

E-Maschinen im elektrifizierten Antrieb

Enormer Variantenreichtum

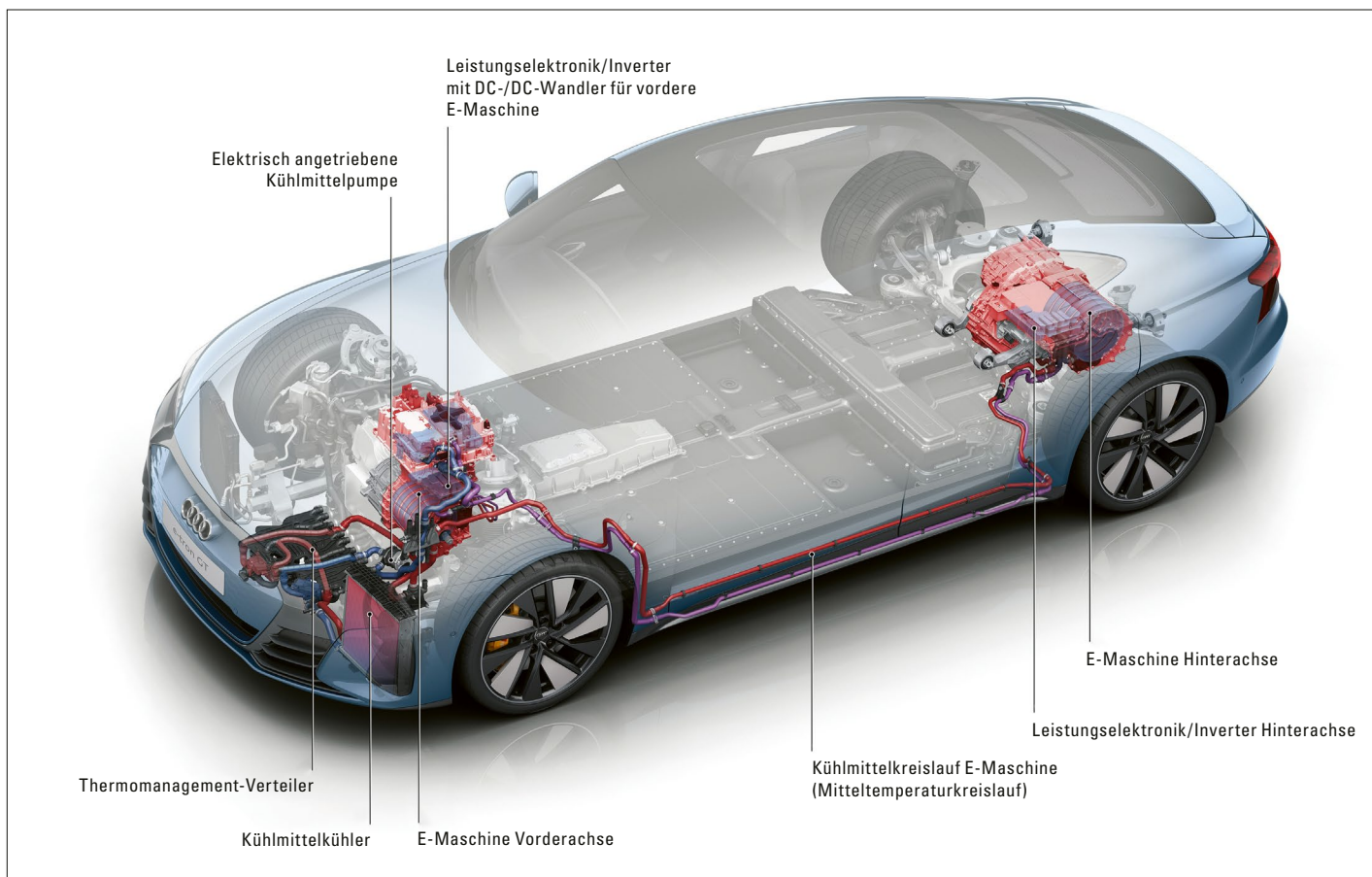
Die Vielfalt der E-Maschinen in elektrifizierten Fahrzeugantrieben ist gross. Nebst im Aufbau einfachen Asynchronmaschinen werden aufgrund des höheren Wirkungsgrades und der besseren Ansteuerung beim Beschleunigen und Rekuperieren Synchronmaschinen mit Dauermagneten oder Elektromagneten eingesetzt. Die E-Maschinen werden künftig reparierbar sein. Was geht kaputt und wie erfolgt die Instandstellung?

Andreas Senger

Die E-Maschine erobert kontinuierlich den Fahrzeugantrieb. Nebst BEV sind Hybrid- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge beliebt im Neuwagenverkauf. Auch Brennstoffzellenfahrzeuge weisen einen elektrischen Antrieb auf. Beim Herzstück E-Maschine wollen einige Automobilhersteller sowohl die Entwicklungs- wie Fertigungskompetenz im Konzern haben und verzichten bewusst auf Zulieferer. Andere kaufen die E-Maschine samt der Ansteuerung, also der Leistungselektronik (auch Inverter genannt) bei Zulieferern ein. Der Aufwand in

der Entwicklung von E-Antriebssträngen und deren Umsetzung in verschiedenen Fahrzeugkategorien darf nicht unterschätzt werden. Nebst den Kosten für die einzelnen Komponenten und Anpassung an verschiedene Fahrzeugtypen (Kleinwagen bis Oberklasse, Vorder-, Hinterachs- oder Allradantrieb) ist es für Automobilhersteller zentral, auch bei den E-Maschinen einen Baukasten zu entwickeln, der alle Bedürfnisse an Antrieben im Konzern abdeckt und trotzdem in der Fertigung im Aftersales handhabbar bleibt.

Grundsätzlich werden aktuell in Automobilen zwei Arten von Drehstrommaschinen verbaut. Der Asynchronmotor ist einfacher im Aufbau. Er verfügt beim feststehenden Stator über Kupferwicklungen, die über die Leistungselektronik ein elektromagnetisches Drehfeld erzeugen. Der Rotor besteht aus einem Kurzschlussläufer. Im Weicheisenblech sind leicht schräg zur Rotorwelle Leiterstäbe eingebaut. Durch das drehende Magnetfeld des Stators wird im Kurzschlussläufer eine Spannung induziert, die einen Stromfluss in den Rotorleitern bewirkt.



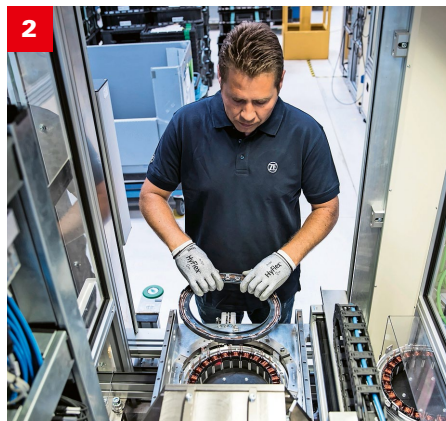
Die E-Maschinen in der Oberklasse sind auf grösstmögliches Drehmoment und Leistungsabgabe getrimmt. Dank 800-Volt-HV-Technologie sind die E-Maschinen in der Lage, ein enorm grosses Losbrechmoment beim Anfahren zu bieten und hohe Rekuperationsleistungen zu fahren. Die Ansteuerung übernimmt jeweils eine Leistungselektronik. Foto Audi

Dadurch entsteht die Abstosskraft (Lorentzkraft), welche über den Radius von der Rotormitte bis zur Kräfteinwirkung das Drehmoment M erzeugt. Das Drehfeld eilt dem Rotorfeld voraus, deshalb ist der Winkel asynchron.

Bei den Synchronmaschinen ist der grosse Unterschied, dass der Rotor über ein eigenes Magnetfeld verfügt. Bei PSM, also Permanent-synchronmaschinen, ist der Rotor mit Dauermagneten ausgestattet. Die fremderregten Maschinen, welche beispielsweise bei BMW und Renault Verwendung finden, benötigen keine teuren Dauermagnete im Rotor, sondern weisen Kupferleitungen auf, die elektromagnetisch das Magnetfeld erzeugen.

Im Betrieb bedeutet dies, dass bei PSM die Leistungselektronik wie beim Asynchronmotor einzig das Drehfeld am Stator regelt. Der Rotor ist dabei in der gleichen Winkelgeschwindigkeit unterwegs wie das Statorfeld, deshalb der Begriff synchron (gleichzeitig). Beim fremderregten Synchronmotor wird zudem das Rotorfeld, das sich in Intensität (Stromstärke) verändern lässt, über einen DC-Anschluss dargestellt. Damit kann insbesondere die Rekuperation, also der Generatorbetrieb, feiner geregelt und zudem beim Ausschalten des Rotorstroms das Segeln optimiert werden. Durch das Abschalten des Rotorelektromagnetfeldes entstehen beim Ausrollen keine Induktionsspannungen und damit keine Bremsmomente, was insbesondere auch bei Allradantrieben (E-Maschine vorne und hinten) vorteilhaft ist. Entsprechend wird bei Allradantrieben diese Konfiguration gewählt oder an der Vorderachse eine Asynchronmaschine, um ebenfalls beim Ausschalten des Statorfeldes keine Bremswirkung zu erzielen, um das Segeln zu ermöglichen oder den Vorderradantrieb abzuschalten.

Die drei Arten von Drehstrommaschinen lassen einen Baukasten zu. Oft wird der Rotor- und Stator Durchmesser gleichgehalten und einzig die Baulänge variiert, um unterschiedliche Drehmoment- und Leistungsvarianten darzustellen. In höherpreisigen Fahrzeugen wird zudem die Allradvariante einfach ermöglicht und sogar mit drei E-Maschinen die Fahrdynamik positiv beeinflusst. Werden an der Hauptantriebsachse zwei unabhängige E-Maschinen (links und rechts getrennt) verbaut, kann über die Leistungselektronik eine asymmetrische Drehmomentzuteilung bei Kurvenfahrt realisiert werden. Die oft schweren BEV erfahren dadurch weniger Untersteuern beim



1 Elektromotoren wickeln gehörte lange Zeit nicht zu den Kompetenzen der Automobilhersteller. Das Wickeln der Kupferleitungen von Stator- und bei fremderregten Motoren der Rotorwicklungen kann zwar in Grossserie von Wickelautomaten übernommen werden. Im Reparaturfall, wenn der Isolationswiderstand der Kupferdrähte zueinander zu gering ist und ein Durchschlagen der hohen Spannung stattfindet (Windungsschluss), müssen E-Maschinen auch neu gewickelt werden können. **2** Die Fertigung von E-Maschinen ist vielfältig: Ob der Motor in einem BEV oder Hybrid eingesetzt wird, entscheidet die Bauform und entsprechend der Aufwand in der Fertigung. **3** Oft bauen Zulieferer nicht nur die E-Maschine, sondern liefern auch das benötigte Ein-Gang-Getriebe (selten Zweigang) als Modulkomponenten ans Band. Fotos: Renault (oben), ZF (unten)

Herausbeschleunigen aus Kurven und das um die Hochachse eingeleitete Drehmoment des asymmetrischen Antriebs an der Hinterachse lässt das Fahrzeug agiler wirken.

Typischerweise verfügen die E-Maschinen über ein Einganggetriebe. Der Drehmoment- und Leistungsverlauf sowie der breit nutzbare Drehzahlbereich lassen einen vereinfachten Antriebsstrang zu. Nach dem Einganggetriebe wird lediglich ein Ausgleichsgetriebe mit Differential verbaut, um bei Kurvenfahrt den Drehzahlausgleich der kurvenäusseren und -inneren Räder zu ermöglichen. Da E-Maschinen aus dem Stillstand ihr grösstes Drehmoment zur Verfügung stellen, sind Kupplungen nicht

nötig. Ausser bei Hybridantrieben werden je nach Konzept Kupplungen eingebaut, um den Verbrennungsmotor beim rein elektrischen Fahren vom Antriebsstrang zu trennen. Die E-Maschine sitzt bei diesen Konzepten entweder zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe oder im Getriebegehäuse. Auf Längssperren und damit komplizierte Allradkonzepte kann verzichtet werden. Die Regelung von zwei E-Maschinen über die beiden Inverter ist dank zentraler Antriebssteuerung kein Thema. Wenn Wert auf hohe Beschleunigungswerte und bei hohen Tempis geringe Verbrauchswerte

Fortsetzung Seite 44

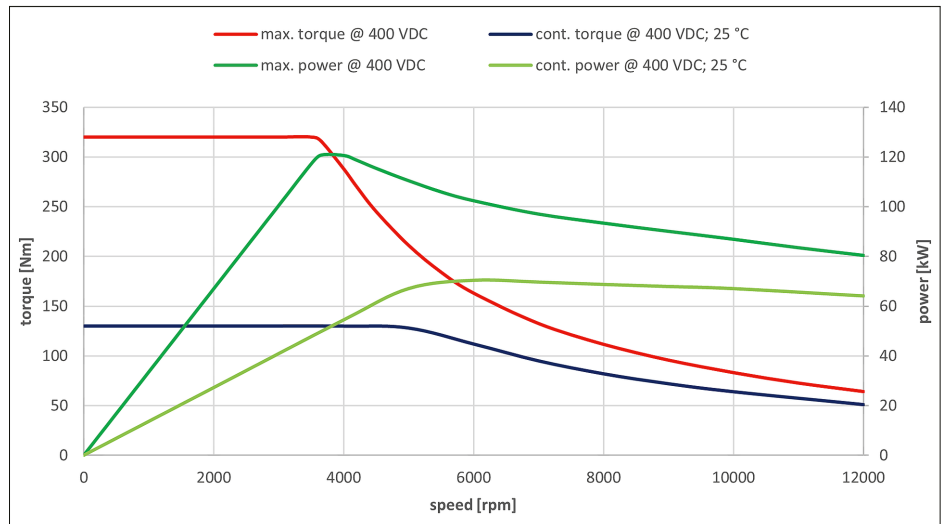
gelegt wird, kommen aktuell Zweigang-Getriebe zum Einsatz (nur an der Hinterachse). Damit lässt sich bei Autobahntempo die Drehzahl der E-Maschine absenken und damit der Verbrauch elektrischer Energie senken.

Die E-Maschinen verfügen nur über wenige Bauteile und sind damit kostengünstiger in der Fertigung als Verbrennungsmotoren. Allerdings sind sie nicht verschleissfrei. Um die Temperatur der Antriebsmotoren auch bei mehrmaligem Beschleunigen oder Rekuprieren im Griff zu haben, ist ein aufwendiges Thermomanagement nötig. Einfache Antriebe weisen eine Luftkühlung auf (Kleinstfahrzeuge). Die nächste Ausbaustufe ist die Kühlung über das Schmieröl im E-Motorengehäuse und bei leistungsstarken Fahrzeugen muss trotz hohem Wirkungsgrad der Energieumwandlung die Abwärme mittels Kühlflüssigkeit weggeführt werden.

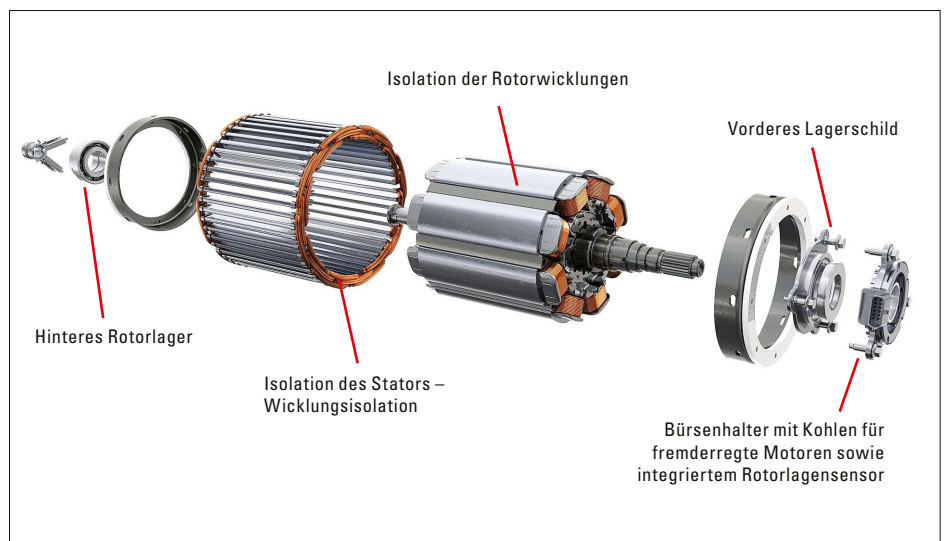
Der einfache Aufbau würde erwarten lassen, dass bei der Fahrzeugwartung keine Arbeiten notwendig sind. Dies ist nicht der Fall. Nebst der Kontrolle der verschiedenen Kühlmittelkreisläufe ist es je nach Kühlung nötig, Leckagebehälter mit Kühlflüssigkeit zu leeren und/oder den Ölstand zu prüfen. Einige Hersteller setzen zudem Ölwechselintervalle für die E-Maschine und Achsgetriebe fest. Da viele Motoren keinen Ölfilter aufweisen, lässt sich so der geringe Metallabrieb der Rotorlager im Ausgleichsgetriebe durch die hohen Motor Momente aus dem Gehäuse bringen. Ausserdem muss bei fremderregten Synchronmaschinen der Kohlebürstenhalter inkl. Schleifkohlen ersetzt werden.

Ist das Fahrzeug noch in der Garantiezeit, werden defekte Antriebsmaschinen oft einfach inkl. Getriebe gewechselt. Nach der Garantiezeit lassen sich die mechanischen Komponenten wie Rollenlagere des Rotors oder der Rotorlagensensor ersetzen.

Weisen die elektrischen Leitungen in den Stator- oder Rotorwicklungen allerdings Isolationsprobleme auf, wird eine Reparatur



Drehstrommaschinen haben im Fahrzeug den Vorteil, dass sie temporär mit höherer Spannung und damit mit mehr Strom versorgt werden können. Die kurzzeitige Drehmoment- und Leistungssteigerung - das Boosten - kann zum Überholen oder für eine hohe Rekuperationsleistung genutzt werden. Foto Brusa



An einer E-Maschine gibt es nicht viele Verschleisssteile: Die beiden Rotorlager, bei fremderregten Synchronmaschinen, der Rotorlagensensor sowie die Isolation der Kupferleitungen im Stator und Rotor durch Alterung sind die einzigen Verschleisssteile. Reparaturen sind künftig – sofern Ersatzteile lieferbar sind – einfach realisierbar. Foto Renault

schwierig. Schlägt bei der Isolationsprüfung die hohe Spannung zu anderen Wicklungen oder zum Gehäuse durch, verliert der Motor an Drehmoment und besteht die Gefahr eines Kurzschlusses durch den Windungsschluss, der die Leistungselektronik beschädigen kann. Entsprechend sind in diesem Fall die Elektromotorenwickler-Experten gefragt. Nur noch wenige Firmen haben das Know-how, E-Maschinen von Grund auf neu zu wickeln

und damit eine Reparatur zu ermöglichen. Es wird sich zeigen, wie die Branche mit defekten E-Maschinen umgehen wird. Eine sinnvolle und nachhaltige Variante wäre, die E-Maschinen als Austauschersatzteil zentral zu überarbeiten und damit den Kunden eine kostengünstige Reparatur zu ermöglichen. Solche Konzepte sind in Diskussion, aber aktuell noch nicht umgesetzt und in weiter Ferne. <

CAP3070-PARTIKELZÄHLER



ZUVERLÄSSIGE UND SCHNELLE MESSUNG

Anschluss an bestehende Geräte | Vereinfachte Wartung | Kostengünstig und nachhaltig.



www.capelec.com

