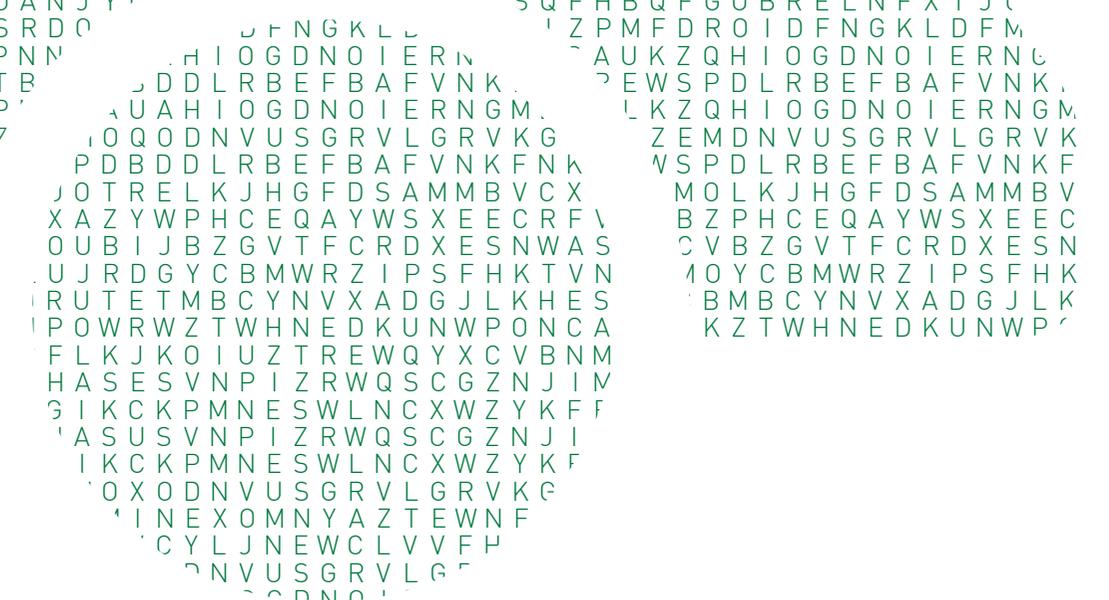
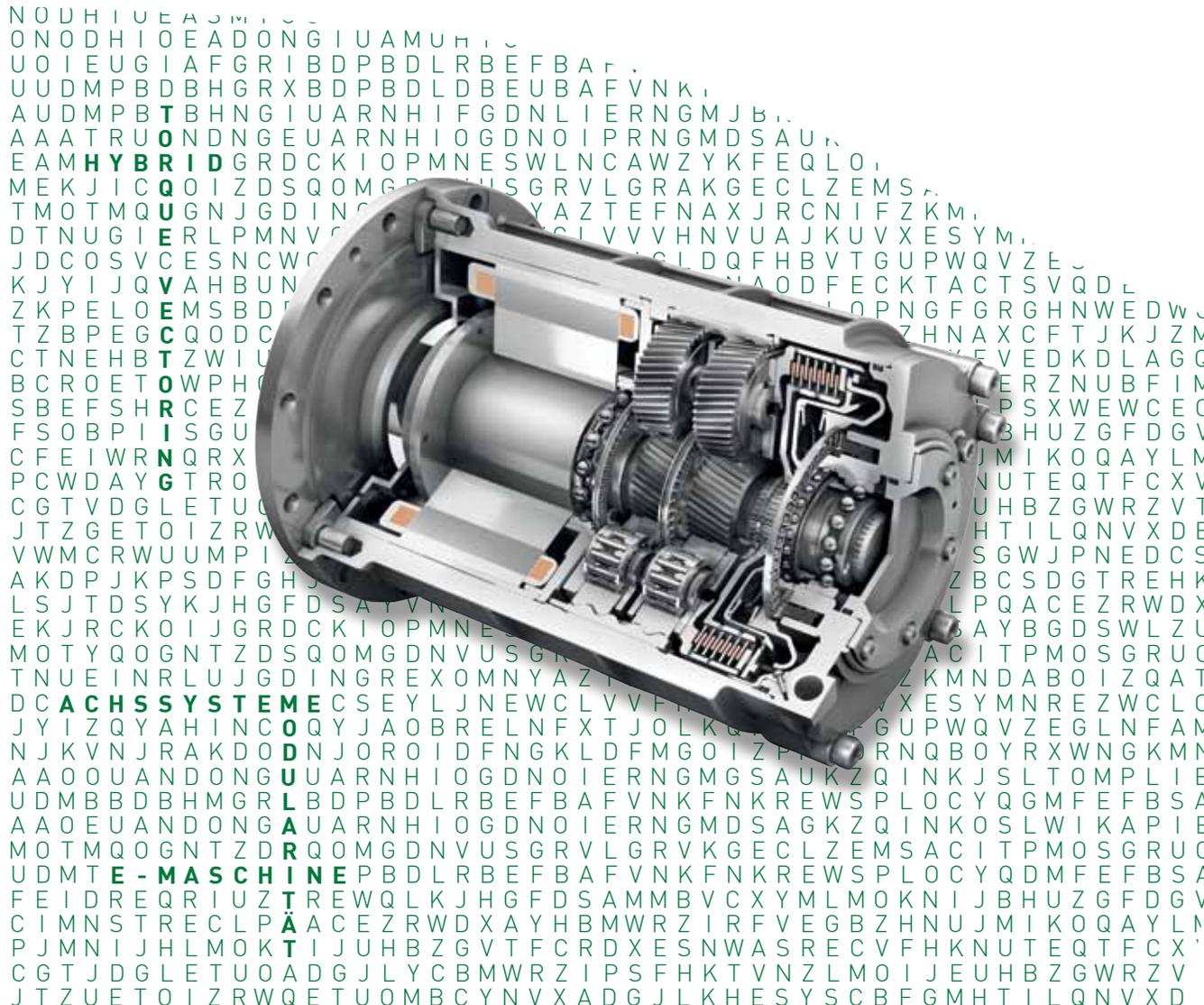


# Wer hat Angst vor 48 V? Der Minihybrid mit E-Achse nicht!

Modularer elektrischer Achsantrieb im 48-V-Bordnetz

Thomas Smetana

# 14



## Achsantriebe für Hybridfahrzeuge

### Entwicklungsstand des E-Differenzials in Hochvoltausführung

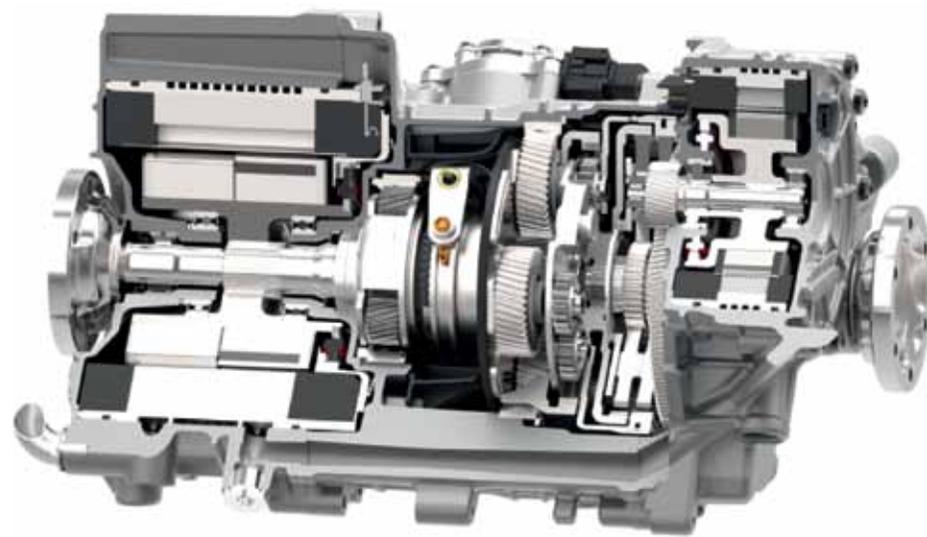
In der gesamten Automobilindustrie ist ein starker Trend zu Hybridfahrzeugen zu beobachten, um die künftigen CO<sub>2</sub>-Anforderungen zu erfüllen. Die für die Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Emission verwendeten Testzyklen begünstigen Fahrzeuge mit einer hohen elektrischen Reichweite. Daher kommen derzeit verstärkt Plug-in-Hybridfahrzeuge auf den Markt, deren Batterie über öffentliche oder private Stromnetze geladen werden kann. Die von solchen Fahrzeugen verlangten Fahrleistungen fordern eine relativ hohe elektrische Leistung bei gleichzeitig geringem Bauraumbedarf.

Eine technische Lösung für solche Fahrzeuge hat Schaeffler mit dem so genannten „aktiven Elektrodifferenzial“ in einer ersten

Generation auf dem Schaeffler Kolloquium 2010 vorgestellt [1]. Diese elektrische Achse ermöglicht nicht nur eine bauraumoptimierte Verwendung als Achsantrieb, sondern auch eine aktive Drehmomentverteilung auf die Räder, so dass sehr gute Fahrdynamikwerte zu erreichen sind.

Seither hat Schaeffler den elektrischen Achsantrieb konsequent weiter entwickelt. Die derzeit erprobte dritte Generation ist an die Topologie eines Plug-in-Hybridfahrzeugs mit Frontmotor und Frontantrieb angepasst. Die Antriebseinheit (Bild 1) ist weiterhin für den koaxialen Einbau in die Hinterachse ausgelegt und zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Es kommen wassergekühlte Elektromotoren in Hybridbauweise (permanenterregte Synchronmotoren mit hohem Reluktanzanteil) zum Einsatz. Diese entsprechen automobilspezifischen Anforderungen im Gegensatz zu den in der ersten Generation verwendeten Industriemotoren.
- Das Getriebe ist weiterhin in Planetenbauweise ausgeführt, besitzt nun aber zwei Übersetzungsstufen.



**Bild 1** Schnitt durch die elektrische Achse in Hochvoltausführung



	Gen 1 (VEP)	Gen 2	Gen 3
<b>Anwendung</b>	EV, E-AWD	HEV, E-RWD	HEV, E-RWD
<b>Abmessungen</b>	300 x 562	230 x 550	230 x 525
<b>Gewicht ohne LE</b>	120 kg	89 kg	79 kg
<b>Batterie DC Spannung min / nom / max</b>	350 / 400 / 450 V	270 / 320 / 360 V	264 / 323 / 361 V
<b>Max. Leistung</b>	105 kW (< 10 s)	55 kW (< 30 s)	65 kW (< 60 s)
<b>Dauerleistung</b>	–	38 kW	45 kW
<b>Max. Drehmoment</b>	1.200 Nm	1.800 Nm	2.000 Nm (60 s)
<b>Dauer Drehmoment</b>	–	–	1.200 Nm
<b>Max. Drehzahl (EM)</b>	8.900 min <sup>-1</sup>	13.000 min <sup>-1</sup>	14.000 min <sup>-1</sup>
<b>Übersetzung</b>	i = 7	i <sub>1</sub> = 12,3 ; i <sub>2</sub> = 4,2	i <sub>1</sub> = 12,3 ; i <sub>2</sub> = 4,2
<b>V<sub>max</sub> Fahrzeug (el.)</b>	< 150 km/h	< 250 km/h	>= 262 km/h
<b>Max. TV Drehmoment</b>	1.500 Nm	1.150 Nm	1.200 Nm (10 s)
<b>Max. Quersperre</b>	–	–	1.600 Nm (5 s)

**Bild 2** Technische Daten der drei Generationen der Hochvolt-Achsen

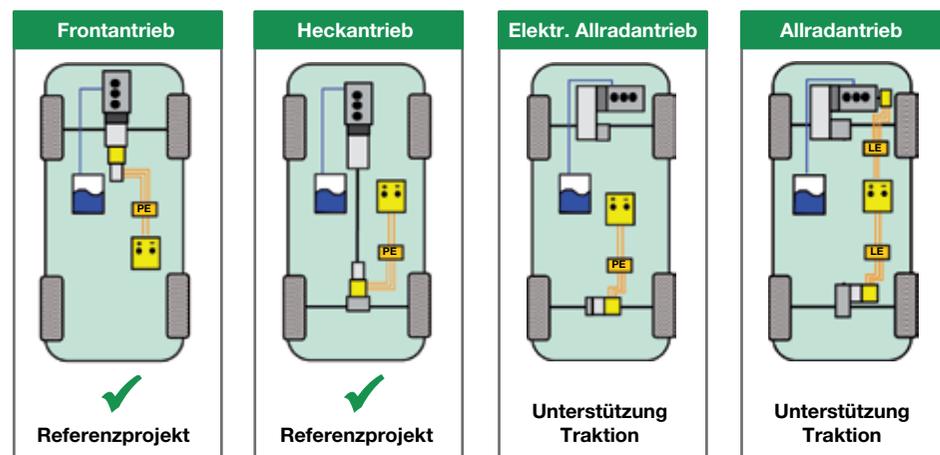
- Der Aufbau ist bei gesteigerter Leistungsdichte modular ausgeführt, so dass Traktion und aktive Momentenverteilung auch als separate Funktionen angeboten werden können.

Der erzielte Entwicklungsfortschritt wird deutlich, wenn man die wesentlichen Kennzahlen der dritten Generation betrachtet (Bild 2). So konnten der Durchmesser um 70 auf 230 mm und das Gewicht der Einheit um 41 auf 79 kg verringert werden. Die Spitzenleistung der für Plug-in-Hybride typischen Batterie wurde aufgrund der Spannungslage von 270 bis 360 V auf 65 kW reduziert, sie steht nun für bis zu 60 s zur Verfügung. Das maximale Moment beträgt aufgrund der kurzen Übersetzung des Zweigang-Getriebes 2.000 Nm. Das Dauermoment von 1.200 Nm reicht für alle gängigen Fahrsituationen aus. Das Torque Vectoring kann auch bei sehr hohen Geschwindigkeiten mit Momentendifferenzen bis zu 1.200 Nm realisiert werden.

Mit der Hochvolt-Elektroachse von Schaeffler sind hohe elektrische Leistungen zu erreichen, wie sie für Hybrid- und Plug-in-Hybridfahrzeuge sowie Range-Extender- und Elektrofahrzeuge typisch sind. Das System befindet sich derzeit bei Automobilherstellern in der Felderprobung.

### Der Minihybrid mit 48-V-Bordnetz

Nachdem in zunehmendem Maß in den kommenden Jahren die Einführung von Minihybrid-Fahrzeugen mit 48-V-Teilbordnetzen absehbar ist [2], stellte sich bei Schaeffler die Frage, ob der elektrische Achsantrieb auch für solche Fahrzeugkonzepte nutzbar ist. Dabei ist die Zielsetzung eines 48-V-Hybrids zu berücksichtigen: Es soll eine signifikante CO<sub>2</sub>-Minderung zu akzeptablen Kosten erreicht werden. Ein Schlüssel dazu ist nicht nur die Batterie, die



**Bild 3** Grundsätzliche Topologien eines 48-V-Hybridantriebsstrangs

noch immer den größten Kostenblock darstellt, sondern auch die insgesamt niedrigeren Sicherheitsanforderungen an Antriebssysteme mit einer Spitzenspannung von weniger als 60 V. Ein Niedrigvoltsystem unterliegt weitaus geringeren Anforderungen in allen Stufen der Wertschöpfungskette, von der Montage bis hin zur Wartung.

Die maximale CO<sub>2</sub>-Einsparung ist unter anderem abhängig von der elektrischen Leistung eines 48-V-Hybridsystems. Dabei sind nicht nur die mit dem Fahrzeug zu erreichenden Beschleunigungen, sondern vor allem auch die maximal zu rekuperierende Bremsenergie ausschlaggebend. Mit aktueller Technik sind etwa 12 kW Maximalleistung realisierbar. Diese elektrische Leistung ermöglicht nicht nur Rekuperation im Generatorbetrieb, sondern auch eine Betriebspunktverlagerung des Verbrennungsmotors im Kennfeld sowie elektrisches Fahren in einem niedrigen Geschwindigkeitsbereich, beispielsweise beim Rangieren oder im Stau.

Die Integration einer entsprechenden Niedervolt-elektrischen Achse in den Antriebsstrang kann in verschiedenen Konfigurationen erfolgen (Bild 3). Möglich sind sowohl die Unterstützung der angetriebe-

nen Achse in front- als auch in heckgetriebenen Fahrzeugen. Zudem lässt sich ein elektrischer Antrieb der Hinterachse bei einem frontgetriebenen Fahrzeug realisieren; eine Konfiguration, die gelegentlich als „elektrischer Allradantrieb“ beschrieben wird. Schließlich kann die elektrische Antriebskraft auch auf Vorder- und Hinterachse verteilt werden, was allerdings eine doppelte Ausführung der E-Maschinen und der Leistungselektronik bedeuten würde.

Bei den folgenden Überlegungen geht Schaeffler davon aus, dass Fahrzeuge mit einer elektrischen Achse auf 48-V-Basis immer auch über einen Riemen-Starter-Generator mit einer Nominalspannung von 12 oder 48 V verfügen, da ein Start des Verbrennungsmotors mit dem Achsmotor nicht möglich ist. Zudem ist der Starter-Generator aus Sicht des Fahrzeugherstellers ohnehin Bestandteil eines modularen Baukastens. Dies hat den Vorteil, dass sicherheitskritische Funktionen wie elektromechanisches Torque Vectoring unabhängig vom Ladezustand der Batterie immer verfügbar sind, da diese durch den Starter-Generator jederzeit nachgeladen werden kann. Auch der Einsatz der elektrischen

Achse als „elektrischer Allradantrieb“ ist vom Ladezustand unabhängig. Die Allradfunktionalität beim Anfahren ist uneingeschränkt verfügbar.

### Aufbau des 48-V-Achsantriebs

Nachdem die Grundsatzentscheidung gefallen war, aus dem Hochvoltsystem eine elektrische Hinterachse auf 48-V-Basis abzuleiten, hat Schaeffler mit der Entwicklung eines entsprechenden Systems begonnen, das in ein heutiges reales Serienfahrzeug mit Heckantrieb passen würde. Es zeigte sich, dass der Einbau des Elektromotors um die Kardanwelle herum – und somit bauraumneutral – erfolgen kann (Bild 4). Als Motor selbst findet eine bereits existierende Asynchronmaschine aus einem Riemen-Starter-Generator Verwendung. Wie in der neuesten Generation der Hochvoltvariante kommt auch hier ein Zweigang-Getriebe zum Einsatz.

Der Antrieb wurde so konstruiert, dass er in einem Serienfahrzeug ohne Veränderungen an Karosserie oder Fahrwerk als Zusatzvariante mit Ein- oder mit Zweigang-Getriebe angeboten werden kann. Voraussetzung dafür war ein sehr kompakter Aufbau. Der Durchmesser von 180 mm liegt im

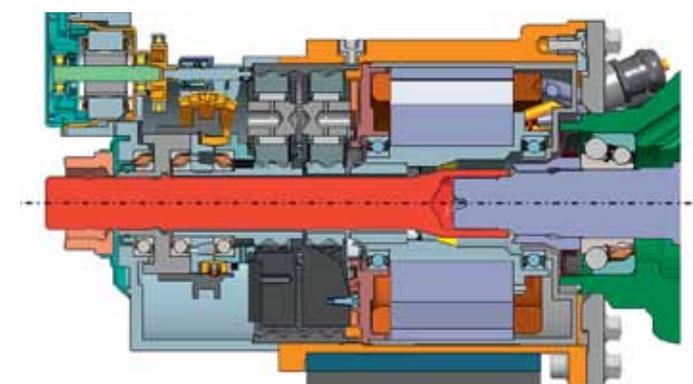


**Bild 4** Prototyp eines elektrischen Hinterachs-antriebs für ein heckgetriebenes Fahrzeug

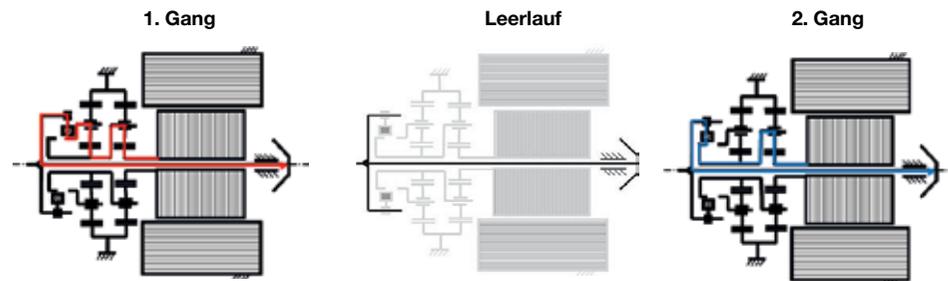
betrachteten Fall unter dem Durchmesser des Kardantunnels. Die gesamte Antriebseinheit befindet sich in coaxialer Lage zur Kardanwelle direkt vor dem Achsgetriebe (Bild 5). Auch wurde auf eine Wasserkühlung verzichtet.

Der Kraftfluss erfolgt, von der elektrischen Maschine kommend, im ersten Gang über das Sonnenrad des ersten Planetenradsatzes (Bild 6). Der Planetenträger ist mit dem Sonnenrad des zweiten Radsatzes verbunden, die Übertragung erfolgt über den Planetenträger auf eine Zwischenwelle. Der Kraftschluss zwischen Planetenträger und Zwischenwelle erfolgt über eine schaltbare Schiebemuffe. Im zweiten Gang ist

hingegen der Planetenträger des ersten Radsatzes mit der Zwischenwelle verbunden, so dass nur dessen Übersetzung zur Wirkung kommt; der zweite Radsatz dreht sich lastfrei mit. Im ausgekuppelten Zustand steht das Getriebe still, das Fahrzeug verhält sich damit wie ein herkömmliches Fahrzeug.



**Bild 5** Schnitt durch das kardanwellen-integrierte elektrische Hinterachs-getriebe



**Bild 6** Kraftfluss im elektrischen Hinterachsgetriebe

Die Übersetzung des Getriebes im ersten Gang ist recht hoch gewählt, um trotz der relativ kleinen elektrischen Maschine ein ausreichendes Anfahrmoment von mindestens 1.000 Nm zu erreichen. Im Prototypen wurde unter Berücksichtigung der Übersetzung der Hypoidstufe des Hinterachsdifferenzials für den ersten Gang die Übersetzung  $i = 19,6$  gewählt, im zweiten Gang beträgt  $i = 4,4$ . Der relativ hohe Gangsprung wurde so gewählt, weil bei der verwendeten Asynchronmaschine die Maximaldrehzahl im ersten Gang schon bei etwas mehr als 20 km/h erreicht ist.

## Funktionen eines 48-V-Minihybrids

### CO<sub>2</sub>-Optimierung

Zweifellos ist die Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen die Primärmotivation für die Einführung eines Minihybrid-Antriebssystems. Die für die Homologation entscheidende Minderung sollte sich gleichzeitig in einem möglichst niedrigen Realverbrauch für den Endkunden niederschlagen. Daher hat Schaeffler mehrere Fahrzyklen für ein Fahrzeug mit einem elektrischen Hinterachsdif-

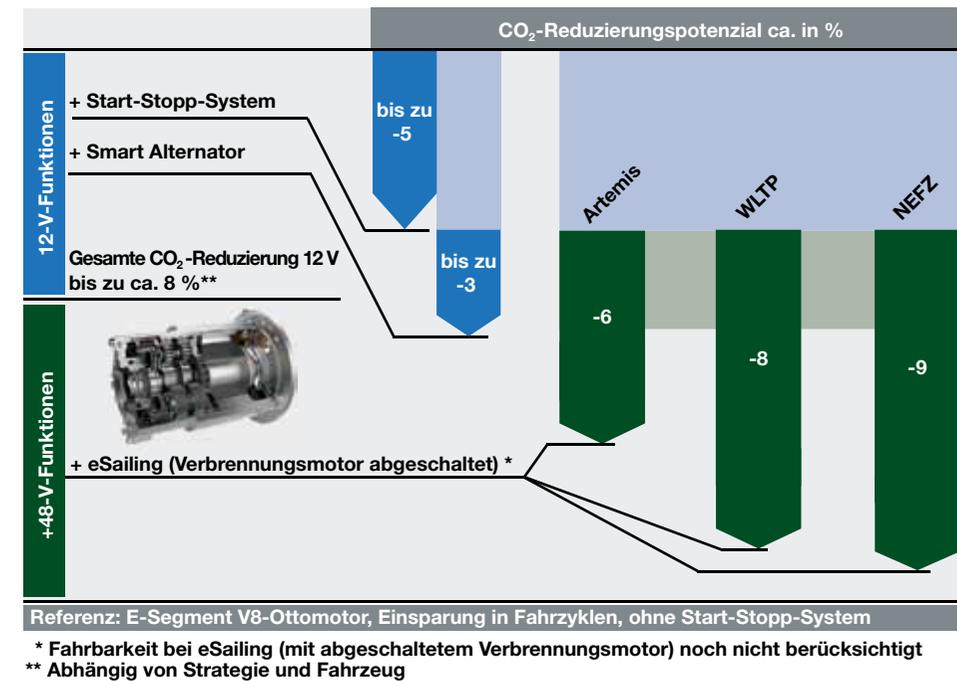
ferenzial simuliert (Bild 7). Dabei wurde bewusst ein sehr schweres Fahrzeug der Luxusklasse mit mehr als 2 t Gewicht und einem V8-Ottomotor zugrunde gelegt.

Es zeigt sich, dass im NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) bis zu 9 % Verbrauchseinsparung gegenüber einem bereits mit Start-Stopp-Funktion ausgerüsteten Fahrzeug zu erreichen sind. Im ARTEMIS-Zyklus, der darauf abzielt, den Realverbrauch eines fiktiven Durchschnittskunden abzubilden, ergibt sich immerhin eine Verbrauchsminde- rung um rund 6 %. Diese Simulationen wurden unter Zuhilfenahme von Modellen erstellt, die die gesamte Wirkungsgradkette in Betracht ziehen. So wurde unter anderem die reale Leistungsabnahme des Elektromotors mit zunehmender Erwärmung berücksichtigt.

Allerdings geht die gezeigte Simulation davon aus, dass während des Segelns der Verbrennungsmotor abgestellt wird. Dieses ist nicht in allen für die nähere Zukunft absehbaren Applikationen der Fall, so dass gegebenenfalls der Leerlaufverbrauch des Verbrennungsmotors hinzugerechnet werden muss.

### Elektrische Fahrfunktionen

Das elektrische Achsdifferenzial von Schaeffler stellt ausreichend Drehmoment zur Verfügung, um in einem niedrigen Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 20 km/h



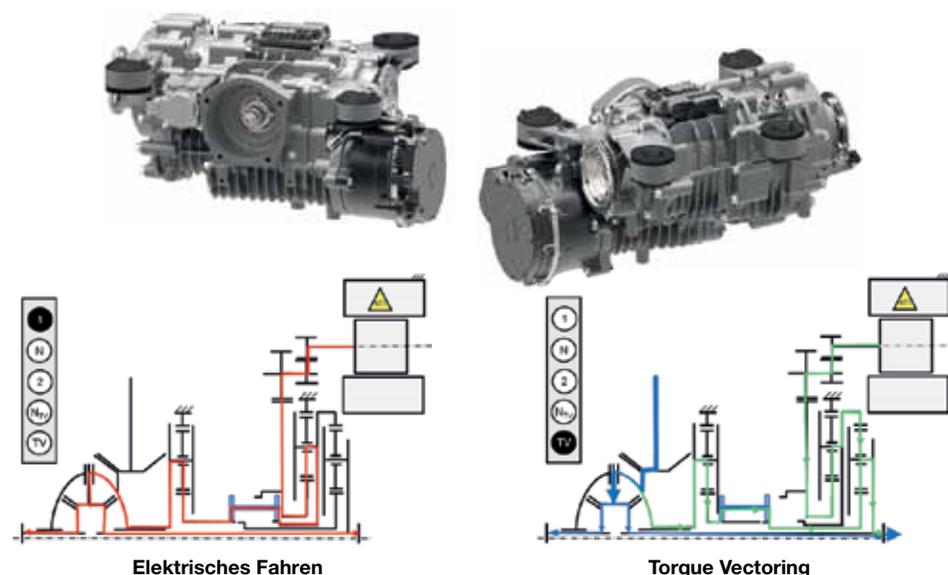
**Bild 7** CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale eines Minihybrid-Antriebssystems in verschiedenen Fahrzyklen

ausschließlich elektrisch zu fahren. Damit beim Kunden die Erwähnung „elektrisches Fahren“ nicht zu überhöhten Erwartungen führt, verwenden wir synonym den Begriff „elektrisches Anfahren“. Die Komfortvorteile für den Kunden sind insbesondere im Stop-and-go-Verkehr sowie beim Rangieren sehr hoch. So kann die Regelung der Längsdynamik allein mit dem Bremspedal erfolgen, ähnlich wie bei einem Fahrzeug mit Automatikgetriebe – und dies bei ange- stellttem Verbrennungsmotor. Das derzeit an der Achse zu erzielende Moment reicht aus, um ein schweres Fahrzeug bei einer Steigung von bis zu 10 % aus dem Stillstand zu beschleunigen. Die CO<sub>2</sub>-Einspar- potenziale durch das elektrische Anfahren betragen bei der bisher betrachteten Li- mousine des Premiumsegments zwar we- niger als 3 %. Auch die elektrisch realisier-

bare Reichweite ist je nach Größe der heute verfügbaren Niedervolt-Batterien auf mehrere hundert Meter bis wenige Kilo- meter eingeschränkt. Die dargestellten Komfortvorteile sowie die Erfahrung des elektrischen Fahrens sind allerdings in Kombination mit der minimalen Zusatz- komplexität für die Endkunden ein durch- aus überzeugendes Argument bei der Ent- scheidung für ein Hybridfahrzeug.

### Aktive Drehmomentverteilung

Bei einem koaxialen Einbau zur Fahrzeug- achse kann das elektrische Differenzial in 48-V-Bauweise auch genutzt werden, um eine aktive Drehmomentverteilung in Quer- richtung (sogenanntes Torque Vectoring) zu betreiben. Grundsätzlich hat diese Form



**Bild 8** 48-V-Achsantrieb mit einer E-Maschine und einem Zweigang-Getriebe

der variablen Verteilung des Antriebsmoments zwischen den Rädern zwei Vorteile:

- Erhöhte Traktion bei ungleichen Reibbeiwerten der beiden Räder, zum Beispiel bei Fahrten auf verschneiten oder vereisten Straßen.
- Verbesserung der Querdynamik durch gezieltes Einstellen des Moments, das dem Über- oder Untersteuern des Fahrzeugs bei Kurvenfahrt entgegenwirkt.

Zunehmend wird die aktive Drehmomentverteilung auch als Komfortfunktion betrachtet. Beispielsweise wäre es möglich, den Einfluss starker Seitenwinde auf die Fahrtrichtung durch das Torque Vectoring vollständig und energieeffizient zu kompensieren. Als Eingangsgröße für solche Funktionen wird das Giermoment um die Fahrzeug-Hochachse verwendet, das von der ESP-Sensorik ohnehin laufend erfasst wird. Die Einführung solcher Funktionen wird unter dem Aspekt der Eigenverantwortlichkeit des Fahrers intensiv diskutiert.

Der konstruktive Aufbau eines 48-V-Minihybrids mit elektrischer Hinterachse folgt der

Idee, die Momentverteilung so vorzunehmen, dass – im Gegensatz zum in Bild 1 dargestellten Hochvoltmodul – eine einzige elektrische Maschine genutzt werden kann. Zudem soll die Struktur des Zweigang-Getriebes sowohl für den Antrieb als auch für die Drehmomentverteilung genutzt werden (Bild 8). Das Zweigang-Getriebe mit Torque Vectoring-Funktion kann mit einem Planetendifferenzial ebenso wie mit einem Standard-Kegelraddifferenzial kombiniert werden.

Die Schaltung zwischen den drei Planetenradsätzen erfolgt sequentiell mit einem einzigen Aktuator, was die Komplexität der Schaltung und Kosten reduziert. Ein derartiges Betätigungskonzept mit einem Aktuator bietet weitere Vorteile im Hinblick auf funktionale Sicherheit, weil die Gefahr der Fehlschaltung (Doppelschaltung) reduziert werden kann. Die Übersetzungen sind so ausgelegt, dass bei etwa 20 km/h rein elektrisch gefahren werden kann, anschließend wird vom ersten in den zweiten Gang gewechselt. In einem Geschwindigkeitsbereich von ungefähr 20 bis 80 km/h sind Boosten, Rekuperation sowie

Lastpunktverschiebung des Verbrennungsmotors möglich. Für den Traktionsmodus werden die Planetenräder 1 und 3 genutzt.

Vom zweiten Gang aus ist nach Durchlaufen einer erneuten Neutralstellung eine aktive Momentverteilung möglich. Der Kraftfluss erfolgt nun unter anderem über das mittlere Planetenrad, das sowohl mit dem Differenzialkorb als auch mit einer der Seitenwellen verbunden ist. Durch das vom Elektromotor aufgebrachte Moment werden die Seitenwellen gegeneinander „verdreht“, es wird mithin eine Drehzahldifferenz erzwungen. Mit einem solchen System sind Drehmomente von bis zu 1.200 Nm (Spitze) und 800 Nm (Dauermoment) zu erreichen, was den heute im Markt bereits etablierten hydraulischen Systemen entspricht. Dabei ist zu betonen, dass die Stellung „Torque Vectoring“ unabhängig von der tatsächlichen Fahrzeuggeschwindigkeit, also auch bei Stillstand geschaltet werden kann.

Der wahlweise Einsatz des Torque Vectoring oder des Elektroantriebs kann automatisch durch entsprechende Sensierung und Priorisierung in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit sowie weiteren Eingangsgrößen erfolgen. Eine andere Möglichkeit ist die gezielte Aktivierung der Funktionen durch den Fahrer mit Hilfe einer „Sport-Taste“, einer „Eco-Taste“ oder „Citymodus-Taste“.

Für die elektrische Achse auf 48-V-Basis mit integriertem elektromechanischem Torque Vectoring ergeben sich folgende Vorteile:

- Gegenüber einem Standard-Hinterachsdifferenzial sind elektrisches Anfahren und aktive Drehmomentverteilung möglich.
- Gegenüber einem hydraulischen System zur aktiven Drehmomentverteilung ist eine signifikante Verbrauchseinsparung möglich. Die Stellgeschwindigkeit eines elektromechanischen Systems ist nahezu temperaturunabhängig und beträgt maximal 60 ms.

- Gegenüber einem Hochvoltssystem nach Bild 1, das in technischer Hinsicht das „Nonplusultra“ darstellt, ist das 48-V-System deutlich weniger komplex und somit kostengünstiger.

Schaeffler verfolgt mit dem zuletzt dargestellten System eine Strategie der maximalen Funktionsintegration durch innovative Antriebstechnologie bei gleichzeitig minimaler Produktkomplexität. Mit Hilfe eines Elektromotors, eines Aktuators und einer Getriebestruktur ist es gelungen, drei Funktionen in das Hinterachsdifferenzial zu integrieren: Elektrisches Anfahren, signifikante CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale im Hybridbetrieb sowie die Steigerung von Fahrzeugagilität und Komfort durch Torque Vectoring.

Ein derartiges „Three-in-one“-Baukastenkonzept verbindet die Ansprüche an effiziente Mobilität mit maximalen Anforderungen an Fahrzeugdynamik und Emotionalität zukünftiger Fahrzeuge bei gleichzeitig akzeptablen Anschaffungskosten. Der daraus resultierende Mehrwert für den Endkunden kann ein Entscheidungskriterium für die Akzeptanz der Niedervolt-Hybridisierung darstellen und eine flächendeckende Hybridisierung der Fahrzeugantriebe beschleunigen.

Um diese für den Endkunden direkt spürbaren Vorteile in der Praxis zu erproben, rüstet Schaeffler derzeit ein sportliches Coupé der Kompaktklasse mit der elektrischen Achse auf 48-V-Basis mit integriertem Torque Vectoring aus.

## Ausblick

Die mit einem Minihybridantrieb zu erzielenden CO<sub>2</sub>-Minderungen liegen selbstverständlich deutlich unter den Werten, die mit einem elektrischen Hochvoltantrieb zu erreichen sind. Dennoch ist das Verhältnis von Nutzen und Kosten nach ersten Simula-

tionen so positiv, dass Schaeffler die Weiterentwicklung intensiv betreibt. Mit dem Aufbau eines Demonstrationsfahrzeugs sollen die in Simulationen ermittelten Potenziale in praktischen Tests überprüft werden.

Wie beschrieben, korreliert die CO<sub>2</sub>-Einsparung stark mit der elektrischen Leistung des Systems. Dies wird deutlich, wenn man die im NEFZ gefahrenen Geschwindigkeiten über dem korrespondierenden Achsmoment aufträgt und mit dem Kennfeld der elektrischen Maschine vergleicht (Bild 9).

Mit einem von 12 auf 18 kW leistungssteigerten Elektromotor könnte demnach ein signifikant höherer Anteil der Betriebspunkte abgedeckt werden. Dies gilt auch für die auftretenden Bremsleistungen und damit die Menge der zu rekuperierenden Energie. Daher arbeitet Schaeffler parallel zu dem mit einer 12-kW-Maschine ausgerüsteten Prototypen auch an der Weiterentwicklung des Elektroantriebs hin zu höheren Leistungen.

Eine Steigerung der verfügbaren Dauerleistung wäre zudem durch eine Umstellung

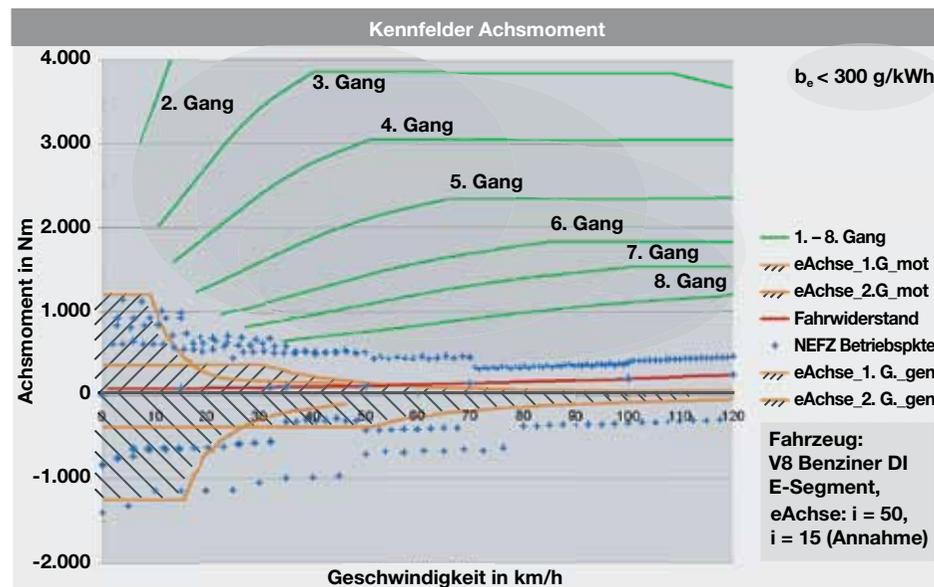
der in den Prototypen verwendeten Kühlung der Elektromotoren über den Luftspalt auf eine Ölkühlung möglich und ist daher ebenfalls Bestandteil der weiteren Entwicklungsarbeit.

Ein weiteres Forschungsfeld kann sich Schaeffler bei der radikalen Optimierung des Reifen-Rollwiderstands in Kombination mit der aktiven elektromechanischen Drehmomentverteilung vorstellen. Die diesen Arbeiten zugrundeliegende Idee besteht darin, verminderte Seitenführungskräfte sehr schmaler und damit auch rollwiderstandsarmer Reifen durch Torque Vectoring zu kompensieren. Erste Abschätzungen ergeben ein Potenzial von bis zu 30 % bei der Reduzierung des Rollwiderstands – ohne Gefährdung der aktiven Sicherheit. Noch wirft die praktische Umsetzung dieser Idee viele Fragen auf. Zum Beispiel: Wie ist sicherzustellen, dass solche Reifen nur auf Fahrzeuge mit aktiver Drehmomentverteilung aufgezogen werden? Und ist eine permanente Querstabilisierung des Fahrzeugs durch elektromechanische Angriffe zulässig?

Dennoch begreift Schaeffler Innovation konsequent als die Suche nach Neuem und verfolgt daher durchaus radikale Ideen, deren hundertprozentige Umsetzbarkeit im Rahmen der Forschungs- und Vorentwicklungsprojekte noch unter Beweis gestellt werden muss. Weiteren Inspirationen und Anregungen durch Kunden, Lieferanten und Entwicklungspartner steht Schaeffler offen gegenüber!

## Literatur

- [1] Smetana, T.; et al.: Schaefflers aktives Elektrodifferential: Das Getriebe für den Antrieb der Zukunft. 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [2] Gutzmer, P.: Individualität und Vielfalt: Paradigmen künftiger Mobilität. 10. Schaeffler Kolloquium, 2014



**Bild 9** Betriebspunkte im NEFZ und Drehmomentabgabe des Elektromotors