

# RED.SHIP. Fachredaktion



Fachbeitrag, veröffentlicht in  
MODELL-WERFT 05/2002 / VTH-Verlag :

## Optimierte Motor-Propeller-Anpassung

PT0241  
© H. Harhaus

**!!! © Copyright beachten !!!**

**Texte und Bilder sind urheberrechtlich geschützt !!  
Sie dürfen nicht kopiert, verwendet oder veröffentlicht werden !!**

## Motor-Propeller-Anpassung

Vor diesem Problem stehen alle Modellbauer, die vorbildgetreue Schiffsmodelle in großen Maßstäben oder von großen Vorbildern bauen. Wenn der Propeller-Durchmesser größer als 50 mm wird, ist in nahezu allen Fällen eine Anpassung des Motors an diesen Propeller notwendig.

Der Grund ist einfach: Propeller > 50 mm müssen mit relativ niedrigen Drehzahlen gefahren werden, die handelsüblichen Elektromotoren drehen aber alle erheblich höher. Ein Beispiel: Ein Propeller 4-Blatt 80 mm Ø läuft optimal mit max. 2700 U/min. - die Motoren mit hohem Drehmoment (z.B. Graupner TORQUE macht über 6000 U/min. (leer), die Serie VDO-Drehmomentbär 3800 U/min. (leer). Hier besteht also eindeutig Handlungsbedarf.



Der Propeller in Form und Größe ist durch das Original vorgegeben. Der Bauplan weist ihn als 3-Blatt oder 4-Blatt aus; der Durchmesser steht auch unverrückbar fest. Da läßt sich folglich nichts dran ändern. Am Motor können wir auch nichts ändern, also bleibt nur das Getriebe.

Hier soll ein praxiserprobter Weg vorgeschlagen werden, an dessen Ende ein wirtschaftlicher, leistungsstarker Antrieb steht. Um das alles nicht in

trockene Theorie verpacken zu müssen, läuft ein praktisches Beispiel parallel, wir motorisierten nach diesem Schema den Trawler PEGGY (Baukastenmodell, 1,22 m lang, Propeller 70 mm 4-Blatt).

## 1) Die Leistung

Fangen wir mit der Leistungsermittlung an.

Die modellgemäße Geschwindigkeit errechnet man mit der Formel nach Froud :

Formel:

$$V_m = \frac{V_s}{\sqrt{\alpha}}$$

$V_m$  = Modell-Geschwindigkeit in m/sec.  
 $V_s$  = Vorbild-Geschwindigkeit in m/sec.  
"alpha" = Maßstab

$$V_m = \frac{6,17 \text{ m/sec}}{\sqrt{24}}$$

$$V_m = 1,259 \text{ m/sec.}$$

Die so ermittelte Geschwindigkeit erzeugt beim Modell ein Wellenbild, das dem Original in entsprechender Fahrstufe ähnelt.

Die dafür notwendige Antriebsleistung errechnet sich nach der Leistungsformel :

Formel:

$$N = 3 \times V^3 \times \sqrt{Z}$$

$N$  = Leistung in Watt  
 $V$  = Modell-Geschwindigkeit nach FROUD in m/sec.  
 $Z$  = Modell-Gewicht in kp - entspricht Verdrängung in Liter

$$N = 3 \times 1,259^3 \times \sqrt{10,9}$$

$$N = 19,77 \text{ Watt}$$

Es müssen also knapp 20 Watt "auf's Wasser" übertragen werden, um eine vorbildähnliche Geschwindigkeit zu erreichen.

Wenn wir 20 Watt echte Antriebsleistung brauchen, muß natürlich erheblich mehr eingespeist werden.

Wir rechnen die prozentualen Verluste im Antriebsstrang zurück:

Der Propeller hat in der Regel einen Wirkungsgrad von 50%

$$19,77 \text{ Watt} : 0,5 = 39,54 \text{ Watt};$$

die Welle hat einen Wirkungsgrad (Reibungsverluste) von 90%

$$39,54 \text{ Watt} : 0,9 = 43,93 \text{ Watt};$$

der E-Motor wird einen Wirkungsgrad, je nach Qualität, von 50 bis 80 % haben,

kalkulieren wir ruhig mit 60%  
 $43.93 \text{ Watt} : 0,6 = 73.22 \text{ Watt}$ .

Wenn wir ein 12-V-Netz installieren, sind das also  $73.22 \text{ Watt} : 12 \text{ V} = 6,1 \text{ A}$  Stromaufnahme.

Als Mindestanforderung für unseren ersten Test gilt: Wir brauchen für dieses Modell einen E-Motor von ca. 80 Watt, der also an 12 Volt 6.6 A aufnimmt.

## 2) Der Propeller

Nun kommt ein "Hasenfuß", den wir durch Versuche ermitteln müssen - "Probieren geht über Studieren" :

Nämlich der Propeller selbst. Es gibt keine vernünftige Rechengrundlage, um die Wirkung und die Leistung eines Modell-Propellers zu berechnen. Zu viele Faktoren spielen eine Rolle; wichtigster Unsicherheitsfaktor ist die Rumpfform (ein dicker Schlepper ist eben deutlich langsamer als ein schlanker Zerstörer bei gleicher Leistung und Verdrängung). Die Tauchtiefe, in der der Quirl arbeitet, die Anströmung, der Wirkungsgrad usw. sind s.g. "Unbekannte".

Diese Probleme lösen wir eben nicht mathematisch, sondern praktisch. Wir müssen wissen, bei welcher Wellen-Drehzahl die gewünschte Geschwindigkeit erreicht wird. Das ist recht einfach:

Man wählt, mit den oben ermittelten Leistungsdaten einen entsprechenden Motor aus. Das muß noch nicht der endgültige Motor sein, es kann auch ein größerer aus der "Grabbelkiste" sein.

In unserem Fall also ein Motor von 12 V und 80 Watt Mindestleistung.

Eine probate Methode ist es, diesen Motor zuerst direktgekuppelt - also ohne Getriebe - einzubauen. Nun gehen wir zum See und fahren einen ersten Versuch. Wir messen eine Strecke am Ufer ab, über die wir die Geschwindigkeit prüfen können - 10 m reichen aus.

Modellgeschwindigkeit: 1,259 m/s;  
in unserem Beispiel muß das Modell 12,59 m in 10 Sekunden zurücklegen,  
also für 10 Meter 7,94 sec. benötigen.

Wir können ein Ampere-Meter mit in den Stromkreis schalten (das muß aber nicht sein). Unbedingt müssen wir einen Drehzahlmesser auf die Welle ausrichten und so ausgestattet das Modell langsam beschleunigen.

Irgendwo bei halber oder dreiviertel Leistung - per Fahrtregler gut steuerbar - muß nun das Modell schon maßstäbliche Fahrt machen. Diesen Strom und die Wellendrehzahl liest man im Vorbeifahren ab.

**(Anmerkung:** Fährt man "Vollgas", wird erstens der Motor überlastet und heiß, zweitens wird das Modell nicht nennenswert schneller. Auch das ist ein Phänomen, das man hierbei gut beobachten kann. Jeder Rumpf hat eine ihm typische Rumpf-Geschwindigkeit; der Schlepper eben deutlich weniger als der Zerstörer. Wenn man nun die Antriebsleistung in einem Schlepper verdoppeln würde, liefe das Modell auf keinen Fall auch doppelt so schnell. Ganz im Gegenteil, es wird kaum erkennbar schneller werden, lediglich die Wellenbildung wird heftiger. In unserem Beispiel zog der Motor bei Vollgas über 10 A - bei nicht erkennbarer Steigerung des Tempos).

Diese Versuche sind durch nichts zu ersetzen. Auf der Meßstrecke fahren wir nun mehrfach mit der errechneten Geschwindigkeit nach Froud (siehe oben). Ist der Bereich gefunden, lesen wir im Vorbeifahren jedes mal die Drehzahl und den Strom ab. Es gibt auch Meßgeräte, die per RC-Befehl die Meßwerte speichern; solches ist toll, praktisch aber noch recht kostspielig. Für unsere Zwecke reichen also auch "altmodische" analoge oder digitale Meßgeräte mit großer Anzeige.

So wissen wir nun, mit welcher Drehzahl der Propeller laufen muß, um das Modell maßstäblich zu bewegen.

Nun könnte man sagen, "Getriebe? Warum? Dann lassen wir's halt so und steuern den Fahrtregler immer nur mit 3/4-Stellung an ...".

Das ist nun aber eine der schlechtesten Lösungen. Denn in unserem Probeaufbau läuft der Motor ja nicht im "Bereich des besten Wirkungsgrades" . Er ist deutlich zu hoch abgebremst, dieses "Würgen" nimmt der Motor auf Dauer übel. Er hat schlechte Leistung, er wird heiß und verbrät so den wertvollen Strom aus dem Akku, der somit nicht mehr zum Fahren verwendet werden kann. Schlechte Ausbeute - kurze Fahrzeit ist das Ergebnis; bald auch ein verkohlter Motor.

### **Deshalb ein Wort zu E-Motoren und deren Eigenschaften:**

Die Leistung eines Motors wird in der Regel bei "maximaler Leistung" oder beim "besten Wirkungsgrad" angegeben. Dabei sollte man sich nicht verleiten lassen und glauben, mit einem Getriebe würde die Leistung gesteigert! Wenn ein E-Motor 50 Watt abgibt, dann tut er dieses nur in einem einzigen Drehzahlbereich. Man kann ihn mit oder ohne Getriebe laufen lassen, mehr als 50 Watt können es nie werden - aber recht schnell deutlich weniger.

Dazu ein Blick auf eine Motoren-Kennlinie im allgemeinen. Läuft der Motor ohne Last - also im "Leerlauf" - macht er die höchste Drehzahl, nimmt kaum Leistung auf, gibt aber auch fast keine Leistung ab. Nun belasten wir ihn mit einem kleinen Propeller. Die Drehzahl wird kleiner, die Leistungsaufnahme wird größer - sprich, der Strom steigt. Nun belasten wir ihn mit einem größeren Propeller. Die Drehzahl wird weiter abnehmen, die Leistungsaufnahme wird nochmals größer - sprich, es fließt ein höherer Strom. Dieses Spielchen macht man nun bis fast zur Blockade des Motors. Man erkennt in der Grafik sehr deutlich, daß die Arbeits-Leistung des Motors nur im Bereich von ca. 70% der Leerlaufdrehzahl am besten ist. Wird der Motor mit einem zu großen Propeller belastet / zu weit abgebremst, läuft er nicht mehr im optimalen Bereich und verliert deutlich im Wirkungsgrad und bald dann auch in der Leistung. Das kennt man auch vom KFZ-Motor - fahren Sie mal im 4. Gang an. Sie werden merken, daß der Motor zu stark belastet wird und noch keine Leistung hat. Erst mit zunehmender Drehzahl spürt man auch die Beschleunigung - die Kraft des Motors.

Unser Ziel muß es also sein, den Motor in einem Drehzahlbereich laufen zu lassen, der für den Motor günstig ist und dann damit den Propeller anzutreiben.

### **3) Getriebe-Planung**

In der Praxis kann man nun wie folgt weiter vorgehen:

Die notwendige Leistung ist rechnerisch ermittelt - siehe oben. In unserem Fall brauchen wir 19,77 Watt reine Antriebsleistung, für die der kalkulierte Motor rund 73 Watt, also 6 A aufnehmen muß - weil wir einen Motor mit 60% Wirkungsgrad angenommen hatten. Das kann z.B. ein preiswerter

3-pol-Motor gewesen sein, bei besseren Motoren werden die Werte natürlich günstiger.

Da es unterschiedliche Motor-Qualitäten gibt, variieren diese Werte. Es wäre nicht schlecht, recht genau zu wissen, wie der Motor die ihm zugeführte elektrische Leistung in mechanische Leistung umsetzt.

Die Leser des schiffsPROPELLER kennen sicherlich noch die "[Computer-Antriebsberechnung](#)", die wir damals entwickelt haben. Hier werden diese Daten exakt berechnet und berücksichtigt.

Jetzt kann man einen geeigneten Motor wählen. Aus den Daten der Hersteller sind auf jeden Fall Leerlaufdrehzahl und Leistung bekannt; den Bereich des "besten Wirkungsgrades" gibt nicht jeder Motorhersteller an.

Wenn man nur die Leerlaufdrehzahl kennt, kann man davon ausgehen, daß der beste Wirkungsgrad bei ca. 70% der Leerlaufdrehzahl liegt.

Wir wissen durch Ausprobieren, mit welcher Drehzahl die Welle laufen muß. Nun ist es bis zur notwendigen Untersetzung nicht mehr weit.

Wir können nun das Untersetzungsverhältnis planen:

$$\frac{\text{Motordrehzahl (im Bereich bester Wirkungsgrad)}}{\text{Wellen-Drehzahl für Soll-Geschwindigkeit}} = \text{Untersetzung}$$

In unserem Beispiel haben wir den Motor "Drehmoment-Bär V-21892" gewählt. Er macht im Leerlauf 4000 U/min. Der Bereich des besten Wirkungsgrades wird also bei 70% von 4000 = 2800 U/min. liegen.

Wir haben durch die Testfahrten ermittelt, daß der Propeller mit 2000 U/min. laufen muß, um die gewünschte Geschwindigkeit zu erreichen.

$$\frac{2800}{2000} = 1,4$$

#### 4) Das Getriebe

Nächster und letzter Schritt ist das Anfertigen eines Getriebes.

Empfehlenswert ist ein Aufbau mit Zahnriemen / Zahnriemenrädern. Das ist variabel, völlig geräuschlos und kostet kaum Leistung. Abzuraten ist von gerade verzahnten Stirnzahnradern - die heulen und jaulen zum Erschauern. Rundriemen-Antriebe aus O-Ringen, ggf. mehrere parallel gespannt, sind bis zu Leistungen von 100 Watt auch möglich.

Die Fotos zeigen einen möglichen Aufbau. Die Platten können aus Alu gefertigt sein, man kann sie aber auch aus Hartholz-Sperrholz, Pertinax, Polystyrol und anderen Kunststoffen machen. Der Abstand wird mittels Gewindestangen/Rohren gehalten. Der Motor selbst wird auf einer eigenen Platte montiert. Diese ist in der Höhe verstellbar, somit läßt sich der Riemenantrieb spannen oder auch die Zahnriemenräder noch austauschen für andere Untersetzungsverhältnisse. Die Wellen sollten kugelgelagert sein; im Motor sind Kugellager serienmäßig, die zweite Welle läuft in

separaten Kugellagern.

In unserem Beispiel haben wir Zahnriemenräder von 14 Zähnen und 20 Zähnen im Modul 0,5 gewählt.

$$\frac{20 \text{ Zähne}}{14 \text{ Zähne}} = 1,428$$

Der Zahnriemen hat 33 Zähne (unerheblich) und ist 165 mm lang. Dadurch ergibt sich ein Achsabstand von ca. 40 mm.

Mit diesem Getriebe von 1:1,428 ergibt sich rechnerisch eine Motordrehzahl zu Wellendrehzahl von 2800 U/min. (Motor) : 1,428 = 1960,7 U/min. (Welle) liegen. --- wie gesagt, rein rechnerisch.

Diese Einheit läßt sich im Modell befestigen und per Kardan-Kupplung mit der Welle verbinden. Praktisch ist es, einen Gesamtträger einzuplanen, somit läßt sich die ganze Antriebseinheit mit einem Handgriff herausnehmen.



## 5) Die Probe auf's Exempel

Nun kann die zweite Probefahrt erfolgen. Wer es genau wissen will, schließt wieder Ampere-Meter und Drehzahlmesser an. Nun sollte es so sein, daß der Motor mit "Vollgas" gefahren werden kann, dabei die Welle mit der ermittelten Drehzahl den 70er-Propeller treibt und das Modell die Froudsche Geschwindigkeit läuft. Der Motor läuft jetzt im Bereich "bester Wirkungsgrad". Wir nutzen also die mitgeführte Energie an Bord optimal und erreichen längstmögliche Fahrzeit. Der Motor wird so auch nicht überlastet und höchstens handwarm.

### **In der Praxis ergaben sich die Werte:**

Motordrehzahl 2828 U/min., das entspricht 1980 U/min. an der Propellerwelle. Dabei nahm der Motor 4,3 A auf - das sind 51.6 Watt. Das Modell lief dabei mit 1,1 m/sec.

Nun werden Sie sagen: "Das stimmt ja alles garnicht - der Motor nimmt ja nur 51.6 Watt auf, sollte aber laut Rechnung knapp 80 Watt aufnehmen..." Sie haben nicht ganz unrecht - aber wir haben beim Motor mit 60% Wirkungsgrad kalkuliert; das ist bei einem 3-pol-Motor auch realistisch. Der "Drehmomentbär" hat aber über 80% Wirkungsgrad. Damit würde die Rechnung so aussehen:

Aus unserer o.g. Leistungs-Kalkulation:

Notwendige Abgabe 43.93 Watt; der E-Motor hat einen Wirkungsgrad 82 %  
43.93 Watt : 0,82 = 53,57 Watt.

53,57 Watt : 12 V = 4,46 A Aufnahme-Strom.

Sie sehen - und schon paßt das alles wieder.

Wichtig ist bei der Kalkulation nur, daß wir nicht einen zu kleinen Motor als Ausgangs-Basis wählen. Wenn der die notwendige Drehzahl überhaupt nicht schafft, nützt das ganze Testen nichts. Lieber einen zu großen Motor als Ausgangsbasis wählen! Es geht beim ersten Test ja nur um die notwendige Propeller-Wellen-Drehzahl - und dabei ist es egal, welcher Motor 'dran dreht...

Es geht auch bei dieser ganzen Aktion nicht um eine Genauigkeit bis zur dritten Stelle hinter dem Komma. Das wäre illusorisch, denn viele Parameter an Bord sind variabel. Nehmen wir nur die Spannung als ein Beispiel: Wenn der Akku frisch von der Ladestation kommt, haben Sie über 14 Volt im Netz. Geht es mit der Kapazität zur Neige, liegt die Spannung nur noch bei 10 Volt und weniger. Da liegen schon über 30% Abweichung drin - und die ziehen sich durch die gesamte Leistungsberechnung und durch den ganzen Antriebsstrang.

Wir haben diesen optimierten Elektro-Antrieb im Modell **PEGGY** eingebaut und getestet. Grundsätzlich stimmen diese Überlegungen für alle Verdränger - vom Schlepper, über das Uboot bis zum Schlachtschiff.

Bei Gleitern (Rennboten) oder Halbgleitern (Flachrumpf-Schnellboote etc.) sind die Formeln zur exakten Leistungsbestimmung so nicht anwendbar.

Hier geht es um die grundsätzliche Anpassung, nicht um "Promille-Steigerungen beim Tuning".

Im vorliegenden Beispiel hat der Motor ohne Getriebe über 10 A geschluckt.

Mit Getriebe kommt der Antrieb mit nur 4,3 A aus - bei annähernd gleicher Modellgeschwindigkeit.

**Das ist der Erfolg der Maßnahme!**

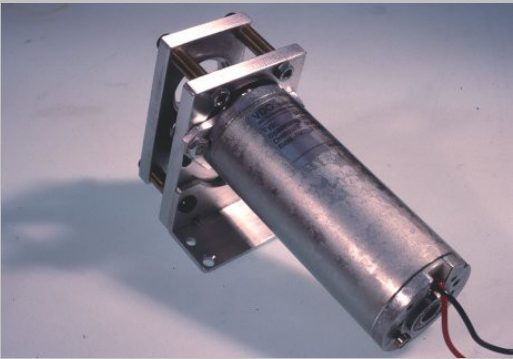
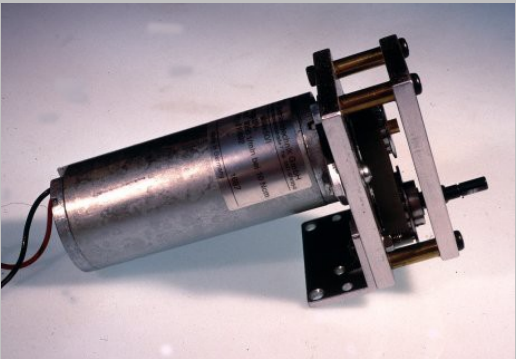
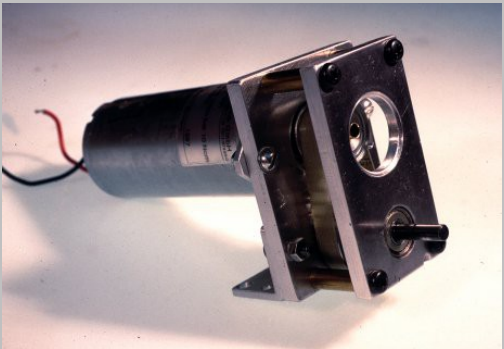
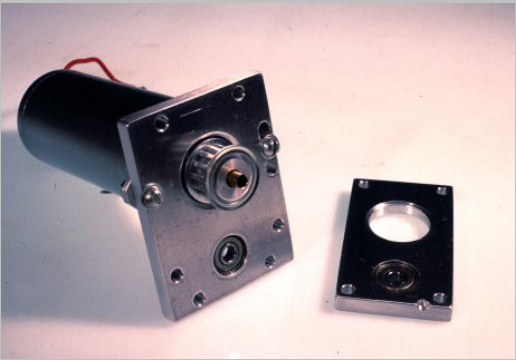
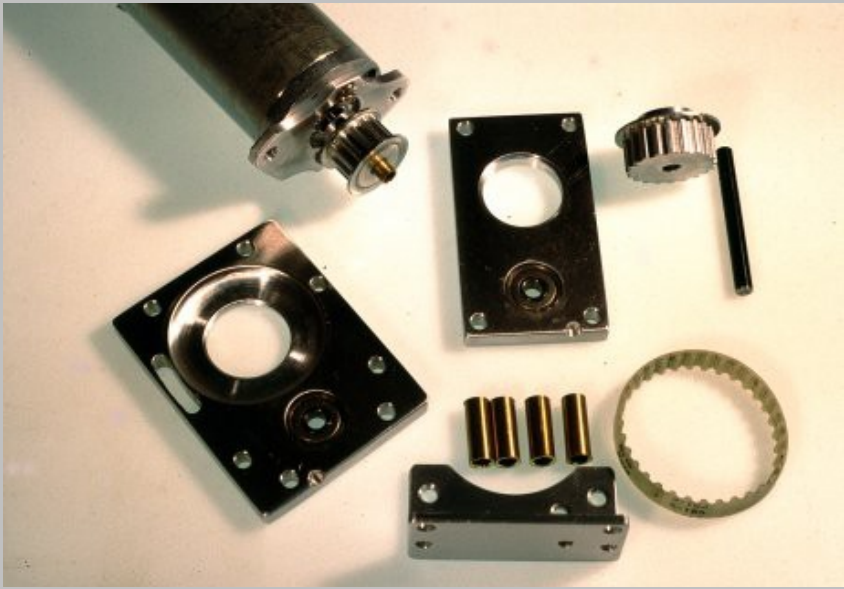
Jetzt ist das Wesen "Motor" optimal mit dem Wesen "Propeller" symbiotisch verbunden.

**Denn nur das Optimale ist die bessere Alternative!**

*[weitere Infos zum Modell PEGGY - hier:](#)*

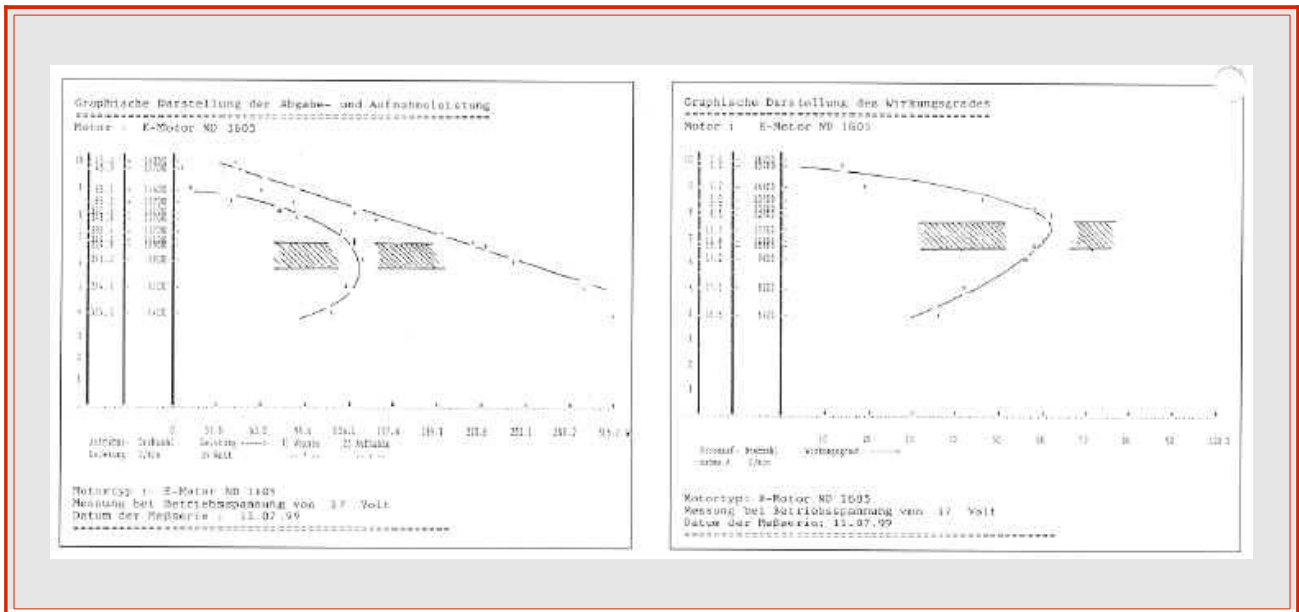
*[zur Harhaus Computer Antriebsberechnung](#)*

# Bildergalerie





## Motor-Grafik



Typische Grafik zur Leistungs-Darstellung eines Elektromotors.  
Man erkennt sofort aufgrund der "Bäuche",  
wo der Motor im  
**Bereich des besten Wirkungsgrades** (hier bei 72% der Leerlaufdrehzahl)  
läuft und in welchem Drehzahlbereich er seine größtmögliche  
**Leistung** (hier bei 62% der Leerlaufdrehzahl) entfaltet.

**Zurück**