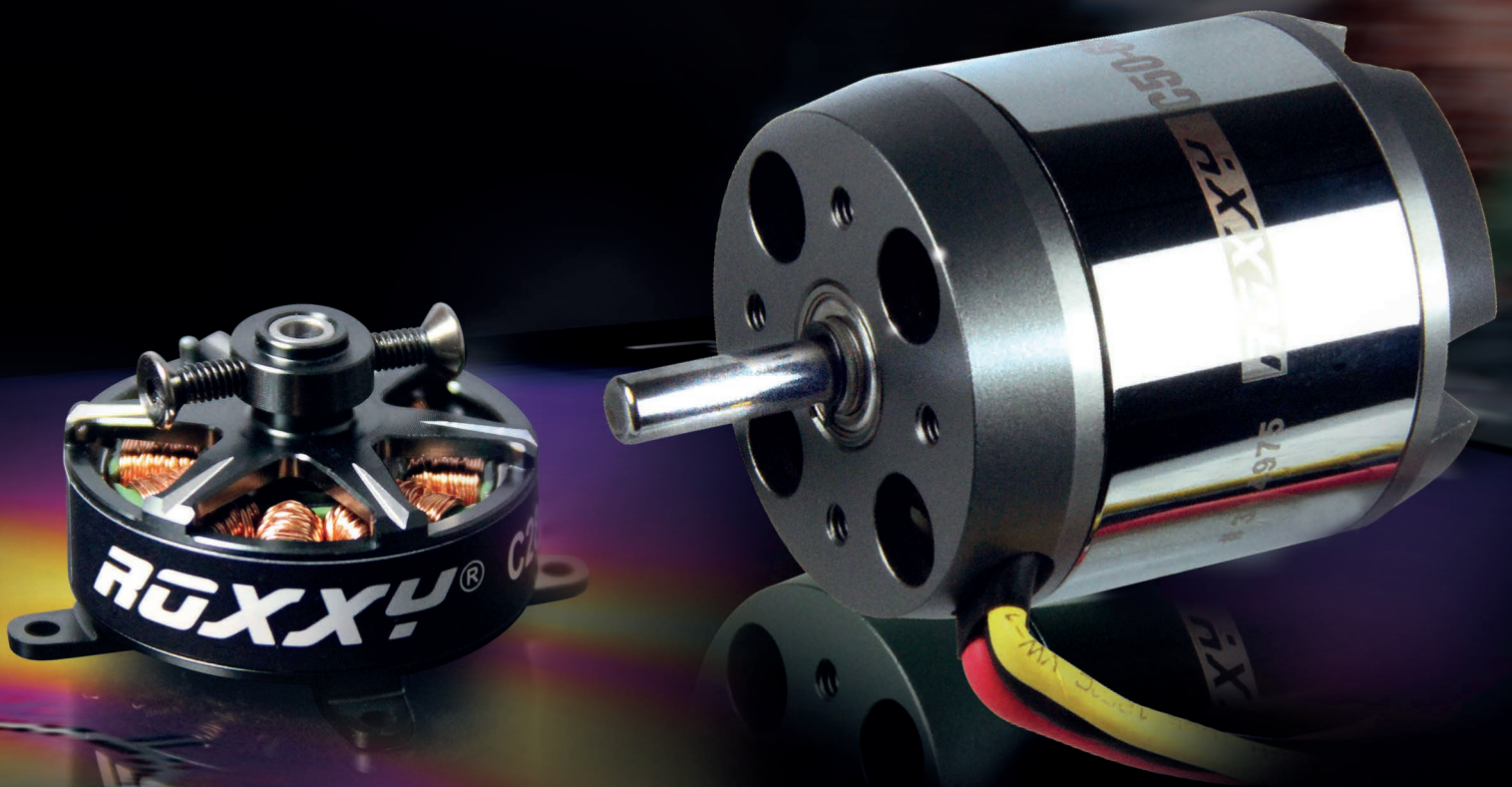


MULTIPLEX®

RÜXXY®

ANTRIEBSFIBEL



Vorwort

Seit über 50 Jahren legt das Multiplex Team Antriebe und Luftschrauben für Modelle fest, welche in der ganzen Welt Erfolg haben. Profitieren Sie von unserer Erfahrung und finden Sie mit uns den richtigen Weg zwischen Leistung und Effizienz, Schub und Fluggeschwindigkeit.

Um für ein Modellflugzeug einen guten Antrieb zu finden, muss man sich einen Weg durch den Dschungel aus Luftschraubensteigungen, Motoren-KV-Zahlen und verschiedenste Leistungsangaben schlagen. Diese Fibel soll im ersten Kapitel dem Einsteiger in den Modellflug helfen, einen kompakten Überblick in die Welt der Luftschrauben-Antriebe zu bekommen.

Es wird beschrieben, was die Größenangaben auf Luftschrauben bedeuten und wie diese mit Akkus und Motoren zu einem freudebringenden Antrieb kombiniert werden können.

Das erste Kapitel setzt dabei auf einfache Faustregeln.

Wer sich etwas genauer an die Aufgabe der Antriebsauslegung wagen möchte, wird im zweiten Abschnitt fündig. Der ambitionierte Luftsportler wird den Luftwiderstand des Flugmodells, die Strahlgeschwindigkeit und den Standschub ermitteln können und somit auf den maßgeschneiderten Antrieb kommen.

Wer ein Experte in der Brushlesstechnik werden möchte und einen tiefen Blick hinter die Kulissen der Brushlessmotoren werfen möchte, der findet im dritten Abschnitt Informationen über die elektromagnetischen Vorgänge.

Wir hoffen, Ihnen einen wertvollen Ratgeber zur Hand zu geben, mit dem Sie den perfekten Roxxy-Antrieb für Ihr Flugvergnügen finden.

Viel Vergnügen,

Euer Multiplex-Team



Inhalt



Vorwort	3
Kapitel 1:	
Vom Modellgewicht und Akku zum fertigen Antriebsstrang für Einsteiger	5
Überblick	5
Luftschraube	7
Durchmesser und Steigung	7
Aerodynamik, Anströmung und Flugzeugcharakteristik	8
Drehzahl	9
Motor	12
Die Basics: Leistung, Spannung und Strom	12
Wärme und maximale Leistung	13
Turns, Drehzahl und Spannung	15
Durchmesser und Länge	16
Kapitel 2: Auslegung des Antriebstranges	17
Luftwiderstand des Modells	17
Schub und Strahlgeschwindigkeit	19
Leistung	21
Kapitel 3: Brushless-Motoren für Fortgeschrittene	23
Die Drehmomentkennlinie	23
Bauweisen: Magnete und Pole und Wickelschema	25
Der Regler und der Strom-Zeitverlauf	27
Wirkungsgrad und Wärmestrom für Profis	28
Abkühlprozess	28
Aufheizprozess	28
Anhang: Roxxy-Motoren-Übersicht	29-33



Vom Modellgewicht und Akku zum fertigen Antriebsstrang für Einsteiger

Überblick

Die Rahmenbedingungen. Drei Fragen die vorab geklärt werden müssen:

- Wie soll mein Modell fliegen?
- Wie schwer und groß wird mein Flieger sein?
- Welchen Akku habe ich bereits in der Werkstatt, mit dem ich mein Modell fliegen möchte?

Die erste Frage geht nach der Charakteristik des Antriebes. Während man beispielsweise bei einer Kunstflugmaschine Wert darauf legt, jederzeit vollen Durchgriff zu haben, versucht man bei einem Segler den Antrieb möglichst effizient zu halten. Dies wirkt sich in erster Linie auf die Dimensionen der Luftschraube aus und ob diese eher mit niedrigen oder hohen Drehzahlen betrieben werden soll.

Selbstverständlich bestimmt die Größe des Modells, sinnvollerweise durch das Gewicht beschrieben, welcher Spielraum für die Antriebsleistung in Frage kommt. Aus der erforderlichen Antriebsleistung ergeben sich auch der Durchmesser und die Länge des Motors. Darüber hinaus hat jeder Modellbauer wahrscheinlich schon ein Set Akkus im Hobbyraum, die er gerne für das neue Projekt verwenden möchte. Damit der Motor das ideale Verbindungsglied zwischen benötigter Luftschraube und gewünschten Akku wird, werden Motoren gleicher Bauform in unterschiedlichen Bewicklungen angeboten. Somit ist die gegenseitige Abstimmung ermöglicht.

Die Philosophie ist: Die Luftschraube und Drehzahl muss zum Modell passen, während der Motor die passende Verbindung zwischen Luftschraube und Akku ist.

▼ Die Antriebskarte

Das Multiplex-Team hat bereits hunderte Kombinationen aus Motoren und Luftschrauben in der Praxis getestet, um die besten Kombinationen an unsere Kunden weiter zu geben.

Suchen Sie einfach auf der Antriebskarte (Abbildung 1) in der Gewichtsklasse Ihres Modells mögliche Motoren für Ihren gewünschten Lipo- Akku.

Schlagen Sie danach in unserem Katalog oder im Anhang nach, welche Luftschraube für dieses Antriebsset von uns empfohlen wird.

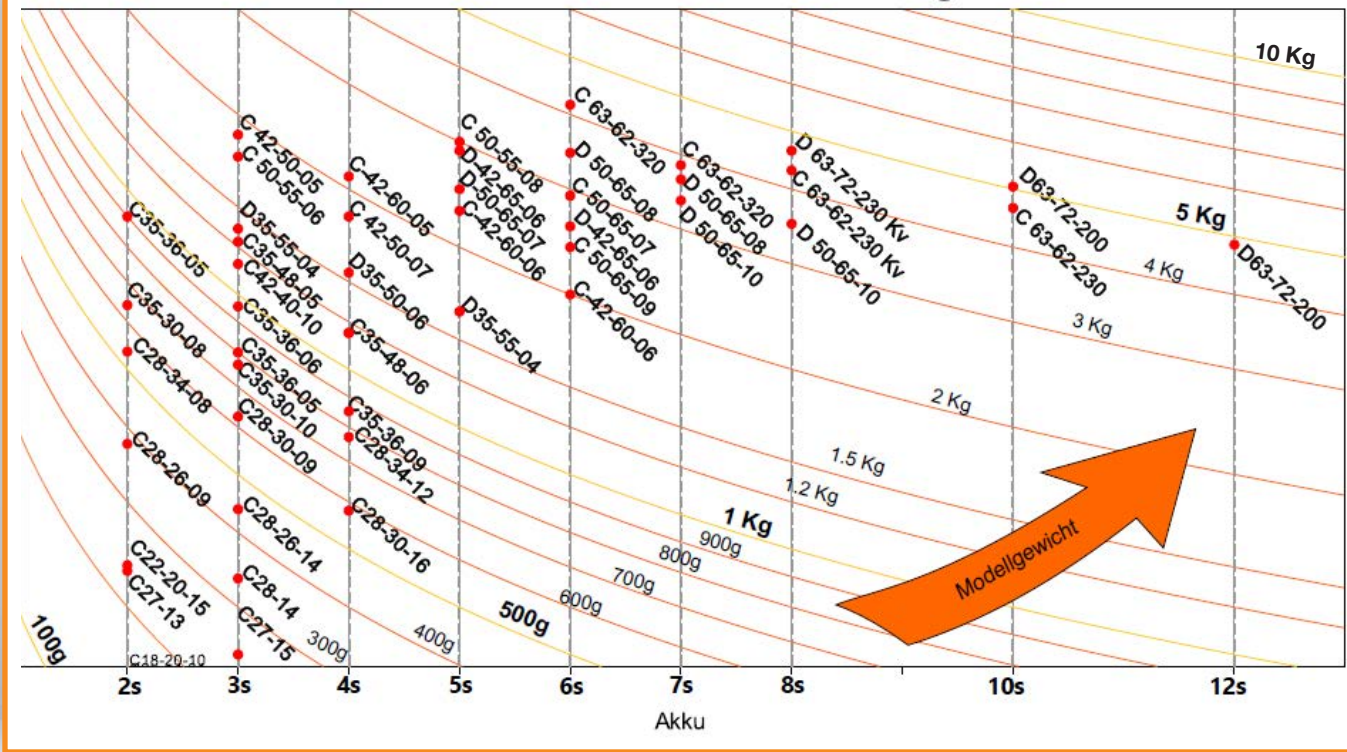
So einfach kann es gehen!

Antriebskarte

3D-Kunstflug



RÜXXY®

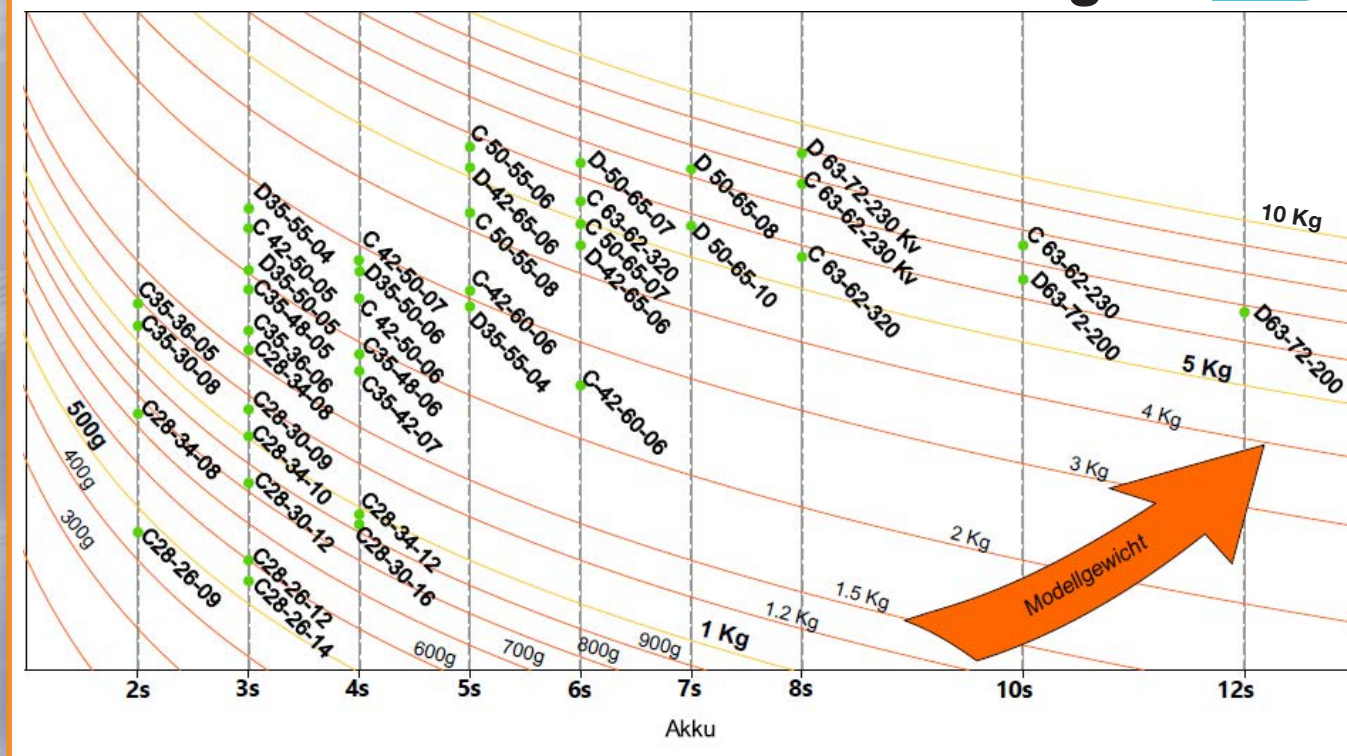


Antriebskarte

Motorsegler



RÜXXY®



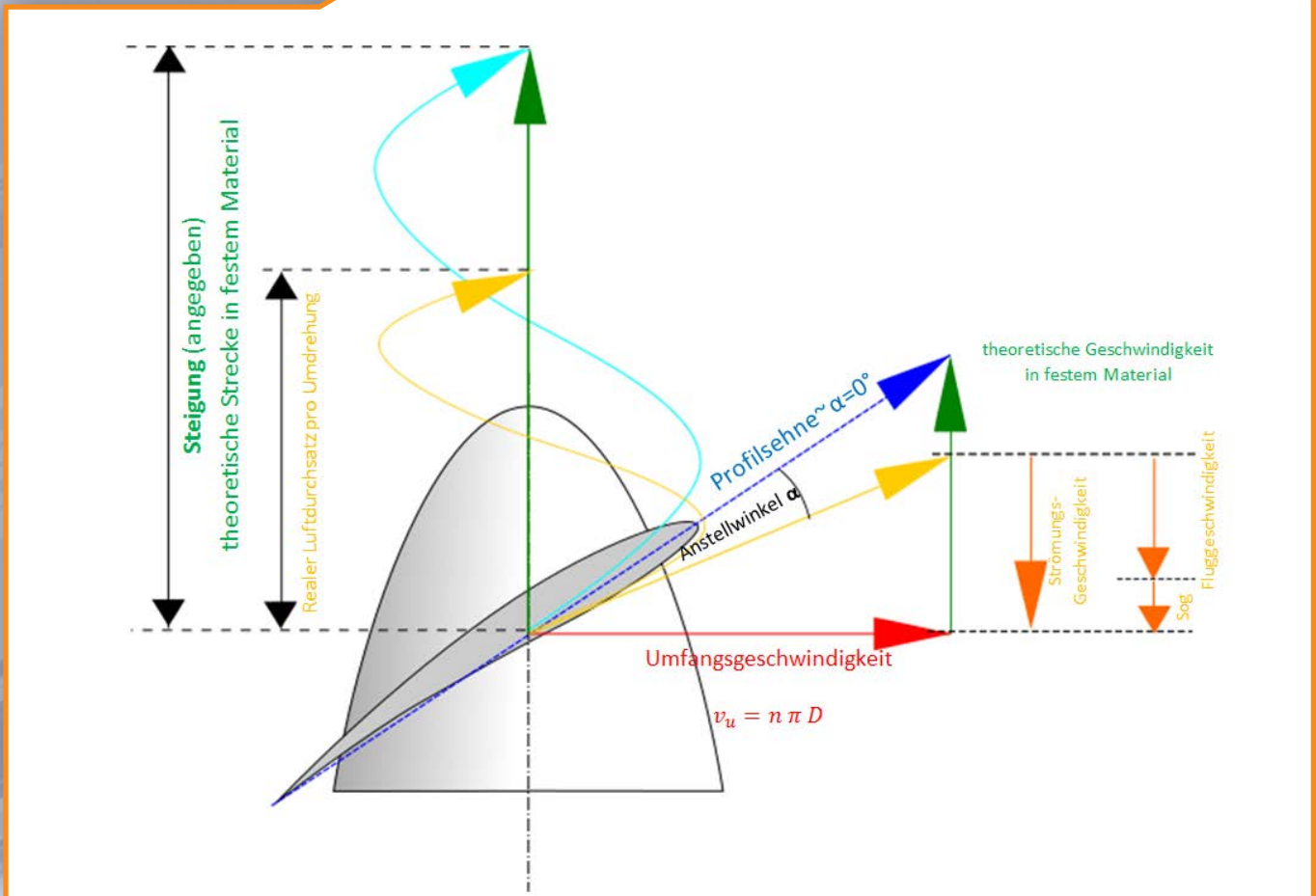
Luftschraube

▼ Durchmesser und Steigung

Im Flugmodellbau hat es sich etabliert die charakteristischen Größen eines Propellers in Zoll anzugeben. Dabei bestimmt die erste Zahl den Durchmesser und die zweite bezeichnet die Steigung. Die Steigung gibt dabei an, wie weit sich die Luftschraube theoretisch in festem Material während einer Umdrehung schrauben würde.



Geschwindigkeitsvektoren an der Luftschraube



▼ Aerodynamik, Anströmung und Flugzeugcharakteristik

Die Vortriebskraft, der Widerstand oder gar ein Strömungsabriss sind primär vom Anströmwinkel des Propellerblattes abhängig.

Der Anströmwinkel wiederum ergibt sich aus der Fluggeschwindigkeit, Drehzahl und Geometrie des Luftschraubenblattes. Daher muss die Steigung der Luftschraube immer auf den Geschwindigkeitsbereich des Fluggerätes angepasst sein.

Der Durchmesser nimmt in erster Linie Einfluss auf die Schubkraft. Als Faustregel gilt zur ersten Abschätzung:

Besonders zu beachten ist hierbei der Unterschied zwischen theoretischer Steigung und realem Luftdurchsatz. Aus diesem Unterschied ergibt sich die Anströmung (Anstellwinkel) am Propellerprofil, welche einen großen Einfluss auf die Schubkraft hat. Wie man es vom Tragflügel kennt, kann man die Auftriebs-effekte in 3 Anstellwinkelabhängige Bereiche einteilen:

1. Der Anstellwinkel ist zu groß:

Die Stromungsgeschwindigkeit durch den Propeller ist deutlich kleiner, als die theoretische Geschwindigkeit in festem Material. Dies passiert beispielsweise, wenn das Flugzeug keine eigene Fluggeschwindigkeit hat.

Durch den zu hohen Anstellwinkel des Propellerblattes kommt es zum Strömungsabriss. Die Schubkraft bricht zusammen, obwohl der Motor viel Energie aufbringen muss.

2. Der Anstellwinkel liegt in einem optimalen Arbeitsbereich:

Analog zu einem Tragflügel erzeugt der Propeller kräftigen Schub. Auf eine Erhöhung der Drehzahl reagiert der Propeller mit einer stabilen kontrollierten Kraftzunahme.

3. Negative Anstellwinkel:

Wird die Fluggeschwindigkeit höher als die theoretische Geschwindigkeit in festem Material, kann der Propeller keinen Schub mehr erzeugen. Dies könnte beispielsweise beim Sturzflug eintreten. Der Propeller bremst das Flugzeug. Dies stellt die theoretische Höchstgeschwindigkeit des Antriebes dar.

Modelltyp	Steigung : Durchmesser
3D-Kunstflug	0,5 : 1
Trainer & Scale	0,6 : 1
Segler	0,7 : 1
Speedflug	1 : 1



▼ Charakteristik Kunstflug



Im 3D Flug benötigt man ein sehr direktes Ansprechen des Antriebes zum Beispiel aus dem „Torquen“ heraus. Hierbei hat das Flugzeug fast keine Eigengeschwindigkeit. Luftschrauben mit geringer Steigung sind weniger anfällig für einen Strömungsabriss am Propellerblatt bei diesen Figuren. Der Motor sollte mit der Luftschraube leicht unterfordert sein, damit ein schnelles Ändern der Drehzahl und damit eine gute Reaktion auf den Piloten möglich ist. Das Schubverhältnis sollte mindestens 1,5:1 betragen um das Flugzeug aus kritischen Situationen „herauszuziehen“. Ein Schubverhältnis von 2:1 lässt den Flieger genauso schnell nach oben schießen, wie er im freien Fall runter fallen würde. Ein Verhältnis von Luftschraubensteigung zu Durchmesser bei etwa ~ 1:0,5 hat sich bewährt.

▼ Charakteristik Scale:



Die meiste Zeit des Fluges wird der Motor im Teillastbereich betrieben und nur für Start und Ausnahmesituationen Vollgas benutzt, daher kann bei der Propellerauswahl das Leistungsspektrum des Motors voll ausgeschöpft werden. Der große Luftwiderstand bulliger Motorflugzeuge bedingt, dass die Flugeschwindigkeit deutlich geringer ist, als die Strömungsgeschwindigkeit durch den Propellerkreis. Die Steigung des Propellers sollte daher flach gewählt werden, darf jedoch aufgrund der Eigenflugeschwindigkeit steiler als bei 3D-Kunstflugzeugen sein. Ein Verhältnis von Luftschraubendurchmesser zu Steigung ~ 1:0,6-0,7 kann gewählt werden.

▼ Charakteristik Segelflug:



Im Vergleich zu den Motorflugzeugen werden Segelflugzeuge durch ihre widerstandsarme Aerodynamik weniger abgebremst. Die Flugeschwindigkeit kann sich besser der Geschwindigkeit des Propellerluftstrom anpassen als bei Motorflugzeugen, somit darf auch

die Steigung steiler gewählt werden. Das Verhältnis Luftschraubendurchmesser zu Steigung ist mit 1: 0,7-0,9 gut gewählt. Damit der Motor auch bei langen Steigflügen mit Vollgas kühl bleibt, sollte die Luftschraubenauswahl unterhalb der Leistungsgrenze des Motors liegen. Das Schubverhältnis von 0,7-1:1 reicht für einen kräftigen Steigflug, stärkere Antriebe sind denkbar, jedoch leidet das gutmütige Flugverhalten in der Thermik unter dem zusätzlichem Gewicht.

▼ Drehzahl

Entscheidend für die Drehzahl des Antriebsstranges ist die Blattspitzen-geschwindigkeit bei Vollgas. Diese ist so hoch, dass es üblich ist die im Verhältnis zu Schallgeschwindigkeit (~330m/s) anzugeben. Als Faustregel liegt die Blattspitzengeschwindigkeit bei manntragen Flugzeugen, wie auch bei Modellen in Größenordnungen ~ $Ma=0,5$, also der halben Schallgeschwindigkeit. Ausnahme hiervon sind Speedflugmodelle bei höheren Machzahlen oder besonders effiziente Antriebe bei niedrigeren Machzahlen. Als weitere Faustregel kann man schätzen, dass Brushlessmotoren bei modellflug-typischer Last etwa eine Drehzahl von 85% der Leerlaufdrehzahl haben. Somit können wir für eine gewünschte Luftschraube einen Motor finden:

$$n = \frac{Ma \cdot a}{\pi \cdot D}$$
$$"KV" = \frac{n}{0.85 \cdot U_{Akku}}$$

n	Propellerdrehzahl*
Ma	Mach-Zahl
a	Schallgeschwindigkeit
D	Propellerdurchmesser
U_{Akku}	Spannung des Akkus
"KV"	Leerlaufdrehzahl pro Volt

*Bitte beachten, dass die Drehzahl zur Berechnung in SI Einheiten in [1/s] verwendet wird, in technischen Angaben jedoch meist als [1/min]



Beispiel AcroMaster:

der AcroMaster hat eine 12"-Luftschaube und wird mit einem 3-Lipo-Zellen Akku betrieben.



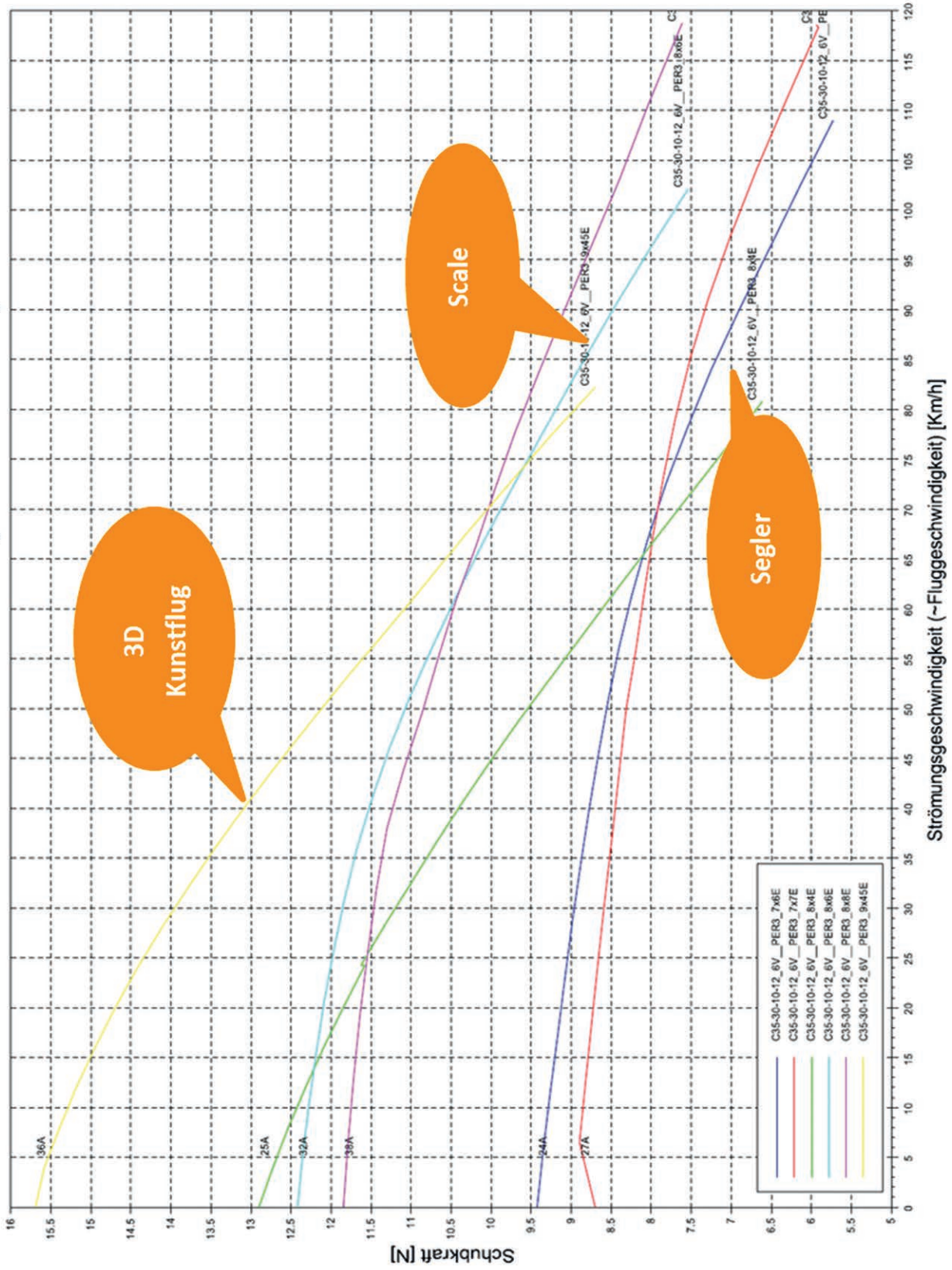
$$n = \frac{0,5 \cdot 330 \text{ m/s}}{\pi \cdot 12'' \cdot 0,025 \text{ m/''}} \quad 175 \text{ 1/s} = 10500 \text{ 1/min}$$

$$\text{KV} = \frac{10500 \text{ 1/min}}{0,85 \cdot 12,6\text{V}} = 980 \frac{\text{1/min}}{\text{V}}$$

Im AcroMaster wird serienmäßig ein Motor mit 990KV verbaut.

Luftschraubenkennlinien

APC-Elektro-Luftschrauben mit Roxy C35-30-08 an 3s Lipo



Motor

Die Basics: Leistung, Spannung und Strom

Mit den Augen unseres Schulphysiklehrers besteht unser Antriebssystem aus dem Energiespeicher Akku, dem Energiewandler Regler, dem Energiewandler Motor und dem Energiewandler Luftschraube. Bezieht man die Energiewandlung auf die Zeit, so spricht man von der Leistung P. Bei einem Stromkreis zwischen Akku, Regler und Motor entspricht die der elektrischen Leistung P_{el} :

$$P_{el} = U \cdot I$$

Beispiel Acromaster:

Im Acromaster wird ein 3s LiPo mit einer Spannung $U = 12,6V$ eingesetzt. Bei Vollgas fließt durch den Stromkreis ein Strom von $I = 40 A$. Der Motor bekommt vom Akku also eine elektrische Eingangsleistung von

$$P_{el} = 12,6V \cdot 40A \approx 500W.$$



Der Motor nimmt diese elektrische Leistung auf und setzt sie über elektromagnetische Wechselwirkungen in eine mechanische Leistung um. Hierbei gilt für die Leistung rotierender Bewegungen

$$P(mech,drehend) = 2\pi \cdot M \cdot n$$

Wobei das Drehmoment M quasi die Kraft der Rotationsbewegung ist und n die Motordrehzahl (Umdrehungen pro Sekunde).

Als letztes gilt es die Leistung für geradlinig bewegte Objekte zu betrachten, da wir am Ende entweder unser Flugzeug durch die Luft, oder die Luft um unser Flugzeug bewegen. Ziehen wir mit einer Kraft F (etwa der Zugkraft des Propellers) an einen Gegenstand der sich

mit einer Geschwindigkeit v bewegt, so üben wir die Leistung

$$P(mech,gerade) = F \cdot v$$

aus. Bei Standschub am Boden, sowie beim „torquen“ bewegen wir eine Luftsäule durch unseren Propeller. Generell hilft die Vorstellung, dass Flugzeug drücke sich auf einer Luftsäule ab, die es nach hinten schiebt.

Beispiel Acromaster:

Von den 500W Eingangsleistung bleiben nach Wirkungsgradverlusten am Motor und an der Luftschraube noch ~350W zur Fortbewegung übrig. Wir steigen senkrecht nach oben und müssen die Gewichtskraft

$$F_g = 1,4Kg \cdot 9,81 \frac{N}{Kg}$$

und den Luftwiderstand $F_w \approx 2N$ überwinden.

Aus

$$v = \frac{P_{mech,gerade}}{F_g + F_w}$$

folgt eine Geschwindigkeit von $v \approx 19,5 m/s = 70 km/h$ mit der die Luft vom Flugzeug weggedrückt wird (noch nicht die Fluggeschwindigkeit).



▼ Wärme und maximale Leistung

Wie viel Power hat mein Motor? Diese Frage ist zunächst schwierig zu beantworten, weil die Leistung des Motors immer davon abhängt, wieviel elektrische Leistung vom Akku zur Verfügung steht. Selbstverständlich könnte unser AcroMaster-Motor an einem 6s Akku mehrere Kilowatt liefern, jedoch nur für einen Bruchteil eines Augenblicks, bis er verglüht. Daher ist die richtige Frage: Wie lange hält ein Motor welche Leistung aus?

Die Grenze setzt hier die Höchsttemperatur der verwendeten Materialien. Während der Kupferlackdraht typischerweise ab etwa 150°C versagt, zeigen die Permanentmagnete schon bei niedrigeren Temperaturen ein Abschwächen des Magnetfeldes.

Der Grenztemperatur steht hierbei dem Aufheizungs- und Kühlprozess während dem Betrieb entgegen.

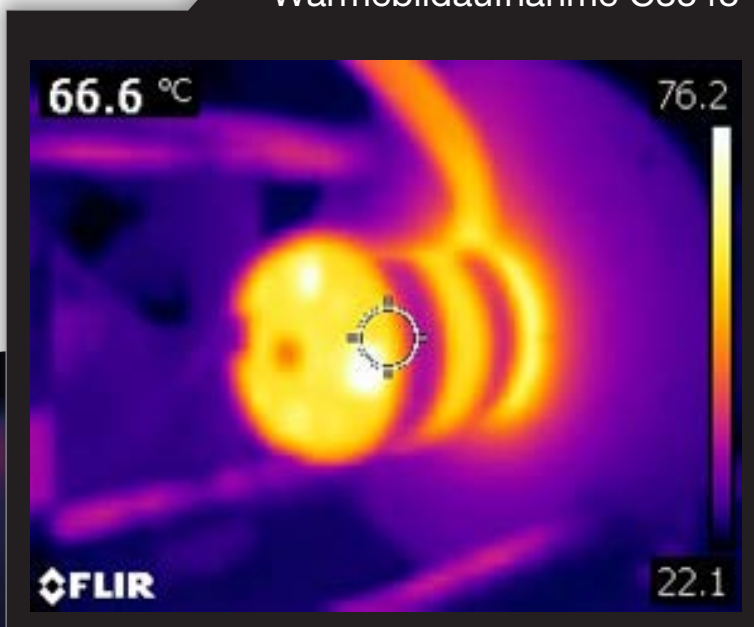
Formuliert man den *ersten Hauptsatz der Thermodynamik* salopp, so wird alles, was bei der Energieumwandlung verloren geht, zu Wärme, die den Motor aufheizt. Wird der Motor nicht im selben Maß gekühlt, wird die Temperatur steigen. Je höher die Motorleistung, desto höher die Wärmeproduktion, desto schneller steigt die Temperatur an.

Abbildung 5:
Motorenprüfstand bei
Multiplex



Abbildung 4:
Wärmebildaufnahme C3548

ROXXY®



Bei **MULTIPLEX** werden 2 Leistungen angegeben, die sich wie folgt definieren:

1. Maximale Leistung

Bei dieser Leistung erwärmt sich der Motor innerhalb von 30 Sekunden von Raumtemperatur bis zur Grenztemperatur auf. Hierbei werden Kühlungseffekte vernachlässigt, um den „worst-case“ abzubilden.

(vgl. orangene Kurve)

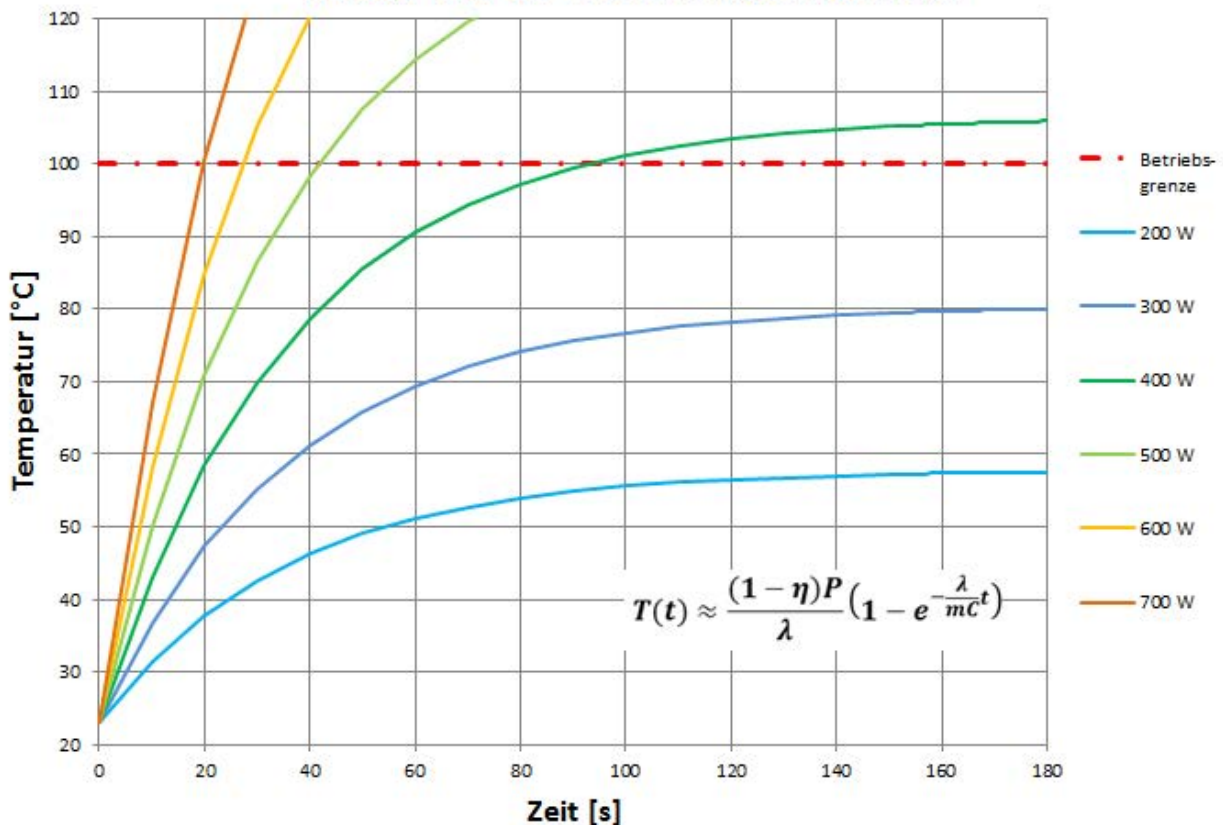
2. Dauerleistung

Bei einer Motortemperatur von 65°C ist die erzeugte Wärme im Gleichgewicht mit der Kühlung durch die Umgebungsluft. Daher steigt die Temperatur nicht weiter.

(vgl. blaue Kurve)

Aufwärmprozess eines Roxxymotors bei verschiedenen Leistungsstufen. Erklärung zur Formel: η : Wirkungsgrad, mC : Wärmekapazität der Motormaterialien, λ : Wärmeleitkoeffizient Motor-Umgebung

Roxy C35-48-05 Betriebstemperatur



▼ Turns, Drehzahl & Spannung

In den meisten unserer Brushless Motoren befinden sich 12 Spulen, welche auf den Stator angeordnet sind. Eine Spule eines Modellbautypischen Brushless-Motors wird ca. 5 bis 30 mal mit einem Bündel (oder Einzeldraht) umwickelt. Die Anzahl der Wicklungen wird „Turns“ genannt und steht in großem Zusammenhang mit der Leerlaufdrehzahl pro Volt (KV-Zahl).

Stellen wir uns vor, der Motor wird von einer äußeren Kraft gedreht, ohne dass der Regler die Akkuspannung anlegt. Dann bewegen sich die Permanentmagneten über die Spulen und induzieren eine Spannung in die Wicklung. Wenn der Regler den Motor nun drehen lassen soll, legt dieser von außen eine Spannung an die Wicklung an, welche der induzierten Spannung entgegengesetzt wirkt und höher als diese ist. Aus der Differenz der angelegten Spannung abzüglich der induzierten Spannung folgt die Restspannung, mit deren Hilfe der ohmsche Widerstand des Leiters überwunden und Strom zum Fließen gebracht wird.

Bewegt sich der Permanentmagnet so schnell an der Spule vorbei, dass die induzierte Spannung der angelegten Spannung gleich ist, fließt theoretisch kein Strom mehr. Dieser Zustand bezeichnet man einerseits als Leerlauf, andererseits kann der Motor den Permanentmagneten nicht weiter beschleunigen und die maximale Drehzahl ist erreicht.

Die induzierte Spannung einer Spule steigt mit den Wicklungen (Turns). Damit ist die maximale Drehzahl umgekehrt proportional zu der Windungszahl und proportional zur Akkuspannung.

$$n_{max} \sim \frac{U_{Akku}}{N_{Turns}}$$

Für eine feste Motorgröße mit verschiedenen Bewicklungen ist das Produkt aus Windungszahl und Leerlaufdrehzahl pro Volt (KV) annähernd konstant.

Viele Wege führen nach Rom: möchte man mit einem Motor fester Baugröße und Leistung eine bestimmte Luftschraube antreiben, so kann man dies über verschiedene Akkuzellzahl-Motorturns Kombinationen erreichen. Beispielsweise ist das Antriebskonzept „C35-30-06 + 3s Lipo“ sehr ähnlich zu „C35-30-09 + 4s Lipo“. Benutzt man jedoch Akkus niedriger Spannung, bedarf es zur gleichen Leistung einen höheren Strom, der häufig die Akkus an ihre Grenzen bringt.

▼ Durchmesser und Länge

Vergleicht man die Motoren C35-36-XX mit Motoren C42-40-XX, so haben diese vergleichbare Leistungen, jedoch bei verschiedenen Drehzahlen.

Während der C42-20-XX seine Leistung durch ein hohes Drehmoment wirken lässt, zeigt sich die Leistung der C35-36-XX Motoren eher durch hohe Drehzahl. Entsprechend gibt es passende Propeller, die darauf ausgelegt sind die Leistung primär durch hohe Drehzahl oder hohes Drehmoment umzusetzen.

Ob ein Motor seine Leistung entweder durch hohes Drehmoment und geringere Drehzahl oder durch hohe Drehzahl und geringes Moment entfaltet, kann durch Durchmesser und Länge beeinflusst werden.

Auf der Hand liegt, je größer der Durchmesser des Rotors, desto größer ist der Hebelarm zwischen Drehachse und dem Wirkungsbereich der magnetischen Kräfte. Durch den größeren Hebelarm kommt ein höheres Drehmoment zu Stande. Ebenso wird bei größerem Rotorradius die Relativgeschwindigkeit der Magnete und Spulen größer und somit auch die induzierte Spannung. Dies vermindert wiederum die Leerlaufdrehzahl.

Soll die induzierte Spannung gleich bleiben, bedeutet dies, dass auch die Relativgeschwindigkeit der Magneten und Spulen gleich bleiben soll. Bei einem größeren Radius bedeutet dies gleichzeitig eine geringere Drehzahl.





Auslegung des Antriebstranges

Luftwiderstand des Modells

Wenn wir mit unserem Antrieb hohe Geschwindigkeiten erreichen, setzt uns der Luftwiderstand die Grenzen. Während die Schubkraft der Luftschaube mit steigender Geschwindigkeit weiter abnimmt, steigt die Widerstandskraft mit dem Quadrat der Geschwindigkeit ($F_W \sim v^2$). Für eine Verdopplung der Geschwindigkeit benötigen wir also rund das 4-fache an Kraft und das 8-fache an Leistung. Wollen wir also einen Antrieb gezielt auslegen, müssen wir einen Blick auf den

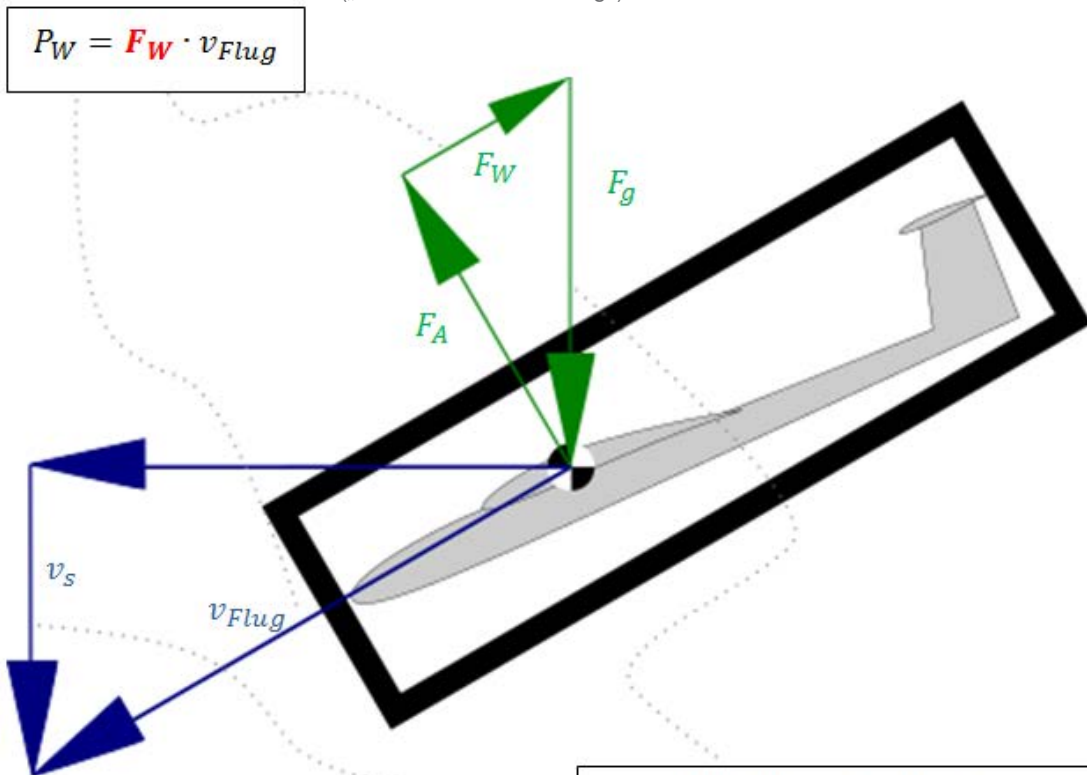
Luftwiderstand F_W werfen.

Im Folgenden soll gezeigt werden, wie sich der Luftwiderstand ohne Labor mit den einfachsten Mitteln eines Modellfliegers geschätzt werden kann. In der Strömungslehre bestimmt man eine Widerstandskraft in Abhängigkeit der Fluggeschwindigkeit v_{Flug} über den Widerstandskoeffizienten C_W , der Luftdichte ρ sowie einer Bezugsfläche A .

$$F_W = C_W \cdot \rho \cdot A \cdot \frac{v_{\text{Flug}}^2}{2}$$

Kraft- und Geschwindigkeitsvektoren am Flugzeug

(„Blackbox-Betrachtung“)



$$P_W = F_W \cdot v_{\text{Flug}}$$

$$P_g = F_g \cdot v_s = m \cdot g \cdot v_s$$

Da jedoch die Größen C_w und A bei unserem Modell gleich bleibend angenommen werden und auch die Dichte ρ sich wenig beim typischen Modellfliegen ändert,

m	Modellgewicht
g	Erdbeschleunigung ~9,81 N/Kg
ϑ_{steig}	Steigwinkel
v_{Flug}	Fluggeschwindigkeit
ε	Gleitzahl

benutzen wir in dieser Fibel nur das Produkt aus diesen Größen und fassen sie deswegen als Modellkonstante

$$\text{„MK“} = C_w \cdot \rho \cdot A$$

zusammen. Für unsere Überlegung verwenden wir ein „Blackbox-Modell“ und betrachten alle komplizierten Strömungsvorgänge als Summe ihrer Auswirkung. Das Modell bewegt sich im stationären Gleitflug mit einer Flug- und Sinkgeschwindigkeit v_{Flug} & v_s unter Einfluss der Gewichtskraft $F_g = m \cdot g$.

Während das Flugzeug gleichmäßig gleitet sinkt es. Der Verlust dieser Höhenenergie entspricht der Leistung, die das Flugzeug benötigt, um seine Fluggeschwindigkeit gegenüber der bremsenden Luft bei zu behalten. Somit finden wir durch vergleichen der mechanischen Leistung der Gewichtskraft und der Widerstandskraft einen Weg unsere Modellkonstante MK zu bestimmen.

$$P_g = P_w$$

$$m \cdot g \cdot v_s = C_w \cdot \rho \cdot A \cdot \frac{v_{\text{Flug}}^2}{2} \cdot v_{\text{Flug}}$$

$$MK = C_w \cdot \rho \cdot A = 2 \frac{m \cdot g \cdot v_s}{v_{\text{Flug}}^3} = 2 \frac{m \cdot g}{\varepsilon \cdot v_{\text{Flug}}^2}$$

Als Modellbauer kann man also, sofern das Modell bereits fliegt, mit Hilfe eines GPS-Sensor oder Vario & Airspeed-Sensor die Gleitflug- und Sinkgeschwindigkeit bestimmen, die das Modell im ausgetrimmten Zustand hat. Wer diese Sensoren nicht zur Verfügung hat, kann Flug-geschwindigkeit und die zugehörige Gleitzahl schätzen. Anderenfalls kann man diese Erfahrungsdaten zum Vergleich benutzen:

Flugzeug	Modellkonstante
AcroMaster	~0,04
FunCub	~0,036
EasyGlider	~0,02
Heron	~0,014
Alpina	~0,01

Wir sind am Ziel! Hiermit lässt sich der nötige Schub für einen gewünschten Steigwinkel und -Geschwindigkeit abschätzen:

$$F_{\text{Schub}}(v_{\text{Flug}}) = m \cdot g \cdot \sin(\vartheta_{\text{steig}}) + MK \cdot \frac{v_{\text{Flug}}^2}{2}$$

Schub und Strahlgeschwindigkeit

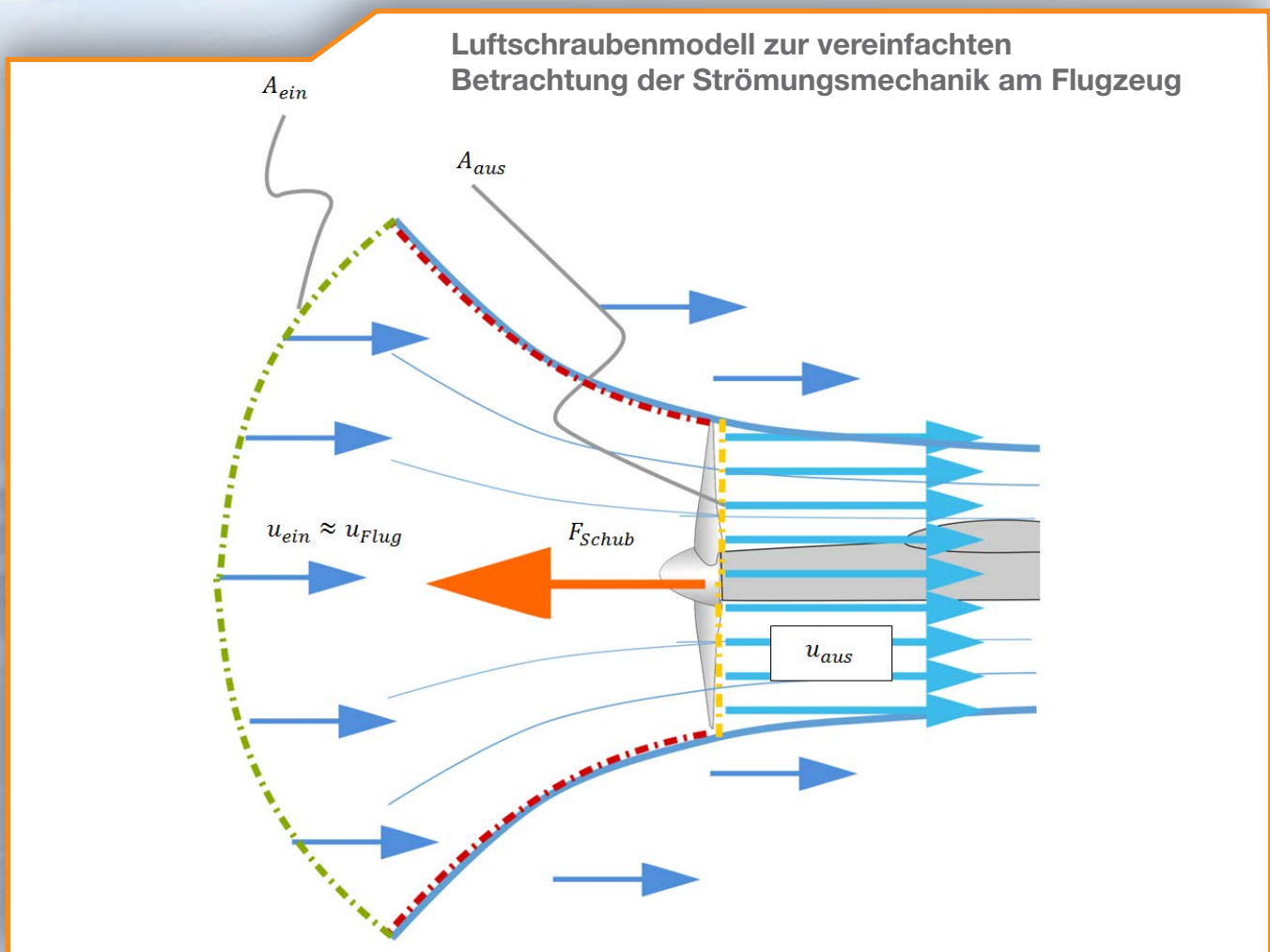
Nun beschäftigen wir uns mit der Frage, wie wir die Schubkraft erzeugen. Hierzu greifen wir tief in die Trickkiste der Strömungsmechanik, versuchen abzuschätzen, welche Luftmasse mit welcher Geschwindigkeit durch den Propeller befördert werden muss. Abbildung 9 zeigt das für eine Abschätzung benutzte Modell, welches Luft vor und nach dem Propeller in eine Box einrahmt (grüne, rote und gelbe Linie). Wir beginnen an der gelben Linie. Die gelbe Strichlinie definiert die Propellerkreisfläche hinter dem Propeller, durch die der Propellerstrahl aus der gedachten Box ausströmt. Dagegen strömt die Luft über die grüne Fläche/Linie ein. Wir denken uns die Eintrittsfläche soweit vom Propeller entfernt, dass die Sogwirkung vernachlässigt werden kann und die Strömungsgeschwindigkeit der

Fluggeschwindigkeit gleicht. Wie groß die Fläche ist, wird später noch beantwortet. Für die roten Seitenflächen unseres Strömungsgebiets behaupten wir, dass sie genau entlang der laminaren Stromlinien verlaufen, und deshalb senkrecht dazu nichts hindurchströmt. Zusammengefasst muss jedes Luftteilchen, welches durch die grüne Eintrittsfläche hereinstriömt, wieder durch die gelbe Fläche hinaus. Dieser in der Strömungslehre* als Massenerhaltung bekannte Zusammenhang liefert in diesem Fall:

$$\rho A_e u_e = \rho A_a u_a$$

Aus diesem Zusammenhang folgt für die noch unbekannte Eintrittsfläche:

$$A_e = A_a \frac{u_a}{u_e}$$



Möchte man den Zusammenhang von Strömungen und Kräften analysieren muss man die Änderung des Impulses betrachten. Aus der Impulsbilanz* kann folgender Zusammenhang durch entsprechende Vereinfachungen gewonnen werden:

$$A_e \rho u_e^2 + F = A_a \rho u_a^2$$

Dies beschreibt, wie der Impuls der austretenden Strömung $A_a \rho u_a^2$ sich aus dem bereits mitgeführten Impuls der eintretenden Strömung $A_e \rho u_e^2$ und einer Kraft F zusammensetzt, welche innerhalb der Box auf die Strömung wirkt. Diese Kraft entspricht gleichzeitig unserer Schubkraft am Propeller F_{Schub} aus dem vorherigen Abschnitt. Jetzt ersetzen wir die Eintrittsfläche mit unserer gefundenen Beschreibung

$$A_e = A_a \frac{u_a}{u_e}$$

und verwenden dies in der Impulsgleichung:

$$A_a u_a u_e + F = A_a \rho u_a^2$$

Wir nehmen für die Eintrittsgeschwindigkeit die Fluggeschwindigkeit $u_e = u_{Flug}$ an und erhalten durch auflösen der quadratischen Gleichung nach u_a die Stahlgeschwindigkeit, mit der die Luft hinter dem Propeller am Flugzeug entlang strömt:

$$u_a = \frac{u_{Flug}}{2} + \sqrt{\frac{u_{Flug}^2}{4} + \frac{F_{Schub}}{\rho A_a}}$$

Beispiel AcroMaster:

Ein AcroMaster (1,4Kg, 12" Luftschaube) fliegt eine Torquerolle und behält dabei seine Höhe bei. Seine Fluggeschwindigkeit ist $u_{Flug} = 0$.



Die Fläche des Propellerkreises beträgt:

$$A_a = \pi r_{Prop}^2$$

Nun kann die Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden, mit der die Luft vom Flugzeug weggedrückt wird:

$$u_a = \frac{u_{Flug}}{2} + \sqrt{\frac{u_{Flug}^2}{4} + \frac{F_{Schub}}{\rho A_a}} = \sqrt{\frac{1,4Kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{3,142 \cdot (\frac{12}{2}) \cdot 0,025 \frac{m}{1} \cdot 1,2 \frac{Kg}{m^3}}} = 12,7 \frac{m}{s}$$

Knapp hinter dem Propeller strömt die Luft mit durchschnittlich 12,7m/s Richtung Boden. Der Flieger selbst bewegt sich nicht nach oben/unten.



Leistung

Damit der Propeller in der Luft Kraft hat, muss er ständig einen Luftstrom wegdrücken. Dabei überträgt er Leistung auf den Luftstrom, die letztendlich aus Motor und Akku stammen. Wie bereits vorher erwähnt, ergibt sich

die mechanische Leistung des Propellers P_{Prop} auf ein Luftpaket, das aufgrund der Schubkraft F_{Schub} mit der Geschwindigkeit u_a vom Propeller weg bewegt wird, zu:

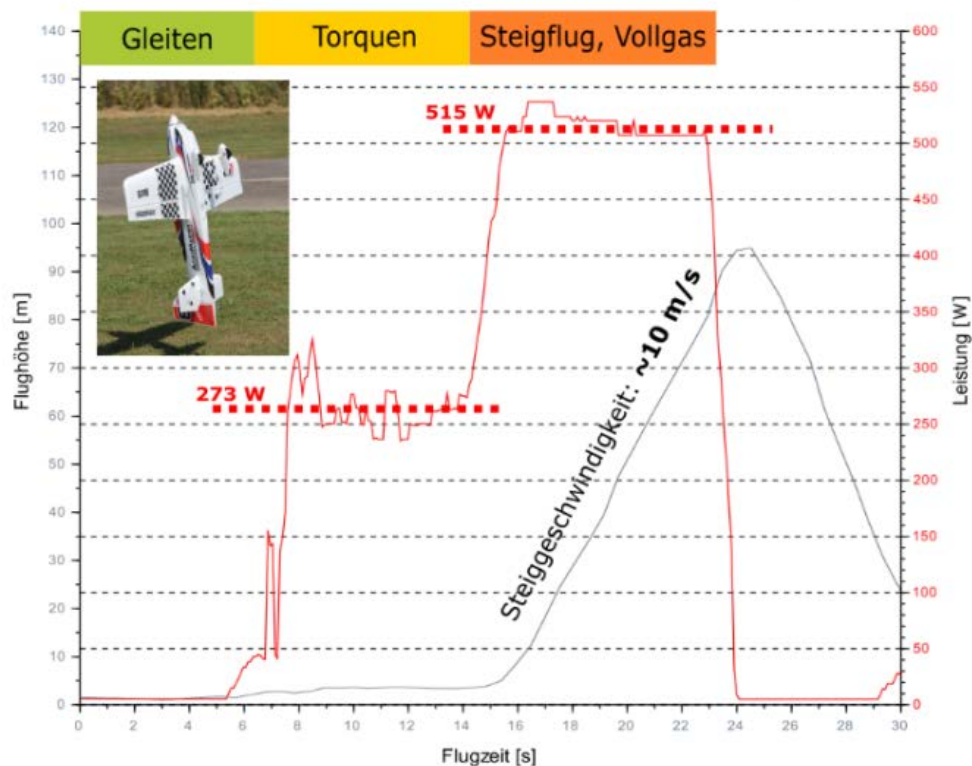
$$P_{Prop} = F_{Schub} \cdot u_a$$

$$\dots = F_{Schub} \cdot \frac{u_{Flug}}{2} + \sqrt{\frac{u_{Flug}^2}{4} + \frac{F_{Schub}}{\rho A_a}}$$

$$= (mg \sin(\vartheta_{steig}) + MK \cdot u_{Flug}^2) \cdot \left(\frac{u_{Flug}}{2} + \sqrt{\frac{u_{Flug}^2}{4} + \frac{(mg \sin(\vartheta_{steig}) + MK \cdot u_{Flug}^2)}{\rho \pi r_{Prop}^2}} \right)$$

Logdaten beim Torquen und Steigen

Fluglogdaten: Acromaster beim Torquen und Steigen



Beispiel torquender AcroMaster:

Der AcroMaster in der Torquerolle (1,4Kg, 12" Luftschaube) fliegt eine Torquerolle. Der Luftstrom von der Luftschaube ist $u_a=12,7$ m/s schnell. Die benötigte mechanische Leistung ist:



$$P_{Prop} = F_{Schub} \cdot u_a = 13,7N \cdot 12,7 \text{ m/s} = 175W$$

Bei einem Luftschaubenwirkungsgrad von $\eta_{LS}=0,8$ und einem Motorwirkungsgrad von $\eta_{Mot} = 0,85$ bräuchte das Antriebsset eine Leistung von:

$$P_{el} = \frac{P_{prop}}{\eta_{LS} \cdot \eta_{Mot}} = \frac{175W}{0,8 \cdot 0,8} = 273W$$

Die geloggt Daten während des Fluges in Abbildung (S.20) während des Torquen und dem senkrechten Steigen bestätigen diese Abschätzung.

Beispiel steigender AcroMaster:

AcroMaster beim senkrechten Steigflug. Der AcroMaster schießt mit einer Geschwindigkeit von $u_{Flug} = 10$ m/s senkrecht in den Himmel. Experimentell wurde der Widerstandsbeiwert $MK = 0,0206$ ermittelt. Bei der hohen Leistungsanforderung sinkt der Wirkungsgrad des Motors auf $\eta_{Mot} = 0,80$ sowie der der Luftschaube auf $\eta_{LS}=0,75$. Die nötige Schubkraft ist:



$$\begin{aligned} F_{Schub} \left(v_{Flug} = 10 \frac{m}{s} \right) &= m \cdot g \cdot \sin(\vartheta_{steig}) + MK \cdot v_{Flug}^2 \\ &= 1,4Kg \cdot 9,81 \frac{N}{Kg} \cdot 1 + 0,02 \cdot \left(10 \frac{m}{s} \right)^2 = 15,8 N \end{aligned}$$

Damit können wir die Strahlggeschwindigkeit an der 12"- Luftschaube berechnen:

$$\begin{aligned} u_a &= \frac{u_{Flug}}{2} + \sqrt{\frac{u_{Flug}^2}{4} + \frac{F}{\rho A_a}} \\ &= \frac{10 \frac{m}{s}}{2} + \sqrt{\frac{\left(10 \frac{m}{s} \right)^2}{4} + \frac{1,4Kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{3,142 \cdot \left(\frac{12''}{2} \cdot 0,025 \frac{m}{1''} \right) \cdot 1,2 \frac{Kg}{m^3}}} = 19,5 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

Zu guter Letzt ergibt sich die Propeller und Motorleistung zu:

$$P_{Prop} = F_{Schub} \cdot u_a = 15,8N \cdot 19,5 \frac{m}{s} = 308W$$

$$P_{el} = \frac{308W}{0,75 \cdot 0,8} = 515W$$



Brushless-Motoren für Fortgeschrittene

Die Drehmomentkennlinie

Das Verhalten eines Brushlessmotors bei einer gleichbleibenden Spannung kann durch zwei lineare Bereiche beschrieben werden. Abbildung 11 zeigt beispielhaft die Drehmoment-Drehzahlkennlinien bei Vollgasbetrieb eines „ROXXY D-42-65-06“ mit 4, 5 und 6 Lipozellen. Das rechte Ende einer Kennlinie, z.B. der blauen 5s-Linie, zeigt die Leerlaufdrehzahl, wenn der Motor durch fast kein Moment belastet wird. Diese kann auch über die „KV“ und Akkuspannung berechnet werden.

Wird der Motor durch das Anschrauben einer Luftschraube belastet, sinkt die Motordrehzahl, der Betriebspunkt verschiebt sich weiter nach links. Das Abfallen der Drehzahl ist dabei eine lineare Funktion des belastenden Moments. Die Steigung der Kennlinie, also die Drehzahlsteifigkeit ist charakteristisch für die Bauart des Motors (Durchmesser, Länge, Magneten & Statormaterial), jedoch nahezu unabhängig von der Wicklungszahl und der Betriebsspannung. Mit sich ändernder Betriebsspannung verschiebt sich jedoch die gesamte Motorkennlinie, gleichermaßen wie die korrespondierende Leerlaufdrehzahl.

Wird der Motor weiter belastet (überlastet) wird das Kippmoment erreicht: Der magnetische Fluss erreicht die Sättigung des Stator-Materials und die induzierte Spannung reicht nicht mehr aus, um den freien Stromfluss zu bremsen. Der Spulenstrom steigt stark an, ohne dass gleichermaßen zusätzliche magnetische Kräfte erzeugt werden. Damit brechen die Drehzahl und der Wirkungsgrad zusammen, während der Motor sich infolge des

Kurzschlusses aufheizt. Unabhängig von der Betriebsspannung gehen dann alle Kennlinien in die Kippmoment-Grenzkurve über. Diese stellt den zweiten linearen Teil der Motorkennlinie dar. Im Betrieb spielt diese Kurve jedoch keine praktische Rolle, da der Betriebszustand vorher die „Erwärmungsgrenzkurve“ überschreiten würde. Wie bereits erwähnt, ist hierbei die umgesetzte Leistung und Wärmeentwicklung so hoch, dass der Motor nach kurzer Zeit verschmort.

Der Punkt des maximalen Wirkungsgrads liegt etwa im Zentrum des Betriebsbereichs. Man beachte, dass die Leistung an diesem Punkt jedoch deutlich kleiner ist, als die Nennleistung.



Bauweisen: Magnete, Pole und Wickelschema

Die modellbautypischen Brushlessmotoren gehören zu den Drehstrom-Synchronläufer-Motoren. Da wir 3 Phasen haben, müssen wir zwangsläufig auch eine Vielzahl von drei Spulen auf unserem Stator haben. Die Anzahl der Magnete im Rotor ist selbstverständlich ein vielfaches von 2, aufgrund der Nord/Süd Polung der Permanentmagnete. Um zu verstehen, wie die Anzahl an Magnete zustande kommt, betrachten wir die im Roxxy-Programm häufigste Variante: die 14-Pole-12-Spulen Kombination, kurz 14p12s. Zwei benachbarte Spulen liegen 30° ($=360^\circ/12$) versetzt. Zwischen zwei Magneten wiederum liegen $\sim 25,7^\circ$ ($360^\circ/14$). Stellen wir uns vor, der Motor steht still, so dass ein Magnet genau über einer Spule ist, da diese gerade mit Strom durchflossen sei. Die benachbarten Spulen-Magnetpaare sind nun gegeneinander

$30^\circ - 25,7^\circ \approx 4,3^\circ$ versetzt. Würde die erste Spule abgeschaltet und die Benachbarte eingeschaltet, so würde sich der Rotor um $4,3^\circ$ drehen, damit wieder der passende Magnet senkrecht über der Spule steht. Bis ein Magnet von einer Spule zur nächsten gewandert ist, vergehen

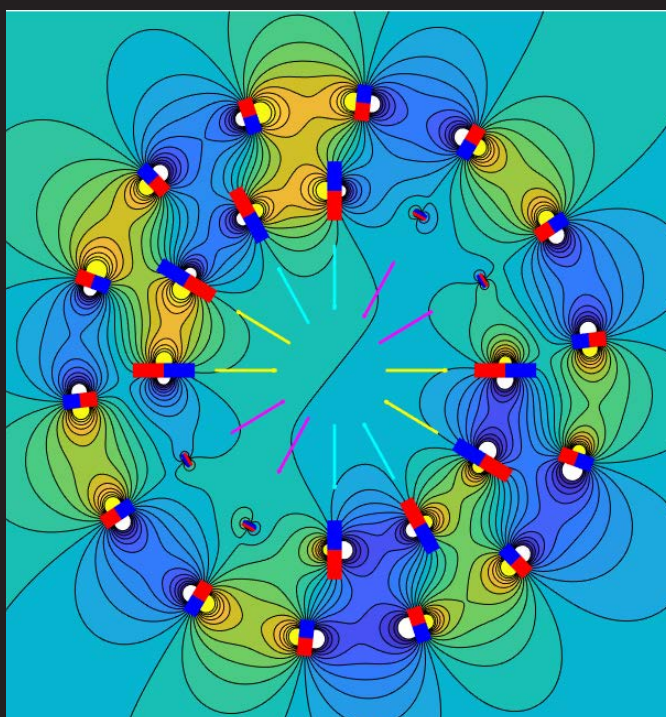
$$\frac{1/12}{1/12 - 1/14} = 7$$

„Schritte“. Hieraus ergibt sich die Geschwindigkeitsübersetzung, mit der sich der Rotor gegeben über dem Drehfeld dreht.

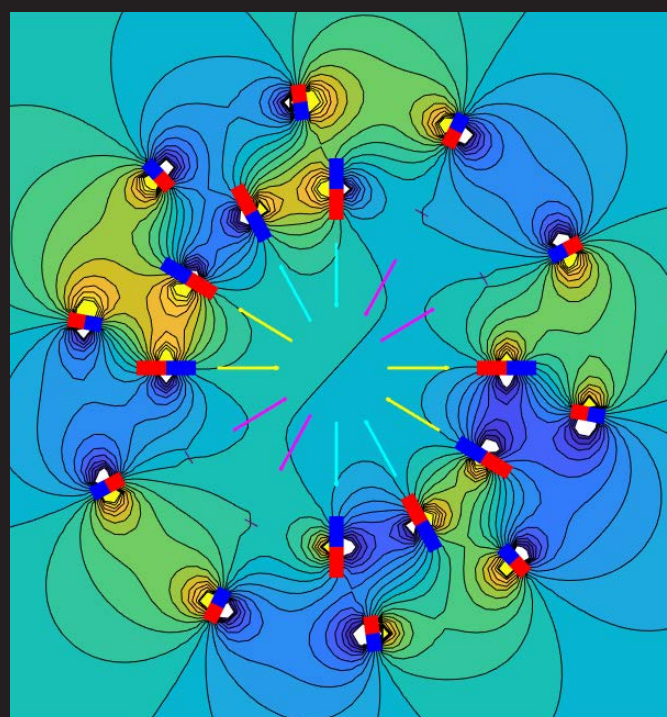
$$\omega_{Rotor} = \frac{N_{Pole}}{N_{Pole} - N_{Spulen}} \cdot \omega_{Drehstrom}$$

Doch leider ist es nicht ganz so leicht. Während die Polarität der Rotormagnete als abwechselnd vorgegeben ist, müssen die Spulen

Abbildung: Wickelschema



14 Pole -12 Spulen, Wickelschema
„AacCBbaACcbB“

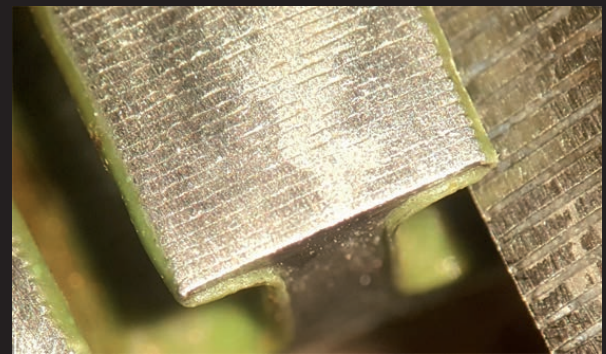
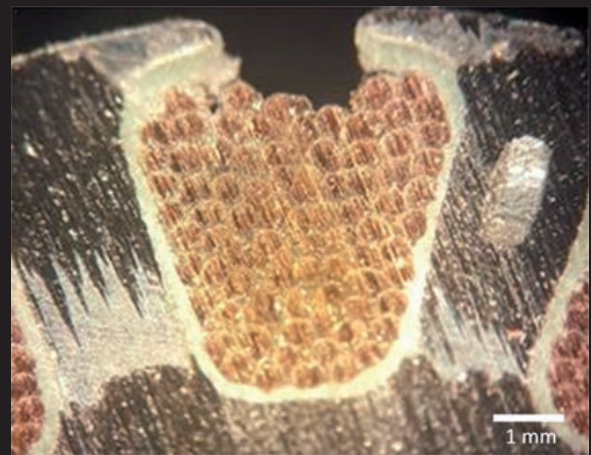


10 Pole -12 Spulen, Wickelschema
„AabBCcaABbcC“

in der passenden Reihenfolge und im passenden Wickelsinn angeordnet sein. Bei der einfachsten Konstruktion, ein 2-Pole-3-Spulen Motor, läuft die Wechselwirkung zwischen Magnet und Spule der Reihe um und wirkt jeweils nach demselben Prinzip. Alle 3 Spulen sind im gleichen Wickelsinn gewickelt und das Schema lautet „ABC“. Dabei steht der Buchstabe für die jeweilige Phasendraht, die um die Spule gewickelt wird. Es ist auch möglich, den Draht im umgekehrten Wickelsinn auf die Spule aufzuwickeln. Hierbei wechselt die Polarität der Spule und man kennzeichnet dies mit einem kleinen Buchstaben „a“-„b“-„c“. Für den häufig verwendeten 14-Pole-12-Spulen Motor lautet das Schema „AabB-CcaABbcC“.

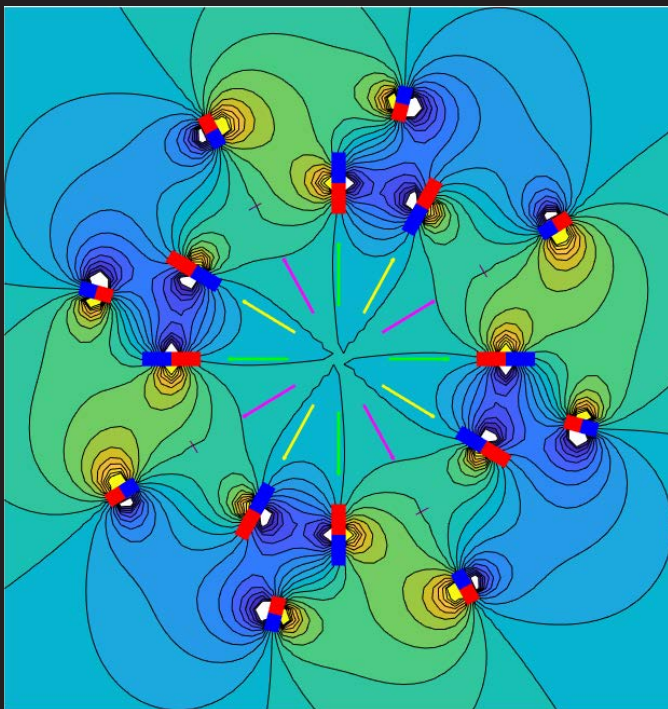
ROXXY®

Die Qualität von ROXXY-Motoren zeigt sich im technischen Detail: Durch den optimierten Draht-Füllgrad der Spulen erzeugen diese bei gleicher Baugröße ein stärkeres Magnetfeld und verleihen dem Motor ein kräftigeres Drehmoment.



ROXXY verwendet extrem dünne 0.2mm Statorbleche, dadurch werden bremsende Wirbelströme unterdrückt.

Somit sind hohe Wirkungsgrade zwischen 85%-80% im flugtypischen Betriebsbereich des Motors möglich und der Motor bleibt länger kühl.



8 Pole - 12 Spulen, Wickelschema „ABCABCABCABC“

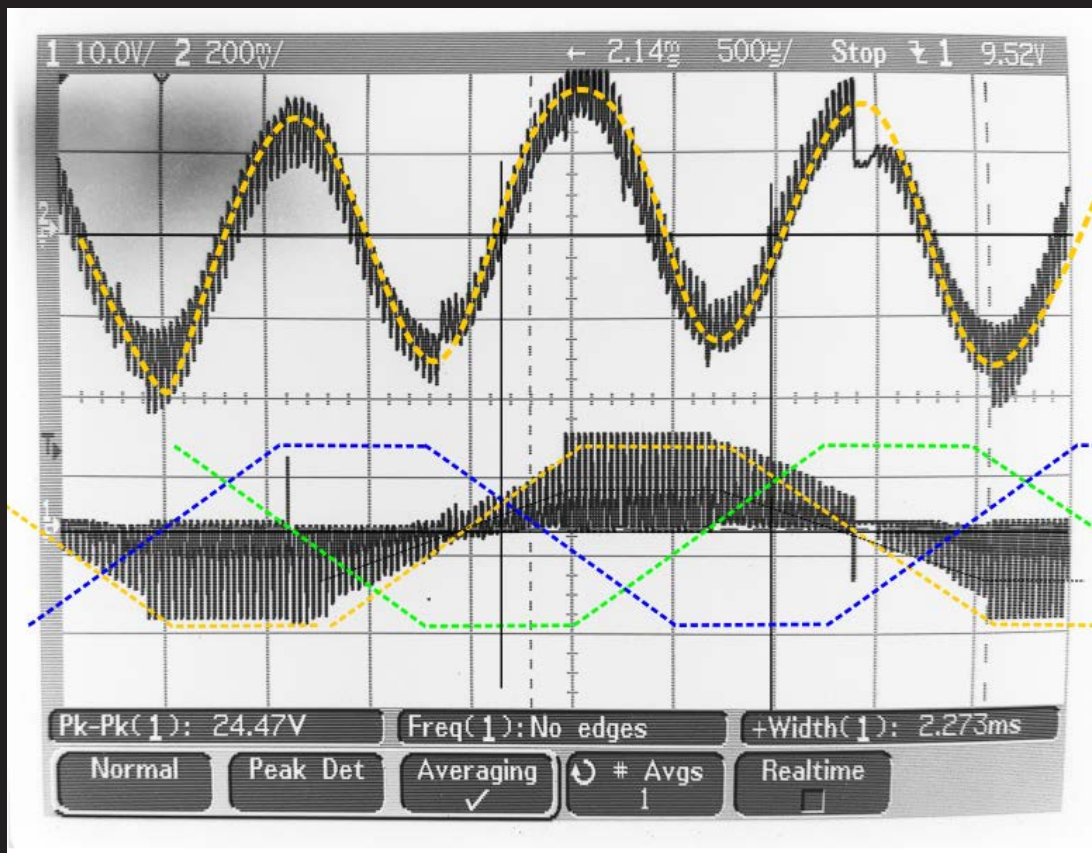
Der Regler und der Strom-Zeitverlauf

Dieser Abschnitt soll einen Einblick geben, wie der Brushlessregler die Anschlusskabel des Motors ansteuert und wie daraufhin der Strom in den Spulen aussieht.

Dafür wurde die Dreiecksverschaltung eines Motors aufgetrennt, um die Spannung und Strom in der Wicklung auf den Oszilloskop sichtbar zu machen. Der untere Verlauf zeigt die Anliegende Spannung gegenüber dem Akku-Minuspol. Es zeigt sich ein Trapezförmiger Verlauf zwischen dem Potential 0V und

12V. Dazwischen zeichnet sich ein mittleres Potential von ~6V ab, welches der Nulllinie der Wechselfspannung entspricht. Um einen trapezförmigen Verlauf der mittleren Spannung zu generieren, verwendet der Regler MOS-FETs, welche mit einer Pulsweiten-Modulation angesteuert werden. Diese zeigen sich in den hochfrequenten kleinen Spitzen, mit der so genannten Taktfrequenz (in diesem Fall 32kHz).

Spannung und Strom an einer Spulenwicklung



Wirkungsgrad und Wärmestrom für Profis

Prinzipiell wandelt ein Elektromotor elektrische Leistung P_{el} in mechanische Leistung P_{mech} um. Da dies nicht verlustfrei geschieht, gibt uns der Wirkungsgrad η des Motors an, welcher Anteil der zugeführten Leistung des Akkus mechanisch nutzbar ist. Gemäß dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik wird die nichtnutzbare Leistung in Wärme umgewandelt, welche uns unseren Motor aufheizt. Die Kabelisolierung und das Magnetmaterial setzen hier die Grenzen. Ab 150 °C besteht die Gefahr, dass der Kupferlack schmilzt und der Motor versagt.

$$P_{el} = UI$$

$$P_{mech} = 2 \pi n M$$

$$\dot{Q}_{erzeugt} = P_{el} - P_{mech} = (1-\eta)UI$$

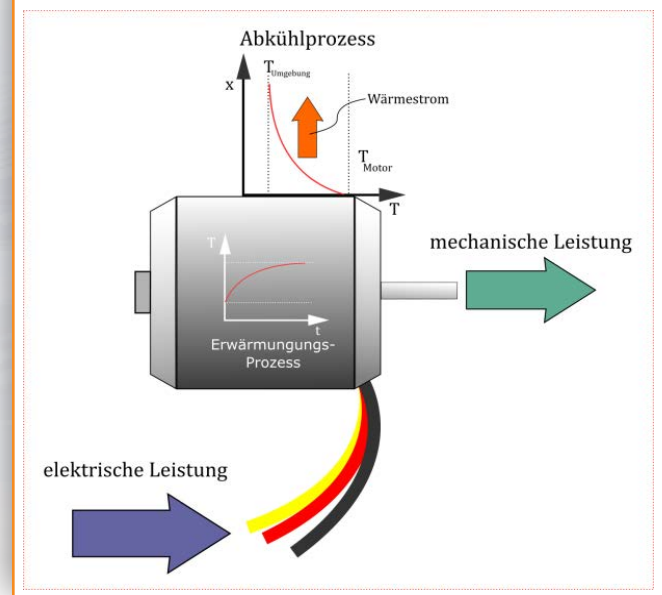
Die erzeugte Wärme $\dot{Q}_{erzeugt}$ teilt sich auf in die durch Kühlung abgeführte Wärme und in die durch Temperaturerhöhung im Motor gespeicherte Wärme. Die Leistung des Motors hängt neben der Qualität (Wirkungsgrad) davon ab, welchen Wärmestrom dieser für eine bestimmte Zeit aushalten bzw. wegkühlen kann. In diesem Katalog wird daher als Dauerleistung derjenige Betriebszustand angegeben, bei dem der 65°C heiße Motor gerade die Wärme erzeugt, welche der Abkühlung durch Umgebungsluft bei (23°C) entspricht.

▼ Der Abkühlprozess

Der Wärmeaustausch zwischen dem Motor und der verwirbelten Luft, die ihn umgibt ist sehr komplex. Wir vereinfachen diesen Vorgang stark und nehmen einen linearen Zusammenhang an zwischen dem Wärmestrom und der Differenz der Motor- und Umgebungstemperatur. Alle Vorgänge werden durch eine Ersatz-Wärmeleitfähigkeit $\hat{\lambda}$ zusammengefasst.

$$\dot{Q}_{Kühlung} = \hat{\lambda} \cdot (T_{Motor} - T_{Umgebung})$$

Leistungs- und Wärmebilanz am Motor



▼ Der Aufheizprozess

Der Motor besteht im Wesentlichen aus Eisen, Aluminium und Kupfer. Wird die innere Wärmeleitung als hinreichend schnell angenommen, können die Wärmekapazitäten der Bestandteile zu einer Gesamtwärmekapazität \hat{C} zusammen gefasst werden. Somit ergibt sich ein Zusammenhang zwischen der Temperaturänderung \dot{T} und der gespeicherten Wärme $\dot{Q}_{\text{gespeichert}}$.

$$\dot{Q}_{\text{gespeichert}} = \hat{C} \dot{T}_{\text{Motor}}$$

Wird über die Wärmeströme bilanziert, und die jeweiligen Zusammenhänge eingesetzt, ergibt sich die Differentialgleichung für die Temperaturentwicklung:

$$\dot{Q}_{\text{gespeichert}} + \dot{Q}_{\text{Kühlung}} = \dot{Q}_{\text{erzeugt}}$$

$$\hat{\lambda}(T_{\text{Motor}} - T_{\text{Umgebung}}) + \hat{C} \dot{T}_{\text{Motor}} = (1 - \eta) P_{el}$$

Für einen monotonen Betrieb des Motors ergibt sich folgende Temperaturentwicklung als Lösung der Differentialgleichung:

$$\Delta T(t) = \frac{(1 - \eta) P_{el}}{\hat{\lambda}} \left(1 - e^{-\frac{\hat{\lambda}}{\hat{C}} t} \right)$$

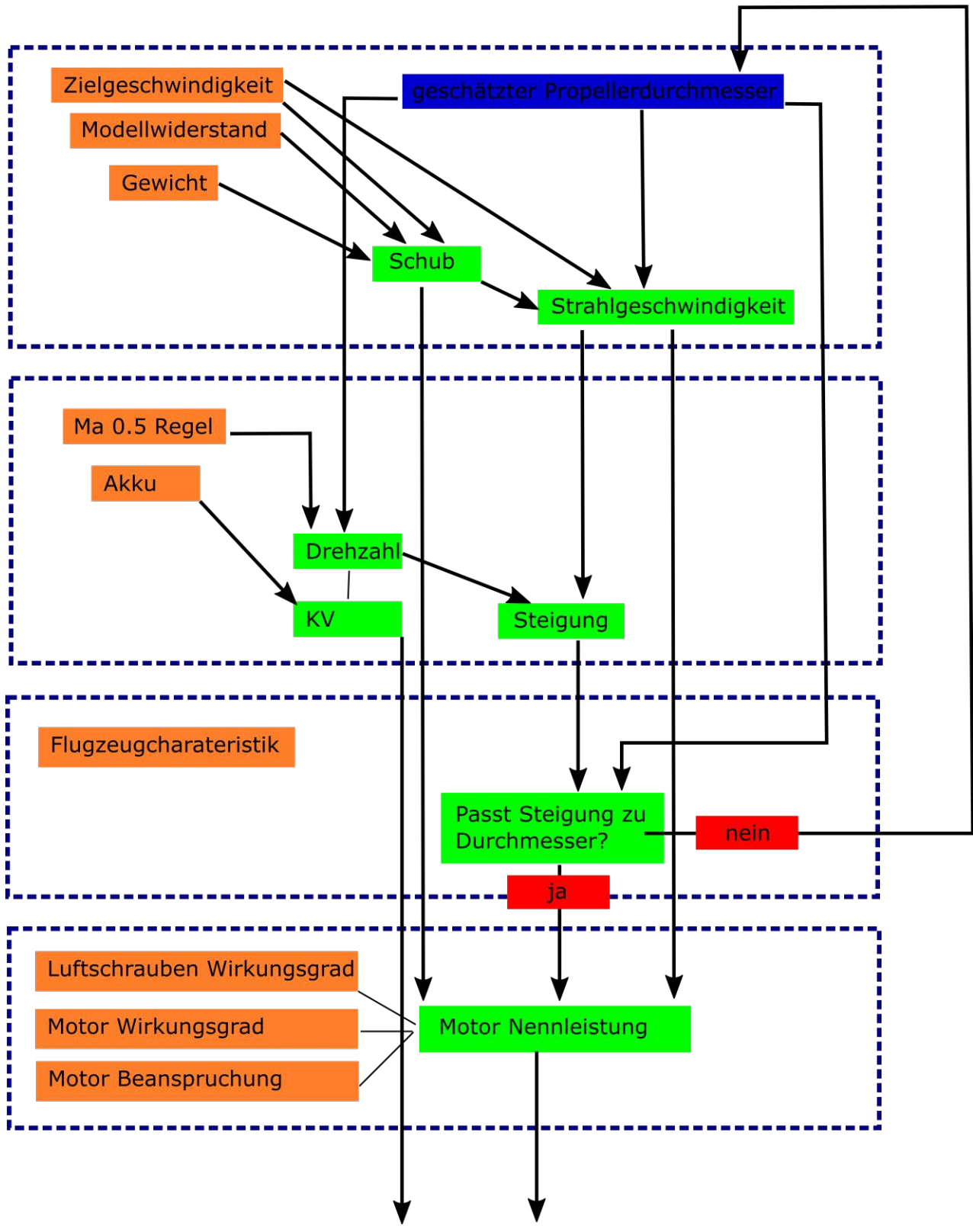
Hierbei versteckt sich die maximale Grenztemperatur im Ausdruck $\frac{(1 - \eta) P_{el}}{\hat{\lambda}}$.

Folgende Werte wurden experimentell für gängige Roxxy-Motoren ermittelt:

Motor	\hat{C} [J/K]	$\hat{\lambda}$ [W/K]
C 28-22	7.5	0.6
C 28-26	10.7	0.7
C 28-30	13.9	0.93
C 28-34	17.0	1.05
C 35-30	20.5	1
C 35-36	27.6	1.05
C 35-42	34.7	1.12
C 35-48	41.8	1.15
C 42-40	40	1.44
C 42-50	70	1.74
C 42-60	94	1.96
D 42-65	98	2.06
C 50-55	115	2.9
C 50-65	148	3
C 63-62	196	3.1
D 63-72	210	3.5

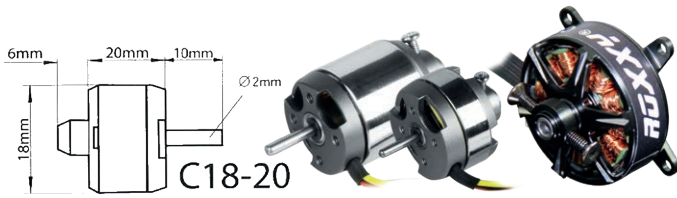


Ablauf Antriebsauslegung



Ø18-28

INDOOR



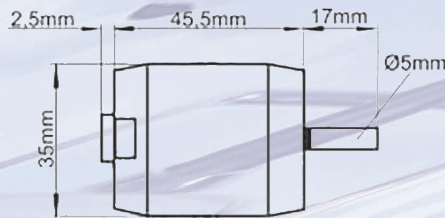
Präzise wie ein Uhrwerk: Je filigraner ein Bauteil, desto aufwendiger gestaltet sich der Fertigungsprozess. Wir haben jedoch keine Mühen gescheut, die feinen Gehäuseteile unserer Motoren bis aufs letzte Gramm abzuspecken. Und darüber hinaus: durch die Verwendung gekrümmter Magnete im C28-14 ist der Luftspalt zu den Spulen gerade mal so dünn wie ein Blatt Papier. Dieser sorgt für die maximale Wechselwirkung der erzeugten Magnetfelder und somit für höchste Wirkungsgrade. Der perfekte high-End Antrieb für den maximalen Indoorfun!

As precise as a clock mechanism: the more delicate the component, the more complex the manufacturing process. However, we have spared no effort in minimising the weight of our motors' fine case components - down to the last gramme. And there's more: the C28-14 is fitted with curved magnets which reduce the air gap to the coils to less than the thickness of a sheet of paper. This enables maximum interaction of the magnetic fields generated, resulting in ultra-high efficiency levels. The perfect High-End power unit for maximum indoor fun!



TYP	Turns / KV	Gewicht	Akku	max. Ele. Leistung 30s	Dauerleistung					Prop 2	#
C18-15 • Gehäuse Ø18 x 21											
C18-15-25	2000	13g	2s	40 W 5A	35W <4A	7x3,5 2s 3,3A	160g	7,2kRpm	4x4 3s 3A	115g 13,3kRpm	31 4939
C18-15-17	2900	13g	2s	55 W 8A	40W <6.5A	4,5x5 2s 5,3A	175g	12,9kRpm	4x4 2s 4,8A	120g 13kRpm	31 4938
C18-20 • Gehäuse Ø18 x 26											
C18-20-16	1650	20g	2s	60 W 7A	42W <5.5A	8x4HD 2s 5,6A	295g	6,6kRpm	7x3,5 2s 3,9A	220g 8,4kRpm	31 4942
C18-20-10	2520	20g	2s	80 W 10A	50W <7A	6x3 2s 7,3A	310g	12,4kRpm	7x3,5 2s 10,6A	420g 11kRpm	31 4940
C22-14 • Gehäuse Ø22 x 13,4											
C22-14-31	2280	16g	2s	50 W 7A	45W <4.5A	7x3,5 2s 7,3A	300g	11kRpm	5x3 2s 5,4A	270g 18,7kRpm	31 4944
C22-14-25	2850	16g	2s	65 W 9A	50W <7.5A	4,5x4 2s 6,3A	210g	17kRpm	APC 4,5x4,1 2s 7.6A	180g 16,5kRpm	31 4943
C22-20 • Gehäuse Ø22 x 19,4											
C22-20-20	1330	26	2s	110W 10A	60W <8A	7x3,5 3s 6,5A	450g	12,7kRpm	8x4,3 2s 9A	360g 6,8 kRpm	31 4949
C22-20-15	1780	26g	2s	120W 12A	70W <10A	8x4HD 2s 10A	470g	9,8kRpm	8x4,3 2s 500g 11,7A	500g 9kRpm	31 4948
C27-13 • Gehäuse Ø27 x 13											
C27-13	1800	21,3g	2s	130W 15A	75W 8A	8x4HD 2s 9,5A	460g	9,7kRpm	8x4,3 2s 10,7A	430g 8,7kRpm	1-00018
C27-13						Ersatzmotor FUNWING					1-01951
C27-15 • Gehäuse Ø27 x 15											
C27-15	1050	25,7g	3s	140W 11A	80W 6,4A	8x4.3 3s 7,3A	500g	9kRpm	8x4HD 2s 6,3A	480g 9,9kRpm	1-01035
C28-14 • Gehäuse Ø28 x 14											
C28-14-1250	1250	27,5g	3s	150W 12A	95W 7,5A	8x4 HD 3s 10,1A	670g	11,6kRpm	9x5s 2s 8,8A	480g 7,2kRpm	1-01673

Ø35



C35-48



TYP	Turns / KV	Akku	max. Ele. Leistung 30s	Dauerleistung ca. 65°C		3D **	Scale **	Segler **	Speed **	#				
C35-30 • Gehäuse Ø35 x 26,5 • Gewicht 78g • Welle/Ersatz. 31 3530														
C35-30-08	8 / 1600	2s	332W 40A	304W 36 A	10x5 2s 38A	12, N	9x6 2s 33A	10,7N	9x6 2s 33A	10,7N	-	-	31 4980	
		3s	475W 37,7A	420W 34A										
C35-30-10	10 / 1330	3s	477W 38A	386W 31A	9x4,5 3s 36A	15, N	9x6 3s 37A	14N	9x6 3s 37A	14N	8x8 3s 40A	10 N	31 4961	
		3s	340W 27A	310W 25A	11x5,5 3s 25A	12,5N	11x7 3s 27A	13N	11x7 3s 27A	13N				
C35-30-14	14 / 950	4s	490W 30A	430W 30A	10x5 4s 30A	15,5N	10x6 4s 30A	15,5N	10x6 4s 30A	15,5N			31 4962	
C35-36 • Gehäuse Ø35 x 32,5 • Gewicht 109g • Welle/Ersatz. 31 3536														
C35-36-05	5 / 1500	2s	460W 55A	250W 30A	11x5,5 2s 55A	18N		9x6 2s 35A	11N	9x7,5 2s 45A	11N	-	-	31 4963
		3s	650W 51,5A	253W 20A	9 x 4,5 3s 50A	16N								
C35-36-06	6 / 1250	3s	580W 46A	315W 25A	10x5 3s 46A	19,1N	9x6 3s 43A	15,6N	9x6 3s 43A	15,6N	8x8 3s 44A	11N	31 4780	
C35-36-09	9 / 950	3s	465W 37A	295W 23.5A	11x5,5 3s 30A	16N	10x6 3s 24A	13N					31 5081	
		4s	600W 36A	340W 20A	9x4,5 4s 32A	17N	9x6 4s 32A	17N	9x6 4s 32A	17N	8x8 4s 32A	11N		
C35-36-09							Ersatzmotor FunJet 2						1-00997	
C35-36-09							Ersatzmotor FunJet ultra 2						1-00996	

** Propeller (APC elektro)/Zellen/Strom/Standschuh • $\frac{F \cdot Schub [N]}{-9,81 N/Kg} = m_äquivalent [Kg]$ z.B 50,6N : 9,81 ≈ 5,16 Kg

Ø28

ROXXY®



Motoren der 28mm-Klasse werden für Parkflyer bis 1Kg und „Hutablagenflieger“ eingesetzt. Die Antriebkonzepte basieren dabei auf Akkus mit 2 und 3 Lipo-Zellen. Typische Anwendungen sind Nurflyer wie der Xeno mit Speed Auslegung oder der Parkmaster mit 3D Setup. Aufgrund seines schmalen Durchmessers und der hohen Leistung, eignet sich der C2834 hervorragend als Antrieb in den dünnen Rumpfen widerstandsarmer Segler bis 1,5kg.

The primary use of motors in the 28 mm class is for park-fly models up to 1 kg and small "parcel shelf" models. These motors are designed to run on batteries with two and three LiPo cells, and typical applications are flying wings such as the Speed version of the Xeno, or the 3D version of the ParkMaster. With its small case diameter and high performance, the C2834 is an excellent choice for the slim fuselages of low-drag powered gliders weighing up to 1.5 kg.



TYP	Turns / KV	Akku	max. Ele. Leistung 30s	Dauerleistung ca. 65°C	3D **	Scale **	Segler **	Speed	#				
C28-26 • Gehäuse Ø28 x 23 • Gewicht 45g • Welle/Ersatz. 31 28 26 €													
C28-26-09	9 / 1900	2s	208W 25A	154W 18A	8x4 2s 30A	7N	7x4 2s 19A	7,1N	7x5 2s 34A	4,5N	6x6 3s 17A	4,2N	31 4952
		3s	310W 25A	215W 18A									
C28-26-12	12 / 1450	3s	246W 19A	170W 13,5A	8x4 3s 21A	8,55N	7x5 3s 19A	7,5N	7x5 3s 19A	6N	7x7 3s 24A	7,5N	31 4954
C28-26-14	14 / 1260	3s	228W 18A	165W 13A	8x4 3s 16,3A	7,2N	8x4 3s 16,3A	7,2N	7x5 Sf 3s 15A	5,5N	-	-	31 4953
C28-30 • Gehäuse Ø28 x 26,5 • Gewicht 57g • Welle/Ersatz. 31 28 30													
C28-30-09	9 / 1280	2s	217W 26A	160W 19,2A	9x4,5 3s 26A	12,5N	9x4,5 3s 26A	12,5N	8x6 3s 23A	9N	7x7 3s 22A	7,5N	31 4955
		3s	318W 25A	234W 18,6A									
C28-30-12	12 / 910	3s	236W 19A	177W 14,1A	11x5,5 3s 18A	10,8N	10x6 3s 15A	9N	10x7 3s 17A	8,3N	-	-	31 4956
C28-30-16	16 / 700	3s	195W 16A	145W 11,5A	11x5,5 4s 15,4A	11,6N	10x6 4s 14A	10,5N	10x7 4s 14,6A	9,3N	-	-	31 4957
		4s	260W 15A	187W 11,0A									
C28-30	1100				Ersatzmotor EasyStar 3								1-01621
C28-34 • Gehäuse Ø28 x 32 • Gewicht 67g • Welle/Ersatz. 31 28 34													
C28-34-08	8 / 1120	2s	245W 29A	185W 22A	12x6 2s 24A	10,7N	10x6 3s 30A	14N	10x7 2s 19A	7,4N	8x8 3s 25A	8N	314958
		3s	360W 29A	260W 21A	10x5 3s 27A	13,5N			9x6 3s 27A	12N			
C28-34-10	10 / 880	3s	300W 24A	226W 18A	12x6 3s 24A	14,8N	11x5,5 3s 22A	12,5N	10x7 3s 21A	10,1 N	9x9 3s 23A	7,55N	314959
C28-34-12	10 / 750	3s	260W 21A	204W 16A	11x 5,5 4s 22A	15,4N	10x6 4s 20A	12 N	9x7,5 4s 19A	9,7N	9x9 4s 22A	7,5N	314960
		4s	340W 20A	260W 15,5A									
C-28-34					Ersatzmotor EasyGlider 4								315077

Ø35



Unsere Motoren der 35er Klasse sind für den Betrieb mit 3 bis 4 LiPo-Zellen ausgelegt. Modelle wie der AcroMaster, der Heron und die FunCub werden von diesen leistungstarken Motoren angetrieben.

Der „Volksmotor“ C 3548 ist der ideale Antrieb für Kunstflugmaschinen bis 1,2m Spannweite und sorgt auch bei unseren großen Seglern für kraftvolle Steigflüge.

Our 35-class motors are intended for use with three or four LiPo cells, and these high-power units give an excellent performance in models such as the AcroMaster, Heron and FunCub.

The C 3548 is the "people's motor", and forms the ideal power plant for aerobatic machines with wingspans up to 1.2 m; it

TYP	Turns / KV	Akku	max. Ele. Leistung 30s	Dauerleistung ca. 65°C	3D **	Scale **	Segler **	Speed **	#				
C35-42 • Gehäuse Ø35 x 38,5 • Gewicht 132g • Welle/Ersatz. 31 3542													
C35-42-05	5 / 1100	2s	315W 37,5A	240W 28A	10x5 3s 45A	20N	10x6 3s 46A	19,5N	9x7,5 3s 50 A	14,5N	8x8 3s 43A	13 N	314964
		3s	666W 53A	260W 21A									
C35-42-06	6 / 930	3s	700W 56A	395W 31,5A	12x6 3s 48A	25N	11x7 3s 45A	21N	10x8 3s 40A	15,5N	9x9 40A	12N	314965
C35-42-07	7 / 810	3s	520W 41A	290W 23A	11x5,5 4s 41A	24N	10x6 4s 33A	19,1N	10x7 4s 40A	17,7N	8x8 4s 37A	10N	314966
		4s	708W 42A	410W 24,5A									
C35-42	930				Ersatzmotor FunCUB NG								1-01484
C35-42	1160				Ersatzmotor FunRacer								1-00616
C35-48 • Gehäuse Ø35 x 45 • Gewicht 172g • Welle/Ersatz. 31 3548													
C35-48-04	4 / 1150	2s	545W 65A	275W 33A	-	-	-	-	10x6 3s 52A	20N	9x7,5 3s 57A	16,2N	315082
		3s	750W 59A	250W 30A									
C35-48-05	5 / 830	3s	700W 56A	310W 25A	13x6,5 3s 44A	22N	12x6,5 3s 48A	21N	11x8,5 3s 43 A	17N	10x10 3s 38A	11N	314967
C35-48-06	6 / 700	3s	570W 45A	335W 26,5A	13x6,5 4s 45A	24N	12x6 4s 37A	21N	12x8 4s 43A	24N	9x9 4s 31A	13 N	314779
		4s	755W 45A	365W 22A									
C35-48	990				Ersatzmotor AcroMaster PRO								1-01106
C35-48	990				Ersatzmotor FunRay								315076

** Propeller (APC elektro)/Zellen/Strom/Standschub • $\frac{F_Schub [N]}{-9,81 N/Kg} = m_äquivalent [Kg]$

z.B 50,6N : 9,81 = 5,16 Kg

Ø42



Unter den C42 Motoren finden Sie den richtigen Antrieb für majestätische 4m-Segler. Mit den C42 Motoren überwindet Ihr Segler die ersten 100m Höhenmeter bis sich die ersten Thermikwinde entwickeln oder kann jederzeit sicher zurück zur Hangkante geflogen werden. Mit 42mm passt dieses Kraftpaket in die gängigen Rümpfe und sorgt an 4 bis 6 Zellen für souveräne Steigflüge.

Amongst the C42 motors you are bound to find the perfect power plant for majestic 4-metre gliders. A C42 quickly pulls your glider through the first 100m of altitude to search for developing thermals, and also drags it safely back up to the edge of the slope at any time. With a case diameter of 42 mm this power-pack fits most current fuselages, and with four to six LiPo cells provides power for breathtaking climbs.

TYP	Turns / KV	Akku	max. Ele. Leistung 30s	Dauerleistung ca. 65°C	3D **	Scale **	Segler **	Speed **	#					
C42-40 • Gehäuse Ø42,5 x 33 • Gewicht 130g • Welle/Ersatz. 314240														
C42-40-10	10 / 980	3s	520W	41A	335W 27A	13x4 3s 40A	23N	12x6 3s 49A	23N	11x6 3s 40a	21N	-	-	314968
		4s	542W	33A	336W 20A									
C42-40-12	12 / 850	3s	490W	39A	350W 28A	13x4 4s 36A	25N	11x5,5 4s 37A	21N	-	-	-	-	314969
		4s	605W	36A	360W 21A									
C42-50 • Gehäuse Ø42,5 x 43 • Gewicht 195g • Welle/Ersatz. 314250														
C 42-50-05	5 / 1000	3s	1000W	80A	485W 38,5A	12x6 3s 60A	29,5N	12x8 3s 76A	30N	11x8 3s 72A	23N	9x9 4s 70A	21,5N	314970
		4s	1210W	72A	425W 25A									
C 42-50-06	6 / 800	4s	1090W	65A	545W 32A	13x6,5 4s 67A	33,7N	13x6,5 4s 67A	33,7N	11x8 62A	24N	10x10 4s 60A	12N	314971
C 42-50-07	7 / 720	4s	1050W	62A	440W 26 A	14x6 4s 57A	36N	13x8 4s 60A	35,6N	12x10 4s 60A	27N	10x10 5s 63A	22N	314781
		5s	1240W	59A	520W 25A									
C 42-50	620	4s				Ersatzmotor ANTARIS carbotec Electro								1-00696
C42-60 • Gehäuse Ø42,5 x 53 • Gewicht 287g • Welle/Ersatz. 314260														
C-42-60-05	5 / 710	4s	1440W	85A	640W 38A	15x7 4s 65A	42N	14x8 4s 85A	35N	13x10 4s 74 A	26 N	12x12 4s 66A	22N	314972
		5s	1520W	73A	515W 24,5A									
C-42-60-06	6 / 600	6s	1570W	75A	650W 31A	15x7 5s 56A	46N	14x8,5 5s 55A	40N	13x10 5s 52A	31N	12x 12 5s 50A	25N	314973
			1700W	67,5A	505W 20A									

Ø35 & 42 D-SERIE



Die Premium-Motoren der D-Serie zeichnen sich primär durch die zusätzliche Lagerung der Rotorglocke aus. Hierdurch wird eine genaue Zentrierung des Rotors erreicht, wodurch die Laufruhe und der mechanische Wirkungsgrad verbessert werden. Durch die Verteilung der axialen Last auf die bis zu 4 Kugellager wird ein leichter Lauf garantiert und die Lebensdauer erhöht. Auch gegenüber Absturzschäden ist der Motor deutlich robuster. Mit der konisch zulaufenden Bauart sind die Motoren für den Einbau in schmalen Seglerrümpfen konzipiert. Gegenüber ihrem Pendant aus der C-Serie wird bei der D-Serie auf ein Antriebskonzept mit höherer Zellenzahl und niedrigerem Strom gesetzt, wodurch sich geringere Wärmeverluste ergeben. Höchste Qualität für hohe Lebensdauer und Effizienz stehen bei der D-Serie im Vordergrund.

The outstanding feature of the premium D-series motors is their supplementary rotor bell bearing. This feature centres the rotor perfectly, improving the motors' smoothness and mechanical efficiency. The axial loads are shared between up to four ballraces, guaranteeing smooth running and excellent durability. The motors are also significantly more robust in terms of resistance to crash damage. The conical front end makes these motors the ideal choice for installation in narrow glider fuselages. Compared with their C-series equivalents, the D-series motors are designed for lower currents and higher cell counts, which results in reduced heat losses. Maximum quality for enhanced longevity and efficiency are centre-stage with the D-series.



TYP	Turns / KV	Akku	max. Ele. Leistung 30s	Dauerleistung ca. 65°C	3D **	Scale **	Segler **	Speed **	#					
D35-50 • Gehäuse Ø35 x 50 • Gewicht 149g														
D35-50-05	5 / 1150	3s	770W	61A	215W 17A	10x5 3s 48,5A	21 N	10x6 3s 53A	22 N	9x7 3s 50 A	19N	8x8 3s 44A	11N	314996
D35-50-06	6 / 850	4s	810W	48A	340W 20A	11x5,5 4s 48A	29N	10x7 4s 46A	19,7N	10x8 4s 48A	20N	-	-	314995
D35-55 • Gehäuse Ø35 x 53 • Gewicht 178g														
D35-55-04	4 / 900	3s	800W	63A	400W 32A	13x6,5 3s 56A	24,5N	12x8 3s 55A	23,5N	12x8 3s 55A	23,5N	9x9 4s 58A	17N	314997
		4s	990W	59A	305W 18A	12x6 4s 52A	23N							
D35-55-06	6 / 590	4s	750W	45A	375W 22A	13x6,5 5s 43A	31,2N	12x8 5s 42A	29N	12x8 5s 42A	29N	-	-	314998
		5s	900W	43A	370W 18A									
D42-65 • Gehäuse Ø42 x 55 • Gewicht 307g														
D42-65-06	6 / 430	5s	1510W	72A	850W 40,5A	17x8 5s 70A	58N	16x10 5s 63A	52N	16x10 5s 63A	52N	14x12 5s 52A	34,7N	314999
		6s	1560W	62A	900W 36 A	15x7 6s 53A	52N	14x8,5 6s 52A	47N	14x8,5 6s 52A	47N	12x12 6s 48A	30N	

** Propeller (APC elektro)/Zellen/Strom/Standsschub • $\frac{F \text{ Schub [N]}}{m} = m_äquivalent [Kg]$
~9,81 N/Kg

z.B 50,6N : 9,81 ≈ 5,16 Kg

Ø50-63



Große Motormodelle auch Geruchs- und Fleckenfrei? Mit den Elektromotoren der 50er und 63er Klasse realisieren Sie Ihr Großmodell auch elektrisch. Vor Zündaussetzern und Kolbenfressern braucht man sich nun beim Torquen in Ameisenkniehöhe nicht mehr fürchten. Besonders Kunstflugzeuge der 50"-64" Klasse erfreuen sich an den drehmomentstarken C50-65 Motoren. Der C63-62 zieht sogar 91"-Kunstflugzeuge kraftvoll durch die Luft.

Large power models without the smell and the oily residues? The electric motors of the 50 and 63 class provide plenty of clean power for quite large models. Now you can forget about the engine cutting out or seizing solid when flying torque-rolls at very low levels. Aerobatic aircraft spanning 50" to 64" can make excellent use of the high-torque C50-65 motors. The C63-62 is even capable of effortlessly pulling a 91" aerobatic aircraft through the air.

TYP	Turns / KV	Akku	max. Ele. Leistung 30s	Dauerleistung ca. 65°C	3D **	Scale **	Segler **	#					
C50-55 • Gehäuse Ø50 x 45,5 • Gewicht 276g • Welle/Ersatz. 315050													
C 50-55-06	6/760	4s	1600W	95A	980W	57A	-	-	12x8 4s 80A	32N	12x7 5s 55A	34N	314974
		5s	1890W	90A	960W	46A	-	-	-	-	-	-	
C 50-55-07	8/570	5s	1810W	86A	980W	47A	14x7 5s 80A	50N	14x8,5 5s 85A	51,5N	13x10 5s 80A	43N	314782
		6s	2100W	83A	970W	39A							
C 50-55	480	6s	2000W	90A	1200W	54A	3D Performance						1-01937
C 50-55	550	5s	1850W	100A	1050W	56A	3D Performance						1-01938
C 50-55	480	5s					Ersatzmotor ALPINA carbotec Electro						1-00697
C50-65 • Gehäuse Ø50 x 55,5 • Gewicht 377g • Welle/Ersatz. 315065 €													
C 50-65-07	7 / 435	5s	1770W	84A	1280W	61A	17x8 5s 84A	60,5N	16x10 5s 76A	54,6N	16x8 5s 73A	52,6N	314975
		6s	2070W	82A	1350W	55A	15x7 6s 60A	58,5N	15x8 6s 90A	60N	14x8,5 6s 72A	48N	
C 50-65-09	9 / 335	6s	1920W	76A	1240W	49A	17x8 6s 45A	48N	16x10 6s 53A	45 N	16x10 6s 53A	45N	314783
		7s	2115W	72A	1350W	41A	15x8 7s 60A	53N	15x10 7s 57A	52N	14x12 7s 55A	45N	
C63-62 • Gehäuse Ø63 x 62 • Gewicht 662g • Welle/Ersatz. 316362													
C 63-62-32	8 / 320	6s	2900W	110A	1380W	55A	20x8 6s 77A	83N	19x10 6s 85A	75 N	-	-	314976
		8s	3400W	102A	1580W	47A	18x8 7s 77A	76,8N	18x8 7s 77A	76,8N	-	-	
C 63-62-250	10/ 230	8s	3000W	89A	1500W	45A	20x8 8s 65A	86N	19x10 8s 70A	79N	19x10 8s 70A	79N	314977
		9s	3500W	84A	1450W	37A	18x8 10s 80A	93N	17x10 10s 95A	75 N	17x10 10s 95A	75 N	

Ø50 & 63 D-SERIE



ROXXY® MOTPROP FINDER
Empfehlungen für passende Propeller finden Sie auf unserer Homepage, jeweils unter Downloads bei den entsprechenden ROXXY-BL-Motoren.
Suggestions for matching propeller sizes can be found on our website. Find your way to the appropriate ROXXY BL motors, and look for Downloads.

DOWNLOADS
Roxy Motprop Finder

www.multiplex-rc.de

TYP	Turns / KV	Akku	max. Ele. Leistung 30s	Dauerleistung ca. 65°C	3D **	Scale **	Segler **	#					
D50-65 • Gehäuse Ø50 x 65 • Gewicht 415g													
D-50-65-07	7 / 400	5s	2350W	112A	1250W	60A	16x8 5s 65A	50N	15x10 6s 70A	53N	15x10 6s 70A	53N	314664
		6s	2720W	108A	1450W	57A	15x8 6s 75A	55N					
D 50-65-08	8 / 330	6s	2460W	97A	1250W	50A	18x8 6s 75A	69N	16x10 7s 73A	62N	16x10 7s 73A	62N	314665
		7s	2800W	95A	1400W	48A	17x8 7s 78A	72,5N					
D 50-65-10	10 / 290	7s	2300W	78A	1450W	43A	18x8 7s 60A	67N	17x10 7s 67A	58N	17x12 7s 70A	57N	314666
		8s	2550W	73A	1570W	47A	17x8 8s 66A	70N					
D63-72 • Gehäuse Ø63 x 70 • Gewicht 700g €													
D 63-72-230	230	8s	4000W	90A	1900W	56A	20x8 8s 62A	88N	19x10 8s 70A	80N	19x10 8s 70A	80N	314993
		10s	4000W	95A	1870W	50A							
D63-72-200	200	10s	4100W	98A	2080W	50A	20x10 10s 64A	101N	19x10 10s 72A	90N	17x12 10s 80A	65N	314992
		12s	4160W	83A	1900W	42A	18x8 12s 73A	96,6N	18x10 12s 87A	97N	16x12 12s 85A	68N	

** Propeller (APC elektro)/Zellen/Strom/Stand Schub • $F_{Schub} [N] = m \cdot \ddot{a}quivalent [Kg]$ z.B 50,6N : 9,81 ≈ 5,16 Kg
~9,81 N/Kg

Notizen



Lined area for taking notes, consisting of 20 horizontal lines within an orange border.

*Buchempfehlung:
Strömungslehre: Einführung in die Theorie der Strömungen.
Spurk, Joseph H. / Springer-Verlag Berlin Heidelberg/ 2010

