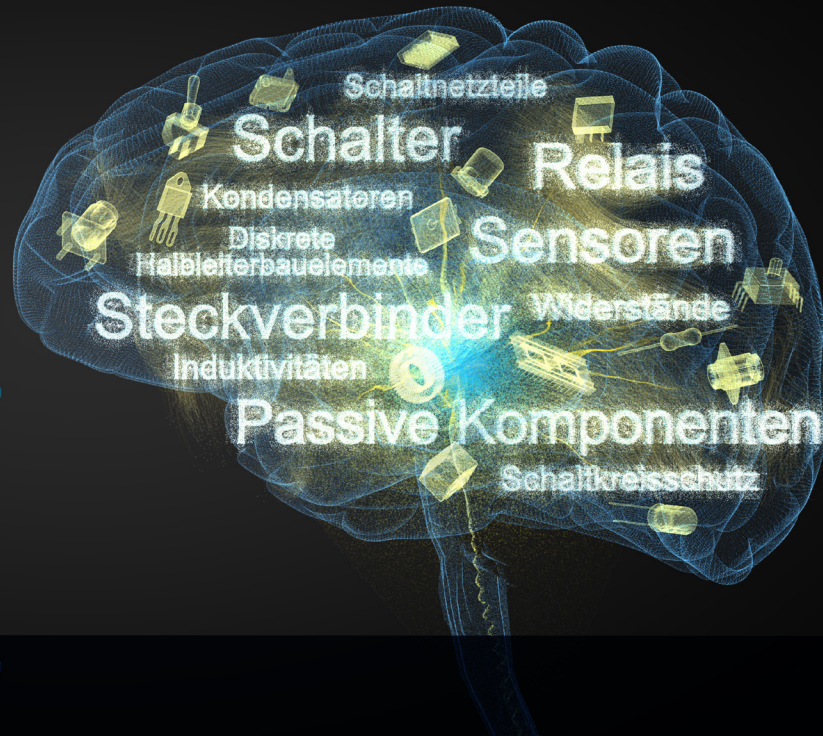




Whitepaper

Transport



Ein Leitfaden für Ingenieure zur Gleichstromarchitektur des Antriebsstrangs eines Elektrofahrzeugs

Autor: Dermot Byrne, Director Industry Marketing, Transportation, TTI Europe

Zusammenfassung

Die Einführung von Elektrofahrzeugen nimmt in ganz Europa stetig zu und beschränkt sich nicht nur auf Pkw, sondern umfasst auch leichte Nutzfahrzeuge wie Transporter, Schwerlasten und Busse des öffentlichen Verkehrs. Auch für Elektrofahrzeuge gibt es zahlreiche verschiedene Ansätze, mit den Versionen Hybrid- (HEV), Plug-in-Hybrid- (PHEV) und vollelektrischen (EV) Fahrzeugen.

In diesem Whitepaper werfen wir zunächst einen kurzen Blick auf die Landschaft der Elektrofahrzeuge und das architektonische Design eines EV und eines PHEV. Anschließend wird ein breiter Überblick über die wichtigsten Subsysteme/ Hauptbausteine eines EV/PHEV gegeben – dabei werden Elektroautos, Lkw, Transporter und Busse verglichen.

Der Beitrag diskutiert dann die EV-Energieverteilung und erklärt die Herausforderungen bei der Verteilung hoher Ströme rund um das Fahrzeug sowie die Notwendigkeit zuverlässiger und robuster Verbindungen. Beispiele für EV Stromverteilungs-Verbindungselemente sind enthalten. Andere Verteilerkomponenten wie Relais, Schütze und Sicherungen werden mit technischen Details zu einigen beschriebenen Produkten besprochen.

Schließlich befasst sich ein Abschnitt über Motorantriebs-Wechselrichter und zusätzliche DC-DC-Leistungswandlung mit der Architektur und den verwendeten Komponenten, einschließlich Kondensatoren, Induktivitäten, Drosselmodulen, Transformatoren und Schaltungsschutz-Elementen.

Elektrofahrzeuge (EVs) stellen mit ihren Umweltvorteilen die Zukunft des Transports dar. So plant beispielsweise Volkswagen, bis 2025 rund 50 verschiedene batterieelektrische Modelle für ihre 12 Automarken zu produzieren. Pkw sorgen für Schlagzeilen mit den größten Stückzahlen und hochentwickelten Features wie autonomes Fahren und extreme Leistungsmodi, aber auch Transporter (Vans) sowie Busse zählen zu diesem Mix, und Elektro-Lkw werden folgen. Die prognostizierten Wachstumsraten sind beeindruckend mit zum Beispiel einer für Pkw geschätzten durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 37,1%. **Abbildung 1.** (Quelle: Europäischer Verband der Automobilhersteller – ACEA und European Alternative Fuels Observatory – EAFO)^{[1][2]}.

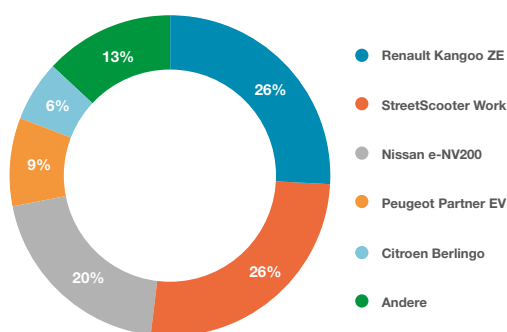
Abbildung 1. Fahrzeugverkaufszahlen gesamt 2017 in der EU. (AFC – Auto mit alternativen Brennstoffen)

ACEA/ EAFO – Marktdaten 2017								
Fahrzeugtyp	EU Produktions-Stückzahlen	EU Wachstum %	# von EU-Betrieben	% Diesel	Fahrzeug-Lebensdauer	% AFC	EV / HEV-Produktion	EV-Wachstum
Pkw	16.500.000	3,4%	140	50	10	5,5%	902.546	37,1%
Transporter < 3,5 t	2.200.000	3,9%	39	96	10,7	1,5%	15.855	23,1%
Lkw > 3,5 t	417.339	0,0%	59	98	11,7	1,0%	Nicht verfügbar	
Busse	40.380	-0,5%	50	90	9,4	8,5%	715 – E-Bus 2736 – E-Trolleybus	Nur Top 10

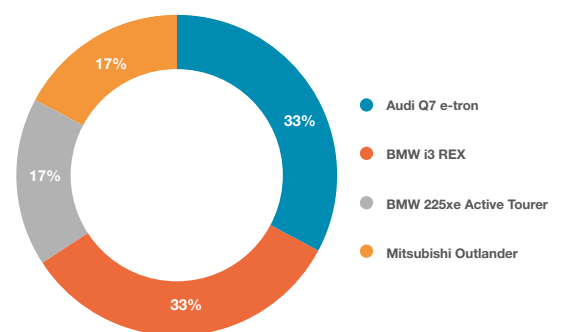
Bis 2020 werden rund 80 Modelle von Elektroautos aller Art auf der Straße sein. Bei Transportern oder leichten Nutzfahrzeugen sind Mix und Stückzahlen kleiner, aber immer noch mit einer prognostizierten CAGR von 23,1%. Im Jahr 2017 dominierten französische Unternehmen beim Verkauf von Transportern die Top 5 der Batterie-Elektrofahrzeuge (BEV) und deutsche Unternehmen die Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeuge (PHEV), **Abbildung 2**, wobei die fernöstlichen Hersteller in Zukunft sicher die Entwicklung stark vorantreiben werden.

Abbildung 2. Hersteller von elektrischen Transportern 2017

Meistverkaufte BEV-Transporter 2017



Meistverkaufte PHEV-Transporter 2017



Es gibt relativ wenig Batterie- und Hybrid-Busse auf der Straße, wenn man die Trolleybus-Versionen ausschließt. Die Markt-CAGR beträgt nur 8%, aber mit zunehmendem Alter der Flotte wird erwartet, dass Elektrobusse im Jahr 2022 immer mehr Dieselfahrzeuge mit einem Anteil von bis zu 20% ersetzen werden. (Quelle: Frost und Sullivan).

Elektro- und Hybrid-Elektro-Lastwagen sind heute noch relativ selten, doch es wird erwartet, dass sie bis 2030 rund 20% der Flotten in den USA, Europa und China für leichte und mittelschwere Nutzfahrzeuge bilden, wobei Schwerlastler weiter zurückbleiben. (Quelle: McKinsey Center for Future Mobility).

Architektur des Elektrofahrzeugs

Gängige Architekturen für Elektrofahrzeuge sind sämtlich elektrisch (EV), hybrid-elektrisch (HEV) und plug-in-hybrid-elektrisch (PHEV). Die wichtigsten Bausteine eines EV/PHEV in einem Auto sind in **Abbildung 3** dargestellt. Es ist üblich, auch einen Hochspannungs-Gleichstromeingang für das schnelle Laden an Tankstellen am Straßenrand zu haben. Busse und Lastkraftwagen haben ähnliche Anordnungen, jedoch mit zusätzlichen Merkmalen wie Hochspannungs-Luftkompressoren zum Bremsen sowie Bremswiderständen, welche die Elektromotoren bei Bedarf verlangsamen, anstatt sich auf Reibungskomponenten zu verlassen. **Abbildung 4** ist ein Beispiel für die Anordnung in einem Mercedes-Benz-Lkw.

Abbildung 3. Bausteine der EV/PHEV-Architektur (Quelle Littelfuse)

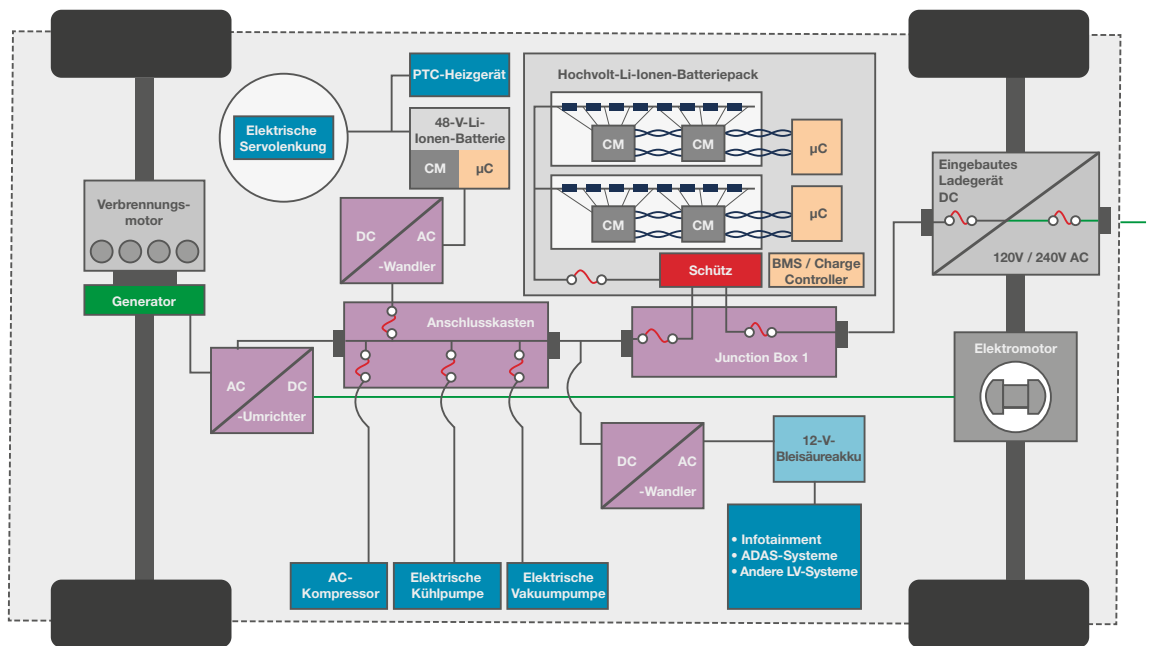
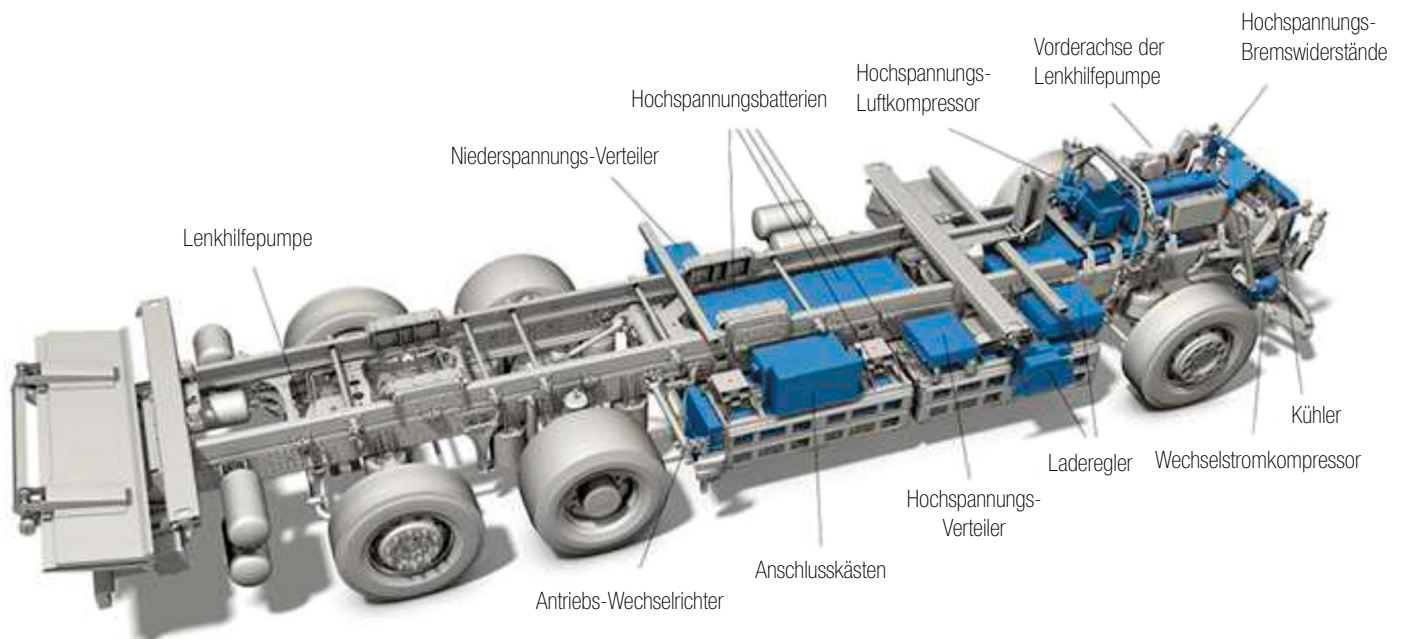


Abbildung 4. Typischer Antriebsstrang eines Elektro-Lkw von Mercedes-Benz



Energieverteilung in Elektrofahrzeugen

Die Blöcke in Abbildung 3 zeigen, dass die Stromversorgung in einem Elektrofahrzeug auf mehrere Ebenen verteilt ist. Die Hauptantriebsbatterie ist typischerweise auf 300 – 400 V ausgelegt, bestehend aus Reihen- und Parallelkombinationen von kleinen Zellen, um die erforderliche Gesamtleistung zu erreichen. Der Tesla 85-kWh-Akkupack beispielsweise besteht aus mehr als insgesamt 7.104 Lithium-Ionen-Zellen der Größe 18650. Weitere Spannungsschienen können 48 V für Funktionen wie Servolenkung und 12 V für ältere Geräte wie Infotainment und Beleuchtung liefern. Hochspannungswechselstrom ist bis zu 240 VAC nominal für einphasige eingebaute Ladegeräte und manchmal noch höhere Werte für dreiphasige Ladesysteme vorhanden. Ungefähr 400 V werden manchmal auch von Schnellladestationen am Straßenrand in das Fahrzeug eingespeist. Die Stromstärken auf den verschiedenen Schienen reichen von Dutzenden von Ampere auf den 12-V-Stromkreisen bis hin zu Spitzenwerten von etwa 1000 A aus den Batterien in Hochleistungsautos wie dem Tesla Modell S mit eingebauter 100-kWh-Batterie und einer Spitzenleistung von 451 kW.

Die Energieverteilung ist eine komplexe Thematik, um Verluste zu vermeiden und gleichzeitig die Zuverlässigkeit der Verbindungen in der manchmal rauen Automobilumgebung aufrechtzuerhalten. Spannungspegel werden im Allgemeinen als "gefährlich" eingestuft, so dass Isoliersysteme vorgesehen sein müssen, und EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) ist ein Problem bei sensiblen Signalübertragungen, die häufig in unmittelbarer Nähe von hohen Hochleistungs-Schaltströmen liegen, wie sie beispielsweise bei der Ansteuerung der Drehstrom-Antriebsmotoren auftreten. Daher ist oft eine geschirmte Verkabelung erforderlich. All dies, bei gleichzeitiger Notwendigkeit der Modularität, setzt voraus, dass die Konstrukteure die Steckverbinder mit Bedacht auswählen.

Abgeschirmte Steckverbinder aus der "Powerlok"-Familie von Amphenol können mit Nennströmen bis zu ca. 650 A und 1000 V Nennisolierung Berücksichtigung finden. Sie sind in umspritzter Metallausführung, Schutzart IP67 und mit bis zu drei Pin-Positionen in gerader und rechtwinkliger Ausführung erhältlich. Andere Steckverbinder in ihrem Sortiment wie "HVSL" und "EPOWER LITE" eignen sich für niedrigere Ströme und geschütztere Umgebungen, in denen eine kostensparende Kunststoffkonstruktion akzeptabel ist.

Speziell für Hochspannungen bietet die kostengünstige Steckverbinderfamilie AK von Aptiv (ehemals Delphi) eine hohe Abschirmleistung und eine innovative Kabelzugentlastung für eine hervorragende Vibrationsfestigkeit. Mit einem Temperaturbereich von -40°C bis +140°C umfasst die Serie Schalttafeleinbau- und Durchgangssteckverbinder mit ein, zwei oder drei Nennleistungen bis 200 A und die Ausführungen HV890 AK Klasse 4, einem zweiseitigen Verbindungssystem mit bis 170 A Nennstrom und "HVIL" oder Hochspannungsverriegelung. HVIL ist ein separater geschlossener Stromkreis, der in den Last-Mate-/Break-First- Steckverbinder eingebaut ist und welcher der Hauptspannungsquelle signalisieren kann, dass das Stecken/Ziehen im Gange ist und keine Hochspannung angelegt werden sollte, um Lichtbögen und den Zugang zu gefährlichen Spannungen zu vermeiden. Die Shield-Pack™ Typen HV280 verfügen ebenfalls über HVIL und enthalten eine Class 1-Buchse mit zwei oder drei Stromkreisen und einer Nennleistung von 32 A.

Wie die EV-geschirmten Steckverbinder der Amphenol- und Aptiv-Familien verfügt auch die Molex 1000VDC/250A-bewertete "Imperium"-Reihe über HVIL oder Hochspannungs-InterLock. Auch TE Connectivity hat ähnliche Angebote.

Trennleistung in Elektrofahrzeugen

Abbildung 3 zeigt außerdem, dass ein umfassender Schutz der Leistungselektronik in Form von isolierenden Schützen und Sicherungen erforderlich ist. Unter Fehlerbedingungen müssen diese Komponenten möglicherweise Spitzenströme von Tausenden von Ampere unterbrechen und gleichzeitig Hunderte von Volt sicher isolieren. Schütze, die für diese Bedingungen ausgelegt sind, werden oft nicht von einer kontinuierlichen Spulenspannung, sondern von einem pulswidenmodulierten (PWM-) Signal angesteuert, das von 100% bei Betätigung bis zu einem niedrigeren Wert nach vielleicht 500 ms mit einer Wiederholrate von etwa 2 kHz variiert. Dies geschieht, um die Wärmeabfuhr in der Spule zu reduzieren und nutzt die Tatsache, dass Schütze und Relais durch einen "Betätigungsstrom" sowie einen wesentlich niedrigeren "Haltestrom" gekennzeichnet sind. Im Automobilumfeld wird der minimale Haltestrom geringfügig überschritten, um die Möglichkeit von Stößen und Vibrationen zu vermeiden, die den Kontakt falsch unterbrechen.



Abbildung 5. Typische kraftfahrzeugtaugliche Schütze/Relais (TE Connectivity)

Auch kleinere Relais werden in den Stromkreisen eingesetzt, manchmal parallel zu Hauptschützen mit einem Vorwiderstand, um eine "Vor-Ladung" von Lasten wie Wechselrichtern mit ihrem hohen Einschaltstrom zu ermöglichen. Das Vor-Laderelais schließt zuerst mit dem Vorwiderstand, der den Strom auf einen niedrigen Wert, vielleicht 20 A, begrenzt. Nachdem der Einschalt-Laststoß beendet und die angelegte Spannung auf typischerweise 90% des Endwertes gestiegen ist, wird das Hauptschütz mit einem weiteren Einschaltstromstoß betätigt und das Vor-Laderelais und der Widerstand kurzgeschlossen.

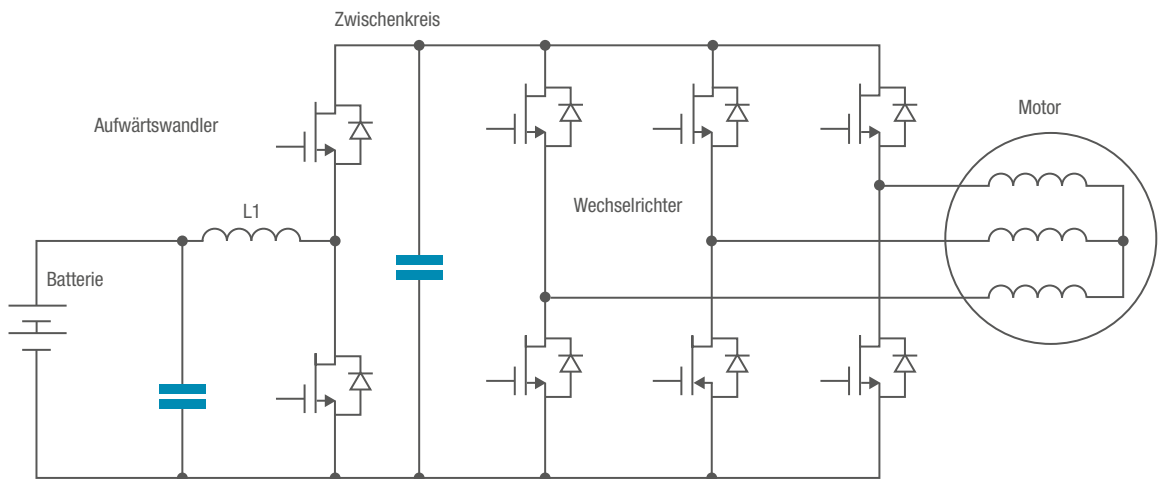
Geeignete Relais und Schütze sind Teil der TE Connectivity-Familie, bei der die Haupt-Schütze bis 6.000 A Nenn-Spitzenstrom in der EVC 250-Reihe, und andere für 1000 VDC für Anwendungen mit hoher Batteriespannung wie der K1K-Reihe (**Abbildung 5**) ausgelegt sind. Relais der PEW- (Panasonic) Automotive-Reihe sind mit bis zu 600 A Spitzenbetriebsstrom und 2.500 A Ausschaltstrom erhältlich, wobei die Teile mit Schutzgasfüllung zur Unterdrückung von Lichtbögen ausgestattet sind. Einige Typen haben eine separate "Haltespule" für eine reduzierte Verlustleistung, ohne auf PWM-Techniken zurückgreifen zu müssen. Ein weiterer wichtiger Player ist TDK mit aufkommenden Automobilschütz-Produkten, die für 750 A Spitzenstrom und 900 VDC ausgelegt sind. Mit Spulen-Nennleistungen von 6 W, aber einem Betriebs-zu-Halte-Stromverhältnis von etwa 4, profitieren diese Schütze von der PWM-Spulensteuerung, bei der die Wärmeabfuhr reduziert wird.

Wenn Sicherungen für die Trennung von Stromkreisen unter groben Fehlerbedingungen spezifiziert sind, sind diese oft anschraubbar, insbesondere bei hohen Nennströmen, und sie können bei den größten Typen einen Durchmesser von bis zu ungefähr 30 mm aufweisen. Bei der Dimensionierung von Sicherungen im Antriebsstrang ist äußerste Vorsicht geboten, damit sie sich nicht unter vorübergehenden, sondern unter normalen Betriebsbedingungen öffnen. Verursacht eine Sicherung beispielsweise eine Motorabschaltung, wird dies als lebenswichtiges Ereignis angesehen, und deshalb – so wichtig ist diese Anwendung – werden Sie feststellen, dass die Hersteller notfalls die Seriennummern der Sicherungen und die Datumscodes der Chargen zur Rückverfolgbarkeit der Lieferkette angeben. Die Wärmeabfuhr aus den zu erwartenden Stromtransienten durch Sicherungen sollte auch bei den Empfehlungen der Hersteller für die sorgfältig befolgte Sicherung/Leiter-Schnittstelle berücksichtigt werden. Automobiltaugliche EV-Netzicherungen sind von Herstellern wie Eaton und Littelfuse erhältlich.

Motorantriebs-Wechselrichter

Entscheidend für die Fahrleistung eines Elektrofahrzeugs ist der Energieumwandlungs-Prozess von der Batterie zum Motorantrieb. Häufig verwendete Motoren sind die Permanentmagnet-(PM-)Motoren, die einen hohen Wirkungsgrad und ein hohes Drehmoment aufweisen. Manchmal jedoch werden auch Induktionsmotoren verwendet, zum Beispiel von Tesla, die einfacher und robuster, aber weniger effizient sind. Beide Typen werden von Drehstrom mit typischerweise wenigen kHz betrieben, der von der DC-Schiene der Hauptantriebsbatterie abgeleitet werden muss. Die typische Antriebsarchitektur ist in **Abbildung 6** dargestellt: ein Aufwärtswandler auf eine konstant höhere Zwischenkreisspannung, gefolgt von einer Brücke mit 6 aktiven Schaltern, wobei in der Praxis jeder einzelne parallelgeschaltet werden kann, um die Gesamtleistung zu erreichen (14 beim Tesla-Modells S). Die Schalter sind normalerweise IGBTs, welche die Betriebsfrequenz begrenzen, doch für die Zukunft werden MOSFETs, insbesondere Siliziumkarbid-(SiC-)Typen vorgeschlagen, die mit mehr als 100 kHz arbeiten: Sie reduzieren die Abmessungen und erhöhen gleichzeitig den Wirkungsgrad. Der PWM-Antrieb des Aufwärtswandlers und der Brücke kann so konfiguriert werden, dass der Leistungsfluss umgekehrt ist und regenerative Energie zum Aufladen der Batterie beim Leerlauf des Fahrzeugs bereitgestellt wird, wobei die Antriebsmotoren als Generatoren fungieren.

Abbildung 6. Wechselrichter-Architektur eines Elektrofahrzeugs



Halbleiterschalter übernehmen zwar die Hauptarbeit, doch benötigen Wechselrichter auch unterstützende Komponenten wie Steckverbinder, Kondensatoren, Induktivitäten und Schutzschaltungen. Steckverbinder wurden bereits erwähnt, aber auch Kondensatoren und Induktivitäten zur Filterung sind Schlüsselkomponenten. Der Zwischenkreis in **Abbildung 6** benötigt Hochleistungskondensatoren, um eine niedrige Impedanz für den Wechselstrom zu gewährleisten, wobei die großen Schaltströme von der Drehstrombrücke bezogen und an sie abgeführt werden. Metallisierte Polypropylen-Kondensatoren sind die bevorzugte Lösung mit einer guten Kombination aus hoher Kapazität und Ripplestrom bei kompakten Abmessungen, mit dem zusätzlichen Vorteil der Selbstheilung nach einer Belastung durch Überspannungen. Typische Teile sind die Vishay 1848S/1849-Familie oder die Serien Kemet C4A, C4DE und C44U sowie die FHC1-Serie von AVX. Elektrolytkondensatoren, wie sie gelegentlich in Nicht-EV-Zwischenkreisanwendungen zu finden sind, werden im Allgemeinen wegen ihrer Temperaturempfindlichkeit und ihrer endlichen Lebensdauer nicht verwendet, obwohl sie ein besseres Kapazitäts-/Volumenverhältnis als Folienkondensatoren haben und für Positionen mit geringerem Ripplestrom und geringerer Temperaturbelastung in Betracht gezogen werden können.

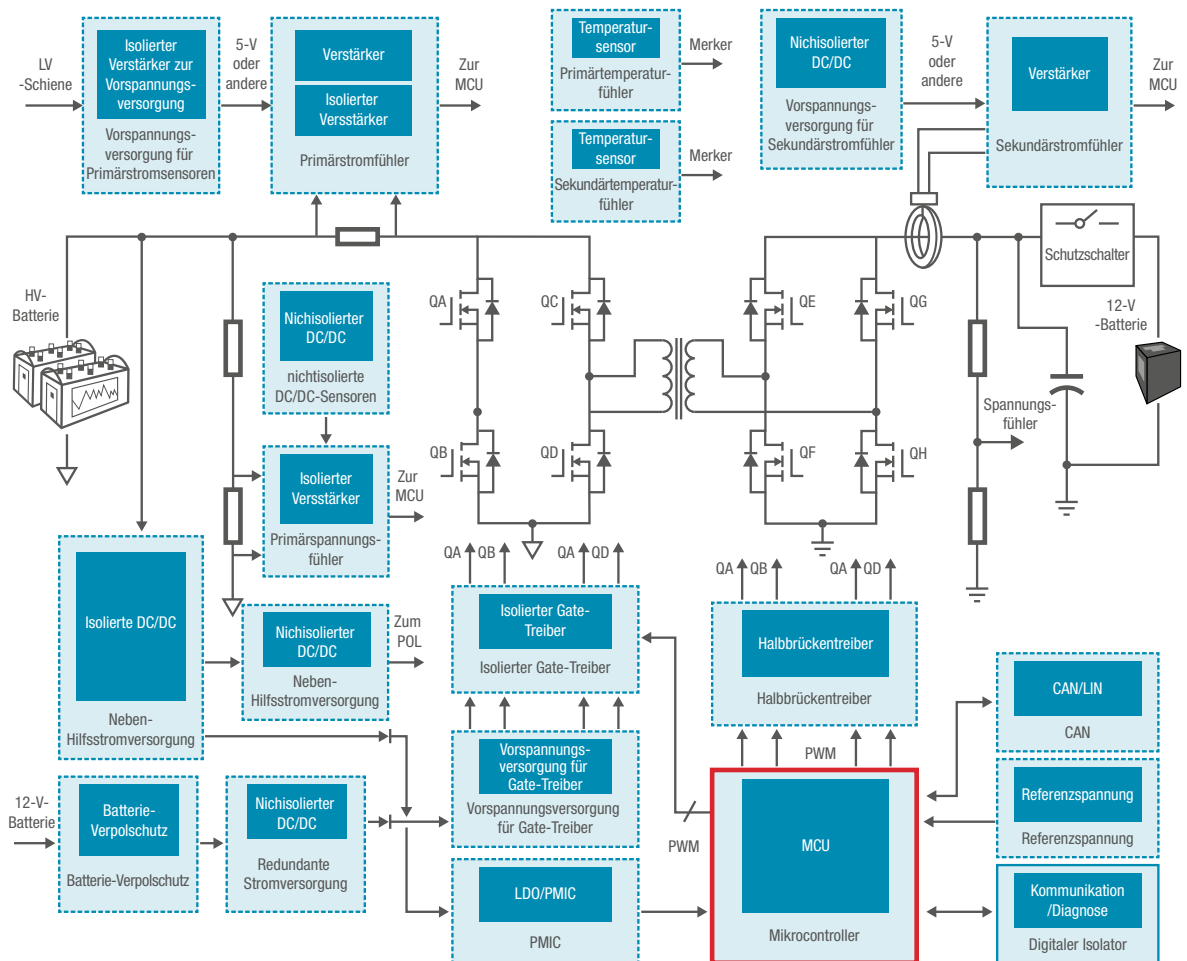
In **Abbildung 6** kann die Verstärkerstufe in der Praxis mehrere Stufen parallel zu verschachtelten Schaltphasen liegen, um die Spannung auf mehrere Induktivitäten zu verteilen und den Eingangs- und Ausgangs-Ripplestrom zu reduzieren. Die Induktivitäten zwischen ihnen müssen die von der Brückenschaltung benötigte Gesamtenergie im ersten Teil des Wechselrichter-Schaltzyklus speichern und diese Energie dann im verbleibenden Teil des Zyklus mit der höheren Ladespannung freigeben. Die Induktivitäten sind daher von beträchtlicher Größe; oft handelt es sich um kundenspezifische Entwicklungen von Unternehmen wie Pulse Electronics.

Induktivitäten, ob in Filternetzen oder in Motorwicklungen, erzeugen Spannungsspitzen mit wechselnden Strömen. Diese können die Steuerungs- und Leistungsschaltungen beschädigen, so dass EV-Antriebsstränge weitgehend mit einem Überspannungsschutz und mit EMV-Filtern wie denen von Vishay ausgestattet sind. Weitere Schutzkomponenten sind Thermistoren für den Einschaltenschutz und die Temperaturmessung, die von Unternehmen wie Vishay und Littelfuse in großer Auswahl angeboten werden.

DC-DC-Wandler in Elektrofahrzeugen^[3]

Abbildung 3 zeigt DC-DC-Wandler, von denen einer eine 12-V-Batterie und ein anderer eine 48-V-Batterie von der Hauptantriebsschiene bei ungefähr 400 V lädt. Die 12-V-Schiene speist eine Reihe von Zusatzgeräten einschließlich zugänglicher Steckdosen in der Fahrgastzelle, z.B. für USB-Ladegeräte, so dass der Wandler eine galvanische Trennung aufweisen muss. Darüber hinaus ist der 12-V-Bleisäureakku eine weitere Energiequelle, so dass der DC-DC-Wandler typischerweise bidirektional ist, und die Batterie kann unter Notfallbedingungen bei den Antriebsanforderungen mit aushelfen. Eine typische Architektur ist in **Abbildung 7** mit einer Brückenanordnung von MOSFETs, jeder Seite eines Transformators, dargestellt, die durch eine geeignete PWM-Ansteuerung als Leistungsschalter oder Gleichrichter konfiguriert werden können. Die Leistung beträgt bis zu ca. 2 kW, und die Schaltung benötigt ähnliche Filterkomponenten wie der Antriebswechselrichter in Form von Kondensatoren, Induktoren und mehrfachen Wicklungs-Induktionsmodulen sowie Transformatoren der erwähnten Anbieter. Außerdem sind Sicherungen, Leistungsschalter und Fehlererkennungsschaltungen erforderlich.

Abbildung 7. Typische Hilfs-DC-DC-Wandler-Architektur für Elektrofahrzeuge – Quelle TI



Zusammenfassung

Das moderne Elektrofahrzeug in all seinen Formen umfasst alle Technologien von der drahtlosen Kommunikation über die Datenverarbeitung bis hin zu fortschrittlicher Sensorik und Leistungsumwandlung. Die Betriebsumgebung ist denkbar unkontrolliert und rau, wobei jedoch die Eigentümer absolute Sicherheit und Zuverlässigkeit erwarten. Obwohl man viele Ansätze für die Leistungswandlungs-Architekturen im Automobil unternahm, gibt es belastbare Standards für das Leistungsniveau von Modulen und Komponenten, wobei die Hauptlieferanten mit einer Reihe von qualifizierten Produkten zur Auswahl stehen. Von den Lieferanten wird erwartet, dass sie die Automotive-Qualitätszertifizierung IATF/TS16949^[4] besitzen, wobei ihre Produkte und Herstellungsverfahren der entsprechenden AEC-Q-Spezifikation^[5] entsprechen. Distributoren wie TTI, Inc., die diese Lieferanten vertreten, ermöglichen Entwicklern einen schnellen Zugriff auf das Lager für Prototyping und Freigabe.



¹ European Automobile Manufacturers Association. <https://www.acea.be/>

² Alternative Fuels Observatory. <https://www.afo.eu/>

³ Monzer Al Sakka, Joeri Van Merlo and Hamid Gualous (2011). DC/DC Converters for Electric Vehicles. *Electric Vehicles - Modelling and Simulations*, Dr. Seref Saylu (Ed.), 1
ISBN: 978-953-307-477-1. InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/electric-vehicles-modelling-and-simulations/dc-dcconverters-for-electric-vehicles>

⁴ International Automotive task Force. <https://www.bsigroup.com/en-GB/iatf-16949-automotive/>

⁵ Automotive Electronics Council. <http://www.aecouncil.com>

⁶ TTI, Inc. <https://www.tti-europe.com>



Über TTI

TTI, Inc. ist der weltweit führende Spezialist für Passive und elektromechanische Bauelemente, Steckverbinder sowie Diskrete Halbleiter, Schaltnetzteile und Sensoren. Ausgewählte Lieferanten sowie unterschiedlichste Logistik-Lösungen unterstützen Kunden in den Marktsegmenten Industrie, Transportation, Luft-, Wehr-, und Raumfahrttechnik sowie in der Haushalts- und Unterhaltungselektronik.

Die Produktpalette von TTI umfasst Bauteile wie Widerstände, Kondensatoren, Steckverbinder, Diskrete Halbleiter, Opto Elektronische Bauelemente, Elektromagnetische Bauelemente sowie Bauteile für den Schaltkreisschutz. Das Angebot umfasst außerdem Kabel und Drähte – diese auch konfektioniert; Netzteile, Entwicklungskits, Sensoren und Elektromechanische Bauelemente.

Übersichten und Informationen zur Marktentwicklung und Technologie sowie Updates etc. stellt TTI über das MarketEye Research Center zur Verfügung. Kunden können hier Fachbeiträge, technische Seminare, RoHS, allgemeine Seminare, Industrieforschungsberichte und vieles mehr abrufen.

Die TTI Produktpalette, kundenorientierter Service sowie die angebotenen Logistiklösungen machen TTI zum bevorzugten Distributor (CMP Publications). Weltweit beschäftigt TTI über 5600 Mitarbeiter an mehr als 100 Standorten in Europa, Amerika und Asien.

Europäischer Hauptsitz:

TTI, Inc.
Ganghoferstr. 34
82216 Maisach-Gernlinden
Deutschland
Tel.: +49 (0)8142 6680 – 0
Fax: +49 (0)8142 6680 – 490
Email: sales@de.ttiinc.com
www.ttieurope.com

Copyright © TTI, Inc. All Rights Reserved.