

**Autor:** WHZ Racing Team, Westsächsische Hochschule Zwickau, Sven Schütze, Team Powertrain



# DAS ZIEL VOR AUGEN

Beim Konstruieren im Rennsport geht es nicht zuletzt um stetige Optimierung. Das ist nicht nur in der Formel 1 ein Thema – auch bei den Flitzern der Formula Student wird auf jedes Detail geachtet. Das Racing Team der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) hat bei den verwendeten Motorwellenlagern ganz genau hingeschaut.

Herzstück des Formula-Student-Rennwagens ist der Antrieb. Bei vier Elektromotoren bietet sich hier ein großes Optimierungspotenzial. Doch ist es sinnvoll, die bewährten Lager durch andere zu ersetzen? Mithilfe eines CAD-Programms und der Maschinenelemente-Berechnungssoftware KISSsoft überprüfte das WHZ-Team seine Antriebe.

## DIE AUSGANGSLAGE FÜR DIE ÜBERPRÜFUNG

Die Elektromotoren für die Allradfahrzeuge des WHZ Racing Teams werden seit 2017 gemeinsam mit der Fischer Elektromotoren GmbH gefertigt. Die Kontur der Motorwelle für die Aufnahme des Rotorblechpakets mit den Magneten ist festgelegt. Die Lagerstellen und die innere Kontur der Welle sind jedoch frei wählbar. Es stellte sich also die Frage, welche Lager die geringste Motorgesamtmasse verursachen. Für den Vergleich der einzelnen Lager wurde die Form des Motorgehäuses mit seinem Kühlkörper und den Lagerdeckeln unverändert belassen, lediglich die Längen und Durchmesser der einzelnen Bauteile wurden angepasst. Diese Anpassungen wirken sich auf die Kühlwassermenge und auf einzelne Komponenten des angrenzenden Planetengetriebes aus, welche ebenfalls in die Betrachtung einfließen.

Die Welle besteht aus Titan. Dieses Metall ist nicht magnetisch und hat keinen Einfluss auf das Magnetfeld im Motor. Zudem weist es im Vergleich zu Stählen, die in der Serienproduktion verwendet werden, eine geringere Masse auf. Die betrachteten Rillenkugellager der Motorwelle sind Hybridlager mit Metallringen und

Keramikwälzkörpern. Bei Wälzkörpern aus Stahl könnte aufgrund des Magnetfelds des Motors eine Spannung in den Wälzkörpern induziert werden, was zu einem Funken sprung zwischen den Wälzkörpern und den Lagerringen führt. Daraus folgen Beschädigungen und eine deutlich verkürzte Lebensdauer. Rillenkugellager weisen eine oder mehrere parallel zueinander liegende Rille(n) in Innen- und Außenring auf. In diesen Rillen rollen die kugelförmigen Wälzkörper zwischen den beiden Ringen. Die Lager in den seit 2014 entwickelten Motoren sind doppelt abgedichtete SKF-Lager der Bauform 6003-2RSLTN9/HC5C3W mit einer Masse von 38 g und Lebensdauerschmierung. Die Lagerstellen sind hier die einzige Möglichkeit, um axiale Länge einzusparen. Das nächst kleinere geeignete Lager (6002-2RSLTN9/HC5C3W) ist um 1 mm kürzer und 8 g leichter. Das nächst größere Lager 6004-2RSLTN9/HC5C3W wiegt 62 g und ist im Vergleich zum 6003er Lager 2 mm länger.

## VERGLEICH DER DREI VARIANTEN

Die Lager wurden in die bereits vorhandene CAD-Baugruppe implementiert und anschließend alle angrenzenden Anbauteile, die von der Geometrieänderung betroffen sind, angepasst und deren Massen aufgelistet.

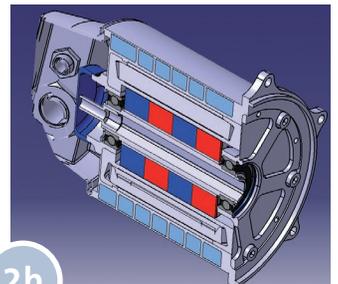
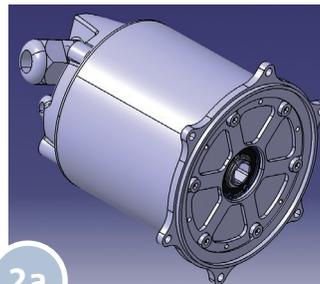
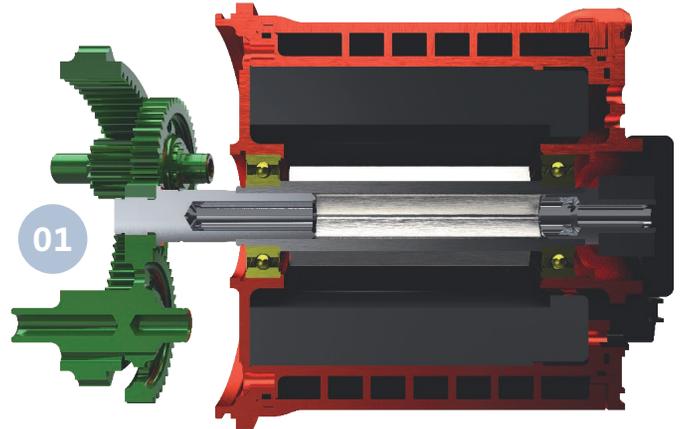
Vergleich der drei Varianten			
Lager	6002	6003	6004
Motorwelle	109,24 g	98,66 g	77,55 g
Lager x 260 g	60 g	76 g	124 g
Sensorwelle	3,31 g	3,80 g	5,52 g
Sonnenwelle	25,01 g	27,54 g	33,31 g
Lagerdeckel	50,52 g	44,03 g	53,67 g
Motor- + Kühlmantel + Kühlwasser	759,8 g	775,8 g	813,25 g
Summe Masse	1 007,96 g	1 025,82 g	1 107,30 g
Differenz Masse	-17,96 g	0 g	+81,48 g

Im Vergleich zur bisher verwendeten Variante der Reihe 6003 weisen die Rillenkugellager der Reihe 6002 eine Massensparnis von etwa 18 g für einen Antrieb und 72 g für alle vier Motoren auf. Durch das kleinere Lager der Reihe 6002 reduziert sich auch der Durchmesser der Welle-Nabe-Verbindung zwischen Getriebe und Motor. Ebenso verändert sich die Geometrie des Motorgehäuses und der Motorwelle.

Die Lagerreihe 6004 führt zu einer Massenzunahme von 81,5 g und 326 g auf alle vier Antriebe bezogen. Bei dieser Variante müssen ebenfalls alle anliegenden Komponenten neu ausgelegt werden.

Um die Lebensdauer der einzelnen Lagertypen und der Motorwelle zu ermitteln, wurde mithilfe des Maschinenelemente-Berechnungsprogrammes KISSsoft die jeweiligen Lager nachmodelliert und berechnet.

Lebensdauer			
Welle mit Lager	6002	6003	6004
kleinste Lebensdauer	15 980 h	14 905 h	>1 000 000 h
kleinste Sicherheit	60 g	76 g	124 g
kleinste kritische Drehzahl	321 618 U/min	301 138 U/min	318 481 U/min
maximale Durchbiegung	5,27 µm	5,27 µm	6,26 µm



01 Die Modellierung der Motorwelle verdeutlicht den Aufbau

02a Der Motor des Formula Student Rennwagens im Ganzen

02b Der Motor als Schnittbild mit den verwendeten Lagern

„UNTER ÖKOLOGISCHEN ASPEKTEN VORBILDLICH“

Nicole Steinicke,  
Chefredakteurin



Das WHZ RacingTeam der Westsächsischen Hochschule Zwickau hat die Zeichen der Zeit schon früh erkannt: Von mittlerweile 13 Rennfahrzeugen werden nur vier durch einen Verbrennungsmotor angetrieben; die anderen neun Fahrzeuge sind mit einem elektrischen Antrieb ausgestattet. Gratulation an das Team aus Zwickau, das Elektromobilität in seinen Entwicklungen zur Realität werden lässt.

In der Darstellung der Modellierung (Bild 02) sind in grünen Tönen die angrenzenden Getriebekomponenten abgebildet. Neben der Motorwellenlagerung wird gleichzeitig auch die Lagerung der Sonnenwelle berechnet. Alle rötlich eingefärbten Komponenten gehören zur Motorbaugruppe. Im rechten Teil des Bildes ist die Drehwinkelmesseinheit des Motors gräulich dargestellt und dient in der Berechnung lediglich als zusätzlich rotierende Masse. Die allgemeinen Verbindungen wurden in weiteren Tools von KISSsoft berechnet. Zwischen den Getriebebauteilen wird ein Zahnwellenprofil angewendet. Eine Polygonverbindung existiert zwischen der Motorwelle und den beiden angrenzenden Baugruppen. Das Rotorblechpaket wird auf die Motorwelle gepresst. Die Krafteinleitung erfolgt über den Außendurchmesser des Rotors und wird mit acht tangentialen Kräften abgebildet. Als Kraftableitung dient die Sonne des Planetengetriebes, welche über die drei Zahneingriffe realisiert wird.

Diese Betrachtung konzentriert sich auf die Massen der Lagervariationen und Belastungen der Lager sowie der Wellen. Die Anforderungen der anliegenden Motorenkomponenten werden in dieser Betrachtung vernachlässigt. Alle Komponenten müssen auf ihre Geometrie und Belastung hin neu ausgelegt werden. Dabei kann es vorkommen, dass die Massensparnis durch die geometrische Umgestaltung vergrößert, verkleinert oder ganz beseitigt wird. Auch die Kühlung hinsichtlich der Wassermenge und Wärmeübergang im Motor muss überarbeitet werden.

ERGEBNIS DER BETRACHTUNG

Für die weitere Konstruktion wird das Rillenkugellager der Reihe 6003 beibehalten. Für dieses Lager spricht die Erfahrung, die das Team seit mehreren Saisons damit sammeln konnte. Ebenso können alte Konstruktionen übernommen und somit Zeit in Konstruktion und Zeichnungsableitung gespart werden.

Bilder/Grafiken: WHZ Racing Team