

# Der Antrieb im Rad – eine mechatronische Herausforderung

## Wheel-Hub Power Units – An integrative Challenge

Wolfgang Hirschberg, Andrés Rojas Rojas, Johann Willberger

**Wachsendes Umweltbewusstsein und stetig steigende Kraftstoffpreise haben das Thema Energienachhaltigkeit in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Immer öfter ist die Rede von elektrischen oder teilelektrischen (hybriden) Antrieben. Der nachfolgende Artikel versucht einen kurzen Einblick auf gegenwärtige und zukünftige Herausforderungen und deren technische Lösungsbeiträge hinsichtlich Energienachhaltigkeit zu geben.**

Mobilität ist ein wesentlicher Teil unserer Lebensqualität. Ein nachhaltiger Umgang mit den dafür notwendigen Energiereserven bildet eines der zentralen gesellschaftlichen Themen für die nächsten Jahrzehnte. Internationale Vereinbarungen fordern eine stetige Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Feinstaubbelastungen ein. Diese Absicht steht aber im Widerspruch zu dem weltweiten Streben nach mehr Mobilität und stellt somit eine enorme Herausforderung für alle Beteiligten dar. Die wichtigsten Herausforderungen sind:

- die Endlichkeit von fossilen Energieträgern bei gleichzeitiger weltweiter Steigerung der Beförderungs- und Transportleistung
- der Eintritt von Schwellenländern in die Errungenschaften der individuellen Transportleistung
- schädliche Emissionen und Klimaveränderungen
- Nachhaltigkeit der Verkehrsmittel, insbesondere der Fahrzeuge und ihrer Antriebe

Die genannten Problemstellungen, insbesondere die Forderung nach nachhaltigen Verkehrsmitteln, fordern weitreichende Innovationen und eröffnen zukünftige Möglichkeiten für den Einsatz teilelektrischer (hybrider) und rein elektrischer Antriebsstränge. Der Einsatz von Elektromotoren im Kraftfahrzeug hat unterschiedliche Konsequenzen auf Fahrwerk und Aufbau.

**Growing environmental awareness and continually increasing fuel costs have brought sustainable handling of energy resources into the public eye. Purely electric or partially electric (hybrid) drives are subject to reports in the media more and more often. The present article is a short introduction to present and future challenges and their technical contribution concerning the sustainability of energy resources.**

Mobility is an essential part of our all lives. A sustainable handling of energy resources is an important subject and may even be one of the major social issues within the next decades. International agreements are demanding a continuous reduction of carbon dioxide emissions and respirable dust, however, these intentions seem to be in conflict with increased worldwide demand for more mobility. Solving this conflict is a big challenge. The most important challenges are:

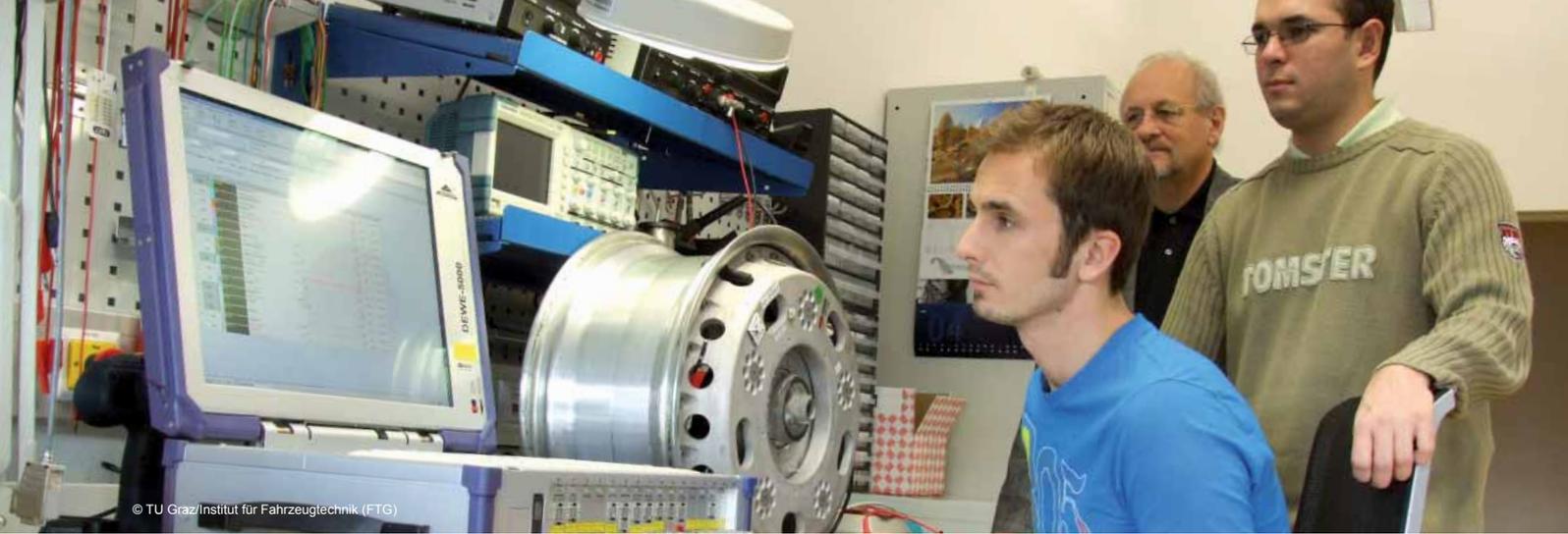
- Finiteness of fossil fuels versus a worldwide increase in transportation
- Increased individual demand in transportation in emerging markets
- Noxious emissions and climate change
- Sustainability of transportation, particularly automobiles and their drive systems

The mentioned challenges require long range innovations, which represent possibilities and potentials for the use of hybrid or purely electric propulsion units in vehicles at present and in the future. The application of electric engines in vehicles establishes new possibilities within the vehicle design processes.



Wolfgang Hirschberg ist Leiter des Instituts für Fahrzeugtechnik, Member of [FSI]. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die virtuelle Entwicklung von Fahrzeugen einschließlich innovativer Antriebe sowie Fahrer-Assistenzsysteme von PKW und Nutzfahrzeugen. Weitere Interessensgebiete sind die Fahrdynamik und -sicherheit in Theorie und Experiment sowie die integrierte Fahrzeugsicherheit.

Wolfgang Hirschberg is head of the Institute of Automotive Engineering, member of [FSI]. The research programme covers the virtual development of vehicles, including innovative powertrains and driver-assistance systems of passenger cars and commercial vehicles. Further research areas focus on the vehicle dynamics using simulation, experiments and integrated vehicle safety.



Andrés Rojas ist Dissertant am Institut für Fahrzeugtechnik, Member of [FSI], und verantwortlich für den maschinenbaulichen Teil eines interdisziplinären Forschungsprojektes in Zusammenarbeit mit Magna Powertrain. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die theoretische und praktische Untersuchung von Fahrkomfort und -sicherheit. Die Erkenntnisse dienen der Modifikation von Fahrwerksystemen für verschiedene Antriebstopologien.

Andrés Rojas is a PhD student at the Institute of Automotive Engineering, member of [FSI]. He is in charge of the mechanical part of an interdisciplinary research project in co-operation with Magna Powertrain. His research topics cover theoretical and practical investigations concerning driving comfort and safety. His technical expertise is used for the modification of suspension systems for diverse powertrain topologies.

Dabei kann grundsätzlich zwischen den drei folgenden elektrischen Antriebstopologien unterschieden werden:

- Zentralantrieb
- Achsantrieb
- Radnabenantrieb

Diese drei Antriebsvarianten zeichnen sich dabei durch grundsätzlich unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich Bauraum, Kühlung und Komplexität aus. Der Zentralmotor ist die einfachste Antriebsvariante. Er ist weitestgehend mit herkömmlichen Motoranordnungen vergleichbar, der Eingriff in das Fahrwerk hält sich bei dieser Bauweise in Grenzen; das Fahrwerk kann sogar von konventionellen Ausführungen übernommen werden. Beim Achsantrieb treiben bzw. bremsen zwei voneinander unabhängige Elektromotoren jeweils über eine Gelenkwelle ein Rad und man kann ein Differentialgetriebe einsparen. Die Elektromotoren befinden sich dabei paarweise vorne oder hinten im Chassis, wobei der zusätzliche Platzbedarf einen größeren Eingriff in die Fahrzeugkonstruktion bedingt. Die paarweise Anordnung der Motoren ermöglicht hierbei infolge radselektiver Momentenverteilung („Torque-Vectoring“) fahrdynamisch wirksame Regeleingriffe zur Erhöhung der aktiven Fahrsicherheit und Agilität. Die dritte Antriebstopologie, der Radnabenantrieb, stellt die komplexeste Variante dar. Dieser Antrieb verlagert den gesamten Antriebsstrang in die Radfelge. Als wesentliche Möglichkeiten und Potentiale dieser Anordnung können angegeben werden:

- Gewinn von Bauraum zugunsten nutzbarem Fahrzeuginnenraum
- Effizienzsteigerung durch den kürzest möglichen Antriebsstrang

Basically, three different electric powertrain topologies can be distinguished:

- Central drive
- Axle drive
- Wheel-hub drive (in wheel motor)

The three mentioned powertrain topologies can be distinguished by different requirements concerning space, cooling, mass distribution and complexity. The central drive is considered to be the easiest powertrain topology and it is comparable to conventional engine configurations at the front. The changes in suspension are slight; in fact, even conventional designs can be applied. The axle drive is similar to central drive. The difference is that two electric motors are used to accelerate and decelerate their wheels via drive shafts. Thus, a differential gear can be omitted. The motor types are arranged in pairs either in the front or in the rear of the vehicle. The increased space requirements of axle drives within the vehicle require an overall modification of the vehicle design. This topology allows an impact on vehicle dynamics and an increase in vehicle safety through an individual torque distribution (“torque vectoring“) on the wheels. The third powertrain topology represents the most complex one. The wheel-hub powertrain topology wheel-hub drive includes the entire powertrain within the wheel rim. Due to tight spaces, the topology can be considered as an enormous technical challenge. The major possibilities and potentials of the wheel-hub powertrain topology can be specified as follows:

- Gain in available interior
- Efficiency increase by the shortest possible powertrain
- Integration of electric motor types and brakes

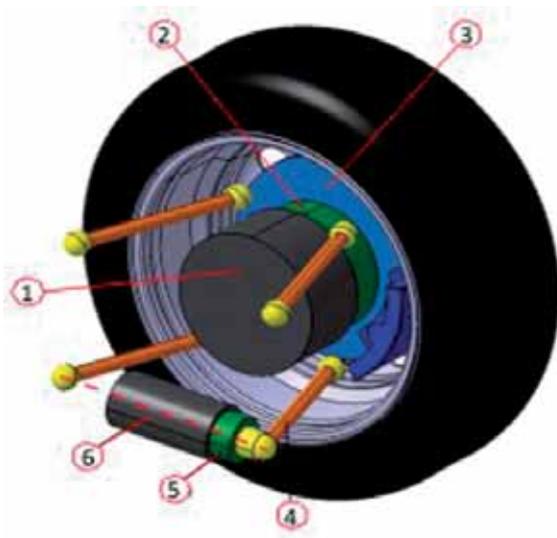


Abb.: Kompakte Bauweise: 1. Elektromotor, 2. Übersetzungsgetriebe, 3. Bremsscheibe, 4. Querlenker, 5. Übersetzungsgetriebe des 6. Aktuators vom aktiven Dämpfungssystem zur Verbesserung von Fahrkomfort und Fahrsicherheit.

Fig.: Compact design: 1. Electric motor, 2. transmission gearbox, 3. Brake disc, 4. Transversal suspension arm, 5. transmission gearbox of 6. actuator which is part of the active damping system used to enhance ride comfort and driving safety.

© TU Graz/Institut für Fahrzeugtechnik (FTG)

- Integration Elektromotor und mechanische Bremse
- Radselektive Momentenverteilung zur Erhöhung der aktiven Fahrzeugsicherheit

Den genannten Vorteilen stehen eine Reihe von Problemen gegenüber, welche für die Umsetzbarkeit dieser Antriebsvariante zu lösen sind. Zu den wesentlichen Herausforderungen zählen:

- Einbußen an Fahrkomfort- und aktiver Sicherheit durch erhöhte Radmassen
- zusätzliche Kühlung erforderlich
- schlechtes Betriebsumfeld reduzieren Lebensdauer und Betriebssicherheit der Elektromotoren

Die erhöhten Radmassen erfordern nicht nur eine gänzlich neue Abstimmung des Fahrwerks, sondern bedürfen der Integration von semi- oder gar vollaktiven Feder-/Dämpfersystemen. Die beengten Platzverhältnisse erfordern zusätzlich die kinematische und geometrische Umgestaltung herkömmlicher Fahrwerke und stellen somit einen wesentlichen Eingriff in die Fahrwerkskonstruktion dar. Die Elektromotoren bedürfen eines optimalen Designs, wobei die Maschinenverluste aufgrund der schlechteren Kühlbedingungen zur Erhöhung der Lebensdauer minimiert werden müssen. Es ist offensichtlich, dass der Antrieb im Rad eine große mechatronische Herausforderung darstellt, deren Lösung den Zusammenfluss mehrerer ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen wie Maschinenbau, Elektrotechnik, Regelungstechnik und Informatik bedarf. Die Erzielung von tragfähigen Lösungen braucht eine neue Qualität der Kooperation. Diese Kooperation wird im Rahmen der laufenden Forschungstätigkeiten bereits gelebt, welche heute über die Grenzen von Instituten und Fakultäten, ja über Universitätsgrenzen hinausgehen. Die frühzeitige Einbeziehung von innovativ orientierten Industriepartnern ist wichtig, damit die laufenden Forschungen nicht im Grundsätzlichen stehen bleiben.

- Individual torque distribution
- Increase in vehicle safety

Nevertheless, there are plenty of disadvantages concerning the wheel-hub powertrain topology. The major challenges are:

- Decrease in comfort and safety due to increased wheel masses
- Necessary additional cooling
- Bad operating conditions reduce service life and safety of the electric motor

The solution of the mentioned issues is of great interest since they represent prerequisites for the future application of the powertrain. Increased wheel masses require a complete adjustment of the suspension and thus demand the integration of semi active or fully active spring-damper systems. The electric motors need to be designed efficiently taking into account weight and volume, and machine losses have to be minimized to raise service life because of bad cooling conditions.

It is obvious that due to the previously mentioned reasons, wheel-hub power units represent a major integrative challenge which will necessitate the integration of diverse engineering disciplines such as mechanical engineering, electrical engineering, control theory and informatics. Substantial progress requires a new quality of co-operation. This co-operation is already being carried out beyond the borders of institutes, faculties and universities. The early involvement of innovative industrial partners is an important condition to move current research on.



Johann Willberger ist Dissertant am Institut für Fahrzeugtechnik, Member of [FSI], und verantwortlich für den elektrischen Teil eines interdisziplinären Forschungsprojektes in Zusammenarbeit mit Magna Powertrain. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die Auslegung, Simulation und Regelung von elektrischen Maschinen zur Energieverbrauchsermittlung in Zyklusuntersuchungen. Der Schwerpunkt der Untersuchungen konzentriert sich auf die Radnabenantriebstopologie.

Johann Willberger is a PhD student at the Institute of Automotive engineering, member of [FSI]. He is in charge of the electrical part of an interdisciplinary research project in co-operation with Magna Powertrain. His research topics cover the design, simulation and control of electric motor types for energy investigations at different cycles. The main focus of his research work is on wheel-hub powertrain topology.