

Flinker in der Stadt

Radnabenantriebe von Schaeffler

Dr. Raphael Fischer

30



Einleitung

Radnabenantriebe bieten ein hohes theoretisches Potenzial, völlig neue Fahrzeugarchitekturen zu verwirklichen. Interessant sind sie insbesondere für kleine, sehr wendige Stadtfahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb [1]. Vor dem Hintergrund einer weltweit fortschreitenden Urbanisierung sowie strengerer Umweltvorschriften wird die Nachfrage nach solchen Fahrzeugen künftig steigen. Zielmärkte sind insbesondere stark wachsende Metropolen in Asien sowie in Nord- und Südamerika.

Für den Autofahrer ergeben sich beim Einsatz eines Radnabenantriebs verschiedene Vorteile:

- Die Karosserie gewinnt an nutzbarem Raum. Ein „Motorraum“ entfällt völlig. Dadurch sind neue Karosseriebauformen möglich.
- Da die Antriebswellen entfallen, kann der Radeinschlagswinkel erhöht werden. Damit ergibt sich aus Kundensicht eine deutlich bessere Manövrierbarkeit. Dies gilt selbst für den Fall, dass die Hinterachse angetrieben wird. In diesem Fall wird mit Torque Vectoring (TV) gezielte Lenkunterstützung auf Fahrbahnen mit niedrigem Reibbeiwert betrieben.
- Fahrvergnügen und Sicherheit erhöhen sich, da die Regelgüte des Antriebs durch die direkte Übertragung – ohne Getriebe und Seitenwellen – über der von Zentralantrieben liegt. Für die Kundenakzeptanz kleiner Stadtmobile werden diese klassischen Zielwerte der Automobilentwicklung entscheidend sein. Nur aus Vernunftgründen – wenig Verkehrsfläche und gute CO₂-Bilanz – werden unserer Meinung nach Elektrofahrzeuge nicht marktfähig sein.

- Die Bedienung wird wesentlich vereinfacht: Beispielsweise wird beim Anfahren auf Eis auch bei voll durchgetretenem Fahrpedal nur das maximal übertragbare Drehmoment eingestellt.
- Nicht zuletzt erhöht sich die passive Sicherheit, da konventionell im Motorraum angebrachte Antriebsaggregate mit hohen Massen bei einem Frontalaufprall nicht mehr in den Fahrzeuginnenraum eindringen können [2].

Allerdings bedeutet die Verwirklichung von Radnabenantrieben einen radikalen Bruch mit bisherigen Auslegungskriterien. So ist es aus heutiger Sicht nicht sinnvoll, ein „Allzweckfahrzeug“ mit elektrischem Radnabenantrieb auszustatten. Denn aufgrund der Drehmomentcharakteristik eines Elektromotors ist die Entscheidung zwischen hohem Anfahrmoment und beschränkter Endgeschwindigkeit oder hoher Endgeschwindigkeit und niedrigem Anfahrmoment zu treffen. Elektrofahrzeuge mit Zentralantrieb lösen diesen Zielkonflikt durch den Einbau einer entsprechend groß ausgelegten E-Maschine mit Getriebe, was aufgrund des beschränkten Bauraums im Rad nicht sinnvoll ist. Daher beschränkt sich dieser Beitrag auf Antriebe für Stadtfahrzeuge, die eine Maximalgeschwindigkeit von 130 km/h erreichen und sich somit auch für kurze Überlandstrecken, nicht aber als Vielfahrerauto eignen.

Seit 2007 arbeitet Schaeffler intensiv daran, die theoretischen Vorteile dieses Antriebsprinzips in der Praxis zu erschließen. Anfangs betrug das erzielbare Drehmoment nur 84 Nm, die für die meisten Fahrzustände bei weitem nicht ausreichen. Es konnte allerdings damals bereits gezeigt werden, dass grundsätzlich eine Radintegration des Elektromotors möglich ist. Daran anschließend wurde ein Prototyp auf Basis eines Opel Corsa aufgebaut, der bereits dauerhaft über ein Antriebsmoment von 200 Nm (maximal 530 Nm) pro Rad verfügte. Bei diesem Prototypen wurde der Elektromotor, nicht jedoch die Leistungselektronik im Rad angeordnet.

Die mit diesem Erprobungsträger gemachten Erfahrungen hat Schaeffler bei der Weiterentwicklung des Radnabenantriebs berücksichtigt. So galt es vor allem, die Kundenanforderung nach einem höheren Drehmoment zu erfüllen sowie einen höheren Integrationsgrad zu erreichen. Seit 2013 befindet sich ein weiterer, gemeinsam mit Ford realisierter Radnabenantrieb in Erprobung. Über den konstruktiven Aufbau sowie erste Ergebnisse aus den Fahrdynamiktests berichten wir in diesem Beitrag.

Konzepte für den elektrischen Radantrieb

Grundsätzlich kann man die von einem oder mehreren Elektromotoren erzeugte Antriebskraft auf verschiedenen Wegen übertragen. Bei derzeit realisierten Hybrid- und Elektrofahrzeugen dominieren getriebeintegrierte Traktionsmotoren. Schaeffler hat dafür ein Hybridmodul zur Serienreife

entwickelt, das in einem gesonderten Beitrag vorgestellt wird [2]. Parallel wird bei Schaeffler derzeit das Potenzial eines Range-Extender-Getriebes untersucht [3]. Für Radantriebe existieren verschiedene mögliche Topologien (Bild 1).

Konventionelle Elektroantriebe werden heute als Zentralantriebe ausgeführt. Eine großserienfähige Lösung eines Zentralantriebs entwickelt Schaeffler derzeit zur Serienreife [5]. Die elektrische Maschine kann dabei in Verbindung mit einem Leichtbau-differenzial genutzt werden, um die Drehmomentverteilung radindividuell zu regeln. Eine solche elektrische Achse eignet sich besonders für sportliche Elektrofahrzeuge sowie für Langstreckenfahrzeuge mit Plug-in-Hybridantrieb.

Radnabenantriebe werden bislang in kleinen Serien in Nutzfahrzeugen, Stadtbussen und im militärischen Bereich eingesetzt. Im Pkw sind Radnabenantriebe heute ausschließlich als Prototypen zu finden. Verbreitet sind Lösungen, bei denen zwei getrennte, jedoch in einem zentral angeordneten Gehäuse verbaute Maschinen über Seitenwellen je ein Rad antreiben. Eine sol-

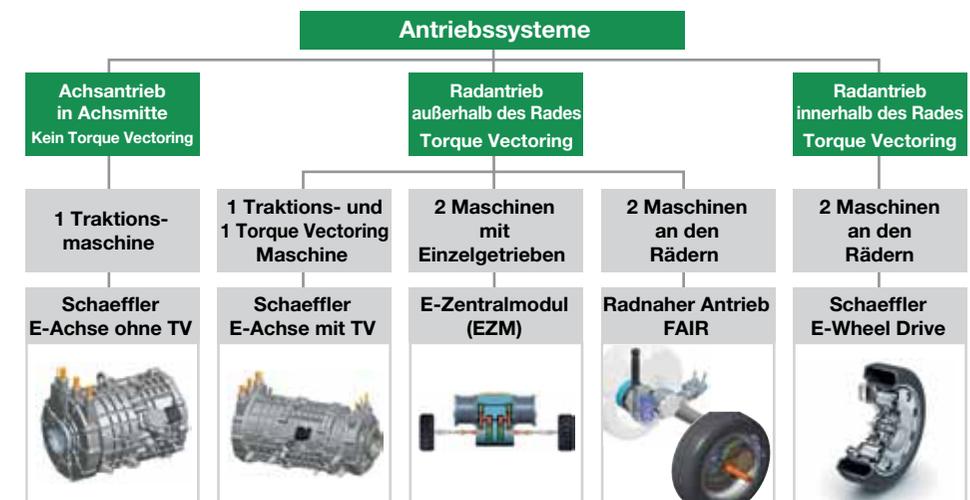


Bild 1 Topologien für elektrische Radantriebe bei Straßenfahrzeugen

che Lösung wird von Schaeffler nicht präferiert, da wesentliche Vorteile des Radnabenantriebs (unter anderem die hohe Raumeffizienz und Wendigkeit) nicht vollständig erschlossen werden können.

Schaeffler setzt für künftige Stadtfahrzeuge auf eine hochintegrierte Ausführung des Radnabenantriebs, bei der aus dem Rad ein Power-Modul wird. Parallel werden im Rahmen von Forschungs- und Vorentwicklungsprojekten aber auch radnahe Antriebe untersucht. Beispielhaft seien hier zwei Projekte genannt, die den radnahen Ansatz auf unterschiedliche Weise verfolgen.

In dem gemeinsam mit BMW und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt durchgeführten Projekt „FAIR“ [6] wurde im Rad ein Zahnradsystem integriert, um die Drehzahl des fahrzeugfest neben dem Rad angebrachten Elektromotors zu übersetzen und gleichzeitig die Vertikalbewegung des Rades vom Antrieb zu trennen (Bild 2).

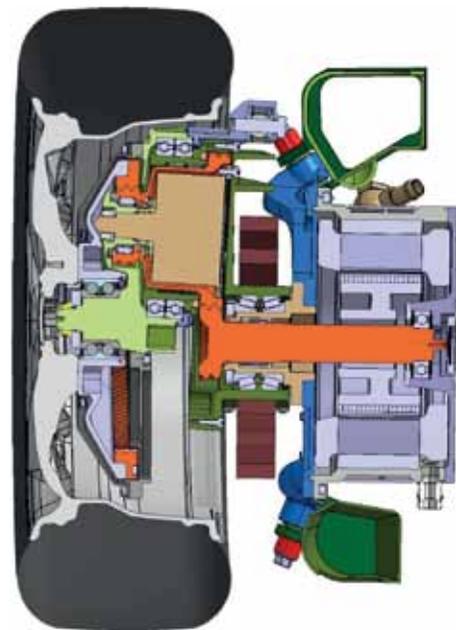


Bild 2 Schnitt durch den radnahen Antrieb des FAIR-Projektes

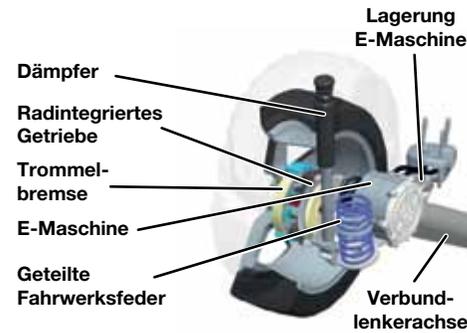


Bild 3 Aufbau eines radnahen Antriebs mit radintegriertem Getriebe

Im Rahmen eines Vorentwicklungsprojektes wurde bei Schaeffler eine Variante untersucht, bei der die Antriebsmaschine über eine geteilte Fahrwerksfeder abgestützt wird und über eine kurze Seitenwelle an ein Getriebe angekoppelt ist (Bild 3). Damit nimmt sie zu einem reduzierten Anteil an den Federbewegungen des Rades teil.

Im Folgenden konzentriert sich dieser Beitrag auf Radnabenantriebe als die für elektrische Stadtfahrzeuge unserer Meinung nach geeignetste Antriebsanordnung.

Eine neue Generation des Radnabenantriebs

Auslegung und Konstruktion

Bereits 2010 hat sich Schaeffler das Ziel gesetzt, ein Rad mit hochintegriertem Antrieb zu realisieren, das neben den klassischen Radkomponenten wie der Betriebsbremse den Elektromotor und die Leistungselektronik aufnimmt. Damit entfallen erstmals alle gepulsten Leitungen durch das Fahrzeug, was unter anderem hinsichtlich elektromag-

netischer Verträglichkeit vorteilhaft ist. Zwar ist diese auch bei anderer Anordnung der Systemkomponenten beherrschbar, verlangt aber zusätzlichen Aufwand in der Abstimmung.

Der hohe Integrationsgrad stellt naturgemäß eine große Herausforderung für den Entwicklungsingenieur dar: Insgesamt steht ein Bauvolumen von nur 16 l zur Verfügung. Durch eine Vielzahl einzelner Optimierungsmaßnahmen konnte die Aufgabe gelöst werden, den kompletten Antrieb in einem Rad mit 16 Zoll Durchmesser unterzubringen (Bild 4). Bei einer Breite von etwa 200 mm ergibt sich eine marktübliche Reifendimension (195er- oder 205er-Reifen). Der Reifen entspricht sowohl in den Abmessungen als auch im Aufbau einem Serienreifen. Bei der Stahlfelge handelt es sich hingegen um eine spezielle Ausführung, da die Radschüssel an der Felgenschulter anstatt wie üblich am Tiefbett angebunden ist („semi full face“). In einer späteren Serienausführung könnten Leichtmetall-Schmiedefelgen zum Einsatz kommen, die elegante Gestaltung mit hoher Tragfähigkeit vereinen. Der für die Verschraubung notwendige Lochkreis sowie die Zentrierung entsprechen heutigen Normanschlüssen. Der gesamte Aufbau ist so gewählt, dass ein Reifenwechsel keinen zusätzlichen Aufwand erfordert.

Der Magnetspalt mit einem Durchmesser von 278 mm und einer Breite von 80 mm muss in sehr engen Toleranzen gehalten werden, um die optimale Funktion des Elektromotors sicherzustellen. Die lichte Weite des Luftspaltes beträgt 1 mm. Keinesfalls dürfen Verkippungen auftreten, bei denen Stator und Rotor gegeneinander schleifen, um zu vermeiden, dass Angriffsflächen für Korrosion entstehen. Daher wurde das Radlager sehr steif ausgelegt. Die Steifigkeit ist ungefähr doppelt so hoch wie bei einem konventionellen Radlager. Nicht zu befürchten ist übrigens nach eigenen Untersuchungen ein Blockieren des Rades bei einem

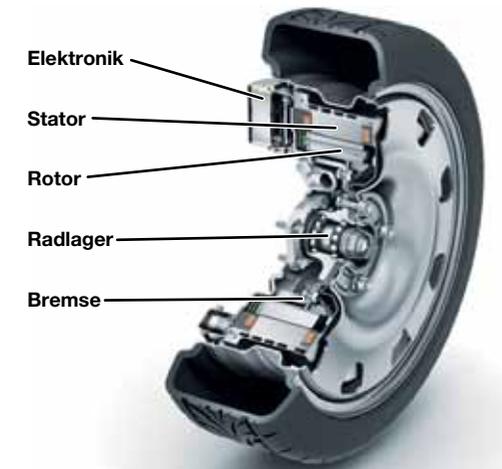


Bild 4 Konstruktiver Aufbau des Radnabenantriebs von Schaeffler

Kontakt. Das Anschleifen führt entgegen oft geäußerter Vermutungen nicht zu fahrdynamischer Instabilität.

Ein Verschleiß tritt nicht auf, da ein Wälzlager selbst über eine Laufzeit von 200.000 km keinen signifikanten Verschleiß aufweist. Bei dem Radlager handelt es sich um Serientechnik, die sich mit heutigen Werkzeugen und Maschinen fertigen lässt.

Um den Elektromotor in das Rad zu integrieren, wird die modifizierte Aufnahmeplatte der serienmäßigen Trommelbremse genutzt. Der wassergekühlte Stator wird von der Bremsankerplatte getragen, die in Richtung Radaußenseite verlängert und insgesamt verdickt wurde. Der Rotor sitzt mit der Brems-trommel auf dem Radflansch. Die Bremse entfällt jedoch nicht, sondern steht als Redundanzebene und als Feststellbremse zur Verfügung. Im bisherigen Prototypenbetrieb zeigte sich jedoch, dass selbst bei Gebirgstouren (längere Bergabfahrten mit 18 % Gefälle) ausschließlich mit dem Elektromotor verzögert werden konnte.

Die Abdichtung der Antriebseinheit erfolgt mit einer berührenden Lippendichtung, die aus einer Industrieanwendung abgelei-

tet wurde. Die Dichtigkeit entspricht dem Radlagerstandard, so dass selbst bei Beaufschlagung mit einem Hochdruckreiniger keine Feuchtigkeit eindringen kann. Voraussetzung dafür ist allerdings eine entsprechende konstruktive Ausführung der Dichtung, so dass sie selbst vor hohem Wasserdruck geschützt ist.

E/E-Komponenten

Im vorhandenen Bauraum konnte eine permanent erregte Synchronmaschine integriert werden, die selbst unter ungünstigen Temperaturbedingungen dauerhaft ein Drehmoment von 350 Nm zur Verfügung stellt. Das maximal erzielbare Drehmoment beträgt 700 Nm pro Rad, also 1.400 Nm für die Achse. Damit ist das Anfahrmoment ausreichend groß, so dass der getestete Prototyp selbst bei Besetzung mit vier Personen bei einer Steigung von 25 % anfahren konnte. Die Auslegung der Elektromaschine wurde so gewählt, dass eine gleichmäßige Abgabe des Drehmoments bis hin zu hohen Drehzahlen möglich ist. So steht das Dauermoment in voller Höhe bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h zur Verfügung. Die Leistung der E-Maschine beträgt 33 kW (konstant) und 45 kW (Spitze), wobei dieser Wert nicht überschätzt werden sollte, zumal er sich aus Drehmoment und Drehzahl

direkt errechnen lässt. Die genannten Werte gelten für einen Betrieb mit einer Spannung von 360/420 V.

Die Vorerfahrungen mit dem im Jahr 2010 aufgebauten Prototypen haben gezeigt, dass eine Luftkühlung nicht ausreichend ist, um das gewünschte hohe Dauermoment zu erzeugen. Dies gilt insbesondere, wenn automobiltypische „Worst case“-Szenarien in die Auslegung einbezogen werden – zum Beispiel eine Berganfahrt bei hoher Außentemperatur (40 °C) mit geringer Geschwindigkeit. Daher erfolgte frühzeitig die Festlegung auf eine wassergekühlte Einheit. Die Kühlung erfolgt mit handelsüblichem Kühlmittel auf Glykolbasis. Durchströmt werden zunächst die Leistungselektronik und dann der Stator der E-Maschine, nach einer Umkehrung erfolgt die Rückführung im Gegenstromverfahren. Das Kühlmittelvolumen im Antrieb ist gering. Als Wärmetauscher dient der normale Luft-/Wasser-Wärmetauscher im Frontend, der auch bei einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor verbaut wird.

Die für die Ansteuerung notwendigen elektronischen Komponenten sind ebenfalls im Rad verbaut. Dies gilt für die Hochvolt-Leistungselektronik wie für die Niederspannungs-Motorsteuerung. Die Anordnung der Leistungselektronik ist so

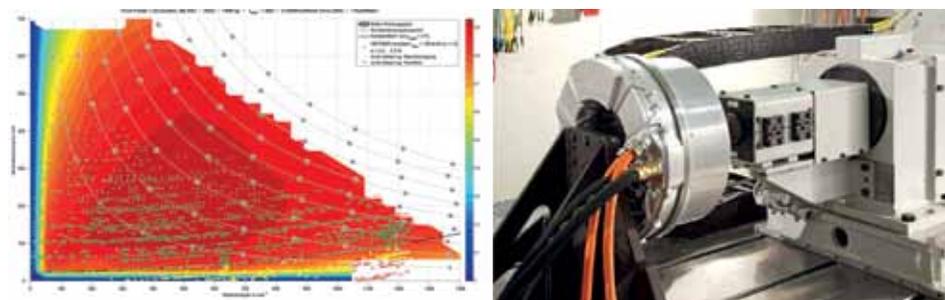


Bild 5 Prüfstandtest mit dem neuen Antrieb (rechts); Wirkungsgradkennfeld der E-Maschine mit Betriebspunkten aus dem ARTEMIS-Zyklus (links)

gewählt, dass bis zur E-Maschine nur ein sehr geringer Weg über gepulste Leitungen zurückgelegt werden muss.

Die Steuerung des Antriebs erfolgt nur teilweise dezentral im Rad. Die Momentenanforderung wird von dem übergreifenden Steuergerät, auf dem die Fahrstrategie läuft, an den Controller im Rad weitergegeben, der für die Regelung und Überwachung der E-Maschine zuständig ist. Fahr-dynamische Anforderungen werden von dem Fahrzeug-Sicherheitsrechner gestellt und ebenfalls im Rad umgesetzt.

Prüfstandsversuche

Vor der Fahrzeugintegration wurde der Antrieb zunächst auf einem Prüfstand in Betrieb genommen. Dabei wird die Regelung initial auf E-Maschine und Leistungselektronik abgestimmt. Gleichzeitig werden Eigenschaften wie Wirkungsgrad, Dauer- und Spitzenmomente sowie das thermische Verhalten des Systems bestimmt (Bild 5).

Nach der Inbetriebnahme erfolgte die Erprobung auf Festigkeit und Steifigkeit auf einem extra für diesen Zweck entwickelten Innentrommelprüfstand bei Fraunhofer LBF in Darmstadt (Bild 6). Hierbei wird der Antrieb auf einem Hexapoden montiert und auf die Innenfläche einer umlaufenden Trommel gesetzt. Die Trommel ist mit seitlichen Anlaufborden versehen, über die eine Seitenlast auf das Rad aufgebracht werden kann, ähnlich eines Anlaufens an einem Randstein oder bei extremer Kurvenfahrt. Ziel der Versuche war die Überprüfung der Seitensteifigkeit, um sicherzustellen, dass auch unter extremen Seitenlasten kein Anschleifen zwischen Stator und Rotor stattfindet.

Die Versuche haben zudem gezeigt, dass auch unter erhöhtem Luftdruck mit einer Belastung bis hin zur Zerstörung des Reifens kein Anschleifen zwischen Stator und Rotor zu verzeichnen ist.

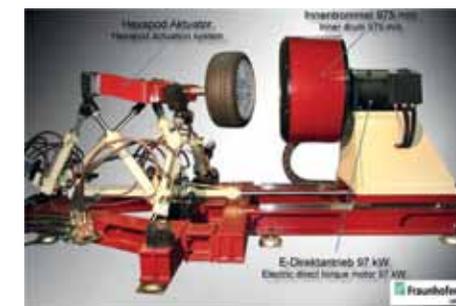


Bild 6 Aufbau eines Prüfstandes zur Funktionsprüfung des Radnabenantriebs unter Einwirkung mechanischer Kräfte

Fahrzeugintegration

Der aktuelle Entwicklungsstand des Schaeffler-Radnabenantriebs wurde in Kooperation mit dem Ford-Forschungszentrum Aachen in einen Ford Fiesta eingebaut (Bild 7), der als Erprobungsfahrzeug dient. Die Hochvolt-Batterie ist im bisherigen Motorraum integriert. Neben dem Einbau der Hochvoltkomponenten ist die Abstimmung zwischen Motor- und Fahrzeugsteuerung mit erheblichem Aufwand verbunden gewesen. Insbesondere die Restbussimulation, also der durch Software nachgebildete Ersatz der Signale entfallender Komponenten wie des



Bild 7 Einbausituation des Radnabenantriebs in einem Erprobungsfahrzeug

Verbrennungsmotors, ist sehr anspruchsvoll. Zudem wurden wesentliche Fahrwerkskomponenten wie Federung und Dämpfung auf die Charakteristik des Antriebs abgestimmt.

Für den kompletten Radnabenantrieb ergibt sich ein Systemgewicht von 53 kg pro Rad. Dabei ist zu beachten, dass das Gesamt-Fahrzeuggewicht gegenüber einem baugleichen Fahrzeug mit Dieselmotor nicht steigt (1.290 kg leer). Darin enthalten ist ein Lithium-Ionen-Akku mit einer Nennkapazität von 16,2 kWh. Zudem entspricht die Achslastverteilung der des Serienfahrzeugs.

Mit dem Erprobungsfahrzeug wurden auf einem Testgelände verschiedene Fahrdynamik-Erprobungen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass der Prototyp einem zum Vergleich gefahrenen Serienfahrzeug bis zu einer Geschwindigkeit von 130 km/h zumindest ebenbürtig war.

Bild 8 zeigt die Ergebnisse von Fahrdynamikanalysen mit dem Vorgängerprototypen

(Schaeffler Hybrid), da hier über die Bewertung der Hinterachse hinaus die Vorderachse in die Untersuchungen einbezogen wurden. Über der x-Achse sind die gefahrenen Manöver, auf der y-Achse die für das Fahrzeug ermittelte Bewertung aufgetragen. Dabei steht die Null für „unverkäuflich“, die Bestnote Zehn für das perfekte Fahrzeug. Das Originalfahrzeug bewegt sich auf einem Korridor von 6,5 bis 9.

Die herangezogenen Kriterien beziehen sich insbesondere auf Vertikal- und Querdynamik sowie die Lenkreaktionen. Alle Bewertungen befinden sich im Ergebniskorridor des Serienfahrzeugs. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass ein derartiges Fahrverhalten nur mit einem auf die höheren Massen abgestimmten Feder-Dämpfer-System erzielbar ist. Die Modifikationen wurden sowohl beim Schaeffler Hybrid als auch beim Nachfolgefahrzeug Fiesta unter Verwendung von Serienkomponenten durchgeführt. Be-

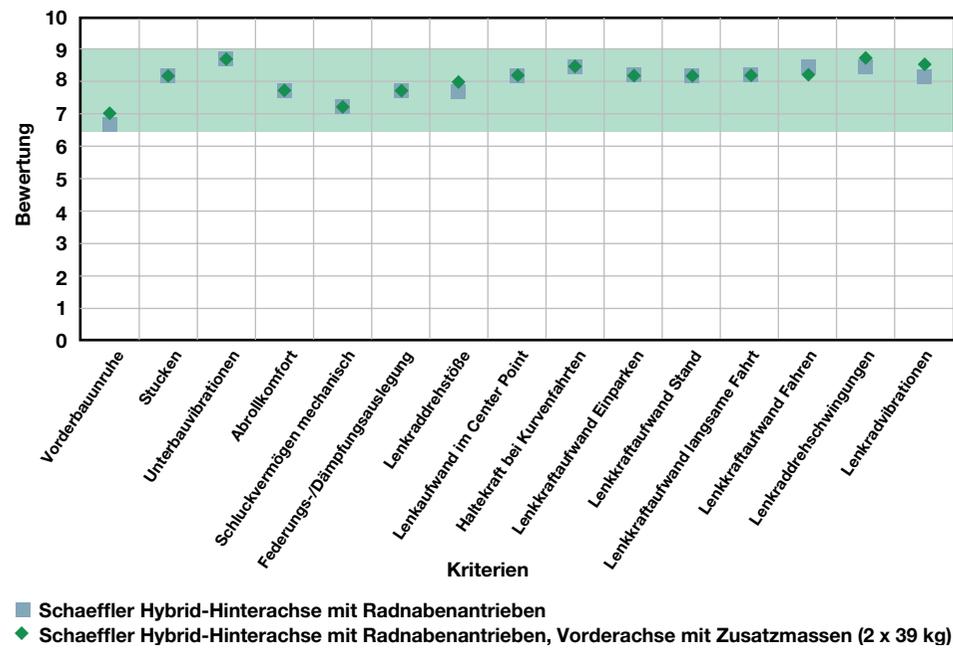


Bild 8 Ergebnisse eines Fahrdynamikvergleichs

merkenswert sind die Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt, dass das Antriebssystem an einer Verbundlenkerachse wirkt – also einer Achskonstruktion, die ursprünglich nicht für den Antrieb ausgelegt wurde.

Bei Manövern, die das Potenzial des Torque Vectoring nutzen, wurden teilweise sogar deutliche Leistungssteigerungen sichtbar. So konnte bei einem standardisierten Wedeltest mit einem Pylonenabstand von 18 m die Durchfahrtgeschwindigkeit um rund 10 km/h gesteigert werden.

Nach der Inbetriebnahme der Antriebe wurde eine Schlupfregelung als Basis für die Abstimmung des Torque Vectoring und der ESP-Funktionalitäten appliziert. Die üppige Drehmomentabgabe des Antriebssystems wird per geeigneter Regelung aktiv zur Stabilisierung des Fahrverhaltens genutzt.

Zudem wurde im Februar/März 2013 eine Wintererprobung in Nordschweden durchgeführt (Bild 10). Es zeigte sich dabei,



Bild 9 Abstimmung von Fahrwerk, Fahrdynamikregelung und Torque Vectoring



Bild 10 Radnabenantrieb während der Wintererprobung

dass die Funktion des Antriebs selbst bei nassem und anhaftendem Schnee und Temperaturen von bis zu -33 °C gewährleistet war. Hierbei kommt dem Fahrzeug sicher zugute, dass bei dem gewählten Konzept keine Hydraulik und kein Getriebe benötigt werden.

Künftige Entwicklungen

Weiterentwicklung der E/E-Komponenten

Die Entwicklung des Radnabenantriebs ist derzeit bei Schaeffler in vollem Gang. Im aktuellen Prototypen kommt eine abgewandelte E-Maschine aus dem Industriebereich zum Einsatz, die derzeit vor allem auf Drehmomentabgabe optimiert ist. Für die nächste Entwicklungsstufe entwickelt Schaeffler eine speziell auf den Radnabenantrieb zugeschnittene Maschine.

Für ein Fahrzeug mit dem Gesamtgewicht des dargestellten Prototypen (circa 1,5 t) ist ein Dauer-Drehmoment von 500 Nm pro Rad erforderlich, um in allen Fahrsituationen ausreichend Antriebskraft zu übertragen. Daher ist die weitere Erhöhung der Momentendichte Ziel der Schaeffler-Entwicklung. Dazu wird die nächste Generation des Radnabenantriebs in einem 18-Zoll-Rad aufgebaut, was für die betrachtete Fahrzeugklasse eine durchaus marktübliche Größe darstellt.

Die Effizienz des Motors in für den Fahrzyklus relevanten Betriebspunkten ist noch zu steigern. Auch die Akustik ist für Fahrzeuganwendungen verbesserungswürdig. Für die nächste Evolutionsstufe wird genau an diesen Punkten gearbeitet.

Ähnlich verhält es sich mit der Leistungselektronik. Die in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB erarbeitete Elektronik für den Prototypen funktioniert bislang ohne Ausfall. Einer im Automobilbau üblichen Spezifikation würde sie jedoch nicht standhalten.

Bei der Weiterentwicklung elektrischer Komponenten für Hybrid- und Elektroantriebe folgt Schaeffler einer Baukastenstrategie, so dass andere Antriebsvarianten wie das Hybridmodul oder die elektrische Achse möglichst baugleich beliefert werden können, um bei späteren Serienaufträgen schnell in eine nennenswerte Stückkostendegression zu kommen.

Das Forschungsprojekt MEHREN

Im Forschungsprojekt MEHREN (Multimotor-Elektrofahrzeug mit höchster Raum- und Energieeffizienz und kompromissloser Fahrsicherheit) arbeitet Schaeffler mit Ford und Continental sowie der RWTH Aachen und der Hochschule für angewandte Wissenschaften Regensburg bereits an der nächsten Generation von Radnabenantrieben [7]. Der Schwerpunkt des Vorhabens liegt auf der Umsetzung einer neuen, auf die Spezifika von Radnabenantrieben ausgerichteten Software-Architektur. Diese soll insbesondere eine optimierte Kooperation zwischen Elektromotor und Betriebsbremse ermöglichen.

Zudem wird der Wichtigkeit des Themas „Funktionale Sicherheit“ durch Bearbeitung mit einem extra dafür ausgewiesenen Teilprojekt Rechnung getragen.

Mit dem MEHREN-Projekt soll zudem erstmals gezeigt werden, welche Potenziale für neue Fahrzeug-Architekturen bestehen, wenn der Radnabenantrieb von vornherein als Standardantrieb genutzt wird. Dazu entsteht bis 2015 ein virtueller Prototyp eines „Purpose-built Vehicle“.

Zusammenfassung

Mit den seit 2007 betriebenen Entwicklungsarbeiten am Radnabenantrieb konnte Schaeffler nachweisen, dass dieser Antrieb für elektrische Stadtfahrzeuge praktisch umsetzbar ist. Die Drehmomentdichte ist bereits in der zweiten Entwicklungsstufe nahezu auf dem gewünschten Niveau. Die in der Diskussion über Radnabenantriebe immer wieder bemühten Gegenargumente, insbesondere der negative Einfluss höherer Radmassen auf die Fahrdynamik konnte widerlegt werden. Künftige Entwicklungsarbeiten sind darauf gerichtet, die elektrischen und elektronischen Komponenten weiter zu verbessern sowie Regelgüte und funktionale Sicherheit zu optimieren. Nicht zuletzt gilt es künftig, die durch den frei werdenden Bauraum möglichen neuen Fahrzeugkonzepte tatsächlich zu entwerfen und zu erproben.

Literatur

- [1] Gombert, B.: Vom intelligenten Radlager zum „Robot Wheel“. 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [2] Heim, R. et. al.: Potenzial von Radnabenantrieben für Straßenfahrzeuge. ATZ 114, 2012, Nr. 10, S. 752ff.
- [3] Reitz, D.: Eine Idee, viele Anwendungen: Weiterentwicklung des Hybridmoduls von Schaeffler. 10. Schaeffler Kolloquium, 2014
- [4] Kinigadner, A.; Kirchner, E.: Elektrisches Fahren ohne Reichweitenangst: Das Range-Extender-Getriebe von Schaeffler. 10. Schaeffler Kolloquium, 2014
- [5] Smetana, T.: Wer hat Angst vor 48 V? Der Mini-Hybrid mit E-Achse nicht! 10. Schaeffler Kolloquium, 2014
- [6] Elektromobilität: Forschungsprojekt FAIR verlegt Antrieb ins Rad, http://www.dlr.de/dlr/presse/desktopdefault.aspx/tabid-10310/473_read-6724/year-all/#gallery/9297, 24.10.2013
- [7] Wielgos, S. et al: Reseach Project MEHREN: Potentials of Highly Integrated Wheel Hub Units for New Vehicle Concepts. 22. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2013