



© Continental

Hoch integrierter elektrischer Antriebsstrang

Elektrofahrzeuge und Plug-In-Hybride benötigen Hochvolt-Antriebslösungen, um rein elektrisch fahren zu können. In China, wo das elektrische Fahren auf Großserienniveau stark vorangetrieben wird, herrscht Zeitdruck, dieses anspruchsvolle Ziel technisch umzusetzen. Continental hat die Anforderungen analysiert und auf dieser Grundlage ein komplettes elektrisches Antriebsstrangmodul mit hoher Leistungsdichte entwickelt. Es soll 2019 in China in Serie gehen.

ANFORDERUNGEN DER ELEKTRIFIZIERUNG IN CHINA

Nach einer in früheren Voraussagen offenkundig unterschätzten Latenzzeit befindet sich die Elektrifizierung von Fahrzeugantrieben inzwischen an der Schwelle zu hohen Stückzahlen. Während in Europa der Seriedurchbruch durch milde Hybridisierungen mit 48-V-Technologie markiert wird und das Segment der reinen Elektrofahrzeuge noch vor seinem Stückzahlwachstum steht, macht der größte Fahrzeugmarkt der Welt bereits den nächsten Schritt. Als Teil der politischen und gesetzlichen Weichenstellung soll das elektrische Fahren in China einen wesentlichen Beitrag zur Luftreinhaltung in den Großstädten leisten. Neben Lösungen für die automobile Oberklasse und Systemen für

AUTOREN



Gunter Mühlberg

leitet die Produktplattform elektrischer Achsantriebe im Geschäftsbereich Hybrid Electric Vehicle (HEV) bei Continental in Berlin.



Dr. Wilhelm Hackmann

ist Leiter Motor Design and Simulation im Geschäftsbereich Hybrid Electric Vehicle (HEV) bei Continental in Berlin.



Kai Buzziol

ist Gesamtprojektleiter in der Plattform für elektrische Achsantriebe im Geschäftsbereich Hybrid Electric Vehicle (HEV) bei Continental in Berlin.

kompakte Fahrzeuge liegt eine zentrale Herausforderung darin, die Stückzahlen der Mittelklasse zu bewältigen.

In diesem Bereich setzt das elektrische Fahren mit Elektrofahrzeugen (EVs) sowie Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV) Spitzenleistungen in der Spanne zwischen 100 und 150 kW und ein Drehmoment von etwa 2500 bis 3000 Nm an der Antriebsachse (200 bis 300 Nm elektrisch) voraus, um eine angenehme Mobilität und Agilität zu ermöglichen. Kompakte Fahrzeuge dagegen lassen sich bereits mit Systemen für 50 bis 100 kW motorisieren, während größere Modelle 150 bis 250 kW erfordern. Aus dieser Spanne an Antriebsleistungen lässt sich die Struktur eines dreistufigen Plattformansatzes ableiten, den Continental aufbaut. Speziell im Hinblick auf China wurde das mittlere Segment für die

„Golf-Klasse“ als oberste Priorität ausgewählt. Wegen der Kombination aus Fahrzeugmasse (rund 2 t), der geforderten Antriebsleistung und den für dieses Großseriensegment geltenden engen wirtschaftlichen Randbedingungen bringt die Elektrifizierung hier besonders hohe Anforderungen mit sich. Im Hinblick auf die Fahrzeugintegration kommt noch hinzu, dass die Elektrifizierung kompakt sein muss und nicht zu viel Zusatzgewicht mitbringen sollte, um die Gesamtmasse möglichst niedrig zu halten.

Diese Logik führt zu einer hohen Leistungsdichte, die wiederum eine hohe Integration voraussetzt als Weg, um Bauraum, Masse und Komponentenzahl gleichermaßen optimieren zu können. Außerdem reduziert ein Kompletmodul den Aufwand für die Fahrzeugintegration. Einen ersten Zwischenstand der im Aufbau befindlichen Antriebsstrang-Plattform hat Continental 2015 auf der IAA vorgestellt. Diese Plattform mit drei Leistungsklassen trägt die Bezeichnung Electric Machine with Reducer (Elektroantrieb mit Untersetzergetriebe, EMR). Dieses Antriebsstrangmodul umfasst auch Inverter und Konverter. Durch die Integration von Elektromotor, Getriebe und Leistungselektronik entfielen viele Bauteile wie Stecker, Kabel und Wasseranschlüsse. Dadurch konnten deutliche Kosteneinsparungen erzielt werden, zugleich hatte sich das Gewicht des damaligen Entwicklungsstandes um rund 15 Prozent gegenüber einem diskreten Aufbau verringert. Auf der Grundlage dieses Konzeptes wurde die dritte Generation des elektrischen Achsantriebs EMR3 entwickelt. Für sie ist der erste Serienanlauf in China für das Jahr 2019 geplant.

UMFANG UND MERKMALE DES EMR3

Typischerweise sind elektrische Hochvolt-Antriebsstränge (derzeit bis 450 V, künftig bis zu 850 V) heute diskret aufgebaut, das heißt, die einzelnen zentralen Bestandteile Motor, Leistungselektronik und Getriebe (sowie die Batterie) werden einzeln integriert und können aus unterschiedlichen Quellen bezogen werden. Natürlich bringt diese Einzelintegration auch eine entsprechende Anzahl an Steckverbindern und Hochvolt-Kabelstrecken mit sich. Für den

OEM als Integrator bedeutet das auch, dass er die Validierung des Zusammenspiels der einzelnen Komponenten selbst erbringen muss.

Bei dem wassergekühlten elektrischen Achsantrieb EMR3 hat man einen anderen Weg beschritten. Hier sind alle Komponenten des Antriebs in einem einzigen Modul integriert. **BILD 1** zeigt den Entwicklungsstand von Anfang 2017 am Beispiel der Leistungsklasse 2 mit 100 bis 150 kW Leistung. Die permanent erregte Synchronmaschine (PSM) ist eng mit der darüber liegenden Leistungselektronik sowie den Hochvolt-Anschlüssen und dem stirnseitig integrierten Untersetzergetriebe verbunden. Durch platzsparende Anordnung der ursprünglichen Einzelkomponenten um die Antriebsachse des Elektromotors herum sinkt der Bauraumbedarf verglichen mit einer Einzelintegration plus Verkabelung. Das in der Länge skalierbare Gehäuse der Einheit besteht aus Aluminiumspritzguss.

Auf der Ebene des PSM-Motors profitiert das Antriebsstrangmodul von der kompakten inneren Aufbauweise mit speziell geformten Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagneten (NdFeB), einem kleinen Luftspalt zwischen Rotor und Stator und einem hohen Kupferfüllfaktor. Die PSM-Technologie wurde gewählt, weil sie für die hier angestrebte mittlere Leistungsklasse die optimal effiziente Motortechnologie ist. Der Statoraußendurchmesser beträgt lediglich 190 mm. Der Wirkungsgrad des Motors liegt im weitaus größten Teil seines Betriebskennfeldes bei 95 %. Die Kühlung des Rotors erfolgt mittels Luftströmung, die Wärme des Stators wird über Kühlwasserkanäle abgeführt.

Auf der Ebene der Leistungselektronik sind die geringen Abmessungen mit nur 4 l Volumen das Ergebnis des hohen Reifegrads der dritten Generation der Continental Leistungselektronik zu verdanken, die sich bereits in Serie befindet. Einen wesentlichen Beitrag zum Wirkungsgrad bei kompakten Abmessungen hat die Umstellung auf Sintertechnik geleistet. Mit dem Sinterverfahren zum Aufbringen der Bauelemente lassen sich höhere Betriebstemperaturen und damit bei gleichen Abmessungen höhere Ströme realisieren, weil die thermische Anbindung der integrierten Schaltkreise (ICs) besser ist. Gleichzeitig steigt die Lebensdauer der Elektronik um den Faktor Zehn. In der in **BILD 1** erkennbaren

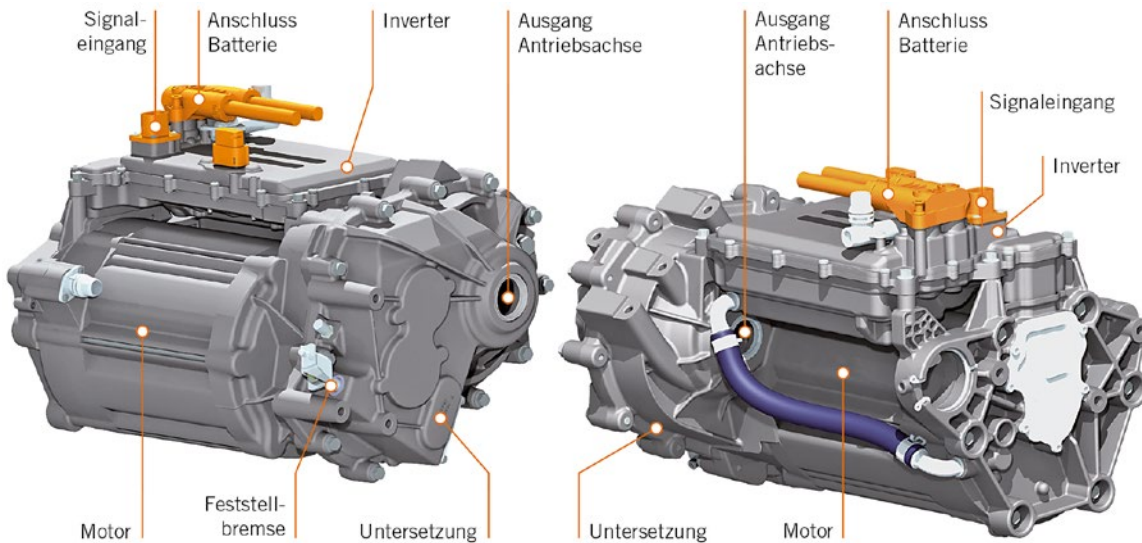


BILD 1 Hoch integrierter elektrischer Antriebsstrang EMR3 der Leistungsklasse 2 (100 bis 150 kW) (© Continental)

Leistungselektronikeinheit ist der Inverter (Wechselrichter) enthalten. Da das Inverterkernmodul bereits im Jahr 2016 für einen Serieneinsatz in einem Hybridfahrzeug qualifiziert und validiert wurde, bildete es zusammen mit der Software-Grundfunktionalität eine wirtschaftliche Re-Use-Basis für die Anwendung im elektrischen Achsantriebsmodul. Gegenüber der ersten Generation der Leistungselektronik weist die in dem EMR3 aktuell verwendete dritte Generation die sechsfache Leistungsfähigkeit bei einem um ein Drittel verringerten Gewicht auf. Gleichzeitig sind die Kosten pro kW gesunken. Der hohe Reifegrad der Leistungselektronik zeigt sich unter anderem darin, dass der Inverter trotz kompakter Abmessungen hohe Ströme bereitstellt und das bei einem hohen Wirkungsgrad.

Das Untersetzergetriebe wurde in Zusammenarbeit mit dem Schweizer Getriebespezialisten Oerlikon eigens für diese Anwendung entwickelt. Die Untersetzung erfolgt über ein zweistufiges Stirnradgetriebe mit Schrägverzahnung. Das Getriebegehäuse bildet mit dem Motorgehäuse eine Einheit. Genau wie das Gesamtmodul wird auch das Getriebe in China vor Ort am Standort des Partners gefertigt. **BILD 2** zeigt das gesamte Modul im betriebsfertigen Zustand, so wie es zu Fahrzwecken bereits im Demonstratorfahrzeug in China verbaut wurde. Als zunehmend stark nachgefragte Funktion ist in den EMR3 eine elektrisch betätigte Parkbremse integriert, die das Fahrzeug im Stand fixiert. **BILD 3** vermittelt einen Ein-

druck von dem Integrationsfortschritt seit dem 2015 erreichten Zwischenstand und dem aktuellen Stand der dritten Generation. Bei diesem noch kompakteren Aufbau ließen sich weitere 20 % Gewicht einsparen, bei den Kosten nahezu ein weiteres Drittel.

SKALIERBARKEIT DES MODULS

Um innerhalb der hier vorgestellten Leistungsklasse (100 bis 150 kW) skalieren zu können, lässt sich die Rotor- und Statorlänge zwischen 125 mm und 225 mm wählen. Zusätzlich zur Skalierung der

Antriebsleistung über die Baulänge von Stator und Rotor kann eine Skalierung auch über die Höhe des Inverterstroms erfolgen. **BILD 4** zeigt die wesentlichen Motorparameter. Das mittlere Gewicht der Leistungsklasse 2 beträgt nur 75 kg (bei 175 mm Rotor/Stator-Aktivlänge). Die derzeit maximalen Ströme der Leistungselektronik betragen 450 A. Der Achsantrieb EMR3 liefert ein mittleres Maximum von 270 Nm elektrischem Drehmoment (zwischen 190 und 400 Nm in der Skalierungsspanne). Der Elektromotor ist für eine Maximaldrehzahl von 14.000 min⁻¹ ausgelegt. Im Kurzzeitbe-

BILD 2 Ansicht des einbaufertigen elektrischen Antriebsstranges (© Continental)



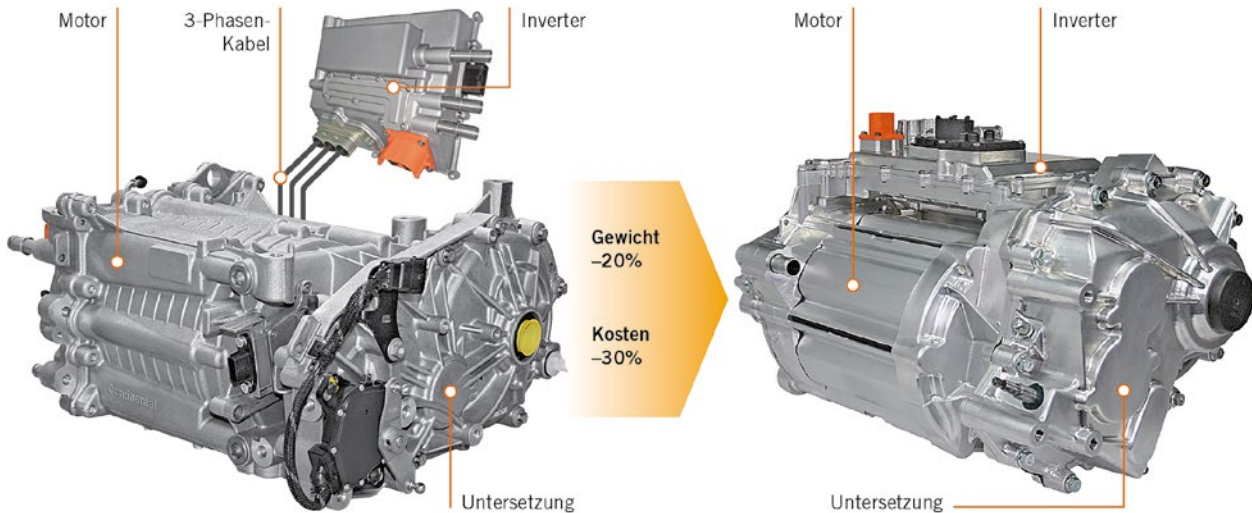


BILD 3 Seit dem Jahr 2015 ließen sich durch höhere Integration abermals Gewichts- und Kosteneinsparungen realisieren (© Continental)

trieb (10 s) kann der Antrieb zwischen 100 und 150 kW bei bis zu 400 Nm elektrisch abgeben. Seine Dauerleistung liegt zwischen 40 kW und 70 kW. Das Übersetzungsverhältnis beträgt 9,3. Es kann ohne Veränderungen des Getriebehäuses in der Spanne zwischen 7,5 und 12,5 definiert werden. Das Gesamtmodul misst (bei 175 mm Rotor/Stator) lediglich 400 x 500 x 320 mm und ist damit nur unwesentlich größer als ein auf vielen Flugverbindungen akzeptiertes Bordgepäck. In diesen kompakten Abmessungen trotz hoher Leistungsabgabe liegt einer der zentralen Vorteile des hohen Integrationsgrades. Bei der Applikation des elektrischen Antriebsstranges an ein Fahrzeug reduziert sich der Integrationsaufwand im Wesentlichen auf die Anpassung der Haltepunkte und die Lage der Kühlwasseranschlüsse.

BETRIEBSVERHALTEN

Für ein Elektrofahrzeug spielt das Geräuschverhalten (Noise, Vibration, Harshness, NVH) des Antriebs eine große Rolle, da es hier kein Verbrennungsmotorgeräusch gibt, das unerwünschte Geräuschanteile maskieren würde. Dasselbe gilt für ein PHEV im elektrischen Fahrbetrieb. In die Entwicklung des EMR3 ist die gesamte bisherige Serienerfahrung von Continental mit der Entwicklung und Auslegung von elektrischen Serienantrieben eingeflossen, so dass der integrierte elektrische Antriebsstrang nicht nur hoch kompakt sondern auch geräuscharm und vor allem weitgehend frei von unerwünschten Geräuschanteilen ist. Eine weitere wichtige Rolle spielt die elektromagnetische Verträglichkeit.

FAZIT

Der hoch integrierte elektrische Achsantrieb EMR3 in der mittleren Leistungsstufe (Plattform Klasse 2) wurde zunächst speziell für die Anforderungen in der Motorisierung von Fahrzeugen der Mittelklasse entwickelt. Das äußerst kompakte Modul mit hoher Leistungsdichte enthält den kompletten elektrischen Antriebsstrang und lässt sich mit minimalem Aufwand in ein Elektrofahrzeug integrieren. Das einbaufertige validierte Modul erreicht durch den hohen Integrationsgrad und die Re-Use-Strategie zudem wirtschaftlich eine neue Dimension für die Hochvolt-Elektrifizierung.

Mit einem Achsantrieb lassen sich durch Skalierung von Elektromotorlänge, der maximalen Ströme von der Leistungselektronik sowie des Getriebeübersetzungsverhältnisses unterschiedliche Leistungsklassen mit einem Modul abbilden. Continental wird dieses Plattformprinzip zukünftig auch auf weitere Leistungsklassen ausweiten, um die Elektrifizierung voranzutreiben.

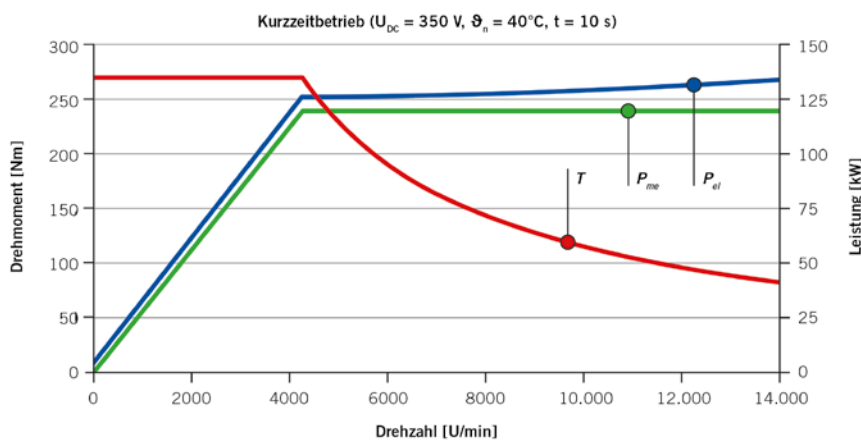


BILD 4 Charakteristik der PSM-Maschine (© Continental)



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.ATZelektronik-worldwide.com