

ELEKTRISCH, ABER RICHTIG

GETRIEBE: SINNVOLLES UNTERSETZEN ODER MABLOSES ÜBERTREIBEN?

Getriebe im Elektroflug? In Zeiten des Außenläufers sind sie fast in Vergessenheit geraten. Doch je nach Einsatzzweck macht es durchaus Sinn, den Motor noch zu untersetzen. Markus Müller klärt auf.

Ich habe schon manche Diskussion über „Getriebe-Motor oder Direkt-Antrieb“ mitverfolgt. Nicht wenige sind in einer „Glaubensfrage“ gemündet. Grund genug für mich, das Thema Getriebe an dieser Stelle differenzierter zu betrachten und auf unterschiedliche Getriebearten und deren Vor- und Nachteile einzugehen. Danach wird es dem Leser möglich sein sinnvolle von weniger sinnvollen Getriebeanwendungen zu unterscheiden.

Getriebe werden generell zur Unter- oder auch Übersetzung einer bestehenden Wellendrehzahl und zur Übertragung einer Kraft eingesetzt. Sie können nach unterschiedlichsten Aspekten klassifiziert werden. Grundsätzlich gibt es Rädergetriebe oder Zugmittelgetriebe, die entweder formschlüssig oder kraftschlüssig sind. Dabei haben alle Getriebe eines gemeinsam: Durch Untersetzung verändert sich nicht nur die Drehzahl, sondern auch das Drehmoment. Lässt man die Getriebeverluste außer Acht, so bleibt das Verhältnis zwischen spezifischer Drehzahl und spezifischem Drehmoment beinahe konstant ($K_v \cdot K_t = \text{konstant}$). Weit verbreitete Untersetzungsverhältnisse im Modellbau sind 4:1 bis 6,7:1. Damit wird die spezifische Drehzahl (K_v) verringert und das spezifische Drehmoment (K_t) erhöht. Bei einem Motor mit

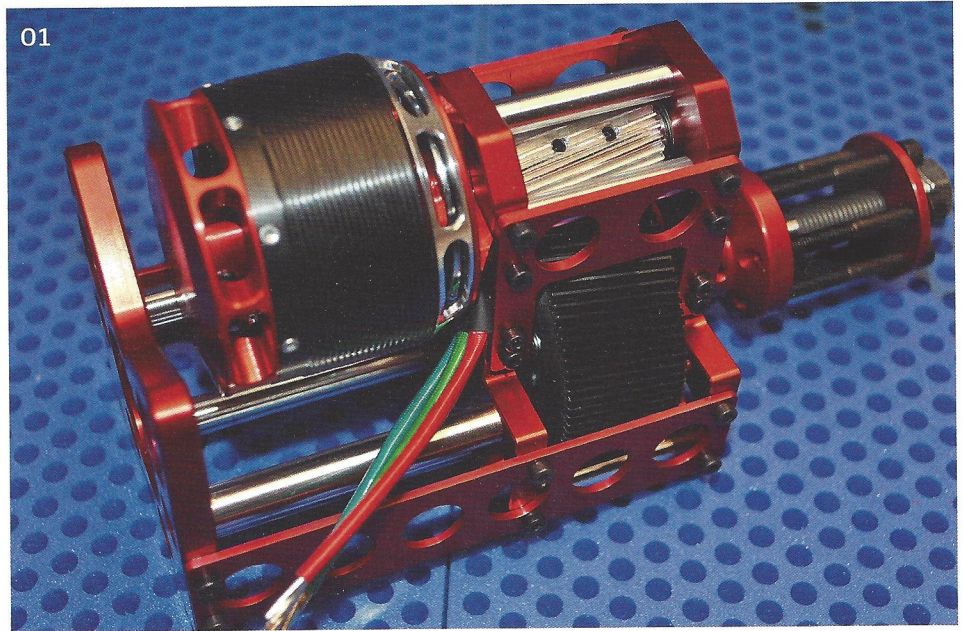


Bild 01 | Ein untersetzter Außenläufer. Foto: Bernd Neumayr, Modell-Aviator
Bild 02 | Grundsätzlich gibt es Rädergetriebe oder Zugmittelgetriebe, welche entweder formschlüssig oder kraftschlüssig sind

einem K_v von 1.000 U/V und einem Getriebe von 5:1 resultiert eine spezifische Getriebewellendrehzahl von 200 U/V. Entsprechend wird sich das Drehmoment verfünffachen. Im Modellbau ist die einstufige Untersetzung mittels Zahnrad von hoher Bedeutung. Selten trifft man noch (Zahn-) Riemengetriebe an. Nachfolgend wollen

wir somit die Zahnradgetriebe etwas genauer betrachten.

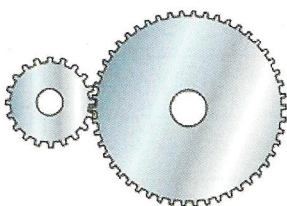
Zahnradgetriebe gibt es in unterschiedlichsten Ausführungen als Stirnradgetriebe mit parallelen Achsen oder Kegelrad-, Schrauben- und Schneckenradgetriebe mit abgewinkelten Achsen. Das Stirnradgetriebe bietet dabei den

02

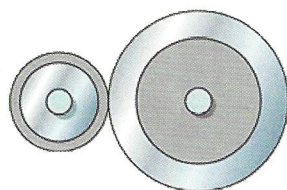
Rädergetriebe

formschlüssig

kraftschlüssig



Zahnradgetriebe

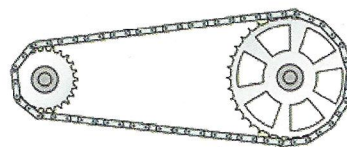


Reibradgetriebe

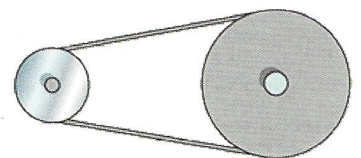
Zugmittelgetriebe

formschlüssig

kraftschlüssig



Kettengetriebe



Riemengetriebe

03

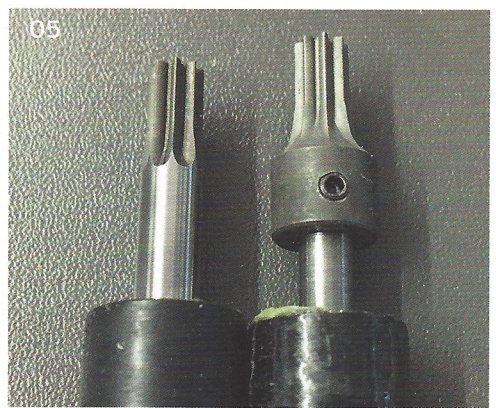
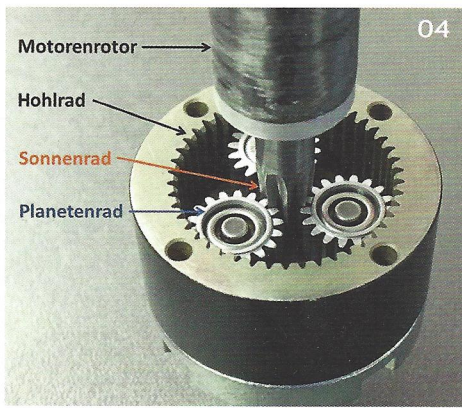
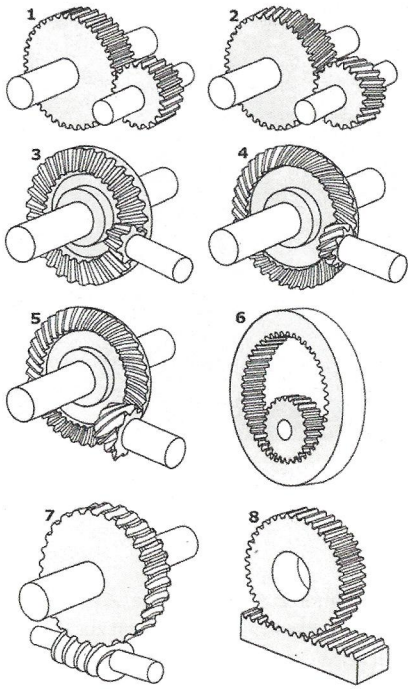


Bild 03 | Unterschiedliche Zahnradformen auf einem Blick. *Quelle: www.lehrerfreund.de* **Bild 04** | Beim Planetengetriebe kreisen mehrere auf dem Planetenträger angebrachte Planetenräder im feststehenden Hohlräder um das Sonnenrad **Bild 05** | Ein qualitatives Merkmal ist die Anbringung des Sonnenrades: Den höchsten Verdrehenschutz bietet die direkt auf die Motorwelle aufgefräste Verzahnung, gefolgt von aufgeschraubten oder gar aufgeklebten Sonnenrädern

höchsten Wirkungsgrad mit bis zu 99 Prozent (typischerweise circa 95 bis 98 Prozent). Die einfache Ausführung eines Stirnradgetriebes ist kostengünstig, übt aber relative hohe Radialkräfte auf die Lager aus und ist durch die meist offene Bauart auch anfällig auf Verschmutzung. Gerade verzahnte Getriebe entwickeln dabei höhere Laufgeräusche als schräg verzahnte. Leider hat die Laufruhe einer Schrägverzahnung ihren Preis: Es wirken zusätzlich axiale Kräfte auf die Lager und die größere Kontaktfläche reduziert den Wirkungsgrad um weitere ein bis zwei Prozent. Dafür lassen sich bei einer Schrägverzahnung bei gleicher Baugröße höhere Drehmomente umsetzen. Leider ist der Wirkungsgrad eines Getriebes nicht konstant. Interessanterweise nehmen die prozentualen Verluste mit zunehmendem Drehmoment ab und damit steigt der Wirkungsgrad an, bis zum Bersten des Getriebes. Ferner werden im Modellbau kaum Angaben zu Getriebeverluste oder Wirkungsgrad gemacht.

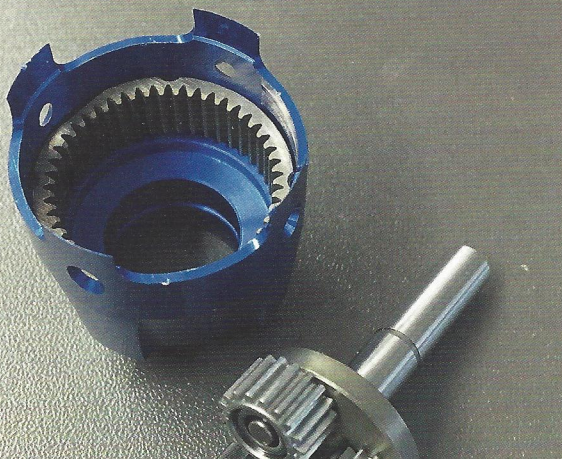
Stichwort Getriebeverlust: Die von Getriebeherstellern spezifizierten Wirkungsgrade von Planetengetrieben sind nur bedingt gültig für die Anwendung im Modellbau, womit verlässliche Vorhersagen schwierig sind. Man erhält einen guten Anhaltspunkt über den konstanten Getriebeverlust, wenn man zwei (nur kurze!) Leerlaufmessungen ohne Propeller bei der erwarteten Betriebsspannung anstellt: die erste mit Getriebe und die zweite ohne Getriebe. Die Differenz der beiden Leistungsaufnahmen (=Strom x Spannung) repräsentiert den konstanten Anteil am Getriebeverlust in Watt (W). Diese Methode ist natürlich nur ein Indikator, da die variablen Verluste bedingt durch erhöhte Reibung unter Last nicht berücksichtigt sind. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die zusätzlichen unter Last anfallenden Reibungsverluste bei Planetengetrieben wesentlich geringer sind als der ermittelte „Leerlaufverlust“. Dieser Umstand erklärt, warum der prozentuale Wirkungsgrad von Getrieben bei zunehmender Leistung zunimmt.

Die Lagerkräfte können mit einem Planetengetriebe und damit auch der Lagerverschleiß minimiert werden. Die aufwändige Konstruktion ist durch die geschlossene, höchst kompakte Bauart und bei Verwendung eines temperaturbeständigen Getriebefetts äußerst wartungsarm. Beim Planetengetriebe kreisen mehrere auf dem Planetenträger angebrachte Planetenräder im feststehenden Hohlräder um das Sonnenrad. Dabei ist die Getriebeachse auf dem Planetenträger angebracht. Eine sehr gelungene Animation findet man unter www.3d-meier.de/test/HD4.m1v. Durch die Verteilung der Kräfte auf mehrere Planetenräder lassen sich hohe Drehmomente bei geringster Getriebedimension übertragen. Der maximale Wirkungsgrad von Qualitäts-Planetengetriebe reicht bis etwa 97 Prozent.

Planetengetriebe werden entweder axial auf das Motorenfrontschild (Adapter) aufgeschraubt oder radial verschraubt. Ein weiteres qualitatives Merkmal ist die Anbringung des

Bild 06 | Die Getriebeachse wird auf dem Planetenträger angebracht **Bild 07** | Planetengetriebe werden entweder axial (links) auf das Motorenfrontschild (Adapter) aufgeschraubt oder radial verschraubt

06



07

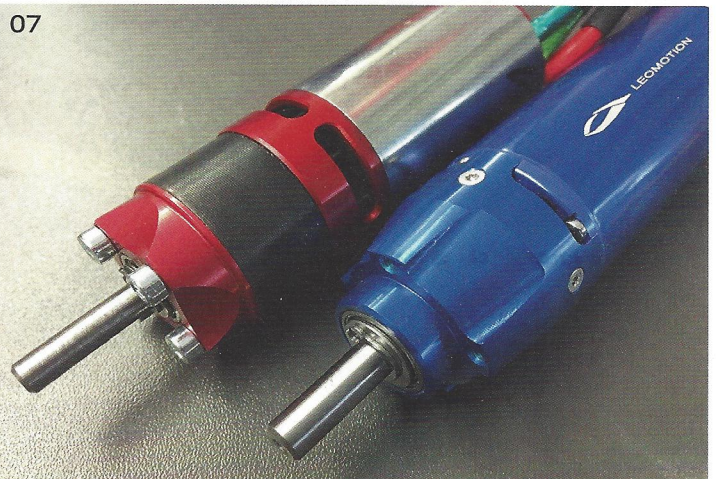




Bild 08 | Das Resultat von falschem Fett: zersetzte Nadellager der Planeten **Bild 09** | Durch Erhöhung der Windungszahl und der magnetischen Pole lässt sich ein Elektromotor auch ohne zusätzliche Mechanik untersetzen

Sonnenrades. Den höchsten Verdrehenschutz bietet hier die direkt auf die Motorwelle aufgefäste Verzahnung, gefolgt von aufgeschraubten oder gar aufgeklebten Sonnenrädern. Diese Merkmale sind insbesondere bei Klappflugschrauben von großer Bedeutung: Damit der Propeller zuverlässig einklappt, muss der Motor mit der Bremse des Reglers zum Stillstand gebracht werden. Durch dieses abrupte Bremsmanöver wirken sehr hohe Tangentialkräfte auf Getriebe und Motor. Damit erhöht sich die Gefahr erheblich, dass sich axial aufgeschraubte Getriebe oder aufgeklebte Sonnenräder lösen und das Getriebe den Dienst versagt. Den höchsten Verdrehenschutz bieten dabei radial verschraubte Getriebegehäuse und aufgefäste Sonnenräder. Die wesentlich vorteilhaftere aber aufwändigere Konstruktion des Planetengetriebes hat hohe Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit, was sich in einem höheren Preis widerspiegelt.

Lassen wir aber nicht die Möglichkeiten einer „elektronischen Untersetzung“ im Motor außer Acht. Durch Erhöhung der Windungszahl und der magnetischen Pole lässt sich ein Elektromotor ohne zusätzliche Mechanik untersetzen (vgl. AUFWIND 2/2015, Seite 30). Auch hier wird sich der Wirkungsgrad leicht verschlechtern, dafür fallen aber keine Wirkungsgradeinbußen vom Getriebe an. Diese Methode wird insbesondere bei Außenläufern interessant, was aber eine weniger kompakte Bauweise im Vergleich zum Innenläufer mit Planetengetriebe zulässt. Bei Leistungen jenseits von fünf Kilowatt ist der massive Getriebeaufbau zur Übertragung des Drehmoments oftmals ohne jegliche Gewichtsvorteile oder Vorteil der Einbaudimensionen. Insbesondere bei einfachen Stirnradkonstruktionen wirken nicht vernachlässigbare Kräfte auf die Lager und erhöhen damit den Lagerverschleiß erheblich bei entsprechendem Wirkungsgradverlust.

Wir kommen zurück zur Frage „Getriebemotor oder Direktantrieb?“ und damit zur differenzierten Antwort: Es kommt auf den spezifischen Anwendungsfall an! Meines Erachtens sind Getriebemotoren da sinnvoll, wo enge Verhältnisse herrschen und relativ kleine Motoren (z.B. F5J) zum Einsatz kommen, wo hohe Leistungsdichte (z.B. Hotliner) oder ein Gewichtsvorteil (z.B. Segler) gefragt sind. Dafür würde ich klar ein wartungsarmes Planetengetriebe bevorzugen.

Man sollte sich bei der Beurteilung eines Getriebemotors nicht vom (rein elektrischen) Wirkungsgrad alleine leiten lassen, denn der ist in Anbetracht der nicht ausgewiesenen Getriebeverluste nur die halbe Wahrheit! Bei Anwendungen ohne Platznot setze ich durchgehend Direktantriebe ein und nutze konsequent die wartungsfreie „elektronische Untersetzung“.

Markus Müller
www.eCalc.ch

ANTARES 18 S/T

Voll-GFK/CFK · Maßstab 1:2,5
Spannweite 720 cm · Länge 300 cm
Gewicht ab 17 kg · Profil HQ DS

*„Schönstes Modell des Jahres“
auf der Segelfluggesellschaft 2016*

RC-FLIGHT-ACADEMY
Bavarian Composites

RC-Flight-Academy · Feldstr. 22 · 86738 Deiningen · Tel.: 09081/7813255 · Mobil: 0152/09893898
Mail: info@rc-flight-academy.de · www.rc-flight-academy.de