

# Bau-Anleitung

„**Torcman eco 280-xx**“  
„**Torcman eco 350-xx**“  
„**Torcman eco 430-xx**“

**Autoren :**

Jochen Zaiser

<mailto:mechanik@torcman.de>

Peter Rother

<mailto:elektrik@torcman.de>

**Vertrieb :**

Klaus Kraft Electronic

Oberberghofstrasse 61

89134 Blaustein

Tel. 07304 / 9610-20

<mailto:info@torcman.de>



*Diese Anleitung darf nur in Verbindung mit **Torcman**-Produkten verwendet werden.*

*Alle Rechte vorbehalten . Kein Teil des Werkes darf in irgend einer Form ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert, verändert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.*



## Wichtige Infos Vorab – Bitte unbedingt lesen !!!

Diese Anleitung soll schrittweise den Bau eines Brushless-Aussenläufer-Motors vom Typ „*Torcman eco*“ beschreiben. Sie ermöglicht auch dem weniger geübten Modellbauer, selbst einen Motor zusammenzubauen, der sich durch hohe Effizienz und lange Lebensdauer auszeichnet. Grundvoraussetzungen für den erfolgreichen Eigenbau sind eine Grundausstattung an Werkzeug, etwas handwerkliches Geschick sowie Geduld und Spass an der Arbeit. Dem Neuling in Sachen Motorenbau wird empfohlen, die angegebene Bau-Reihenfolge einzuhalten und keine Schritte auszulassen. Der erfahrene Motorenbauer kann selbstverständlich an Stellen, wo er es für nötig oder sinnvoll hält etwas improvisieren oder verbessern. Wir warnen allerdings davor, dem „Gewichts-Einspar-Rausch“ zu verfallen, und damit für ein paar Gramm weniger Gewicht die Robustheit und Zuverlässigkeit dieses Antriebes aufs Spiel zu setzen. Alle Teile wurden an einem modernen 3D CAD System konstruiert und durch zahlreiche praktische Tests in mehreren Etappen optimiert. Nachträgliche Modifikationen zahlen sich in den meisten Fällen nicht aus.

Alle Arbeiten mit Sekundenkleber und Lösungsmitteln dürfen nur in gut durchlüfteten Räumen durchgeführt werden !

Wer sich für weitere technische Details dieses Motor-Prinzips, seiner Eigenschaften und Vorzüge interessiert, kann auf der *Torcman* Webseite (<http://www.torcman.de>), sowie Peter Rothers LRK-Seiten ( <http://www.torcman.de/peterslrk/index.html> ) alle erdenklichen Informationen zu diesem Thema finden. Sollten dennoch Fragen offen bleiben, steht Ihnen das *Torcman*-Team gerne zur Seite. Richten Sie Ihre Anfragen am besten per Email an eine der o.g. Adressen – sie erhalten umgehend qualifizierte Hilfe. Auch bei der Berechnung der optimalen Bewicklung sind wir gerne behilflich.

Die beschriebenen Motoren wurden speziell für Elektro-Flugmodelle entwickelt, können aber auch für Schiffs- oder Automodelle Verwendung finden. Auch der Einsatz dieses Motors in Elektro-Hubschraubern gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Von anderweitiger Nutzung ohne Konsultation der *Fa. Torcman* wird abgeraten.

Durch die Verwendung modernster Materialien und das ausgefallene Konstruktionsprinzip entsteht ein hocheffizienter Motor, der bei Verwendung mit Luftschauben eine Verletzungs-Gefahr für den Benutzer oder in der Nähe befindliche Personen birgt. Die üblichen Sicherheitsvorkehrungen sind zu beachten um Unfälle auszuschliessen. Personen dürfen sich niemals seitlich oder vor einer sich drehenden Luftschraube aufhalten.

Da es sich um einen Selbstbau-Motor handelt, lehnt der Vertreiber Schadensansprüche jeglicher Art ab – der Erbauer ist für sein Produkt selbst verantwortlich.

Defekte Teile, die eindeutig auf Materialfehler zurückzuführen sind, werden innerhalb der gesetzlichen Garantiezeit kostenlos ausgetauscht.

Alle Bestandteile der Motoren sind selbstverständlich als Ersatzteile erhältlich – bitte verwenden Sie beim Austausch nur Original-Teile der *Fa. Torcman*.



## Inhaltsverzeichnis :

<b>1. Checklisten für benötigtes Material und Werkzeug</b>	Seite 4
<b>2. Der Stator</b>	Seite 5
2.1 Berechnung der benötigten Windungs-Zahl, Drahtstärke und Drahtlänge	Seite 5
2.2 Vorbereitung zum Bewickeln	Seite 8
2.3 Aufbringen der Wicklung	Seite 9
<b>3. Der Rotor</b>	Seite 14
3.1 Verkleben des Rotors und der Magnete	Seite 14
3.2 Ausfugen der Magnet-Zwischenräume	Seite 16
3.3 Zusammenbau Stator – Rotor	Seite 17
<b>4. Erste „Gehversuche“ - Probelauf</b>	Seite 18
<b>5. Tipps zu Einbau und Anwendungsbeispiele</b>	Seite 19
5.1 Einbau-Montage	Seite 19
5.2 Aufbau-Montage	Seite 20
<b>6. Explosions-Zeichnung / Einzelteile / Abmessungen</b>	Seite 21
<b>Anhang 1 : Aeronaut CamCarbon Leistungs-Tabelle</b>	Seite 22
<b>Anhang 2 : Wickel-Protokoll</b>	Seite 23



## 1. Checklisten für benötigtes Material und Werkzeug

### Checkliste 1 - Ist alles zum Bau benötigte Material vorhanden ?

- 5-teiliger Drehteile-Satz (Deckel, Stator-Buchse, Lager-Buchse, Rückschlussring, Mitnehmer)
- Statorblock der passenden Länge und Mittenbohrung mit 2 Stator-Stirn-Isolatoren
- Stator-Nuten-Isolationsmaterial (bis 150Grad temperaturbeständiges Isolierpapier oder selbstklebende Kapton-Folie)
- 14 Magnete mit entsprechender Abmessung (bzw. 10/20 Magnete für 10pol-Variante)
- 2 Kugellager (Grösse je nach Ausführung)
- gehärtete Welle Passung h6 bzw. g6 (Durchmesser und Länge je nach Ausführung )
- Schrauben (3 Inbus-Wurmschrauben für Welle, 2 Senk-Schrauben für Deckel)
- Sekundenkleber, Uhu-Plus Endfest 300, Gewebe-Klebeband (nicht im Bausatz beinhaltet)
- Epoxydharz und Microballoons zum Ausgießen der Nuten (nicht im Bausatz beinhaltet)
- Schrumpfschlauch oder Glasgewebe-Isolierschlauch
- Kupfer-Lackdraht (bis 150° C beständig) – Durchmesser siehe Berechnungsformeln

### Checkliste 2 - Sind alle benötigten Werkzeuge und Hilfsmittel vorhanden ?

- Schraubstock
- Messschieber
- Lederhandschuhe (Gartenhandschuhe) oder Rundholz mit Querbohrung zum Wickeln
- Scharfes Messer zum abisolieren des Drahtes
- Seitenschneider/ Zange / kleine Schere (Nagelschere)
- Gabelschlüssel oder besser Nuss SW11 (TM280), SW13/17 (TM350), SW21 (TM430)
- Innensechskant (Inbus)-Schlüssel für Wurmschrauben (SW1.5/ 2)
- TORX-Schlüssel T8 (TM280), T10 (TM350), T15 (TM430)
- Heissluftgebläse (Folienfön) oder Feuerzeug für Schrumpfschlauch
- LötKolben (min. 40W) + Lötzinn
- Universal-Voltmeter oder Durchgangsprüfer (zur Not Batterie und Lämpchen/Summer)
- kleines Stück angeschliffenes 1.5mm Epoxy-Material zum Stopfen/Andrücken des Drahtes
- Schmirgel-Papier (Korn 150 – 220) zum Aufrauen der Klebestellen

### **Wichtiger Hinweis :**

Wir empfehlen **DRINGEND**, diese Anleitung vor Beginn der Arbeiten zu lesen und zu studieren. Viele Hinweise und Hilfen sind nicht sofort aus den Bildern zu erkennen und können, bei Nichtbeachtung, zu unbefriedigenden Resultaten führen oder unnötig Zeit kosten.

**Also – springen Sie über Ihren Schatten – es zahlt sich aus !!!**



## 2. Der Stator

### 2.1 Berechnung der benötigten Windungs-Zahl, Drahtstärke und Drahtlänge

Nun muss spätestens entschieden werden, wie der Motor später eingesetzt werden soll. Durch Vorgabe von verschiedenen Parametern wie Anzahl und Art der Akkuzellen, maximal zugeführter elektrischer Leistung, verwendeter Luftschraube, Betriebsdrehzahl, gewünschter Motorlaufzeit usw. lässt sich ziemlich genau die optimale Wicklung berechnen.

Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen, sollte generell versucht werden, so viel wie möglich Kupfer in den Statornuten zu verstauen und den elektrischen Widerstand der Wicklung so niedrig wie möglich zu halten, d.h. einen möglichst grossen Drahtquerschnitt zu verwenden. Diese beiden Eigenschaften widersprechen sich jedoch in manchen Fällen, so dass es oftmals sinnvoll ist, mehrere Drähte (gleichzeitig) parallel zu wickeln. Das erlaubt die Herstellung von grösseren Leitungsquerschnitten bei Verwendung von dünneren, flexibleren Drähten. Dem „Wickel-Anfänger“ sei empfohlen, keine Drahtdurchmesser grösser als 0.8mm beim TM280, 1.0mm beim TM 350 und 1.1mm beim TM430 zu verwenden, und nicht mehr als 2 Drähte parallel zu wickeln – auch das ist für den Anfang schon genügend Herausforderung.

Ein auf ca. 1% genaues Excel-Berechnungs-Programm ist auf der mitgelieferten CD zu finden oder kann von der **Torcman** Homepage <http://www.torcman.de> heruntergeladen werden.

Die Bedienung ist im Programm selbst erklärt.

Da bei der Bausatz-Bestellung der Drahtquerschnitt schon bekannt sein sollte, bietet die **Fa. Torcman** ihren Kunden auch den kostenlosen Service, die Berechnung durchzuführen.

Die nachfolgenden Formeln erlauben es aber, ohne theoretische Kenntnisse und Computer die Wicklungsdaten des Wunschmotors mit Hilfe eines Taschenrechners schnell zu berechnen. Hierzu mussten einige Vereinfachungen vorgenommen werden, die die Genauigkeit des Ergebnisses auf ca. 10% reduzieren. Abweichungen dieser Grössenordnung lassen sich aber durch Anpassen der Luftschraube problemlos kompensieren.

Als Faustregel für die benötigte elektrische Leistung gilt im allgemeinen für Elektrosegler 75-125W pro Kilogramm Fluggewicht, für Motorflugmodelle und Hotliner 150-250W pro Kilogramm.

#### Vorgegebene Parameter :

**Z** - Anzahl der NiCd oder NIMH Zellen

**P** - gewünschte Leistung in Watt

**n** - Drehzahl der Luftschraube pro Minute (aus dem Aeronaut Graph im Anhang ermitteln)

**H** - Statorlänge in mm

**D** - Statordurchmesser in mm

Die farblich abgesetzten Beispiel-Werte gelten für einen TM350-20 mit :

**Z = 10, P = 400W, n = 6550rpm** für LS 14x8 (aus Graph), **H = 20mm, D = 35mm**

#### Gesucht :

**N** - Windungszahl pro Zahn in einem Dreieckssystem mit seriell geschalteten, gegenüberliegenden Spulen (häufigste Wickel- und Verdrahtungs-Technik bei LRK-Motoren. Die Vorteile sind gleichmässige Spulenströme und sehr wenige Lötverbindungen in der Wicklung).



Vorgehensweise :

Aus dem Aeronaut-Graph im Anhang eine für das Modell etwa passende Luftschraube auswählen (Fluggeschwindigkeit, Rumpffquerschnitt, Bodenfreiheit usw. berücksichtigen), und die zur gewünschten Leistung  $P$  zugehörige Drehzahl  $n$  ablesen.

1. Berechnung des Arbeitsstromes :

$$I = P / ( Z * 1.05 ) \quad \text{Beispiel : } I = 400 / (10 * 1.05) = 38A \quad (\text{für gepushte Zellen Faktor 1.10 verwenden})$$

2. Berechnung der EMK (ElektroMagnetischeKraft)-Spannung des Motors

$$U_{emk} = Z * 1.26 - I * ( Z * 0.006 + 0.03 ) \quad \text{Beispiel: } U_{emk} = 10 * 1.26 - 38 * ( 10 * 0.006 + 0.03 ) = 9.18 V$$

3. Berechnung der Drehzahl pro Volt

$$ns = n / U_{emk} + I * 4900 / D^2 \quad \text{Beispiel: } ns = 6550 / 9.18 + ( 38 * 4900 / 35^2 ) = 865 \text{ rpm/V}$$

4. Berechnung der Windungszahl pro Zahn (für Jeti und Hacker Controller)

$$\text{Für TM280 : } N = 270000 / ( H * ns )$$

$$\text{Für TM350 : } N = 220000 / ( H * ns ) \quad \text{Beispiel: } N = 220000 / ( 20 * 865 ) = 12.7 \sim 13 \text{ Windungen/ Zahn}$$

$$\text{Für TM430 : } N = 163000 / ( H * ns )$$

**Bitte beachten :**

*Bei Verwendung des Actro ist die Windungszahl um 8% zu reduzieren!*

5. Berechnung des Drahtquerschnittes A

$$\text{Für TM280 : } A = 9 / N$$

$$\text{Für TM350 : } A = 14 / N \quad \text{Beispiel: } A = 14 / 13 = 1.07 \text{ mm}^2$$

$$\text{Für TM430 : } A = 25 / N$$

6. Berechnung des Drahtdurchmessers D

bei Einzeldraht-Wicklung :

$$D = 1.13 * \sqrt{A} \quad \text{Beispiel: } D = 1.13 * \sqrt{1.07} = 1.16 \text{ mm} \sim 1.2\text{mm}$$

bei 2 parallelen Drähten :

$$D = 0.8 * \sqrt{A} \quad \text{Beispiel: } D = 0.8 * \sqrt{1.07} = 0.83 \text{ mm} \sim 0.85\text{mm}$$

Der Motor im obigen Beispiel muss also mit 13 Windungen 1.2mm einfach oder 0.85mm doppelt Cu-Lackdraht bewickelt werden, um die gewünschte Leistung bei den gegebenen Parametern zu bringen. Da jedoch ein 1.2mm-Draht beim 350er Blechschnitt schwierig zu verlegen ist, ohne die Statorbleche zu beschädigen, empfiehlt sich die Parallelwicklung von 2 Drähten. Theoretisch könnten auch mehrere noch dünnere Drähte parallel gewickelt werden, allerdings wird dabei der Füllgrad der Nuten wieder schlechter und ein sauberer Wicklungsaufbau nahezu unmöglich.



Tabelle mit maximalen Windungszahlen (Erfahrungswerte) :

Stator\ Draht	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0	1.1	1.25	1.4
TM280	44	36	32	28	24	20	16	12	-	-	-	-
TM350	50	44	36	32	28	26	24	22	20	18	12	-
TM430		-	-	40	36	34	32	30	28	24	20	18

Bei Parallelbewicklung halbieren sich die maximalen Windungszahlen in obiger Tabelle !

Ermittlung der benötigten Drahtlänge L pro Wicklung (= 2 Zähne) bei 100mm Anschlussdraht :

$H_g =$  Gesamthöhe Statorpaket (= H + 2mm)

$N =$  Anzahl der Windungen/Zahn

TM280 :  $L = N * (4 * H_g + 18) + 200\text{mm}$  (bei Parallelwicklung verdoppeln !!!)

TM350 :  $L = N * (4 * H_g + 24) + 200\text{mm}$  (bei Parallelwicklung verdoppeln !!!)

TM430 :  $L = N * (4 * H_g + 28) + 200\text{mm}$  (bei Parallelwicklung verdoppeln !!!)

Für obiges Rechenbeispiel ( $H_g = 22\text{mm}$ ,  $N = 13$  Windungen) ergibt sich dann eine Drahtlänge  $L = 13 * (4 * 22\text{mm} + 22\text{mm}) + 200\text{mm} = 1630\text{mm}$ ,

da Parallelwicklung :

$1630\text{mm} * 2 = 3260\text{mm}$ .

Es empfiehlt sich etwas Sicherheit einzubauen und auf 3,5m aufzurunden. Insgesamt sind also  $3 * 3,5\text{m} = 10,5\text{m}$  Cu-Draht mit 0.85mm Durchmesser erforderlich. Sollte der genaue Durchmesser nicht verfügbar sein, wird zum nächstliegenden Wert auf- oder abgerundet.

CU-Draht-Nenn-Durchmesser ohne Lack [mm]	Cu-Querschnitt [mm <sup>2</sup> ]	Widerstand [Milliohm/m]	Ax2 [mm <sup>2</sup> ]	Widerstand [Milliohm/m]	Ax3 [mm <sup>2</sup> ]	Widerstand [Milliohm/m]	Ax4 [mm <sup>2</sup> ]	Widerstand [Milliohm/m]
0.30	0.071	247.57	0.141	123.79	0.212	82.52	0.28	61.89
0.35	0.096	181.89	0.192	90.95	0.289	60.63	0.38	45.47
0.40	0.126	139.26	0.251	69.63	0.377	46.42	0.50	34.82
0.45	0.159	110.03	0.318	55.02	0.477	36.68	0.64	27.51
0.50	0.196	89.13	0.393	44.56	0.589	29.71	0.79	22.28
0.55	0.238	73.66	0.475	36.83	0.713	24.55	0.95	18.41
0.60	0.283	61.89	0.565	30.95	0.848	20.63	1.13	15.47
0.65	0.332	52.74	0.664	26.37	0.995	17.58	1.33	13.18
0.70	0.385	45.47	0.770	22.74	1.155	15.16	1.54	11.37
0.75	0.442	39.61	0.884	19.81	1.325	13.20	1.77	9.90
0.80	0.503	34.82	1.005	17.41	1.508	11.61	2.01	8.70
0.85	0.567	30.84	1.135	15.42	1.702	10.28	2.27	7.71
0.90	0.636	27.51	1.272	13.75	1.909	9.17	2.54	6.88
0.95	0.709	24.69	1.418	12.34	2.126	8.23	2.84	6.17
1.00	0.785	22.28	1.571	11.14	2.356	7.43	3.14	5.57
1.05	0.866	20.21	1.732	10.11	2.598	6.74	3.46	5.05
1.10	0.950	18.41	1.901	9.21	2.851	6.14	3.80	4.60
1.15	1.039	16.85	2.077	8.42	3.116	5.62	4.15	4.21
1.20	1.131	15.47	2.262	7.74	3.393	5.16	4.52	3.87
1.25	1.227	14.26	2.454	7.13	3.682	4.75	4.91	3.57
1.30	1.327	13.18	2.655	6.59	3.982	4.39	5.31	3.30
1.35	1.431	12.23	2.863	6.11	4.294	4.08	5.73	3.06
1.40	1.539	11.37	3.079	5.68	4.618	3.79	6.16	2.84
1.45	1.651	10.60	3.303	5.30	4.954	3.53	6.61	2.65
1.50	1.767	9.90	3.534	4.95	5.301	3.30	7.07	2.48

## 2.2 Vorbereitung zum Bewickeln :

Die sechs zu bewickelnden Pole (jeder zweite) mit wasserfestem Filzstift beschrifteten (1/3/5/7/9/11) – siehe Wickel-Schema. Dann wird die Statorbuchse in den Statorblock eingeschoben und mit der Lagerbuchse verschraubt. Dazu die Buchse am Flansch vorsichtig in den Schraubstock einspannen - zum Schutz der Statorbuchse die Schraubstock-Backen mit Gewebe-Band oder ähnlichem belegen. Mit passendem Gabelschlüssel oder besser, mit passender Nuss die Verschraubung gut festziehen – der Statorblock darf sich gegenüber der Statorbuchse nicht mehr verdrehen lassen.



Vor dem Bewickeln müssen noch die Isolier-Einlagen für die Statornuten aus Isolierpapier zugeschnitten werden. Empfohlen wird die Verwendung des mitgelieferten hitzebeständigen Isolierpapiers (0.1 – 0.25mm Dicke). Die Größe der Zuschnitte ist abhängig von Statordurchmesser und -länge :

Länge x Breite = (Brutto-Statorlänge +2mm) x 24mm für TM280 (z.B.13x24mm für TM280-10)

Länge x Breite = (Brutto-Statorlänge +2mm) x 28mm für TM350 (z.B.16x28mm für TM350-12)

Länge x Breite = (Brutto-Statorlänge +2mm) x 32mm für TM430 (z.B.34x32mm für TM430-40)

## Wickelschema für Dreieck-Schaltung

(Verbindungsbrücken der Wicklungspaare auf Frontseite) :





### 2.3 Aufbringen der Wicklung :

Im Folgenden wird die Wicklung mit 2 parallelen Drähten beschrieben. Bei Einfach-Wicklung bitte die entsprechenden Schritte auslassen.

Zuerst werden die drei benötigten Drahtstücke auf die errechnete Länge zugeschnitten. Der Draht muss über die gesamte Länge frei von Knicken oder Wellen sein, wenn nötig glätten. Danach die drei Drahtstücke nochmals auf gleiche Länge prüfen und ggf. nachschneiden. Jeden Draht an seinen Enden ca. 20mm abisolieren (mit Messer blank machen), und die Enden miteinander verdrehen (2-3 Umdr.) und den Draht in der Mitte falten. Damit ist bereits der benötigte Paralleldraht hergestellt. Dieses



Doppel-Drahtstück genau in der Mitte mit einem wasserfesten Filzstift markieren und dort ein ca. 14/20/25mm (TM280/350/430) langes Stück Schrumpfschlauch (so dünn wie möglich) an dieser Stelle aufschrumpfen. Statt Schrumpfschlauch kann auch glasfaser-verstärkter Isolierschlauch verwendet werden, dessen Position mit einem Tropfen Sekundenkleber sichern.

Auch beim Bewickeln gibt es viele Philosophien und Varianten. Hier sei nur die Vorgehensweise beschrieben, die sich nach vielen Versuchen und Fehlschlägen als Einfachste und Sicherste bewährt hat. Dennoch sollte man beim Drahtkauf nicht zu knausrig sein – es ist sehr wahrscheinlich, dass man die eine oder andere Wicklung mehrmals machen muss, bis das gewünschte Ergebnis vorliegt.

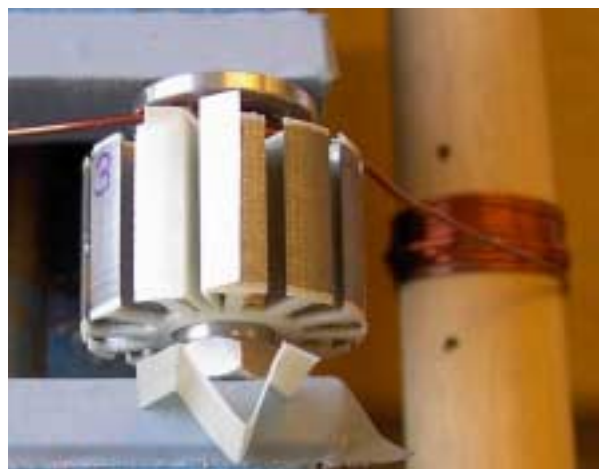
Es empfiehlt sich, das im Anhang befindliche Wickelprotokoll-Blatt auszudrucken und zu verwenden. Es ist auch als Dokumentation für nachfolgende Projekte sehr nützlich.

Die Reihenfolge der Bewicklung ist Zahn 1/7 – 3/9 – 5/11. Es wird jeweils von der Mitte des Drahtes (Markierung/Schutzschlauch) aus nach aussen gewickelt. Dies hat den Vorteil, dass (theoretisch) nur bei der Bewicklung des ersten Zahnes mitgezählt werden muss, und bei den Folgenden nur noch so lange gewickelt wird, bis dieselbe Restlänge erreicht ist. Da eine Windung z.B. beim 350-20er Stator durchschnittlich ca. 60mm lang ist, sind Fehler durch ungleiche Windungszahlen so kaum noch möglich. Zur Kontrolle (und fürs bessere Gewissen) kann es jedoch nicht schaden, die restlichen Wicklungen trotzdem zu zählen. Das klappt am Besten mit Hilfe der Strichliste auf dem Wickelprotokoll-Blatt, auf der jede Windung mit einem Bleistiftstrich quittiert wird. Zum Wickeln sollte man sich viel Zeit nehmen und alle störenden Einflüsse (Kinder, Ehefrauen/-männer, Radio, Fernseher ...) abstellen bzw. anderweitig beschäftigen.

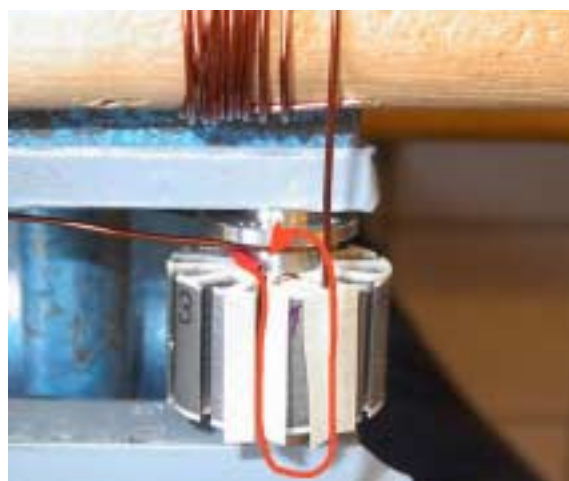
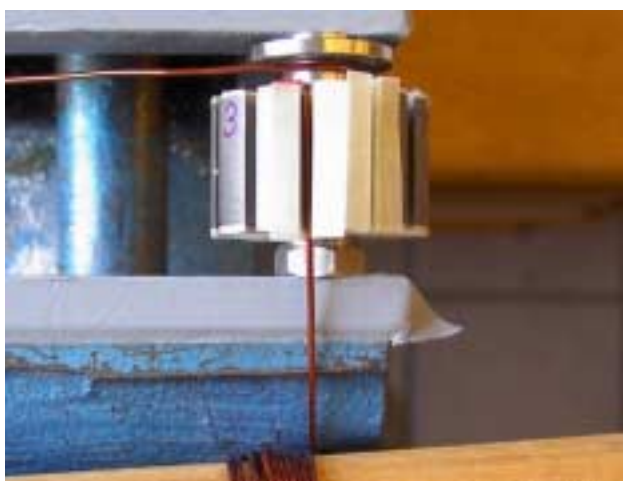
Da, abhängig vom Drahtdurchmesser, hohe Zugkräfte beim Wickeln erforderlich sind, empfiehlt sich die Verwendung von Leder-(Garten)-Handschuhen oder besser noch, einem „Zugholz“. Dies ist ein hartes Stück Rundholz mit 15-25mm Durchmesser, 120 –180mm Länge und einer Querbohrung in der Mitte. Auf dieses Rundholz wird dann die komplette Wicklung für einen Zahn aufgewickelt, und Windung für Windung wieder abgerollt. Dadurch wird auch die Handhabung langer Drahtenden vereinfacht.



Zu Beginn wird der Stator an der Stator-Buchse in den Schraubstock eingespannt (Backen bekleben !), mit Zahn 1 nach oben überstehend. Den Draht mit seiner Mitten-Markierung (Schrumpfschlauch) zwischen dem Flansch der Statorbuchse und dem Stator anlegen und einmal um die Statorbuchse schlingen. Dabei muss der Schrumpfschlauch genau zwischen den zwei zu bewickelnden Zähnen liegen. Das vorerst lose Ende (Wicklung für Zahn 7) mithilfe einer Schraubzwinde ö.ä. gegen Wegrutschen sichern. Um Kurzschlüsse zwischen Draht und Stator schon während dem Bewickeln erkennen und beheben zu können, empfiehlt sich der Anschluss eines Durchgangsprüfers in Form eines Multimeters, eines Piepsers oder einer Lampe mit Batterie. Ein Kontakt kommt ans lose Ende, der andere wird an der Statorbuchse befestigt. Wichtig hierbei ist, dass der CU-Draht vorher an beiden Enden am Kontaktbereich mit dem Messer vom Isolierlack befreit wird. Die Isolierung wird wie abgebildet V-förmig vorgefaltet und links und rechts des Zahnes eingeschoben.



Jetzt wird die erste Windung eingebracht – Wicklungsrichtung anhand der Grafik und den Fotos beachten. Beginnt man von der Mitte, werden alle Zähne im **gleichen Drehsinn** (hier im Gegenuhrzeigersinn, bezogen immer auf den gerade oben liegenden, bewickelten Zahn) bewickelt. **Am Schluss muss sich der Draht-Ein- und Austritt bei allen Zähnen auf derselben Seite des jeweiligen Zahnes befinden.** Die Wicklungen müssen dicht aneinander liegend und ohne Überkreuzungen eingebracht werden. Wenn nötig, nach jeder Windung den Draht mit Hilfe eines kleinen Sperrholz- oder Epoxy-Plättchens an die Zahnwand drücken. Für die erste Wicklung empfiehlt es sich, eine Strichliste zu führen. Bei Drahtdurchmessern  $>0.7\text{mm}$  sollte man zum Ziehen des Drahtes wie abgebildet ein Zugholz verwenden.

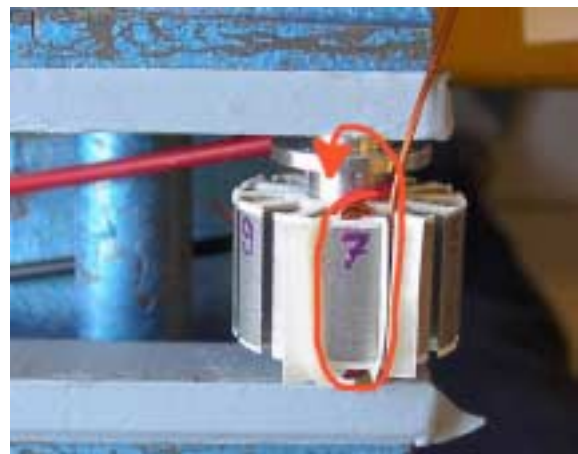




Vor der zweit- oder drittletzten Windung wird der Überstand des Isolierpapiers an den beiden unbewickelten Nachbarzähnen bündig abgeschnitten. Die beiden inneren Überstände werden auf 3-4mm Breite gekürzt und unter die Äusseren eingeschlagen. Diese Nutabdeckung kann dann noch zusätzlich mit Sekundenkleber gesichert werden – überschüssigen Kleber sofort abtupfen.



Den Statorblock aus dem Schraubstock nehmen und das umschlungene lose Ende abwickeln. Die Position des Schrumpfschlauches, der als Schutz der Verbindungs-Brücke zwischen den beiden Zähnen dient, prüfen und wenn nötig korrigieren .



Jetzt den Stator wieder in den Schraubstock spannen - gegenüberliegenden Zahn 7 nach oben. Isolierung einlegen und den Draht bis zum zweiten Zahn (Zahn 7) um die Statorbuchse schlingen und dort einfädeln. Den zweiten Zahn im gleichen Drehsinn wie zuvor Zahn 1 bewickeln.

Die Zähne 3/9 und 5/11 auf dieselbe Weise bewickeln bis die verbleibenden Draht-Anschlüsse gleich lang sind. Dabei den Isolierschlauch der Verbindungsbrücken nicht beschädigen und möglichst platzsparend (an der Statorbuchse anliegend) verlegen.

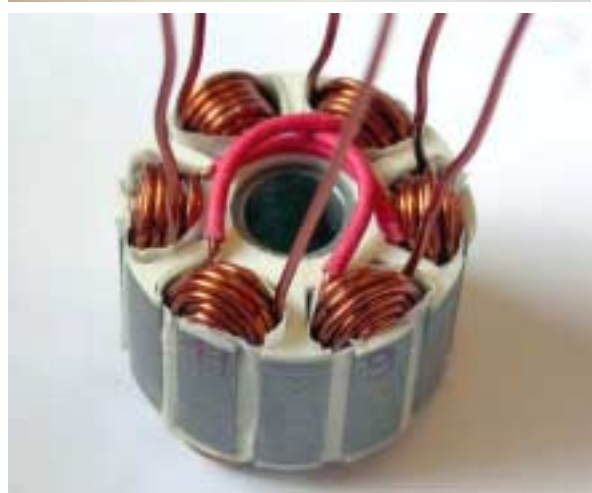
Sind alle Wicklungen aufgebracht, sollten sie vor dem endgültigen fixieren nochmals auf Kurzschlüsse gegen den Stator bzw. gegen die anderen Wicklungen geprüft werden.

Falls ein Induktivitäts-Messgerät (LCR-Meter) mit dem Bereich 30 bis 200 uH vorhanden ist, können die noch unverdrahteten Spulenpaare auf gleiche Windungszahl, aber auch auf Kurzschlüsse der Windungen untereinander geprüft werden. Die drei gemessenen Werte dürfen sich nicht mehr als 4% voneinander unterscheiden, sonst liegt ein Fehler in der Wicklung vor.

Zur Kontrolle der Brückenverbindungen die Statorbuchse noch einmal entfernen. Ist alles in Ordnung werden die oberen und unteren Wickelwülste mit einigen Tropfen Epoxidharz versiegelt. Das verhindert spätere Bewegungen in der Wicklung und damit verbundene Kurzschlüsse.

Beim endgültigen Montieren der Statorbuchse darauf achten, dass eine der vier Gewindebohrungen des Flansches genau auf Zahn 11 weist. Das ermöglicht ein günstiges Verlegen der Anschlusskabel durch den Front-Deckel.

Die Wicklungen 1 und 11, 3 und 5 sowie 7 und 9 werden bei der Dreieck-Schaltung miteinander verbunden und so verlegt, dass alle drei Anschlüsse auf einer Seite herausgeführt werden können. 1/11 liegt dann in der Mitte zwischen 3/5 und 7/9. Alle Drähte zurechtbiegen, auf die gewünschte Endlänge abschneiden und mit Schrumpfschlauch oder Glasgewebe-Schlauch schützen. An der Stelle des Gehäusedurchtrittes zwei Lagen Schrumpfschlauch übereinander legen (bei Glasgewebe genügt eine Lage).



Jetzt werden noch die Kugellager in die Lagerbuchse und Statorbuchse eingedrückt. Dabei die Lager nicht verkanten und nicht am Innenring pressen. Gut funktioniert das Einpressen im Schraubstock mit geschützten Backen. Sollten die Lager nicht genügend Halt haben, müssen Sie mit etwas Sicherungslack (Loctite 648 o.ä.) oder Sekundenkleber fixiert werden. Hierzu die Lager ca. 30% in die Bohrung schieben, und mit einer Stecknadel eine sehr kleine Menge Kleber aufbringen. Dann das Lager mit einem Tuch, welches den überschüssigen Klebstoff aufnimmt vollends eindrücken und aushärten lassen



Alle Drahtenden sorgfältig auf ca. 10mm Länge mit einem scharfen Messer abisolieren (blank kratzen) und verzinnen. Die zusammengehörenden Drähte verdrillen und verlöten. Dann die Anschlüsse passend zu den Bohrungen des Frontdeckels zurechtbiegen und einfädeln. Den Frontdeckel mit den zwei beiliegenden Senk-Schrauben befestigen. Damit ist der Stator fertiggestellt und die mühevollste Arbeit abgeschlossen .

### 3. Der Rotor

#### 3.1 Verkleben des Rotors und der Magnete

Der „*Torcman eco*“ Teilesatz ist so konstruiert, dass das Einkleben der Magnete ohne zusätzliche Hilfs-Vorrichtung durchgeführt werden kann. Als Klebstoff für die Rotor-Teile und Magnete sollte Uhu Plus Endfest 300 verwendet werden. Sekundenkleber oder anaerobe Kleber haben sich hier durch die grossen Spalte nicht bewährt.

**Vorsicht ! Die Magnete sehr sorgfältig behandeln und nie gegeneinander oder gegen andere magnetische Gegenstände schnappen lassen – sie sind spröde und brechen sehr leicht !!!**



Zuerst müssen die zu verklebenden Teile vorbereitet werden. Den Rückschlussring auf der Innenseite gut mit Schmirgelpapier aufräumen und mit Aceton oder Spiritus entfetten. Ebenso den Bund (Fläche mit V-Nut) des goldfarbenen Mitnehmer-Teiles vorbehandeln. Den Bund dünn mit Uhu Plus bestreichen (Nut füllen), dabei aber die Zähne und Zahnzwischenräume freilassen (!). Rückschlussring mit Drehbewegung langsam aufschieben bis er ganz am Mitnehmer anliegt. **Zwischen den Zähnen darf sich auch nach dem Aufschieben kein Kleber befinden – ggf. entfernen.** Klebestelle aushärten lassen – dies kann durch Erwärmen im Backofen (mittlere Schiene), auf dem Mitnehmer stehend, bei 50-70

Grad beschleunigt werden. **Glocke auf keinen Fall auf den Boden des Backofens stellen, da dort oft viel höhere Temperaturen herrschen.** Bei Warmaushärtung kann bereits nach 30 Minuten mit dem Einkleben der Magnete fortgefahren werden.

Die 14 Magnete auf einem ebenen Stück Stahlblech aufreihen, und darauf achten, dass immer abwechselnd N und S der Magnete oben sind. Mit dem letzten Magneten durch Entlangführen an der Reihe nochmals prüfen ob er abwechselnd angezogen und abgestossen wird.

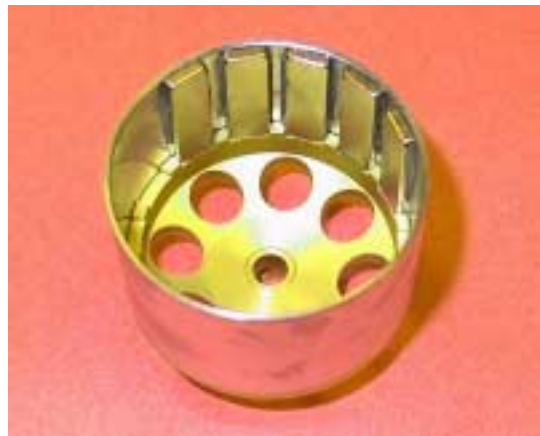
Dann mit feinem Schmirgelpapier (150 – 220) die Nickelschicht auf der Oberseite leicht aufräumen und entfetten. Magnete mit wasserfestem Filzstift durchnummerieren von 1 bis 14. Dann mit einem Spatel (oder mit dem Finger) eine dünne, gleichmässige Schicht Uhu Plus auftragen (vorher gut mischen !!!).



Jetzt können die Magnete in der Reihenfolge von 1 bis 14 in den Rotor eingesetzt werden. Vorher nochmals prüfen, ob sich keine Kleber-Rückstände zwischen den Positionierungs-Nuten des Mitnehmers befinden. Am besten die Magnete mit einer kleinen Flachzange an einem Ende greifen, das freie Ende in die Nut des Mitnehmers einführen und den Magneten vorsichtig gegen den Rückschlussring klappen. Von oben den Magneten fest in die Nut drücken und prüfen ob er sauber in der Nut anliegt (wichtig, da sonst nicht rechtwinklig !).



Einen Magneten nach dem Anderen einsetzen, dabei keine Lücken lassen und immer dieselbe Drehrichtung im Rotor beibehalten. Da die Magnete sehr stark sind, müssen sie bei dieser Arbeit gut mit der Zange festgehalten werden, sonst ziehen sie sich gegenseitig an. Sind alle Magnete eingebaut, Kleber-Rückstände an der Oberseite und auf den Magnet-Innenflächen entfernen und Ausrichtung nochmals überprüfen. Das Aushärten im Ofen darf bei **maximal 60 Grad** auf der mittleren Schiene (nie auf dem Boden des Backofens !!!) für ca. 30 Minuten stattfinden. Sind die Magnete längere Zeit zu hohen Temperaturen ausgesetzt, verlieren Sie deutlich an Kraft und der Motor erreicht nicht seine beste Effektivität.



#### **Vorsicht :**

Manche Backöfen regeln die Temperatur nur sehr ungenau und schießen weit über die eingestellte Temperatur hinaus. Am besten Backofen vorheizen auf Solltemperatur, abschalten und erst dann die Teile einlegen. Die Restwärme reicht vollauf für die Aushärtung aus.



### 3.2 Ausfügen der Magnet-Zwischenräume

Die folgenden Arbeitsschritte, das Ausfügen der Magnete-Zwischenräume wird manchem unnötig erscheinen, hat sich jedoch in der Praxis als sehr einfache und wirkungsvolle Methode gegen das Herausbrechen von Magneten bewährt. Es gibt leider Regler auf dem Markt, die bei Verwendung mit LRK-Motoren ab und zu ausser Tritt kommen und abrupt stoppen. Passiert das bei hoher Last, kann es vorkommen, dass dadurch die Nickel-Schicht der Magnete abgelöst wird und sich ein Magnet löst. Durch Vergiessen der Zwischenräume mit eingedicktem Epoxidharz kann das ohne wesentlichen Gewichtszuwachs verhindert werden.

Dazu eine geringe Menge (5-10g) Epoxy anmischen und mit Microballoons (Füllstoff) zu einer steifen, schlagsahne-artigen Spachtelmasse verrühren. Wichtig ist, dass die Masse nicht mehr fließen kann ! Mit einem Spatel die Epoxy-Masse in die Fugen zwischen den Magneten eindrücken, dabei versuchen, Lufteinschlüsse zu vermeiden. Anschliessend mit einem Holz-Stäbchen die überschüssige Masse wieder entfernen. Mit einem Tuch (getränkt mit Aceton oder Methanol) die Magnete wieder reinigen und alle Epoxy-Reste entfernen.



Aushärten kann entweder wieder im Ofen bei maximal 60Grad (siehe oben !) oder über Nacht erfolgen – abhängig vom verwendeten Epoxidharz.

Nach dem Aushärten muss nur noch die Welle eingeschoben und mit 3 Wurmsschrauben gleichmässig und gut festgezogen werden. Sollte sich die Welle nicht ohne Gewalt einschieben lassen, den Mitnehmerflansch leicht erwärmen (Heissluftgebläse oder kurz auf Herdplatte stellen). Bei Betrieb im oberen Leistungsbereich empfiehlt sich, die Welle zusätzlich mit Loctite 601 oder 648 (zu Not auch mit Sekundenkleber) im Mitnehmer zu sichern, oder mit der Dremel (kleine Schleifscheibe) kleine Kerben in die Welle einzubringen um für einen sichereren Sitz zu sorgen. Als Sonder-Zubehör sind ausserdem geschliffene Wellen mit Bund erhältlich, die einen festen Anschlag bilden. Diese sind jedoch hauptsächlich für den Betrieb als Aufbaumotor gedacht (siehe Kapitel 5 „Tipps zum Einbau“).



### 3.3 Zusammenbau Stator - Rotor

Jetzt kommt der grosse Moment – Stator und Rotor werden „vereint“ - **aber Vorsicht !!!** Wenn man den Rotor mit der Rotorwelle voraus durch das Kugellager auf den Stator schiebt, **werden die beiden Teile mit enormer Kraft zusammengezogen**. Der Rotor darf dabei **nicht**

„reinschnappen“, da sonst eine Beschädigung des Kugellagers möglich ist. Ausserdem besteht dabei grosse Gefahr, sich die Finger zwischen Frontdeckel und Rückschlussring einzuklemmen. Am Besten man hält mit einer Hand den Stator an den Statorblechen, und schiebt den Rotor mit der anderen Hand gegen die Finger. Dann schiebt man die Finger langsam zurück und lässt den Rotor sanft einfahren. Ist alles korrekt, muss sich der Rotor ohne Reibung drehen lassen, wenn man den Motor mit einer Hand am Frontdeckel festhält. Sind Widerstände oder

Reibgeräusche zu hören, muss der Rotor und die Wicklung überprüft werden, und überstehende Teile beseitigt bzw. zurechtgebogen werden. In den meisten Fällen sind dann entweder die feinen Spitzen des Statorbleches beim Bewickeln etwas verbogen worden oder die Wicklung/Isolation steht zu weit über und streift.



#### 4. Erste „Gehversuche“ - Probelauf

Hat man es so weit geschafft, gibts natürlich kein Halten mehr – das Ding muss Strom sehen. Auch hier ist es wieder sinnvoll ruhig und gelassen ans Werk zu gehen. Für den ersten Probelauf den Motor entweder in ein Modell einbauen oder eine provisorische Haltevorrichtung basteln. Dann die drei Wicklungs-Anschlüsse mit dem Regler-Ausgang verbinden. Da diese Motoren in ihrer Maximal-Drehzahl durch den angeschlossenen Regler automatisch begrenzt werden, kann man sie auch gefahrlos ohne Luftschraube betreiben. Um eine Beschädigung des Reglers auszuschliessen, sollte man die ersten Start-Versuche mit einem fast leeren Akku durchführen. Leider vetragen die meisten Brushless-Regler kein Netzteil mit Strombegrenzung – das wäre sonst die elegantere Art. Je nach Wicklung und Zellenzahl muss man bei Vollgas ohne Last mit 1 bis 5A Leerlaufstrom rechnen.

Zuerst den Sender einschalten, dann den Regler anklemmen und, bei Optokopler-Betrieb, Empfänger-Versorgung anschliessen. Je nach verwendetem Regler muss die Inbetriebnahme (Setup/Programmierung) nach dessen Anleitung vorgenommen werden.

Bei programmierbaren Drehzahlstellern wie dem „**Hacker Master**“ empfiehlt sich im ersten Anlauf die *Timing Stufe 3* (18 Grad „Vorzündung“) und *Schaltfrequenz 8kHz*. Im späteren Betrieb kann noch mit Timing-Stufe 4 und anderen Schaltfrequenzen experimentiert werden. Der Betrieb ohne „Vorzündung“ kann den Drehzahlsteller oder Motor überhitzen.

Dann Gasknüppel am Sender langsam hochschieben. Läuft der Motor ohne Probleme an, kann die Drehzahl langsam bis zum Maximum gesteigert werden. Da ohne Last betrieben wird, darf weder Motor noch Regler merkliche Wärme erzeugen. Das Laufgeräusch muss leise, ohne Vibration und ohne Reibgeräusche sein.

Treten Abweichungen zur obigen Beschreibung auf, den Motor abstellen, Akku abtrennen, Fehlerquelle suchen und beheben. Dreht der Motor in der falschen Richtung, müssen nur zwei der drei Anschlüsse zwischen Regler und Motor gegeneinander vertauscht werden.

Stellt der Regler vorzeitig ab, kann das am leeren Akku liegen. Dann im zweiten Versuch einen teil-geladenen Akku verwenden und die Prozedur wiederholen. Geht das gut, kann man versuchen, den Motor unter Belastung, d.h. mit Luftschraube zu betreiben. Vorher prüfen, ob die Vorrichtung



der Luftschraube genügend Platz lässt und sie nirgends berühren kann.

Um die genauen Kenndaten des Motors zu ermitteln ist es notwendig Strom, Spannung und Drehzahl zu messen. Beim Betrieb mit der Wunschluftschraube (siehe Berechnung der Wicklung) mit der angegebenen Zellenzahl lässt sich durch Messen der Drehzahl schnell kontrollieren, ob der Motor im gewünschten Leistungs-Spektrum arbeitet. Genaue Erfassung der Wellenleistung und des Wirkungsgrades erfordern allerdings sehr aufwändige Messungen auf einem Leistungsprüfstand.

Auf Wunsch kann Ihr Motor gegen eine Unkostenpauschale im **Torcman**-Labor vermessen und die Ergebnisse aufbereitet werden.

## 5. Tipps zum Einbau

### 5.1 Einbau-Montage

Die **Torcman** Motoren-Serie wurde bewusst für den Einbau in Flugmodell-Rümpfe konstruiert. Zur Montage des Motors ist lediglich ein Spant (GFK oder Sperrholz) erforderlich, der mit den entsprechenden Bohrungen versehen wird. Deren Positionen und Abmessungen sind der Zeichnung/Tabelle auf der folgenden Seite zu entnehmen. Fertige GFK-Spante mit verschiedenen Durchmessern sind als **Torcman-Zubehör** erhältlich

Obwohl Motoren nach dem LRK-Prinzip einen sehr guten Wirkungsgrad besitzen, erwärmt sich die Wicklung bei hoher Belastung und benötigt etwas kühlende Luft. Es hat sich bewährt, den Motorspant mit demselben Lochmuster wie dem des Frontdeckels zu versehen, und ggf. noch seitliche Schlitze in den Rumpf einzubringen. Dabei kann der Frontdeckel zum Anzeichnen oder sogar als Bohrlehre verwendet werden.

Folgende Punkte sind zu beachten :

- Die Motor-Befestigungs-Schrauben dürfen die vorgeschriebene Eintauchtiefe nicht überschreiten, da es sonst zu Kurzschlüssen mit der Wicklung kommen kann !!!
- Es muss genügend Platz für die Kabel vorgesehen werden, so daß sie nicht an der rotierenden Glocke streifen können. Die Kabel sollten im Rumpf fixiert werden.
- Bei sehr schlanken Rümpfen empfiehlt sich der Einsatz eines Verlängerungs-Kits, welches als **Torcman-Zubehör** erhältlich ist



## 5.2 Aufbau-Montage

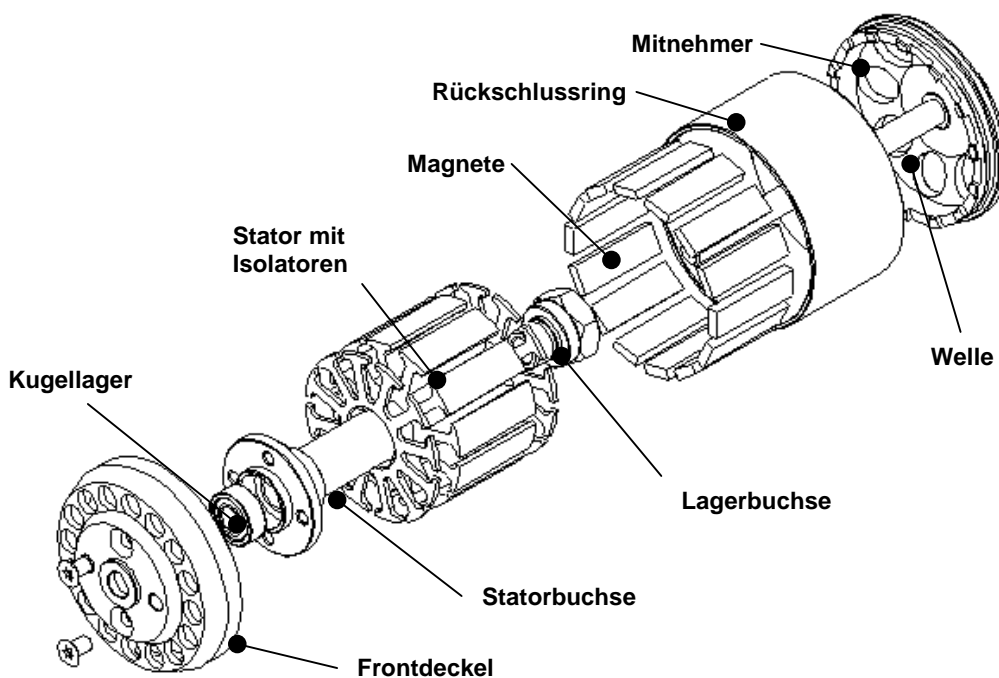
Mit geringen Modifikationen lassen sich alle Motoren der *Torcman-Serie* auch als Aufbau-Motor einsetzen. Hierzu muss lediglich die Welle auf der Mitnehmer-Seite durchgeschoben werden, und auf der Frontseite einen Bund bekommen, der die Zugkraft des Propellers aufs Lager leitet. Bei Druck-Antrieben ist dieser Bund nicht erforderlich. Im *Torcman*-Lieferprogramm sind solche Wellen als Zubehör erhältlich, man kann sich jedoch auch durch einen Stellring mit einer Messinghülse behelfen (siehe Bild). Hier muss jedoch auch sehr festen Sitz des Stellringes geachtet werden – am besten Welle mit einer Einkerbung/Abflachung versehen. Auch hier sollte der Motorspant mit demselben Lochmuster wie dem des Frontdeckels versehen werden, um keinen Luftstau zu verursachen.

Folgende Punkte sind zu beachten :

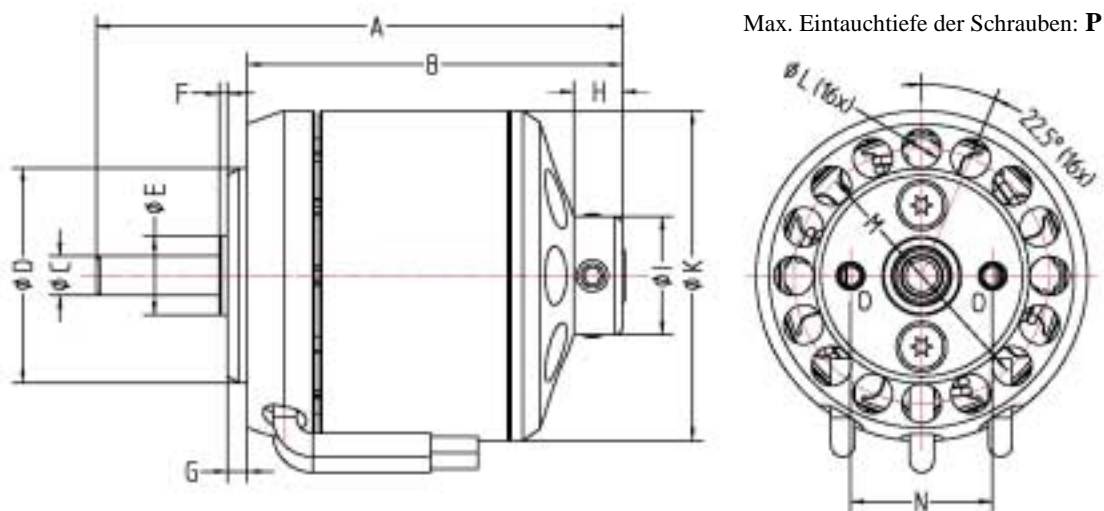
- Die Motor-Befestigungs-Schrauben dürfen die vorgeschriebene Eintauchtiefe nicht überschreiten, da es sonst zu Kurzschlüssen mit der Wicklung kommen kann !!!
- Der Motor-Spant muss ausreichen steif dimensioniert werden, da jetzt die gesamte Masse des Motors plus Luftschraube auf der selben Seite hängt.
- Nur gut ausgewuchtete Luftschrauben verwenden



## 6. Explosionszeichnung / Einzelteile / Abmessungen



### Abmessungen Torcman 280-xx/350-xx/430-xx

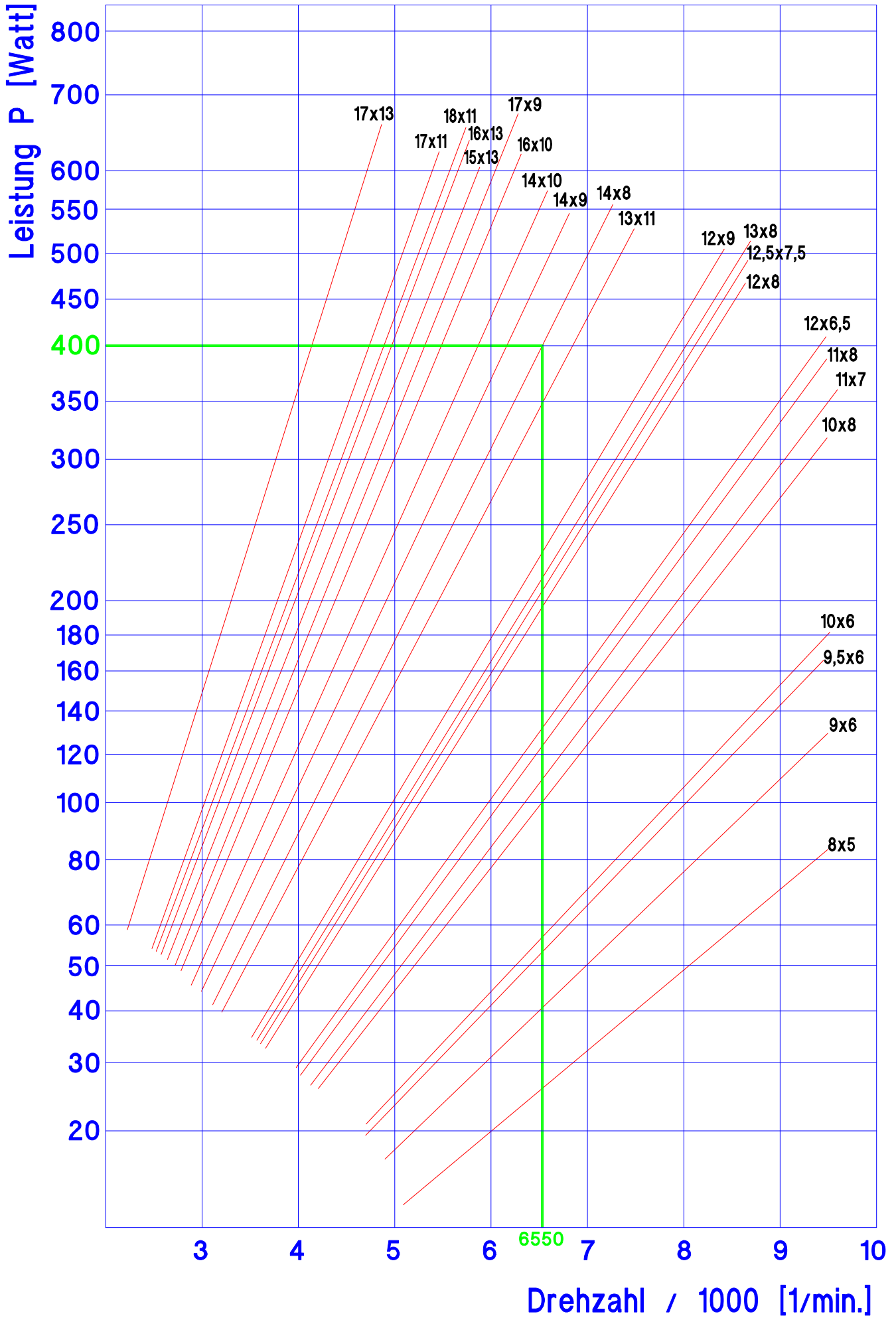


	A <sup>(*)</sup>	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
<b>280-05</b>	40	26.0	4.0	21.5	8.0	0.8	2.0	4.0	11.0	34.4	4.0	26.0	15.0	M2.5	4.5
<b>280-10</b>	50	31.0	4.0	21.5	8.0	0.8	2.0	4.0	11.0	34.4	4.0	26.0	15.0	M2.5	4.5
<b>280-15</b>	50	36.0	4.0	21.5	8.0	0.8	2.0	4.0	11.0	34.4	4.0	26.0	15.0	M2.5	4.5
<b>280-20</b>	60	41.0	4.0	21.5	8.0	0.8	2.0	4.0	11.0	34.4	4.0	26.0	15.0	M2.5	4.5
<b>350-12</b>	60	40.0	5.0	27.3	10.0	1.0	2.5	6.0	15.0	42.0	5.0	32.4	18.0	M3	5.0
<b>350-20</b>	75	48.0	5.0	27.3	10.0	1.0	2.5	6.0	15.0	42.0	5.0	32.4	18.0	M3	5.0
<b>350-28</b>	80	56.0	5.0	27.3	10.0	1.0	2.5	6.0	15.0	42.0	5.0	32.4	18.0	M3	5.0
<b>430-20</b>	80	53.5	6.0	34.0	12.0	2.0	3.0	6.0	18.0	52.0	6.0	41.0	24.0	M4	7.5
<b>430-30</b>	90	63.5	6.0	34.0	12.0	2.0	3.0	6.0	18.0	52.0	6.0	41.0	24.0	M4	7.5

A<sup>(\*)</sup> = Wellenlänge kann variieren bzw. angepasst werden  
Alle Abmessungen in Millimeter, Abweichungen vorbehalten

# AERONAUT CAM CARBON

Werte gültig für 42mm Mittelstück !!!





# TORCMAN Wickelprotokoll

Statordurchmesser : \_\_\_\_ mm      Statorlänge : \_\_\_\_ mm

Berechnete Windungszahl : \_\_\_\_      Paralleldrähte : \_\_\_\_

Drahtdurchmesser : \_\_\_\_ mm      Isolator-Zuschnitt : \_\_ x \_\_ mm

Ermittlung der benötigten Drahtlänge L pro Wicklung (= 2 Zähne) bei 100mm Anschlussdraht :

$$H_g = \text{Gesamthöhe Statorpaket (} \sim H + 2\text{mm)} \quad / \quad N = \text{Anzahl der Windungen/Zahn}$$

$$\text{TM280 : } L = N * (4 * H_g + 18) + 200\text{mm (bei Parallelwicklung verdoppeln !!!)}$$

$$\text{TM350 : } L = N * (4 * H_g + 24) + 200\text{mm (bei Parallelwicklung verdoppeln !!!)}$$

$$\text{TM430 : } L = N * (4 * H_g + 28) + 200\text{mm (bei Parallelwicklung verdoppeln !!!)}$$

Berechnete Drahtlänge : \_\_\_\_ mm      Zuschnittslänge : \_\_\_\_ mm

Strichliste und Messwerte :

	1- 5	6- 10	11- 15	16- 20	21- 25	26- 30	31- 35	36- 40	41- 45	46- 50	Widerstand R <sub>i</sub> (Milliohm)	Induktivität L (Microhenry)	Restlänge [mm]
Zahn 1													
Zahn 7													
Zahn 3													
Zahn 9													
Zahn 5													
Zahn 11													

