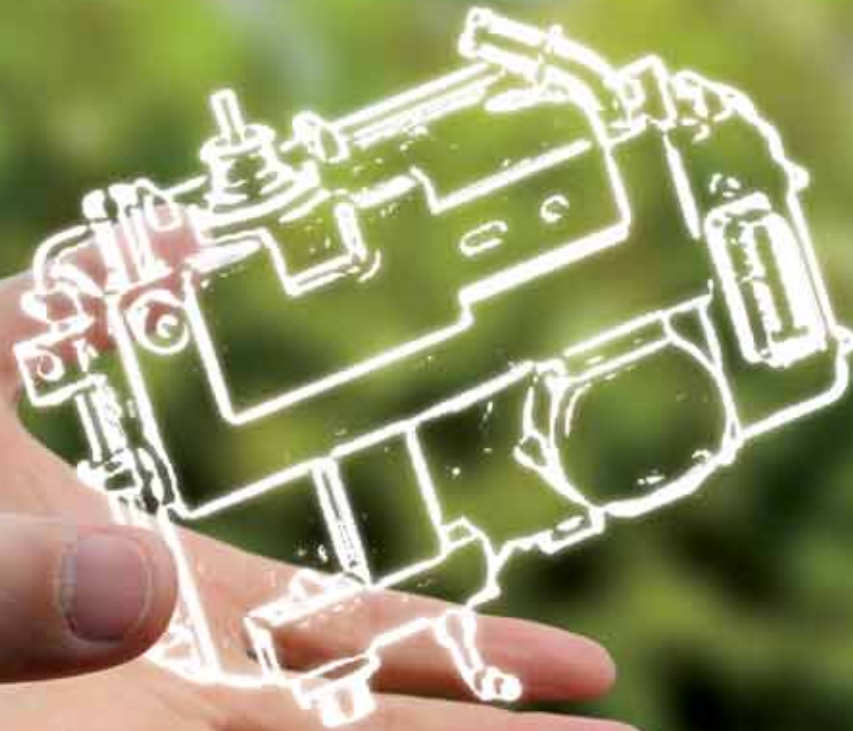


# 25

## Komponenten für Antriebsstrangelektrifizierung

Uwe Möhrstädt  
Jörg Grotendorst  
Continental AG



# Einleitung

Die heutige Entwicklung von Fahrzeugantrieben ist unter anderem stark von der Steigerung der Effizienz und der Reduzierung von Emissionen getrieben. Einhergehend damit ist die zunehmende Antriebsstrangelektrifizierung. Das wird zunehmend auch durch gesetzliche Regelungen unterstrichen.

Im Verbrennungsmotor wird die chemische Energie des Kraftstoffs in mechanische Energie umgewandelt. Diese dient zur Beschleunigung bzw. zum Halten der Geschwindigkeit des Fahrzeugs, d. h. zum Erhalt bzw. der Erhöhung der kinetischen Energie.

Während der Schubphasen oder auch dem Abbremsen wird diese Energie wesentlich in Reibung und damit in Wärme umgesetzt. Diese wird an die Umgebung abgegeben und ist damit für den Antrieb des Fahrzeugs verloren.

Ein Elektroantrieb kann bei entsprechendem Aufbau sowohl als Antrieb als auch als Generator arbeiten. Die Kombination des Verbrennungsmotors mit einem Elektroantrieb bietet damit die Möglichkeit, die Energie, welche vorher zur Erhöhung der kinetischen Energie verwendet wurde, während dem Verzögern des Fahrzeugs zumindest teilweise wieder zurück zu gewinnen (Rekuperation). Diese kann für den nächsten Beschleunigungsvorgang, entweder in Kombination mit dem Verbrennungsmotor oder auch nur durch den Elektroantrieb verwendet werden. Die Kombination bietet also auch einen deutlichen Mehrertrag

bei der Fahrdynamik. So lassen sich je nach Art des Hybridantriebes beide Antriebe, Verbrennungsmotor und Elektromotor, gleichzeitig für die Beschleunigung des Fahrzeugs einsetzen (Boost) und dies ohne Mehrverbrauch bzw. ohne mehr Emissionen.

Ein weiterer Schritt ist der alleinige Einsatz des Elektromotors als Antrieb. Dabei kann der Verbrennungsmotor deutlich verkleinert werden und dient nur noch als Backup Lösung (Range Extender) oder entfällt komplett.

# Marktübersicht und Anforderungen

Die Entwicklung im Bereich der Antriebsstrangelektrifizierung ist im Hinblick auf technologische Anforderungen sehr vielfältig. Dies reicht vom einfachen Stopp-Start System, zum Teil auch Mikrohybrid genannt, über Voll- und Pluginhybrid bis zum reinen Elektrofahrzeug (Siehe Bilder 1 - 3).

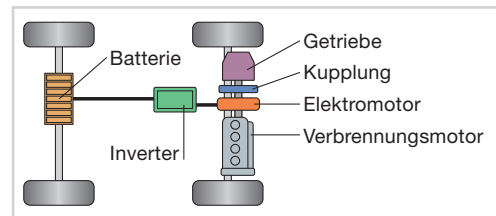


Bild 1 Prinzipskizze Mildhybrid

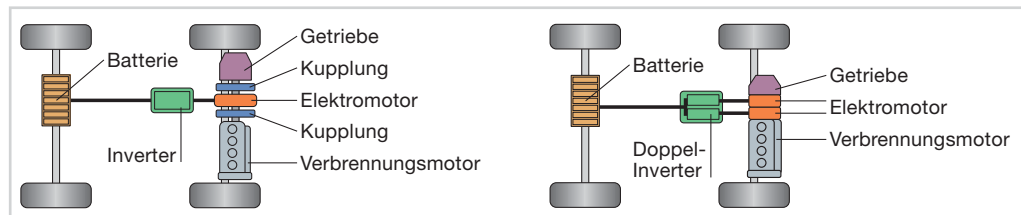


Bild 2 Prinzipskizze Vollhybrid/Pluginhybrid (Parallelhybrid links/Powersplit rechts)

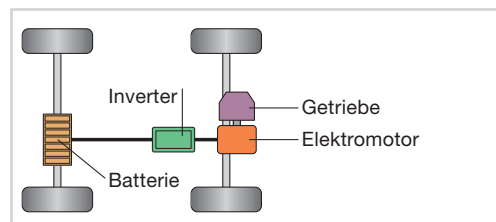


Bild 3 Prinzipskizze Elektrofahrzeug

Diese Vielfalt spiegelt die unterschiedlichen Einsatzzwecke der im Markt verfügbaren Fahrzeuge aber auch den Einsatz durch die Endkunden wider. In Bild 4 sieht man mehrere OEM's (Farben der Kreise symbolisieren verschiedene Fahrzeughersteller) und z. B. deren unterschiedlichen Ansätze bezüglich der Leistungsfähigkeit, Funktionsumfang (HEV, EV, usw.) und Volumen (Stückzahlen – symbolisiert durch die Größe der Kreise) über die Zeit.

Als erster OEM-unabhängiger Zulieferer, der bereits seit 2003 mit einem kompletten Hybrid-system (Energiespeicher, Elektromotor und Leistungselektronik) in Serie ist, hat Continental bereits umfangreiche Erfahrungen in der Entwicklung und Serienfertigung gesammelt. Um für alle bzw. einen Großteil dieser Programme (Bild 4) entsprechende Komponenten zu entwickeln, bedarf es bei dieser anspruchsvollen Technologie erheblicher Ressourcen. Dies steht im Zielkonflikt zum wirtschaftlichen Einsatz und stellt die Zulieferer vor große Herausforderungen.

Um diesen Konflikt aufzulösen hat Continental daher ein modulares Konzept für die Komponenten entwickelt, welches bereits seit September 2008 für mehrere OEM's in Serie gefertigt wird.

# Produktportfolio – modulares Konzept

Im Folgenden finden Sie einen Überblick über das Produktportfolio (Bild 5). Am Beispiel der Batterie und der Leistungselektronik soll das modulare Konzept näher erläutert werden.

Das Portfolio umfasst alle Kernkomponenten eines Elektroantriebes für Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Die Komponenten sind zum Teil unabhängig von der verwendeten Architektur und Funktionalität des Antriebsstrangs (Siehe Bilder 1 - 3) einsetzbar.

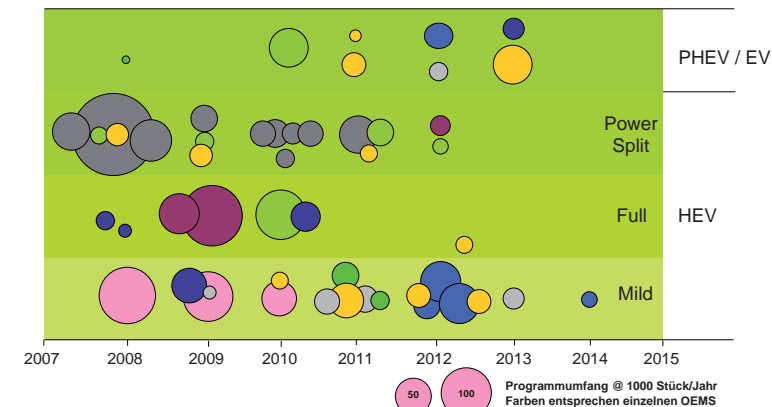


Bild 4 Variantenvielfalt anhand einer Auswahl von OEM Programmen

Segment Energy Management		Segment Electric Drive	
Power Net System	Energiespeichersysteme	Leistungselektroniken	Elektromotoren
<p>Power Net System → DC/DC + DLC oder Li-Ionen- Batterie</p> <p>Funktionen: → Mäßiges regen. Bremsen → Stromversorgung bei Bedarfsspitzen → Stabilisierung 14V Bordnetz → Energie auf Anforderung</p>	<p>Batterie</p> <p>→ Li-Ionen-Zellen → Batteriemangement-überwachung → Zellüberwachungsschaltkreis → Integriertes Ladegerät</p> <p>Funktionen: → Li-Ion Energiemangement für HEV/EV → Batteriemangement → Zellüberwachung → Temperaturmanagement</p>	<p>Elektronische Steuereinheit für elektrische Antriebssysteme</p> <p>→ Einzeln Inverter für Synchron- &amp; Asynchronmaschinen → Hochleistungs-DC/DC-Wandler → Hybrid- / EV-Regler</p> <p>Funktionen: → E-Motor-Kontroller → Spannungswandlung vom Energiespeicher zum Bordnetz</p>	<p>Elektrische Maschinen für Hybrid- und Elektrofahrzeuge</p> <p>→ Induktionsmaschine (ASM/IM) → Permanent erregte Synchronmaschine (PSM) → Fremderregte Synchronmaschine (SM)</p> <p>Funktionen: → positives oder negatives Drehmoment</p>

Bild 5 Überblick Produktportfolio

## Power Net System (PNS)

Die zunehmende Elektrifizierung von Nebenaggregaten und auch die Zunahme von Verbrauchern für Komfortfunktionen zum einen, und die Einführung der Stopp-Start Funktion, wo während der Stoppphase auch die Energiezufuhr über den Generator unterbrochen wird, zum anderen, erfordern Maßnahmen zur Absicherung der Stromversorgung im heutigen 14 V Bordnetz.

Hier bietet das PNS über einen eigenen Energiespeicher, in der Regel DLC (Doppelschichtkondensatoren) in Verbindung mit einem DC/DC Wandler, die Möglichkeit der temporären Energieversorgung während Bedarfsspitzen von Nebenaggregaten, Komfortfunktionen oder auch die komplette Bordnetzversorgung während der Stoppphasen sicher zustellen. Die Energie dafür wird in der Regel während Verzögerungsphasen (Schubbetrieb oder Bremsen) in den DLCs gespeichert und bietet damit zusätzliches Potenzial zur Verbrauchsreduzierung.

## Energiespeicher – Li-Ionen Batterien

Die Leistungsfähigkeit des Hybrid- bzw. Elektroantriebs wird insbesondere durch die Leistungsfähigkeit der Energiespeicher bestimmt. Damit spielt er eine entscheidende Rolle für das Kraftstoffeinsparpotenzial bei Hybridanwendungen und bei der Reichweite von Elektrofahrzeugen. Gleichzeitig

liegt die heute geforderte Lebensdauer eines solchen Energiespeichers bei 10 - 15 Jahren und 160 000 - 240 000 km und damit so hoch wie die Fahrzeuglebensdauer.

Als Energiespeicher für Hybridanwendungen (ausgenommen Mikrohybride) kommen heute verschiedene Technologien zum Einsatz. Dazu gehören unter anderem Doppelschichtkondensatoren (DLC) in Verbindung mit Blei-Säure-Akkus, NiMH (Nickel-Metallhydrid)-Batterien und Li-Ionen (Lithium-Ionen)-Batterien.

NiMH-Batterien haben sich in den ersten Hybridfahrzeugen bereits etabliert. Als nächste Generation zeichnet sich der Einsatz von Li-Ionen-Batterien ab. Diese zeigen eine nochmalig erhöhte Leistungs- und Energiedichte unter Berücksichtigung der geforderten Lade- und Entladezyklen (Bild 6).

Auf Grund des Potenzials und des sich abzeichnenden Einsatzes in Hybrid- und Elektrofahrzeugen hat sich Continental in der Weiterentwicklung auf Li-Ionen-Energiespeicher fokussiert.

### Übersicht modulares Batteriekonzept

Neben den Zellen, den eigentlichen Energiespeichern, gibt es in der Batterie als Kernkomponenten noch die Zellüberwachung (CSC), Schütze, Schalter und ein Batteriemanagement (BMC).

Kerngedanke des modularen Konzeptes sind möglichst viele Gleichteile unabhängig vom Einsatz der Batterie. Innerhalb der Batterie sind dies im Wesentlichen die Sicherheitskomponenten und Sensoren, Batteriemanagement und die Elektronik zur Zellüberwachung (Bild 7).

Der Einsatz der Batterie, z. B. im Mildhybrid oder Elektrofahrzeug, hat maßgeblichen Einfluss auf die Auswahl der Zellen. Zellen sind die eigentlichen Energiespeicher. Um diese sicher und zuverlässig im Automobil einsetzen zu können, muss eine Vielzahl von Parametern, wie z. B. Ladezustand

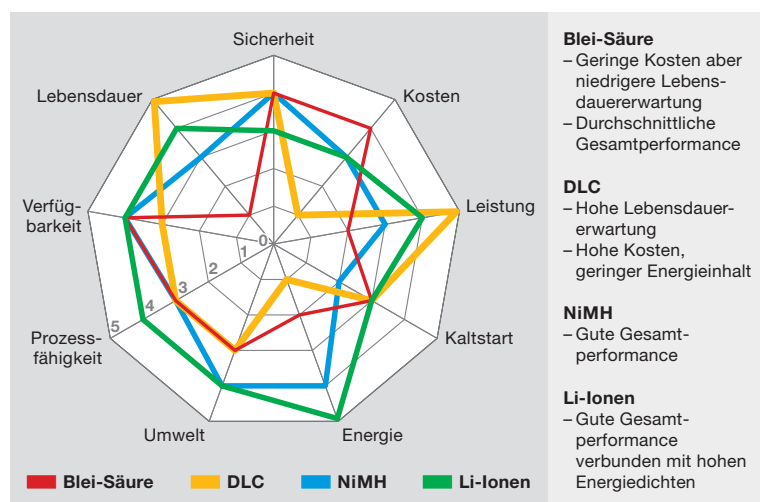


Bild 6 Beurteilung verschiedener Speichersysteme zur Anwendung im automobilen Einsatz

(SOC), Alterungszustand (SOH), Temperatur, Lade- und Entladeströme und -spannung, überwacht und kontrolliert werden.

„Li-Ionen“ ist als Oberbegriff vieler Materialkombinationen zu verstehen. Aktuell gibt es vor allem Zellen auf Basis Lithium-Cobalt. Weiterentwicklungen gehen zu Zellen mit neuen Kathodenmaterialien wie Lithium-Kobalt-Nickel-Manganoxid oder Lithium-Eisen-Phosphat. All diese Kombinationen haben Vor- und Nachteile bei der Leistungs- bzw. Energiedichte und der Sicherheit. Somit bietet sich auch innerhalb der Komponente Zelle die Möglichkeit der Wiederverwendung an, solange der Einsatzzweck die gleichen Anforderungen stellt (z. B. eine Zelle für bestimmte Leistungsklassen im Bereich Mildhybrid).

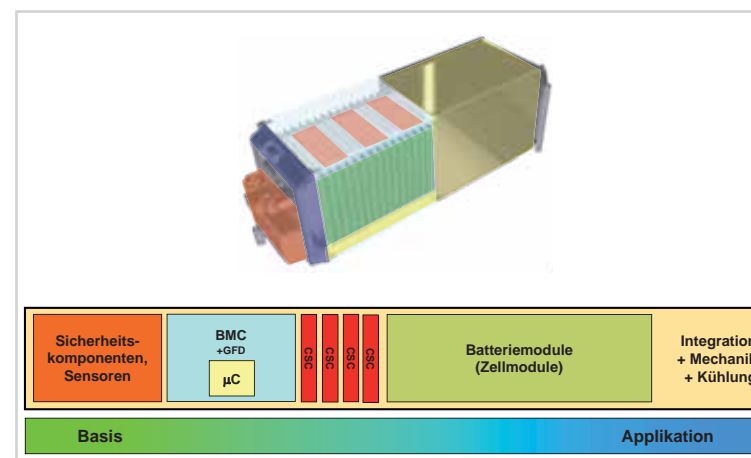


Bild 7 Modulares Batteriekonzept (unterer Balken Farbe grün Gleichteile „Basic“ – blau spezifische Applikation „Application“)

Die erste und zweite Plattform HEV sind leistungsoptimierte Batterien für den Einsatz in Hybridfahrzeugen. Die dritte und vierte Plattform beinhaltet energieoptimierte Batterien für die Anwendung in Plugin-Hybriden und Elektrofahrzeugen.

## Leistungselektronik

Die Leistungselektronik übernimmt die Aufgabe der Steuerung des Energieflusses (Inverter) von der Batterie zum Elektromotor (z. B. Boosten, elektrisches Fahren) und umgekehrt vom Motor zur Batterie (z. B. Rekuperation). Weiterhin stellt sie

### Aktuelle Produkte

Bild 8 zeigt eine Auswahl von Batterien, die aktuell in der Entwicklung bzw. Serienproduktion sind.

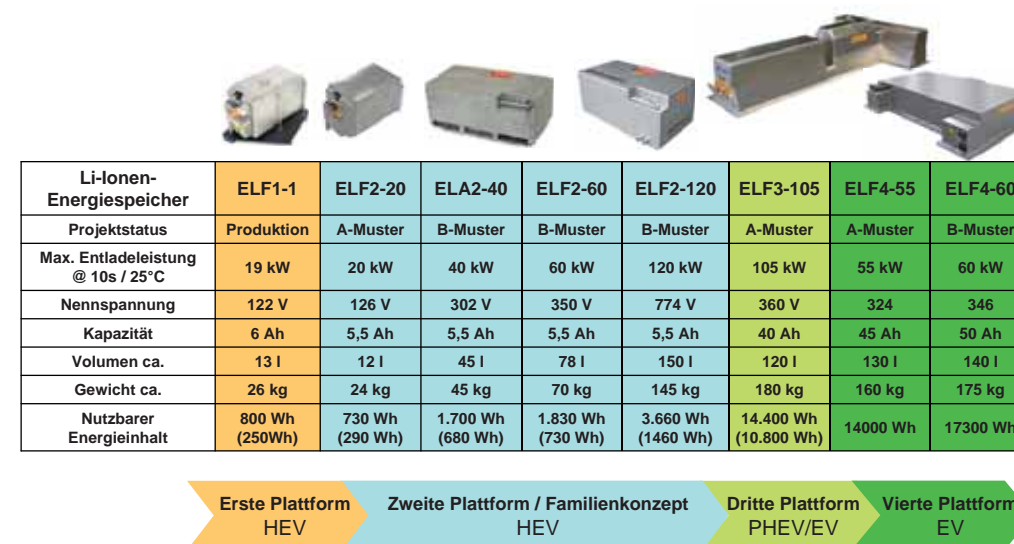


Bild 8 Auswahl aktueller Produkte

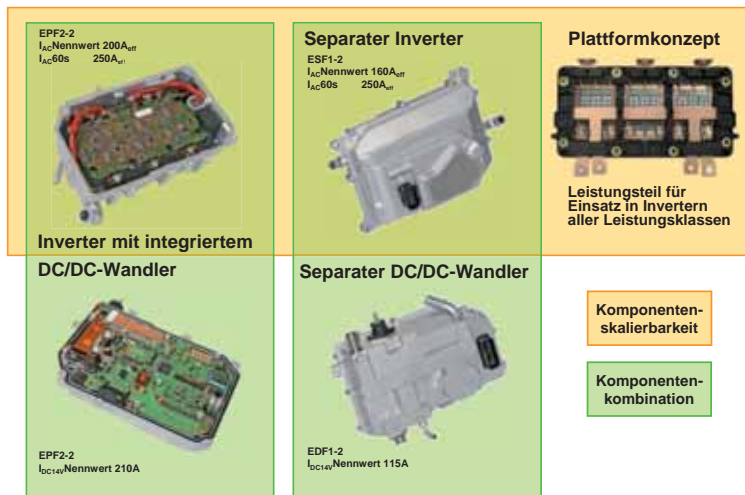


Bild 9 Modulares Konzept Leistungselektronik

optional über einen DC/DC Wandler die Verbindung zwischen herkömmlichem Bordnetz (14 V) und der Batterie für den Elektroantrieb her. Damit ist sie das Herz des Elektroantriebs.

### Modulares Konzept Leistungselektronik

Der Aufbau der Leistungselektronik ist ähnlich der Batterie so konzipiert, dass sich damit mög-

weitestgehend auch den gleichen Kühler, Gehäuse, usw. zu verwenden.

### Leistungsklassen

Mit den bereits heute verfügbaren Leistungsklassen werden alle Anwendungsbereiche vom Mildhybrid bis zum Elektrofahrzeug abgedeckt.

lichst viele Anwendungen mit möglichst vielen Gleichteilen abdecken lassen. Dies wird zum einen durch den optionalen Verbau des DC/DC Wandlers im Gehäuse des Inverters oder auch einem separaten Gehäuse erreicht (Bild 9 grün unterlegt).

Zum anderen sind die Leistungsmodule im Inverter skalierbar um verschiedene Leistungsklassen abzudecken (Bild 9 orange unterlegt) um dabei

Komponenten-skalierbarkeit  
Komponenten-kombination



Inverter	ESF1-x	EPF2-2	EPF2-3	EPF2-4
Projektstatus	SOP	B-Muster	C-Muster	C-Muster
Dauerspannung <sub>AC</sub>	160 - 330A <sub>rms</sub>	175A <sub>rms</sub>	235A <sub>rms</sub>	245A <sub>rms</sub>
Stromspitze <sub>AC</sub> @ 0,5s	210 - 420A <sub>rms</sub>	265A <sub>rms</sub>	355A <sub>rms</sub>	440A <sub>rms</sub>
DC/DC-Wandler	EDF1-1	Eine von drei verschiedenen DC/DC-Wandlern integriert		
Dauerstrom	150A <sub>rms</sub>	150A <sub>rms</sub>	180A <sub>rms</sub>	210A <sub>rms</sub>
Stromspitze DC	180A <sub>rms</sub>	180A <sub>rms</sub>	210A <sub>rms</sub>	240A <sub>rms</sub>
Volumen / Gewicht	7,4l / 9kg	5 - 5,5l / 7,5kg		6l / 11kg
Kühlungsart	Flüssig	Flüssig	Flüssig	Flüssig



Bild 10 Leistungsklassen: Inverter - DC/DC

## Elektromotoren

Je nach Strategie und Einsatz des Fahrzeuges kommen unterschiedliche Anzahl und Technologien von Elektromotoren zum Einsatz. Ziel ist dabei, die auf den jeweiligen Einsatz optimierte Technologie zu verwenden. Dies kann durch die Systemkosten, den verfügbaren Bauraum, geforderte Funktionen als auch dem Wirkungsgrad bestimmt sein.

Bild 11 zeigt mögliche Einbaupositionen von Elektromotoren in einem Antriebsstrang. An jeder der Positionen sind darüber hinaus noch unterschiedliche Varianten möglich, sodass leicht zu erkennen ist wie groß die Gesamtzahl der Möglichkeiten werden kann.

Heute findet man hauptsächlich drei Typen von Elektromotoren, den Asynchronmotor (ASM), den permanent erregten Synchronmotor (PSM) und den fremderregten Synchronmotor (SM).

### Übersicht Motoren

Der Asynchronmotor ist sehr robust und kostengünstig. Demgegenüber steht der nicht optimale

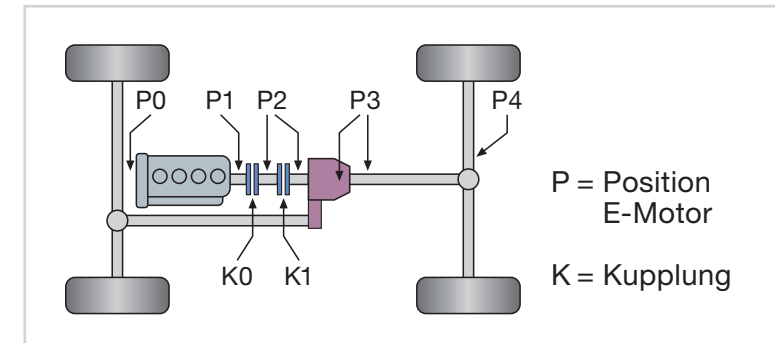


Bild 11 Mögliche Einbaupositionen von Hybridmotoren

Wirkungsgrad. Daher kommt er vorzugsweise in Kosten-Nutzen optimierten Mildhybridsystemen als seitenmontierte Variante zum Einsatz (Bild 12, Spalte 1 und 2 - Typ IM).

Der PSM eignet sich durch seine vergleichsweise geringe Baulänge vorzugsweise für die direkte Integration in die Getriebeglocke. Dazu bietet er einen punktuell hohen Wirkungsgrad und wird häufig bei Mild- und Vollhybriden eingesetzt.

Beim reinen Elektroantrieb ist dagegen ein hoher Wirkungsgrad über einen weiten Bereich von Drehmoment und Drehzahl wichtig, da dieser eine optimale Nutzung der Batterie gewährleistet. Daher kommt hier vorzugsweise der SM in Form eines Achsantriebes (Bild 12, Spalte 3 - Typ SM) zum Einsatz.



Elektromotoren-Typen	IM	IM	SM	PSM	PSM	PSM
Projektstatus	C-Muster	B-Muster	B-Muster	C-Muster	SOP	B-Muster
Nennspannung	115 V	150 V	300 V	230 V	120 V	310 V
Maximale Drehzahl	17.000 rpm	16.000 rpm	12.000 rpm	14.000 rpm	6.000 rpm	7.500 rpm
Maximales Drehmoment	66 Nm	50 Nm	225 Nm	290 Nm	160 Nm	250 Nm
Dauerstrom	5 kW	5 kW	35 kW	74 kW	8 kW	35 kW
Maximale Leistung	17 kW	10 kW	70 kW	105 kW	15 kW	50 kW
Kühlungsart	Flüssig	Flüssig	Flüssig	Flüssig	Flüssig	Flüssig

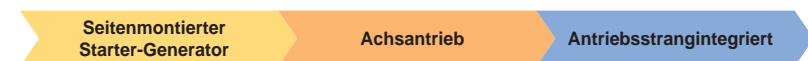


Bild 12 Auswahl aktueller Elektromotoren

## Chancen und Risiken (OEM/Zulieferer)

Der stark wachsende Markt der Antriebsstrangelektrifizierung findet nicht allein im Auto statt. Gerade Pluginhybrid und Elektrofahrzeuge werden an der Steckdose aufgeladen. Mit der Verknüpfung mit dem herkömmlichen Stromnetz (vehicle to grid) ergeben sich neue Aufgaben bzw. Herausforderungen an die Technik als auch zukünftige Geschäftsmodelle.

Dass das Thema Antriebsstrangelektrifizierung erst am Anfang steht zeigen die Potenziale bei der Bat-

terieentwicklung. Dies verdeutlichen ein paar Fakten. Heutige Li-Ionen-Batterien erreichen eine Energiedichte von 120 – 150 Wh/kg. Theoretisch sind 6000 Wh/kg (Li-Flour) und mehr erreichbar und praktisch werden immer noch Werte von 2000 Wh/kg erwartet.

Auf Grund der deutlich besseren Wirkungsgradkette des Elektroantriebes und der Möglichkeit Energie zurück zu gewinnen, geht man heute davon aus, dass bereits bei Energiedichten von ca. 500 Wh/kg vergleichbare Reichweiten wie bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor erreicht werden können.

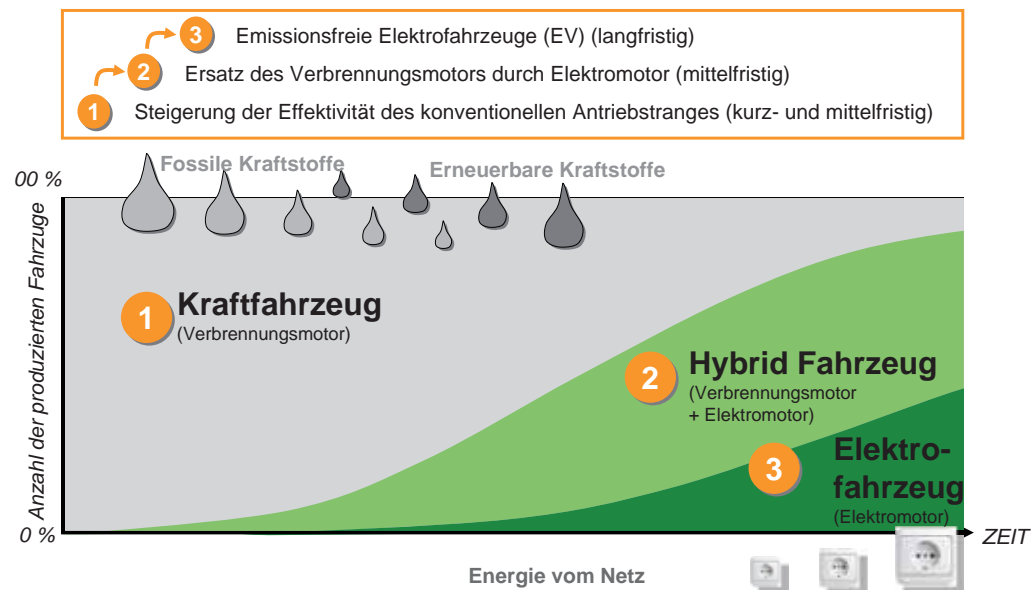


Bild 13 Die Bedeutung der Elektrifizierung wird steigen