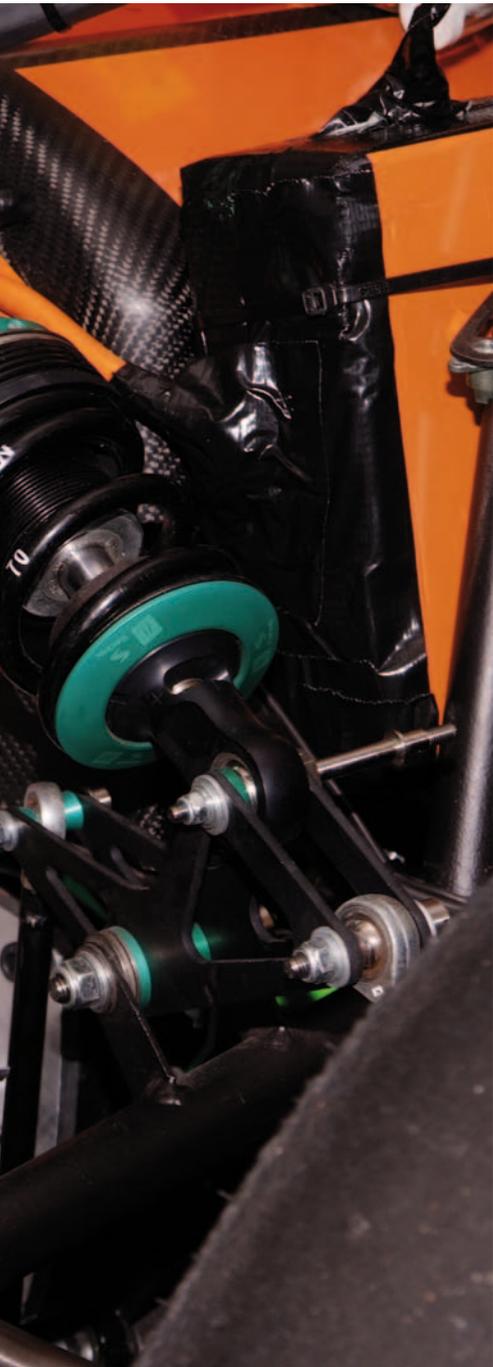


DIE NEUE FORMULA STUDENT ELECTRIC

Die Formula Student Germany beschreitet in diesem Jahr einen neuen Weg: Neben den Rennwagen mit Verbrennungsmotor starten nun auch Fahrzeuge mit reinem elektrischen Antrieb. Auch für die Teilnahme an der Formula Student Electric müssen sich die Teams mit einem anspruchsvollen Reglement auseinandersetzen.



MOTIVATION

Aktuell entwickeln Automobilhersteller mit Hochdruck Hybrid- und Elektroautos. Grund dafür sind die immer dringlicher werdenden ökologischen Notwendigkeiten für emissionsfreie beziehungsweise reduzierte Antriebe und das absehbare Ende fossiler Rohstoffe. Es scheint, dass nichts an einem umfassenden Technolo-

giewechsel vorbeiführt, wenn der Grad an Mobilität, wie er heute für selbstverständlich erachtet wird, auch für zukünftige Generationen garantiert sein soll.

Dieser Technologiewechsel kann nur dann erfolgreich und nachhaltig umgesetzt werden, wenn Ingenieure sowie Spezialisten anderer Fachrichtungen mit einer modernen, umfassenden und interdisziplinären Ausbildung auf diese Aufgabe vorbereitet werden. Dieses Ziel verfolgen die Organisatoren der Formula Student Germany mit der Einführung der Formula Student Electric (FSE). Die diesjährige FSE in Deutschland ist der weltweit erste Formula-Student-Wettbewerb, der die teilnehmenden Studenten dazu auffordert, ausschließlich Fahrzeuge mit rein elektrischen Antrieben zu bauen. Durch ihre Teilnahme an der FSE erwerben sie zum einen umfassendes Know-how über rein elektrische Antriebe. Zum anderen werden sie auf diese Weise auf die beruflichen Herausforderungen der Zukunft vorbereitet und können sich dabei kreativ und mit viel Spaß in das Thema Elektromobilität einarbeiten.

Bei FSE-Fahrzeugen unterscheidet sich der Antriebsstrang, ❶, in einigen wesentlichen Punkten vom Antriebsstrang eines konventionellen Formula-Student-Combustion (FSC)-Fahrzeugs. Das FSE-Reglement erlaubt ausschließlich den Antrieb mittels elektrischer Motoren, die ihre Energie zum Antrieb des Fahrzeugs aus Akkumulatoren beziehen müssen. Darüber hinaus werden die technischen Freiheiten der Teams möglichst wenig eingeschränkt. Weitere Regeln dienen in erster Linie der Gewährleistung der Sicherheit der Fahrzeuge und ihrer Fahrer.

TRAKTIONSBATTERIE

Jedes FSE-Fahrzeug ist mit einer Traktionsbatterie ausgestattet. Ihre Funktion besteht darin, die zum Antrieb benötigte Energie in chemischer Form zu speichern. Auf diese Weise nimmt sie die Aufgabe des Kraftstofftanks beziehungsweise des Kraftstoffs bei FSC-Fahrzeugen wahr. Eine wichtige Kenngröße der verwendeten Batterietypen ist die Energiedichte, die bezeichnet wie viel Energie pro Gewicht beziehungsweise Bauraum gespeichert werden kann. Der aktuelle Stand der Technik sind Batterien auf Lithium-Basis, die eine spezifische Energiedichte von etwa 100 Wh/kg erreichen.

AUTOREN



ANN-CHRISTIN BARTÖLKE
ist zuständig für den Bereich Communications/Layout & Führungen bei der FSG, war ehemaliges Teammitglied der TU Braunschweig und ist Diplomandin bei der Continental AG.



TOBIAS MICHAELS
gehört zum Executive Committee FS-Electric und ist am Braunschweig Institute of Technology tätig.



JOHANNA SCHEIDER
ist als Leiterin der FSG-Redaktion zuständig für den Bereich Communications und bei der Zalbertus New Media GmbH tätig.

Die Energiemenge, die für ein Endurance-Rennen, das 22 km lang ist, benötigt wird, beträgt etwa 5 bis 6 kWh. Lithium-Batterien, denen diese Energiemenge entnommen werden kann, wiegen etwa 70 kg und nehmen einen Bauraum von zirka 125 l ein - das Bauraumvolumen eines Tanks in einem FSC-Fahrzeug beträgt 5 l. Das Gewicht der Batterien ist damit im Vergleich zu den gefüllten Kraftstofftanks der FSC-Fahrzeuge etwa zehnfach höher. Zusätzlich sind möglicherweise noch aufwendige Kühlsysteme erforderlich, um die verhältnismäßig empfindlichen Batterien innerhalb eines optimalen Temperaturfensters zu betreiben. Trotzdem ergeben sich dadurch deutliche Vorteile, da das Reglement die Möglichkeit gibt, die Batterien frei und verteilt im Fahrzeug zu positionieren. Dadurch kann unter anderem ein niedrigerer Schwer-

THE NEW FORMULA STUDENT ELECTRIC

The Formula Student Germany breaks new ground this year: Besides race cars with combustion engine, vehicles with purely electric drive train are starting now as well. To be able to participate in the Formula Student Electric, the teams also have to deal with a challenging set of rules.

MOTIVATION

The automotive industry works feverishly on the development of hybrid and electric vehicles. Reasons are the increasing ecological necessities for zero-emission or low-emission drive trains and the demise of fossil fuels. There seems to be no other option than a complete change-over to new technologies, if the degree of mobility that is taken for granted today shall be maintained for future generations.

This technological change-over can only be achieved in a successful and sustainable way, when engineers and specialists from a whole range of disciplines are prepared for the upcoming task through comprehensive and interdisciplinary education. The organizers of Formula Student Germany introduced Formula Student Electric (FSE) in 2010 with precisely this goal in mind. This year's FSE in Germany was the worldwide first Formula Student competition to ask the participating students to build cars with pure electric drive trains. By participating in FSE, students develop a thorough understanding of all-electric drive trains. Furthermore, they will be prepared for the professional challenges of the future and have the chance to gain experience with electric mobility in a creative and entertaining way.

TRACTION BATTERY

The drive train of a FSE vehicle, , differs in key points from the drive train of a conventional Formula Student Combustion (FSC) vehicle. The FSE rules only allow for the use of electric motors, which may only be powered by means of batteries. The central idea behind the FSE rules is to restrict a team's freedom as little as possible whilst ensuring the electrical safety of their vehicle at all times.

In an FSE vehicle the energy needed for propulsion is stored chemically in the traction battery, which thereby substitutes the fuel tanks and the fuel in a vehicle with a

conventional internal combustion engine. An important characteristic for batteries used in electric vehicles is the energy density, that is a measure that describes how much energy per mass and installation volume can be stored. The current state of the art are lithium-based batteries with a specific energy density of 100 Wh/kg.

The amount of energy needed for the 22 km endurance discipline is about 5 to 6 kWh. Lithium-ion batteries that can provide the needed amount of energy weigh about 70 kg and require an installation volume of about 125 l – the typical fuel tank volume of an FSC vehicle is about 5 l. The battery weight for an FSE vehicle is therefore about ten times higher than that of a full fuel tank containing the same amount of energy for an FSC vehicle. Additionally, it might be necessary to use extensive cooling systems in order to be able to operate the relatively sensitive batteries within an optimal temperature range. There are clear advantages, however, as the batteries can be positioned freely and independently within the vehicle. This can result in a lower centre of gravity compared to an FSC vehicle which in turn allows higher cornering speeds. Since there were just about six hours between the autocross and the endurance in the FSE 2010 competition, a short charging time is another important characteristic to consider when choosing a battery type. Optionally, the FSE rules allow the use of replaceable batteries where longer charging times can be compensated for by exchanging the battery pack and charging the second battery pack outside the vehicle.

SAFETY

Safety has always been and will continue to be an important part of Formula Student Germany. With the introduction of the electric class there are new aspects to be considered in the safety concept. Some battery types can catch fire in the event of failure, as a result, strict requirements, similar to those for the fuel systems of

FSC vehicles, are necessary. For this reason, the driver has to be protected from the batteries by fire-resistant materials.

To protect the participants from the operating voltage of up to 600 V of FSE vehicles, the rules demand the use of an insulation-monitoring device. Such a device constantly monitors the insulation of the entire high-voltage system and immediately cuts off the high-voltage system safely if an insulation fault is detected. These measures ensure a high safety standard against electrical accidents. Additionally, an electronic battery monitoring system, the motor controller, is required by the rules. The battery is connected directly to the motor controller(s), which on the other side is connected to the electric motor and regulates and monitors the motor performance. The integrated electronic control unit computes the amount of energy going to the motors based on driver input combined with various parameters. The basis of these parameters for the motor controllers is determined on a specific motor test bench – similar to the approach for an internal combustion engine on an engine test bench. The main parameter to determine the needed drive power is the accelerator pedal position. FSE rules prescribe this

AUTHORS

ANN-CHRISTIN BARTÖLKE

is responsible for the Division Communications/Layout & Guided-Tours at the FSG, was a former Team Member of TU Braunschweig and is a Graduate Student at the Continental AG (Germany).

TOBIAS MICHAELS

is Part of the Executive Committee FS Electric and works at the Braunschweig Institute of Technology (Germany).

JOHANNA SCHEIDER

as Chief of the FSG Editorial Office, she is responsible for the Division Communications and works at the Zalbertus New Media GmbH (Germany).

punkt im Vergleich zu einem FSC-Fahrzeug erreicht werden, der wiederum eine höhere Kurvengeschwindigkeit ermöglicht.

Da 2010 während des FSE-Wettbewerbs zwischen dem Autocross und dem Endurance-Rennen nur etwa 6 h lagen, ist auch eine geringe Ladezeit eine wichtige Kenngröße des Batteriekonzepts. Zusätzlich erlaubt das Reglement die Verwendung von mehreren austauschbaren Batterien, so dass im Zweifelsfall durch den schnellen Austausch einer Batterie eine längere Ladezeit außerhalb des Fahrzeugs in Kauf genommen werden kann.

SICHERHEIT

Die Sicherheit spielt in jedem Jahr eine wichtige Rolle. Durch die Einführung der Elektrik-Klasse ergeben sich neue Aspekte, die beim Sicherheitskonzept berücksichtigt werden müssen. Unter anderem können bestimmte Batterietypen im Fehlerfall in Brand geraten, daher gelten für sie ähnlich strikte Anforderungen wie für den Kraftstofftank der FSC-Fahrzeuge. Aus diesem Grund wird der Fahrer unter anderem durch feuerfeste Materialien vor den Batterien geschützt.

Um die Teilnehmer jedoch auch vor der bis zu 600 V betragenden Betriebsspannung der FSE-Fahrzeuge zu schützen, schreibt das Reglement zwingend den Einsatz eines Systems zur Isolationsüberwachung vor. Dieses System überwacht ständig die ausreichende Isolation des gesamten Hochspannungssystems und schaltet bei Isolationsfehlern sofort das gesamte Hochspannungssystem sicher ab.



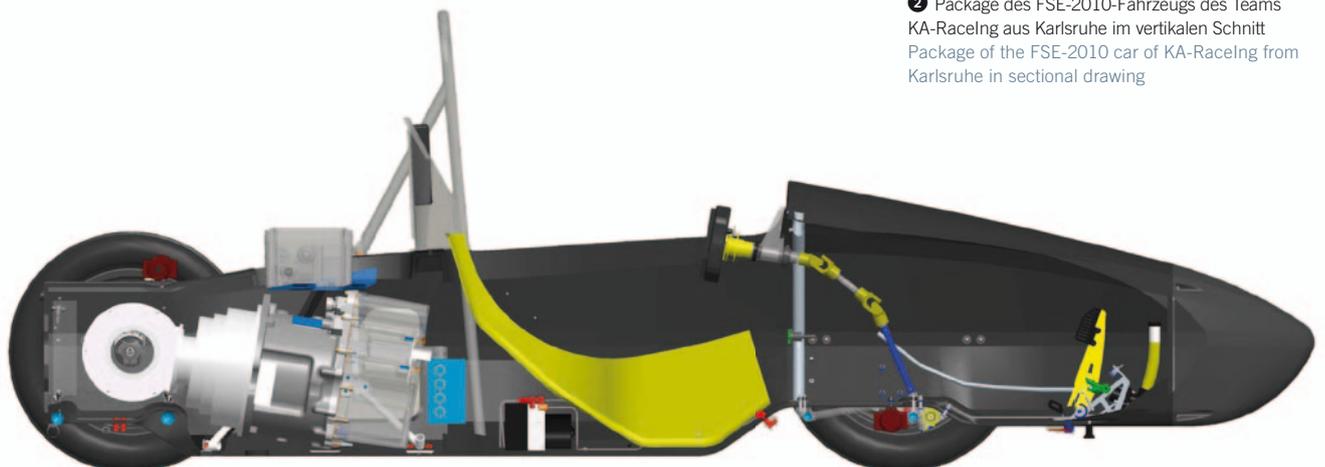
1 Einige Teams entwickeln zahlreiche Komponenten des HV-Systems und Antriebsstrangs selbst: Getriebe, Akkupack, Elektronik und Motorkomponenten des WHZ Racing Teams aus Zwickau
Some of the teams that participated in this year's FSE developed numerous components of the HV system and the power train by themselves: transmission, accumulator pack, electronics and motor components of the WHZ Racing Team from Zwickau

Dadurch ist eine sehr hohe Sicherheit vor Elektrounfällen gewährleistet.

Zusätzlich wird ein elektronisches Batterieüberwachungssystem, der Motor-Controller, durch das Reglement gefordert. Die Traktionsbatterie ist direkt an den oder die Motor-Controller angeschlossen, dieser ist auf der anderen Seite mit dem zu steuernden Elektromotor verbunden und regelt und überwacht die Motorleistung.

Die Vorgaben für die angeforderte Motorleistung werden von dem integrierten elektronischen Steuergerät auf Basis von verschiedensten Parametern berechnet. Die Basisparameter für die Motorsteuerung wer-

den – ähnlich wie beim Verbrennungsmotor – auf einem speziellen Motorprüfstand ermittelt. Bei der Nutzung im Fahrzeug ist die Haupteinflussgröße auf die abgegebene Motorleistung die Gaspedalstellung. Diese wird dabei aus Sicherheitsgründen durch mindestens zwei Sensoren ermittelt, die ständig durch das elektronische Steuergerät auf Fehlerfreiheit überprüft werden. Weitere maßgebliche Einflussgrößen auf die Motorleistungs- beziehungsweise Drehmomentregelung können unter anderem der Radschlupf, die Querbeschleunigung und der Batteriezustand sein. Insgesamt nimmt der Motor-Controller mehr Raum und Gewicht in An-



2 Package des FSE-2010-Fahrzeugs des Teams KA-RaceIng aus Karlsruhe im vertikalen Schnitt
Package of the FSE-2010 car of KA-RaceIng from Karlsruhe in sectional drawing

position as monitored by a minimum of two sensors, which are constantly monitored on accuracy and plausibility by the electronic control unit. Other key characteristics that influence the drive power output or torque output may include wheel slip, lateral acceleration and battery condition. Overall, the motor controller occupies more space and adds more weight to the car than the comparable engine control unit in a FSC vehicle.

ELECTRIC MOTOR

Choice of motor type and number are key to the drive train concept of an FSE vehicle. At present, the FSE rules allow the use of DC and AC motors. DC motors are cheaper and easier to control by motor controllers than AC motors. AC motors in contrast have a higher efficiency and a higher power density than DC motors. Motors with a higher power density, however, often need water cooling, similar to power electronics for high-power motors. Thus, both engine types have their advantages and disadvantages.

The rated speed of an electric motor is the rotational speed at which the motor delivers its maximum power. This is central to the concept of a FSE vehicle as the rated speed of the motor determines whether or not a transmission is necessary to convert the rotational speed of the motor into a useable speed range for the driven wheels. This transmission does not come in form of a gearbox, as can be found on FSC vehicles, but often as only one unchangeable gear. It is possible to use only one end reduction because the torque curve of electric motors is more usable than that of an internal combustion engine. Torque is available over a much wider rpm range.

The combination of motor and transmission for the same power output is usually lighter than its counterpart on a FSC vehicle. Furthermore, there is more freedom to position the different components. This freedom can be used to realize an overall lower centre of gravity.

The FSE rules do not regulate the number of motors. It is therefore possible that two or even four independent motors are used in a FSE vehicle. This freedom makes it possible to omit the mechanical differential that usually is part of the rear axle of a FSC vehicle and to have a separate transmission for each driven wheel. As a result, it would be possible to transmit torque of different magnitude to each driven wheel, depending on

the current driving state of the vehicle. Using an appropriate control mechanism, it would be possible to implement a fully adjustable electronic differential. This has numerous advantages concerning vehicle dynamics compared to the mechanical differential on a FSC vehicle, especially during cornering. Even electronic stability systems, similar to the ESP found in many production cars, would be possible.

COMPARISON WITH FSC VEHICLES

The main differences when comparing FSE to FSC vehicles are the energy storage in batteries rather than in fuel, the power control by one or more motor controllers rather than a throttle valve and the supply of mechanical drive power by one or more electric motors rather than an internal combustion engine, ❷. The weight of a FSE vehicle, on average, is about 30 to 50 kg more than a FSC vehicle, because of the mentioned differences. This disadvantage, however, can surely be compensated by a lower centre of gravity and intelligent use of control technology, and may even be transformed into a vehicle dynamic advantage.

CONSUMPTION MEASURING

In addition to the described components, a device for measuring the used energy is installed between battery and motor controller during FSE scrutineering. The previously used calculation for fuel consumption rating had already been changed for the Formula Student Combustion (FSC) vehicles in 2009. From then on, the focus was placed on fuel efficiency rather than fuel economy, offering a new and important challenge to the students. This meant for the scoring that for the first time fuel use was put into relation to the average lap time. Since this emphasis on fuel consumption reflects one of the current trends in automotive industry, it is considered particularly important. Furthermore, this newly posed challenge forces students to take a detailed look at this difficult subject and to find individual solutions for their vehicle concept.

The general definition of efficiency is the ratio between the achieved result and the employed means. To increase efficiency has become one of the dominant problems in any engineering discipline in order to use finite resources as well as possible. As this aspect is therefore always present, important and challenging, at Formula Student Germany a

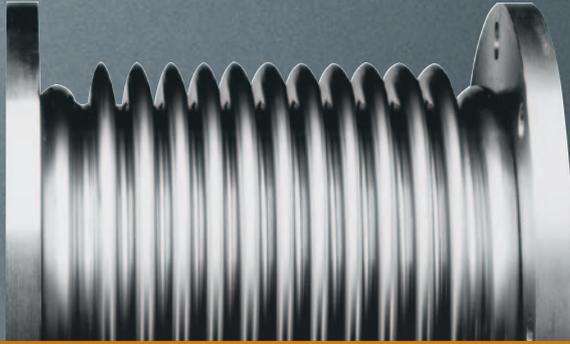
total of 10 % of all available points is awarded to the efficiency since the year 2009.

Formula Student Electric (FSE) addresses the issue of energy efficiency as well, because energy consumption is one of the focal points in the ongoing development of electric vehicles, too, ❸. The evaluation of energy efficiency for the electric vehicles puts the consumed electrical energy into relation to the achieved average lap time in the endurance. In contrast to FSC vehicles, the measurement of the consumed energy in FSE vehicles is more complex. For technical reasons, it is not possible to simply recharge the batteries after the endurance discipline to determine the energy consumed, like it is common practice to refill the fuel tank of FSC vehicles. Therefore, a mobile and rugged device for measuring the consumption of electrical energy was developed specifically for FSE, the FSE Energy Meter, ❹.

The Energy Meter will be installed between the traction battery and motor controller during the electrical safety inspection of the FSE vehicles. The Energy Meter constantly measures both current and voltage, in a similar way to the electric meters in homes, and stores these values. From the stored values the electrical power is calculated by multiplying voltage and current. The summation of electrical power over time gives the electrical energy consumption over the course of the endurance discipline. The energy consumption of an FSE vehicle during the 22 km of the endurance discipline is about 5 to 6 kWh. With this amount of energy a standard refrigerator can also be operated for about eight days.

CONCLUSION

In 2010, the first Formula Student Electric was a big success. The participating teams only had one year to create something new and passed with flying colours. It was such a joy to see how positive the teams, sponsors and interested specialists of the automobile industry responded to the innovations seen. We hope that other Formula Student competitions worldwide follow up and give students more opportunities to participate with their electric cars, so further support can be offered to future engineers to prepare themselves for the future. In 2011, the second Formula Student Electric, which is part of Formula Student Germany, will take place with more teams and improved and extended rules.

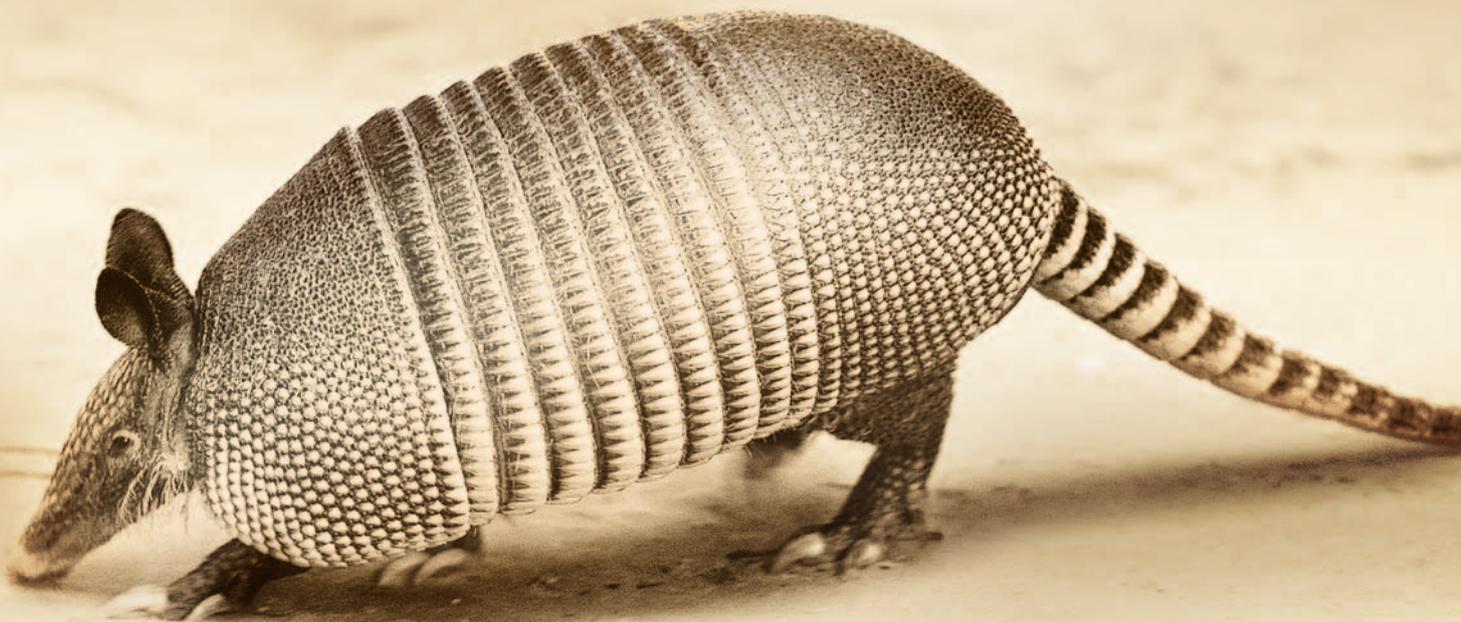


NATURAL BORN ENGINEERS

Große Ideen haben und in Realität umsetzen: Das ist die Triebfeder von „natural born engineers“. Und es treibt die Naturtalente von KA-RaceIng an, dem studentischen Rennteam des KIT. Ideenreichtum und Kreativität bündeln sie mit technischem Know-how und Wissen. Mit Fleiß und Hingabe verwirklichen sie damit Großes. Wie ihren selbst konstruierten und in Eigenregie gebauten Rennwagen KITio. Unterstützt von starken Partnern, die die Begeisterung für Technik und Engineering teilen und Talenten den Raum zur Entfaltung geben: www.natural-born-engineers.de.

WITZENMANN

managing flexibility



spruch als das vergleichbare Motorsteuergerät der FSC-Fahrzeuge.

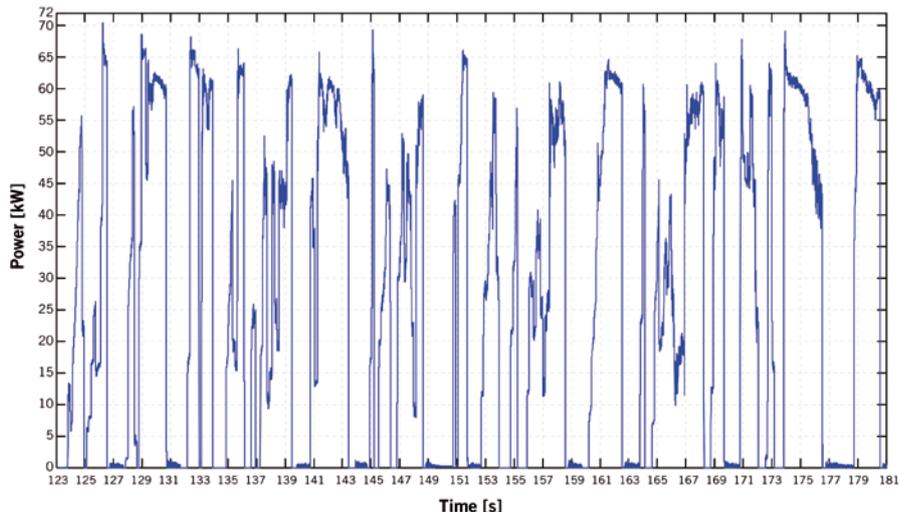
ELEKTROMOTOR

Das verwendete Elektromotorenkonzept stellt den Kern des Antriebssystems der FSE-Fahrzeuge dar. Unterscheiden lassen sich die Motoren prinzipiell in Gleichstrom- und Wechselstrommotoren. Motoren, die mit Gleichstrom betrieben werden, sind günstiger und einfacher durch den Motor-Controller zu steuern als Wechselstrommotoren. Diese haben dafür in der Regel einen besseren Wirkungsgrad und eine höhere Leistungsdichte als Gleichstrommotoren. Motoren mit einer hohen Leistungsdichte sind jedoch häufig, wie auch die Leistungselektronik, auf Wasserkühlung angewiesen.

Die Nennzahl des Elektromotors ist die Drehzahl, bei der der Motor seine höchste Leistung abgibt. Diese ist ebenfalls wichtig für das Antriebskonzept, da abhängig von der Nennzahl des Motors gegebenenfalls ein Getriebe notwendig ist, um die Drehzahl in einen nutzbaren Bereich abzusenken. Dieses Getriebe ist dann allerdings kein Schaltgetriebe, wie es von FSC-Fahrzeugen bekannt ist, sondern hat häufig nur einen einzelnen, nicht veränderbaren Gang. Dies ist möglich, da der Drehmomentverlauf der Elektromotoren deutlich besser nutzbar ist als der eines Verbrennungsmotors.

Die Kombination aus Motoren und Getriebe ist bei gleicher Leistung häufig leichter als bei den FSC-Fahrzeugen. Außerdem ist die Positionierung weniger eingeschränkt und die Bauhöhe flacher. Dadurch lässt sich auch hier ein günstigerer Fahrzeugschwerpunkt erreichen.

Das Reglement stellt es den Teams frei, wie viele Motoren eingesetzt werden. Daher ist es durchaus denkbar, dass zwei oder sogar vier unabhängige Motoren in einem FSE-Fahrzeug zum Einsatz kommen. Bedingt durch diese Freiheit ist es beispielsweise möglich, an der Hinterachse auf ein bei den FSC-Fahrzeugen übliches, mechanisches Differential zu verzichten und jedes Hinterrad durch eine eigene Motor-Getriebe-Kombination anzutreiben. Dies eröffnet die Möglichkeit, in Abhängigkeit vom aktuellen Fahrzustand, unterschiedlich große Leistungen beziehungsweise Drehmomente auf die verschiedenen Antriebsräder zu übertragen. Durch eine entsprechende Regelung ist es möglich, ein verstellbares elektronisches



3 Leistung-Zeit-Diagramm der Autocross-Runde eines FSE-Fahrzeugs während der FSE 2010
Power-over-time-graph of one autocross lap of a FSE car during the FSE 2010

Differential zu realisieren. Dies hat im Gegenteil zu den mechanischen Differentials der FSC-Fahrzeuge deutliche fahrdynamische Vorteile, insbesondere bei der Kurvenfahrt. Denkbar wären sogar elektronische Fahrstabilitätshilfen, ähnlich dem bekannten ESP von Serienfahrzeugen.

VERGLEICH MIT FSC-FAHRZEUGEN

Die Unterschiede zum FSC-Fahrzeug bestehen hauptsächlich in der Energiespeicherung in Akkumulatoren, der Leistungsregelung durch einen oder mehrere Motor-Controller und die Bereitstellung der mechanischen Antriebsleistung durch einen oder mehrere elektrische Motoren, 2.

Auf Grund der dargestellten Unterschiede haben die FSE-Fahrzeuge während des diesjährigen Wettbewerbs ein im Schnitt etwa 30 bis 50 kg höheres Gesamtgewicht im Vergleich zu den FSC-Fahrzeugen aufgewiesen. Dieser Nachteil kann allerdings durch die Absenkung des Fahrzeugschwerpunkts und den intelligenten Einsatz von Regelungstechnik mindestens kompensiert, wenn nicht sogar in einen fahrdynamischen Vorteil verwandelt werden.

ENERGIEMESSUNG

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Komponenten, wird den FSE-Fahrzeugen beim elektrischen Scrutineering ein Gerät zur Energiemessung zwischen Batterie und Motor-Controller eingesetzt.

Bereits im Jahr 2009 wurde die bis dahin übliche Kraftstoffverbrauchswertung bei FSC-Fahrzeugen umgestellt. Von nun an wurde der Fokus bei der Bewertung auf Effizienz gelegt. Im Wettbewerb bedeutete dies, dass während des Endurance-Rennens die verbrauchte Kraftstoffmenge zum ersten Mal ins Verhältnis zur Rundenzeit gesetzt wurde. Dies war eine neue und wichtige Herausforderung an die Studenten. Wichtig vor allem, da sie eine der aktuellen Tendenzen der Automobilentwicklung widerspiegelt; herausfordernd, weil die Studenten sich mit diesem schwierigen Thema bis ins Detail auseinandersetzen mussten, um individuelle Lösungen zu finden.

Die allgemeine Definition von Effizienz beschreibt das Verhältnis zwischen dem erzielten Ergebnis und den eingesetzten Mitteln. Die Effizienzsteigerung ist daher in jeder ingenieurwissenschaftlichen Disziplin mittlerweile das vorherrschende Problem, um die begrenzten Ressourcen bestmöglich nutzen zu können. Weil dieses Thema so präsent, wichtig und herausfordernd ist, gibt es seit dem Jahr 2009 in der Formula Student Germany 10 % der Gesamtpunktzahl für die Effizienzbewertung.

Die FSE greift das Thema der Energieeffizienz ebenfalls auf, denn auch bei elektrischen Fahrzeugen steht der Verbrauch von Energie im Fokus der Wissenschaften, 3. Die Bewertung der elektrischen Fahrzeuge setzt die verbrauchte

elektrische Energie ins Verhältnis zur erzielten mittleren Rundenzeit im Endurance-Rennen. Im Gegensatz zu FSC-Fahrzeugen ist die Messung des Energieverbrauchs bei FSE-Fahrzeugen allerdings ungleich komplexer, da es aus technischen Gründen nicht möglich ist, einfach die verbrauchte Energie durch Wiederaufladen des Akkumulators nach der Endurance-Disziplin zu bestimmen, analog zum Wiederauffüllen des Kraftstofftanks bei FSC-Fahrzeugen. Deshalb wurde speziell für die FSE ein mobiles und robustes Gerät zur Messung des elektrischen Energieverbrauchs entwickelt, das FSE Energy Meter, 4.

Das Energy Meter wird während der elektrischen Abnahme der FSE-Fahrzeuge zwischen der Traktionsbatterie und dem Motor-Controller eingebaut. Es misst an seiner Einbauposition kontinuierlich sowohl den Strom als auch die Spannung, ähnlich den Stromzählern in Haushalten, und speichert diese Messwerte. Aus den gespeicherten Messwerten wird durch



4 Energy Meter zur Messung des elektrischen Energieverbrauchs
The Energy Meter measures the electrical energy consumption

Multiplikation von Strom und Spannung die elektrische Leistung berechnet. Durch trapezoidale Integration der elektrischen Leistung über die Zeit ergibt sich dann der elektrische Energieverbrauch während der Endurance-Disziplin. Der Energieverbrauch eines FSE-Fahrzeugs während der 22 km der Endurance-Disziplin beträgt etwa 5 bis 6 kWh. Mit dieser Energie-

menge kann man einen handelsüblichen Kühlschrank ungefähr acht Tage lang betreiben.

FAZIT

Die erste Formula Student Electric im Jahr 2010 war ein voller Erfolg. Die Teams hatten nur ein Jahr Zeit etwas ganz Neues auf die Beine zu stellen und haben es mit Bravour gemeistert. Es war eine Freude zu sehen, wie positiv diese Neuerung bei den Teams, Sponsoren und interessierten Fachkräften aus dem Bereich der Automobilindustrie angekommen ist. Wir hoffen, dass sich andere Formula-Student-Wettbewerbe weltweit anschließen und die Möglichkeit zur Teilnahme mit Elektrofahrzeugen einräumen, um zukünftigen Ingenieuren weitere Fördermöglichkeiten zu bieten und sie noch besser auf die Zukunft vorzubereiten. Im Jahr 2011 wird im Rahmen der Formula Student Germany die zweite Formula Student Electric stattfinden, dann mit mehr Teams und einem erweiterten Reglement.



Liebhaber gesucht!*

Wenn Sie darauf brennen, Ihre Leidenschaft zum Automobil endlich auszuleben, und damit sogar noch Karriere machen möchten, dann gibt es in der Automobilbranche keinen besseren Ansprechpartner als uns. Die IAV ist mit über 3.000 Mitarbeitern einer der führenden Engineering-Partner der Automobilindustrie. Mit unserer Expertise erhalten unsere Kunden zukunftsweisende Lösungen für kommende Fahrzeuggenerationen. Zu unseren Auftraggebern gehören alle namhaften Automobilhersteller und Zulieferer.

Wir suchen Studenten, Diplomanden und Ingenieure mit Leidenschaft und Herzblut für spannende Projekte in der Automobilentwicklung.

www.iav-inside.com
+49 30 39978-9382

*Natürlich sprechen wir ausdrücklich Automobilliebhaber und Automobilliebhaberinnen an!

Entwicklungszentren der IAV: Berlin · Chemnitz · Gifhorn

Entwicklungsbüros der IAV: Dresden · Friedrichshafen
Lenting · Ludwigsburg · München · Neckarsulm
Neustadt/Weinstr. · Regensburg · Rüsselsheim · Weissach

IAV weltweit: Detroit · Kaluga · London · Paris
Pune · São Paulo · Seoul · Shanghai · Tokio

Innovationen in Serie

IAV GmbH
Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr

