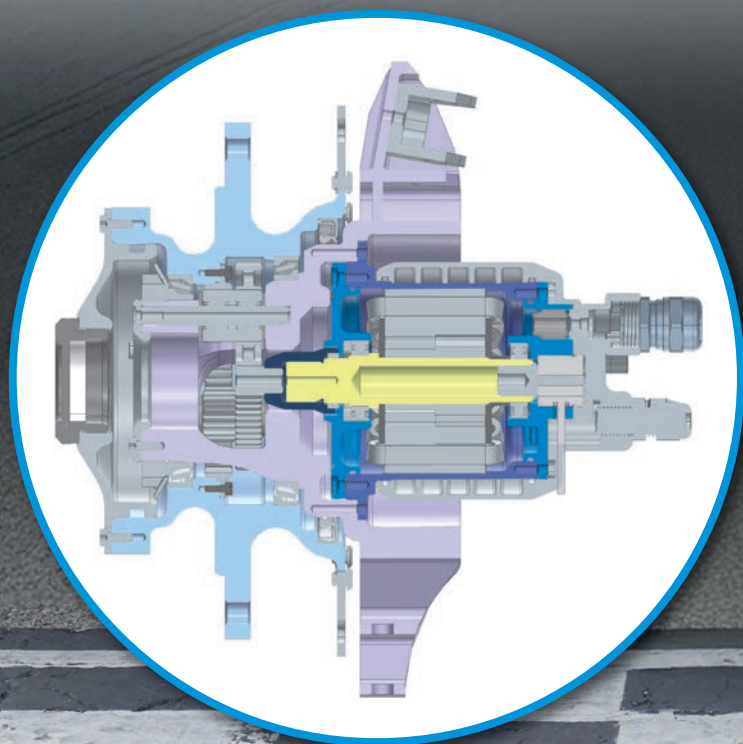


GETRIEBEAUSLEGUNG

RIGHT-SIZING DURCH SIMULATIONS- GESTÜTZTE GETRIEBEAUSLEGUNG



In der Formula Student wird jedes Jahr ein komplett neues Fahrzeug entwickelt. Für den neuen Racer der TU Darmstadt steht in diesem Jahr ein vollständig neu ausgelegter Powertrain mit 28.000 RPM Maximaldrehzahl, halbiertes axiale Motorbaulänge und einem auf 16,93 reduzierten Übersetzungsverhältnis auf der Wunschliste. Mithilfe simulationsgestützter Auslegung in Kisssoft weisen die Studierenden Festigkeiten, Lagerlebensdauer und Pressverbände lückenlos nach und sparen noch bis zu 6 kg Fahrzeugmasse ein.

Gegründet im Jahr 2005, bietet das TU Darmstadt Racing Team (Dart) Studierenden die Möglichkeit, theoretisches Wissen in der Praxis anzuwenden. In der Saison 2024 erreichte das Team unter anderem den 6. Gesamtrang bei der FS Czech (inklusive eines 2. Platzes im Engineering Design Event) sowie den 12. Platz am Hockenheimring.

Trotz dieser Erfolge war die vergangene Saison von erheblichen technischen und logistischen Herausforderungen geprägt. Verzögerungen beim Zoll führten dazu, dass die Batteriezellen erst spät eintrafen, wodurch der Akku erst unmittelbar vor den Events fertiggestellt werden konnte. Die daraus resultierende fehlende Testzeit auf der Strecke erschwerte die Feinabstimmung des Fahrzeugs massiv. Zudem sorgten mechanische Defekte, wie gebrochene Motorwellen, für zusätzliche Rückschläge im Rennbetrieb. Diese Erfahrungen fließen unmittelbar in die Planung für die Saison 2026 ein. Mit dem „Tau26“ steht eine umfangreiche Neuentwicklung des Powertrains an. Dabei liegt der Fokus

verstärkt auf einer robusten Auslegung mit ausreichenden Sicherheitsfaktoren sowie einer optimierten Supply Chain, um die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems unter Rennbedingungen sicherzustellen.

Die Formula Student ist einer der weltweit größten Konstruktions- und Designwettbewerbe und gilt als Inkubator für innovative Konzepte, bei denen Nachhaltigkeit, Effizienz und technischer Fortschritt im Fokus stehen. Die Teams stehen dabei jedes Jahr vor der gleichen Herausforderung: In kürzester Zeit muss eine neue, interdisziplinäre Gruppe zusammenwachsen, um ein hochkomplexes Fahrzeug von Grund auf zu entwickeln, zu fertigen und zu testen. In diesem dynamischen Umfeld sind verlässliche Simulationswerkzeuge unerlässlich, um innovative Ideen ohne langwierige „Trial-and-Error“-Phasen direkt in funktionale Hardware zu übersetzen.

28.000 RPM UND ENDURANCE-ZUVERLÄSSIGKEIT

Die zentrale Neuerung des Tau26 betrifft das Radpaket. Durch ein neues Motordesign wurde die axiale Baulänge nahezu halbiert, was zukünftig Bauraum für 10-Zoll-Felgen schafft. Die Maximaldrehzahl wurde dabei auf 28.000 RPM angehoben. Die größte technische Hürde im Antriebsstrang ist die Zuverlässig-

Simon Marx, Technical Officer, Head of Powertrain
TU Darmstadt Racing Team



01 Das Dart-Team
der TU Darmstadt

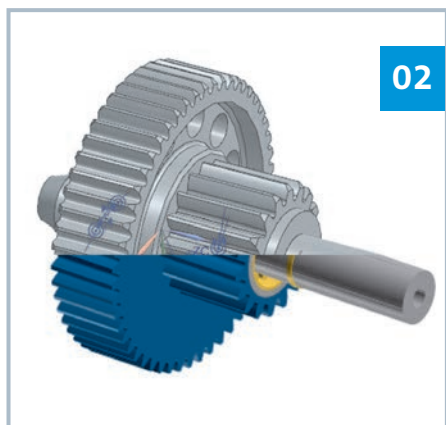
keit: Um das 22 km lange Endurance-Event erfolgreich zu bestreiten, ist ein lückenloser Nachweis der Festigkeiten und Sicherheiten des gesamten Antriebsstrangs essenziell. Jede Komponente muss so leicht wie möglich, aber so robust wie nötig sein, um unter Dauerlast nicht zu versagen.

FESTIGKEITSNACHWEISE IN DER AUSLEGUNG

Bei der Entwicklung des Motors wurde die Kisssoft Getriebe-Design-Software der Gleason Corporation primär für die Auslegung der Pressverbände und der Polygon-Wellenverbindung genutzt. Kritisch war die Verbindung zwischen Stator und Motorgehäuse: Das Gehäuse muss eine hohe Wärmeleitfähigkeit zur Kühlung bieten, während der Pressverband garantieren muss,

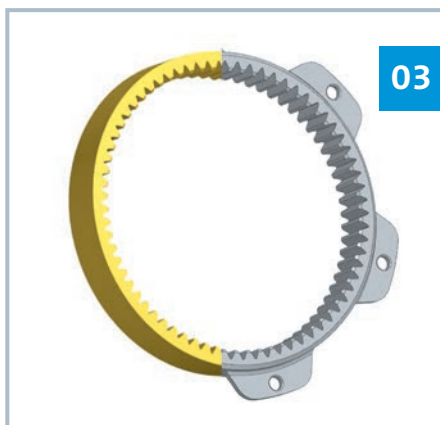
dass der Stator bei maximalem Drehmoment von 20,7 Nm nicht durchrutscht. Für eine gute Wärmeübertragung galt es somit, geeignete Materialien mit einer möglichst geringen Wanddicke für den Pressverband auszuwählen und die Sicherheit entsprechend nachzuweisen. Für den Pressverband des Rotors wurden dynamische Lasten von 20,7 Nm und 28.000 RPM in der Auslegung berücksichtigt.

Das Grundkonzept des neuen Getriebes basiert auf dem bewährten Design des Vorgängerfahrzeugs ny19, wurde jedoch für die aktuelle Saison entscheidend weiterentwickelt. Um ein geringeres Übersetzungsverhältnis von 16,93 zu realisieren, erfolgt der Abtrieb nun über das Hohlrad. Infolgedessen lassen sich ein Abtriebsdrehmoment von 350 Nm und eine theoretische Höchstgeschwindigkeit von 161 km/h realisieren.



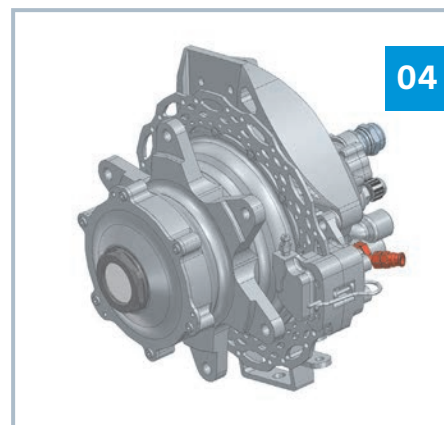
02

02 Vergleich Planetenradgeometrie Kisssoft (unten, blau) vs. CAD-Geometrie (oben)



03

03 Vergleich Hohlradgeometrie Kisssoft (links, gelb) vs. finale CAD-Geometrie (rechts)



04

04 Das gesamte Radpaket im Kisssoft-Rendering

Hinsichtlich der Verzahnungsgeometrie und der Lagerlebensdauer der Planetenstufen wurde das Getriebe umfassend optimiert. Ein besonderer Fokus lag auf dem Nachweis, dass die Zahnräder der schwelenden Belastung nicht nur über die gesamte Renndistanz, sondern über die Dauer einer kompletten Saison standhalten. Hierzu wurde ein normiertes Lastkollektiv aus Realdaten der vergangenen Saison genutzt und präzise auf die Leistungsdaten des neuen Motors skaliert. Die Zahnräder wurden dabei komplett an die neue Lastsituation angepasst. Mittels Kisssoft erfolgte eine iterative Optimierung der Radkörper in direkter Abhängigkeit von den berechneten Zahnflanken- und Zahnfußsicherheiten, um die nötige Betriebsfestigkeit für den Wettbewerbseinsatz sicherzustellen. Darüber hinaus lieferte Kisssoft die fundierte Grundlage für die mechanische Integrität der Planetenräder:

■ **Nadellager-Auslegung:** Die Lebensdauerberechnung der eingesetzten Nadellager wurde vollständig in Kisssoft durchgeführt. Unter Berücksichtigung der extremen Bauraumbedingungen wurde eine Lebensdauer von 97 Stunden berechnet. Damit weisen die Lager eine exakt definierte Standfestigkeit auf, die den Einsatz über die gesamte Saison inklusive aller Testläufe sicher abdeckt.

■ **Planeten-Pins:** Die erste Abschätzung und grundlegende Auslegung der Planetenbolzen basieren auf dem in Kisssoft durchgeführten Wellenfestigkeitsnachweis. Hierbei wurden vor allem die Zahnengriffskräfte und die daraus resultierende Biegebeanspruchung der Bolzen detailliert betrachtet. Weitere Anpassungen und Detailoptimierungen an der Geometrie wurden anschließend mithilfe von FEM-Analysen validiert.

Diese fundierte Entscheidungsgrundlage ist angesichts der hohen Bauteilkosten und der geforderten Ausfallsicherheit vor allem für das Endurance-Rennen ausschlaggebend. Kisssoft ermöglicht es, das volle Potenzial auszuschöpfen, ohne Kompromisse bei der Zuverlässigkeit einzugehen.

NACHHALTIGKEIT DURCH „RIGHT-SIZING“

Die Nutzung von Kisssoft leistet einen wesentlichen Beitrag zur Nachhaltigkeit des Dart-Projekts. Ein zentrales Ergebnis der neuen Motoren und der optimierten Auslegung ist die massive Gewichtsreduktion: Pro Radpaket konnten – in der Theorie – rund 1,0 bis 1,5 kg Gewicht eingespart werden. In der Summe reduziert dies die Fahrzeugmasse um bis zu 6 kg, was die Fahrdynamik und Energieeffizienz verbessert.

Besonders die Bauraumreduzierung des Motors führt zu einem verringerten Materialbedarf an Gehäuse- und Strukturbauteilen. Zuverlässigkeit ist hierbei der Schlüssel zur Ressourcenschonung: Ein Getriebe, das aufgrund präziser Simulationen nicht vorzeitig versagt, vermeidet unnötigen Materialausschuss. Durch den exakten Nachweis der erforderlichen Sicherheiten wird „Over-Engineering“ verhindert. Dieser konsequente Leichtbau reduziert den Einsatz wertvoller Rohstoffe und steigert die Effizienz des elektrischen Antriebsstrangs – ein direkter Beitrag zur Nachhaltigkeit von der Entwicklung bis auf die Rennstrecke.

Bilder: Kisssoft AG

www.kisssoft.com

DIE IDEE



Das Darmstädter Formel-Student-Team Dart nutzt die Getriebe-Design-Software Kisssoft um zentrale Komponenten des Antriebsstrangs wie die Pressverbände von Stator und Rotor sowie die Polygon-Wellenverbindung rechnerisch abzusichern. Die Verzahnung der Planetenstufen wurde iterativ auf Basis von Zahnflanken- und Zahnfußsicherheiten optimiert, gestützt auf ein aus Realdaten skaliertes Lastkollektiv. Zusätzlich erfolgten in Kisssoft die Lebensdauerberechnung der Nadellager sowie der Wellenfestigkeitsnachweis der Planetenbolzen. So ließen sich Over-Engineering vermeiden und Zuverlässigkeit steigern.