



Fakten

Herausforderung

Bau eines funktionsintegrierten Kühlwassermantels, der direkt am Elektromotor die entstehende Wärme abführt.

Lösung

Additive Fertigung von verschiedenen Testbauteilen aus Polyamid sowie des finalen Bauteils mit integrierten Kühlkanälen aus Aluminium mit einer EOS M 290.

Ergebnisse

- Funktional: Integration von Kühlung sowie Getriebe/ Radträger in ein Bauteil
- Leicht: 16 % Gewichtsreduktion sorgen für höhere Leistung
- Effektiv: Steigerung der Kühlleistung um 37 % im Vergleich zum Vorjahreswagen



Siegreich: Nicht zuletzt die additiv gefertigten Kühlmäntel für die Elektromotoren ließen den Rennwagen die Langstreckentests bestehen und sicherten dem GreenTeam den 2. Platz in der Gesamtwertung der Formula Student Germany (Quelle: GreenTeam Uni Stuttgart).

Ganz vorn dabei – Rennwagen mit wassergekühltem Elektroantrieb beschert Studenten Podestplätze



Verbesserte Kühlleistung dank additiv gefertigtem Aluminiummantel mit innenliegender Helixstruktur

Kurzprofil

Das GreenTeam ist eines von zwei Formula Student Teams der Universität Stuttgart und wurde 2009 gegründet. Es besteht aus Studenten der Unis Stuttgart und Hohenheim, der Hochschule der Medien oder der FOM Hochschule und ist ein eingetragener Verein.

Weitere Informationen

www.greenteam-stuttgart.de

„Im Rallyesport wurde meine Vermutung bestätigt, dass ein Auto mit zwei angetriebenen Rädern nur eine Notlösung ist“ – das sagte Rennfahrerlegende Walter Röhrl. Diesem Credo folgte auch das GreenTeam, eines von zwei Formula Student-Teams der Universität Stuttgart. Für ihren Rennwagen der Saison 2013/2014 wählten die Nachwuchingenieure ein Allradlayout mit vier radnahen Elektromotoren. Die 52 Studenten setzen nicht nur beim Antrieb des Fahrzeugs auf eine innovative Technologie, sondern auch bei dessen Herstellung: Entscheidende Teile des Kühlsystems entstanden im Additiven Fertigungsverfahren – mit Unterstützung von EOS.

Herausforderung

Mag die studentische Rennserie Formula Student Electric (FSE) auch ein Ausbildungsziel haben – letztlich geht es hier ebenfalls um Rundenzeiten und Siege. Elektromotoren stellen ein extrem hohes Drehmoment bereit und bieten daher eine sehr interessante Antriebsoption. Darüber hinaus überzeugen sie durch ihre relativ geringe Größe. Aufgrund der hohen Leistungsdichte der Elektromotoren hat die Auswahl und Auslegung des Kühlkonzepts großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und Effizienz des Antriebs. Mit einer

optimalen Kühlung kann die Dauerleistung der Elektromotoren signifikant gesteigert werden, wodurch die Elektromotoren kleiner dimensioniert werden können, um Gewicht zu sparen. Neben dem Plus an übertragbarer Motorkraft ergibt sich im Zeitalter moderner Fahrzeugelektronik der Vorteil, die Räder separat für die jeweils bestmögliche Traktion anzusteuern. Allerdings hat die Bauweise auch Nachteile. Einer davon ist die eingeschränkte Möglichkeit zur Wärmeableitung, da relativ gesehen wenig Raum zur Verfügung steht. Zudem geben die Motoren ihre Hitze in Nähe des Bremssystems ab. Kurz: Die Temperaturentwicklung und die limitierten Lösungsmöglichkeiten sind eine generelle Herausforderung. Dabei bleibt grundsätzlich die Wahl zwischen Luft- und Wasserkühlung. Bereits in der Saison 2012/2013 hatte das GreenTeam auf Wasser gesetzt, das Konzept an sich erwies sich dabei als vielversprechend.

Dennoch hatte der Vorjahreswagen mit der Hitzeentwicklung zu kämpfen. „Die Wasserkühlung funktionierte nicht optimal“, sagt Dominik Schäfer, der in der Arbeitsgruppe für den Antriebsstrang tätig war. „Daher war es naheliegend, das Motorkühlkonzept näher zu untersuchen.“ Das Ergebnis: Vor allem die Wärmeübertragung und die Wärmeströmung waren ursächlich für die zu hohen Temperaturen. „Der Grund hierfür lag in der Geometrie der Wasserkanäle. In Zonen mit einer sehr geringen Strömungsgeschwindigkeit des Wassers hatten sich Hotspots gebildet“, erklärt Schäfer weiter. Das Design kennt jedoch ein Limit – einerseits wegen des begrenzten Raums, andererseits aufgrund des Herstellungsprozesses.

Lösung

Einmal mehr bot sich die Additive Fertigung als Lösungsweg an. Die große Freiheit der Konstruktion jeglicher geometrischer Formen



Die Kühlleistung des komplexen Aluminiumbauteils konnte dank optimiertem Kühlmittelfluss und der besseren Wärmeableitung um 37 % gesteigert werden (Quelle: EOS GmbH).

ist dafür ebenso ein Grund wie die Möglichkeit, auch kleine Serien von Werkstücken schnell und kostengünstig herzustellen. So hat das Verfahren dem GreenTeam unter anderem ermöglicht, drei unterschiedliche Formen für die Kühleinheit nicht nur in Simulationen zu testen, sondern tatsächlich aus dem Polyamid PA2200 herzustellen. Ziel war es, eine ausreichende Kühlleistung bei einer minimalen Wasserpumpenleistung zu erreichen. Eine größere Pumpe kann zwar mehr Druck aufbauen, wodurch sich die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers erhöht und somit die Kühlleistung gesteigert wird, allerdings verbraucht diese auch mehr Energie, wodurch sich das Gewicht der Akkus und der Pumpe selbst erhöht. Diesen Trade off gilt es durch eine optimale Kühlkanalgeometrie bestmöglich zu überwinden.

Verschiedene Formvarianten des Kühlmantels hatte Schäfer mit einer Software für sogenanntes Computational Fluid Dynamics (CFD) getestet. Das finale Bauteil ähnelt einem Becher. Die integrierten Kühlschlangen sind Rinnen an der Innenwand, vergleichbar mit einem groben Gewinde. Eine wasserdichte Kühlleitung entsteht daraus erst, wenn der Elektromotor in

Form eines Zylinders in den Becher geschoben wird. Um dieses komplexe Bauteil mit der notwendigen Präzision und unter Berücksichtigung der geringen Stückzahl – pro Rad ist nur eines erforderlich – zu bauen, kam die Unterstützung von EOS gerade recht. „Die Produktion erwies sich als einfach und schnell durchführbar“, erläutert Schäfer. „Die Überführung der Konstruktionsdaten war zudem problemlos möglich.“ Zum Einsatz kam die EOS M 290, die mit einem hochpräzisen Laser aus feinem Metallpulver Schicht für Schicht das Werkstück aufgebaut hat. Das verwendete EOS Aluminium AlSi10Mg ist dabei besonders gut geeignet, weil es hohe mechanische und auch thermische Belastbarkeit mit geringem Gewicht vereint – ideal für die Nutzung im Rennsport. Innerhalb kürzester Zeit konnte das Rennteam so auf die Vorteile der von Schäfer erdachten Helixgeometrie zurückgreifen, die sich gegen eine Waben- und Mäanderstruktur durchgesetzt hatte.

Ergebnisse

Das fertige Bauteil wies neben den enthaltenen Kühlkanälen noch einen weiteren Vorteil auf: Der Kühlmantel wurde mit dem Flansch zum Getriebe bzw. Radträger integriert. Neben Bünde-

lungsvorteilen sinkt so das Gesamtgewicht, außerdem sind weniger Einzelteile günstiger für die Endmontage. Halterungen für Zu- und Ablauf für das Wasser wurden ebenfalls integriert. Die Nachwuchsengeure senkten so das Gewicht im Vergleich zum Vorjahr um 16 % – entscheidend für höhere Geschwindigkeiten und für die bei der FSE wichtige Ausdauerprüfung. 370 g zeigte die Waage schlussendlich an. Noch wichtiger war jedoch die Verbesserung der Kühlleistung. Sie lag um 37 % über dem Wert der Saison 2012/2013.

Nikolai Zaepernick, Leiter Strategie und Business Development bei EOS, sieht neben diesen direkten Vorzügen auch das künftige Potenzial. „Experten sagen der Elektromobilität eine große Zukunft voraus. Radnabenelektromotoren in Fahrzeugen mit Straßenzulassung weisen vergleichbare Herausforderungen auf wie in dieser Rennserie. Es ist ein gutes Gefühl zu wissen, dass sich kluge Köpfe bereits erfolgreich Gedanken zu diesem Thema gemacht haben.“

Die Vorteile haben sich zunächst in der Gegenwart gezeigt. Das GreenTeam erreichte den Weltrekord beim Beschleunigungsrennen

der Formula Student Germany (FSG)! Die erforderlichen 75 m legte der Rennwagen in nur 3,36 s zurück. Walter Röhrli hat die Beschleunigung seines Audi Quattro S1 einmal so in Worte gefasst: „Das ist so, als ob dir an einer roten Ampel einer mit dreißig Sachen ins Heck kracht.“ Gedanken einer Legende, die vielleicht auch der Ingenieursnachwuchs beim Weltrekord hatte.

„Unser Team hat in der Saison 2013/2014 hervorragende Platzierungen erreicht, darunter einen 2. Platz in der Gesamtwertung der Formula Student Germany und einen 1. Platz bei der Formula Student China. Unser Auto war einfach sehr leistungsstark. Der Allradantrieb mit Radnabenmotoren hat sich als richtige Entscheidung in puncto Performance erwiesen, der additiv gefertigte Kühlwassermantel als idealer Weg für die erforderliche Wärmeabfuhr. Wir konnten die Hitzeentwicklung im Vergleich zum Vorjahr erfolgreich reduzieren. Die EOS-Technologie hat dazu einen großen Teil beigetragen.“

Dominik Schäfer, Mitglied der Arbeitsgruppe Antriebsstrang beim GreenTeam Uni Stuttgart

EOS GmbH
Electro Optical Systems
Hauptniederlassung
Robert-Stirling-Ring 1
D-82152 Krailling bei München
Tel.: +49 89 893 36-0
Fax: +49 89 893 36-285

EOS Niederlassungen

EOS France
Tel.: +33 437 49 76 76

EOS Greater China
Tel.: +86 21 602307 00

EOS India
Tel.: +91 44 39 64 80 00

EOS Italy
Tel.: +39 02 33 40 16 59

EOS Korea
Tel.: +82 2 6330 5800

EOS Nordic & Baltic
Tel.: +46 31 760 46 40

EOS of North America
Tel.: +1 248 306 01 43

EOS Singapore
Tel.: +65 6430 0463

EOS UK
Tel.: +44 1926 67 51 10

www.eos.info • info@eos.info

Think the impossible. You can get it.

