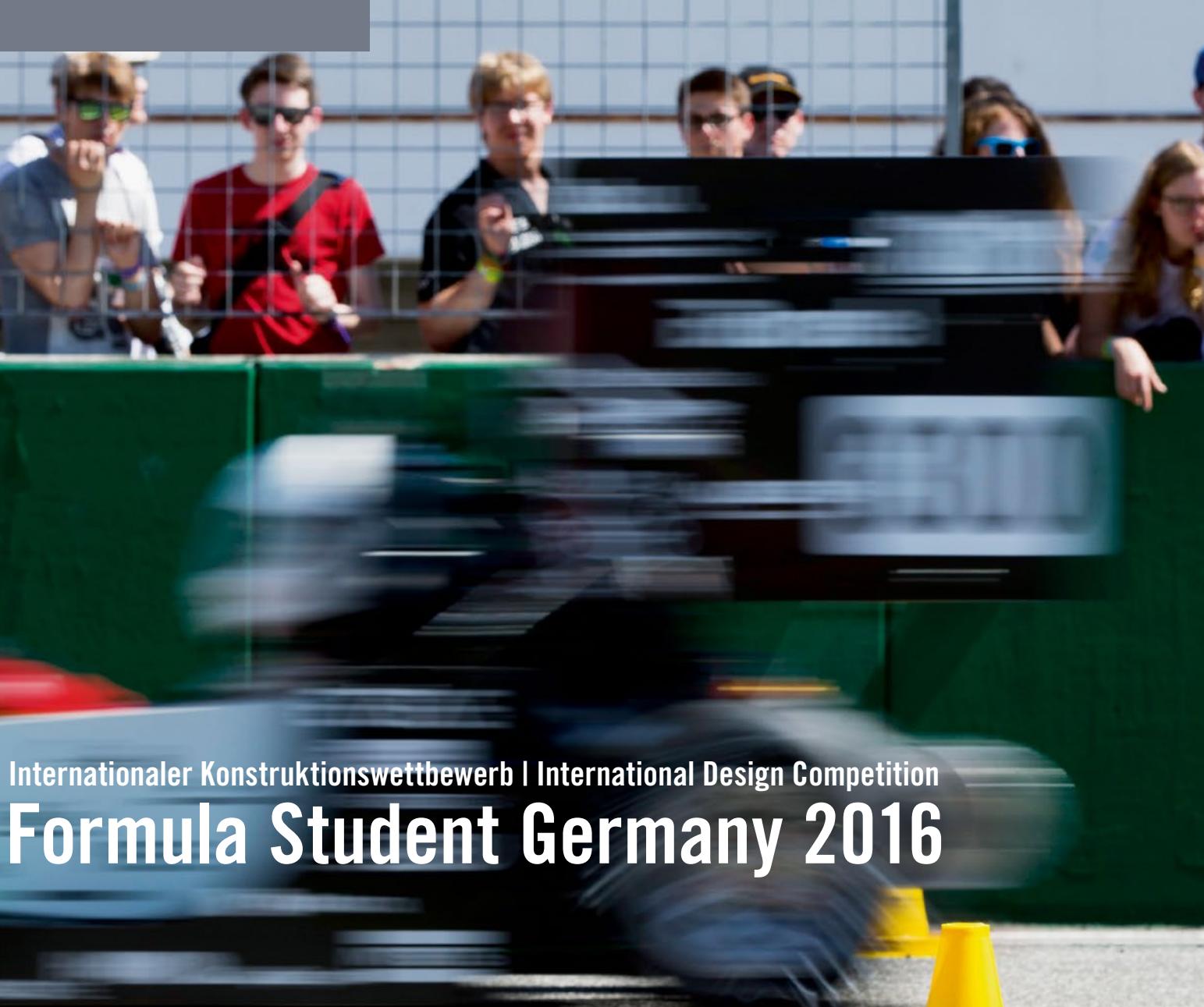


ATZ extra

November 2016



Internationaler Konstruktionswettbewerb | International Design Competition **Formula Student Germany 2016**

WETTBEWERB 2016
Competition 2016

TECHNISCHE HIGHLIGHTS
Technical Highlights

GESAMTERGEBNISSE
Overall Results

MEIN HORIZONT. WÄCHST MIT MAHLE IMMER WEITER.

„Bei MAHLE entwickeln wir ständig neue Produkte. Dabei komme auch ich immer weiter. Internationale Aufgaben, individuell abgestimmte Projekte, Weiterbildung on the job; die fachliche und persönliche Entfaltung ist bei uns Programm.“

Stefan Kupferschmid, Internationaler Trainee

Wir mögen es, wenn unsere Mitarbeiter Ziele haben. Was ist mit Ihnen? Sind Sie bereit für einen Einstieg im Turbogang? Als international führender Entwicklungspartner und Zulieferer der Automobilindustrie bieten wir Ihnen mit dem **Internationalen Traineeprogramm** spannende Entwicklungschancen. Heute arbeiten bei MAHLE weltweit rund 76.000 Mitarbeiter an über 170 Standorten. Mit unseren Produkten für Verbrennungsmotoren und deren Peripherie bis hin zu Lösungen für elektrifizierte Fahrzeuge decken wir alle wichtigen Fragestellungen entlang des Antriebsstrangs und der Klimatechnik ab. Dabei stehen unsere Mobilitätslösungen für saubere Luft, Kraftstoffeffizienz und Fahrspaß. Ihr Weg beginnt hier und jetzt – mit uns.

jobs.mahle.com



MAHLE

Driven by performance

Grenzen austesten

Liebe Leserin, lieber Leser,

in der Fahrzeugentwicklung bewegen sich die Ingenieure seit jeher in einem Spannungsfeld zwischen dem technisch Machbaren und dem von einem wirtschaftlichen Standpunkt aus Vertretbaren. Noch vor dem eigentlichen Eintritt in das Berufsleben machen auch die Studierenden, die an einem Formula-Student-Wettbewerb teilnehmen, diese Erfahrung. Um in so einem Spannungsfeld ein bewährtes System zu verbessern oder weiterzuentwickeln, müssen die angehenden Ingenieure offen für unkonventionelle und interdisziplinäre Denksätze sein.

Um eine unkonventionelle technische Lösung finden zu können, ist es manchmal auch nötig, die Grenzen eines Systems, selbst gesteckt oder durch ein Reglement bedingt, zu erweitern. Die selbst gebauten Rennwagen der Formula-Student-Teams weisen eine Menge kleiner Details auf, die zeigen, dass hier gedankliche Mauern durchbrochen wurden. Bierdosen als Auffangbehälter für Öl oder Kühlwasser oder eine Brotdose als Elektronikbox, die zahlreichen Lösungen der Teams sind clever, dem Einsatz angemessen, oft kostengünstig und dabei witzig.

Das Austesten der Grenzen mag nicht immer von Erfolg gekrönt sein, zumindest aber mit einer Erkenntnis einhergehen. Und beim nächsten Mal klappt es vielleicht.

Auch für die nächste Ära des Autofahrens – dem autonomen Fahren – müssen die Grenzen des betrachteten Systems erweitert werden, über das eigentliche Fahrzeug auf seine Umwelt hinaus. Hier wird es im nächsten Jahr richtig spannend, wenn die Teams in der neuen Wettbewerbsklasse Formula Student Driverless ihre Ideen präsentieren werden.

Dieses Jahr fand die Formula Student Germany zum elften Mal am Hockenheimring statt – mit den Wettbewerbsklassen für Fahrzeuge mit Verbrennungs- und Elektromotor. Wir freuen uns, Ihnen in diesem Sonderheft einige der herausragenden technischen Entwicklungen der Teams präsentieren zu können.

Viel Spaß bei der Lektüre
wünscht Ihnen



Angelina Hofacker, Redaktion ATZ



Testing Boundaries

Dear Reader,

Engineers involved in vehicle development have for years been caught in a conflict between what is technically feasible and what is commercially justifiable. Students participating in a Formula Student competition learn this even before their professional career begins. The young engineers of tomorrow must be open for unconventional and interdisciplinary approaches to thinking in order to improve or further develop a tried-and-tested system in such a field of conflict.

It is also sometimes necessary to push back the boundaries of a – self-imposed or externally regulated – system in order to be able to find an unconventional technical solution. The racing cars that Formula Student teams build exhibit many small details that show how conceptual walls have been broken down. Beer tins as collection tanks for oil or cooling fluid or a lunch box as electronics housing – the numerous solutions used by the teams are ingenious, their use appropriate, are often inexpensive and, at the same time, humorous.

Testing boundaries may not always lead to success, but it will at least be accompanied by new insight. And perhaps it will work out next time.

When it comes to the next age of driving – driverless cars – the boundaries of the system under consideration must be expanded beyond the actual vehicle. The environment will then become very important. It will be tremendously exciting next year when the teams present their ideas in the new class of competition: Formula Student Driverless.

This year's Formula Student Germany took place at Hockenheimring for the 11th time, with competition classifications for vehicles with an electric motor and with a combustion engine. We are pleased to be able to present some of the outstanding technical developments from the teams in this special issue. We hope you enjoy reading it.

Angelina Hofacker, Editorial Staff ATZ

WETTBEWERB 2016

- 18 Live am Hockenheimring 2016

FORMULA STUDENT COMBUSTION

TECHNISCHE HIGHLIGHTS

- 34 Schnittmodell des FSC-Siegerautos
36 Entwicklung der Aerodynamik beim Rennteam Uni Stuttgart
Sandro Göbel [Universität Stuttgart]
42 Einzylindermotor mit Turboaufladung als viel-versprechender Antriebsstrang für die Formula Student
Adam Vondrak, Martin Buchta, Milan Spicak [TU Brünn]

FORMULA STUDENT ELECTRIC

TECHNISCHE HIGHLIGHTS

- 52 Schnittmodell des FSE-Siegerautos
54 Entwicklung eines Magnesium-Monocoques für den Prototypen RT10
Benedikt Distl [TU Bergakademie Freiberg]
60 Selbst entwickeltes Planetengetriebe für ein Formula-Student-Rennfahrzeug
Max Schindlmeier, Michael Mainusch [Hochschule München]

GESAMTERGEBNISSE 2016

- 66 Gesamtergebnisse 2016 im Überblick

ÜBER DEN TELLERRAND

- 80 Ein Verein, zwei Teams – Synergien zwischen Formula Student und Effizienzwettbewerben
Tobias Spath, Daniel Hornung, Steffen Weik [TU München]
86 „Nicht nur eine Männerache“ Interview mit Cornelia Beyer [TU Braunschweig] und Friederike Häusler [TU Berlin]

RUBRIKEN I SERVICE

- 3 Editorial
79 Impressum, Wissenschaftlicher Beirat

INTERNATIONALER KONSTRUKTIONSWETTBEWERB

Formula Student Germany

Vom 9. bis 14. August 2016 fand die Formula Student Germany am Hockenheimring statt. In der elften Auflage des internationalen Konstruktionswettbewerbs, organisiert vom FSG e.V., konkurrierten in drei statischen und fünf dynamischen Disziplinen Teams aus aller Welt miteinander. 251 Mannschaften hatten sich im Vorfeld um einen Startplatz beworben. Schließlich traten 38 Teams mit einem rein elektrisch angetriebenen Fahrzeug in der FSE und 73 Teams in dem traditionellen Wettbewerb mit Verbrennungsmotor, der FSC, gegeneinander an. Zudem konkurrierten 15 Teams mit ihren Konzepten um den Formula Student Driverless Concept Award.



BILD OBEN © Frank Eppler
TITELBILD © Frank Eppler

EINLEITUNG

- 8 Worldwide Formula Student Officials Meeting 2016
Andreas Burkert
12 Startklar für die Formula Student Driverless
Steffen Hemer, Sebastian Seewaldt [FSG e.V.]

DANKSAGUNG Die ATZextra-Redaktion dankt den Fotografen der Formula Student Germany für die freundliche Überlassung ihrer Fotos und auch Daniel Mazur vom FSG e.V. für die freundliche Bereitstellung der Daten für die Gesamtergebnistabelle.

INTERVIEW

- 28 „Interdisziplinäres Arbeiten ist ein wichtiger Ausbildungsspekt“ Harald Naunheimer [ZF]



© Frank Eppler

GASTKOMMENTAR

- 90 Generalprobe als Entwicklungsingenieur Jörg Ohlsen [Edag]



© Edag

**INTERNATIONAL
DESIGN COMPETITION**

Formula Student Germany

From 9 to 14 August 2016 Formula Student Germany has taken place at the Hockenheimring. For the international design competition, organised by the FSG e.V.

for the eleventh time, teams from all over the world compete with each other in three static and five dynamic disciplines. In the run-up 251 teams applied for a starting position. Finally 38 teams compete in the Formula Student Electric and 73 teams in the traditional competition with combustion engine FSC. Moreover 15 teams competed with their concepts in the Formula Student Driverless Concept Award.



FIGURE ABOVE © Frank Eppler
COVER FIGURE © Frank Eppler

INTRODUCTION

- 10 Worldwide Formula Student Officials Meeting 2016
Andreas Burkert

- 14 Ready for Formula Student Driverless
Steffen Hemer, Sebastian Seewaldt [FSG e.V.]

ACKNOWLEDGEMENT The editors of ATZextra would like to thank the photographers of Formula Student Germany for sharing their photos and especially Daniel Mazur from FSG e.V. for the kind provision of data listed in the overall results table.



- INTERVIEW**
31 "Interdisciplinary teamwork is an important aspect of education"
Harald Naunheimer
[ZF]



© Frank Eppler



- GUEST
COMMENTARY**
90 Dry Run for Development Engineers
Jörg Ohlsen [Edag]



© Edag

COMPETITION 2016

- 18 Live at the Hockenheimring 2016

FORMULA STUDENT COMBUSTION

TECHNICAL HIGHLIGHTS

- 34 Cutaway Model of the FSC Winning Car
- 38 Development of Aerodynamics in Rennteam Uni Stuttgart
Sandro Göbel [University of Stuttgart]
- 44 Turbocharged Single Cylinder as a Promising Formula Student Powertrain
Adam Vondrák, Martin Buchta, Milan Spicák [TU Brno]

FORMULA STUDENT ELECTRIC

TECHNICAL HIGHLIGHTS

- 52 Cutaway Model of the FSE Winning Car
- 56 Development of a Magnesium Monocoque for the Prototype RT10
Benedikt Distl [TU Bergakademie Freiberg]
- 62 Self-developed Planetary Gears for a Formula Student Racing Car
Max Schindlmeier, Michael Mainusch [Munich University of Applied Sciences]

OVERALL RESULTS 2016

- 66 Overall Results 2016 at a Glance

LOOKING BEYOND

- 82 One Club, Two Teams – Synergies between Formula Student and Efficiency Competitions
Tobias Spath, Daniel Hornung, Steffen Weik [TU Munich]
- 88 "Not just for men"
Interview with Cornelia Beyer [TU Braunschweig] and Friederike Häusler [TU Berlin]

RUBRICS | SERVICE

- 3 Editorial
79 Imprint, Scientific Advisory Board









Worldwide Formula Student Officials

Meeting 2016

Der Erfolg der Formula Student liegt in ihrer Internationalität begründet. In den USA begonnen, entwickeln heute auch Studierende aus Indien und Thailand an eigenen Rennfahrzeugen. Mit der Formula Student Driverless wird es beim deutschen Wettbewerb künftig noch spannender.

UNKOMPLIZIERTES MITEINANDER AUF ALLEN EBENEN

Am Rande der diesjährigen Formula Student Germany am Hockenheimring trafen sich auch die Vertreter der internationalen Organisationsverbände, um über das Rennen vor Ort zu fachsimpeln wie auch über anstehende Entscheidungen und Termine der Formula-Student-Veranstalter zu diskutieren. Zum „Worldwide Formula Student Officials Meeting“ wurde kurzerhand ein Raum im Motodrom Hotel zum Headquarter umfunktioniert. Die unmittelbare Nähe zur Rennstrecke wird dem Anlass gerecht. Für Dr. Ludwig Vollrath, der diese Veranstaltung federführend verantwortet, sind diese Treffen auch deshalb von großer Bedeutung, weil in einer ungezwungenen Atmosphäre offen Probleme angesprochen werden können. „Das Wesen der Formula Student, der Veranstaltung wie auch der Organisation, ist das unkomplizierte Miteinander auf allen Ebenen“, erzählt Vollrath.

Ihm ist es ein wichtiges Anliegen, dass sich im Rahmen der Formula Student Erstsemester mit Entwicklungsvorständen großer Automobilunternehmen genauso zwangslässig treffen wie ältere Semester abseits der Rennstrecke ihre berufliche Zukunft planen können. „Und das natürlich über Ländergrenzen hinweg“, so Vollrath. Die Erfahrungen, die

internationale Teams mitbringen, sind seiner Ansicht nach von großer Bedeutung für den Wettbewerb. Vollrath ist Mitglied des Board & Executive Komitees der Formula Student Germany e.V. und zuständig für internationale Beziehungen. In seiner Funktion als Geschäftsführer der VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik holte er im Jahr 2005 die Formula Student nach Deutschland. Mit großem Erfolg. In diesem Jahr haben über 4000 Studenten aus 23 Nationen ihr technisches Können auf dem Rennparcours unter Beweis gestellt.

CHINA ENGAGIERT SICH SEHR STARK IN DER FORMULA STUDENT

Dass die erfolgreichsten Teams dabei auch international aufgestellt sind, hält Vollrath für ein wertvolles Indiz dafür, dass „wir mit unserer Veranstaltung auf dem wichtigen Weg sind“. Es gilt nämlich auch, die Teilnehmer international zu fördern. Immerhin agieren nahezu alle Automobil- wie auch Zulieferunternehmen heute international. „Wir müssen es vor diesem Hintergrund schaffen, mit unseren lokalen Veranstaltungen auch ein internationales Netzwerk zu schmieden“, erklärt Vollrath dann auch gleich zu Beginn der Sitzung. Nur so lassen sich seiner Ansicht nach die Bedürfnisse der Automobilindustrie erfüllen.

Worldwide Formula Student Officials Meeting 2016

The success of Formula Student lies in part in its international character. It all began in the USA and now students from India and Thailand, for example, are developing their own racing cars. The new Formula Student Driverless competition will make the German event even more exciting in future.

UNCOMPLICATED INTERACTION AT ALL LEVELS

The representatives of the international organisations met on the sidelines of this year's Formula Student competition at the Hockenheimring to talk about the racing at the German event and to discuss forthcoming decisions and dates of the Formula Students organisers. A room in the Motodrom Hotel was transformed into the headquarters of the Worldwide Formula Student Officials Meeting. Its close proximity to the race circuit made it the perfect setting.

Dr. Ludwig Vollrath, who organised and chaired the gathering, believes that these meetings are very important because they allow problems to be discussed openly in a relaxed atmosphere. "The key feature of both the Formula Student organisation and the events is the opportunity they offer for people from all levels to spend time together in a relaxed setting," said Vollrath.

It is important for him that students in their first semester can meet informally with the development directors of major car makers and equally that students at a later stage in their degree course can begin planning their careers away from the race track, all within the context of Formula Student. "And, of course, this happens across national borders," said Vollrath. In his view, the experience that the international teams contribute is of major importance for the competition. Vollrath is a member of the board and the executive committee of Formula Student Germany e.V., with responsibility for international relations. In his role as President of the Society for Vehicle and Traffic Technologies of the VDI (Association of German Engineers), he brought Formula Student to Germany in 2005, where it has since been a great success. This year, more than 4000 students from 23 countries demonstrated their technical skills on the race circuit.

CHINA IS HEAVILY INVOLVED IN FORMULA STUDENT

In Vollrath's opinion, the fact that the most successful teams have an international background is a clear indication that "our event is on the right track". It is important to give the participants support on an international level, because almost all vehicle manufacturers and automotive industry suppliers do business throughout the world. "Against this background, we must establish an international network of local events," Vollrath explained at the beginning of the meeting. He believes that this is the only way for Formula Student to meet the needs of the automotive industry.

More and more countries are becoming involved in Formula Student because of the obvious benefits that it offers. The Worldwide Formula Student Officials Meeting gave the clear impression that China is at the head of queue. The Chinese sent three representatives to Hockenheim as proof of their commitment to the event.

The organisers in China have been aware for a long time that Formula Student is the ideal vehicle for motivating students to investigate new fields. One of the representatives of the Chinese delegation mentioned this in his presentation at the meeting. All of this has the support and widespread acceptance of the Chinese car industry, which has recognised that well-qualified young people with practical experience are of huge importance in terms of its own human capital, with regard to both electric vehicles and autonomous driving. "It increases their international competitiveness," said Vollrath.

THE REGULATIONS NEED INTERNATIONAL ACCEPTANCE

For this reason, the Chinese have set up an independent event for electric cars, which has been highly successful and which runs alongside the Formula Student competitions for cars with combustion engines.

They are also hoping for victories in the driverless competition in future. Although the regulations were only drawn up and responsibilities assigned within the Formula Student organisation a few weeks ago, the Chinese are already working on their first cars, as are other countries.

To ensure that everyone is heading in the same direction, Vollrath explained that "the subject of autonomous driving must be placed in an international context". He believes it is essential that standardised rules are drawn up on an international level and that they receive worldwide acceptance. Standard regulations are also important because they ensure that comparable results can be achieved in the Formula Student competitions taking place all over the world. Vollrath used the meeting in Hockenheim, which involved delegations from Russia, India, Japan, China, Hungary, Austria, Great Britain, Canada and Spain, to discuss Formula Student Driverless (FSD), as well as new ideas and possible improvements to the event.

THE STRENGTHS OF DIFFERENT COUNTRIES IN FORMULA STUDENT

The events in different countries and regions each have a different focus. For example, an increasing number of pure electric racing cars have been taking part in the competitions in Europe and China since the category was introduced five years ago. In Germany, 40 % of the university teams opted for an electric powertrain, while in the USA and Australia the majority of the teams are developing cars with traditional combustion engines. In addition, every event has its own unique character. But according to Vollrath, they all share a common aim, which is "to offer a platform that allows students to prepare in a focused way for the future requirements of their professional career".

Andreas Burkert

BILD 1 Dr. Ludwig Vollrath (zweiter von links) moderierte das Worldwide Formula Student Officials Meeting anlässlich der Formula Student in Hockenheim (© Andreas Burkert)

FIGURE 1 Dr. Ludwig Vollrath (second from left) chaired the Worldwide Formula Student Officials Meeting at the Formula Student event in Hockenheim (© Andreas Burkert)



Wohlwissend der genannten Vorteile engagieren sich immer mehr Länder bei der Formula Student. Allen voran, so hat es zumindest beim Worldwide Formula Student Officials Meeting den Eindruck hinterlassen, allen voran China. Die Asiaten haben gleich drei Vertreter nach Hockenheim geschickt, um ihr Engagement vorzustellen.

Die Veranstalter der Formula Student in China haben schon lange erkannt, dass die Formula Student ein geeignetes und beliebtes Vehikel ist, um Studenten zu motivieren, sich mit neuen Themen auseinanderzusetzen. Darauf weist auch der Vertreter der chinesischen Delegation im Rahmen seiner Präsentation auf dem Meeting hin. Das ganze geschieht im Einklang und mit großer Akzeptanz der chinesischen Automobilindustrie. Die nämlich hat in der Elektromobilität wie auch in der Technik des autonomen Fahrens erkannt, dass junge gut ausgebildete Menschen, die auch noch praktische

Erfahrung auf diesem Gebiet mitbringen, für das eigene sogenannte „Human Capital“ von enormer Bedeutung sind. „Das stärkt die internationale Wettbewerbsfähigkeit“, sagt auch Vollrath.

REGELWERK MUSS INTERNATIONAL AKZEPTIERT WERDEN

Die Chinesen haben bei ihrer eigenen Veranstaltung auch aus diesem Grund neben der Formula Student mit verbrennungsmotorischen Fahrzeugen ein eigenständiges Event nur für Elektrofahrzeuge mit großem Erfolg etabliert. Darüber hinaus hoffen sie auch, in Zukunft mit dem Driverless-Wettbewerb Siege einzufahren. Auch wenn erst vor wenigen Wochen das Regelwerk dafür neu aufgestellt wurde und in der Formula Student die Aufgaben verteilt wurden, arbeiten auch sie bereits an ersten Fahrzeugen. Wie im Übrigen auch andere Teilnehmerländer.

Damit allerdings alle an einem Strang ziehen, muss „das Thema autonomes Fahren im internationalen Kontext erfolgen“, weiß Vollrath. Für ihn sind einheitliche Regeln wichtig, die international erarbeitet und später weltweit anerkannt werden. Ein einheitliches Regelwerk ist auch deshalb wichtig, um auf den weltweit stattfindenden Formula-Student-Rennen vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Das Treffen der Delegationen aus Russland, Indien, Japan, China, Ungarn, Österreich, Großbritannien, Kanada und Spanien in Hockenheim nutzte Vollrath dann auch, um neben neuen Ideen und möglichen Verbesserungen der Veranstaltung die Formula Student Driverless (FSD) zu diskutieren.

DIE STÄRKEN AUSGESUCHTER LÄNDER BEI DER FORMULA STUDENT

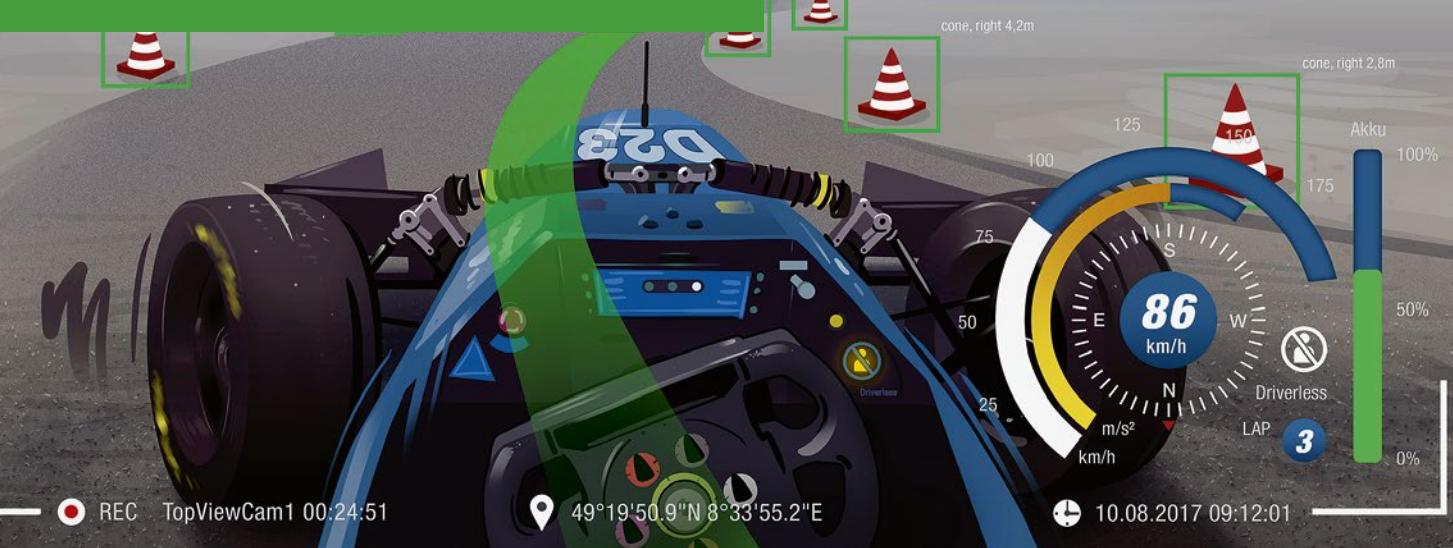
Länder- und regionspezifisch lassen sich unterschiedliche Schwerpunktsetzungen bei den einzelnen Events beobachten. So nehmen – seit der Einführung vor fünf Jahren – in Europa und China zunehmend rein elektrisch angetriebene Rennwagen an den Wettbewerben statt. In Deutschland setzen inzwischen 40 % der universitären Teams auf einen elektrischen Antrieb. In den USA und Australien treten die Teams vorzugsweise mit klassischer Verbrennertechnik an. Auch hinsichtlich der Ausgestaltung des Wettbewerbs hat jedes Event seine eigene Handschrift. Allen gemein ist Vollrath zufolge aber das Ziel, „eine Plattform zu bieten, auf die sich Studenten zielgerichtet auf künftige Anforderungen in ihrer beruflichen Karriere vorbereiten können“.



BILD 2 Das Worldwide Formula Student Officials Meeting ist eine internationale Veranstaltung, bei der in entspannter Atmosphäre technische und organisatorische Probleme gelöst werden (© FSG | Stephanie Bergan)

FIGURE 2 Worldwide Formula Student Officials Meeting is an international event where technical and organisational problems can be resolved in a relaxed atmosphere (© FSG | Stephanie Bergan)

Startklar für die Formula Student Driverless



Die Organisatoren des internationalen Konstruktionswettbewerbs Formula Student Germany schreiben im kommenden Jahr eine neue Wettbewerbskategorie für autonom fahrende Rennfahrzeuge aus: die Formula Student Driverless (FSD). Ab 2017 sollen die selbstfahrenden Fahrzeuge an den Start gehen. Dafür musste im Vorfeld auch ein technisches Reglement erarbeitet werden.

IMPULSGEBER FÜR DIE FORMULA STUDENT

Spätestens bei der Formula Student Germany (FSG) 2015 war klar, dass die Formula Student Electric – die den globalen Trend der Elektromobilität aufgreift – erfolgreich etabliert ist. Nicht nur bei der FSG, auch bei Formula-Student-Events weltweit. Deshalb sahen die Organisato-

ren der FSG, dass die Zeit reif war, einen weiteren Formula-Student-Wettbewerb zu initiieren, der sich mit der nächsten Herausforderung der heutigen und künftigen Fahrzeugentwicklung beschäftigt: dem autonomen Fahren.

Denn die FSG will weiterhin eine innovative Veranstaltung bleiben, die die kommenden Generationen von Ingenieuren dazu qualifiziert, sich dieser Heraus-

forderung zu stellen. Deshalb schreibt das Team der FSG für das Jahr 2017 die Formula Student Driverless (FSD) aus.

Die Möglichkeiten jedoch, einen solchen Wettbewerb zu gestalten, scheinen endlos. Deshalb hatte das Organisationsteam sich dazu entschlossen, die Teams bereits in der Gestaltungsphase zu involvieren, um zu erfahren, welchen Herausforderungen sie sich stellen wollen und wie ihrer Meinung nach die Präsentation der Lösungen aussehen soll. Im Rahmen des „Formula Student Driverless Concept Award 2016“ war die Aufgabe der Teams, einen fünfzehnseitigen wissenschaftlichen Aufsatz über ihre Gedanken und Lösungen zu erstellen. Fünfzehn von ihnen durften ihre Arbeit dieses Jahr in Hockenheim vorstellen. Das beste Konzept gewann einen Special Award dotiert mit einem Preisgeld von 3000 Euro für den ersten Platz.

Das Organisationsteam war auf die von den Teams erarbeiteten Inhalte zu den Fragestellungen sehr gespannt und wurde

AUTOREN



Steffen Hemer, M. Sc.
promoviert derzeit an der TU Kaiserslautern und engagiert sich ehrenamtlich seit 2015 bei der Formula Student Germany.



Dr.- Ing. Sebastian Seewaldt
ist Ingenieur Funktionsentwicklung bei der Porsche AG und engagiert sich ehrenamtlich seit 2008 bei der Formula Student Germany.

weder von den Aufsätzen noch von den Präsentationen enttäuscht. Zwanzig Juroren aus Industrie und Wissenschaft, die sich alle beruflich mit dem Themenfeld „autonomes Fahren“ beschäftigen, waren begeistert von den Lösungen, die Vergabe der Platzierungen fiel nicht leicht. Alle beteiligten Juroren sind nun sehr gespannt auf die Umsetzungen der Konzepte im kommenden Jahr und wollen unbedingt wieder zur Bewertung dabei sein. Die Gewinner des diesjährigen Preises waren die Teams der WH Zwickau, **BILD 1**, TU Darmstadt und TU München (in absteigender Reihenfolge).

Parallel dazu begann auch das Organisationsteam, sich zu überlegen, wie die FSD innerhalb des bestehenden Zeitplans und Aufbaus umgesetzt werden könnte. Natürlich standen hierbei die Sicherheit und Reglementierung im Vordergrund. Am Ende der diesjährigen Veranstaltung in Hockenheim wurden die Ideen und

Eindrücke aus dem Konzeptwettbewerb mit den eigenen Gedanken und dem Rahmen der Formula Student zunächst als Entwurf zusammengefasst. So soll interessierten Teams so früh wie möglich die Chance gegeben werden, sich zu überlegen, bei der FSD 2017 teilzunehmen, mit allen zu erwartenden Hürden und Herausforderungen, organisatorisch wie technisch. In der Zwischenzeit wurde der Entwurf weiter in das Gesamtreglement für 2017 eingearbeitet, viele Details hinzugefügt und die Themen der aufgetretenen Fragen und Probleme präzisiert.

SICHERHEITSKONZEPT

Der Hauptfokus, der sowohl im Entwurf als auch im finalen Reglement gesetzt wurde, liegt auf einem Basissicherheitskonzept. Kein Fahrer soll einem Risiko während des autonomen Fahrens ausgesetzt werden. Daraus folgt, dass das Fahr-

DAS REGELWERK DER FORMULA STUDENT

Das Regelwerk der Formula Student bildet das Grundgerüst des Wettbewerbs. Es beinhaltet technische Vorgaben zum Bau des Fahrzeugs, beschreibt den Ablauf des Wettbewerbs mit statischen und dynamischen Disziplinen und definiert die Punktevergabe. Seit den Anfängen der Formula Student Wettbewerbe in den USA vor mehr als 35 Jahren ist das Dokument stetig erweitert worden und von ursprünglich vier auf 183 Seiten angewachsen.

Ein Grund hierfür ist der technische Fortschritt. Monocoques aus Kohlefaser und elektrische Motorsteuerung mussten in der Anfangszeit noch nicht berücksichtigt werden. Mit der Einführung der Formula Student Electric im Jahr 2010 wuchs das Reglement zusätzlich.

Auch bezüglich der Fahrzeugsicherheit gab es Weiterentwicklungen. Heutzutage muss jedes Fahrzeug über ein Crashelement verfügen, dessen Wirksamkeit die Studenten mit einem Testaufbau belegen müssen. Da das technische Reglement bewusst viele Freiheiten lässt, decken die Teilnehmer Jahr für Jahr auch kleine „Lücken“ auf. Diese zu schließen führt ebenfalls zu Regelerweiterungen.

Der ursprüngliche Gedanke des Reglements war, ein kleines Rennfahrzeug für Hobbyrennfahrer mit einem Herstellungspreis von maximal 25.000 US-Dollar zu bauen. Diese Hobbyrennfahrerszene gibt es jedoch in Europa nicht. Auch sind die Kosten heutzutage nicht mehr vergleichbar mit denen von vor 35 Jahren. Fahrzeuge mit Elektroantrieb sind zudem deutlich teuer in der Herstellung als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Deshalb muss das Regelwerk in solchen Fällen von Zeit zu Zeit der Realität angepasst werden.

Mit der Einführung der Formula Student Driverless wäre das Reglement ein weiteres Mal erweitert worden und auf deutlich über 200 Seiten angewachsen. Ein solch umfangreiches und komplexes Dokument kann den teilnehmenden Teams nicht mehr als zentraler Leitfaden dienen. Um diese – insbesondere für Neueinsteiger – wichtige Funktion wieder zu gewährleisten, wurde die Einführung der FSD zum Anlass genommen, das Regelwerk komplett zu überarbeiten, neu zu strukturieren und von überflüssigem Ballast zu befreien.

Als Ergebnis steht nun ein klar strukturiertes und übersichtliches Reglement, mit dem die Formula Student in Zukunft gut gerüstet und attraktiv für neue und alte Teilnehmer ist.

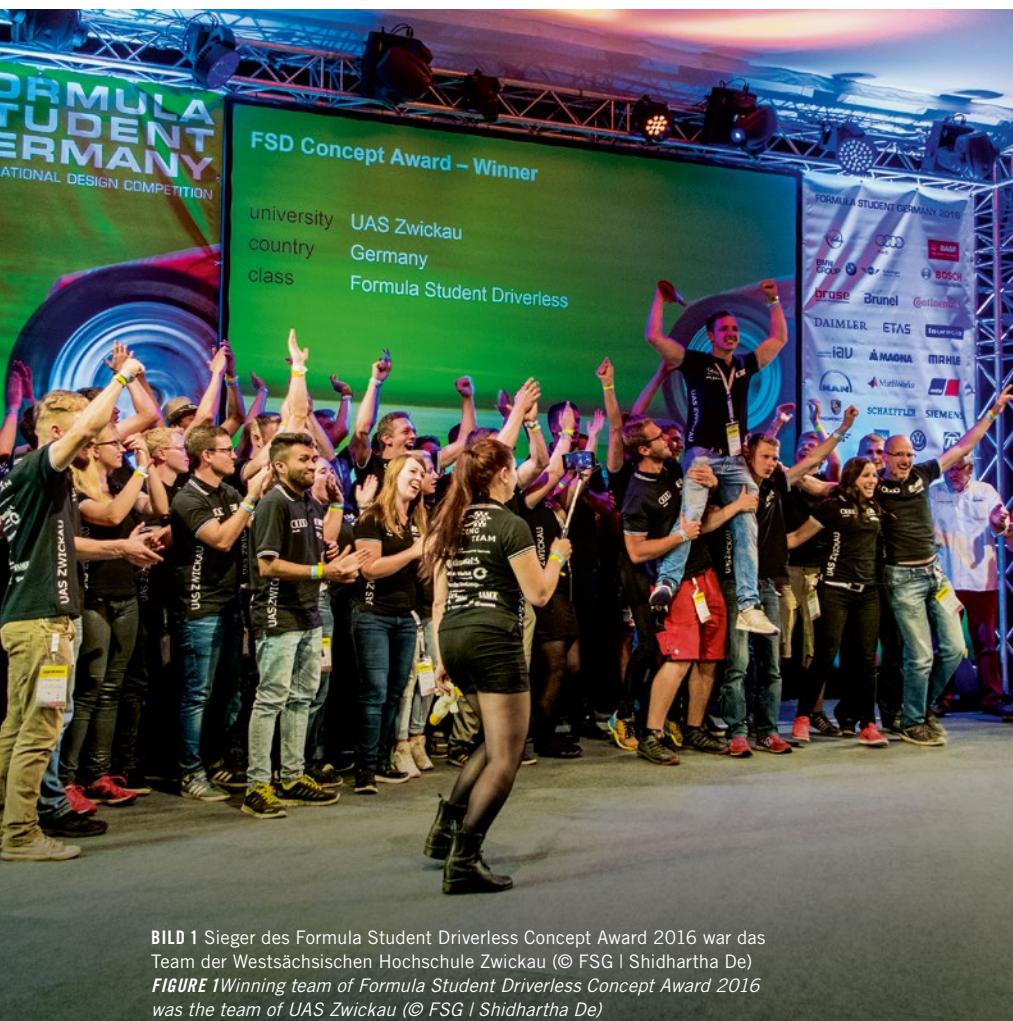


BILD 1 Sieger des Formula Student Driverless Concept Award 2016 war das Team der Westsächsischen Hochschule Zwickau (© FSG | Shidhartha De)
FIGURE 1 Winning team of Formula Student Driverless Concept Award 2016 was the team of UAS Zwickau (© FSG | Shidhartha De)

Ready for Formula Student Driverless

The organisers of the international design competition Formula Student Germany will launch a new competition category for autonomous racing cars in the coming year: the Formula Student Driverless (FSD). From 2017, self-driving vehicles will be standing at the starting line. Therefore, the technical rules had to be worked out in advance.

DRIVING FORCE OF FORMULA STUDENT

At Formula Student Germany (FSG) 2015 the Formula Student Electric, coping with the huge global trend of electro mobility, was very successfully established not only at FSG but worldwide. The organisers of FSG saw the next future challenge in the automotive industry coming up: autonomous Driving. So the organisation team of FSG believe the time has come to create another Formula Student competition dealing with this topic. The FSG is willing to keep on being an innovative and leading event qualifying future engineers, who can solve that challenge. So the organisation team is going to launch a new competition: the Formula Student Driverless (FSD).

But the possibilities for such an event seem to be endless. Therefore, the FSG organisers involved the student teams in the design phase getting to know what they want to challenge themselves, and how to present it finally at the competition. In the context of the so-called Formula Student Driverless Concept Award 2016, the organisation team asked the teams for a 15-page scientific paper about their thoughts and solutions and let 15 of them present their work in Hockenheim this year. The best provided concept got a special award endowed with a prize money up to 3000 euros for the first place.

The organisation team was genuinely excited about the contents elaborated by the teams addressing the questions asked and got neither disappointed at all by the papers nor by the presentations. 20 judges from industry and research, dealing with various topics related to highly-automated driving, were stoked by the solutions and it was not easy to nominate the ranks. All involved judges are enthusiastically looking forward to seeing the concepts realised next year and are keen on judging again. The winners of the special award this year are the teams of UAS Zwickau,

FIGURE 1, TU Darmstadt, and TU Munich (in descending order).

In parallel to the award, the organisation team also started to make up their minds on how to implement FSD within the existing schedule and locations. Of course, an important thought was about idea of safety and regimentation. Finally, the team combined the ideas and impressions from the concept award with their own thoughts and the scope of Formula Student first as a rules draft right in the final days of the Hockenheim competition. The intention was to give interested teams an early chance to think about participation in FSD 2017 with all the hurdles and challenges they might be faced with, organisational as well as technical. Meanwhile, this draft was further rendered into the combined main rules document for 2017, and a lot of details are integrated, and topics of upcoming questions and problems concerning the draft version are stated more precisely.

SAFETY CONCEPT

The main focus, the organisation team put in the final rules as well as in the draft, is on a basic safety concept. First of all, a driver should not be exposed to any risk while driving autonomously. This means that driverless car needs to be stopped otherwise if anything on the perception or autonomous decision-making side goes wrong.

At first, there is to be mentioned the usage of an industrial-grade, safety-level-certified remote emergency shutdown system that has to be bought and obligatorily installed by the team. It has to act as another opener of the so-called shutdown circuit. For electric vehicles this cuts the energy supply from the accumulator, for combustion vehicles, it cuts ignition and fuel supply. By the way, there was no reason to exclude one of the drivetrain variants for Driverless.

But this just shuts down actuation and does not bring the vehicle to a full stop. Therefore, the organisation team demand an emergency brake system that is additionally triggered by opening the shutdown circuit. How this is realised in detail, i.e. full braking with steering fixed or controlled deceleration with active steering is left to the teams but needs to have its safety verified via a Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). This will be handed in and checked for plausibility by us, the organisers. Additionally, the system has to meet several requirements concerning reaction time, stability and deceleration, which will be tested during Scrutineering.

To inform about some critical internal states, an optical visualisation device, located at the main hoop, is mandatory.

Also, the possibility to drive the vehicle manually for testing purposes was a big concern. This gives teams the chance to test and verify their algorithm on a realistically moving vehicle under real environmental conditions. The recorded actuator target values can be compared with the actual driver's behaviour.

This naturally leads to the necessity to have a driver seated safely in the vehicle and all automated actuators controlled by the autonomous system like brake and steering surely disengaged.

AUTHORS

Steffen Hemer, M. Sc.
is graduating at Technical University of Kaiserslautern (Germany) and is voluntarily engaged since 2015 at Formula Student Germany.

Dr.- Ing. Sebastian Seewaldt
is Engineer Function Development at Porsche AG and voluntarily engaged since 2008 at Formula Student Germany.

Having the need of a fully-armed cockpit with a steering wheel, pedals, etc. also gives the opportunity to use last years' vehicles (back to those from season '15 for this year) for conversion without putting those teams in a disadvantageous position. This additionally lowers the entry level and let teams focus on the engineering of the autonomous system. Nevertheless, they should keep knowledge about the mechanical/electrical construction and layout of the vehicle which is covered by the selection of the static events mentioned later in this text.

For the autonomous system including environment perception and sensor technology, computation hardware, architectural paradigms, algorithms, and so on, the organisation team wants to give the teams as much freedom as possible. So, with the remote emergency shutdown and the safety-verified emergency brake system, there was only one safety-critical thing left to limit: all deployed sensors and systems have to fulfil legislative specifications (i.e. eye-protection classification for laser sensors, power limitation for radar sensors, etc.). This is of course for health reasons of the team members and the spectators.

Another reason for leaving this scope deregulated is for sure the huge effort detailed system and software reviews of all the individual solutions would raise. This is just not manageable as a group of volunteers as at the Formula Student Germany organisation.

NEW EVENTS

For judging the solutions and innovations on the autonomous system, there will be an additional Autonomous Design event (besides the classical engineering design event) which focuses on sensor selection, algorithmic solutions and software development process. This will be combined with a so-called race review where both excellent reactions, as well as erroneous situations during the Trackdrive event, can be analysed and explained to expert judges. Therefore, the organisers will install a standardised data-logger with video recording on each vehicle. The standard design event still covers the general development of the car, regardless if an old vehicle is rebuild or a new one is developed from scratch.

The choice and setup of the dynamic disciplines planned for Driverless are

driven by two main principles: first, the recognisability of a Formula Student event should be kept, and second, the course should be identifiable by various sensor types. The first principle is also tightly coupled to a comparability to the other contests, Formula Student Combustion and Electric, at the long term.

Thus, also the driverless vehicles will race an acceleration event and the Skidpad with slightly different setups. To allow a variety of sensor systems, the common cone marking is adapted to different colours for left and right side in all parts of the main track. The finish line is marked with bigger cones in contrasting colour at each side.

Acceleration requires an additional autonomous deceleration and full stop within a given distance. Therefore the side-wise-coloured marking is extended with different but single-colored cones to that distance.

At the Skidpad entry and exit section are as well marked by single-coloured cones. Finally, there will be a combination of autocross and endurance called Trackdrive, where the vehicles race ten laps on small round track individually. Each finalised lap will grant points here as the organisers do not want to have the whole discipline count zero if there is a disqualification given in a following lap.

During Trackdrive, the efficiency is scored. It is not fixed yet, but at least for later years the plan is to include the efficiency of the so-called low voltage supply too as sensory systems and computation hardware will have a significant impact on it in comparison to nowadays' vehicles.

A NEW ERA

The interest in Driverless is huge. That shows a look into the amount of rules questions in the online forum and the teams already classified themselves as a Driverless class team. Students are working hard and seriously on the realisation of an autonomously driving vehicle, and the organisation team of Formula Student Germany are looking forward to seeing interesting concepts and driverless racing cars pushing to the limits on the track. And we will experience keen programmers hacking the last optimisation into their algorithms as the mechanics nowadays last-minute fix their setups with tape, zip-ties, and angle-grinder.

THE RULES OF FORMULA STUDENT

The rules and standards of Formula Student form the basis of the competition. There are technical specifications for the design of the vehicles given, the procedure of the contest with static and dynamic events is described, and the point allocation is defined. Since the beginning of Formula Student competitions in the USA more than 35 years ago, the document has expanded steadily, and it grew from four to 183 pages.

One reason is technical progress. Carbon fibre monocoques and electronic engine control did not have to be considered in the early times. With the introduction of Formula Student Electric in 2010, the rules additionally grew.

Furthermore, there were improvements regarding the vehicles' safety. Nowadays every vehicle must have an impact attenuator whose effectiveness the students need to prove by physical testing. Because the technical rules intentionally leave a lot of freedom, the participants find small "gaps" year by year. Closing them again leads to rules extensions.

The original idea of the rules was to build a small racecar for weekend racers with production costs of 25,000 US dollars maximum. But there is no such weekend racer community in Europe. Additionally, the costs today are not comparable anymore to those 35 years ago. Besides that, vehicles with an electric drivetrain are much more expensive to build than vehicles with an internal combustion engine. For this reason, the rules have to be adapted to reality from time to time.

With the introduction of Formula Student Driverless, the rules would have been extended another time and grown over 200 pages definitely. Such a complex and expansive document cannot serve the teams as a central guideline anymore. To again assure this important functionality, especially for newcomers, the introduction of FSD was taken as a motivation to completely review the rules, restructure them and skip unnecessary ballast.

As a result, there is now a clearly structured and well-arranged rules document that sets Formula Student for the future and keeps it attractive for new as well as for established participants.

zeug von außen angehalten werden muss, wenn etwas in dessen Wahrnehmung oder Entscheidungsprozessen schief geht.

Dafür wird ein kommerziell erhältliches, SIL-zertifiziertes Funknotaussystem vorgeschrieben, das die Teams kaufen und verpflichtend installieren müssen. Dieses wird als weiterer Öffner dem sogenannten Sicherheitskreis hinzugefügt. Bei Elektrofahrzeugen wird durch diese Schaltung die Energiezufuhr aus dem Akku unterbrochen, bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor die Zündung und die Einspritzung. An dieser Stelle sei angemerkt, dass das Organisationsteam keinen Grund sah, eine der Antriebsklassen vom autonomen Fahren auszuschließen.

Aber damit ist erst der Antrieb ausgeschaltet, das Fahrzeug ist noch nicht vollends gestoppt. Hierzu wird ein Notbremsystem vorgeschrieben, das ebenfalls durch das Öffnen des Abschaltkreises ausgelöst wird. Wie dies im Detail ablaufen soll, also ob zum Beispiel eine Vollbremseung mit festgestellter Lenkung oder ob eine kontrollierte Bremsung mit Ausweichen durchgeführt wird, ist den Teams überlassen. Voraussetzung ist allerdings ein Sicherheitsnachweis per Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA), der eingereicht und auf Plausibilität überprüft wird. Zusätzlich muss das Bremsystem weitere Voraussetzungen wie Reaktionszeit, Stabilität und Verzögerung erfüllen, die in der technischen Überprüfung abgenommen werden.

Um auf kritische interne Zustände hinzuweisen, ist ein optisches Signal am Überrollbügel vorgeschrieben. Auch die Möglichkeit das Fahrzeug weiterhin für Testzwecke manuell fahren zu können, war eines der großen Anliegen. Dies gibt den Teams die Möglichkeit, ihre Algorithmen unter Realbedingungen zu testen und zu verifizieren. Die aufgezeichneten Sollwerte für die Akteure können so mit dem Fahrerverhalten verglichen werden. Der muss Fahrer also sicher im Fahrzeug untergebracht werden und alle automatisierten Akteure, die vom autonomen System kontrolliert werden können, wie beispielsweise Brems- und Lenkaktor, müssen sicher trennbar sein.

Die Notwendigkeit eines voll ausgestatteten Cockpits mit Lenkrad, Pedalen, usw. ergibt die Möglichkeit Altjahresfahrzeuge (bis zurück zur Saison 2015/2016) ohne größeren Wettbewerbsnachteil zur Umrüstung zuzulassen. Das reduziert zusätzlich die Einstieghürde und ermög-

licht den Fokus auf die Entwicklung des autonomen Systems.

Es soll jedoch auch weiterhin das Wissen über die mechanische/elektrische Konstruktion und Auslegung des Fahrzeugs erhalten werden, was in den später erläuterten statischen Events sicher gestellt wird.

Bei der Entwicklung des autonomen Systems, das Umwelterkennung und Sensortechnik, Rechenhardware, Architekturen und Algorithmen etc. beinhaltet, soll den Teams die größtmögliche Freiheit gegeben werden. Also blieb nach Funknotaus und Notbremsystem nur noch eine sicherheitskritische Sache zu regeln: Alle eingesetzten Sensoren und Systeme müssen die gesetzlichen Zulassungsbestimmungen (wie Laserschutzklassen bei Laserscannern oder Leistungsbeschrän-



kungen bei Radarsensoren) einhalten. Dies erfolgt aus Gesundheitsgründen für Teammitglieder und Zuschauer.

Die Regulierung dieses Bereichs würde einen riesigen Aufwand mit sich bringen, für jede individuelle Lösung müssten System- und Softwareüberprüfungen durchgeführt werden. Für eine Gruppe von Freiwilligen, wie in der Organisation der FSG, wäre das nicht leistbar.

NEUE EVENTS

Zur Bewertung der Lösungen und Innovationen im Bereich des autonomen Systems wird es ein zusätzliches Autonomous Design Event (neben dem klassischen Engineering Design Event) geben, das auf die Sensorauswahl, algorithmische Lösungen und den Softwareentwicklungsprozess Bezug nimmt. Kombiniert wird dieses mit einem sogenannten Race Review bei dem sowohl besonders gute als auch fehlerhafte Reaktionen während des Trackdrive Events analysiert und einer Expertenjury erklärt werden. Das bisherige Design Event deckt weiterhin die allgemeine Fahrzeugentwicklung ab, unabhängig davon ob es sich um ein umgerüstetes Vorjahresfahrzeug oder eine Neuentwicklung handelt.

Der geplante Aufbau der dynamischen Disziplinen der FSD ist vorrangig von zwei Prinzipien geleitet: erstens soll die Wiedererkennbarkeit eines Formula-Student-Wettbewerbs erhalten bleiben und zweitens soll der Kurs für verschiedene Sensortypen erkennbar sein. Der erste Punkt ist auch verbunden mit dem Langzeitziel, eine Vergleichbarkeit mit der Formula Student Combustion und Formula Student Electric zu gewährleisten.

Deshalb werden auch die fahrerlosen Fahrzeuge ein Beschleunigungsgrennen und einen Skidpad mit leicht modifiziertem Aufbau fahren. Um eine Vielzahl von Sensortypen zu erlauben, wird die bekannte Pylonenmarkierung im Bereich der Hauptstrecke auf unterschiedliche Farben für die linke und rechte Seite angepasst. Die Ziellinie wird durch größere Kegel auf beiden Seiten in einer unterscheidbaren Farbe markiert. Das Beschleunigungsgrennen erfordert auch eine autonome Abbremsphase und Stoppen innerhalb einer vorgegebenen Distanz. Dafür wird die seitliche Farbmarkierung durch einfarbige Pylonen bis zu dieser Distanz erweitert. Beim Skidpad sind Ein- und Ausgangsbereich ebenfalls einfarbig markiert.

Zum Abschluss wird es eine Kombination aus Autocross und Endurance geben, der bereits erwähnte Trackdrive. Dabei fahren die Fahrzeuge zehn Runden auf einem kleinen Rundkurs. Jede beendete Runde wird gepunktet, um zu verhindern, dass nicht die ganze Disziplin null Punkte ergibt, wenn es in einer Folgerunde zur Disqualifikation kommt.

EINE NEUE ÄRA

Das Interesse am neuen Wettbewerb ist groß, das zeigt die Menge an Regelfragen im FSD-Forum, aber auch die Anzahl der Teams, die sich bereits in der Driverless-Klasse registriert haben. Die Studenten arbeiten bereits hart und ernsthaft an der Umsetzung eines fahrerlosen Fahrzeugs. Das Organisationsteam der Formula Student Germany ist sehr gespannt, diese interessanten Konzepte und fahrerlosen Rennautos, die ans Limit gehen, zu sehen. Und im Jahr 2017 werden sicher eifrige Programmierer zu sehen sein, die die letzten Optimierungen in ihre Algorithmen hacken, so wie die Mechaniker bisher oft auf die letzte Minute ihre Einstellungen mit Klebeband, Kabelbinder und Flex in Ordnung bringen.

```
1  
2  
3  
4  
5     #include <iostream>  
6     #include <jobs_vector.h>  
7     int main()  
8     {  
9         int myJob = -1;  
10        std::cout<< "Ist es noch Arbeit, wenn es Spaß macht?\n";  
11        myJob = jobCode(1,0);  
12        return myJob;  
13    }  
14  
15    int jobCode(int num1, int num2)  
16    {  
17        int result = -1;  
18        if (num1 > num2)  
19        {  
20            result = num1;  
21            std::cout<< "Wenn es leicht fällt, etwas zu leisten. "  
22                            << "Das kann man nicht beschreiben. "  
23                            << "Das musst du erleben.\n";  
24            std::cout<< "Softwareentwickler (m/w) gesucht. jobs.vector.com";  
25        }  
26        else  
27            result = num2;  
28  
29        return result;  
30    }  
31  
32    /* Vector - Automotive. Software. Engineering. */  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49
```

© Frank Eppler



Live am Hockenheimring 2016 |
Live at Hockenheimring 2016



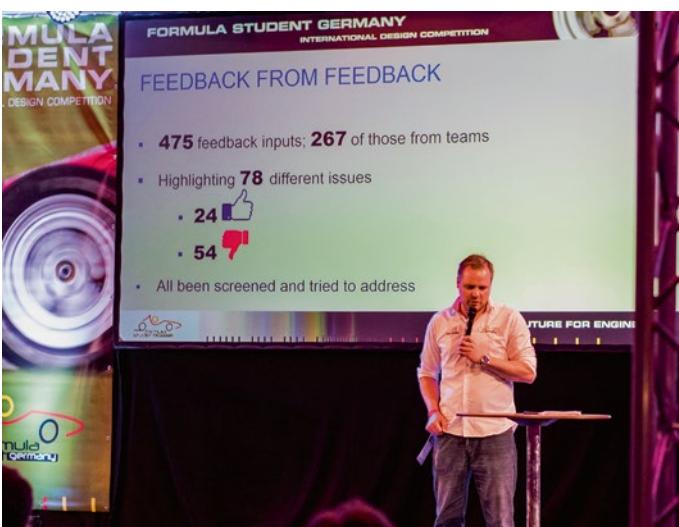
Willkommen zur elften Formula Student Germany am Hockenheimring.

Welcome to the eleventh Formula Student Germany event
at the Hockenheimring.



Die Veranstaltung wird ausschließlich durch ehrenamtliche Helfer organisiert, ...

The event is organised entirely by volunteers, ...



... die ihren Job sehr ernst nehmen.

... who take their jobs seriously.

Einige Rennwagen legen weite Wege zurück, bevor sie in Hockenheim an den Start gehen.

Some of the racing cars have travelled large distances until they go on track in Hockenheim.

Viele können es kaum erwarten, ihr Können auf der Rennstrecke unter Beweis zu stellen.

Many can hardly wait to compete on the race track.





Andere gehen es lässig an, aber zuerst ...
Some easily take the challenge, but first ...



... müssen alle Rennwagen das Scrutineering durchlaufen und die Rennfähigkeit ihres Boliden beweisen.
... all racing cars had to pass the Scrutineering and prove the suitability of their racing cars.

© FSG | Johannes Klein

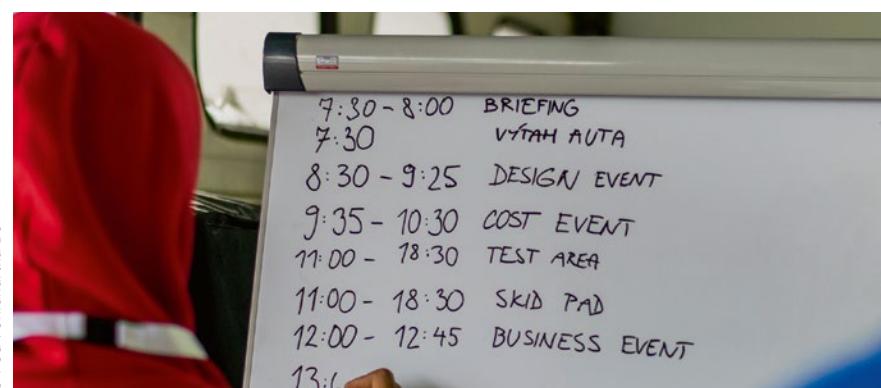


Die Teams, die einen Elektrorennwagen entwickelt haben, müssen zusätzlich einen Beregnungstest bestehen, ...
Teams that developed an electric car, in addition, had to pass a rain test, ...

© FSG | Maximilian Slesina



... bevor es die begehrten Sticker gibt.
... in return they receive the popular sticker.



Die Teams müssen die acht Disziplinen innerhalb eines straffen Zeitplans absolvieren.
The eight disciplines have to be passed within a tight time-schedule.



© FSG | Richard Grams

Zudem gibt es immer noch etwas nachzubessern.
Moreover, there is still room for improvement.



© Frank Eppeler

Bis zur letzten Minute ...

Until the last minute ...

... werden die Fahrzeugkomponenten optimiert.
... the parts of the vehicles are optimised.



© FSG | Johannes Klein

Das erfordert Ruhe ...
It takes time ...



© Frank Eppeler

... und auch Geduld, ...
... and patience too, ...



© FSG | Shidhartha De



© FSG | Markus Soukup

... aber oft, nicht immer, ...

... but mostly, not always, ...



© FSG | Richard Grams

... lohnt es sich.

... the results are worth it.



© FSG | Stephanie Bergan

Unter dem begeisterten Applaus der Zuschauer ...

A rousing applause of the enthusiastic spectators is for sure.



© FSG | Sudhartha De

... kann es dann endlich losgehen. Äh, ...

Then they are ready to start. Ugh, ...



© FSG | Stephanie Bergan

... jetzt aber ..., gleich ...

... but now ..., in a minute ...



www.porsche-engineering.de

Angetrieben. Von Leidenschaft und Technik.

Das GreenTeam der Universität Stuttgart auf Erfolgskurs.

Porsche Engineering gratuliert zur gelungenen Rennsaison 2016.

Porsche Engineering
driving technologies



PORSCHE



Zuerst müssen die Fahrzeuge beim Skid beziehungsweise Wet Pad ihre Kurvenstabilität beweisen. Das Wetter passte diesmal dazu.

First of all the vehicles have to prove their maximum cornering capability at the Skid respectively Wet pad. This year the weather fitted perfectly.

Auf der Start-Ziel-Geraden des Hockenheimrings müssen die Fahrzeuge aus dem Stand beschleunigen.

On the start-finish line of the Hockenheimring, the cars have to accelerate from a standing start.



Insbesondere der Aerodynamik widmen die Teams viel Aufmerksamkeit, selbst entwickelte aktive Aerodynamiksysteme wie das des Teams CAT-Racing gehören inzwischen dazu.

Aerodynamics, in particular, gets a great deal of attention, and some teams like CAT-Racing even use self-developed, active aerodynamic systems.

Das Abschneiden beim Autocross-Rennen am Samstag ...

The performance in the Autocross event on Saturday ...





... entscheidet über die Startreihenfolge beim Langstreckenrennen am Sonntag.
... determines the starting order at the Endurance on Sunday.



Beim Endurance treten Rennwagen mit konventionellem und Elektroantrieb gemeinsam an. Nicht alle Fahrzeuge schaffen es ...

At the Endurance electric and combustion cars drive together. Not every racing car passed the endurance testing ...



... bis zur letzten Runde.
... until the last lap.



Um zu verstehen, woran es gelegen hat ...
To understand, what has gone wrong ..



... kannst du einen Experten fragen.
... you can ask for example an expert.



Vielleicht kennt er die Lösung für das Problem.
Sometimes he knows how to solve the problem.

© Frank Eppler



Wenn es noch nicht zu spät ist, kann man vielleicht noch etwas drehen.
If it is not too late, you can still optimise something.

© FSG | Maximilian Siesina



Damit die Kräfte dabei nicht schwinden, ...
To avoid forces fading away, ...

... wird auch für das leibliche Wohl gesorgt.
... there are occasions where everyone can build up its strength again.



© FSG | Shidhartha De

Augenblick, ist etwa schon Sonntagnachmittag?
And in a blink of an eye, it is Sunday afternoon.



© FSG | Shidhartha De



Abends gibt es dann die Ergebnisse.
The results follow later on in the evening.

© FSG | Tillmann Hubner



Whether the team TUfast Racing, winner of the Formula Student Combustion, ...

... oder KA-RacingIng, Siegerteam bei der Formula Student Electric ...

... or the team KA-RacingIng, winner of Formula Student Electric ...

... oder die Gewinner eines besonderen Special Award ...

... or the winners of a very special award ...



... at the end everyone is celebrating ...



... and looks forward to next year when we will all meet up again.



© Frank Eppler

„Interdisziplinäres Arbeiten ist ein wichtiger Ausbildungsaspekt“

Ganz leger haben wir Dr. Harald Naunheimer am Rande der Rennstrecke des Hockenheimrings getroffen. Als Leiter Zentrale Forschung und Entwicklung bei ZF begleitet er die Aktivitäten der Formula Student und ist begeistert ob der Professionalität der jungen Studenten. Für ihn ein wichtiger Aspekt der Ausbildung, erzählt er im Interview mit ATZextra.

Dr. Harald Naunheimer (Jahrgang 1963) arbeitete nach dem Studium des Maschinenwesens an der Universität Stuttgart sechs Jahre lang bis Ende 1994 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität auf dem Gebiet Fahrzeuggetriebe und promovierte 1995. Danach war er bis zum Jahr 2001 in unterschiedlichen Funktionen in der Entwicklung von Fahrzeuggetrieben bei der

Renk AG tätig. Anschließend folgte der Einstieg bei ZF als Leiter der Anwendungsentwicklung im Geschäftsfeld Pkw-Automatgetriebe in Saarbrücken. Von 2006 bis 2009 leitete er die Entwicklung von Pkw-Automatgetrieben in Friedrichshafen. Im Jahr 2009 übernahm Naunheimer die Position des Leiters Zentrale Forschung und Entwicklung der ZF Friedrichshafen AG.

ATZextra _ Herr Dr. Naunheimer, seit 2002 begleitet ZF die Aktivitäten der Formula Student. Einige der ersten Teilnehmer sind auch bereits im Unternehmen beschäftigt. Wie weit konnten die mittlerweile die Karriereleiter hinaufklettern?

NAUNHEIMER _ Bis in den Vorstand hat es zwar noch niemand geschafft. Dazu wäre natürlich auch die Zeit zu kurz. Aber wer weiß: Einige Alumni konnten sich schließlich in kürzester Zeit behaupten und sind bereits in Leitungspositionen angekommen.

Damit scheint das Engagement in der Formula Student ein sicheres Sprungbrett in die Arbeitswelt zu sein.

„Formula Student-Teilnehmer sind gern gesehene Bewerber“

Absolventen, die sich während des Studiums in der Formula Student engagiert haben, sind gern gesehene Bewerber bei ZF. Wir wissen nämlich, dass gerade diese jungen Menschen jene Erfahrung mitbringen, die sie sonst erst in zwei, drei Jahren im Berufsleben sammeln.

Welche Erfahrungen wären das?

Da ist etwa das Zusammenspiel in komplexen Teams, das Arbeiten unter Zeitdruck und die Projektarbeit im Generalen. Gerade diese Fähigkeiten sind uns sehr wichtig und in der heutigen Arbeitswelt von großem Vorteil. Auch deshalb schauen wir beim Bewerbungsverfahren sehr genau hin. Wer sich also bei der Formula Student engagiert, sammelt für das spätere Berufsleben wichtige Pluspunkte.

Für manche Studenten gehört die Formula Student zur praxisnahen Ausbildung während ihres Studiums. Und sie schätzen sie als wesentlichen Baustein. Doch wie weit werden die jungen Menschen tatsächlich auf das Berufsleben in der Automobilbranche eingestimmt? Gibt es noch Verbesserungspotenzial?

Die Studierenden werden dort sehr gut auf das Berufsleben vorbereitet – vor allem auf das Arbeiten im Team. Auch wir im Unternehmen arbeiten ja seit langem verstärkt in sogenannten Projekthäusern zusammen. Und das sind die Studentinnen und Studenten bereits gewöhnt, wenn sie bei der Formula Stu-

dent dabei waren. Es ist eine sehr gute Vorbereitung für den Einstieg bei uns.

Nirgendwo Grund zur Kritik?

Nein, ganz im Gegenteil. Als Technologiekonzern kommt es uns entgegen, dass die Formula Student nicht nur sehr praxisnah, sondern auch stets offen gegenüber neuen Techniktrends ist, etwa dem Aspekt des autonomen Fahrens ...

... der ja soeben hier in Hockenheim beschlossen wurde.

Ja – ein starkes Signal, das ich überaus begrüße! Auch, weil damit ein Innovationsfeld aufgegriffen wird, das die gesamte Automobilbranche noch lange herausfordern und prägen wird. Dass es in der Formula Student künftig auch den Driverless-Wettbewerb geben wird, ist ein richtiger und konsequenter Schritt. So werden die angehenden Ingenieure geschickt und zeitig an das Thema herangeführt.

Welchen Stellenwert hat das autonome Fahren bei ZF?

Das automatisierte Fahren ist ein wesentliches Innovationsfeld, das wir bei ZF aktiv mitgestalten werden. Ebenso wie das Thema Effizienz. Beide zählen zu den bedeutendsten Innovationsfeldern der Automobilbranche. Darüber hinaus gehören die weitere Entwicklung der Elektromobilität sowie das automatisierte und vernetzte Fahren eng zusammen, wir betrachten diese Trends in ihrer Gesamtheit.

Welcher konkrete technische Aspekt des autonomen Fahrens ist für ihr Unternehmen von größter Bedeutung?

Ich möchte an dieser Stelle nicht einen einzelnen Punkt hervorheben. Da wir unsere technische Entwicklung unter dem Prinzip „Sehen, denken, handeln“ vorantreiben, ist für uns die vollumfängliche Herangehensweise an das Thema wichtig. Wir betrachten das Gesamtsystem: von der Umfeldsensorik wie Kamera, Radar oder Lidar über die elektronischen Steuerungen, die Algorithmen und dann natürlich die Aktuatoren wie Bremssystem oder die Lenkung. Dazu zählt auch die Hinterachslenkung. ZF ist in diesen Bereichen gut aufgestellt, auch weil wir diese Wirkungskette komplett abdecken – nicht nur im Pkw-Bereich, sondern auch bei den Nutzfahrzeugen.

Nun aber verlangt das autonome Fahren vor allem auch enormes Knowhow hinsichtlich der Software. Sie benötigen also an vorderster Front Informatiker und Software-Ingenieure. Der Wechsel hin zur softwarebasierten Innovation ist in der Tat voll im Gange. Wir haben uns als Unternehmen daher bereits vor vier Jahren einem entsprechenden Strategieprozess unterzogen. Dessen Ergebnisse sind in der Strategie ZF 2025 zusammengefasst. Aus dieser leiten wir konkrete Maßnahmen ab, die wir konstruktiv abarbeiten. Die Weiterentwicklung und Integration von aktiven und passiven Sicherheitssystemen ist beispielsweise ein solches Vorhaben. Die Entwicklungsbereiche Software und Algorithmen gehören auch dazu und werden derzeit deutlich ausgebaut.

In diesem Jahr unterstützen Sie in Hockenheim 22 Formula Student-Teams. Wie genau sieht die Unterstützung aus?

Wir engagieren uns seit Jahren umfangreich bei der Formula Student. Technisch beschränken wir uns bei der Unterstüt-



© Frank Eppeler

„Der Generationswechsel tut jedem innovativen Unternehmen gut. Immerhin ändert sich das Nutzerverhalten und darauf wollen wir früh reagieren“, sagt Harald Naunheimer
“The arrival of a new generation of employees is good for any innovative company. The behaviour of users is changing and we want to be able to respond quickly to that,” says Harald Naunheimer

zung für die Teams auf einzelne Bauteile. So steuern wir beispielsweise Fahrwerkkomponenten oder auch mal eine elektrische Maschine bei. In der Regel unterstützen wir die Teams finanziell. Doch wesentlich wichtiger ist den Studenten, bei unserem ZF Race Camp von ehemaligen Teilnehmern, die mittlerweile bei ZF arbeiten, Unterstützung und Tipps zu bekommen, wie sie das eine oder andere besser hinbekommen. Diesen Support und die hervorragende Stimmung, das Erlebnis und den Austausch mit Gleichgesinnten wissen die Teilnehmer sehr zu schätzen. Und sie können sich bei dem Event in Friedrichshafen optimal auf die Formula Student Germany in Hockenheim vorbereiten.

Nun bringen junge Menschen, die soeben von der Hochschule kommen, immer frischen Wind mit in das Unternehmen. Denken und Arbeiten die Studenten beziehungsweise die Absolventen anders als – nennen wir sie mal – alteingesessene Entwicklungingenieure?

Ja, das tun sie. Und das ist auch gut so. Wir diskutieren im Übrigen gerade auch den Wandel im Verhalten. Der Generationswechsel tut jedem innovativen Unternehmen gut. Immerhin ändert sich das Nutzerverhalten und darauf wollen wir früh reagieren. Die jungen Leute der Generation Y bringen eben dieses Denken mit. Es sind Internetnutzer, Mobilfunknutzer, die die neuen Technologien von Kindesbeinen an aufgenommen haben. Das ist für uns ein sehr wichtiger Aspekt, dass diese Generation ins Unternehmen kommt und die Produkte der Zukunft mitgestaltet und mitprägt.

Bezieht sich das Mitprägen auch auf eine mögliche Organisationsform, einer neuen Arbeitsweise, von der Sie glauben, dass Innovationen wie auch Querdenker damit besser gefördert werden?

Je größer ein Unternehmen, desto bedeuter ist dieses Thema. Silos, die sich manchmal über Jahre hinweg bilden, müssen regelmäßig aufgebrochen werden. Das ist keine einfache Aufgabe. Es gilt, Themen in Projekten und darüber hinaus in wechselnden Zusammensetzungen von Projektteams zu bearbeiten. Vieles davon bringen Absolventen heute mit. Und das ist auch etwas, was wir im Unternehmen weiter fördern müssen.

Gibt es konkrete Vorhaben, um Innovationen im Unternehmen zu fördern?

30

Es gibt viele Elemente und Bausteine. Beispielsweise würdigen wir mit unserem jährlichen ZF-Erfindungspreis zukunftsweisende Erfindungen unserer Mitarbeiter. Spezielle Bereiche wie etwa das Innovationsmanagement, das IoT-Lab oder unsere ZF-Denkfabrik kümmern sich um Erfindungen und Neuentwicklungen entsprechend der Markttrends.

„Automobile werden auch in Zukunft vor allem emotional sein“

Außerdem gehört ein neues Büro- und Arbeitskonzept dazu. Dort gibt es keine feste Zuordnung der Arbeitsplätze. In den sogenannten Arbeitsräumen wird regelmäßig durchgewechselt. Es gibt Plätze, wo man sich trifft, sich austauscht und kreativ sein kann.

Das erinnert mich an studentische Arbeitsgruppen. Dennoch, haben Sie das Gefühl, dass die Universitäten und Hochschulen in Deutschland derzeit praxisnah ausbilden? Wenn nein, kann die Formula Student diese Lücke schließen?

Ich würde nicht sagen, dass die deutschen Hochschulen praxisfern ausbilden. Sie schaffen das so wichtige Basiswissen. Aber die Formula Student schließt sicher eine Lücke. Dieses interdisziplinäre Arbeiten ist ein wichtiger Ausbildungsaspekt. Von daher würde ich mir wünschen, dass die Ideen aus der Veranstaltung auch in andere Bereiche der Hochschulausbildung getragen werden.

Junge Menschen wählen heute eine gänzlich andere Form der Mobilität als noch vor ein paar Jahren. Sie nutzen etwa Car-Sharing und sehen das Automobil nicht mehr als Das Statussymbol an. Welche Ideen bringen die Studierenden mit?

Der Fahrzeugbesitz steht bei der jungen Generation nicht mehr so stark im Mittelpunkt, wie das noch vor einigen Jahren der Fall war. Auf der anderen Seite

ist das Auto noch immer sehr stark mit Emotionen verbunden. Und wird das auch immer bleiben.

Wieso glauben Sie das?

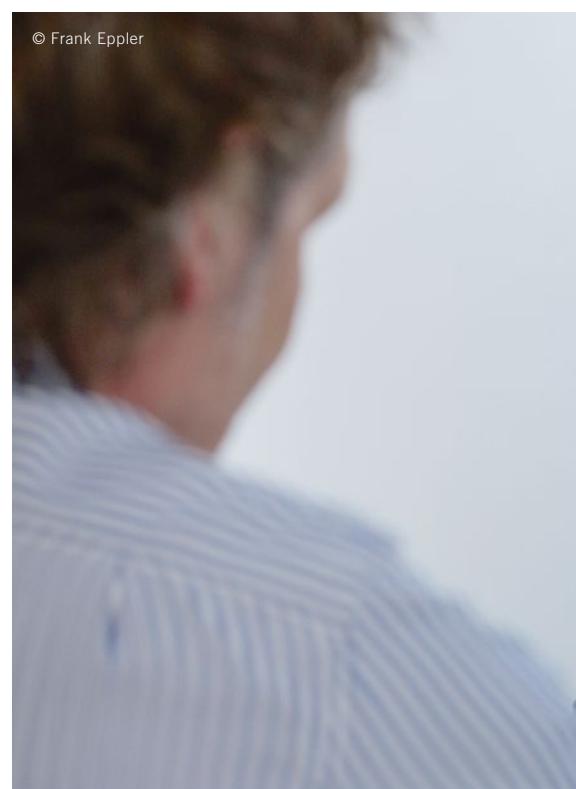
Vor nicht allzu langer Zeit haben wir an der Designhochschule Pforzheim eine Designstudie durchgeführt. Mit einem sehr interessanten Ergebnis. Nahezu alle Studierenden haben einen Sportwagen gezeichnet. Dabei stand im Mittelpunkt das Urban Vehicle. Die jungen Leute haben dieses Fahrzeug ganz anders interpretiert als wir. So haben insbesondere die asiatischen Studenten einen offenen Sportwagen als Zweisitzer gestaltet. Und das ist ein sehr emotionales Fahrzeug.

Emotional und schnell und künftig noch autonom unterwegs. Welchen Stellenwert spielt in diesem Kontext das Thema Sicherheit?

Die Sicherheit steht immer an erster Stelle. Zum einen der Aspekt Safety, also der Schutz der Insassen und der anderen Verkehrsteilnehmer. Zum anderen Security, um beispielsweise fahrbezogene Daten zu schützen. Beides wird im Übrigen auch Bestandteil des Formula-Student-Driverless-Wettbewerbs ab 2017 sein.

Herr Dr. Naunheimer, herzlichen Dank für das interessante Gespräch!

INTERVIEW: Andreas Burkert



© Frank Eppler

„Die Studierenden werden sehr gut auf das Berufsleben vorbereitet“, betont Naunheimer im Interview mit der ATZ
“Formula Student lays very good foundations for working life,” explains Naunheimer in this interview with ATZ

“Interdisciplinary teamwork is an important aspect of education”

We had a relaxed conversation with Dr. Harald Naunheimer on the edge of the track at the Hockenheimring. As Head of Corporate Research and Development at ZF, he provides support for the Formula Student competition and has been impressed by how professional the students are. He believes that this is an important aspect of their education, as he explains in this interview with ATZextra.

Dr. Harald Naunheimer (born in 1963) studied mechanical engineering at the University of Stuttgart and then worked there as a research assistant in the field of vehicle gearboxes for six years until the end of 1994. He completed his doctorate at the university in 1995. After this, he worked for Renk AG in the gearbox development department in various roles until 2001.

Subsequently, he moved to ZF as Head of Application Development in the car automatic gearbox business unit in Saarbrücken. From 2006 to 2009, he was Head of Development for car automatic gearboxes in Friedrichshafen. Then in 2009 he was appointed Head of Corporate Research and Development of ZF Friedrichshafen AG.

ATZextra _ Dr. Naunheimer, ZF has been supporting the Formula Student competition since 2002. Some of the first team members are now working for the company. How far have they managed to climb up the career ladder?

NAUNHEIMER _ None of them are board members yet, although of course it's too

early for that. But who knows? Some of them have made good progress in a very short time and are already in management positions.

Taking part in Formula Student seems to be a good springboard into the world of work. We are always pleased when graduates

who were members of a Formula Student team during their degree course apply for a job at ZF. We know that they already have the experience that it would otherwise take them two or three years in a job to acquire.

What sort of experience is this?

It includes working together in complex teams, coping with tight schedules and project work in general. These skills are very important to us and they give job applicants a big advantage in the world of work. This is why we focus very closely on things like this during the

“We are always pleased when former members of a Formula Student team apply for a job”

application process. Anyone who has been involved with Formula Student will already have a head start in terms of their future professional career.

For many students, Formula Student is part of the practical side of their degree course and they feel that it is an important building block. But to what extent does it really prepare young people for a career in the automotive industry?



Is there room for improvement?

Formula Student lays very good foundations for working life, particularly with regard to teamwork. At ZF we have been working in project groups for a long time. If they have taken part in Formula Student, students are already used to this. It is an excellent preparation for starting work with us.

And there's nothing that you feel deserves criticism?

No, on the contrary. As a technology company, we are aware that Formula Student not only provides very good practical experience, but is also always open to new technological trends, such as autonomous driving ...

... which has just been taken on board here in Hockenheim.

Yes, that sends out a strong message which I very much welcome, partly because this is an area of innovation that will present challenges for the entire automotive industry and will also help to shape it for a long time to come. Including a driverless competition in Formula Student in future is the right direction to move in. This represents a logical step forward and it is a clever way of introducing prospective engineers to the subject at an early stage.

How important is autonomous driving to ZF?

Autonomous driving is a key area of innovation that we at ZF intend to play an active role in shaping. The same goes for efficiency. These are the two most important areas of innovation in the automotive industry. In addition, the development of electric vehicles and automated and networked driving are closely linked. We are looking at all these trends as part of a whole.

Which specific technical aspect of autonomous driving is of greatest significance to your company?

I don't want to highlight one area at this point. Our technical development is based on the principle of "Seeing, thinking, acting", so we believe in taking a comprehensive approach to this subject. We look at the whole system from the environment sensors, such as cameras, radar and lidar, to the electronic control systems, the algorithms and, of course, the actuators, such as brake systems and steering. This also includes rear wheel

steering. ZV is in a strong position in all these areas, because we cover the entire functional chain, not only for cars but also for commercial vehicles.

Autonomous driving requires a huge amount of software expertise, so you will primarily need IT specialists and software engineers in future.

The move towards software-based innovation is well underway. This is why we as a company went through a strategy process in this area four years ago. The results are summarised in the ZF 2025 strategy. On the basis of this, we have drawn up concrete measures that we are now working on. One project involves the further development and integration of active and passive safety systems. This includes the development teams for software and algorithms, which we are currently in the process of expanding.

You are supporting 22 Formula Student teams here in Hockenheim. What form does that support take?

Yes, they do and that's definitely a good thing. We have already been discussing this change in behaviour. The arrival of a new generation of employees is good for any innovative company. The behaviour of the people who use our products is constantly changing and we want to be able to respond quickly to that. The young people from Generation Y think in just this sort of way. They use the Internet and mobile phones and they have grown up with these new technologies. This makes it very important for us that this new generation joins our company and helps to design and shape the products of the future.

Does shaping the future also possibly include a new type of organisation and a new way of working that you think will promote innovation and lateral thinking more effectively?

The larger the company, the more important this subject is. Silos which may have built up over years need to be regularly broken down and that's not an easy task. It is important to work on the different

"Cars will continue to arouse a strong emotional response in future"

We have been working closely with Formula Student for several years. On the technical side, we limit our involvement to providing teams with individual components. For example, we give them chassis parts or sometimes an electric motor. Generally we offer financial support for the teams. But much more important for us is giving support and tips on how they can improve what they're doing to the students who take part in our ZF Race Camp, which is run by former team members now working for ZF. This support, the great atmosphere, the overall experience and the chance to talk to like-minded people goes down very well with the participants. The event in Friedrichshafen is the ideal opportunity for them to prepare for Formula Student Germany in Hockenheim.

Young people straight out of university always bring a breath of fresh air into companies. Do the students and the graduates think and work in a different way from the development engineers who have been with you for some time?

subject areas in projects and also in changing project teams. Many of today's graduates are used to this way of working and we need to encourage this type of approach within the company.

Have you set up specific projects for promoting innovation within your organisation?

There are a number of modules and building blocks in place. For example, we recognise promising inventions developed by our employees with our annual ZF invention prize. Specific departments, such as innovation management, the IoT lab and our ZF think tank, work with inventions and new developments on the basis of the latest market trends. We are also introducing a new office and working concept in these areas, which involves hot desking. In the work rooms, employees regularly sit at different desks and there are places where they can meet with colleagues, share ideas and be creative.

That makes me think of student working groups. Do you believe that the universities in Germany are providing a practical education?

If not, will it be possible for Formula Student to fill the gap?

I wouldn't say that courses at German universities are too theoretical. They provide the important basic knowledge. But Formula Student definitely fills a gap. Interdisciplinary teamwork is an important aspect of education. I would like to see the ideas from the event taken into other areas of university education.

Nowadays young people are choosing forms of mobility that are quite different from those they used a few years ago. They are opting for things like car sharing and they no longer see cars as the ultimate status symbol. What sort of ideas can the students contribute?

Owning a car is no longer as important to the younger generation as it was a few years ago. But cars still arouse a strong emotional response and they will continue to do so.

Why do you think that?

Not very long ago we worked on a design study with the Pforzheim University of Design and the results were very interesting. Almost all the students designed a sports car and the focus was on city cars. The young people interpreted this type of car very differently from us. The Asian students in particular created a two-seater convertible and that's a car which generates strong emotions.

Cars must arouse emotions and be fast and, in future, autonomous. What role do safety and security play in this context?

Safety and security are always the most important considerations. Safety involves protecting the vehicle occupants and other road users, while security relates to the vehicle data. Both of these things will form part of the Formula Student driverless competition from 2017 onwards.

Dr. Naunheimer, thank you for this very interesting discussion.

INTERVIEW: Andreas Burkert

ATZ live

Antriebs- und Fahrzeugtechnik im Gespräch



FACHKONFERENZEN FÜR FAHRZEUG- UND MOTORENINGENIEURE

- Gesamtfahrzeug
- Motor und Antriebsstrang
- Chassis und Fahrerassistenz
- Karosserie und Akustik
- Elektromobilität

AKTUELLE TAGUNGSPROGRAMME
www.ATZlive.de

Schnittmodell des FSC-Siegerautos | Der nb016 des TUfast Racing Teams der Technischen Universität München

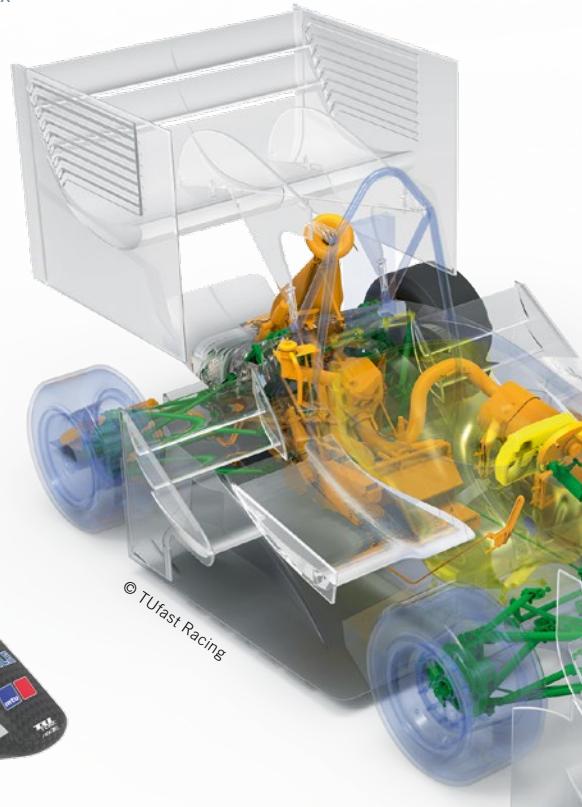


Ergonomie

- CFK-Lenkrad mit Push-to-Talk und Steuerungsoptionen
- Maßgefertigter CFK-Sitz
- Verstellbare Pedalerie

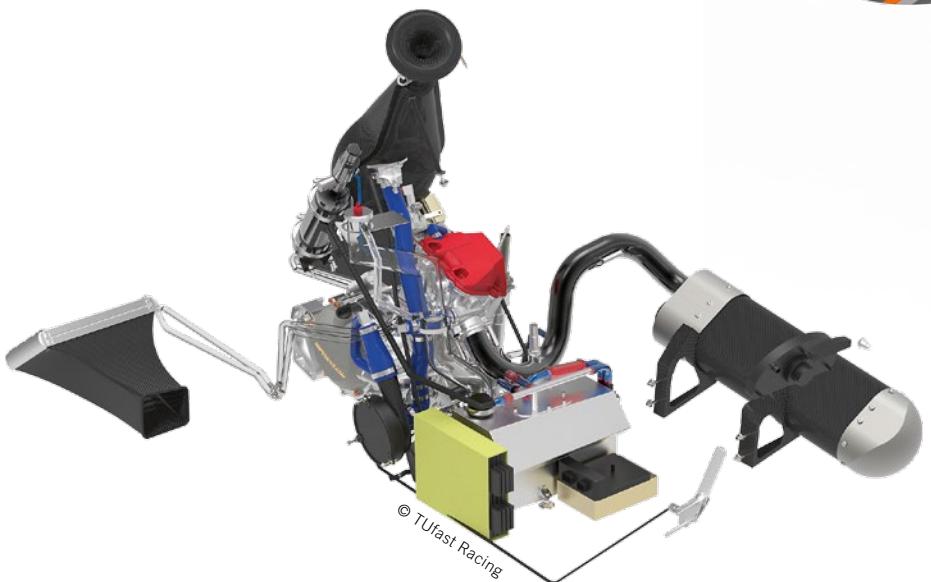
Ergonomics

- CFRP steering wheel with push to talk and vehicle control options
- Customised CFRP seat
- Adjustable pedalbox



Motor

- KTM 570 cm³ Einzylindermotor
- KTM 450 SX Kurbelgehäuse und Getriebe
- 44,7 kW Leistung bei 8500/min
- Drehmoment: 55 Nm bei 6000/min
- Gewicht: 29 kg inklusive Flüssigkeiten



Powertrain

- KTM 570 cm³ single-cylinder
- KTM 450 SX crankcase und gearbox
- 44.7 kW power at 8500 rpm
- Torque: 55 Nm at 6000 rpm
- Weight: 29 kg including fluids

Cutaway Model of the FSC winning Car | The nb016 by TUfast Racing, the Formula Student Team of Technical University of Munich

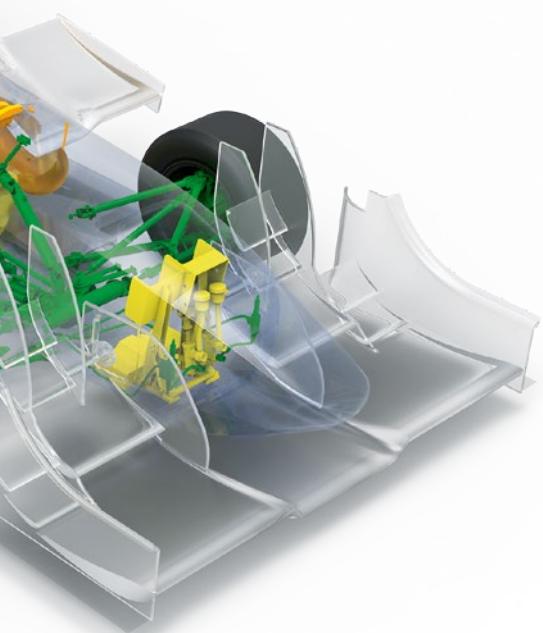


Aerodynamik

- CLA > 6 (1000 N bei 60 km/h)
- CFD-optimiertes Aerodynamikpaket: Front- und Heckflügel, Seitenflügel, Unterboden

Aerodynamics

- CLA > 6 (1000 N at 60 km/h)
- CFD optimised aero package: front wing, rear wing, side wings, tower wings, undertray, cooling ducts

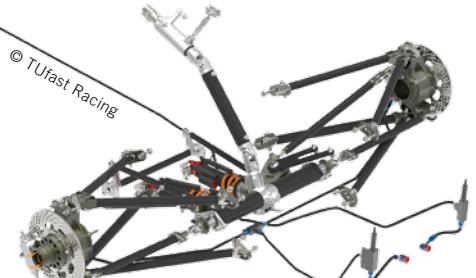


Fahrwerk

- Vorderradaufhängung mit innenliegenden Dämpfern
- Geschlossene CFK-Felgen an der Hinterachse
- Innenliegende Scheibenbremse an der Hinterachse
- ZF Sachs F3 Dämpfer mit selbst entwickelter Kennlinie
- Elektronische Hinterachslenkung

Suspension

- Inboard front axle suspension package
- Closed full CFRP rims on the rear axle
- Single disc inboard brake
- ZF Sachs F3 damper with self-developed damper setting
- Electrically actuated rear axle steering system



Antriebsstrang

- Starrer Durchtrieb aus Aluminium mit integrierten Tripodengehäusen
- Seitenwellen aus Vergütungsstahl

Drivetrain

- Aluminium spool with integrated tripod housings
- High-alloy steel side shafts





© Rennteam Uni Stuttgart

Entwicklung der Aerodynamik beim Rennteam Uni Stuttgart

Der 0711-11 ist der elfte Prototyp des Rennteams Uni Stuttgart. Der Formula-Student-Rennwagen verfügt über ein Aerodynamikpaket, um die Performance des Fahrzeugs in jeder Rennsituation zu optimieren. Erstmals wurden aktive Aerodynamikelemente zur Optimierung der aerodynamischen Balance verwendet.

AUTOR

**Sandro Göbel**

ist verantwortlich für numerische Simulation und deren Automatisierung auf Superrechnern sowie Präsentation der aerodynamischen Entwicklungsarbeit beim Rennteam Uni Stuttgart.

AUFBAU DER RUNDEN-ZEITSIMULATION

Grundsätzlich verbessert ein Aerodynamikpaket die Fahreigenschaften eines Rennwagens. Dadurch können höhere Kurvengeschwindigkeiten erreicht werden, die zu schnelleren Rundenzeiten und mehr Punkten in den dynamischen Disziplinen des Wettbewerbs führen [1]. Dabei müssen auch der erzeugte Luftwiderstand sowie die Masse der Anbauteile berücksichtigt werden, um die schnellstmögliche Rundenzeit zu erzielen.

Zur Ermittlung der Sensitivität der Rundenzeit auf die aerodynamischen Parameter – Luftwiderstand und Abtrieb – wurde beim Rennteam Uni Stuttgart eine Rundenzeitsimulation aufgebaut. Die aerodynamischen Kenngrößen sind allerdings nicht konstant. Denn sie sind abhängig von Bodenfreiheit, Nickwinkel, Rollwinkel, Lenkwinkel und dem Winkel der Anströmung. Für eine ideale Auslegung der Aerodynamik sollte sich die Entwicklung in den Fahrzuständen abspielen, in denen sie den größten Einfluss auf die Run-

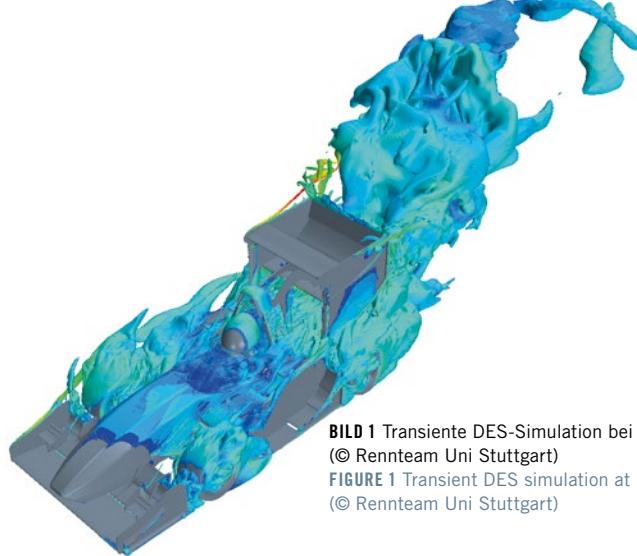


BILD 1 Transiente DES-Simulation bei 10° Schräganströmung

(© Rennteam Uni Stuttgart)

FIGURE 1 Transient DES simulation at 10° inclined flow

(© Rennteam Uni Stuttgart)

Motorkühlung umgesetzt. Außerdem wurde ein Unterboden mit optimiertem Diffusor eingesetzt. Im Entwicklungsprozess wurde dabei stets auch auf den Luftwiderstand sowie das Gewicht der Bauteile geachtet. Die Vorauslegung der Flügelgeometrien wurde zweidimensional mit Exa Powerflow bewerkstelligt. Mithilfe des Clusters des Höchstleistungsrechenzentrums der Universität Stuttgart (HLRS) wurden 3-D-Gesamtfahrzeugsimulationen mithilfe von StarCCM+ durchgeführt, **BILD 1**.

Während der Saison konnten aufgrund einer vollen Simulationsautomatisierung über 600 Design-Iterationen am Gesamtfahrzeugmodell durchgeführt werden. Jede Woche wurde eine neue Entwicklungsgrundlage entschieden. Darauf aufbauend wurde nur ein aerodynamisch wichtiges Element hinzugefügt oder in seiner Geometrie verändert, um stets vergleichbare Simulationsergebnisse herzovzubringen. Durch konsequente Entwicklung in Kurvenfahrtzuständen konnte der Abtrieb in Kurven gegenüber dem letztjährigen Boliden um durchschnittlich 35 % gesteigert werden.

AKTIVE AERODYNAMIK

In den letzten Jahren wurden aktive Flügelemente immer wieder von Formula-Student-Teams genutzt, um den Luftwiderstand, den ein Aerodynamikpaket mit sich bringt, zu verringern. Auch das Rennteam Uni Stuttgart nutzt am Heckflügel ein elektrisch angesteuertes Drag Reduction System (DRS), um eine kombinierte Effizienz – dem Quotienten aus Abtrieb in Kurvenfahrt und Luftwiderstand mit DRS in Geradeausfahrt – von $E=3,2$ zu erreichen. Vom Fahrer gesteuert sinkt dabei der Luftwiderstand bei einer Aktuationszeit von 0,2 s um 30 %. Dies verspricht ein optimiertes Beschleu-

nigungsverhalten und Spitzengeschwindigkeiten auf gerader Strecke.

Außer der Steigerung der Effizienz ist auch die aerodynamische Balance des Fahrzeugs ein relevanter Aspekt. Weil einige Elemente des Aerodynamikpakets im Bodeneffekt arbeiten, kommt es mit steigender Geschwindigkeit, der resultierenden Anpresskraft und der damit niedrigeren Bodenfreiheit zu einer Veränderung der Balance zur Front des Fahrzeugs. Dies impliziert ein sich änderndes Fahrverhalten hin zu einem Übersteuern des Fahrzeugs bei hohen Geschwindigkeiten. Da in der Formula Student nur Amateurfahrer zugelassen sind, die mit relativ wenig Fahrertraining optimal auf den Wettbewerb vorzubereiten sind und ein untersteuerndes Auto bei hohen Geschwindigkeiten leichter zu kontrollieren ist als ein übersteuerndes, entwickelte das Rennteam Uni Stuttgart dieses Jahr ein aktives Aerobalance-Verstellsystem. Dieses ermöglicht durch eine Veränderung des Anstellwinkels eines Teils des Frontflügels eine Balanceverstellung von 20 %. Die Verstellung findet über die Geschwindigkeit des Fahrzeugs statt und kann direkt am Lenkrad vom Fahrer auf dessen Bedürfnisse angepasst werden. Die Verbesserung der Balance spiegelt sich direkt im Fahrverhalten des Fahrzeugs wider. Das Ergebnis ist ein agiles Fahrzeug bei niedrigen Geschwindigkeiten und ein stabiles und sicheres Fahrverhalten bei hohen Geschwindigkeiten.

KÜHLUNG OPTIMIERT

Wo Energie umgesetzt wird, entsteht Hitze. Diese muss durch ein Medium abgeführt werden. Da Luft in unbegrenztem Maße verfügbar ist, wurde für die Bremsenkühlung ein direkter Luftstrom, für die Motorkühlung ein Luft-Wasser-Wärmetauscher verwendet. Hier

denzeit hat. Hierzu wurde die Rundenzeitsimulation derart erweitert, um eine Aussage über die Sensitivität des Abtriebs auf die Rundenzeit bei verschiedenen Fahrzuständen zu erlangen. Mithilfe der Simulationsergebnisse und einer Auswertung von Messdaten aus dem Fahrzeug wurden Punkte festgelegt, die für die weiteren Aerodynamikentwicklungen ausschlaggebend sind. Bei den kurvenreichen Strecken in der Formula Student ist besonders der Abtrieb bei Kurvenfahrt entscheidend für ein schnelles Fahrzeug.

ENTWICKLUNG DES AERODYNAMIKPAKETS

Anhand der gewonnenen Daten aus der Rundenzeitsimulation wurde das Aerodynamikkonzept gezielt auf die Kurvenzustände des Fahrzeugs hin entwickelt. Dabei wurden Front- und Heckflügel optimiert sowie erstmals ein Seitenflügel mit integrierten Wasserkühlern für die

Development of Aerodynamics in Rennteam Uni Stuttgart

The F0711-11 is the 11th iteration built by the Rennteam Uni Stuttgart. This new Formula Student racing car is equipped with an aerodynamic package to optimise the vehicle's performance in every racing situation. The implementation of active wing elements to optimise the aerodynamic balance was used for the first time.

CONSTRUCTION OF THE LAP TIME SIMULATION

In general, an aerodynamics package improves the vehicle's driving characteristics. By doing so, higher cornering speeds can be reached, which lead to faster lap times and thereby to more points in the dynamic disciplines of the various competitions [1]. One has to consider aerodynamic drag and the mass of the components in order to attain the best lap times possible.

To determine the lap time's sensitivity to the aerodynamic parameters – aerodynamic drag and downforce – a lap time simulation was constructed by the Rennteam of the University of Stuttgart. However, the aerodynamic characteristic values aren't constant. They depend on ride height, pitch-, roll- and steering angle, as well as inclined flow. For an optimum aerodynamic package design, the development has to focus on the various driving situations in which the aerodynamics of the car has the most influence on the lap times. Therefore, the lap time simulation was extended in such a way that an assertion about the downforce's sensitivity towards the lap time, at various driving situations, could be acquired. By means of simulation results and an evaluation of the vehicle's measuring data points were determined which are essential for further development of the aerodynamics package. It is plausible that the downforce at turning manoeuvres is especially crucial for a fast car since the tracks in Formula Student are winding.

DEVELOPING THE AERODYNAMIC PACKAGE

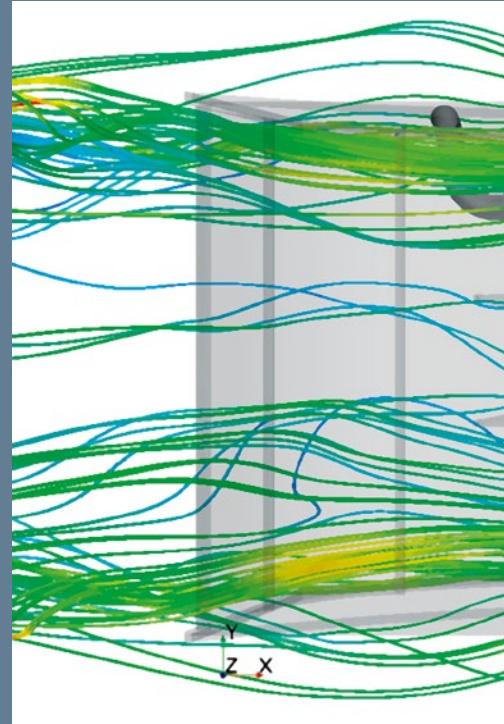
The aerodynamic package concept of the vehicle was developed based on the

data attained by the lap time simulation targeting the various curving situations of the vehicle. The front- and rear wing have been optimised, as well as, for the first time, side wings with integrated water coolers for engine cooling have been implemented. Furthermore, an undertray with an optimised diffusor was set in. During the development process the aerodynamic drag and the weight of the components were always considered. The preliminary design of the wing geometry was contrived two-dimensionally in Exa Powerflow. With the help of the High Performance Computing Center Stuttgart (HLRS) of the University of Stuttgart and StarCCM+ 3-D simulations of the complete vehicle could be conducted, **FIGURE 1**.

Due to a completely automated simulation over 600 design iterations of the complete vehicle model could be run throughout the season. A new design basis was determined every week. Building on that only one aerodynamically important element was either added or an already existing element's geometry was changed in order to bring forth comparable simulation results. Through consequent development in curving situations, the downforce in corners was increased by 35 % in comparison to the last year's racing car.

ACTIVE AERODYNAMICS

In the last years active aerodynamic wing elements have been frequently used by the Formula Student teams in order to decrease drag, which comes with an aerodynamic package. The Rennteam Uni Stuttgart also has implemented an electrically driven Drag Reduction System (DRS) to attain a combined efficiency of $E=3.2$. The efficiency consists of the downforce during curving and the straight line drag



with an open DRS. Activated by the driver, the drag decreases by 30 % with an actuation time of 0.2 s. This leads to an optimised acceleration behaviour and higher top speeds in straight lines.

Except the increase of efficiency, what also has to be taken into consideration is the aerodynamic balance of the vehicle, which is a relevant aspect. Due to the fact that some elements of the aerodynamic package work in ground effect at increasing speeds, with results in a higher pressing force and a lower front ride height, which then causes the aerodynamic balance to shift to the front of the vehicle. This implies that the driving behaviour is constantly changing to an oversteering vehicle when in high speeds. Because the Formula Student only allows amateur drivers, the Rennteam Uni Stuttgart has developed an active aerodynamic balance system to optimise the drivers little training time in order to ensure the driver has better control over the vehicle at higher

AUTHOR

Sandro Göbel

is responsible for numeric simulation and its automation on supercomputers, as well as the presentation of the aerodynamic development work at the Rennteam Uni Stuttgart (Germany).

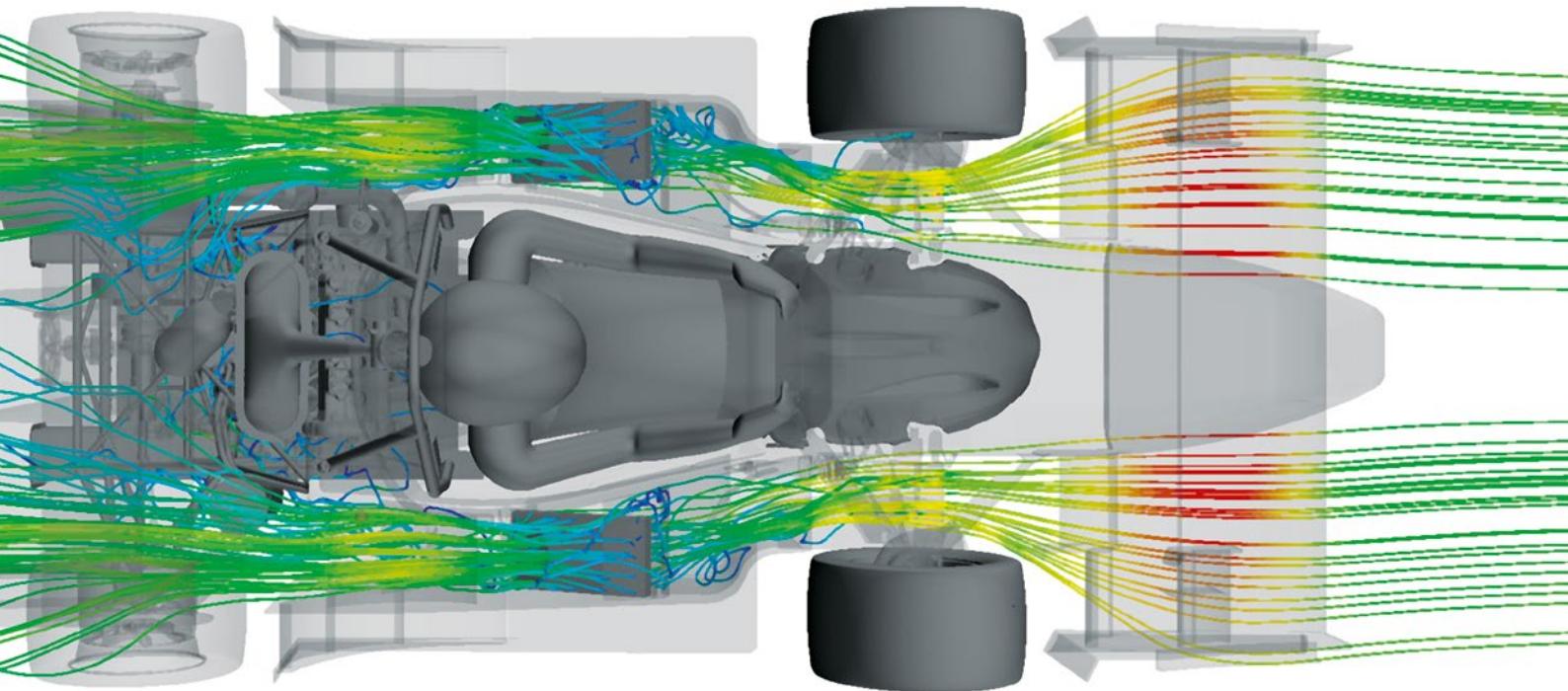


BILD 2 Weg der Kühlerdurchströmung durch das Fahrzeug (© Rennteam Uni Stuttgart)
FIGURE 2 Path of the cooling flow through the vehicle (© Rennteam Uni Stuttgart)

entschied sich das Rennteam Uni Stuttgart in der Saison 2015/2016 für ein symmetrisches Konzept mit zwei Wasserkühlern, um Motorkühlprobleme selbst bei tropischen Temperaturen ausschließen zu können, **BILD 2**. Die Abgasanlage wurde dadurch im Hinter-

wagen platziert. Dabei wurde die gesamte Motorperipherie kompakter gestaltet, um mehr Freiraum für eine gute Umströmung des Fahrzeugs zu erreichen. Kühler sowie Lüfter wurden auf Prüfständen vermessen und die Kennlinien in die Simulation imple-

mentiert, um eine gezielte Verbesserung der Luftführung im Bereich der Kühler zu verwirklichen. Dadurch konnte im Verlauf der Entwicklung der Luftmassenstrom durch den Wasserkühler um 30 % erhöht werden. Im Bereich der Bremsenküh-

Antriebs- und Fahrzeugtechnik im Gespräch.



ATZ live

FACHKONFERENZEN
FÜR FAHRZEUG- UND
MOTORENINGENIEURE

- Gesamtfahrzeug
- Motor und Antriebsstrang
- Chassis und Fahrerassistenz
- Karosserie und Akustik
- Elektromobilität

Aktuelle Tagungsprogramme: www.ATZlive.de

speeds, where understeering vehicle are easier to control than oversteering ones. The system allows a balance adaption of 20 %, by changing the angle of attack of a front wing's part. The aerodynamic balance is adjusted by the speed of the car and can be finely adjusted to the driver's needs directly on the steering wheel. The improvement of the balance is directly reflected in the driving behaviour of the vehicle. The result is an agile vehicle at low speeds and a stable and safe driving behaviour at high speeds.

OPTIMISED COOLING SYSTEM

Whenever energy is converted, heat is produced. This heat has to be disposed via a medium. Air is an unlimited source; therefore a direct cooling air flow is used to cool the brakes. For the engine cooling an air-water heat exchanger was implemented. In the season 2015/2016 the Rennteam Uni Stuttgart opted to utilise a symmetric concept with two water coolers to get rid of engine cooling issues even in tropical weather conditions. **FIGURE 2.** Due to that the team placed the exhaust system nearby the rear frame. In order to gain more flow dynamics, the team designed a more compact engine periphery. The radiator and fans were measured at test benches and the characteristic lines were implemented into the aerodynamic simulation to realise an optimised air flow into the radiators. During the development of the air mass flow through the radiators, the team was able to increase it by 30 %. In regards to the cooling of the brakes, a 20 % increase of air mass flow without increasing influences on the aerodynamic efficiency was achieved.

SELF-DEVELOPED COMPONENTS

In order to keep the weight of the car as low as possible, all aerodynamic components were self-developed and built out of a sandwich structured CFRP and foam as its core. The half shells consist of 0.2 mm thick CFRP outer layer, 1 to 2 mm thick foam core and another 0.2 mm thick CFRP inner layer. An elaborate inner structure of ribs and spar further strengthens the structure as a whole. Through this type of production, the team was able to keep the weight of the aerodynamic package with all its 32 individual wing elements, its add-on

components like endplates and air control elements under 15 kg. At a top speed of 125 km/h this package produces and carries approximately 300 kg of downforce, which is 20 times its weight.

VALIDATION ON THE REAL VEHICLE

Due to a stationary development in the simulation with the help of RANS turbulence models and the resulting residual errors, the results were validated on the real vehicle. Since last year, the FKFS offers the team the five belt full scale wind tunnel for some hours of validation. Because the wheelbase of the racing car is too small to place every wheel onto a belt for rotation, only the front wheels could be placed on belts. On the stationary rear wheels, which have a lower aerodynamic relevance, gurney flaps were placed onto the wheels to simulate the flow field in the wake better. Starting at a Reynolds series, many tests were done with attachment parts as well as adaption of the angle of attack of wing elements measured and evaluated. The active aerodynamic balance system was also evaluated and compared to the results of the simulation as well as the analysis of the damper potentiometers on rolling attempts, **FIGURE 3.** It reached a very good congruency with the system function.

The stationary simulation predicted 10 % more downforce in conclusion to the wind tunnel; the transient Detached Eddy Simulation (DES) had a 3 % deviation. Production inaccuracies, simplifications within the simulation and unprecise boundary conditions in the wind tunnel were the reason for the deviation.

AERODYNAMICS LEADS TO SUCCESS

At the moment the Rennteam Uni Stuttgart is looking back at the most successful season in the history of the team. The aerodynamic package of the 0711-11, **FIGURE 4**, was one of the major improvements in comparison with the last season's car. The implementation of active wing elements for optimisation of the aerodynamic balance was used for the first time. In conjunction with improved driving dynamics and better reliability the team was able to develop a competitive race car, which is able to stand its own against strong competition. This forms a solid pillar for the further development of an ever growing fleet of successful race cars of the Rennteam Uni Stuttgart.

REFERENCE

- [1] Aerodynamics at Rennteam Uni Stuttgart. In: ATZextra Formula Student Germany 2013, Springer Fachmedien, 2013, p. 34-41



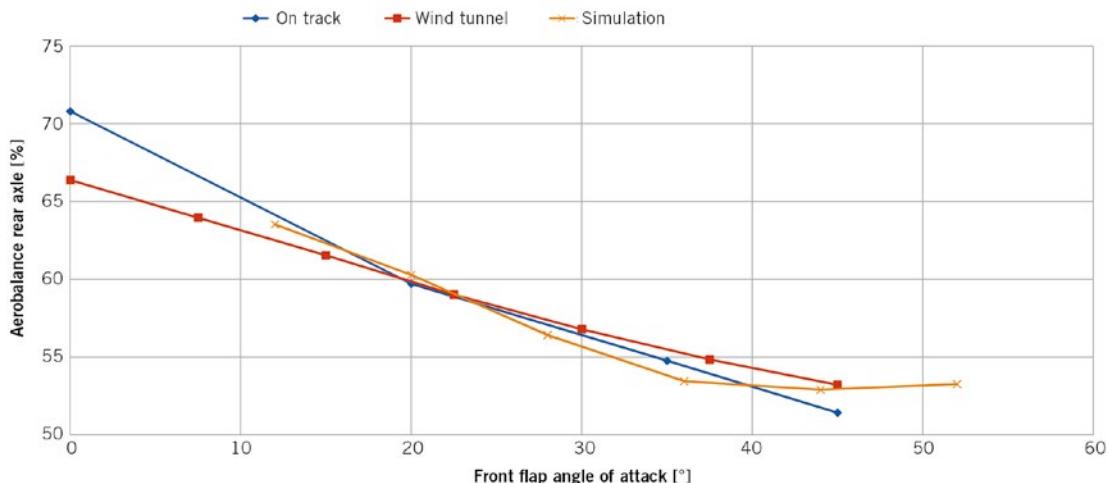


BILD 3 Validierung des aktiven Aerobalance-Verstellsystems (© Rennteam Uni Stuttgart)
FIGURE 3 Validation of active aerobalance system (© Rennteam Uni Stuttgart)

lung wurde ein zwanzigprozentiger Zuwachs des Massenstroms ohne steigenden Einfluss auf die aerodynamische Effizienz ermöglicht.

ANBAUTEILE IN EIGENREGIE

Um das Gewicht des Aerodynamikpaketes so gering wie möglich zu halten, wurden alle aerodynamischen Anbauteile in Eigenregie aus einem Sandwich aus kohlefaser verstärktem Kunststoff und einem Schaumkern aufgebaut. Die Flügelschalen sind aus einer 0,2 mm

starken CFK-Außenlage, einem 1 bis 2 mm dickem Schaumkern und einer weiteren 0,2 mm starken CFK-Innenlage aufgebaut. Eine aufwendige Innenstruktur aus Rippen und Holm verstärkt diese Struktur weiter. Hierdurch wiegt das komplette Aerodynamikpaket, das aus 32 einzelnen Flügelementen und weiteren Anbauteilen wie Endplatten und Luftleitelementen aufgebaut ist, weniger als 15 kg. Bei einer Höchstgeschwindigkeit von 125 km/h erzeugt und trägt dieses Paket jedoch ungefähr 300 kg an Abtrieb, also das zwanzigfache seines Eigengewichts.

cesystem untersucht und vergleiche zur Simulation sowie Auswertungen der Dämpferpotentiometer aus Rollversuchen durchgeführt, **BILD 3**. Es zeigten sich sehr gute Übereinkünfte der Funktion des Systems.

Die stationäre Simulation sagte 10 % höhere Abtriebswerte im Vergleich zum Windkanal voraus, die transiente Detached-Eddy-Simulation ergab 3 % Abweichung. Diese Ungenauigkeiten sind den Vereinfachungen in der Simulation und den nicht exakt nachgebliebenen Randbedingungen im Windkanal geschuldet.

VALIDIERUNG AM REALEN FAHRZEUG

Aufgrund der stationären Entwicklung in der Simulation mithilfe von RANS-Turbulenzmodellen und dem dabei entstehenden numerischen Restfehler, wurden die Ergebnisse am realen Fahrzeug validiert. Das FKFS stellt dem Rennteam Uni Stuttgart seit 2015 für einige Stunden ihren Fünfband-Windkanal zu Verfügung, um die Validierung zu betreiben. Da der Radstand des Rennwagens zu klein ist, um alle Räder auf den Radbändern rotieren zu lassen, wurden die Vorderräder auf den Bändern platziert und auf den weniger aerodynamisch relevanten Hinterrädern eine Abrisskante positioniert, um das Strömungsfeld im Radnachlauf besser zu simulieren. Von einer Reynoldsreihe ausgehend wurden einige Tests mit verschiedenen Anbauteilen sowie die Adaption des Anstellwinkels von Flügelementen gemessen und ausgewertet. Auch wurde das aktive Balan-

AERODYNAMIK FÜHRT ZU ERFOLGEN

Im Moment blickt das Rennteam Uni Stuttgart auf seine bislang erfolgreichste Saison zurück. Das Aerodynamikpaket des 0711-11, **BILD 4**, war eine der größten Verbesserungen im Vergleich zum Vorgängerfahrzeug. Erstmals wurden aktive Aerodynamikelemente zur Optimierung der aerodynamischen Balance verwendet. In Verbindung mit einer Verbesserung der Fahrdynamik und der Zuverlässigkeit konnte ein wettbewerbsfähiger Rennwagen entwickelt werden, der gegen die starke Konkurrenz im Wettbewerb bestehen kann. Dies legt einen soliden Grundstein für die künftige Weiterentwicklung einer immer größer werdenden Flotte erfolgreicher Rennboliden des Teams.

LITERATURHINWEIS

- [1] Aerodynamik beim Rennteam Uni Stuttgart.
In: ATZextra Formula Student Germany 2013, Springer Fachmedien, 2013, S. 34-41



BILD 4 Der 0711-11 ist der elfte Prototyp des Rennteams (© Rennteam Uni Stuttgart)
FIGURE 4 The F0711-11 is the 11th iteration built by the team (© Rennteam Uni Stuttgart)

Einzylindermotor mit Turboaufladung als vielversprechender Antriebsstrang für die Formula Student

Seit zwei Jahren setzt das TU Brno Racing Team in seinem Rennwagen einen Einzylindermotor mit Turboaufladung ein. Seitdem modifizierte das Team nicht nur Motor und Chassis, sondern führte auch eine systematische Revision des kompletten Antriebsstrangs einschließlich Fahrzeugdynamiksimulationen durch, um aus einer guten Technik das Beste herauszuholen.

AUTOREN



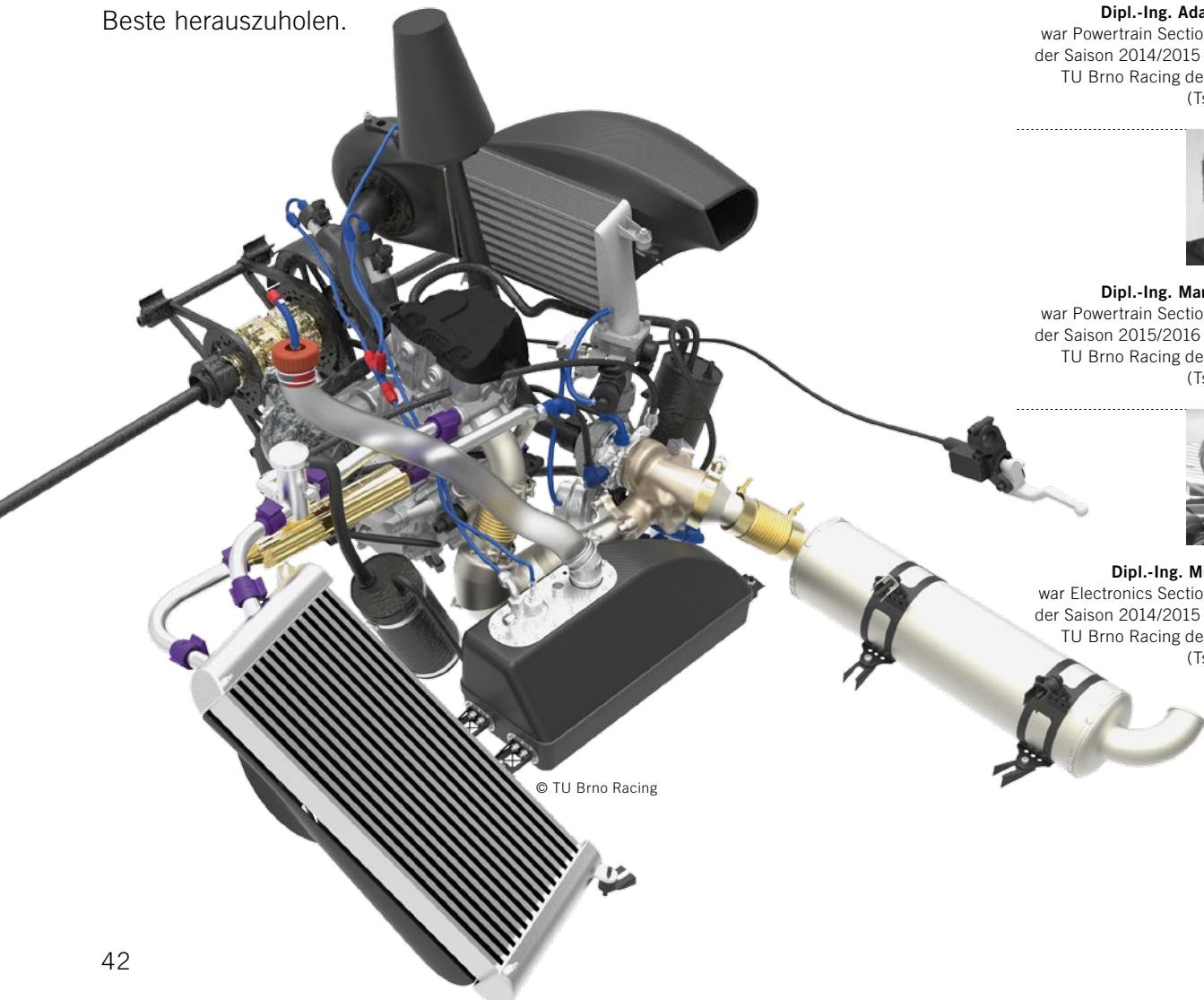
Dipl.-Ing. Adam Vondrak
war Powertrain Section Leader in der Saison 2014/2015 beim Team TU Brno Racing der TU Brünn (Tschechien).



Dipl.-Ing. Martin Buchta
war Powertrain Section Leader in der Saison 2015/2016 beim Team TU Brno Racing der TU Brünn (Tschechien).



Dipl.-Ing. Milan Spicak
war Electronics Section Leader in der Saison 2014/2015 beim Team TU Brno Racing der TU Brünn (Tschechien).



AUFLADEKONZEPT

Bereits während der Entwicklung des Dragon 5 – des ersten Rennwagens mit Einzylindermotor mit Turboaufladung von TU Brno Racing – fiel die Entscheidung, auch bei künftigen Entwicklungen weiterhin auf den Einzylindermotor zu setzen. Dafür sprachen einerseits das gute Verhältnis von Leistung zu Gewicht sowie die Möglichkeit, 20 kg gegenüber einem Vierzylindermotor zu sparen. Der Nachteil dieser Lösung sind starke Schwingungen und eine niedrigere erreichbare Leistung, die jedoch durch Aufladung erhöht werden kann.

Aus den zur Verfügung stehenden Möglichkeiten der Aufladung, entschied sich das Team für die Turboaufladung. Unter anderem, weil sie im Vergleich zu mechanischer Aufladung mit ihrem parasitären Leistungsbedarf eine neutrale oder sogar positive Auswirkung auf den Gesamtwirkungsgrad des Motors besitzt. Die Regeln der Formula Student verlangen, dass alle Verbrennungsmotoren mit einem Luftpengenbegrenzer ausgerüstet werden müssen. Das führt dazu, dass die höchste Leistung, die mit dem maximalen Luftmassenstrom limitiert wird, von dem effektivsten Motor erreicht wird. Ein mechanischer Kompressor kostet üblicherweise etwa 4 bis 5 kW Motorleistung bei

gedrosseltem Luftmassenstrom, was einen entsprechenden Höchstleistungsverlust gegenüber einem turboaufgeladenen Motor darstellt.

Was die technische Umsetzung betrifft, bringt die Turboaufladung eines Einzylindermotors eine wesentlich größere Herausforderung mit sich. Während der gewöhnliche Prozess der Turboladerauswahl auf den durchschnittlichen Luft- und Abgasmassenströmen basiert, muss im Fall des Einzylindermotors die während eines Arbeitszyklus angesaugte Luft und das abgeführte Abgas die Ansaug- und Abgastrakte innerhalb nur eines Arbeitstakts durchströmen. Daraus folgt, dass die beiden Turbomaschinen während der entsprechenden Takte einem übermäßigen Durchfluss ausgesetzt werden, wobei sie in der restlichen Zeit kaum genutzt werden.

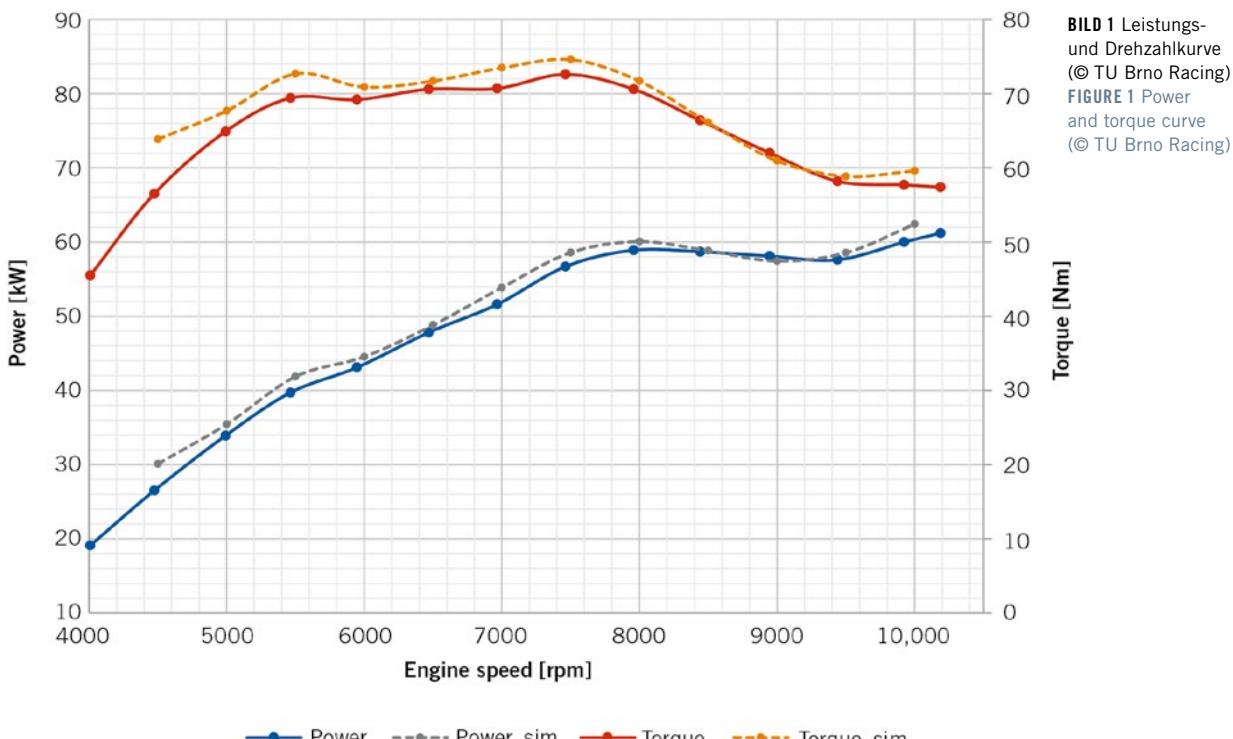
ZUSAMMENSPIEL ZWISCHEN ANTRIEBSSTRANG UND FAHRZEUG

Der Zweck eines Triebwerks ist es, die auf das Fahrzeug wirkende, längsdynamisch wirkende Kraft zu erzeugen. Ein erfolgreicher Antriebsstrang überragt die Konkurrenz deshalb nicht nur in Bezug auf Höchstleistung, sondern auch durch die Drehmomentübertragung an die Räder. Um dieses Ziel zu erreichen, hat

sich das Team von TU Brno Racing auf zwei Parameter konzentriert – den Verlauf des Motordrehmoments und die Gangabstufung des Getriebes. Die daraus resultierende Leistungsfähigkeit wurde dann in einer Studie geprüft, sowohl in einer Simulation als auch in einer Messung an dem realen Fahrzeug, **BILD 1**.

Unter Berücksichtigung der Limitierung der Motorleistung durch den Luftpengenbegrenzer war das Ziel des Teams, den Antriebsstrang so zu kalibrieren, dass die Hyperbel der konstanten Leistung während der Fahrzeugbeschleunigung möglichst eng folgt. Am Ende war es das Ziel, eine Kombination aus Gangabstufung und Motordrehzahl zu wählen, bei der die maximale Luftmassenstrom sogar nach dem Hochschalten gehalten wird. Gleichzeitig sollte die Anzahl der Gänge niedrig sein, um Pausen zwischen dem Schalten zu begrenzen.

Nach einigen Probefahrten näherte sich das Team einer Konfiguration mit drei Gängen, da die Hochschalten bei 10.000/min die Motordrehzahl auf 7700/min senken ließ. Beim Einsatz von 1,7 bar absolutem Ladedruck ist 7700/min genau die Drehzahl, die das Erreichen des Luftmassenstromlimits sichert, während der dritte Gang immer noch in der Lage ist, eine Fahrzeugge-



Turbocharged Single Cylinder as a Promising Formula Student Powertrain

For the second year in a row, the TU Brno Racing team uses a turbocharged single cylinder engine in its racing car. To tackle such a challenging concept the team needed not only to coordinate extensive design work of new components or modifications on both the engine and chassis sides. A systematic revision of the complete powertrain including simulations of vehicle dynamic behaviour was performed as well in order to get the best out of a good technology.

SUPERCHARGING CONCEPT

Sticking to the single cylinder engine was the first concept the team agreed on during the initial development of Dragon 5 – the first turbocharged car by TU Brno Racing. That was already two years back and the decision has not been disputed up to now. An ultimate power to weight ratio and a possibility to save roughly 20 kg of weight compared to four-cylinder powertrains make the single cylinders a persistently interesting choice. To the disadvantages, however, belong strong vibrations and especially lower performance, which can nevertheless be mitigated by increasing the intake air density.

From the two general options turbocharging was selected for its neutral or even positive impact on overall engine efficiency compared to mechanical supercharging with its parasitic power demand. The requirement on all combustion engines in Formula Student to be equipped with an intake air restrictor creates a simple rule that the highest power output from the given maximum air flow would be reached by the most efficient engine. A mechanical supercharger typically asks for 4 to 5 kW of engine power at restrictor choke flow creating a corresponding penalty in peak power output compared to turbocharged engines.

When it comes to the technical realisation however, turbocharging a single cylinder engine represents a serious technical challenge due to the strong intermittency of its working cycle. While the standard matching process assumes turbine and compressor sizing

to the corresponding average flow rates, in case of single cylinder engines all the intake air and exhaust gas exchanged during one working cycle must pass through the intake and exhaust systems within one stroke only. As a result both the turbomachines are subjected to exceeding flow rate demands during the respective strokes, while they are almost unexploited in between.

SYNERGY OF POWERTRAIN AND VEHICLE

The ultimate purpose of a power unit is to create longitudinal force acting on a vehicle in the forward direction. A successful powertrain therefore not only excels in peak power output, but also transfers the engine torque onto wheels in such a way that enables the tires to produce maximum tractive force in contact with the ground. There are two key parameters the team focused on in order to achieve that goal – engine torque course and gear ratio sequence of the transmission. The resulting performance was then assessed on a case study of the acceleration event in form of both vehicle simulation and real world measurement, **FIGURE 1**.

Being aware of the engine power limitation by air restrictor the team aimed at calibrating the powertrain to follow the constant power hyperbola during the vehicle acceleration. In the end such a combination of gear ratio sequence and restrictor choke engine speed respecting combustion pressure limit needed to be selected that would allow keeping the air flow rate at the maximum even after upshifting. At the

same time the number of gears should have been low in order to avoid unnecessary accumulation of periods without propulsion during shifting.

After a series of iterations the team converged to a configuration with three gears, where upshifting from 10,000 rpm makes the engine speed fall to 7700 rpm. That is just at the restrictor choke speed for 1.7 bar of absolute boost pressure, while the third gear still allows reaching vehicle speeds above 113 km/h, which are attainable at the end of acceleration track. From the other perspective the first gear in this configuration still makes it possible to exceed the tire traction limit with sufficient margin, so that the full range of the vehicle operating conditions is covered, **FIGURE 2**.

AUTHORS

Dipl.-Ing. Adam Vondrák
was Powertrain Section Leader
in season 2014/2015 at TU Brno
Racing, Formula Student team of
TU Brno (Czech Republic).

Dipl.-Ing. Martin Buchta
was Powertrain Section Leader
in season 2015/2016 at TU Brno
Racing, Formula Student team of
TU Brno (Czech Republic).

Dipl.-Ing. Milan Spicák
was Electronics Section Leader
in season 2014/2015 at TU Brno
Racing, Formula Student team of
TU Brno (Czech Republic).

Wohin führt uns Ihr Weg?

Mit Vollgas in Richtung Karriere



Zuerst einmal an den Hockenheimring! Fast 350 Studenten von sechs Hochschulen haben mit der Förderung von Volkswagen an der internationalen Formula Student Germany auf der Rennstrecke in Baden-Württemberg teilgenommen.

Zusammen mit dem Personalmarketing waren Kollegen/-innen unterschiedlichster Fachbereiche, wie der Forschung und Entwicklung, Produktion oder der Baureihe vor Ort, um mit den talentierten Studierenden in den Dialog zu treten und gleichzeitig über das Arbeiten bei Volkswagen zu informieren.

Mit der Formula Student Germany verbindet uns die Neugier und Begeisterung für die Mobilität der Zukunft und deswegen freuen wir uns besonders diesen Event in seiner vollen Bandbreite zu unterstützen. Dass an dem Wettbewerb auch viele weibliche Studierende teilnehmen, zeigte sich am Volkswagen Truck. Das noch junge Netzwerk der Formula Student Ladies lud alle Studentinnen zum entspannten Get-together und Austausch ein.

Der teamübergreifende Zusammenhalt, die Professionalität der Studierendenteams und das immense Engagement jedes Einzelnen schafften eine einmalige Atmosphäre und faszinierten wieder aufs Neue. Prof. Dr. Stefan Gies, Leiter der Fahrwerkentwicklung bei Volkswagen Pkw und Schirmherr der Formula Student Germany seitens Volkswagen, zeigte sich ebenfalls begeistert: „Die Stimmung auf dem Hocken-

heimring war klasse. Ich bin beeindruckt von der technischen und unternehmerischen Kompetenz aller Teams – und von den Diskussionen auf Augenhöhe. Die jungen Leute haben viel Energie und Herzblut in die Entwicklung ihrer Rennwagen und Ideen gesteckt. Wir wollen diesen engen Austausch mit ihnen in der kommenden Saison fortführen.“

Volkswagen selbst unterstützt den Wettbewerb von Beginn an und ist seitdem jedes Jahr auf dem Hockenheimring präsent. Die geförderten Teams treten alle in der Formula Student Electric an, wobei sich eines dieses Jahr im Formula Student Driverless-Konzept Award engagierte. Auch in der nächsten Saison wird der Fokus auf Elektromobilität und autonomen Fahren liegen. Hierbei wird Volkswagen seinen Teams mit dem Rat seiner Experten und finanzieller Unterstützung zur Seite stehen.



INTEGRATION INTO THE VEHICLE

Thanks to the customised design of the generatively manufactured turbocharger, it could have been placed into the middle part of the vehicle next to the engine and just above the undertray making the whole powertrain very compact and lightweight. Compared to the common configuration of the turbocharger positioned in the rear of the racing car above the engine, the layout of TU Brno Racing with a sidepod-mounted muffler has decreased overall yaw moment of inertia and lower center of gravity.

One of the goals for this season was to shorten the air passage between the compressor and the engine to achieve faster response to the throttle. For this purpose the intercooler was moved from the sidepod to the rear of the car and the airbox was integrated into its outlet chamber.

The length of the intake runner between the airbox and the intake valves is then designed to enhance volumetric efficiency in mid-engine speeds. The exhaust manifold is on the other hand tuned to enhance exhaust gas removal from the cylinder at high engine speeds, while the plenum volume was determined as a compromise between scavenging efficiency and packaging requirements.

As an answer to the increased in-cylinder pressure the compression ratio was reduced from original 11.8 to 9.5. In addition the connecting rod was replaced with one from a higher sized engine (Husaberg FE570). Supported by a custom piston design in combination with a transition to E85 fuel the knocking risk was reduced.

Engine torque is transmitted through a reinforced clutch to a dog box type three-speed gearbox. To transfer 74 Nm it was necessary to enlarge each gear wheel. Strengthened design of dog rings makes the gearbox more reliable and shortens the shifting time. To the other modifications belongs also a treatment of both shafts preventing their bending.

Because of strong pulling force of the chain gear, the secondary gear and differential are rigidly connected to the engine by aluminium holders. The whole assembly is then mounted into the frame at once. To reduce the transfer of vibra-

tions into the chassis, rubber bushings are used on the engine and differential holders, **FIGURE 3**.

ENGINE CALIBRATION

The powertrain as a whole not only consists of mechanical and thermodynamic parts, but to achieve even higher efficiency a precise electronic control took its place as well. The heart not only of the engine but speaking of the chassis as well is called LifeRacing F88 Engine control unit. The rpm limit of the engine is higher than 11,000 rpm, considering the number of teeth presented for engine position determination, a fairly strong computational power is required to achieve precision timing of all the engine events. Using field-programmable gate array (FPGA) for processing inputs and outputs provides precision whilst the micro-controller executes the strategies and data-logging.

Good timing of the inputs and outputs is, however, not exactly what is called precision control. There is one more step which is more about translation of the electrical power to the physical behaviour or vice-versa. In this case a good sensor and actuator choice has been emphasized. For example, a special test bench has been developed to describe injector or ignition coil behaviour under certain conditions, or self-manufactured and calibrated temperature sensor has been used to satisfy small packaging and fast response.

The F88 ECU is high-end motorsport product, which enabled to use proven logic and prevent failures in such prototype engine. Nevertheless, a good knowledge and calibration has been a requirement to drive the powertrain.

The turbocharger control is described as an example of such complex system. In this case a pulse width modulation (PWM) controlled pneumatic valve is placed in the feeding line of a pneumatic wastegate actuator to assure that the required pressure is delivered to the engine, whilst the turbocharger rpm and post-restrictor pressure are under limits as well. Three different PID closed loop controllers have been used and the priority has been given to the highest demand on the PWM valve. In

other words, when the manifold pressure controller demands closing the wastegate valve to gain higher boost pressure, but the turbo speed or post-restrictor pressure indicates overrevved turbocharger the action is taken to regulate the speed of the turbocharger under its limits and deliver as much boost as possible. This usually happens when the air-restrictor is choked and there is not enough air to feed the compressor. The post-restrictor pressure sensor reading has also been calibrated on a flow-bench to recognise choked conditions.

Even well calibrated fuel mixture delivery and boost pressure control is not a sign of an efficient and powerful engine. The ignition timing has been calibrated using thermodynamic analysis, which also has been used for simulation validation.

TEST DATA

Precisely validated 1D engine simulation is the entry step for advanced vehicle dynamics models, **FIGURE 4**. For that purpose the engine model was extended by transmission, axles, tires and other necessary component models, which have effect on the vehicle behaviour. Using this model operating conditions of the engine and turbocharger during transients such as gear shifting, launch etc. could be predicted. Thanks to that the initial setup of launch control, traction control, gear shifting etc. is made possible far in advance to the first actual powertrain tests in the vehicle. Moreover the ability to predict the acceleration time on different tracks belongs to further benefits.

CONCLUSION

Not only the engine as a source of power was the target of the further developments of the team, but a complex powertrain unit with a focus on each component was developed. With 61 kW and 74 Nm integrated to the 174 kg of overall weight the Dragon 6, **FIGURE 5**, is more than competitive to the best Formula Student cars. In addition to that it was proved that efficient turbocharging of single cylinder engines is possible.

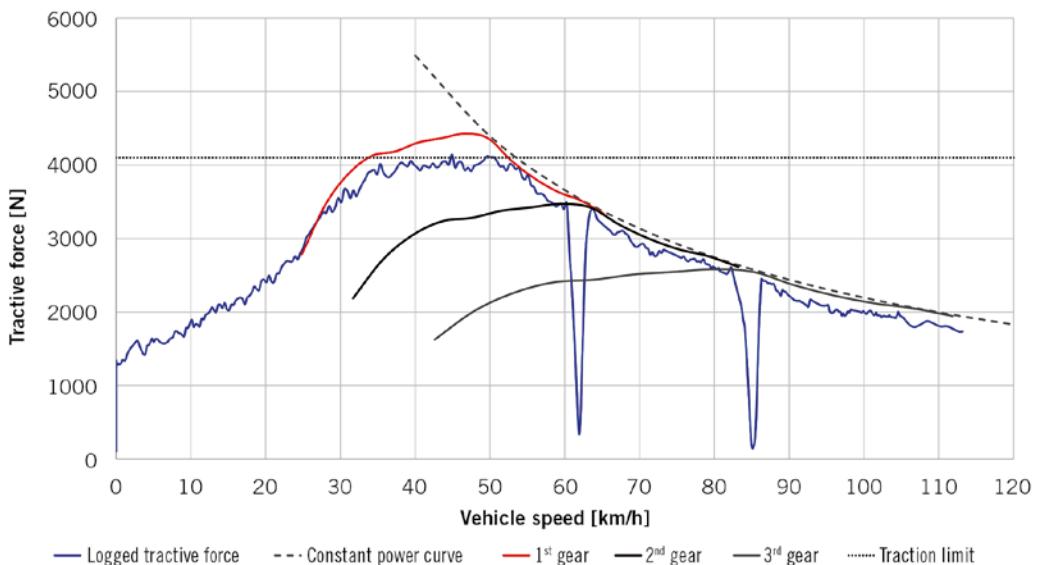


BILD 2 Zugkraftdiagramm
(© TU Brno Racing)
FIGURE 2 Tractive force dia-
gramme (© TU Brno Racing)

schwindigkeit von über 113 km/h darzustellen. Umgekehrt ist es im ersten Gang in dieser Konfiguration immer noch möglich, mit ausreichendem Abstand über die Traktionsgrenze der Reifen zu gelangen, wodurch die ganze Bandbreite der Fahrzeugnutzungsbedingungen abgedeckt wird, **BILD 2**.

EINBAU IN DAS FAHRZEUG

Dank des maßgeschneiderten Designs des generativ gefertigten Turboladers konnte dieser in der Mitte des Fahrzeugs neben dem Motor und ganz nah über dem Unterboden positioniert werden, was den gesamten Antriebsstrang kompakt und leicht macht. Verglichen mit der herkömmlichen Konfiguration des Turboladers im Heck des Fahrzeugs über dem Motor, vermindert das Layout von TU Brno Racing mit einem im Seitenkasten positionierten Abgasschalldämpfer das gesamte Trägheitsmoment des Rennwagens und ermöglicht ein niedrigeres Schwerpunktzentrum.

Eines der Saisonziele war es, die Länge des Ansaugtrakts zwischen dem Lader und dem Motor zu verkürzen, um eine schnellere und direktere Gasannahme zu erreichen. Um dies zu ermöglichen, wurde der Zwischenkühler statt an der Seite des Fahrzeugs zum Heck hin verbaut und der Luftfilterkasten in die Außenkammer des Kühlers integriert.

Die Länge des Ansaugkrümmers zwischen dem Luftfilterkasten und den Ein-

lassventilen ist so gestaltet, dass der Liefergrad bei mittlerer Geschwindigkeit verstärkt wird. Zudem ist der Abgaskrümmer so eingestellt, dass der Abgasausstoß des Zylinders bei hohen Motordrehzahlen erhöht wird. Das Kamervolumen wurde als Kompromiss zwischen der Spülwirkung und den Anforderungen des Packaging bestimmt.

Als Reaktion auf den erhöhten Zylinderdruck reduzierte das Team das Verdichtungsverhältnis von ursprünglich 11,8 auf 9,5. Zudem wurde die Pleuelstange durch die eines größeren Motors (Husaberg FE570) ersetzt. Durch ein angepasstes Kolbendesign in Kombination mit der Nutzung von E85-Kraftstoff wurde die Klopfempfindlichkeit reduziert.

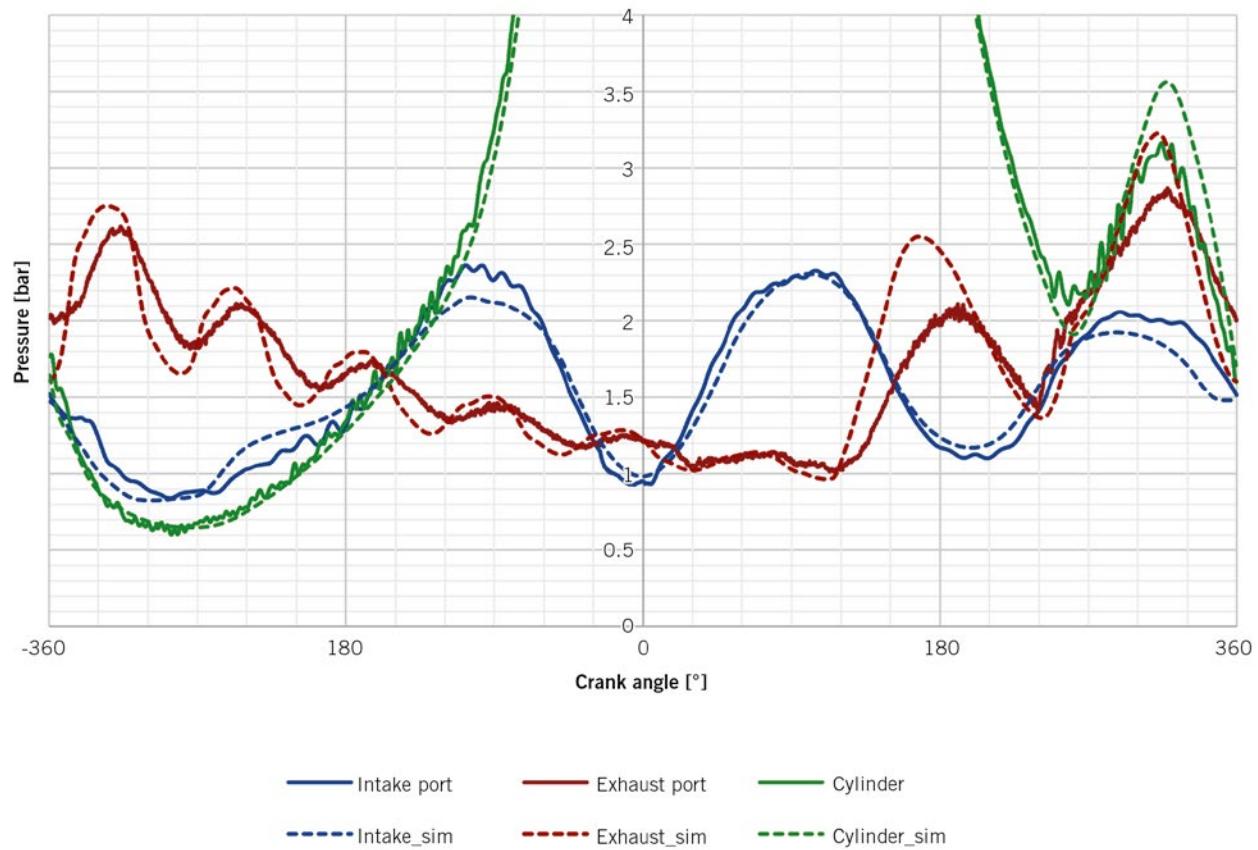
Das Drehmoment wird über eine verstärkte Kupplung auf das dreigängige Dog-Box-Getriebe übertragen. Um 74 Nm zu übertragen, war es nötig die Gangräder zu vergrößern. Eine verstärkte Konstruktion der Klauenkupplungen verbessert die Zuverlässigkeit des Getriebes und verkürzt die Schaltzeit. Zu den weiteren Modifikationen gehört auch die Optimierung der beiden Wellen, um ihre Steifigkeit in der Biegerichtung zu erhöhen, **BILD 3**.

Aufgrund starker Abzugskräfte der Kettengetriebe wurden das Nachschaltgetriebe und das Differenzial mit dem Motor durch Aluminiumhalterungen verbunden. Die gesamte Konstruktion wurde daraufhin in einem Stück eingesetzt. Um die Vibrationsübertragungen

BILD 3 Getriebe
(© TU Brno Racing)
FIGURE 3 Gearbox
(© TU Brno Racing)



BILD 4 Zylinder- und Saugrohrdruck (© TU Brno Racing)
FIGURE 4 Cylinder and port pressures (© TU Brno Racing)



ins Chassis zu verringern, wurden Gummibuchsen am Motor- und Differenzialhalter verwendet.

MOTORABSTIMMUNG

Der gesamte Antriebsstrang besteht nicht nur aus mechanischen und thermodynamischen Komponenten. Um eine noch höhere Effizienz zu erreichen, wurde deshalb eine präzise elektronische Steuerung verbaut. Das Motorsteuergerät LifeRacing F88 ist nicht nur das Herz des Motors, sondern auch des Chassis, da es auch zur Datenaufzeichnung genutzt wird.

Das Drehzahllimit des Motors ist höher als 11000/min. Bedenkt man die Zahnanzahl des Synchronisationsrads an der Kurbelwelle, stellt das präzise Abstimmen aller Motorvorgänge hohe Anforderungen an die Rechenleistung. Mithilfe eines Field Programmable Gate Array (FPGA) wird die präzise Verarbeitung von Inputs und Outputs unterstützt, während der Micro-Controller die Regelstrategien und die Datenaufzeichnung ausführt.

Ein gutes Timing der In- und Outputs ist nicht mit einer präzisen Kontrolle gleich zu setzen. Es gibt einen weiteren Schritt, der wesentlich mehr zur Übertragung der elektrischen Energie in physisches Verhalten beiträgt und umgekehrt. Voraussetzung dafür ist eine gute Sensor- und Aktuatorauswahl. Hierfür hat das Team beispielsweise einen speziellen Prüfstand entwickelt, damit das Injektor- oder Zündspulenverhalten unter spezifischen Bedingungen beschrieben werden konnte. Weiterhin wurden Temperatursensoren entwickelt und kalibriert, die die Anforderungen des Teams nach kleinerem Packaging und schneller Reaktion erfüllten.

Die F88 ECU ist ein High-End-Motorsportprodukt, das es dem Team ermöglichte, Fehler im Prototypmotor zu verhindern. Letztlich ist insbesondere eine fundierte Datenbasis unverzichtbar, um den Antriebsstrang zu kalibrieren und zu steuern.

Die Regulierung des Turboladers ist ein Beispiel für eines dieser komplexen Systeme. In diesem Fall wird ein mit

Pulsweitenmodulation (PWM) gesteuertes Ventil in die Zuleitung eines pneumatischen Wastegate-Aktuators gesetzt, damit dem Motor der erforderliche Ladedruck zugeliefert wird, aber gleichzeitig das Drehzahllimit des Turboladers und das Unterdrucklimit des Luftmengenbegrenzers beachtet wird. Es wurden drei verschiedene Closed-Loop-Regler verwendet, wobei die Priorität auf die höchste PWM-Anforderung gelegt wurde. Wenn beispielsweise der Ladedruckregler das Schließen des Waste-gates verlangt, um einen höheren Ladedruck zu erreichen, und dabei der Drehzahlsensor oder Drucksensor nach dem Luftmengenbegrenzer eine überhöhte Drehzahl des Turboladers erfasst, dann kommt es zu einer Drehzahlregulation, die den maximalen Ladedruck erlaubt. Dies ist gewöhnlich der Fall, wenn das Luftmassenstromlimit erreicht wird und es nicht ausreichend Luft gibt, um den Kompressor zu versorgen. Der Grenzwert des Drucks nach dem Luftmengenbegrenzer wurde zudem im Strömungsprüfstand kalibriert.

MAN KANN ALLES NEU ERFINDEN. SOGAR DAS LENKRAD.

TEILEN SIE MIT UNS IHRE LEIDENSCHAFT
FÜR AUTONOMES FAHREN.

Wer die Mobilität der Zukunft revolutionieren will, muss schon heute Maßstäbe setzen. Intelligente Technologien, die immer mehr Fahraufgaben übernehmen und dem Fahrer mehr Sicherheit und Komfort bieten, sind schon heute in unseren Fahrzeugen im Einsatz. Um den Vorsprung auf dem Weg zum autonomen Fahren weiter auszubauen, braucht es visionäre Denker und kreative Entwickler. Spezialisten aus den Bereichen Machine Learning, Künstliche Intelligenz, Sensorik, Sensortechnologie und Software-Entwicklung, die gemeinsam in Experten-Teams und weltweit über Kompetenzzentren vernetzt, die Grenzen des Möglichen neu definieren.

Sie suchen nach einer spannenden Herausforderung? Dann bewerben Sie sich online unter <http://bmw.jobs/autonomfahren> und schließen Sie sich unserem Team an. Unter www.karriere.bmwgroup.de finden Sie viele Informationen über uns als Arbeitgeber und weitere Stellenausschreibungen.

 facebook.com/bmwkarriere

**BMW
GROUP**

THE NEXT
100 YEARS



Rolls-Royce
Motor Cars Limited



BILD 5 Der Rennwagen der Saison 2015/2016 namens Dragon 6 (© TU Brno Racing)

FIGURE 5 The racing car of season 2015/2016 named Dragon 6 (© TU Brno Racing)

Jedoch ist eine gut kalibrierte Kraftstoffgemischzulieferung und Ladedruckregulation allein kein Merkmal für einen effizienten, leistungsstarken Motor. Der optimale Zündzeitpunkt wurde mithilfe thermodynamischer Analysen des gemessenen Zylinderdruckverlaufs kalibriert, die auch zur Validierung der Simulationen herangezogen wurden.

TESTDATEN

Eine präzise validierte 1-D-Motorensimulation, **BILD 4**, ist der erste und wichtigste Schritt um fortschrittliche Modelle der Fahrzeugdynamik zu erhalten. Um dies zu gewährleisten, wurde das Motoren-

modell durch Getriebe, Achsen, Reifen und andere wichtige Komponenten, die Auswirkungen auf das Fahrzeugverhalten haben, erweitert. Mithilfe dieses Fahrzeugmodells konnten die Arbeitsbedingungen des Motors und des Turboladers während transienter Phasen, beispielsweise Gangwechsel oder Anfahren, vorhergesagt werden. Dank der ersten Einstellung von Launch-Control, Traktionskontrolle, Schaltung etc. ist es möglich, Tests durchzuführen, bevor die ersten Antriebsstrangtests im Fahrzeug stattfinden. Darüber hinaus ist die Vorhersage der Beschleunigungszeit auf unterschiedlichen Fahrbahnen ein weiterer Vorteil.

FAZIT

Das Hauptaugenmerk des Teams lag nicht ausschließlich auf der Weiterentwicklung des Motors und seiner Funktion als Quelle der Antriebsleistung, sondern darauf, eine komplexe Antriebsstrang-Einheit zu entwickeln. Mit seinen 61 kW Leistung, 74 Nm Drehmoment und mit dem Gesamtgewicht von 175 kg ist der Dragon 6, **BILD 5**, mehr als konkurrenzfähig zu den besten Formula-Student-Rennwagen. Darüber hinaus wurde bewiesen, dass die effiziente Turboaufladung von Einzylindermotoren möglich ist.



Join the winning team

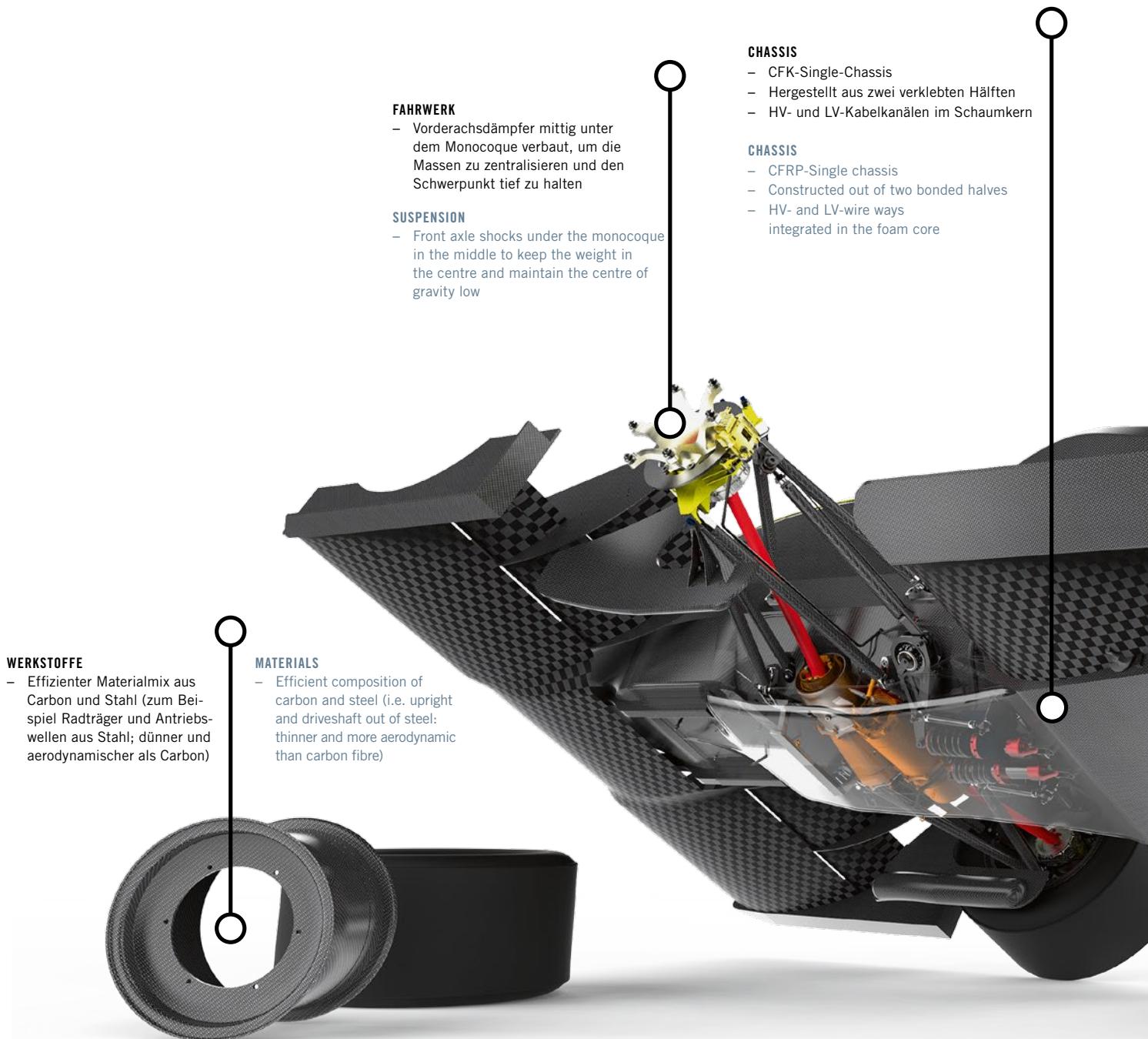


Wir gratulieren dem CAT-Racing-Team der Hochschule Coburg zu einer erfolgreichen Saison in der Formula Student. Bei allen Studierenden, Organisatoren und Helfern bedanken wir uns für das spannende Rennwochenende am Hockenheimring.

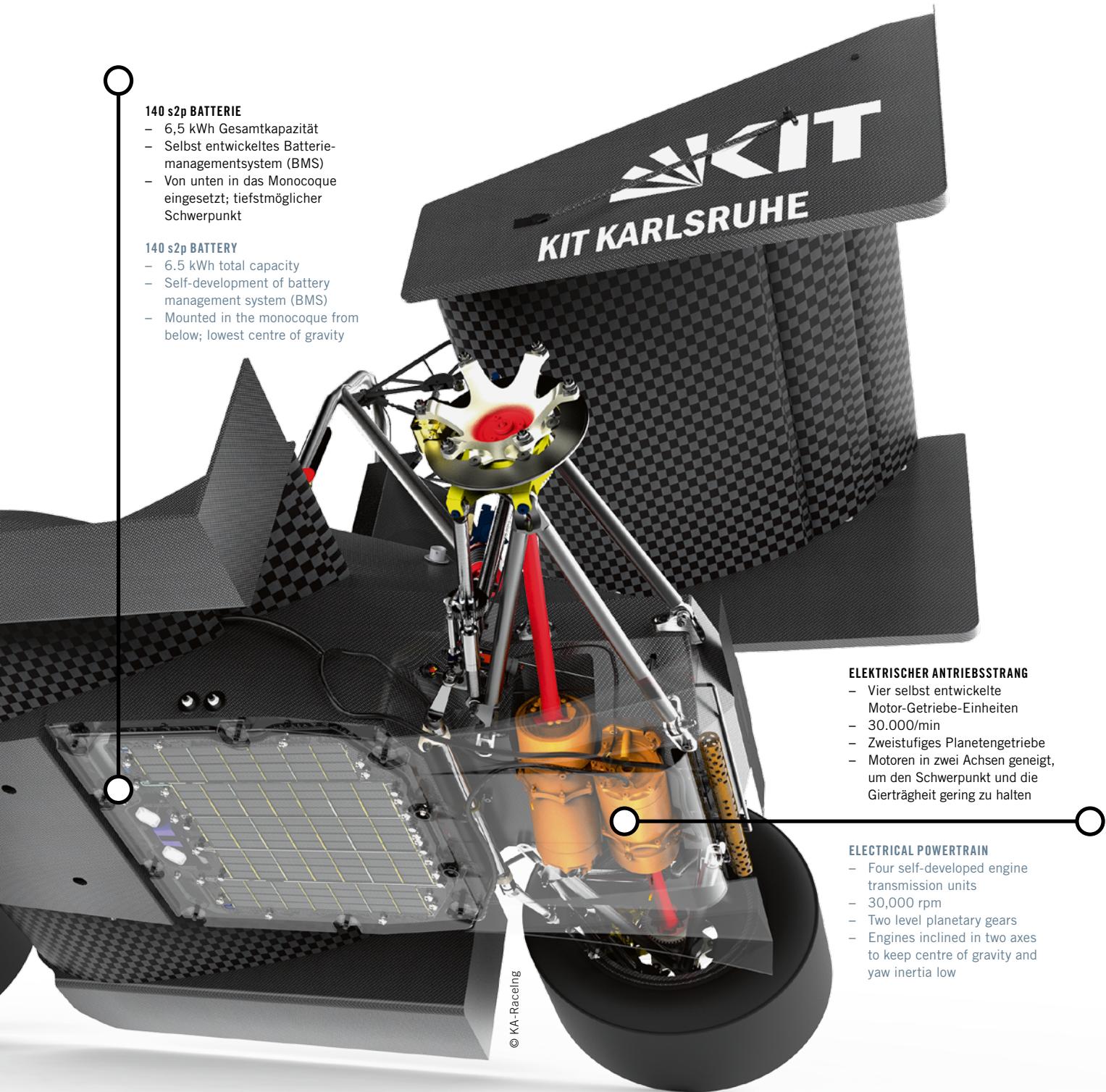
Bewerben Sie sich bei einem der innovativsten Automobilzulieferer.

Brose Fahrzeugteile – Join the winning team!

Schnittmodell des FSE-Siegerautos | Der KIT16e von KA-Racing, dem Formula Student Team des Karlsruher Institut für Technologie



Cutaway Model of the FSE winning Car | The KIT16e by KA-Racing, the Formula Student Team of the Karlsruhe Institute of Technology





© Racetech Racing Team

Entwicklung eines Magnesium-Monocoques für den Prototypen RT10

AUTOR

**Benedikt Distl**

ist Modulleiter Rahmen im Racetech Racing Team der TU Bergakademie Freiberg und verantwortlich für die Auslegung und Entwicklung der Sandwichstruktur des RT10.

Sandwich-Verbundwerkstoffe sind in der Formula Student mittlerweile fest etabliert. Die CFK-Verbundstoffe besitzen jedoch Nachteile in puncto Kosten, Fertigung und Recycling. Das Freiberger Team setzte deshalb bei Ihrem Rennwagen RT10 auf einen Magnesium-Sandwich-Verbundwerkstoff.

GESUCHT: ALTERNATIVE ZU CFK

Seit einigen Jahren haben sich Strukturen aus Sandwich-Verbundwerkstoffen in der Formula Student etabliert. Die Vorteile dieser Bauteile resultieren aus der Art der Lastein- und -weiterleitung. Die Kräfte werden flächig in die Struktur übertragen. So wirkt das gesamte Bau teil an der Versteifung der einzelnen Lasteinleitungspunkte mit. Die Position der Lasteinleitungspunkte, die durch Inlays in das Sandwich eingearbeitet sind, ist nahezu frei wählbar. Die einzelnen Anbindungsstellen müssen so nicht eigens über Zug-Druck-Stäbe abgestützt werden. Die Integration vieler Funktionen und Anbindungsstellen in Verbindung mit der selbsttragenden Konstruktion sor-

gen für eine bedeutend leichtere Struktur. Hinzu kommt, dass die damit gewonnenen Freiheiten zur Anbindung der Kinematik signifikant zur Verbesserung der Fahrzeugperformance beitragen.

In der Formula Student üblich sind Sandwich-Verbundwerkstoffe aus einer carbonfaserverstärkten Kunststoff(CFK)-Deckschicht und verschiedensten Kernmaterialien. CFK bietet große Vorteile durch seine geringe Dichte sowie dessen hohe spezifische Festigkeit und Steifigkeit. Jedoch bringt dieses Material auch Nachteile hinsichtlich Kosten, Recycling und Fertigung mit sich. Zitiert man das aktuelle FSAE-Reglement, soll ein Fahrzeug entwickelt werden, das nach Kosten und Design „[...] für eine Produktion mit einem jährlichen Volumen von 1000

Stück“ ausgelegt ist [1]. Die Serienproduktion von Komponenten aus CFK stellt zum heutigen Stand der Technik noch eine hohe Herausforderung hinsichtlich technischer und finanzieller Mittel dar.

ERFAHRUNGEN MIT MAGNESIUM-PRODUKTEN

Die fertigungstechnischen und finanziellen Nachteile lassen sich abmindern, indem man CFK durch einen metallischen Werkstoff ersetzt. Vergleicht man verschiedene Werkstoffe hinsichtlich ihrer Festigkeit und Steifigkeit, bietet Magnesium durch seine geringe Dichte von $1,74 \text{ g/cm}^3$ die höchste spezifische Festigkeit bei mit Aluminium vergleichbarer spezifischer Steifigkeit, **TABELLE 1**.

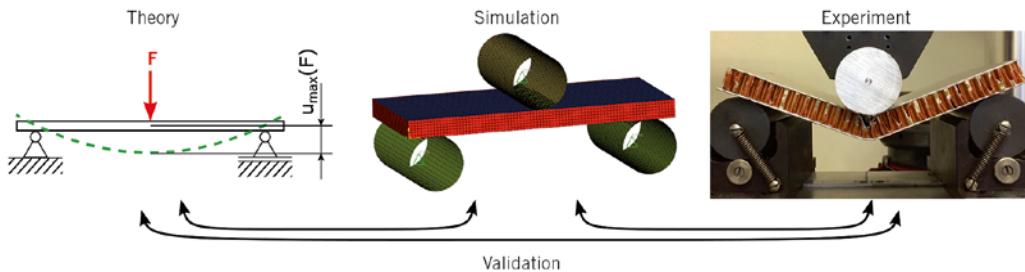


BILD 1 Validierung der Auslegungsschritte
© Racetech Racing Team
FIGURE 1 Validation of development steps
© Racetech Racing Team

Der Einsatz von Magnesium Flachprodukten hat zudem eine lange Historie im Freiberger Team. Seit dem ersten Fahrzeug bilden polierte Magnesiumbleche die Grundlage für das Design der Außenhaut. Bei der Fertigung kann somit auf eine große Wissensdatenbank zurückgegriffen und das Alleinstellungsmerkmal erhalten werden. Bereits im Jahr 2014 erkannte das Team des RT08 das Potenzial eines Magnesium-Sandwich-Verbundwerkstoffes: Den Nutzen einer funktionsintegrierten Struktur mit einer finanziellen, fertigungstechnischen und recycelbar günstigen Bauweise zu verbinden, um die bisherige Gitterrohrrahmen Struktur zu ersetzen. Damit legten sie den Grundstein für einen zweijährigen Entwicklungsprozess, der im Magnesium-Monocoque des RT10 seinen ersten Höhepunkt erreicht hat.

EXPERIMENTE MIT DEM PERFEKten SANDWICH

Für die Auslegung der Bauteile aus dem Magnesium-Verbundwerkstoff bietet es sich an, für komplexe Strukturen FEM-Simulationen durchzuführen. Dazu wird ein Materialmodell erstellt und validiert, **BILD 1**. Die Übertragung der Erkenntnisse aus den analytischen Berechnungen auf die Auslegung der Verbundwerkstoff-Struktur kann mittels einer Simulation, die experimentell überprüft worden ist, validiert werden. Somit lassen sich aus den Ergebnissen der Versuche konstruktive Gestaltungsrichtlinien für eine reglementkonforme und anforderungsge- rechte Struktur ableiten.

Die Basis für die Auslegung einer nach FSAE-Reglement konformen Sandwichstruktur bildet der vorgeschriebene 3-Punkt-Biegeversuch, aus dessen Messwerten Kennwerte für die Steifigkeit und Festigkeit bestimmt werden. Um die Reglementanforderungen zu erfüllen und die einzelnen Bestandteile der Sandwichstruktur bestmöglich auszunutzen,

mussten drei wesentliche Kernpunkte bearbeitet werden: Die Klebung, das Kernmaterial und die Geometrie.

Dabei spielt die Verbindung der einzelnen Sandwichbestandteile eine entscheidende Rolle, sodass im ersten Schritt die Klebung untersucht wurde. Dazu war es notwendig, die Bereiche der Oberflächenbehandlung, der Klebstoffauswahl und des Klebstoffauftrags zu betrachten. Als Grundlage für eine bestmögliche Haftung des Klebstoffs auf der Magnesiumoberfläche wurden verschiedene Vorbehandlungen miteinander verglichen. Zur Untersuchung zählten verschiedene Schleifkörnungen und zwei Beschichtungen, mit denen Testbleche behandelt wurden. Jeweils zwei gleichbehandelte Testbleche wurden miteinander verklebt und einem Zugversuch unterzogen. Die ermittelte Maximalkraft beim Versagen der Klebung, bezogen auf die Klebefläche, ergab die Klebefestigkeiten für die jeweilige Oberflächenvorbehandlung. Die höchsten Festigkeiten wurden durch Anschleifen mit einer P120-Körnung und durch eine C-CVD(Combustion-Chemical Vapour Deposition-Flammenpyrolyse)-Beschichtung erreicht.

Weiterhin wurden unterschiedliche Klebstoffe miteinander verglichen. Zur Auswahl standen verschiedene Zwei-Komponenten Epoxidharzklebstoffe und eine thermoplastische Klebstofffolie. Dabei konnte mit der Klebstofffolie

nicht nur die höchste Festigkeit, sondern auch die geringste Streuung der Messwerte erzielt werden, was auf die homogene Klebstoffverteilung zurückzuführen ist. Im kalten Zustand weist die dünne kunststoffartige Folie keinerlei Hafteigenschaften auf. Erst ab einer Temperatur von mindestens 130 °C verflüssigt sich die Folie und der Klebstoff bildet gleichmäßige Kehlnähte an den Wabenstegen des Sandwichkerns. Die Klebeverbindung hat eine zwanzigmal höhere Trommelschälfestigkeit verglichen mit den verwendeten Zwei-Komponenten Epoxidharzklebstoffen. So konnte das Flächenge wicht des Klebstoffs um 50 % von 300 g/m² auf 150 g/m² gesenkt werden.

Wird in Kombination aus der richtigen Oberflächenbehandlung und Klebstoffauswahl eine bestmögliche Verbindung zwischen Deckblech und Kern erreicht, verschiebt sich das Versagensbild im Dreipunkt-Biegeversuch hin zu den Struktur elementen Blech und Kernmaterial.

Eine Auslegung der Sandwichelemente Deckblech und Kern hat das Ziel, den optimalen Versagensfall des gleichzeitigen Versagens beider Elemente zu erreichen. Aufgrund der hohen Duktilität metallischer Werkstoffe führte die Belastung im 3-Punkt-Biegeversuch häufig zum Einknick des Deckbleches auf der Druckseite in das Kernmaterial. Für Sandwichelemente mit hohen Festigkeitsanforderungen werden dementspre-

| Material | Density [g/cm ³] | Yield strength R _{p0.2} [MPa] | Specif. R _{p0.2} [MPa · cm ³ /g] | E-module [GPa] | Specif. E-module [GPa · cm ³ /g] |
|----------|------------------------------|--|--|----------------|---|
| Mg: AZ31 | 1.74 | 200 | 115 | 41 | 24 |
| Al 5052 | 2.68 | 179 | 70 | 70 | 26 |
| Al 2024 | 2.78 | 310 | 112 | 73 | 26 |
| GFRP1 | 2.10 | 400 | 190 | 21 | 10 |
| CFRP1 | 1.50 | 650 | 433 | 58 | 39 |

TABELLE 1 Mechanische Eigenschaften von Werkstoffen für den Einsatz als Decklage © Racetech Racing Team
TABLE 1 Mechanical properties of materials for the use as cover layer © Racetech Racing Team

Development of a Magnesium Monocoque for the Prototype RT10

Carbon fibre reinforced plastics (CFRP) are widely used in Formula Student. The disadvantage of CFRP is its costs, recyclability and manufacturing effort. Therefore the team of Freiberg designed a sandwich structure of magnesium based compound material for their racing car RT10.

WANTED: ALTERNATIVE TO CFRP

In recent years sandwich structures gained importance in Formula Student. The advantage of such parts is the plane load introduction and transfer. So the whole part stiffens the points of load application of which the position can be chosen quite freely, because there is no need to reinforce these points with additional push-pull-rods. These points are supported by inlays which are integrated into the structure. The combination of the possible integration of many functions and attachment points with a self-supporting structure results in significantly lighter structures. In addition the gained freedom of design for e.g. suspension-pickup-points results in a significant improvement in vehicle performance.

The most common sandwich structures in Formula Student are made from carbon fibre reinforced plastics (CFRP) and different core materials. The advantage of CFRP is its low density, high strength and stiffness. However there are disadvantages such as cost, recyclability and manufacturing effort. In the current regulations of FSAE a car should be developed „ [...] for production at the annual volume of 1000 units per year.“ [1] Serial production of CFRP parts is currently limited by big technical challenges and financial efforts.

EXPERIENCE WITH MAGNESIUM PRODUCTS

By the substitution of CFRP with a metallic material these difficulties can be reduced. Magnesium with its low density of 1.74 g/cm^3 has the highest

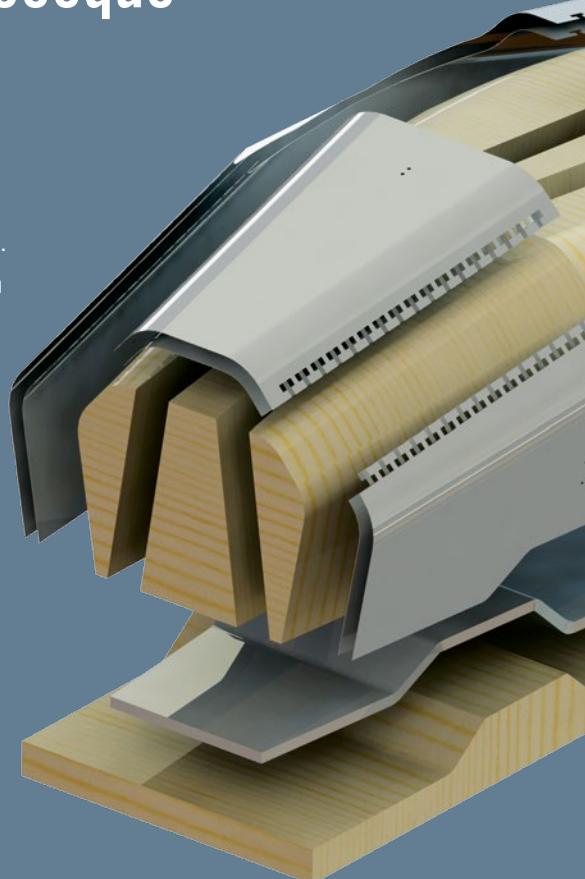
specific stiffness in comparison with aluminium and offers an alternative to CFRP, **TABLE 1**. Furthermore the use of magnesium has a long history in our team. A body shell made from magnesium sheets is the basis for our design since the first car. So during manufacturing we can rely on the knowledge from the past ten years and we preserve our unique feature.

Already in 2014 the team of the RT08 recognised the potential of a magnesium sandwich structure to connect the use of a functional-integrated structure with financial, manufacturing-technological and recyclable favourable construction method to substitute the present tubular space frames structure.

LOOKING FOR THE PERFECT SANDWICH

For the design of complex Magnesium sandwich parts it's favourable to use finite element analysis (FEA). Therefore a model is built and validated, **FIGURE 1**. The use of gained knowledge from analytical calculations in designing sandwich structures can be verified by simulation and validated experimentally. From these results guidelines for rules compliant and requirement suitable structures can be derived.

The base of a rules compliant structure is the required 3-point bending test. With the obtained results the sandwich is designed until rules compliance is achieved. To fulfil the rules and make good use of the different components of a sandwich structure three important points have to be evaluated: adhesive, core material and geometry.



The glued connection between the sandwich parts plays a huge role which is why this was tested first. Surface preparation, adhesive selection and adhesive application were examined. To achieve the highest strength of the glued connection different surface preparations such as two different surface treatments and different abrasive grids were tested. Two equally treated magnesium sheets were glued together and maximum shear strength of the glued connection was determined by a tensile test. The highest shear strength was reached with wetting with P120 grids and a C-CVD (Combustion-Chemical Vapour Deposition) surface treatment.

AUTHOR

Benedikt Distl

is Subdivision Leader Frame and Body and responsible for development of the sandwich structure for the RT10 at Racetech Racing Team of TU Bergakademie Freiberg (Germany).

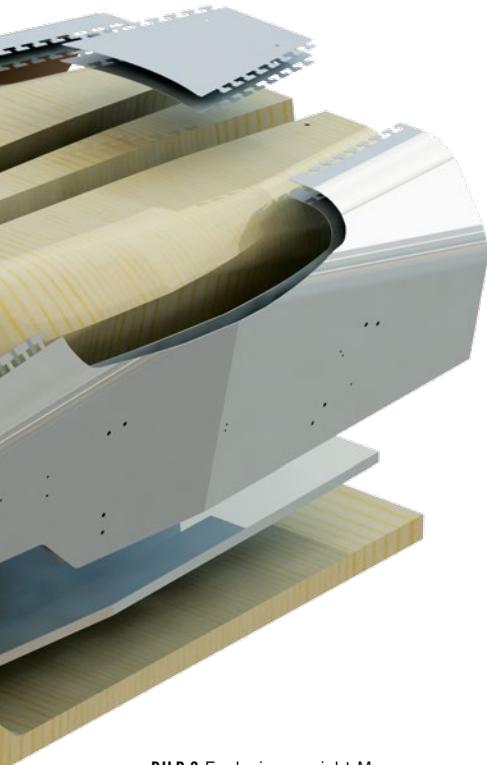


BILD 2 Explosionsansicht Monocoque und Form (© Racetech Racing Team)
FIGURE 2 Exploded view Mould and monocoque segments (© Racetech Racing Team)

chend Kerne mit hohen Druckfestigkeiten benötigt, da die einknickenden Bleche zu einer hohen, linienförmigen Belastung führen. Ein Vergleich verschiedener Kernmaterialien zeigt, **TABELLE 2**, dass diesen Anforderungen insbesondere Wabenstrukturen gerecht werden, da diese, bezogen auf ihre Dichte, eine hohe spezifische Festigkeit und Steifigkeit aufweisen. Schäume, wie beispielsweise Rohacell, sind für die hohe Belastung nicht geeignet.

Aber auch die Wahl der Deckblechdicke hat Einfluss auf das Schadensbild.

So zeigte sich, dass dickere Bleche aufgrund ihrer höheren Steifigkeit weniger tief in die Waben einknickten. Unter Berücksichtigung des Leichtbaugedankens wurde mithilfe des 3-Punkt-Biegeversuchs eine optimale Abstimmung zwischen Kern und Deckblech gefunden, die alle Reglementvorgaben für die Sicherheitsstrukturen erfüllt. Eine Kombination aus Magnesiumblechen der Legierung AZ31 mit Blechdicken zwischen 0,7 und 1,25 mm und einem 30 mm starken Aluminiumwabenkern bilden die Seitenteile des Monocoques. Für den Bodenbereich konnte die Kernhöhe auf 20 mm reduziert werden.

GERINGERE KOSTEN FÜR MAGNESIUM-SANDWICHES

Der größte Vorteil der Blechbauweise zeigt sich in der Sandwich- und Monocoque-Fertigung. Die Fertigung eines Magnesium-Sandwiches gestaltet sich im Gegensatz zu einem CFK-Sandwich deutlich einfacher und kostengünstiger. Um CFK laminieren zu können, benötigt es kostspielige Formen, die gefräst und anschließend aufwendig geschliffen werden müssen. Die Oberflächenbeschaffenheit dieser Formen bestimmt die Güte des Endprodukts. Bei einem Magnesium-Sandwich hingegen ist die einzige Voraussetzung eine Temperaturbeständigkeit von mindestens 130 °C, um das Aufschmelzen der Klebstofffolie gewährleisten zu können. So kann auf einfache Holzformen zurückgegriffen werden, ohne die hohe Qualität des Endprodukts zu gefährden.

Für die Monocoque-Herstellung wurde deshalb eine Positivform aus Holz verwendet, die den inneren Hohlraum des Monocoques abbildet. Um am Ende des Fertigungsprozesses die Holzform aus dem fertigen Monocoque entfernen zu

können, musste sowohl die Holzform als auch das Monocoque mehrteilig ausgeführt werden. Die Holzform besteht aus zwei gefrästen Seitenteilen und einem gefrästen Mittelteil. Das Monocoque wurde in zwei Strukturelemente unterteilt, eine Oberschale und eine Bodenplatte. Aufgrund der maximalen Blechbreite der zur Verfügung stehenden Magnesiumbleche von 650 mm musste die Oberschale in zwei Seitenteile und ein Mittelteil aufgeteilt werden, sodass das Monocoque aus insgesamt fünf Sandwichteilen zusammengesetzt wurde, **BILD 2**.

Jedes Einzelteil wurde durch einfaches Aufschichten der unterschiedlichen Sandwichlagen (Deckblech, Klebstofffolie und Wabenkern) auf der Holzform gefertigt. Um die zuvor wasserstrahlgeschnittenen und grob vorgebogenen Deckbleche genau auf der Form platzieren zu können, wurde die Holzform an den Positionen der späteren Fahrwerks- und Überrollbügelanbindungsstellen mit Bohrungen versehen, an denen die Deckbleche und Inlays durch Bolzen ausgerichtet und fixiert wurden, **BILD 3**. Anschließend wird das Sandwich auf der Holzform mit einem Vakumsack flächig verpresst und für circa eine Stunde im Ofen durch Aufschmelzen und Aushärten der Klebstofffolie gefügt. Am Ende werden alle Einzelteile des Monocoques durch einfache Blechstreifen und -winkel über die Deckbleche verklebt und vernietet.

WENIGER GEWICHT UND GERINGERER AUFWAND

Aufgrund der hohen Komplexität, den ein solcher Entwicklungsprozess mit sich bringt, wurde die Form des ersten Monocoques in Magnesium-Sandwichbauweise auf einfache Biegestrukturen beschränkt. Dennoch konnte eine hohe Formfreiheit erreicht und ein guter Kompromiss unter Berücksichtigung der Anforderungen aus Kinematik, Reglement und Ergonomie erzielt werden. Insbesondere die Kinematik profitiert vom neuen Monocoque, wodurch die Fahrzeugperformance maßgeblich gesteigert werden konnte. Durch die neugewonnenen Freiheiten in der Positionierung der Fahrwerkspunkte, konnte die Kinematik an den neuen C16-Reifen von Continental angepasst werden. Weiterhin werden durch die nahezu doppelt so hohe Torsionssteifigkeit des Monocoques von 3250 Nm/° im Vergleich zum bisherigen Modell.

| Material | Density [kg/m ²] | Compression | | Boost | |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | | Strength [MPa] | Module [MPa] | Strength [MPa] | Module [MPa] |
| Aluminum honeycombs | 50 | 1.86 | 517 | 1.45 | 310 |
| Aramid fibres (Nomex) | 48 | 2.07 | 138 | 1.31 | 48 |
| Structural foam cores (Rohacell) | 50 | 0.90 | 70 | 0.80 | 19 |

TABELLE 2 Mechanische Eigenschaften des Kernmaterials (© Racetech Racing Team)
TABLE 2 Mechanical properties of the core materials (© Racetech Racing Team)

Furthermore different 2-component epoxy based adhesives and a thermoplastic adhesive foil were tested. The adhesive foil provided the highest strength and the smallest spread of data, which leads back to a homogenous glue distribution. At room temperature the adhesive foil has no adhesion characteristics. These occur only at temperatures higher than 130 °C, where the foil starts to melt and throat seams at the honeycomb are formed. This connection has a climb-drum peel strength of 20 times the one from 2-component epoxy based adhesive. This results in a reduction of surface weight by 50 % from 300 g/m² to 150 g/m².

If the best connection possible in combination of adhesive and surface treatment is achieved the failure mode in 3-point bending tests change to the structural elements core and cover-layer. The design goal of core and cover-layer is the achievement of the failure of both elements at the same time. Due to the high ductility of metallic materials a 3-point bending test often ends with the failure of the cover layer at the side where the force is applied. Therefore core materials with high compressive strengths are used because high linear loads have to be absorbed if the cover-layer fails. The comparison of different core materials, **TABLE 2**, shows that honeycomb structures are most suitable for these kinds of applications because of their low weight by maintaining high specific strength and stiffness. Foams such as Rohacell are not appropriate.

Also the cover-layer thickness has an impact on the failure mode. It appears that thicker sheets because of their higher stiffness are not failing that fast and the damage of the core is smaller. In consideration of the lightweight aspect the results from 3-point bending tests were used to optimise the interaction of core and cover layer. A combination of magnesium sheets from the alloy AZ31 with a thickness between 0.7 and 1.25 mm and 30 mm thick aluminium honeycomb are forming the side parts of the monocoque. For the undertray the honeycomb thickness could be reduced by 10 mm.

EASIER AND LESS EXPENSIVE

The most important advantage of a sheet-metal-monocoque is the

manufacturing. In comparison to a CFRP-monocoque it's easier and less expensive. For the lamination of a CFRP-monocoque expensive moulds with high expectations on their surface quality are needed, which requires complex grinding after milling because surface quality is key to product quality. The only condition for a mould for a magnesium sandwich is its temperature resistance above 130 °C to ensure melting of the adhesive film. Therefore a wooden mould is sufficient without risking the quality of the finished product, **FIGURE 2**.

For monocoque manufacturing the team has used a positive wooden mould which represents the hollow space of the monocoque. To make demoulding easier the mould and the monocoque are multi piece. The mould consists of two milled side parts and a middle part. The monocoque is separated into an upper part and an undertray. Due to the limit in the width of the available sheets of 650 mm the upper part had to be separated into two side parts and a middle part, so the whole monocoque consists of five pieces. They were manufactured by attaching the different layers of the sandwich to the wooden mould. The water-jet cut and bended magnesium sheets were fixed to the mould by attaching them at suspension pickup points and roll hoop attachment points. This was possible because holes were drilled into the mould at these locations and inlays were adjusted and fixed with bolts, **FIGURE 3**. Then the sandwich is pressed equally onto the mould with a vacuum bag and placed in the oven for one hour to ensure melting and hardening of the adhesive film. In the end the different parts are connected with metal strips, adhesive and rivets.

LESS WEIGHT AND EFFORTS

Due to the high complexity of such a development processes the shape of the first magnesium-monocoque was kept simple. Nevertheless high freedom of design and a good compromise between kinematics, rules and ergonomics has been achieved. Especially the kinematics by which the vehicle performance is increased profits most from the monocoque. The newly gained freedom for the attachment of suspension pickup points leads to a good use of the new Continen-



tal C16 tire. Also the torsional stiffness of the monocoque (3250 N/°) was almost doubled in comparison to the last tubular space frame (1810 N/°) to prohibit unintentional load transfer to ensure the calculated behaviour of the car in certain driving situations. In addition to that the weight was reduced by 10 % in comparison to a tubular space frame plus body shell. The monocoque, the roll hoops and attachment points weigh only 35 kg. Not only weight was reduced, but also manufacturing time which is one of the biggest advantages of a sheet metal monocoque. A total of 10 days were needed for the manufacturing and connecting all parts, while the manufacturing of a tubular space frame lasted around two months.

The first magnesium monocoque of the RT10 is a good basis for future developments of our monocoque, with the aim of weight reduction and increasing freedom of design. Based on different load and safety limits the structure needs to be optimised by a combination of different sandwich geometries. Furthermore the use of deep drawing is possible to realise curvature in the sheets.

REFERENCE

- [1] FSAE Rules 2015/16, S4.7.1 a

THANKS

At last we thank our sponsors; without their help this project wouldn't be possible. Special thanks to IWE Greifswald for their support during the development.



BILD 3 Kernmaterial mit Inlays

(© Racetech Racing Team)

FIGURE 3 Core material with inlays

(© Racetech Racing Team)

gen Stahlgitterrohrrahmen (1810 Nm/ $^{\circ}$) ungewollte Radbewegungen vermieden, was die von der Kinematik berechnete Reifennutzung gewährleistet. Hinzu kommt eine Gewichtersparnis von 10 %, verglichen mit dem Stahlgitterrohrrahmen inklusive der Magnesium-

außenhaut. So wiegt das gesamte Monocoque, unter Einbeziehung aller Überrollbügel und Anbindungspunkte, lediglich 35 kg. Nicht nur das Gewicht konnte reduziert werden, auch der Fertigungsaufwand ist deutlich gesunken. Hier zeigt sich der größte Vorteil der einfachen Blechkonstruktion. Insgesamt wurden nur 10 Tage für die Fertigung und das Fügen aller Monocoqueteile benötigt. Hingegen erstreckte sich die Fertigung des Stahlgitterrohrrahmens über circa zwei Monate.

Somit bildet das erste Magnesium-Monocoque des RT10 eine sehr gute

DANKE

Unser Dank gilt unseren Sponsoren, ohne die diese Entwicklung nicht möglich gewesen wäre. Besonders danken wir der Firma IWE, Greifswald, die uns bei der Entwicklung sehr unterstützt hat.

Basis für die zukünftige Weiterentwicklung der Magnesium-Sandwichstruktur, mit dem Ziel, das Gewicht zu reduzieren und die Formfreiheit zu erhöhen. Dafür muss anhand der verschiedenen Belastungs- und Sicherheitsbereiche eine strukturoptimierte Auslegung durch Kombination unterschiedlicher Sandwichgeometrien erfolgen. Weiterhin ist der Einsatz von Tiefziehprozessen denkbar, um Rundungen und Wölbungen in den Blechen zu realisieren.

LITERATURHINWEIS

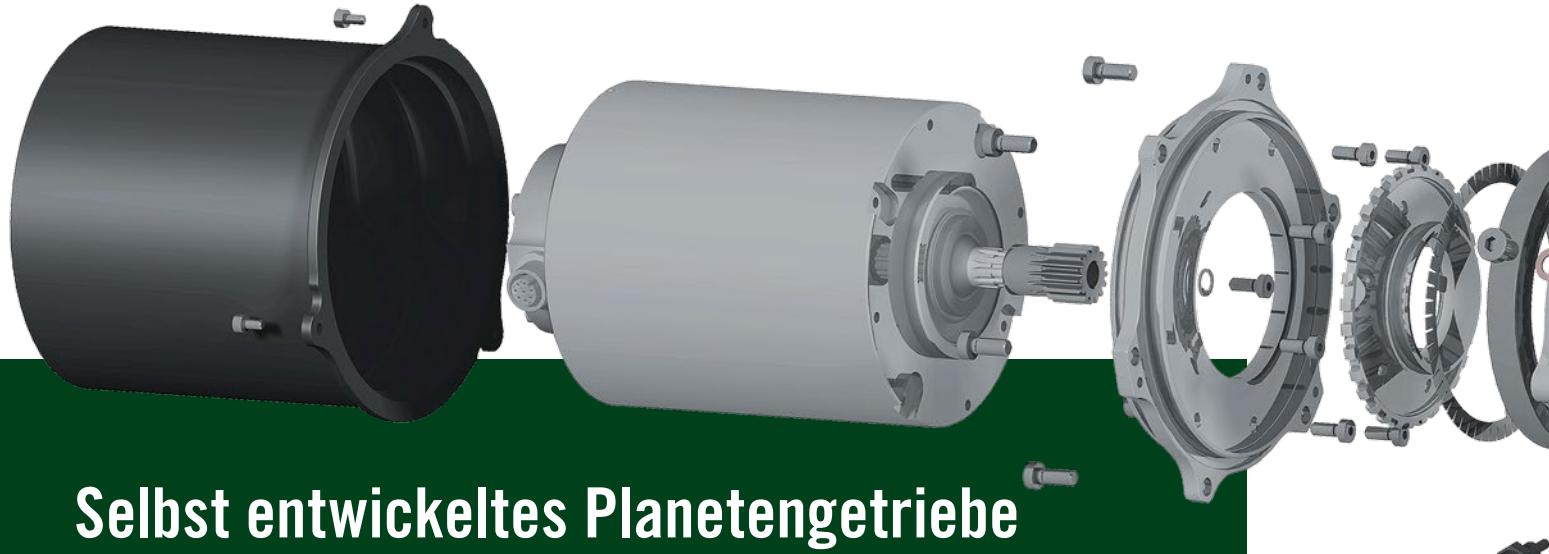
[1] FSAE Rules 2015/16, S4.7.1 a

Mit
SICHERHEIT
auch nach dem Studium das Rennen machen.

Studierende und Absolventen (m/w) gesucht.
Kommen Sie in unser Team, ob als Praktikant, für eine Abschlussarbeit oder um Ihre Karriere nach dem Studium als Sachverständiger oder Prüfingenieur zu starten. DEKRA ist eine internationale Expertenorganisation und steht als verlässlicher Partner im automobilen und industriellen Bereich für abwechslungsreiche und zukunftssichere Arbeitsplätze in der Region.

Mehr Informationen zum Thema Karriere bei DEKRA:
www.dekra.de/karriere

DEKRA
Alles im grünen Bereich.



Selbst entwickeltes Planetengetriebe für ein Formula-Student-Rennfahrzeug

Eine vom Rennteam municHMotorsport der Hochschule München durchgeführte Potenzialanalyse bewog die Teammitglieder ein Allradfahrzeug zu bauen. In Verbindung damit setzte das Team auch auf ein neues Getriebekonzept: ein 1,5-stufiges Planetengetriebe mit festem Hohlrad und Abtrieb über den Planetenträger.

POTENZIALANALYSE

Das Rennteam municHMotorsport der Hochschule München nimmt seit der Geburtsstunde der Formula Student Germany im Jahr 2006 erfolgreich am Wettbewerb zur Konstruktion von Rennwagen teil. Seit 2010 tritt der Verein sowohl mit einem Rennwagen mit Verbrennungsmotor als auch mit einem elektrisch angetriebenen Fahrzeug an. Im Jahr 2014 erreichte das Team mit dem 4. Platz am Hockenheimring seine bisher höchste Platzierung in der Gesamtwertung und hatte damit das beste heckgetriebene Elektrofahrzeug im Teilnehmerfeld.

Gleichzeitig bestätigte eine vom Team durchgeführte Potenzialanalyse, dass ein Platz in den Top 3 nur durch einen Konzeptwechsel zum Allradfahrzeug möglich ist. Durch das höher übertragbare Drehmoment kann die Längsdynamik und durch Allradregelsysteme die Fahrzeugagilität verbessert werden.

Rund 60 % der Gesamtpunktzahl des Konstruktionswettbewerbs werden in den dynamischen Disziplinen erzielt. Das Team rechnet deshalb bei einem allradbetriebenen Fahrzeug mit einer höheren Gesamtpunktzahl. Basierend auf dieser Annahme entwickelte municHMotorsport das entsprechende Getriebe.

DAS RICHTIGE GETRIEBEKONZEPT

Für den Antrieb dient der von der AMK Group entwickelte permanenterregte Synchronmotor mit einem maximalen Drehmoment M_{\max} von 28 Nm bis zu einer Knickdrehzahl von 10.900/min (bei 600 VDC) und einer maximalen Drehzahl n_{\max} von 20.000/min bei einer Leistung P_{\max} von 32 kW. Mithilfe der Daten des Elektromotors und eines Rundenzeiten-Simulationsmodells wurde die benötigte Getriebeübersetzung ermittelt, **BILD 1**.

Um den Sprint über 75 m (Acceleration) so schnell wie möglich zu absolvie-

AUTOREN

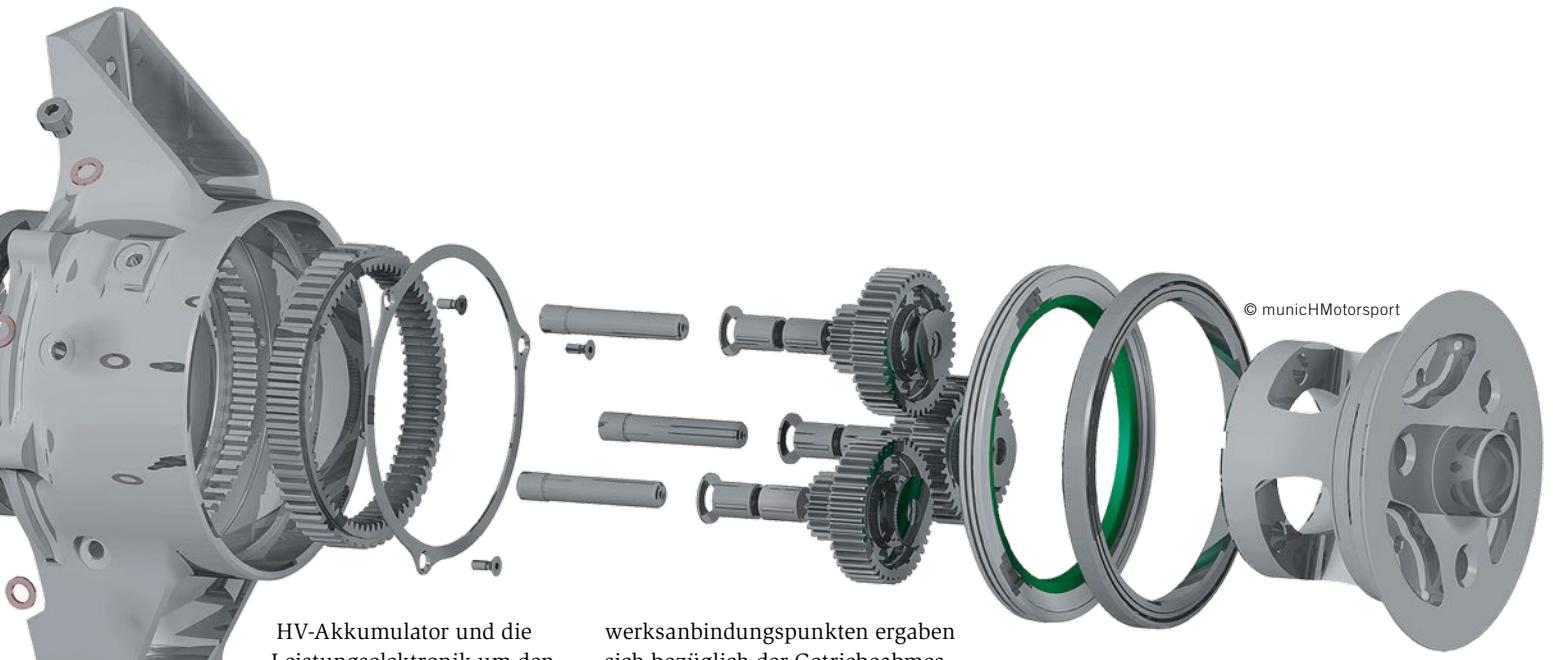


Max Schindlmeier
war Teamleiter Powertrain E 2014 und 2015 bei municHMotorsport e.V. in München.



Michael Mainusch
war verantwortlich für Verzahnungs-/Lagerberechnungen und die Koordination der Teilefertigung vor Ort bei municHMotorsport e.V. in München.

ren, ist laut Simulation eine Übersetzung von 11,5 bis 13 nötig. Die kürzesten Rundenzeiten im Handling (Autocross) werden mit Übersetzungen von 12 bis 14 erreicht. Dadurch ergibt sich die erste Randbedingung für die Getriebeauslegung. Um die Massenträgheit gegenüber der Fahrzeughochachse gering zu halten, wurden schwere Komponenten wie der



HV-Akkumulator und die Leistungselektronik um den Fahrersitz angeordnet. Aufgrund des begrenzten Bau- raums im Monocoque und um eine einfache Wartung zu ermöglichen, wurden Motor und Getriebe im Rad positioniert. Durch den geringen Felgeninnendurchmesser sowie den aus der Kinematik gegebenen Fahr-

werksanbindungs punkten ergaben sich bezüglich der Getriebeabmes- sungen weitere Einschränkungen.

Mithilfe einer Anforderungsmatrix unter Berücksichtigung diverser Getrie- bekonzepte stellte sich heraus, dass die gegebenen Randbedingungen mit einem Planetengetriebe am besten zu realisie- ren sind. Denn diese Konstruktionsart ermöglicht auch bei kleinem Bauraum

und geringem Gewicht eine hohe Über- setzung. Grobauslegungen eines einstufigen Planetengetriebes zeigten, dass mit diesem Konzept nur Überset- zungen von 3 bis 10 sinnvoll umzuset- zen sind. Nach detaillierten Untersu- chungen alternativer Konzepte entschied sich das Team für ein 1,5-stufiges Plane-

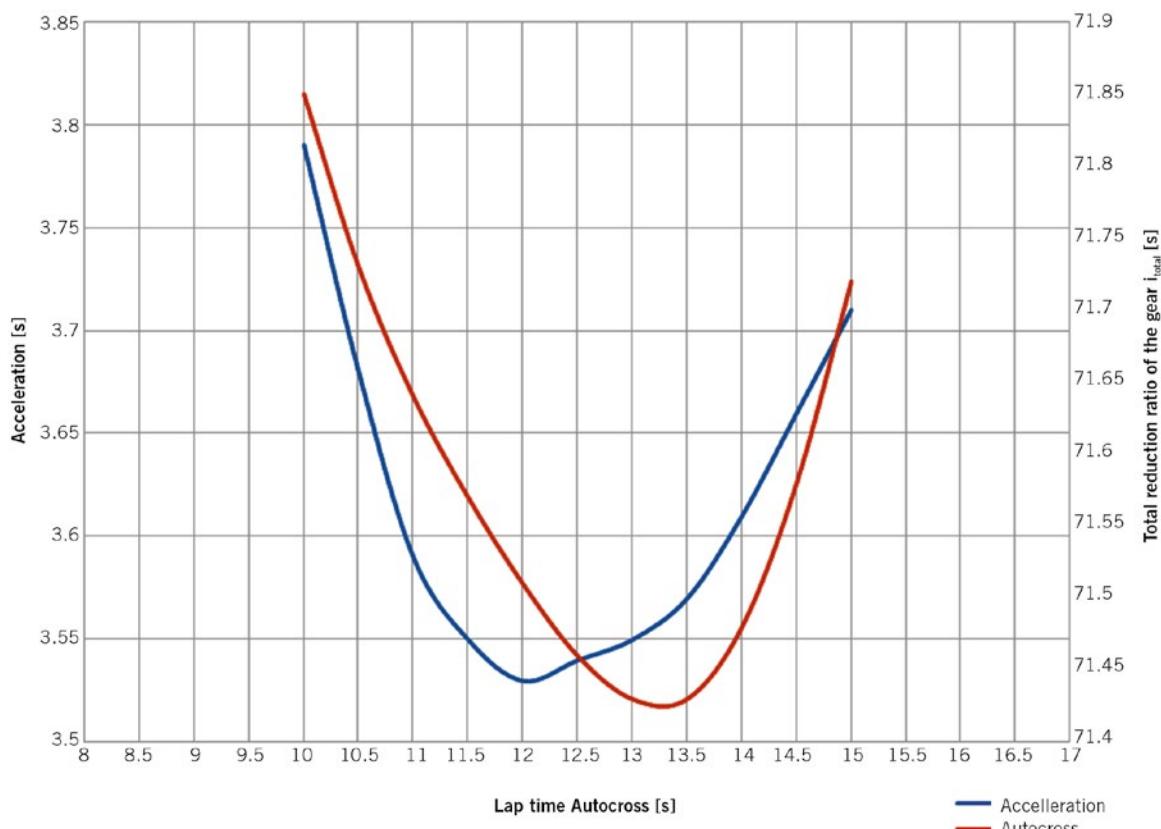


BILD 1 Für die Berechnung der geeigneten Getriebeübersetzung wird eine vorhandene Punktmassensimulation um die dynamische Radlastverteilung beim Beschleunigen erweitert; dafür werden das Zielgewicht des Fahrzeugs sowie die berechnete Schwerpunktshöhe aus CAD-Daten verwendet (© munichMotorsport)
FIGURE 1 An existing point-mass simulation has been enhanced to include the dynamic wheel load distribution when accelerating for the calculation of the best-suited transmission ratio; the target weight of the vehicle and the calculated centre of gravity from CAD data are used for this (© munichMotorsport)

Self-developed Planetary Gears for a Formula Student Racing Car

After a potential analysis the municHMotorsport racing team of UAS Munich decided to change its vehicle concept to a four-wheel driven vehicle. Simultaneously, the team chose to go with a 1.5-level planetary gear with fixed ring gear and down thrust over the planetary carrier.

POTENTIAL ANALYSIS

Since the Formula Student Germany launched in 2006 the municHMotorsport racing team of the University of Applied Sciences in Munich has successfully taken part in the competition to build a race car. Since 2010 municHMotorsport is competing with a combusted bolid as well as an electrically powered vehicle. In 2014 municHMotorsport was able to come in 4th place at Hockenheimring, which was their best placement in the overall ranking and thereby the best rear-wheel driven electric vehicle in the field.

Simultaneously, the team confirmed through a potential analysis that a placement within the top 3 would only be possible with a change of concept to a four-wheel driven vehicle. Through the higher transmittable torque the longitudinal dynamics will improve, as will the agility of the vehicle using four-wheel regulation systems. About 60 % of the overall score in the construction tournament is achieved in the dynamic disciplines. This is why municHMotorsport is expecting a higher overall score with a four-wheeler. Based on this assumption municHMotorsport developed the according transmission.

THE RIGHT CONCEPT OF THE GEAR

For the engine the permanently excited synchronous motor, developed by the AMK Group, with a maximum torque of 28 Nm to a breakpoint speed of 10,900 rpm (at 600 VDC) and a maximum torque n_{max} of 20,000 rpm at a Power P_{max} of 32 kW will be used. The gear ratio was calculated with the help of a lap-times simulator and using the data of the electric motor, FIGURE 1.

To reach the acceleration goal of 75 m as fast as possible, the simulator determined a gear ratio of 11.5 to 13. The shortest lap-times (autocross) are achieved with a ratio of 12 to 14. This results in the first fringe condition of the gear dimensioning. To ensure that the inertia is as low as possible compared to the axis of the vehicle, heavy components like the HV-battery and the power electronics were moved around the driver's seat. In order to facilitate easy maintenance and because of the limited installation space in the monocoque the engine and the transmission were positioned into the wheel. Due to the low inner diameter of the rim and the given kinematic linking-points of the chassis further restrictions resulted.

Using a requirement matrix, considering several transmission concepts, it turns out that under the given fringe conditions planetary gears would be the best solution. With this kind of construction a high gear ratio with low weight and little installation space is possible. Rough interpretations of one-level planetary gears show that a concept is only realisable with a gear ratio of 3 to 10. After detailed studies of alternative concepts the team decided to go with a 1.5-level planetary gear with fixed ring gear and down thrust over the planetary carrier. MunicHMotorsport calculated the overall gear ratio i_{total} of such a transmission, FIGURE 2, with the following equations:

$$\text{Eq. 1} \quad i_{total} = 1 - i_0$$

$$\text{Eq. 2} \quad i_0 = \frac{Z_h \cdot Z_{pl}}{Z_s \cdot Z_{p2}}$$

| | |
|-----------|---|
| i_0 | = Stationary (gear) ratio = -11.66 |
| Z_s | = Number of teeth sun gear = 15 |
| Z_{pl1} | = Number of teeth planet 1 (with sun gear) = 42 |
| Z_{p2} | = Number of teeth planet 2 (with ring gear) = 18 |
| Z_h | = Number of teeth ring gear = -75 |

CONSTRUCTION

To minimise the effect of manufacturing tolerances and to guarantee easy assembly, upright and wheelhub are going to be carried-out as one-piece. This allows a separate assembly of the upright including ring gear and wheelhub together with the planets. These two modules will be put together and prestressed over the wheel bearing with the slotted nut.

These requirements on the assembly leads to new fringe conditions which result in further limitations for the maximum gearing-, bearing- and seal ring diameter. Using Excel the team reproduced all gearing- and assembly-conditions and defined a selection of possible

AUTHORS

Max Schindlmeier
was Team Leader
Powertrain E 2014 and 2015
at municHMotorsport e.V.
in Munich (Germany).

Michael Mainusch
was responsible for bearing and
gear analysis and coordinates
parts manufacturing on site at
municHMotorsport e.V.
in Munich (Germany).

tengetriebe mit festem Hohlrad und Abtrieb über den Planetenträger. Die Gesamtübersetzung i_{ges} eines solchen Getriebes, **BILD 2**, berechnete munichMotorsport mit folgenden Gleichungen:

$$\text{GI. 1} \quad i_{ges} = 1 - i_0$$

$$\text{GI. 2} \quad i_0 = \frac{Z_h \cdot Z_{p1}}{Z_s \cdot Z_{p2}}$$

- i_0 = Standübersetzung = -11,66
- Z_s = Zähnezahl Sonne = 15
- Z_{p1} = Zähnezahl Planet 1
(im Eingriff mit Sonne) = 42
- Z_{p2} = Zähnezahl Planet 2
(im Eingriff mit Hohlrad) = 18
- Z_h = Zähnezahl Hohlrad = -75

KONSTRUKTION UND AUSLEGUNG

Um die Auswirkung von Fertigungstoleranzen zu minimieren und um eine einfache Montage zu gewährleisten, werden Radträger und -nabe einteilig ausgeführt. Dies ermöglicht einen getrennten Zusammenbau des Radträgers inklusive Hohlrad und Radnabe mit den Planeten. Diese beiden Baugruppen müssen anschließend zusammengesteckt und über die Radlager mit der Nutmutter vorgespannt werden.

Diese Anforderung an den Zusammenbau führt zu neuen Randbedingungen, die für die maximalen Verzahnungs-, Lager- und Dichtringdurchmesser weitere Einschränkungen bedeuten. Mit Excel bildete das Team alle Verzahnungs- und Montagebedingungen ab und definierte so eine Auswahl möglicher Übersetzungs-

varianten. Unter Berücksichtigung des oben gewählten Übersetzungsbereichs legten die Teammitglieder eine Gesamtübersetzung von 12,66 fest.

Zur Bestimmung der Verzahnungsparameter (Zahnbreite, Profilverstellung, etc.) wurde KISSsoft verwendet. Hier war das Ziel, eine Zahnußsicherheit von > 1 und eine Zahnlängssicherheit von > 0,5 zu erreichen. Diese Grenzwerte wurden bereits in vorherigen Saisons erarbeitet. Die Firma Herzog unterstützte hier als langjähriger Verzahnungssponsor, indem das Unternehmen die Fertigbarkeit der Verzahnungsgeometrie regelmäßig mit dem Team abstimmte.

Die Baugruppe Radträger setzt sich aus dem Hohlrad, einem Blech zur axialen Sicherung und dem Radträger, der zugleich als Getriebegehäuse fungiert, zusammen. Die zur Verbindung des Hohlrads mit dem Radträger nötige Steckverzahnung wird durch Stoßen im Radträger und mittels Wälzfräsen am Hohlrad gefertigt. Durch die dünnwandige Geometrie des Hohlrads war das Risiko eines Verzugs beim Einsatzzärtzen groß. Deshalb wurde das Nitrieren als Wärmebehandlung angewandt. Ein Schleifen der Verzahnung war dadurch nicht mehr nötig, sodass dieses Bauteil schnell und kostengünstig gefertigt wurde. Zusätzlich verbauten die Teammitglieder Temperatursensoren zur Überwachung. Dadurch kann ein sich erhöhender Verschleiß im Betrieb frühzeitig festgestellt und behoben werden.

Die Baugruppe Radnabe, **BILD 3**, besteht aus der Radnabe/Planetenträger, den Zahnrädern

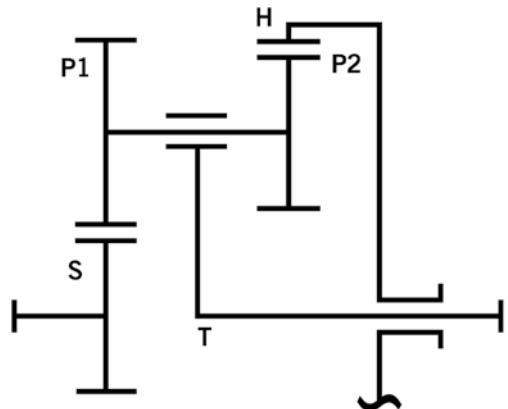


BILD 2 Getriebeplan eines 1,5-stufigen Planetengetriebes: Zusätzlich zu allgemeinen Montagebedingungen von Planetengetrieben muss bei einer Bauform mit Stufenplaneten der größte gemeinsame Teiler der betragsmäßigen Zähnezahlen des Stufenplaneten beachtet werden
© munichMotorsport

FIGURE 2 Gear plan of a 1.5-step planetary gear: In addition to the general assembly conditions of planetary gears, the largest common divisor of the number of teeth of the stepped planetary gear concerned must also be given due consideration in the case of a type with a stepped planetary gear
© munichMotorsport

und Lagern, sowie einer Radialdichtung und Lagerbolzen. Bei der Fertigung von einteiligen Stufenplaneten erhöht sich die Verzahnungsbreite um den Auslauf des Werkzeugs. Für eine geringere Breite werden beide Planeten getrennt gefertigt und anschließend mit einer Vorrichtung unter Temperatur verpresst, **BILD 4**.

Die Stufenplaneten sind auf Steckbolzen über Nadelkränze gelagert. Ihre hartgedrehte Bohrung und die geschliffene Oberfläche des Steckbolzens dienen als Lauffläche für die Nadeln. Durch die



BILD 3 Baugruppe Radnabe: Für die Montierbarkeit der einzelnen Komponenten bei der Konstruktion einer einteiligen Radnabe muss die Baugruppe möglichst leicht und fertigungsoptimiert sein
© munichMotorsport

FIGURE 3 Wheel hub assembly: The assembly capability of the individual components is of prime importance in the design of a single-piece wheel hub; the assembly must be as light as possible and at the same time optimised in production terms
© munichMotorsport

DANKE

Als Platinsponsor unterstützt uns Brunel nicht nur mit finanziellen Mitteln, sondern auch mit technischem Knowhow durch verschiedene Workshops und einem eigenen Pretesting-Event. Dabei werden die gleichen Tests wie beim offiziellen Wettbewerb durchgeführt. Anhand dieser Ergebnisse können wir unseren Wagen ideal auf das eigentliche Rennen vorbereiten. Für die langjährige Unterstützung möchten wir uns an dieser Stelle herzlich bedanken.

transmission varieties. Taking the above selected transmission area into account, the team members determined an overall gear ratio of 12.66.

To define the gearing parameters (face width, profile shift etc.) the programme KISSsoft has been used. The goal was to achieve a tooth base certainty of > 1 and a tooth flank certainty of > 0.5. Those limits have already been acquired during the previous seasons. Support came here from Herzog which has been a gear sponsor for many years, and who adjusted the production of the gearing geometry regularly.

The module upright is composed of the ring gear, the sheet for axial safety and the upright which also acts as gear chassis. The spline which is needed to connect the ring gear with the upright is made by thrusting in the upright and via gear hobbing at the ring gear. Due to the thin-walled geometry of the ring gear the risk of warpage during case hardening was big. Therefor nitrating was used for tempering. Hence grinding of the gearing was not necessary anymore, so the component could be manufactured quickly and at low costs. Additionally the team installed temperature sensors for monitoring. Thus an increasing attrition during operation can be noticed and corrected ahead of time.

The module wheelhub, **FIGURE 3**, is composed of wheelhub, gears and bearings as well as radial seal and bearing stud. The gearing width increases by the outlet of the tool. For a minor width both planets will be manufactured separately and then pressed together under temperature, **FIGURE 4**.

The step planets are stored on a plug bolt on top of needle cages. Its hard twisted drilling and the polished surface of the plug bolt serve as a running surface for the needles. Due to the given gearing parameters and the required needle cage diameter the maximum plug bolt diameter is at 8mm. As a result of the high strain, the bolts were manufactured from a high-strength material 40SiNiCrMoV10 with a yield strength RP0.2 of 1.790 MPa. The selected thin section bearing is being pressed on the wheelhub and subsequently the radial shaft seal will be put on the coated running surface of the wheelhub. To minimise friction loss and attrition the coating of the wheelhub Chromcarbid will be ground on the surface finish via diamond polishing of Ra 0.6. Through

crimping of the studs in the planet carrier the gearing will be positioned over the needle bearing. Ground washer disc should help prevent the gearing from fretting with planet carrier.

For the final assembly of the gear box the wheelhub will be pressed on the upright from the outside. After that the second angular contact ball bearing will be pressed in and pre-stressed over the slotted nut. To reduce lever and with it the force on the bearings they are installed O-shaped. Additionally the slotted nut is secured through a laser beamed safety plate.

The electric motor including sun gear is bolted with 6 screws and centered at the gear box. To keep churning losses at a minimum in the gear box the team used a low viscosity oil which also satisfies other requirements:

- no foam at high speed
- good greasing features at jerky strain
- suitable for temperatures between 20 °C and 100 °C.

VALIDATION

To simplify the start-up of the vehicle, the engine, power electronics and transmission are put into operation on a dynamic test block prior to finalisation of the complete vehicle. Therefor parameters of the power electronics and supply voltage are being modified, to determine a suitable parameter setting. In order to examine the efficiency of the powertrain in various operating points, an efficiency map, **FIGURE 5**, of the entire powertrain as well as a separate map for the electric motor has been generated experimentally. With this data the efficiency map of the transmission can be calculated. This confirmed the expected high efficiency of the planetary gear.

CONCLUSION

The extensive considerations of the mountability and the simple design of the individual components contributed to a high reliability and maintainability of the assembly group. The concept of the 1.5 stepped planetary gear is also relevant and scheduled for future vehicles of munichHMotorsport, because of its high efficiency and small size.

REFERENCES

- [1] Loomann: Zahnradgetriebe. Springer-Verlag 1995
- [2] VDI-Norm 2157

gegebenen Verzahnungsparameter und den nötigen Nadelkranz-Durchmesser beträgt der maximale Steckbolzendurchmesser 8 mm. Aufgrund der hohen Bolzenbelastung wurde dieser aus dem hochfesten Werkstoff 40SiNiCrMoV10 mit einer Streckgrenze $R_{p0,2}$ von 1790 MPa hergestellt. Das ausgewählte Dünrringlager wird auf die Radnabe gepresst und anschließend der Radialwellendichtring auf die beschichtete Lauffläche der Nabe gesetzt. Die Beschichtung der Nabe aus Chromcarbid wird mittels Diamantschleifen auf eine Oberflächenhäufigkeit von Ra 0,6 geschliffen, um Reibungsverluste und Verschleiß zu verringern. Durch das Verpressen der Bolzen im Planetenträger wird die Verzahnung über die Nadellager positioniert. Geschliffene Anlaufscheiben sollen zudem helfen, das Fressen der Verzahnung mit dem Planetenträger zu verhindern.

Zur finalen Montage des Getriebes wird die Radnabe von außen in den Radträger gedrückt. Anschließend wird das zweite Schräkgugellager eingepresst und über die Nutmutter vorgespannt. Um den Hebelarm und somit die Kräfte auf die Lager zu reduzieren, sind diese in O-Anordnung verbaut. Zudem ist die Nutmutter über ein lasergestrahltes Sicherungsblech gegen Aufdrehen gesichert. Der mit sechs Schrauben befestigte Elektromotor inklusive Sonne ist am Getriebe zentriert. Für minimale Planschverluste im Getriebe verwendete das Team ein niederviskoses Öl, das zudem noch weitere Anforderungen erfüllt:

THANKS

As Platinum Sponsor Brunel supports us financial resources but also with technical expertise delivered via various workshops and a dedicated preliminary testing event. The same tests as at the official competition are performed in the course of this event. Based on the findings, we can then prepare our car perfectly for the race proper. We would like to take this opportunity to thank Brunel for the long-standing support.

BILD 4 Für die separate Fertigung des Stufenplaneten müssen die Planeten bei allen Stufenplaneten zueinander positioniert sein; dies wird über ein Durchverzahnhen des Planeten 2 ermöglicht; die Laufverzahnungen des Planeten 1 werden bei allen drei Stufenplaneten innerhalb eines Getriebes gleich ausgerichtet eingebaut (@ munichHMotorsport)

FIGURE 4 For the separate production of the stepped planetary gear, the individual planetary gears must be positioned identically in relation to one another; this is achieved by means of a through-toothed wheel of planet 2; the running teethings of planet 1 are aligned identically in all three stepped planetary gears within a gear unit (@ munichHMotorsport)

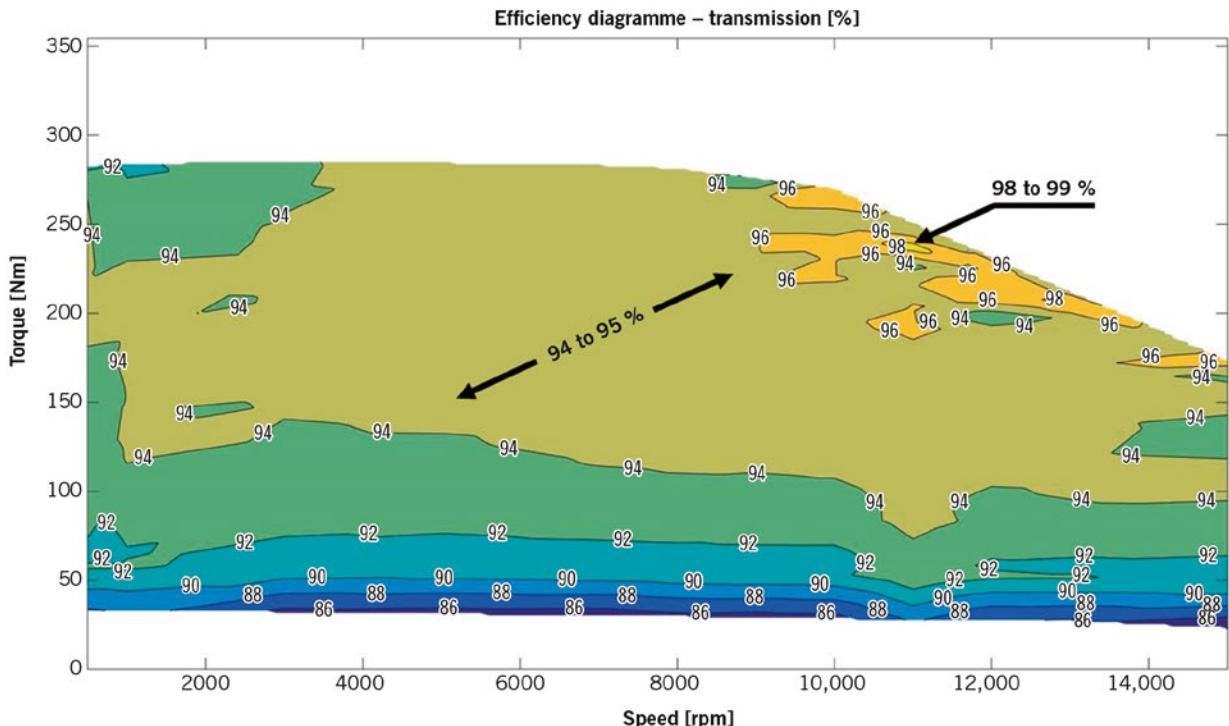
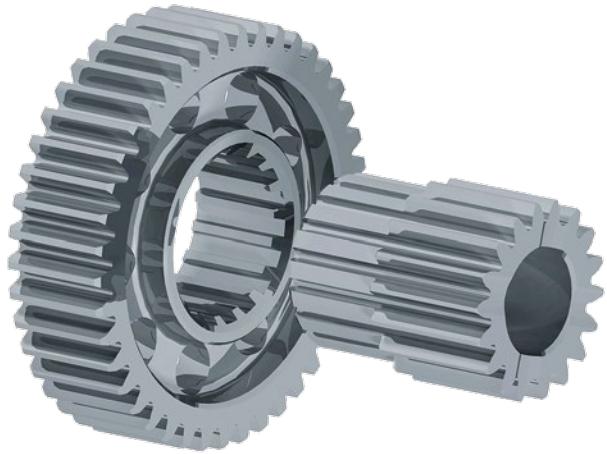


BILD 5 Entsprechende Messtechnik am Prüfstand ermittelt die mechanischen und elektrischen Leistungen; über LEM-Wandler und Spannungsmessung wird die DC-Eingangsleistung gemessen; aus der mechanischen Abtriebsleistung über eine Drehmoment-Messwelle und der E-Maschine wird der Wirkungsgrad der E-Maschine und des Pulswechselrichters getrennt berechnet (@ munichHMotorsport)

FIGURE 5 The appropriate measuring systems are available on the test bed for measuring the mechanical and electrical levels; the DC input power is determined via LEM converters and a voltage meter; the efficiency of the e-machine and the pulse inverters can be calculated separately from the mechanical output level via a torque measuring shaft and the e-machine speed (@ munichHMotorsport)

- kein Schäumen bei hohen Drehzahlen
- gute Schmiereigenschaften bei stoßartiger Belastung
- geeignet für Temperaturen im Bereich von 20 bis 100 °C.

VALIDIERUNG

Um die Inbetriebnahme am Fahrzeug zu erleichtern, werden vor der Fertigstellung des Gesamtfahrzeugs Motor, Leistungselektronik und Getriebe auf einem dynamischen Prüfstand in Betrieb genommen. Dabei werden Kenngrößen der Leistungselektronik und Versorgungsspannung variiert, um eine geeignete

Parametrierung zu ermitteln. Damit die Effizienz des Antriebsstrangs in verschiedenen Betriebspunkten untersucht werden kann, wurden ein Wirkungsgradkennfeld, **BILD 5**, des gesamten Antriebsstrangs sowie ein separates Kennfeld für den Elektromotor experimentell erzeugt. Aus diesen Daten kann das Wirkungsgradkennfeld des Getriebes berechnet werden. Es bestätigte sich die erwartete hohe Effizienz des Planetengetriebes. Mit diesen Erkenntnissen lassen sich Arbeitsbereiche zur Effizienzsteigerung des Antriebsstrangs ableiten, die für die nächsten Saisons in der Auslegung helfen.

FAZIT

Die umfangreichen Überlegungen zur Montierbarkeit und die einfache Gestaltung der einzelnen Bauteile im Getriebe trugen zu einer hohen Zuverlässigkeit und Wartbarkeit der Baugruppe bei. Das Konzept des 1,5-stufigen Planetengetriebes ist aufgrund der hohen Effizienz und geringer Baugröße auch für zukünftige Fahrzeuge von munichHMotorsport relevant und fest eingeplant.

LITERATURHINWEISE

- [1] Loomann: Zahnradgetriebe. Springer-Verlag 1995
- [2] VDI-Norm 2157



Gesamtergebnisse 2016 im Überblick Overall Results 2016 at a Glance

Dieses Jahr errang das Team TUfast der TU München mit seinem Rennwagen nb016 im Klassement der Verbrennungsmotoren den Gesamtsieg. Auf dem zweiten Platz in der Gesamtwertung der Formula Student Combustion (FSC) folgt wie schon in den letzten zwei Jahren das Rennteam Uni Stuttgart. Das österreichische Team Joanneum Racing Graz der Fachhochschule Joanneum sicherte sich abermals den dritten Platz. Im Wettbewerb der rein elektrischen angetriebenen Rennwagen holte sich das Team KA-Racelng vom Karlsruhe Institute of Technology (KIT) den Titel und verwies den Vorjahres-sieger TU Delft auf Platz zwei in der Gesamtwertung. Das GreenTeam der Universität Stuttgart erlangte – wie schon im Jahr 2015 — den dritten Platz in der Gesamtwertung der Formula Student Electric (FSE).

In 2016 the winner of the Formula Student Combustion (FSC) was TUfast Racing, the Formula Student team of Technical University of Munich. For the second time in a row the Rennteam Uni Stuttgart got second-best score. As in the previous year third place of FSC went to the team Joanneum Racing Graz of the University of Applied Science Joanneum. KA-Racelng, the German team of Karlsruhe Institute of Technology won the Formula Student Electric (FSE) against tough competition. Last year's winner of FSE, the Dutch team of TU Delft, was relegated to the second place. The GreenTeam of the University of Stuttgart came third.



© Frank Eppler

| Overall Placing | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------|------------|-------------|----------|------------|---------------|
| Overall Scores | 852.42 | 838.96 | 782.3 | 779.83 | 769.36 |
| Penalties (Points) | - | 10 | - | - | - |
| Cost (Points) | 75.86 | 28.22 | 72.48 | 76.46 | 75.74 |
| BPP (Points) | 62.15 | 73 | 55.2 | 64.32 | 44.6 |
| Design (Points) | 148 | 150 | 115 | 110 | 95 |
| Skid Pad (Points) | 49.64 | 42.47 | 64.08 | 39 | 41.49 |
| Acceleration (Points) | 3.5 | 63.1 | 69.67 | 55.67 | 59.97 |
| Autocross (Points) | 88.27 | 97.35 | 93.56 | 83.32 | 82.25 |
| Endurance (Points) | 325 | 313.06 | 254.84 | 275.05 | 288.9 |
| Efficiency (Points) | 100 | 81.76 | 57.45 | 76.01 | 81.42 |
| Car # | 231 | 202 | 216 | 358 | 294 |
| Car | | | | | |
| City / University | München TU | Stuttgart U | Graz UAS | Erlangen U | Esslingen UAS |

FORMULA STUDENT COMBUSTION GESAMTERGEBNISSE 2016 | OVERALL RESULTS 2016

| Overall Placing | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 752.02 | 751.43 | 685.63 | 676.59 | 654.24 |
| Penalties (Points) | - | - | - | - | - |
| Cost (Points) | 77.47 | 65.66 | 74.16 | 80.88 | 74.33 |
| BPP (Points) | 54.93 | 47.49 | 51.62 | 70 | 47.91 |
| Design (Points) | 100 | 100 | 90 | 100 | 90 |
| Skid Pad (Points) | 25.73 | 28.58 | 60.25 | 28.43 | 38.17 |
| Acceleration (Points) | 70.45 | 46.78 | 68.35 | 67.39 | 53.45 |
| Autocross (Points) | 89.19 | 78.05 | 70.57 | 58.99 | 69.12 |
| Endurance (Points) | 275.4 | 290.88 | 216.19 | 225.66 | 193.48 |
| Efficiency (Points) | 58.85 | 93.98 | 54.49 | 45.24 | 87.77 |
| Car # | 270 | 253 | 262 | 213 | 399 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Coburg UAS | Graz TU | Regensburg OTH | München UAS | Karlsruhe UAS |

| Overall Placing | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 623.36 | 572.85 | 566.04 | 564.76 | 562.84 |
| Penalties (Points) | - | - | - | - | - |
| Cost (Points) | 77.68 | 24.15 | 79.95 | 45.94 | 74.19 |
| BPP (Points) | 57.2 | 40.5 | 69.07 | 48.32 | 36.99 |
| Design (Points) | 90 | 75 | 105 | 110 | 80 |
| Skid Pad (Points) | 30.66 | 24.55 | 37.58 | 38.47 | 21.08 |
| Acceleration (Points) | 49.3 | 43.49 | 61.47 | 38 | 55.58 |
| Autocross (Points) | 59.58 | 73.97 | 65.62 | 30.81 | 75.9 |
| Endurance (Points) | 211.65 | 203.5 | 129.21 | 177.59 | 206.51 |
| Efficiency (Points) | 47.29 | 87.7 | 18.14 | 75.64 | 12.6 |
| Car # | 360 | 242 | 280 | 207 | 285 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Weingarten UAS | Darmstadt UAS | Kassel U | Hatfield UH | Padova U |

| Overall Placing | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 553.37 | 526.65 | 526.18 | 517.69 | 507.7 |
| Penalties (Points) | 5 | - | - | - | - |
| Cost (Points) | 48.06 | 65.12 | 75.56 | 77.82 | 45.7 |
| BPP (Points) | 50.8 | 60.6 | 47.35 | 74 | 33.35 |
| Design (Points) | 65 | 90 | 100 | 105 | 90 |
| Skid Pad (Points) | 35.62 | 4.06 | 20.31 | 75 | 24.64 |
| Acceleration (Points) | 62.24 | 43.22 | 18.93 | 65.69 | 56.88 |
| Autocross (Points) | 38.43 | 41.72 | 51.41 | 50.43 | 57.53 |
| Endurance (Points) | 196.74 | 140.13 | 170.05 | - | 162.45 |
| Efficiency (Points) | 61.49 | 81.8 | 42.58 | 69.75 | 37.14 |
| Car # | 221 | 279 | 303 | 316 | 313 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Gießen UAS THM | Győr U | Berlin TU | Karlsruhe KIT | Ann Arbor U MI |

| Overall Placing | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 506.44 | 484.31 | 478.86 | 456.15 | 437.02 |
| Penalties (Points) | 30 | 15 | - | - | - |
| Cost (Points) | 68.04 | 67.17 | 44.3 | 73.63 | 73.66 |
| BPP (Points) | 64.46 | 43.98 | 66.18 | 75 | 27.46 |
| Design (Points) | 95 | 90 | 55 | 105 | 135 |
| Skid Pad (Points) | 38.76 | 31.31 | 30.76 | 53.51 | 56.25 |
| Acceleration (Points) | 45.24 | 55.35 | 54.55 | 49.01 | 53.28 |
| Autocross (Points) | 40.19 | 23.95 | 33.91 | 100 | 91.37 |
| Endurance (Points) | 170.45 | 172.1 | 145.39 | - | - |
| Efficiency (Points) | 14.29 | 15.45 | 48.76 | - | - |
| Car # | 266 | 211 | 323 | 201 | 369 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Melbourne Monash | Auburn U | Kempten UAS | Corvallis OSU | Hamburg UAS |

FORMULA STUDENT COMBUSTION GESAMTERGEBNISSE 2016 | OVERALL RESULTS 2016

| Overall Placing | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 423.32 | 415.3 | 390.78 | 386.67 | 381.93 |
| Penalties (Points) | – | – | – | – | – |
| Cost (Points) | 64.97 | 70.55 | 52.61 | 19.98 | 79.63 |
| BPP (Points) | 55.96 | 46.87 | 60.71 | 39.27 | 56.47 |
| Design (Points) | 95 | 120 | 115 | 110 | 70 |
| Skid Pad (Points) | 34.97 | 54.19 | 35.96 | 53.45 | 16.21 |
| Acceleration (Points) | 54.86 | 38 | 75 | 49.43 | 29.03 |
| Autocross (Points) | 43.55 | 60.69 | 51.5 | 56.04 | 17.5 |
| Endurance (Points) | – | 25 | – | – | 74.03 |
| Efficiency (Points) | 74 | – | – | 58.51 | 39.06 |
| Car # | 217 | 397 | 307 | 245 | 339 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Montréal U McGill | Milano PT | Wrocław TU | Pomona CSU | Toronto U |

| Overall Placing | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 381.69 | 367.23 | 363.74 | 362.69 | 335.17 |
| Penalties (Points) | – | – | – | – | – |
| Cost (Points) | 77.35 | 58.79 | 30.19 | 9.65 | 78.72 |
| BPP (Points) | 48.32 | 49.76 | 33.38 | 59.99 | 72 |
| Design (Points) | 85 | 125 | 55 | 130 | 90 |
| Skid Pad (Points) | 33.52 | – | 19.08 | 50.27 | 8.74 |
| Acceleration (Points) | 29.03 | 29.37 | 20.36 | 52.76 | 51.85 |
| Autocross (Points) | – | – | 28.22 | 60.03 | 33.86 |
| Endurance (Points) | 101.74 | 31.29 | 119.34 | – | – |
| Efficiency (Points) | 6.72 | 73.03 | 58.17 | – | – |
| Car # | 343 | 292 | 250 | 269 | 258 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Konstanz UAS | Oxford Brookes U | Uxbridge U Brunel | Seattle U Washington | Paderborn U |

FORMULA STUDENT COMBUSTION

| Overall Placing | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|------------------------------|---|---|--|---|---|
| Overall Scores | 329.88 | 327.66 | 326.2 | 324.85 | 303.67 |
| Penalties (Points) | – | – | 10 | – | – |
| Cost (Points) | 62.23 | 71.53 | 44 | 59.73 | 83.93 |
| BPP (Points) | 42.26 | 56.99 | 41.92 | 51.62 | 54.93 |
| Design (Points) | 105 | 90 | 80 | 50 | 95 |
| Skid Pad (Points) | 41.05 | – | 27.61 | 17.65 | 29.24 |
| Acceleration (Points) | 54.2 | 48.13 | 49.26 | 39.34 | 26.79 |
| Autocross (Points) | 25.14 | 61 | 59.68 | 31.85 | 13.78 |
| Endurance (Points) | – | – | – | – | – |
| Efficiency (Points) | – | – | 33.73 | 74.65 | – |
| Car # | 299 | 395 | 237 | 244 | 311 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Brno TU | Valéncia UPV | Modena UNIMORE | Ulm UAS | Mumbai Somaiya |

| Overall Placing | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 289.62 | 289.56 | 270.94 | 268.31 | 267.82 |
| Penalties (Points) | – | – | – | – | – |
| Cost (Points) | 24.46 | 70.15 | 61.33 | 77.24 | 62.18 |
| BPP (Points) | 43.57 | 43.16 | 64.42 | 62.98 | 62.67 |
| Design (Points) | 55 | 65 | 90 | 70 | 75 |
| Skid Pad (Points) | 7.97 | 22.66 | – | 4.08 | 20.02 |
| Acceleration (Points) | 47.43 | 35.51 | 26.96 | 49.51 | 43.45 |
| Autocross (Points) | 26.41 | 53.07 | 28.24 | 4.5 | 4.5 |
| Endurance (Points) | 62.87 | – | – | – | – |
| Efficiency (Points) | 21.9 | – | – | – | – |
| Car # | 340 | 398 | 300 | 312 | 254 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Istanbul TU | Lemgo UAS | Berlin UAS | Thessaloniki U | Vellore VIT |

FORMULA STUDENT COMBUSTION GESAMTERGEBNISSE 2016 | OVERALL RESULTS 2016

| Overall Placing | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 255.34 | 253.93 | 249.94 | 248.6 | 243.12 |
| Penalties (Points) | – | – | – | – | – |
| Cost (Points) | 39.78 | 64.05 | 53.43 | 28.58 | 28.9 |
| BPP (Points) | 51.52 | 27.91 | 35.62 | 38.61 | 24.88 |
| Design (Points) | 75 | 60 | 85 | 55 | 50 |
| Skid Pad (Points) | 57.01 | 25.61 | 22.82 | 23.96 | 16.26 |
| Acceleration (Points) | 12.42 | 43.06 | 19.58 | 58.57 | 42.63 |
| Autocross (Points) | 19.61 | 33.29 | 33.48 | 43.87 | 13.24 |
| Endurance (Points) | – | – | – | – | 43.01 |
| Efficiency (Points) | – | – | – | – | 24.21 |
| Car # | 218 | 220 | 248 | 268 | 246 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Stralsund UAS | Moscow BMSTU | Bochum U | Nevers ISAT | Arnhem UAS |

| Overall Placing | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 236.88 | 232.82 | 231.72 | 228.56 | 217.05 |
| Penalties (Points) | – | – | 20 | 15 | – |
| Cost (Points) | 30.25 | 42.3 | 30.11 | 65.1 | 57.33 |
| BPP (Points) | 29.94 | 42.78 | 36.23 | 36.58 | 53.89 |
| Design (Points) | 45 | 50 | 55 | 55 | 50 |
| Skid Pad (Points) | – | – | 35.15 | 24.55 | – |
| Acceleration (Points) | 61.33 | 52.49 | 42.59 | 44.24 | 17.21 |
| Autocross (Points) | 70.36 | 45.24 | 52.64 | 18.09 | 38.62 |
| Endurance (Points) | – | – | – | – | – |
| Efficiency (Points) | – | – | – | – | – |
| Car # | 222 | 265 | 278 | 297 | 241 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Shiyan HUAT | Wiesbaden UAS | Tampere UAS | Schweinfurt UAS | Liverpool U |

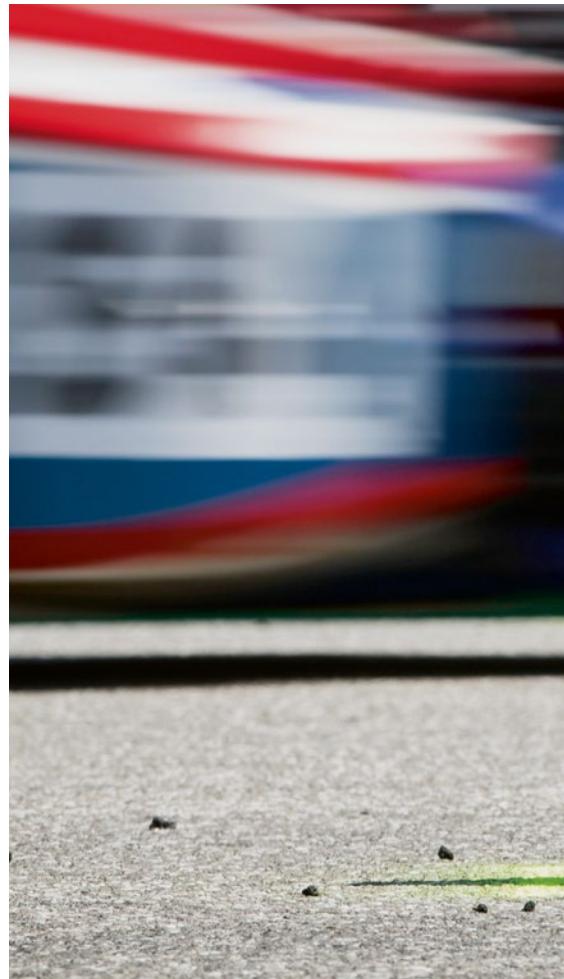
| Overall Placing | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 211.62 | 203.84 | 199.36 | 196.98 | 196.2 |
| Penalties (Points) | – | – | 10 | – | – |
| Cost (Points) | 18.18 | 65.57 | 67.15 | 69.34 | 70.37 |
| BPP (Points) | 45.94 | 42.95 | 46.25 | 33.66 | 50.83 |
| Design (Points) | 65 | 65 | 55 | 70 | 75 |
| Skid Pad (Points) | – | – | – | 19.48 | – |
| Acceleration (Points) | 44.72 | – | 36.46 | – | – |
| Autocross (Points) | 37.77 | – | 4.5 | 4.5 | – |
| Endurance (Points) | – | 30.32 | – | – | – |
| Efficiency (Points) | – | – | – | – | – |
| Car # | 235 | 321 | 296 | 261 | 227 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Maribor U | San Sebastián TECNUN | Manipal U | Sevilla U | Roma U Tor Vergata |

| Overall Placing | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 |
|------------------------------|---|---|--|---|---|
| Overall Scores | 194.73 | 194.43 | 189.13 | 173.27 | 171.05 |
| Penalties (Points) | – | – | 10 | – | – |
| Cost (Points) | 62.03 | 70.24 | 36.3 | 38.98 | 65.92 |
| BPP (Points) | 47.7 | 50.69 | 43.63 | 36.86 | 55.13 |
| Design (Points) | 85 | 70 | 80 | 75 | 50 |
| Skid Pad (Points) | – | 3.5 | 3.5 | 3.5 | – |
| Acceleration (Points) | – | – | 35.69 | 18.93 | – |
| Autocross (Points) | – | – | – | – | – |
| Endurance (Points) | – | – | – | – | – |
| Efficiency (Points) | – | – | – | – | – |
| Car # | 219 | 277 | 302 | 234 | 236 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Madrid TU | Volos U | Poznań PUT | Chennai SRMU | Giza U Cairo |

FORMULA STUDENT COMBUSTION GESAMTERGEBNISSE 2016 | OVERALL RESULTS 2016

| Overall Placing | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 159.27 | 154.19 | 146.72 | 141.19 | 128.54 |
| Penalties (Points) | – | – | – | – | 5 |
| Cost (Points) | 57.27 | 66.39 | 76 | 56.69 | 37.84 |
| BPP (Points) | 45.63 | 38.3 | 35.72 | 35 | 65.7 |
| Design (Points) | 50 | 45 | 35 | 45 | 30 |
| Skid Pad (Points) | 6.37 | – | – | – | – |
| Acceleration (Points) | – | – | – | – | – |
| Autocross (Points) | – | 4.5 | – | 4.5 | – |
| Endurance (Points) | – | – | – | – | – |
| Efficiency (Points) | – | – | – | – | – |
| Car # | 239 | 232 | 225 | 272 | 215 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Heilbronn UAS | Coimbatore COT | Dubai BIT | Dortmund TU | Glasgow U Strath |

| Overall Placing | 71 | 72 | 73 |
|-----------------------|---|---|---|
| Overall Scores | 113.36 | 83.94 | 82.55 |
| Penalties (Points) | – | 5 | – |
| Cost (Points) | 16.87 | 47.77 | 13.64 |
| BPP (Points) | 17.35 | 16.17 | 28.91 |
| Design (Points) | 50 | 25 | 40 |
| Skid Pad (Points) | – | – | – |
| Acceleration (Points) | 24.64 | – | – |
| Autocross (Points) | 4.5 | – | – |
| Endurance (Points) | – | – | – |
| Efficiency (Points) | – | – | – |
| Car # | 229 | 287 | 243 |
| Car |  |  |  |
| City / University | Dortmund UAS | Bari PT | Wuppertal U |



| Overall Placing | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 917.87 | 900.08 | 834.33 | 758.26 | 610 |
| Penalties (Points) | 5 | – | – | – | – |
| Cost (Points) | 75.71 | 74.2 | 70.73 | 56.79 | 63.57 |
| BPP (Points) | 73 | 66.03 | 60.88 | 44.89 | 70 |
| Design (Points) | 125 | 115 | 130 | 95 | 150 |
| Skid Pad (Points) | 75 | 66.33 | 58.81 | 40.05 | 61.93 |
| Acceleration (Points) | 65.17 | 67.06 | 60.34 | 57.93 | 75 |
| Autocross (Points) | 100 | 91.15 | 90.57 | 94.47 | 91.99 |
| Endurance (Points) | 310.53 | 325 | 267.66 | 276.62 | 0 |
| Efficiency (Points) | 98.46 | 95.31 | 95.33 | 92.51 | 97.5 |
| Car # | 68 | 1 | 26 | 23 | 33 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Karlsruhe KIT | Delft TU | Stuttgart U | Amberg OTH | Zürich ETH |

© Frank Eppler

| Overall Placing | 6 | 7 | 8 |
|------------------------------|---|---|---|
| Overall Scores | 587.71 | 482.42 | 453.71 |
| Penalties (Points) | – | – | – |
| Cost (Points) | 52.2 | 71.11 | 78.58 |
| BPP (Points) | 48.78 | 65.49 | 63.95 |
| Design (Points) | 95 | 105 | 80 |
| Skid Pad (Points) | 21.17 | – | 4.28 |
| Acceleration (Points) | 38.27 | 58.52 | 27.28 |
| Autocross (Points) | 61.44 | 91.91 | 4.5 |
| Endurance (Points) | 172.72 | – | 95.12 |
| Efficiency (Points) | 98.13 | 90.4 | 100 |
| Car # | 45 | 131 | 32 |
| Car |  |  |  |
| City / University | Sankt Augustin UAS | München TU | Terrassa ESEIAAT |



FORMULA STUDENT ELECTRIC GESAMTERGEBNISSE 2016 | OVERALL RESULTS 2016

| Overall Placing | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 441.54 | 417.03 | 392.47 | 390.27 | 388.56 |
| Penalties (Points) | 15 | – | 5 | – | – |
| Cost (Points) | 69.44 | 70.95 | 81.7 | 75.06 | 55.82 |
| BPP (Points) | 54.32 | 66.41 | 75 | 65.59 | 74 |
| Design (Points) | 95 | 100 | 100 | 115 | 105 |
| Skid Pad (Points) | 33.7 | 68.66 | 34.46 | 27.06 | 35 |
| Acceleration (Points) | 40.13 | 45.22 | 41.19 | 45.63 | 58.46 |
| Autocross (Points) | 72.92 | 65.8 | 65.12 | 61.92 | 60.28 |
| Endurance (Points) | – | – | – | – | – |
| Efficiency (Points) | 91.03 | – | – | – | – |
| Car # | 11 | 18 | 4 | 99 | 8 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Göteborg Chalmers | Darmstadt TU | Ravensburg DHBW | Aachen RWTH | Stuttgart DHBW |

| Overall Placing | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 371.03 | 370.13 | 365.72 | 350.64 | 339.92 |
| Penalties (Points) | 35 | 15 | – | 35 | – |
| Cost (Points) | 58.12 | 70.26 | 72.21 | 76.04 | 55.87 |
| BPP (Points) | 35.8 | 72 | 48.89 | 66 | 55.75 |
| Design (Points) | 120 | 70 | 115 | 110 | 110 |
| Skid Pad (Points) | 0 | 67.43 | 39.15 | – | – |
| Acceleration (Points) | 26.53 | 41.19 | 35.86 | 63.65 | 25.16 |
| Autocross (Points) | 67.6 | 64.25 | 54.62 | 69.95 | 5.9 |
| Endurance (Points) | – | – | – | – | – |
| Efficiency (Points) | 97.97 | – | – | – | 87.24 |
| Car # | 41 | 118 | 63 | 13 | 44 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Wien TU | Dresden TU | Trondheim NTNU | München UAS | Deggendorf UAS |

| Overall Placing | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 317.2 | 309.32 | 289.51 | 269.84 | 261.41 |
| Penalties (Points) | – | – | – | – | 10 |
| Cost (Points) | 70.01 | 68.26 | 39.3 | 78.55 | 29.98 |
| BPP (Points) | 42.84 | 47.86 | 60.88 | 46.02 | 54.11 |
| Design (Points) | 95 | 80 | 95 | 95 | 60 |
| Skid Pad (Points) | 40.39 | 14.98 | – | – | – |
| Acceleration (Points) | 20.03 | 38.27 | 42.17 | 3.5 | 3.5 |
| Autocross (Points) | 48.93 | 59.95 | 52.16 | 46.77 | 31.86 |
| Endurance (Points) | – | – | – | – | – |
| Efficiency (Points) | – | – | – | – | 91.97 |
| Car # | 6 | 96 | 78 | 40 | 34 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Osnabrück UAS | Zwickau UAS | Hamburg TU | Eindhoven TU | Ingolstadt UAS |

| Overall Placing | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
|------------------------------|---|---|--|---|---|
| Overall Scores | 241.59 | 219.12 | 189.68 | 170.25 | 167.7 |
| Penalties (Points) | 20 | 5 | – | – | 15 |
| Cost (Points) | 71.3 | 81.98 | 52.11 | 65.97 | 63.94 |
| BPP (Points) | 47.55 | 47.14 | 44.38 | 44.28 | 43.76 |
| Design (Points) | 75 | 95 | 65 | 60 | 75 |
| Skid Pad (Points) | 23.54 | – | – | – | – |
| Acceleration (Points) | 44.2 | – | 3.5 | – | – |
| Autocross (Points) | – | – | 24.69 | – | – |
| Endurance (Points) | – | – | – | – | – |
| Efficiency (Points) | – | – | – | – | – |
| Car # | 22 | 76 | 31 | 12 | 191 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Leuven KU | Freiberg TU | Ilmenau TU | Bayreuth U | Göttingen HAWK |

FORMULA STUDENT ELECTRIC GESAMTERGEBNISSE 2016 | OVERALL RESULTS 2016

| Overall Placing | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 159.38 | 158.96 | 155.06 | 149.05 | 147.46 |
| Penalties (Points) | - | 20 | 10 | - | 10 |
| Cost (Points) | 61.93 | 37.12 | 65.52 | 44 | 60.83 |
| BPP (Points) | 47.45 | 46.84 | 29.54 | 35.05 | 46.63 |
| Design (Points) | 50 | 95 | 70 | 70 | 50 |
| Skid Pad (Points) | - | - | - | - | - |
| Acceleration (Points) | - | - | - | - | - |
| Autocross (Points) | - | - | - | - | - |
| Endurance (Points) | - | - | - | - | - |
| Efficiency (Points) | - | - | - | - | - |
| Car # | 15 | 10 | 21 | 185 | 60 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Hannover U | Augsburg UAS | Köln TH | Padova U | Nürnberg GSO UAS |

| Overall Placing | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|
| Overall Scores | 129.71 | 114.88 | 110.26 | 82.13 | - |
| Penalties (Points) | 10 | 70 | 35 | 35 | - |
| Cost (Points) | 51.46 | 39.86 | 44.33 | 33 | - |
| BPP (Points) | 43.25 | 45.02 | 25.93 | 29.13 | - |
| Design (Points) | 45 | 100 | 75 | 55 | - |
| Skid Pad (Points) | - | - | - | - | - |
| Acceleration (Points) | - | - | - | - | - |
| Autocross (Points) | - | - | - | - | - |
| Endurance (Points) | - | - | - | - | - |
| Efficiency (Points) | - | - | - | - | - |
| Car # | 19 | 61 | 64 | 20 | 39 |
| Car |  |  |  |  |  |
| City / University | Braunschweig TU | Aalen HS | Kaiserslautern TU | New Delhi IIT | Liuzhou UAS |

Formula Student Germany

November 2016

Springer Vieweg | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
Postfach 1546 · 65173 Wiesbaden · Abraham-Lincoln-Straße 46 · 65189 Wiesbaden

Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE811148419

Geschäftsführer Joachim Krieger, Dr. Niels Peter Thomas

Gesamtleitung Magazine Stefanie Burgmaier | Gesamtleitung Produktion Dr. Olga Chiarcos

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT

ATZ

Dipl.-Ing. Dietmar Bichler, Bertrandt AG,
Dipl.-Ing. Kurt Blumenröder, IAV GmbH,
Dr.-Ing. Joachim Damaskos, VDA/FAT,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein,
RWTH Aachen, WKM, Dr.-Ing. Ulrich
Eichhorn, Volkswagen AG, Dr. rer. nat.
Andreas Eilemann, Mahle Behr GmbH &
Co. KG, Dipl.-Ing. Klaus Fröhlich, BMW
AG, Prof. Dr.-Ing. Burkhard Göschel,
Burkhard Göschel Consultancy, Prof.
Dr.-Ing. Peter Gutzmer, Schaeffler AG,
Dr.-Ing. Markus Heyn, Robert Bosch
GmbH, Dr.-Ing. Carsten Intra, MAN Truck
& Bus AG, Prof. Dr.-Ing. Pim van der Jagt,
Ford-Forschungszentrum Aachen GmbH,
Dr.-Ing. Stefan Knirsch, Audi AG, Dipl.-
Ing. Ralph Lauxmann, Continental Teves
AG & Co. oHG, Dipl.-Ing. (BA) Joachim
Mathes, Valeo Schalter und Sensoren GmbH,
Dr.-Ing. Harald Naumann, ZF Friedrichshafen
AG, Dipl.-Ing. Jörg Ohlsen, Edag
GmbH & Co. KGaA, Prof. Dr. Dipl.-Ing.
Peter Pfeffer, Hochschule München,
Prof. Dr.-Ing. Rodolfo Schöneburg,
VDI-FVT, Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirtsch.-
Ing. (FH) Wolfgang Schwenk, Adam Opel
AG, Dr. Michael Steiner, Dr. Ing. h.c. F.
Porsche AG, Dr.-Ing. Christian Wiehen,
Wabco GmbH

MTZ

Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende, Universität Stuttgart, Prof. Dr. techn. Christian Beidl, TU Darmstadt, Dr.-Ing. Ulrich Dohle, Rolls-Royce Power Systems AG, Dipl.-Ing. Markus Duesmann, BMW AG, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein, RWTH Aachen, WKM, Dr.-Ing. Torsten Eder, Daimler AG, Dipl.-Ing. Friedrich Eichler, Volkswagen AG, Prof. Dr. Bernhard Geringer, ÖVK, Dipl.-Ing. Dietmar Goericke, Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V., Prof. Dr.-Ing. Uwe Dieter Grebe, AVL List GmbH, Prof. Dr.-Ing. Jens Hadler, APL, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Hammer, Robert Bosch GmbH, Dr. Thomas Johnen, Adam Opel AG, Rainer Jückstock, Federal-Mogul Corporation, Prof. Dr. h. c. Helmut List, AVL List GmbH, Dipl.-Ing. Wolfgang Maus, Continental Emitec GmbH, Peter Müller-Baum, VDMA e.V., Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger, FEV GmbH, Wolf-Henning Schneider, Mahle GmbH, Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmaizl, Pankl-APC Turbosystems GmbH, Dr. Markus Schwaderlap, Deutz AG, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert, WiTech Engineering GmbH, Dr. Michael Winkler, Hyundai Motor Europe Technical Center GmbH

REDAKTION

HERAUSgeber

Dr. Johannes Liebl,
Wolfgang Siebenpfeiffer

CHEFREDakteUR

(verantwortlich für den redaktionellen Inhalt)
Dr. Alexander Heintzel
tel +49 611 7878-342 · fax +49 611 7878-462
alexander.heintzel@springer.com

STELLVERTRETENDER

CHEFREDakteUR
Dipl.-Ing. Michael Reichenbach
tel +49 611 7878-341 · fax +49 611 7878-462
michael.reichenbach@springer.com

CHEFIN VOM DIENST

Kirsten Beckmann M. A.
tel +49 611 7878-343 · fax +49 611 7878-462
kirsten.beckmann@springer.com

REDAKTEURE

Angelina Hofacker, M. Eng.
tel +49 611 7878-121 · fax +49 611 7878-462
angelina.hofacker@springer.com

Dipl.-Ing. Ulrich Knorra
tel +49 611 7878-314 · fax +49 611 7878-462
ulrich.knorra@springer.com

Marcus Schöttle

tel +49 611 7878-257 · fax +49 611 7878-462
markus.schoettle@springer.com

Dipl.-Ing. Thomas Siebel

tel +49 611 7878-261 · fax +49 611 7878-462
thomas.siebel@springer.com

Dipl.-Journ. (FH) Martin Westerhoff

tel +49 611 7878-120 · fax +49 611 7878-462
martin.westerhoff@springer.com

SONDERPROJEKTE

Leitender Redakteur
Markus Bereszewski
tel +49 611 7878-122 · fax +49 611 7878-462

markus.bereszewski@springer.com
Redaktion / Projektmanagement
Benjamin Auerbach M. A.

tel +49 611 7878-139 · fax +49 611 7878-462
benjamin.auerbach@springer.com

Dipl.-Reg.-Wiss. Caroline Behle
tel +49 611 7878-393 · fax +49 611 7878-462
caroline.behle@springer.com

Christiane Imhof M. A.
tel +49 611 7878-154 · fax +49 611 7878-462

christiane.imhof@springer.com
FREIE MITARBEITER

Dipl.-Ing. (FH) Richard Backhaus,
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Burkert, Dipl.-Ing. (FH)
Andreas Fuchs, Roland Schedel, Stefan Schlott

PROJEKTMANAGEMENT I ASSISTENZ

Yeliz Konar
tel +49 611 7878-180 · fax +49 611 7878-462
yeliz.konar@springer.com

REDAKTIONSANSCHRIFT

Abraham-Lincoln-Straße 46 · 65189 Wiesbaden,
Postfach 1546 · 65173 Wiesbaden
redaktion@ATZonline.de

ANZEIGEN

LEITER MEDIA SALES

(verantwortlich für den Anzeigenteil)
Volker Hesedenz
tel +49 611 7878-269 · fax +49 611 7878-78269
volker.hesedenz@springer.com

VERKAUFSLEITER AUTOMOTIVE

Rouwen Bastian
tel +49 611 7878-399 · fax +49 611 7878-78399
rouwen.bastian@springer.com

ANZEIGENDISPOSITION

Susanne Bretschneider
tel +49 611 7878-153 · fax +49 611 7878-78153
susanne.bretschneider@springer.com

ANZEIGENPREISE

Es gelten die Mediainformations von Oktober 2015.

VERTRIEB I MARKETING I SONDERDRUCKE

LEITER VERTRIEB + MARKETING
Jens Fischer
tel +49 611 7878-340 · fax +49 611 7878-407
jens.fischer@springer.com

SONDERDRUCKE

Martin Leopold
tel +49 2642 907-596 · fax +49 2642 907-597
leopold@medien-kontor.de

PRODUKTION I LAYOUT

Heiko Köllner
tel +49 611 7878-177 · fax +49 611 7878-78177
heiko.koellner@springer.com

Alle angegebenen Personen sind postalisch unter der Adresse des Verlags erreichbar.

DRUCK UND VERARBEITUNG

Kliemo Printing AG
Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

ABONNEMENTS

Springer Customer Service Center GmbH
Tiergartenstraße 15 · 69121 Heidelberg
tel +49 6221 3454-303 · fax +49 6221 3454-229
Montag bis Freitag, 8 bis 18 Uhr
springervieweg-service@springer.com
www.mein-fachwissen.de/automobiltechnik

BEZUGSMÖGLICHKEITEN

Diese ATZextra-Ausgabe ist in Verbindung mit einem ATZ/MTZ-Abo abnehmbar und mit dem Abonnementspreis abgegolten. Bestellmöglichkeiten und Details zu den Abonnementsbedingungen finden Sie unter www.mein-fachwissen.de/automobiltechnik/ATZ-extra. Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck: Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen Beiträge einschließlich sämtlicher Abbildungen, Grafiken und Fotos sind urheberrechtlich geschützt.

IHR DIREKTER DRAHT ZUR ATZextra

Redaktion

tel +49 611 7878-122

Kundenservice

tel +49 6221 3454-303

Anzeigen

tel +49 611 7878-269

Sofern eine Verwertung nicht ausnahmsweise ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf jedwede Verwertung eines Teils dieser Zeitschrift der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlags. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Nachdrucke, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, öffentliche Zugänglichmachungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung von Teilen dieser Zeitschrift in Datenbanken und anderen elektronischen Systemen und die Verbreitung oder Verwertung über elektronische Systeme.

Die Artikel der ATZextra sind mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Die Redaktion übernimmt jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der abgedruckten Inhalte. Für den Inhalt der Werbeanzeigen ist das jeweilige Unternehmen beziehungsweise die jeweilige Gesellschaft verantwortlich.

Jedes Jahresabo beinhaltet eine Freischaltung für das Online-Archiv auf Springer Professional. Der Zugang gilt ausschließlich für den einzelnen Empfänger des Abonnements.

Für unverlangt eingeschickte Manuskripte, Fotos und Illustrationen wird keine Gewähr übernommen.

© Springer Vieweg | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden 2016

Springer Vieweg ist Teil von Springer Science+Business Media.
 Springer Vieweg



© TUfast | Julian Ost

Ein Verein, zwei Teams – Synergien zwischen Formula Student und Effizienzwettbewerben

Das TUfast Eco Team entwickelt Fahrzeug-Prototypen für internationale Effizienzwettbewerbe, das TUfast Racing Team hingegen Formula-Student-Rennwagen. Durch die Teilnahme an sehr unterschiedlichen Wettbewerben unterscheidet sich der technische Fokus bei der Entwicklung der Fahrzeuge stark. Dennoch gibt es einige Synergieeffekte, die beiden Teams helfen, konkurrenzfähig zu bleiben.

AUTOREN



Tobias Spath

ist Leiter Operations in der Saison 2016/2017 im TUfast Eco Team und studiert Maschinenbau an der Technischen Universität München.



Daniel Hornung

war Leiter Fahrwerk in der Saison 2016 im TUfast Eco Team und studiert Maschinenbau an der Technischen Universität München.



Steffen Weik

war Leiter Chassis in der Saison 2016 im TUfast Racing Team, ist Vereinsvorstand und studiert Maschinenbau an der Technischen Universität München.

EIN VEREIN, ZWEI TEAMS

Der Verein TUfast, 2003 gegründet, besteht aus rund 120 aktiven Studierenden der Technischen Universität München aus den verschiedensten Studiengängen. Die Teilnahme an TUfast basiert auf vollständiger Freiwilligkeit der Teammitglieder und ist weder Teil des Studiums, noch wird die Teilnahme benötigt oder mit Credits vergütet. Die Motorsportbegeisterung sowie die Faszination an effizienten Fahrzeugen motivieren die Studierenden aus den Fachgebieten Maschinenwesen, Elektrotechnik, Informatik und der Betriebswirtschaftslehre zur Teilnahme. Sie entscheiden sich zu Beginn der Saison, bei welchem der beiden Teams sie mitarbeiten wollen.

Das TUfast Racing Team wurde im Jahr 2002 von Maschinenbaustudenten der TU München mit dem Ziel gegründet, jedes Jahr einen Rennwagen für die Formula Student zu entwickeln. Der erste Rennwagen des Teams mit der Bezeichnung nb04 nahm im Jahr 2004 an der Formula Student teil. Mit dem eb011 wurde im Jahr 2011 erstmals ein rein elektrisch angetriebener Rennwagen entwickelt. Seither entwickelt und fertigt das TUfast Racing Team pro Jahr zwei Formula-Student-Fahrzeuge, die in den Wettbewerben auch gefahren werden.

Das TUfast Eco Team wurde im Jahr 2009 gegründet und direkt in den Verein TUfast miteingegliedert. Das Ziel des Teams ist es, einen hocheffizienten Fahrzeugprototyp zu entwickeln und zu fertigen und damit auf internationalen Effizienzwettbewerben anzutreten. Das erste Fahrzeug namens H-TU11 war ein Brennstoffzellen-Prototyp. Um den Wirkungsgrad des Fahrzeugs zu erhöhen, entschloss man sich im Jahr 2012 einen batterieelektrischen Prototyp, eLi12 genannt, zu bauen. Dies war die Geburtsstunde der eLi-Baureihe. Nach mehreren Top-5-Plat-

zierungen bei renommierten Effizienzwettbewerben konnte das Team mit der 26,5 kg leichten eLi15 schließlich den Sieg beim Shell Eco-marathon, dem weltweit größten Wettbewerb dieser Art, und der Educ Eco Challenge einfahren. Im Jahr 2016 konnte das Team – bei neuer Strecke – erfolgreich den Titel bei der Educ Eco Challenge verteidigen, sowie beim Shell Eco-marathon den dritten Platz erlangen.

EFFIZIENZWETTBEWERBE

Bei den Effizienzwettbewerben müssen die Teilnehmer mit ihren selbst entwickelten und gefertigten Prototypen mehrere Runden auf einem abgesperrten städtischen Rundkurs absolvieren. Dabei sind alle Prototypen einer Kategorie gleichzeitig auf der Strecke.

Die vorgegebene Anzahl an Runden gilt es innerhalb einer festgesetzten Maximalzeit zu absolvieren, sodass eine Durchschnittsgeschwindigkeit von mindestens 25 km/h erreicht wird. Die gefahrene Gesamtstrecke ist von Strecke zu Strecke unterschiedlich, liegt jedoch im Bereich von 16 bis 22 km. Das Team, dessen Prototyp den geringsten Verbrauch oder umgerechnet, die höchste Reichweite mit einer Energieeinheit aufweist, gewinnt. Diese Wettbewerbe unterscheiden sich somit deutlich von der Formula Student.

SYNERGIEEFFEKTE DURCH DEN WETTBEWERBSKALENDER

Durch die Teilnahme an zwei sehr verschiedenen Wettbewerben unterscheidet sich der technische Fokus bei der Entwicklung der Fahrzeuge stark. Dennoch gibt es einige Synergieeffekte, die beiden Teams helfen konkurrenzfähig zu bleiben. So können die Mitglieder von den vorhandenen Expertenwissen in den verschiedenen technischen Teilbereichen sowie dem großen Erfahrungsschatz

profitieren. Und den Mitgliedern fällt es in diesem kreativitätsfördernden Umfeld leichter, Ideen zu realisieren.

Der entscheidende Faktor, durch den sich große Synergieeffekte bei den beiden TUfast Teams erzielen lassen, ist der Zeitversatz zwischen den Wettbewerben. Die Wettbewerbe des Eco Teams starten im späten Frühling und enden mit dem Shell Eco Marathon Ende Juni. Zu diesem Zeitpunkt startet die Wettbewerbsphase für das Racing Team mit dem ZF Race Camp Mitte Juni und endet mit dem FSS in Barcelona Ende August. Während sich das Racing Team noch in der heißen Wettkampfphase befindet, ist das Eco Team bereits wieder in der Definitionsphase und feilt am Design und den Eigenschaften des neuen Fahrzeuges. Dadurch ergibt sich eine Phasenverschiebung, **BILD 1**, die sich auch im Entwicklungsprozess der Teams widerspiegelt. Durch die zeitverzögerte Entwicklung und Fertigung lässt sich die Infrastruktur besser auslasten.

AERODYNAMIK: DOWNFORCE VERSUS NO-FORCE

Um in beiden Wettbewerben an der Spitze mitfahren zu können, steht bei allen Fahrzeugen von TUfast der Leichtbau als zentrales Ziel im Vordergrund. Je leichter ein Fahrzeug ist, desto effizienter und schneller kann es beschleunigen beziehungsweise energiesparender gleiten. Dadurch ist Leichtbau bei beiden Teams von zentraler Bedeutung. Als zweites gemeinsames Ziel ist die Aerodynamik zu nennen, auch wenn diese bei beiden Teams komplett unterschiedlich verwendet wird.

Durch die engen und kurvenreichen Kurse der Formula Student ist es das Ziel, mithilfe der Aerodynamik einen möglichst hohen Abtrieb durch Anströmung von Flügelprofilen zu erzielen, um möglichst hohe Querbeschleunigungen

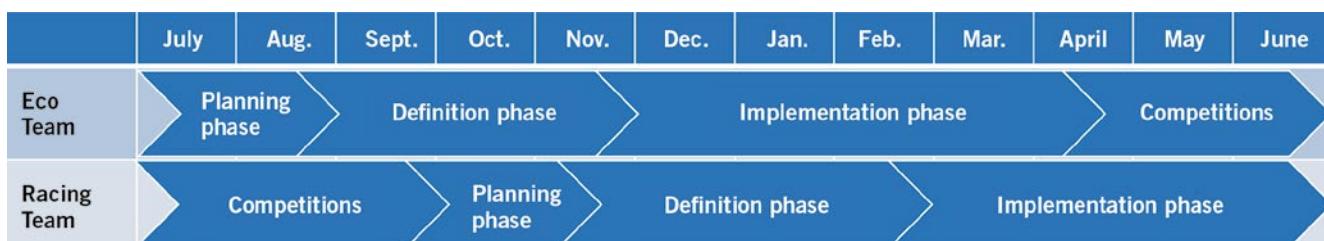


BILD 1 Entwicklungsverlauf TUfast Eco Team und Racing Team (© TUfast | Tobias Spath)

FIGURE 1 Course of development TUfast Eco- and Racing Team (© TUfast | Tobias Spath)

One Club, Two Teams

Synergies between Formula Student and Efficiency Competitions

The TUfast Eco Team develops prototype vehicles for international efficiency competitions; the TUfast Racing Team develops Formula Student race cars. By participating in very different competition, the technical focus in the development of the vehicles is very different. Yet there are some synergies that help both teams to remain competitive.

ONE CLUB, TWO TEAMS

The TUfast club was founded in the year 2003. It currently consists of 120 motivated students from the Technical University Munich enrolled in different degree programs. The participation in TUfast is voluntarily; it's not part of the curriculum and is neither rewarded with grades nor credits. The enthusiasm about motorsports and the fascination of efficient cars motivates students from the departments of mechanical engineering, electrical engineering, informatics and economics to participate. At the start of the season, every member gets to choose which team to join.

In 2002, the TUfast Racing Team was founded by students from the mechanical engineering faculty. The goal was to develop a racing car for the Formula Student. The first car, the nb04, was unveiled in 2004. In 2011, the eb11 an all-electric race car was developed for the first time. From this year on, the TUfast Racing Team develops, builds and participates in Formula Student with two cars.

In 2009, the TUfast Eco Team was founded and merged with TUfast. The goal of the team was to develop and build highly efficient prototype class vehicles and to compete against other teams at international efficiency competitions. The first car was H-TU11, a hydrogen fuel cell prototype. To increase the overall efficiency, it was decided to switch to a battery-electric drivetrain in 2012. After obtaining several places within the top 5 teams at efficiency competitions, in 2015 the Shell Eco-mara-

thon, the most profound efficiency competition in the world and the EducEco Challenge were won with 26,5 kg light eLi15. In 2016, the success at the EducEco challenge was repeated and a 3rd place at the Shell Eco-marathon was achieved.

EFFICIENCY COMPETITIONS

At efficiency challenges, the participants have to follow a street circuit for several laps with their prototypes. During the competition, all vehicles from one category are competing on the track against each other simultaneously.

A designated numbers of laps have to be driven within a fixed timeslot, such that an average speed beyond 25 km/h is achieved. The total distance is varying between the circuits. Usually it is between 16 and 22 km. The prototype with the least energy consumption wins. It is evident, that these competitions are very different from formula student.

SYNERGY EFFECTS DUE TO COMPETITION

By participating in two very different competitions, the technical focus is very different in the vehicles development. Yet there are some synergies that help remain competitive. Thus, by the existing expertise in the various technical portions, the amount of experience within the different teams and an environment of creativity, helps to realise ideas easily.

The most influencing factor, which accounts for most synergies between the

two TUfast Teams, is the different timeline for the competitions. The competitions for the Eco Team start in late spring and end with the Shell Eco-marathon at the end of June. At this point, the competitions for the Racing Team begin with the ZF Race Camp in the mid of June. It ends with FSS in Spain at the end of August. While the Racing Team is still in competition mode, the Eco Team is already in the definition phase and develops the design and the specifications of their new car. Thus, there is a continuing difference between the development phases of the two teams, **FIGURE 1**, which is also represented in the development processes of the two teams. By delayed development and manufacturing, the infrastructure can be utilised better.

AUTHORS

Tobias Spath

is Head of Operations at the TUfast Eco Team for season 2016/2017 and is studying mechanical engineering at Technical University Munich (Germany).

Daniel Hornung

was Head of Running Gear Development at the TUfast Eco Team for the season 2016 and is studying mechanical engineering at Technical University Munich (Germany).

Steffen Weik

was Head of Chassis Development at the TUfast Racing Team for the season 2016, member of the society board and is studying mechanical engineering at Technical University Munich (Germany).

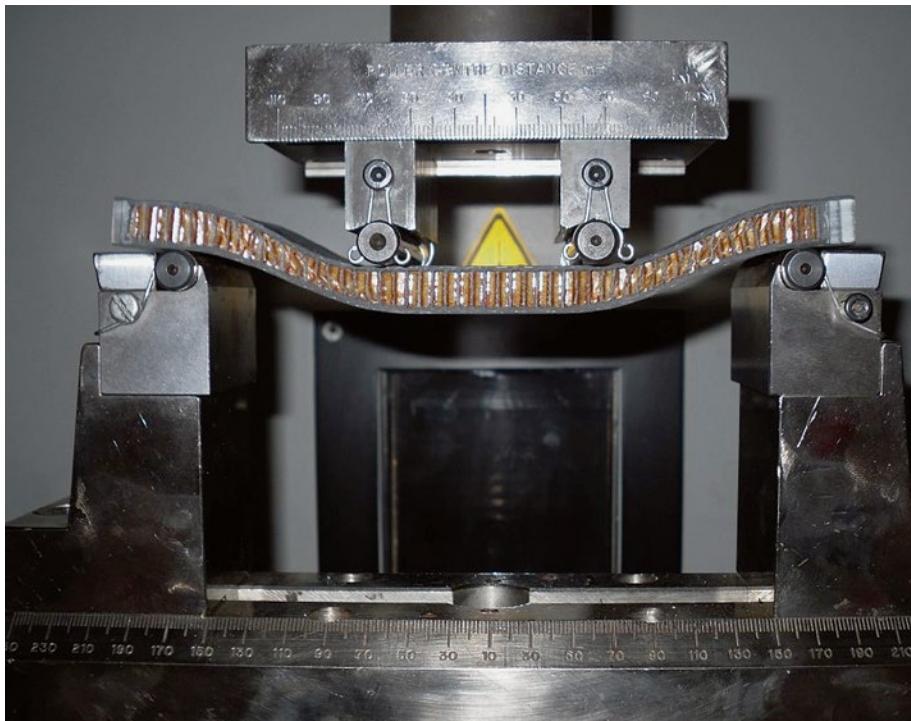


BILD 2 4-Punkt-Biegeversuche – Nomex-Wabe

(© TUFast | Steffen Weik)

FIGURE 2 4-point bending test – Nomex

honeycomb (© TUFast | Steffen Weik)

zu erreichen. Da die Ab- oder Auftriebsenergie durch die kinematische Energie des Fahrzeugs getrieben wird, sind die Kollegen des Eco Teams auf ein anderes Ziel aus: den Luftwiderstand größtmöglich zu minimieren.

Obwohl die Ziele gegensätzlich sind, lassen sich Parallelen ziehen. Durch mehrfache iterative Simulation der angeströmten Flächen hat es das diesjährige Aerodynamik-Team des Racing Teams geschafft, einen niedrigen Luftwiderstandsbeiwert bei einem maximalen Abtrieb zu erzeugen und damit den „Best Aerodynamic Award“ bei der Formula Student in Österreich gewonnen. Das Eco Team konnte durch kleine Veränderungen der Geometrien eine Reduktion des Luftwiderstands von 10 % erzielen. Durch die verschiedenen Optimierungsziele, ergeben sich abweichende Lösungen, die jedoch beiden Teams helfen, ihren Lösungshorizont zu erweitern und dadurch bessere Ergebnisse zu erzielen.

GEMEINSAME KERNKOMPETENZ: CFK/LEICHTBAU

Seit mehreren Jahren verfolgt der Verein TUFast die Strategie, die Fahrzeuge mit einem CFK-Monocoque zu bauen. Dies schafft einerseits die Möglichkeit, einen sehr leichten integralen Fahrzeugaufbau

zu verwirklichen, andererseits ermöglicht es die freie Formbarkeit der CFK-Bauteile, eine möglichst aerodynamische Außenhaut mit einer sehr hohen Steifigkeit für verbesserte Fahreigenschaften zu entwickeln. Alle Fahrzeuge werden mittels Kohlefaser-Prepregs gefertigt. Entscheidend ist dabei die Auslegung, die sich durch die Anisotropie des Materials besonders schwierig gestaltet. Hier ist es wichtig, auf einer Erfahrungsbasis aufzubauen. Neben dem Einsatz von FEM-Simulationen, bei denen der Lagenaufbau der CFK-Lagen und der Einsatz von Kernmaterial bestimmt wird, findet hier ein großer Austausch an Erfahrungswerten zwischen dem Eco- und dem Racing-Team statt, um ein Maximum an Steifigkeit bei niedrigem Gewicht zu erreichen. Dies wird vor allem durch den Sandwich-Aufbau erreicht. Gemeinsam durchgeführte experimentelle Tests, **BILD 2**, haben ergeben, dass mittels Aluminiumwabe die höchsten Steifigkeitswerte erreicht werden können. Kombiniert mit den extrem leichten Decklagen schafft es das Racing Team ein Monocoque mit 15,7 kg („out of autoclave“) und das Eco Team mit 5,9 kg zu bauen.

Dieser Gewichtsunterschied ist darauf zurückzuführen, dass die Chassis in der Formula Student auch auf Crashsicherheit ausgelegt werden müssen. Beim

Shell Eco-marathon ist das Chassis zum einen deutlich kleiner und es wird auf die kleineren Fahrwerkskräfte und das geringere Gewicht des Fahrers ausgelegt.

Der Austausch zwischen den Teams wird hierbei durch eine etablierte Infrastruktur gefördert. TUFast verfügt über drei gemeinsam genutzte Räumlichkeiten: ein Büro, eine Prototypenwerkstatt sowie ein Workshop zur Herstellung der CFK-Chassis. Durch die nicht vorhandene räumliche Trennung im Workshop, wird eng zusammen gearbeitet sowie die Fertigungstechniken und -verfahren im Hands-on-Modus verbessert und verfeinert. CFK-Bauteile werden zu 100 % in Eigenarbeit bei TUFast erstellt. Im Workshop werden daher Werkzeuge und andere Verbrauchsmaterialien gemeinsam genutzt.

Durch den zeitlichen Versatz ergibt sich im CFK-Workshop sowie der Prototypenwerkstatt eine gute Auslastung sowie eine erhöhte Nutzung von Werkzeugen und Gerätschaften, wie zum Beispiel dem Ofen, der zum Aushärten von CFK-Teilen benötigt wird. Diese müssen nur einmal angeschafft werden und werden von beiden Teams sowohl genutzt als auch bezahlt. Die durch diesen Prozess eingesparten Ressourcen können von beiden Teams in das Produkt reinvestiert werden.

AERODYNAMICS: DOWNFORCE VERSUS NO-FORCE

To be able to obtain top places in the two competitions, lightweight engineering is a central development goal for TUfast. The lighter the vehicle, the more efficient and faster it can accelerate or the more energy efficient it can sail. As a result, lightweight engineering is central for both teams. The second mutual development goal is aerodynamics, even if it is used completely different between the two teams.

Through the narrow and twisty courses of Formula Student the goal of using the aerodynamics is to achieve the highest possible output through the flow of air foils to achieve the highest possible lateral acceleration. Since the up- or downstream energy is driven by the kinematic energy of the vehicle, the colleagues of the Eco Team do have a different goal: to minimise the air resistance as much as possible.

Although the goals are contradictory, parallels can be drawn. Through multiple iterative simulations of the incident flow surfaces, the aerodynamics team from the Racing Team achieved a low drag coefficient at a maximum downforce and won the "Best Aerodynamic Award" in the Formula Student in Austria. The Eco Team was able to achieve a reduction in air resistance of 10 % by small changes in the geometries. Through the various optimisation goals, differing solutions are developed, but this helps both teams to broaden their horizons and hereby achieve better results.

MUTUAL CORE COMPETENCE: CARBON FIBRE / LIGHTWEIGHT CONSTRUCTION

For several years, the club TUfast follows the strategy of building vehicles with a CFRP monocoque. On the one side, this enables a very light, integral design – on the other side the easy-to-shape carbon parts allow an aerodynamic body shell with high stiffness for improved handling. All vehicles are manufactured

with carbon fibre prepreg. A crucial part is the design, which is very difficult due to the anisotropy - here it is very important to build up expertise. Besides the use of FEM-simulations, where the build-up-sequence of the CFRP-layers and the application of core material is determined, a big exchange of experience between the two teams is occurring, in order to achieve maximum stiffness and low weight. This is mostly accomplished due to the sandwich-composition. Joint conducted experimental tests, **FIGURE 2**, enable a maximum stiffness with the use of aluminium-honeycombs. Combined with the extremely light top layers, TUfast was able to build the Racing Team monocoque with 15.7 kg (out of autoclave) and the Eco Team monocoque with 5.9 kg.

This weight difference is due to the required crash safety in the Formula Student. At the Shell Eco-marathon, the chassis is significantly smaller and is designed for smaller carriage powers and the lower weight of the driver.

The exchange between the teams is raised through the established infrastructure. TUfast owns three mutually used rooms: an office, a prototype garage and a workshop for manufacturing the CFRP chassis. Through the non-existing room separation at the workshops, work is coordinated tightly and the manufacturing technologies and methods are improved in hands-on mode. All CFRP parts are 100 % self-made by TUfast in the workshop the equipment and the materials are used mutually.

Due to the temporal offset, the CFRP workshop and the prototype garage are used to capacity and the use of tools and equipment such as the oven for hardening the carbon parts is increased. They are acquired once and used and paid for by both teams. The hereby-saved resources can be reinvested into the product by both teams.

A SUCCESSFUL COOPERATION

All those measures help both TUfast teams to constantly reach top placements. Through the synergies in the

process, especially in the organization, much time and money can be saved and be reinvested into the projects – giving a major competition advantage. Of course these steps are not granted but rather require strict project management and controlling, implemented by the overall management. With this monitoring, it is possible to identify the described synergies quickly and maximise the technical development with maximum cost efficiency.

In all disciplines, the club TUfast tries to reach top performances. This season, the TUfast Racing Team took part with their racing cars nb016, **FIGURE 3**, and eb16, **FIGURE 4**. With the nb016 they captured the overall victory of Formula Student Combustion in Hockenheim, Germany. In addition, the race car nb016 was decorated with the Audi Progress Award for the best lightweight concept.

With its battery-driven prototype eLi16, **FIGURE 5**, the TUfast Eco Team was able to reach a value of 635 km/kWh: Converted to a one-litre equivalent of gasoline, this resembles a distance of 5646 km/l Super 95. At Shell Eco-marathon 2015, eLi15 also was the lightest vehicle at competition. In the field of efficiency, the team puts up records in worldwide terms. In July 2016, the TUfast Eco Team was awarded the title "World's Most Efficient Electric Vehicle". With a consumption of 81.6 Wh/100 km, a range of 11000 km per litre Super 95 was reached. This equals a distance from Munich to Cape Town.

These successes are a reflection of how both teams benefit from the mutual work despite their differences. The intense exchange of know-how in various fields enables the teams – Eco Team focusing on sustainability and energy efficiency and Racing Team trimmed for high performance – to reach excellent achievements in their particular disciplines. Furthermore, internal rivalry aroused and every member can be motivated to perform best.



BILD 3 nb16 bei der FSG 2016 (© TUfast | Steffen Weik)
FIGURE 3 nb16 at FSG 2016 (© TUfast | Steffen Weik)



BILD 4 eb16 bei der FSG 2016 (© TUfast | Steffen Weik)
FIGURE 4 eb16 at FSG 2016 (© TUfast | Steffen Weik)



BILD 5 eLi15 beim Shell Eco-marathon 2015 (© Shell Eco-marathon | Marcel Van Hoorn)
FIGURE 5 eLi15 at Shell Eco-marathon 2015 (© Shell Eco-marathon | Marcel Van Hoorn)

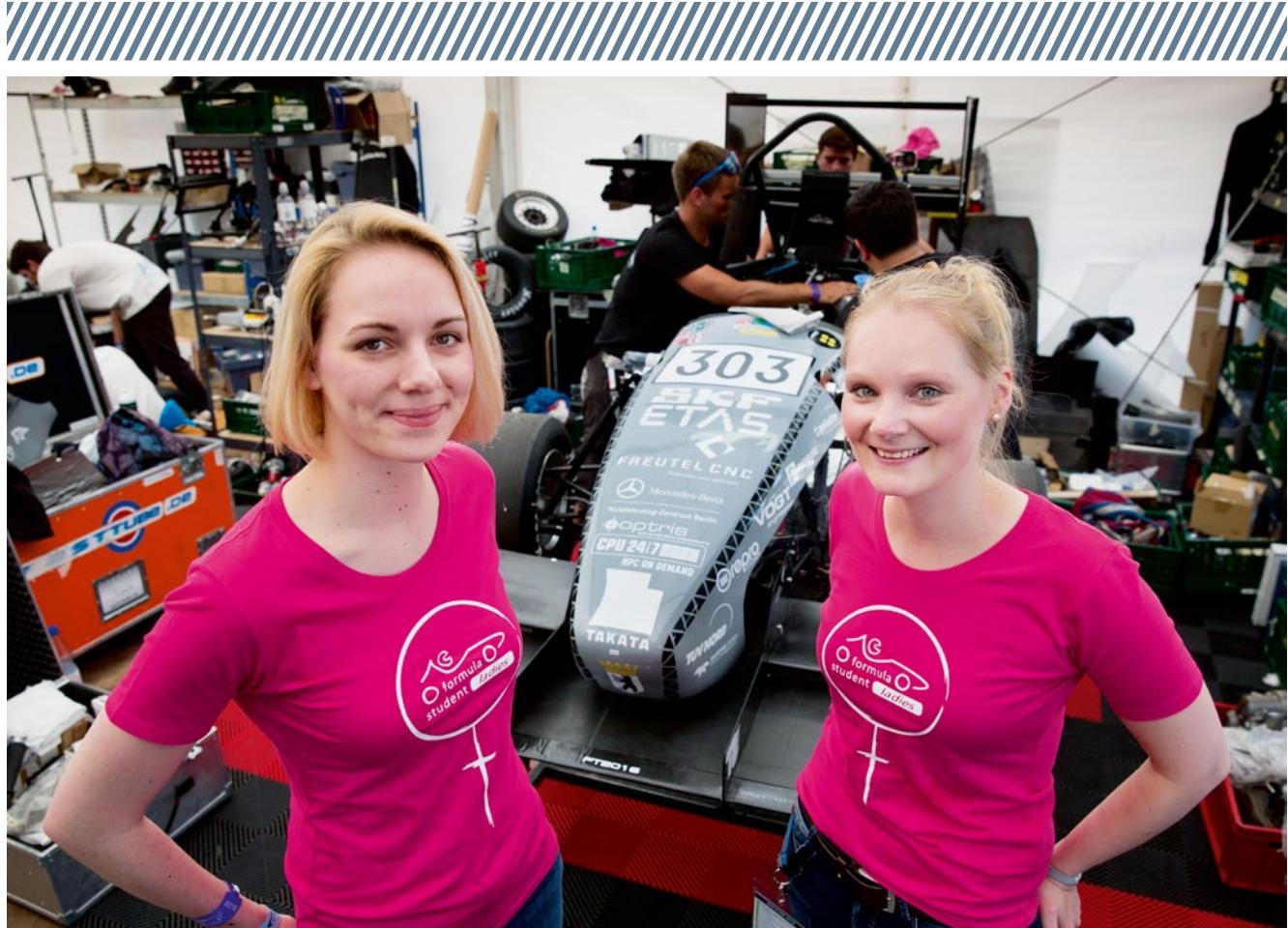
ERFOLGREICHE KOOPERATION

Bedingt durch diese Maßnahmen erreichen beide TUfast-Teams beständig Spitzenplatzierungen. Durch die Synergien im Prozess, vor allem von organisatorischer Seite, kann Zeit und Geld gespart werden, das wiederum in die Fahrzeuge investiert wird, wodurch sich ein Wettbewerbsvorteil für beide Teams ergibt. Natürlich sind diese Maßnahmen keine Selbstläufer, sondern erfordern striktes Projektmanagement und Controlling, das von der Vereinsführung projektübergreifend durchgeführt wird. Durch diese Kontrolle lassen sich die beschriebenen Synergien schneller identifizieren und die technische Entwicklung bei größtmöglicher Kosteneffizienz maximieren.

Der Verein TUfast versucht in allen Disziplinen Bestleistungen zu erreichen. So ist das TUfast Racing Team dieses Jahr mit den Rennwagen nb016, **BILD 3**, und eb16, **BILD 4**, angetreten und konnte den Gesamtsieg der Formula Student Combustion (FSC) in Hockenheim erringen. Außerdem wurde der Rennwagen nb016 mit dem Audi Vorsprung Award für das beste Leichtbaukonzept ausgezeichnet.

Das TUfast Eco Team konnte dieses Jahr mit dem rein batteriebetriebenen Prototypen eLi16, **BILD 5**, einen Wert von 635 km/kWh erreichen: Auf einen Liter Benzinäquivalenz umgerechnet entspricht dies einer Strecke von 5646 km/l Super 95. Beim Shell Eco Marathon 2015 war der eLi15 zudem das leichteste Fahrzeug des Wettbewerbs. Das Team setzte im Bereich Effizienz Bestmarken, die weltweit Gültigkeit besitzen. Im Juli 2016 wurde dem TUfast Eco Team der Titel „World's Most Efficient Electric Vehicle“ verliehen. Mit einem Verbrauch von 81,16 Wh/100 km könnte man umgerechnet mit einem Liter Super 95 knapp 11000 km weit fahren. Einer Strecke, die der von München nach Kapstadt entspricht.

Die Erfolge sind ein Spiegelbild dessen, dass beide Teams trotz ihrer Unterschiede von der gemeinsamen Arbeit profitieren. Der intensive Austausch von Know-how in sehr vielen Gebieten ermöglicht es den Teams – Eco Racing mit dem Fokus auf Nachhaltigkeit und Energieeffizienz sowie dem auf Performance getrimmten Racing Team – hervorragende Leistungen in ihren jeweiligen Disziplinen zu erreichen. Darüber hinaus kann im Team intern Konkurrenz entfacht und jedes Mitglied zu Höchstleistungen motiviert werden.



© Frank Eppeler

„Nicht nur eine Männerache“

Die Formula Student ist ein Sprungbrett für einen erfolgreichen Berufseinstieg. Besonders jene Frauen profitieren, die dort kräftig „mitschrauben“. Cornelia Beyer, Lions Racing Team Braunschweig, und Friederike Häusler, Formula Student Team TU Berlin, haben das erste teamübergreifende Frauen-Netzwerk der Formula Student gegründet: die Formula Student Ladies.

ATZextra _ Frau Beyer, Frau Häusler, wie sehr muss jemand im Motorsport vorbelastet sein, um sich in einen selbstgebauten Rennwagen zu setzen und dann mit hoher Geschwindigkeit einen abgesteckten Parcours zu fahren?

BEYER _ Eigentlich gar nicht. Ich hatte bis zu meinem Engagement hier bei der Formula Student keinen Bezug zum Rennsport. Aber ich hatte schon zu Beginn des Studiums mit dem Gedanken

gespielt, nach dem Abschluss direkt in der Automobilindustrie zu arbeiten ...

... in einem Berufsfeld, das derzeit nahezu ausschließlich von Männern dominiert wird und wo die Attribute Leistung und Geschwindigkeit im Vordergrund stehen?

HÄUSLER _ Ja, noch ist das so. Aber schnelle Autos gefallen ja nicht nur Männern. Auch wir haben Benzin im

Blut und schnelle, sportliche Fahrzeuge lassen unsere Herzen höher schlagen. So hatten wir durch unser Netzwerk die Chance auf eine Exkursion bei Bugatti ...

... einer sehr schönen, emotional besetzten Marke.

BEYER _ Auch aus diesem Grund habe ich dort meine Masterarbeit geschrieben. Während der Exkursion durften wir im

Übrigens nicht nur der Entwicklung über die Schulter schauen, haben beispielsweise ein komplett zerlegtes Getriebe gesehen, sondern erfuhren auch viel über die vielfältigen Entwicklungsthemen. Das war schon beeindruckend. Später durften wir uns in den Bugatti Veyron setzen. Als der Bugatti Chiron dann gestartet wurde, haben wirklich bei jeder von uns die Augen geleuchtet.

Ist diese Begeisterung der Grund gewesen, die Formula Student Ladies ins Leben zu rufen?

HÄUSLER _ Initial war eigentlich ein Projekt eines gemeinsamen Sponsors verschiedener Teams. Die Studentinnen in der Formula Student sind in den einzelnen Teams nicht viele, aber in allen Bereichen der Entwicklung der Rennwagen beteiligt. In dem Projekt ging es letztendlich darum, ein Video zu drehen und fiktiv nur mit den weiblichen Teammitgliedern ein Formula-Student-Fahrzeug zu bauen.

Und dies hat dann auf Anhieb geklappt?

BEYER _ Sozusagen. Wir hatten durch die Aktion sehr viel Kontakt zu anderen Studentinnen der Formula Student, haben festgestellt, wie unkompliziert die Zusammenarbeit ist. Wichtig war, sich mit anderen Teams auszutauschen, zu kommunizieren. Das wollten wir dann weiter ausbauen. So entstand der Plan, mehr Frauen in das Netzwerk zu holen. Außerdem haben wir uns überlegt, wie wir auch mit Schülerinnen in Kontakt kommen. Damit wollen wir dem ein oder anderen Mädchen zeigen, dass ein Studium des Ingenieurswesens nicht nur eine Männersache und die Automobilbranche überhaupt nicht verstaubt ist. Und im Hinblick auf die Formula Student ist das doch wahnsinnig cool!

Cool und vor allem sehr unkonventionell, wie ein Blick in die Fahrerbox mancher Teilnehmer zeigt. Die Formula-Student-Szene ist sehr studentisch geprägt, obwohl das Arbeiten sehr professionell organisiert ist. Wie unterscheidet sich das Arbeiten bei den Ladies?

HÄUSLER _ Gar nicht. Auch bei der Netzwerkarbeit der Formula Student Ladies treten genau die gleichen Phänomene auf, wie bei dem eigenen Team. Ich würde das Arbeitsklima nicht nach Geschlechtern trennen wollen. Bei uns ist auch mancher Kerl die größere Frau im Formula-Student-

© Frank Eppeler



Die Formula Student Ladies am Hockenheimring
The Formula Student Ladies at Hockenheimring

Team ist. Es ist vor allem immer von der jeweiligen Persönlichkeit abhängig und nicht vom Geschlecht.

Damit ist auch der Blick auf die Mobilität derselbe?

BEYER _ Sie meinen, ob wir eher zur Elektromobilität tendieren?

Beispielsweise.

BEYER _ Ich glaube, dass die Elektromobilität zurzeit ein sehr großes Thema ist, auch in der Formula Student. Sie bietet ja eine Menge Vorteile. Und sie verspricht auch eine Menge Spaß. Ich denke da nur an die Beschleunigung. Aber ich muss Ihnen auch sagen, dass ich einen Verbren-

Doch die Anstrengungen scheinen sich für einen späteren Berufseinstieg auszuzahlen. Sie haben nach Ihrem Studium gleich nahtlos ins Berufsleben wechseln können.

BEYER _ Ja, das stimmt. Ich konnte direkt nach meinem Studium in das Berufsleben starten und beschäftigte mich nun weiterhin mit automobilen Fragestellungen.

Und zu guter Letzt, wie fing alles an, wie sind Sie zur Formula Student gekommen?

BEYER _ Ich fand es generell interessant. Als ich davon im ersten Semester in der Uni gehört habe. Ich habe dann allerdings bis zum dritten Semester gewartet, um zu sehen, wie das im Studium läuft und bin dann langsam eingestiegen.

„Wir wollen dem einen oder anderen Mädchen zeigen, dass ein Studium des Ingenieurswesens nicht nur eine Männersache ist“

nungsmotor, mit seinem Geräusch, dem Geruch nach Kraftstoff, nicht missen möchte. An dieser Stelle wäre es sicher typisch für eine Frau zu sagen, nehmen wir doch einen Hybrid. Da haben wir beide Antriebsarten und sind glücklich.

Sie sind in Ihrem Team jedoch von einem Rennwagen mit Verbrennungsmotor auf ein Elektrofahrzeug umgestiegen?

BEYER _ Ja. Und das war ein Riesenthema. Es hat nämlich gezeigt: auch wenn man sehr viel Knowhow hinsichtlich eines Verbrennungsmotors aufgebaut hat, so kommen doch sehr viele neue Themen auf die Teams zu. Und damit auch sehr viele Herausforderungen etwa im Hochvoltbereich, der Batterietechnik etc.

Zu der Saison 2011 bin ich dann ins Lions Racing Team der TU Braunschweig eingestiegen. Von da an habe ich in vier Saisons ganz unterschiedliche Aufgaben übernommen,

HÄUSLER _ Ich habe von der Formula Student schon vor dem Studium sozusagen über drei Ecken von jemandem gehört, der das selbst gemacht hat und davon total begeistert war. „Wir sind Studenten und wir bauen einen Rennwagen“, erzählte er. Das fand ich faszinierend. Ich habe dann aber auch erst im dritten Semester aktiv mitgemacht.

Frau Beyer, Frau Häusler, vielen Dank für das interessante Gespräch.

INTERVIEW: Andreas Burkert

“Not just for men”

Formula Student is a steppingstone for a successful career. Especially those women benefit who aren't afraid to get their hands dirty. Cornelia Beyer, Lions Racing team Braunschweig, and Friederike Häusler, Formula Student team of TU Berlin, founded the first network of Formula Student for women across all teams: the Formula Student Ladies.

ATZextra _ Cornelia Beyer, Friederike Häusler, **how much someone has to be biased in motorsport, to sit down in a self-built racing car and then driving with high speed at the track?**

BEYER _ Not really. I had no relation to the racing sport up to my commitment here at the Formula Student. But at the beginning of my studies, I had already thought of working directly in the automotive industry after graduation ...

... in an occupational area that is almost exclusively dominated by men and where the attributes of performance and speed are at the forefront?

HÄUSLER _ Yes, it's still. But not just men like fast cars. Also we have petrol in our blood and fast, sporty cars make our hearts beat faster. So through our network we had the chance of an excursion to Bugatti ...

... a very beautiful, emotionally filled brand.

BEYER _ That's one of the reasons why I worked on my master's thesis there. During our visit we not only had the opportunity to look over the developers' shoulders. We also saw a complete gearbox in pieces and found out about the many different areas of development. It was very impressive. Later we were allowed to sit in the car. When the engine was started, I saw everyone's eyes light up.

Is this enthusiasm the reason why you started the Formula Student Ladies?

HÄUSLER _ Initially, it was a project launched by a joint sponsor of several different teams. We came from different universities and were working on developing our cars. Initial was actually a project of a joint sponsor of various teams. The female students in the Formula Student are not many, but participate in the individual teams in all areas of development of the race car. In the end, the project was to shoot a video and fictively build a Formula Student car with only the female team members.

And this worked out straight away?

BEYER _ Pretty much. The project meant that we were in close contact with the other women team members and we found how easy it was to work together. The important thing was sharing information and communicating with the other teams. That we wanted to expand. So the plan to bring more women into the network was created. We also thought about how to get in contact with schoolgirls. In this way, we

its noise and the smell of fuel. At this point, it would certainly be typical for a woman to say, let's take a hybrid. Since we both drive and are happy.

But in your team you've built an electric car.

BEYER _ Yes. And it was a huge issue. It showed that however much expertise you have developed in the field of combustion engines, electric cars involve a

“We wanted to show girls at school that studying engineering is not just for men”

wanted to show one or the other girl that a study of engineering is not just a man's business and the automobile industry is not at all dusty. And in view of the Formula Student that's insanely cool!

Cool and also highly unconventional, as a glance into the garages of many of the teams shows. The Formula Student scene has a very student-like feel, although the work is organised very professionally. How different are things on the ladies' team?

HÄUSLER _ Not at all. In the network work of the Formula Student Ladies, exactly the same phenomena occur as in the team. I would not want to separate the working climate from gender. I wouldn't divide the working environment up by gender. Some of the men are the biggest girls on the team. It all depends on your personality.

That means your view of mobility is the same?

BEYER _ You mean, if we are more inclined to electromobility?

Yes, that's one example.

BEYER _ I believe that electromobility is currently a very big issue, also in the Formula Student. What is very clearly seen in the steadily increasing numbers of the teams with an electronic drive. It offers a lot of advantages. And it promises a lot of fun. I'm thinking of acceleration. But I must also tell you that I do not want to miss an internal combustion engine, with

lot of new questions for the teams and also a lot of challenges, such as high voltage systems, battery technology etc.

But all the effort seems to pay off when it comes to starting work. You moved straight into a job after you graduated.

BEYER _ Yes, that's right. I got a job immediately after university and I'm still working on automotive issues.

Finally, how did it all start? How did you get involved in Formula Student?

BEYER _ I was interested when I heard about it during my first semester at university. But I waited until the third semester to see how my course was going and then gradually got involved. I joined the Lions Racing Team at the Technical University of Braunschweig for the 2011 season. From then on I had a number of different roles during the course of four seasons.

HÄUSLER _ Before I went to university, I heard about Formula Student indirectly from someone who'd been part of a team himself and was completely inspired by it. “We're students and we're building a racing car,” he said. I found it fascinating, but I also didn't get involved myself until my third semester.

Cornelia Beyer, Friederike Häusler, thank you for this interesting conversation.

INTERVIEW: Andreas Burkert

WIR BEI ZF. DUALE STUDENTEN UND MOTORSPORT-FREUNDE.

Wir studieren an verschiedenen Hochschulen, aber haben eines gemeinsam: die Leidenschaft für Formula Student. Bei diesem Konstruktionswettbewerb für Studenten muss man mit vollem Engagement bei der Sache sein. Denn in nationalen und internationalen Teams entwickeln wir einen kompletten Rennwagen von Grund auf neu. Wir sind Johanna, Meike und Tobias und machen ein duales Studium bei ZF. So können wir die Theorie in der Praxis erleben, und freuen uns, dass uns ZF bei unserem Abenteuer Formula Student bestmöglich unterstützt. Mehr über uns und ZF gibt es unter: www.ich-bei-zf.com.



MOTION AND MOBILITY



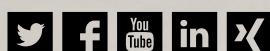
DUALES STUDIUM



ZF Friedrichshafen AG



twitter.com/zf_konzern
facebook.com/zffriedrichshafen
youtube.com/zffriedrichshafenag



Scan den Code und erfahre mehr über uns und die Arbeit bei ZF:





Jörg Ohlsen,
CEO der Edag
Engineering
GmbH

Jörg Ohlsen,
CEO of Edag
Engineering
GmbH

© Edag

Generalprobe als Entwicklungsingenieur

Die Entwicklung eines Fahrzeugs ist technisch hoch komplex, organisatorisch anspruchsvoll und vor allem auch Teamarbeit. Diese Erfahrung machen nicht nur wir in unserer täglichen Arbeit, sondern auch die Teams der Formula Student, die ein eigenes Rennfahrzeug auf die Beine stellen. Bei der Formula Student sind genau die Qualitäten gefragt, die bei uns als Engineering-Unternehmen in der Projektarbeit für unsere Kunden aus der Automobilindustrie benötigt werden: Technische Konzepte und Innovationen entwickeln, integrieren und termingerecht umsetzen. Aus diesem Grund sind wir bekennende Fans dieses Wettbewerbs.

Die Engineering-Kompetenz des studentischen Nachwuchs honorieren wir seit 2012 mit dem Edag Integration Excellence Award. Dabei können sich alle Formula Student Teams mit Ihren Konzepten und technischen Lösungen bei uns bewerben. Die besten fünf Teams lädt unsere Fachjury zu einer finalen Wettbewerbspräsentation ein. Dabei interessiert uns besonders, wie die Teams ihre technische Innovation integriert haben und welche Vorteile damit für ihr Gesamtfahrzeug generiert wurden. Zusätzlich haben wir als weitere Bewertungskriterien auch die Projektmanagement-Qualitäten der Teams und die Professionalität ihrer Wettbewerbspräsentation aufgenommen. Die Formula Student ist eine realitätsnahe Generalprobe für die spätere Arbeit als Entwicklungsingenieur. Daher unterstützen wir die Teams neben unserem Award zusätzlich mit Sachleistungen wie bei unserem Fallturm-Event. Dort können die Teams ihre Crashboxen mit professionellem Testequipment validieren und von der Expertise unserer Versuchingenieure profitieren. Ich freue mich bereits heute auf die 5. Auflage des Edag IE Award der Ende des Jahres stattfinden wird und bin gespannt auf die Konzepte unserer diesjährigen Finalisten.

Dry Run for Development Engineers

Though technically complex and organisationally challenging, more than anything, the development of a vehicle means team work. This is not just something we experience in our day-to-day work, but also a fact familiar to the Formula Student teams, who put together their own racing cars. The Formula Student calls for precisely those qualities which, as an engineering company, we need in our project work for our customers from the automotive industry: developing, integrating and implementing technical concepts and innovations within prescribed time limits. For this reason, we are professed fans of the competition.

Since 2012, we have been offering the “EDAG Integration Excellence Award” in recognition of the engineering skills of these students. All the Formula Student teams can enter by submitting their concept and technical solutions. Our expert jury then invite the best five teams to take part in a final competition presentation. We are particularly interested to see how the teams have integrated their technical innovations and what advantages they have generated for their vehicles in the process. In addition, we have also included additional assessment criteria, namely project management qualities and the professionalism of the contestants’ presentations. The Formula Student is a realistic dry run for these people before they set out on their future careers as development engineers. Therefore, apart from our award, we also offer the teams non-cash prizes such as our “drop tower event”. This gives the teams the chance to use professional test equipment to validate their crash boxes and benefit from the expertise of our test engineers. I am already looking forward to the 5th Edag IE Award contest at the end of the year, and am eager to see what concepts this year’s finalists have developed.



ANYTHING CAN BE REINVENTED. EVEN THE STEERING WHEEL.

SHARE YOUR PASSION FOR
AUTONOMOUS DRIVING WITH US.

To revolutionise the future of mobility, one has to go ahead and set standards today. Intelligent technologies that are increasingly taking over driving tasks and providing greater safety and comfort are already in use in our vehicles. Increasing our lead in autonomous driving will need visionary thinkers and creative developers. Specialists in the fields of machine learning, artificial intelligence, sensor technology and software development will work in expert teams, in centres of excellence networked around the world, to redefine the limits of what is possible.

Are you looking for an exciting challenge? Then apply online at <http://bmw.jobs/autonomousdriving> and join our team. You can find out more about us as an employer, our entry programmes and other job opportunities under www.bmwgroup.com/career

 facebook.com/bmwkarriere

BMW
GROUP

THE NEXT
100 YEARS



Rolls-Royce
Motor Cars Limited



Pioniergeist. Der beste Antrieb für bahnbrechende Ideen.

1933 – der „Fliegende Hamburger“, der „ICE der 30er Jahre“, bricht mit dem GO-5-Dieselmotor alle Geschwindigkeitsrekorde.

Als technischer Direktor und Konstrukteur bewies Karl Maybach schon früh, dass das richtige Umfeld zu Innovationen führt. Aus dieser Tradition und mit Überzeugung, dass Diversität inspiriert, suchen wir auch heute stetig nach zukunftssträchtigen Lösungen. Jeder einzelne unserer Mitarbeiter. Denn Pioniergeist treibt uns an.

Powered by pioneers.

Seien Sie neugierig. Realisieren Sie Ihre Ideen und erfahren Sie mehr unter www.rrpowersystems.com/karriere