Leistungselektronik Fahrplan 2020

Bericht

RECHTLICHER HINWEIS: Übersetzungen von Materialien in andere Sprachen als Englisch sind lediglich als Hilfestellung für Personen gedacht, die der englischen Sprache nicht mächtig sind, und sind rechtlich nicht bindend. Wir sind bestrebt, eine genaue Übersetzung des englischen Originaltexts bereitzustellen, aber aufgrund von sprachlichen Nuancen bei der Übersetzung in eine Fremdsprache können geringfügige Unterschiede bestehen. Diese Übersetzung wird Ihnen unter der Voraussetzung, dass Sie diesen rechtlichen Hinweis zur Kenntnis genommen haben, zur Verfügung gestellt. Das APC haftet nicht für die Verwendung der Übersetzung durch Sie oder einen Dritten, falls sich herausstellen sollte, dass die Übersetzung Mängel aufweist.

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

Überblick: Leistungselektronik

Die Leistungselektronik spielt eine maßgebliche Rolle bei der Regelung des Spannungsniveaus, der Steuerung des Leistungsflusses zum elektrischen Antriebsmotor und der Möglichkeit, ein Plug-in-Fahrzeug über das Stromnetz zu laden. Mit der fortschreitenden Elektrifizierung wird die Leistungselektronik einen zunehmenden Anteil des Wertes eines jeden Fahrzeugs ausmachen und eine rasant wachsende Marktchance darstellen.

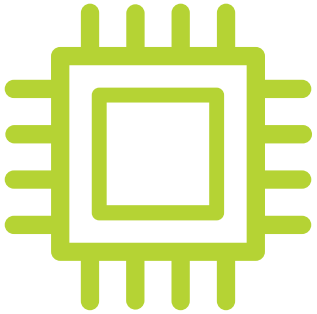
Die ehrgeizigen Anforderungen der Automobilindustrie schaffen eine Nachfrage nach Lösungen mit höherer Leistungsdichte, schneller schaltenden Halbleitern, besserer Zuverlässigkeit und nach Werkstoffen, die auf hohe Temperaturen ausgelegt sind. All dies wird benötigt, um die unterschiedlichen Anforderungen an Wechselrichter, die Gleichstrom aus der Batterie in Wechselstrom für den Betrieb des Motors umwandeln, an Gleichspannungswandler (DC/DC-Wandler), die Gleichstrom aus der Batterie für den Einsatz in verschiedenen elektronischen Systemen im Fahrzeug umwandeln, und an integrierte Ladegeräte zu erfüllen, die Wechselstrom aus dem Stromnetz in Gleichstrom zum Laden der Batterie umwandeln.

Halbleiter sind in diesem Kontext die teuerste Komponente. Silizium wird weiterhin eine wichtige Rolle in Niederspannungsanwendungen spielen, da es relativ kostengünstig ist und leicht verarbeitet werden kann. Bei Anwendungen mit höheren Spannungen geht man davon aus, dass Siliziumcarbid (SiC)-Halbleiter mit breiter Bandlücke sich weiter durchsetzen werden, auch dank Fortschritten bei der Herstellung großer, hochwertiger Halbleiterwafer zu geringeren Kosten und dank innovativen Bauformen. Galliumnitrid (GaN), das sich für Anwendungen eignet, bei denen hohe Schaltfrequenzen erforderlich sind, wie z. B. bei Gleichspannungswandlern, wird aufgrund der kostenintensiven Herstellung wohl erst in zwei bis drei Jahren eingesetzt. Diese beiden Werkstoffe sind entscheidend, um die Kennzahlwerte für die Leistungsdichte bis 2035 zu erfüllen, wobei weitere Fortschritte in Bezug auf Kosteneffizienz und Gerätezuverlässigkeit für die Einführung auf dem Massenmarkt erforderlich sind.

Um das volle Potenzial dieser Werkstoffe ausschöpfen zu können, müssen die sie umgebenden Komponenten für den Einsatz in Umgebungen mit hohen Temperaturen, hohen Schaltfrequenzen und hohen Stromstärken optimiert werden.

Auch bei passiven Bauelementen, bei Leiterplatten, bei Sensorkonstruktionen und bei Schaltungsarchitekturen sind Innovationen gefragt. Für eine verbesserte Leistung der Wandler und langfristige Zuverlässigkeit sind eine fortschrittliche Steuerungssoftware und fehlertolerante Lösungen erforderlich. Durch Standardisierung und optimierte Architekturen lassen sich Skaleneffekte erzielen und die Kosten senken.

Nicht zuletzt ermöglicht eine zunehmende Integration all dieser Elemente kleinere, leichtere und letztlich günstigere Konstruktionen, obwohl diese mit Herausforderungen in Bezug auf die Recycelbarkeit und die Umweltauswirkungen einhergehen. Diese Herausforderungen müssen durch neue Ansätze, einschließlich der Entwicklung unter Berücksichtigung der Demontage, und Bemühungen, eine echte Kreislaufwirtschaft für Werkstoffe zu schaffen, angegangen werden.



Ein vollständiges Glossar ist am Ende dieses Berichts zu finden.

Vorwort und Danksagungen

Das Advanced Propulsion Centre UK (im Folgenden „APC“) möchte sich für die umfangreiche Unterstützung durch Industrie und Wissenschaft bei der Ausarbeitung und Veröffentlichung dieses Fahrplans bedanken.

Wir bedanken uns beim Automotive Council für das Vertrauen, das er uns bei der Überarbeitung der Produkt- und Technologiefahrpläne entgegengebracht hat, sowie für die kontinuierliche Unterstützung.

Dieses Vorhaben wurde ferner maßgeblich vom Ministerium für Wirtschaft, Energie und Industriestrategie (Department for Business, Energy and Industrial Strategy, im Folgenden „BEIS“) unterstützt.

Neville Jackson
Im Namen des
UK Automotive Council

Ich freue mich, Ihnen den Technologiefahrplan 2020 für Antriebstechnik in der Automobilindustrie vorstellen zu können, den das Advanced Propulsion Centre (im Folgenden „APC“) in enger Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt hat. In diesen Fahrplänen werden entscheidende Ziele für die Zukunft und die vielversprechendsten Wege zu einem CO_2-freien und nachhaltigeren künftigen Fuhrpark aufgezeigt. Sie sind ein wesentliches Instrument für die Entwicklung einer gezielten FuE-Agenda, die insbesondere für gemeinsame Innovationen relevant ist.

Die Fahrpläne, die auf den Grundlagen der vorherigen Fahrpläne des UK Automotive Council aufbauen, wurden vom APC im Jahr 2017 ausgearbeitet. Sie wurden auf den neuesten Stand gebracht, um zu verdeutlichen, wie dringend das Ziel des Vereinigten Königreichs, bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen, angegangen werden muss. Der Wandel im Bereich der Antriebstechnologien wurde in den letzten Jahren erheblich beschleunigt: Die Verbreitung von Fahrzeugen mit Elektroantrieb nimmt zu, die Preise für Batterien sind schneller gesunken als zunächst angenommen, alternative CO_2-freie Technologien wie Brennstoffzellen kommen in einer beeindruckenden Geschwindigkeit zur Marktreife und saubere Kraftstoffe, unter anderem Wasserstoff, sind auf dem Vormarsch, um derzeitige fossile Kraftstoffe zu ersetzen.

Dabei gilt es allerdings große Herausforderungen zu bewältigen, da der Wandel noch schneller vonstattengehen muss. Voraussetzung dafür ist eine intensivere Forschung und Entwicklung sowie die Kommerzialisierung, wodurch erschwingliche Produkte auf den Markt gebracht werden, die für Verbraucher noch attraktiver sind. Die Technologiefahrpläne 2020 beruhen auf Umfragen unter Branchenexperten und Panels und liefern einen konsolidierten Überblick über zukünftige Ziele, Technologien und Zeithorizonte für Automobilantriebe.

Mit dem Bericht bieten wir der Automobilindustrie Erkenntnisse und eine gemeinsame technologische Ausrichtung, um die Entwicklung und Bereitstellung erstklassiger Lösungen zu beschleunigen. Die Fahrpläne stellen eine wichtige Informationsquelle dar, wenn es darum geht, gemeinsame FuE-Möglichkeiten zu erschließen, um die künftigen Herausforderungen in den Bereichen Mobilität, Gütertransport und Forschung und Entwicklung von nicht für den Straßenverkehr bestimmten Fahrzeugen (Off-Highway-Fahrzeugen) anzugehen.

Prof. Mark Johnson
Universität Nottingham
APC Spoke for Power Electronics

Der weltweite Trend zur Elektrifizierung spiegelt sich in unserem Fahrplan 2020 für Leistungselektronik wider: Die Entwicklung der Technologie in diesem Bereich wurde rasant beschleunigt und das Wissen über die Anwendungsanforderungen wurde vertieft, während das Thema Nachhaltigkeit in der Automobilindustrie immer mehr als Priorität verstanden wird.

Ich möchte mich bei allen Experten im Bereich Leistungselektronik herzlich bedanken, dass sie sich an den Debatten, Umfragen und Workshops beteiligt haben.

Die wesentlichen Technologieschwerpunkte liegen – wie auch im Fahrplan 2017 – weiterhin auf Halbleitern, Komponenten und Wandlern. In Bereichen wie Thermomanagement und Fertigung wurden die Rahmenbedingungen neu ausgelegt, um einen klaren Schwerpunkt zu setzen, und das neue Thema „Ökobilanz“ rückt die Notwendigkeit einer nachhaltigeren Entwicklung und eines möglichen Übergangs zu einer Kreislaufwirtschaft in den Vordergrund.

Durch unser Fachwissen über die kommerzielle Leistungselektronik für Fahrzeuge und höhere Technologiereifegrade konnten wir schließlich präzisere Leistungskennzahlen mit einer höheren Zuverlässigkeit angeben.

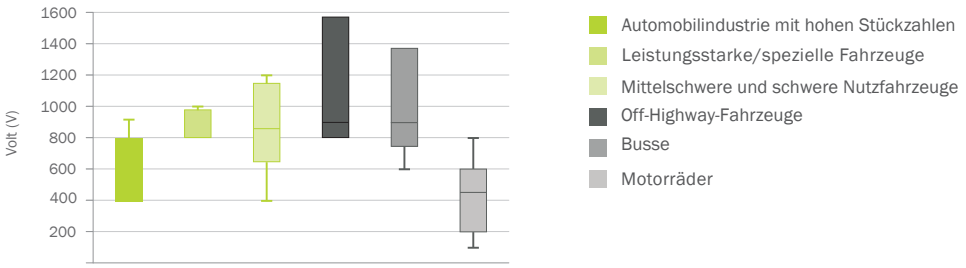
Erkenntnisse aus der Online-Umfrage unter Branchenexperten 2020

Bei Hochleistungsanwendungen zeichnet sich eine Entwicklung zu hohen Betriebsspannungen von 1200 V oder mehr ab, und beim Halbleiter-Packaging sind tief greifende Umbrüche erkennbar.

An der im September 2020 durchgeführten Online-Umfrage nahmen unterschiedlichste Branchenexperten teil:

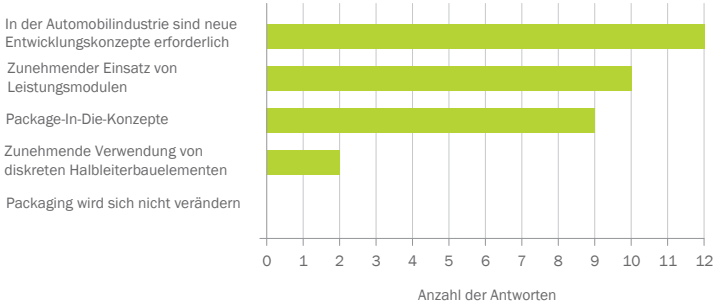
Welche maximalen Betriebsspannungen sind in der Automobilindustrie üblich?

Hohe Betriebsspannungen von 1200 V und höher treten in schweren Nutzfahrzeugen und leistungsstarken Fahrzeugen auf.



Was ändert sich beim Halbleiter-Packaging?

Das Halbleiter-Packaging verändert sich zusehends, um fortschrittlichen Werkstoffen mit breiter Bandlücke (Wide Band Gap; WBG), steigenden Leistungsanforderungen, höheren Betriebstemperaturen und Platzbeschränkungen gerecht zu werden.



Wie hoch ist der wahrscheinliche Marktanteil für Halbleiterwerkstoffe wie SiC und GaN?

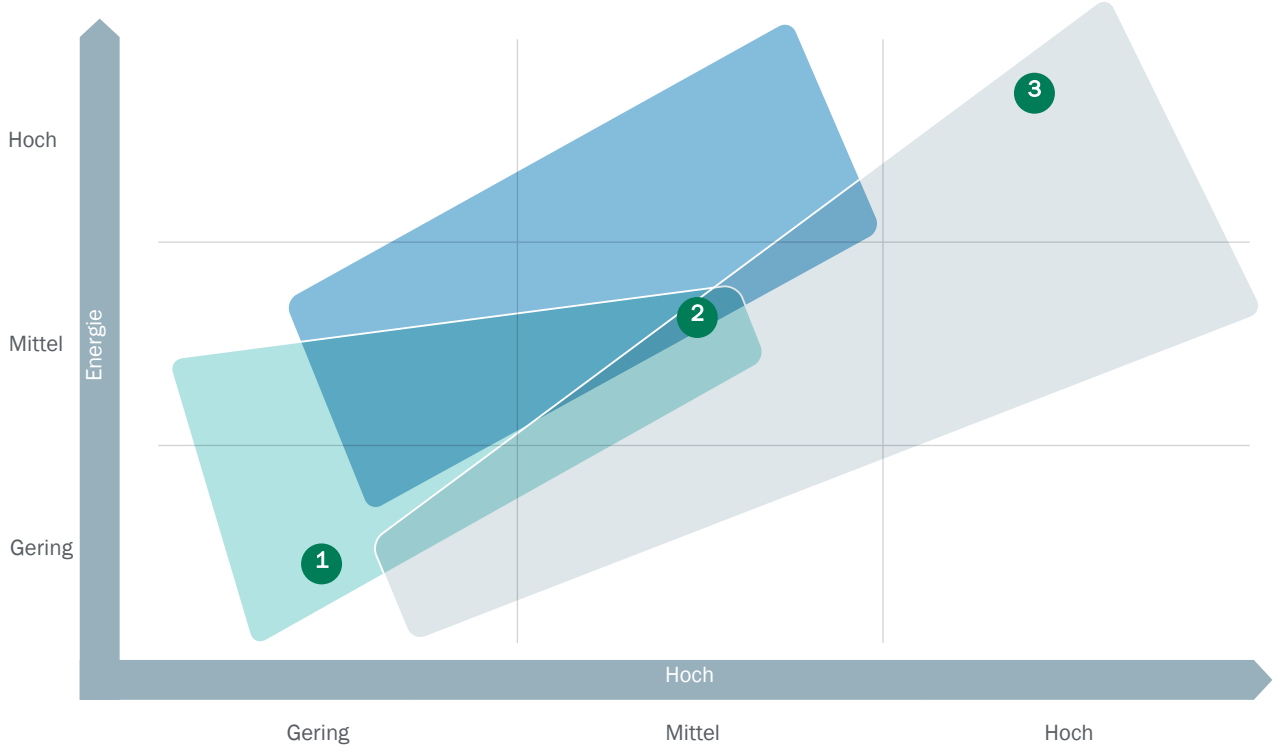
Es ist zu erwarten, dass SiC bei Hochspannungsanwendungen immer häufiger eingesetzt wird, da große, qualitativ hochwertige Wafer zu geringeren Kosten hergestellt werden können. GaN, das für Anwendungen mit hohen Schaltfrequenzen geeignet ist, wird erst einige Jahre später folgen.

Die Umfrageteilnehmer gehen davon aus, dass SiC in den kommenden Jahren auf dem Markt für emissionsfreie Fahrzeuge deutlich an Bedeutung gewinnen wird und bis 2035 eine Marktdurchdringung von 40–60 % erreichen könnte.

Die Prognosen für GaN waren zurückhaltender. Die Umfrageteilnehmer schätzten, dass eine Einführung auf dem Massenmarkt frühestens im Jahr 2025 erfolgen wird; mit einem Marktanteil von 20–30 % bis 2035.

Energie- und Leistungsspektrum bei verschiedenen Anwendungen

Antriebssysteme sind je nach Einsatzgebiet und Arbeitszyklus auf spezifische Leistungs- und Energieanforderungen ausgelegt. Die folgende Grafik bietet einen Überblick über die wichtigsten Massenprodukte.



Leichte Nutzfahrzeuge < 3,5 t | Busse und Reisebusse | Schwerlaster > 3,5 t und nicht für den Straßenverkehr bestimmte Fahrzeuge (Off-Highway-Fahrzeuge)

Der Fahrplan 2020 liefert Werte für Kennzahlen für Kosteneffizienz und hohe Stückzahlen.

Werte für (2) Anwendungen mit hoher Leistungsdichte und (3) energieintensive Ultra-Hochleistungs-anwendungen werden zeitnah mit der Industrie entwickelt.

1 Kostengünstig, hohe Stückzahlen:

Für diese Produkte müssen Skaleneffekte bei niedrigen Kosten erreicht werden. Zu den Anwendungen gehören große Personenkraftwagen und Lieferwagen (überwiegend 400 V).

2 Hohe Leistungsdichte:

Es sind hohe Leistungsdichten erforderlich, wobei der Kostenfaktor weniger entscheidend ist. Anwendungen umfassen leistungsstarke Personenkraftwagen, Busse und einige mittelschwere Nutzfahrzeuge (überwiegend 800 V).

3 Energieintensiv und ultra hohe Leistung:

Für diese Anwendungen sind hohe Leistungsdichten und Zuverlässigkeit erforderlich, aber Effizienz spielt bei der maximalen Nutzung der Energie auch eine wichtige Rolle. Die Anwendungen umfassen 44-Tonnen-Lkw und große, nicht für den Straßenverkehr bestimmte Fahrzeuge (Off-Highway-Fahrzeuge) (700–1200 V).

Technologiekennzahlen für kosteneffiziente Massenanwendungen

Technologiekennzahlen, die die Industrie in einem wettbewerbsorientierten Massenmarkt wahrscheinlich erreichen wird. Sämtliche Kosten- und Leistungskennzahlen sind ehrgeizig, ihnen liegt jedoch die gleiche Technologie zugrunde.

		2020	2025	2035
Kennzahlen für Wechselrichter	Kosten (USD/kW)	3,5	2	1,7
	Volumetrische Leistungsdichte (kW/l)	17	25	35
	Gravimetrische Leistungsdichte (kW/kg)	13	20	25
	WLTP-Wert für den Leistungsdurchschnitt	93 %	95 %	97 %

		2020	2025	2035
Kennzahlen für Gleichspannungswandler	Kosten (USD/kW)	50	40	35
	Volumetrische Leistungsdichte (kW/l)	1,2	1.,5	3
	Gravimetrische Leistungsdichte (kW/kg)	0,75	1,2	2,5
	Spitzenwirkungsgrad	95 %	96 %	97 %

		2020	2025	2035
Kennzahlen für einphasige integrierte Ladegeräte (OBC)	Kosten (USD/kW)	80	65	50
	Volumetrische Leistungsdichte (kW/l)	0,5	1	1,5
	Gravimetrische Leistungsdichte (kW/kg)	0,8	1,2	1,75
	Spitzenwirkungsgrad	93 %	95 %	97 %

In der folgenden Tabelle sind die für den Fahrplan herangezogenen Vorgaben aufgeführt. Diese dienen nur als Referenz und stellen keine Zielvorgaben dar.

Vorgaben für Wechselrichter	2020	2025	2035
Spitzenleistung	100 kW	100 kW	100 kW
Dauerleistung	50 kW	50 kW	70 kW
Eingangsspannung (min.)	250 V	250 V	500 V
Eingangsspannung (nominal)	400 V	400V	800V
Ausgangsstrom (max.)	450 A (rms)	450 A (rms)	225 A (rms)
Kühlmitteleintrittstemperatur	65 °C	65 °C	65 °C
Produktionsmenge	> 100 k	> 100 k	> 200 k

Vorgaben für Gleichspannungswandler[1]	2020	2025	2035
Spitzenleistung	3 kW	3 kW	4 kW[2]
Dauerleistung	3 kW	3 kW	4k W
Eingangs-/Ausgangsspannung (nominal)	400 V	400 V	800 V
Ausgangs-/Eingangsspannung (nominal)	12 V	12 V	12 V
Kühlmitteleintrittstemperatur	65 °C	65 °C	65 °C
Produktionsmenge	> 100 k	> 100 k	> 200 k

Vorgaben für integrierte Ladegeräte[3]	2020	2025	2035
Spitzenleistung	6,6 kW	6,6 kW	6,6 kW
Dauerleistung	6,6 kW	6,6 kW	6,6 kW
Eingangs-/Ausgangsspannung (nominal)	190/270 V AC 45-60 Hz	190/270 V AC 45-60 Hz	190/270 V AC 45-60 Hz
Ausgangs-/Eingangsspannung (nominal)	400 V	400 V	750 V
Kühlmitteleintrittstemperatur	65 °C	65 °C	65 °C
Produktionsmenge	> 100 k	> 100 k	> 200 k

1. Unidirektionaler Leistungsfluss und galvanische Trennung vorausgesetzt 2. Mehr MaaS-/Infotainment-Funktionen vorausgesetzt 3. Bidirektionaler Leistungsfluss und galvanische Trennung vorausgesetzt

Technologiekennzahlen

Im Jahr 2020 ersetzen sie die Ziele in den Fahrplänen und geben eine Stoßrichtung und einen Ansatz zur Messung der Best-in-class-Leistung für diese Technologie vor.

Technologiekennzahlen für kosteneffiziente Massenanwendungen

Technologiekennzahlen, die die Industrie in einem wettbewerbsorientierten Massenmarkt wahrscheinlich erreichen wird. Sämtliche Kosten- und Leistungskennzahlen sind ehrgeizig, ihnen liegt jedoch die gleiche Technologie zugrunde.

		2020	2025	2035
Kennzahlen für Wechselrichter	Kosten (USD/kW)	3,5	2	1,7
	Volumetrische Leistungsdichte (kW/l)	17	25	35
	Gravimetrische Leistungsdichte (kW/kg)	13	20	25
	WLTP-Wert für den Leistungsdurchschnitt	93 %	95 %	97 %

		2020	2025	2035
Kennzahlen für Gleichspannungswandler	Kosten (USD/kW)	50	40	35
	Volumetrische Leistungsdichte (kW/l)	1,2	1,75	3
	Gravimetrische Leistungsdichte (kW/kg)	0,75	1,2	2,5
	Spitzenwirkungsgrad	95 %	96 %	97 %

		2020	2025	2035
Kennzahlen für einphasige integrierte Ladegeräte (OBC)	Kosten (USD/kW)	80	65	50
	Volumetrische Leistungsdichte (kW/l)	0,5	1	1,5
	Gravimetrische Leistungsdichte (kW/kg)	0,8	1,2	1,75
	Spitzenwirkungsgrad	93 %	95 %	97 %

Wechselrichter

Wechselrichter wandeln den von der Fahrzeugbatterie gelieferten Gleichstrom in Wechselstrom um, der für den Betrieb des Elektromotors geeignet ist.

Gleichspannungswandler

Gleichspannungswandler wandeln eine feste Gleichstrom-Eingangsspannung in eine steuerbare Gleichstrom-Ausgangsspannung für Nebenaggregate mit geringerer Leistung wie Infotainment, Beleuchtung und Fahrerassistenzsysteme um.

Integrierte Ladegeräte

Integrierte Ladegeräte (On-Board Chargers, OBC) wandeln den Wechselstrom aus dem Stromnetz (Wechselstromnetz) in Gleichstrom um, der zum Aufladen des Batteriepacks geeignet ist.

Die Kennzahlen für 2020 decken sich mit den Erfahrungen der Industrie in Bezug auf die besten Zahlen für kosteneffiziente Massenanwendungen.

Kosten: Durch Skaleneffekte sind erhebliche Kosteneinsparungen möglich. Für die oben genannten Ziele ist eine Kosteneinsparung maßgeblich, damit sich Elektrofahrzeuge auf dem Markt zunehmend etablieren.

Leistungsdichte: Die Leistungsdichte ist ein wichtiger Faktor in Bezug auf die Gewichtsreduktion und für kompaktere Konstruktionen. Verbesserungen der Leistungsdichte sind bei Gleichspannungswandlern und integrierten Ladegeräten eher begrenzt. Dies liegt daran, dass die Wandler komplexer sind und zusätzliche magnetische Komponenten sowie mehrere Wandlerstufen benötigen, damit eine galvanische Trennung möglich wird.

Effizienz: Wechselrichter werden üblicherweise bei Elektromotoren und Getrieben eingesetzt. Die Effizienzvorgaben werden daher als durchschnittliche WLTP-Werte für den Leistungsdurchschnitt dargestellt, um zu veranschaulichen, dass der Wechselrichter als Teil des Antriebsstrangs des Fahrzeugs effizient arbeiten muss. Aufgrund der eingeschränkten Arbeitspunkte sind die Spitzenwirkungsgrade für Gleichspannungswandler und integrierte Ladegeräte geeignet.

Wechselrichter

Wechselrichter für kosteneffiziente Anwendungen für den Massenmarkt weisen in der Regel niedrige Spitzen- und Dauerleistungen auf. Die nominale Eingangsspannung wird in den nächsten fünf bis zehn Jahren bei ca. 400 V liegen, bis die Kosten für 800-V-Systeme sinken. Die Kühleintrittstemperatur beruht auf dem aktuellen Stand der Industrie und ist auf den Elektromotor abgestimmt.

Gleichspannungswandler

Gleichspannungswandler bleiben in der Regel bei 3 kW, was ausreicht, um die Anforderungen der Nebenaggregate zu erfüllen. Auf lange Sicht ist davon auszugehen, dass dieser Wert mit zunehmenden Funktionen für Infotainment, Fahrasssistenzsysteme und vernetztes und autonomes Fahren steigen könnte. Daher wird erwartet, dass es bis 2035 Gleichspannungswandler mit 4 kW auf dem Markt geben wird.

Integrierte Ladegeräte

Integrierte Ladegeräte werden auch als On-Board-Chargers (OBC) bezeichnet. Es wird erwartet, dass sich Ladegeräte für kostengünstige Massenanwendungen auf den Industriestandard von 6,6 kW zubewegen. Die Eingangsspannung ist am Stromnetz des Vereinigten Königreichs orientiert, obwohl in europäischen Märkten dreiphasige OBC eingeführt werden könnten.

In der folgenden Tabelle sind die für den Fahrplan herangezogenen Vorgaben aufgeführt. Diese dienen nur als Referenz und stellen keine Zielvorgaben dar.

Vorgaben für Wechselrichter	2020	2025	2035
Spitzenleistung	100 kW	100 kW	100 kW
Dauerleistung	50 kW	50 kW	70 kW
Eingangsspannung (min.)	250 V	250 V	500 V
Eingangsspannung (nominal)	400 V	400V	800V
Ausgangsstrom (max.)	450 A (rms)	450 A (rms)	225 A (rms)
Kühlmitteleintrittstemperatur	65 °C	65 °C	65 °C
Produktionsmenge	> 100 k	> 100 k	> 200 k

Vorgaben für Gleichspannungswandler[1]	2020	2025	2035
Spitzenleistung	3 kW	3 kW	4 kW[2]
Dauerleistung	3 kW	3 kW	4k W
Eingangs-/Ausgangsspannung (nominal)	400 V	400 V	800 V
Ausgangs-/Eingangsspannung (nominal)	12 V	12 V	12 V
Kühlmitteleintrittstemperatur	65 °C	65 °C	65 °C
Produktionsmenge	> 100 k	> 100 k	> 200 k

Vorgaben für integrierte Ladegeräte[3]	2020	2025	2035
Spitzenleistung	6,6 kW	6,6 kW	6,6 kW
Dauerleistung	6,6 kW	6,6 kW	6,6 kW
Eingangs-/Ausgangsspannung (nominal)	190/270 V AC 45-60 Hz	190/270 V AC 45-60 Hz	190/270 V AC 45-60 Hz
Ausgangs-/Eingangsspannung (nominal)	400 V	400 V	750 V
Kühlmitteleintrittstemperatur	65 °C	65 °C	65 °C
Produktionsmenge	> 100 k	> 100 k	> 200 k

1. Unidirektionaler Leistungsfluss und galvanische Trennung vorausgesetzt 2. Mehr MaaS-/Infotainment-Funktionen vorausgesetzt 3. Bidirektionaler Leistungsfluss und galvanische Trennung vorausgesetzt

Fahrplan 2020

Leistungselektronik

Technologiefahrplan

Technologiekennzahlen für die Jahre 2020–2035 finden Sie auf Seite 2.

automotive council UK

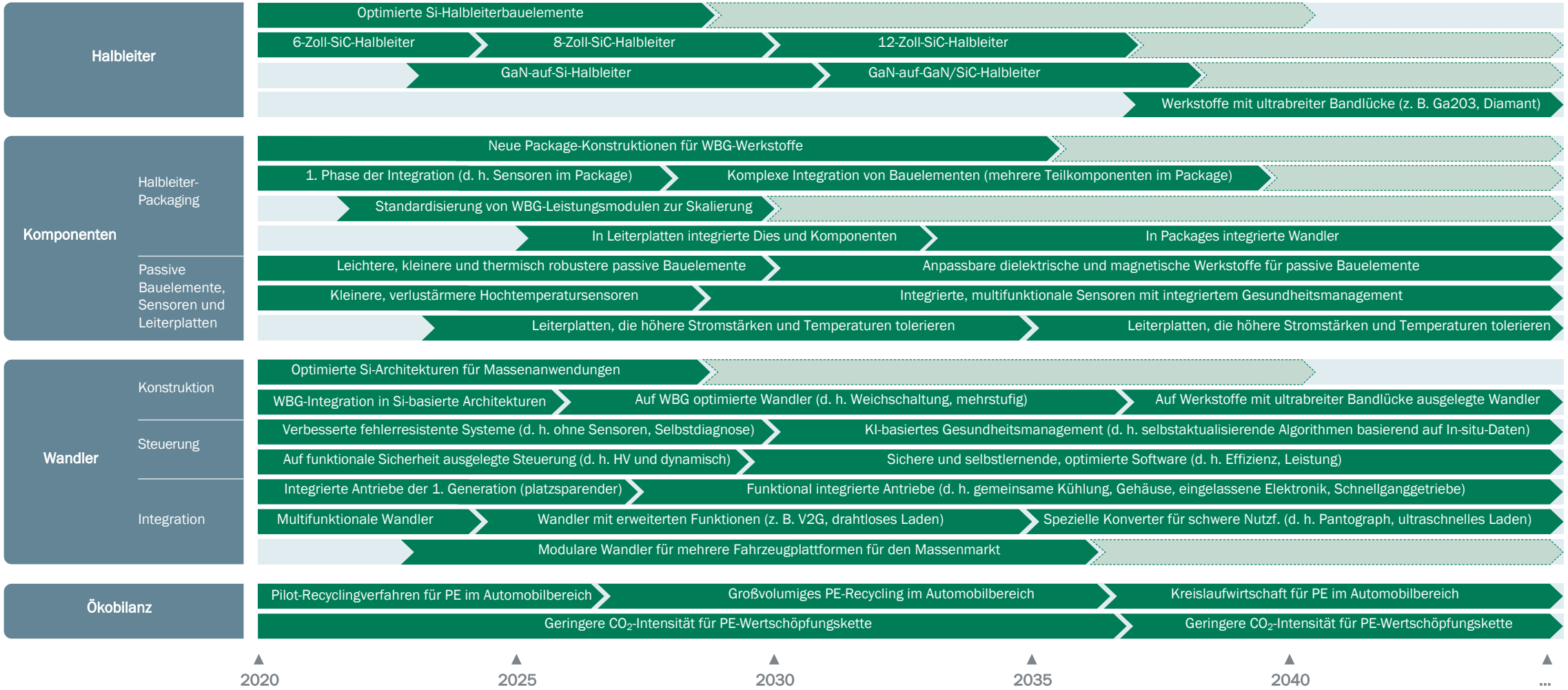
ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

Dieser Fahrplan stellt eine Momentaufnahme der weltweiten Prognosen für Antriebstechnologien in der Automobilindustrie für den Massenmarkt dar. Anwendungsspezifische Technologien können je nach Region unterschiedlich sein.

Dunkler Balken: Die Technologie ist auf dem Massenmarkt etabliert. In diesem Zeitrahmen werden bahnbrechende Innovationen erwartet.

Übergang: Ein Übergang bedeutet kein Rückzug aus dem Markt, sondern eine Neuausrichtung des FuE-Schwerpunkts.

Balken mit gestrichelter Linie: Marktreife: Die Technologie hat Marktreife erreicht. Sie verbleibt voraussichtlich im Massenmarkt, bis sie verdrängt wird.



Primäre Technologiebereiche

Halbleiter

Halbleiter sind die teuerste Komponente in der Leistungselektronik für Fahrzeuge. Sie wirken sich erheblich auf die Innovationspfade aller anderen Bereiche des Fahrplans für Leistungselektronik aus. Dieser Abschnitt handelt von der stetigen Weiterentwicklung von Si-basierten Halbleitern und der zunehmenden Reife von Wide-Bandgap-Halbleitern.

Komponenten

- Halbleiter-Packaging
- Passive Bauelemente, Sensoren und Leiterplatten

Komponenten:

Zur Optimierung der Leistung von Wide-Bandgap-Halbleitern werden **neue Konzepte für das Halbleiter-Packaging** entstehen. Es werden zwei parallele Trends vorgestellt: spezialisiertes Packaging für eine individuell abgestimmte Leistung und die Standardisierung von Leistungsmodulen für den Massenmarkt.

Passive Bauelemente, Sensoren und Leiterplatten sind Komponenten mit vielversprechendem Innovationspotenzial in der Automobilindustrie. Es müssen neue Werkstoffe und Fertigungsverfahren erschlossen werden, um hohe Betriebstemperaturen zu erreichen und die Verluste bei höheren Spannungen zu verringern.

Wandler

- Konstruktion
- Steuerung
- Integration

Wandler:

Insbesondere bei leistungsstärkeren Anwendungen müssen **Wandler so konstruiert werden**, dass sie die gesteigerte Leistung breiter Bandlücken ausnutzen können. Bestehende Architekturen müssen ebenfalls schrittweise optimiert werden, um Kostensenkungen für Anwendungen für den Massenmarkt zu erreichen.

Die **Steuerungssoftware** wird weiterentwickelt, um Zuverlässigkeit, Leistung und Sicherheit zu verbessern. Da Fahrzeug und Antriebsstrang zunehmend integriert und vernetzt werden, müssen verbesserte Regelstrategien entwickelt werden.

Eine bessere **Integration** der Leistungselektronik senkt die Kosten und spart Platz. Mögliche Innovationspfade führen über die Integration der Elektronik in Motoren und Getriebe sowie über die Entwicklung multifunktionaler oder modularer Wandlerarchitekturen.

Ökobilanz

Die **Ökobilanz** umfasst die Kohlendioxidintensität, die Umweltauswirkungen, den Ressourcenverbrauch und die Recycelbarkeit der Wertschöpfungskette der Leistungselektronik. Nur wenn all diese Elemente optimiert werden, können Elektrofahrzeuge eine wirklich nachhaltige Lösung darstellen.

Halbleiter

Wenn die Fertigungsqualität weiter verbessert wird, werden zunehmend Werkstoffe mit breiter Bandlücke eingesetzt, die im Vergleich zu Silicium einen Leistungssprung bieten.

Fahrplan 2020
Leistungselektronik

Technologiefahrplan

Halbleiter

1. Optimierte Si-Halbleiterbauelemente
2. 6-Zoll-SiC-Halbleiter → 8-Zoll-SiC-Halbleiter → 12-Zoll-SiC-Halbleiter
3. GaN-auf-Si-Halbleiter → GaN-auf-GaN/SiC-Halbleiter
4. Werkstoffe mit ultrabreiter Bandlücke (z. B. Ga203, Diamant)

Komponenten
- Halbleiter-Packaging
- Passive Bauelemente, Sensoren und Leiterplatten

Wandler
- Konstruktion
- Steuerung
- Integration

Ökobilanz

1 Optimiertes Silicium

Die niedrigen Kosten und die Möglichkeiten der integrierten Fertigung von Silizium sorgen dafür, dass der Werkstoff für Niederspannungs- und Leistungsanwendungen attraktiv ist. Zusätzliche Leistungssteigerungen gelingen durch kleinere Chipgrößen, dünnere Wafer und innovative IGBT-/MOSFET-Konstruktionen (z. B. schnelleres Schalten, rückwärts sperrende und rückwärts leitende IGBT).

2 Entwicklung von SiC

SiC-basierte Wechselrichter haben den Markt erreicht und wurden insbesondere im Model 3 von Tesla oder in Bussen von Solaris früh eingesetzt. Es wird erwartet, dass SiC-Halbleiter auch in Zukunft für Hochleistungsanwendungen eingesetzt werden, insbesondere in Antriebssträngen mit 800 V Systemspannung.

In bestehenden SiC-Produktionsanlagen werden 6-Zoll-Wafer gefertigt, aber die Marktführer planen, in den nächsten drei bis fünf Jahren 8-Zoll-Wafer herzustellen. Im Fahrplan wird auch die Möglichkeit, auf lange Sicht 12-Zoll-Wafer zu fertigen, nicht ausgeschlossen. Da die Kristallzüchtungstechniken geistigen Eigentumsrechten unterliegen, führt die Herstellung größerer SiC-Wafer mit geringerer Defektdichte zu geringeren Kosten und einer breiteren Akzeptanz.

3 Entwicklung von GaN

GaN wird wohl erst in zwei bis drei Jahren in Automobilantrieben eingesetzt werden. Zu den ersten Anwendungsgebieten werden Gleichspannungswandler, integrierte Ladegeräte und Sensorik-Anwendungen gehören. Dies liegt daran, dass GaN am besten für Niederspannungs- und Leistungsanwendungen geeignet ist, bei denen hohe Schaltfrequenzen erforderlich sind. Es sind weitere Forschungen nötig, bis GaN für Anwendungen mit über 600 V eingesetzt werden kann.

Es ist extrem schwierig, GaN-Substrate in einer Größe und Reinheit herzustellen, die mit anderen Substratwerkstoffen mithalten können. Aus diesem Grund wird GaN zunächst für GaN-auf-Si-Bauelemente verwendet, um die Markteinführung anzukurbeln. Allerdings entsteht durch die Gitterfehlanpassung zwischen GaN-auf-Si-Lösungen und Si ein Problem, da eine hohe Defektdichte und thermischer Stress erzeugt werden. Auf lange Sicht könnten GaN-Substrate kostengünstig hergestellt werden oder es könnte günstiger sein, SiC-Substrate mit GaN zu verwenden.

4 Werkstoffe mit ultrabreiter Bandlücke

Werkstoffe der nächsten Generation (wie Diamant, Galliumoxid und Aluminiumnitrid) könnten im Vergleich zu SiC und GaN einen Leistungssprung bewirken. Diese Werkstoffe befinden sich derzeit noch auf einem niedrigen Technologie-Reifegrad, wobei die Entwicklungen von der Wissenschaft und innovativen Start-ups vorangetrieben werden.

Es sind erhebliche Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen sowie Innovationen in der Fertigung erforderlich, bevor Werkstoffe mit ultrabreiter Bandlücke für Automobilantriebe geeignet sind.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Komponenten

Durch neue Konstruktionen und eine stärkere Integration von Komponenten kann ein leistungsfähigeres Packaging für Halbleiter mit breiter Bandlücke erreicht werden, und eine zunehmende Standardisierung von Leistungsmodulen erleichtert eine kostengünstige Skalierung.

Fahrplan 2020
Leistungselektronik

Technologiefahrplan

Halbleiter

Komponenten
- Halbleiter-Packaging
- Passive Bauelemente, Sensoren und Leiterplatten

Wandler
- Konstruktion
- Steuerung
- Integration

Ökobilanz

1 Neues Packaging für Werkstoffe mit breiten Bandlücken

Um die höhere Leistungsdichte und die größeren Temperaturbereiche im Vergleich zu Si zu bewältigen, braucht es ein verbessertes Thermomanagement und Packaging, da sonst die Lebensdauer des Package und des bzw. der Chips verkürzt werden kann. Außerdem schalten GaN-Transistoren so schnell, dass extrem induktionsarme Gehäuse erforderlich sind, um das Gerät vor Spannungstransienten zu schützen und die EMI-Unterdrückung zu erleichtern.

1 Neue Package-Konstruktionen für WBG-Werkstoffe

2 1. Phase der Integration (d. h. Sensoren im Package) → Komplexe Integration von Bauelementen (mehrere Teilkomponenten im Package)

3 Standardisierung von WBG-Leistungsmodulen zur Skalierung

4 In Leiterplatten integrierte Dies und Komponenten → In Packages integrierte Wandler

2 Zunehmende Integration bei Leistungsmodulen

Möglicherweise zeichnet sich ein Übergang von Einzel- und Multi-Chip-Modulen, die nur Halbleiterkomponenten enthalten, zu voll integrierten Leistungsmodulen mit Sensoren, Filtern und Gate-Treibern ab, die höhere Stromstärken und Temperaturen tolerieren können.

In die erste Generation von integrierten Modulen werden Sensoren, passive Komponenten oder Gate-Treiber eingebettet sein. Langfristig könnten alle wichtigen Wandlerkomponenten zur Steigerung der Funktionalität in Leistungsmodule integriert werden.

3 Standardisierung von Leistungsmodulen mit breiter Bandlücke

OEMs und Tier-1-Zulieferer verfügen über verschiedene Wandlerplattformen und -konstruktionen. Durch eine einheitliche Konstruktion von Leistungsmodulen für Werkstoffe mit breiter Bandlücke könnten die Kosten für Konstruktion und Entwicklung sinken, da auf diese Weise modulare Wandlerkonstruktionen möglich wären. Zu den Herausforderungen bei diesem Ansatz gehört die Entwicklung von Leistungsmodulen und Wandlern mit der Flexibilität und Funktionalität, die benötigt wird, um eine breite Produktpalette abzudecken. Zudem müssten sich OEMs und Halbleiter- bzw. Modulhersteller weitgehend auf einen Standard für die Konstruktion einigen.

4 Tief greifende Integration von Komponenten

Ein weiterer Ansatz zur Integration von Teilkomponenten in bestehende Konstruktionen von Leistungsmodulen sieht vor, Leistungselektronikkomponenten unter Verwendung neuer Fertigungsansätze zu integrieren.

Dazu könnten multifunktionale Leiterplatten gehören, bei denen Dies, passive Komponenten und Gate-Treiber in die Leiterplatte eingebettet werden, anstatt auf sie geklebt bzw. gelötet zu werden. Auf lange Sicht könnten Konzepte von in Packages integrierten Wandlern umgesetzt werden, bei denen alle Bestandteile eines Wandlers (Gate-Treiber, Steuerungssoftware, Sensoren, passive Elemente) in ein einziges Gehäuse eingebettet werden, wobei die Komponenten und das Substrat parallel gefertigt werden. Eine Leistungselektronik mit deutlich geringerem Platzbedarf kann die Leistungsdichten deutlich erhöhen.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Komponenten

Es werden neue, kompaktere passive Komponenten, magnetisierbare Werkstoffe und Leiterplattenwerkstoffe benötigt, die hohen Temperaturen, Frequenzen und Stromstärken standhalten.

Halbleiter

Komponenten
- Halbleiter-Packaging
- Passive Bauelemente, Sensoren und Leiterplatten

Wandler
- Konstruktion
- Steuerung
- Integration

Ökobilanz

1 Verbesserungen bei passiven Komponenten

Neben neuen Halbleitern mit breiter Bandlücke müssen auch passive Komponenten (z. B. Kondensatoren und Spulen) weiterentwickelt werden. Es werden Keramik-, Metallpapier- und Blei-Zirkonat-Titanat (PZT)-Kondensatoren für höhere Temperaturen (<150 °C) entwickelt, um hohe Leistungsdichten zu erreichen, indem die Zwischenkreiskondensatoren verkleinert werden.

Ein Faktor, der das Erreichen höherer Leistungsdichten in Gleichspannungswandlern und integrierten Ladegeräten einschränkt, ist die Größe der magnitisierten Komponenten. Es wird daher an neuen magnetisierbaren Werkstoffen geforscht, um Spulen zu verkleinern, damit sie mit höheren Frequenzen arbeiten können.

1. Leichtere, kleinere und thermisch robustere passive Bauelemente → Anpassbare dielektrische und magnetische Werkstoffe für passive Bauelemente
2. Kleinere, verlustärmere Hochtemperatursensoren → Integrierte, multifunktionale Sensoren mit integriertem Gesundheitsmanagement
3. Leiterplatten, die höhere Stromstärken und Temperaturen tolerieren → Leiterplatten, die höhere Stromstärken und Temperaturen tolerieren

2 Sensoren und Gesundheitsmanagement

Sensoren müssen höheren Temperaturen standhalten und geringere Verluste verursachen, ohne dass die Präzision darunter leidet. Da das Bauteilgehäuse durch den Einsatz von SiC und GaN kleiner wird, braucht es kleinerer Sensoren mit verbesserter Hochfrequenzfähigkeit. Da der Platz knapper wird, könnte eine Priorität auch darin liegen, integrierte, multifunktionale Sensoren zu entwickeln, die Temperatur, Spannung und Strom messen können. Physische Sensoren könnten zu drahtlosen Sensoren weiterentwickelt werden, die weniger wiegen und für die weniger Verkabelung erforderlich ist, dafür aber eine bessere Datenanalyse und Software.

3 Verbesserte Leiterplattenkonstruktionen

An Leiterplatten in Fahrzeugen mit Elektroantrieb werden erhebliche Leistungsanforderungen gestellt. Sie müssen hohen Temperaturen, Frequenzen und Stromstärken standhalten. Kupfer mit einer Stärke zwischen 150–200 µm kann im Vergleich zu herkömmlichen Kupferschichten für Leiterplatten mit einer Stärke von 25–50 µm von Vorteil sein. Weitere mögliche Werkstoffe für Leiterplatten in Elektrofahrzeugen sind Keramik und PTFE, die auch bei hohen Temperaturen, Stromstärken und Frequenzen eingesetzt werden können. Keramik-Leiterplatten werden aufgrund ihrer Kosten nur in leistungsstarken, sicherheitskritischen Anwendungen zum Einsatz kommen. Da bietet PTFE einen guten Kompromiss zwischen Kosten und Leistung. Auf lange Sicht können „hybride“ Werkstoffe und neue Verfahren zur Fertigung von Leiterplatten zum Einsatz kommen, durch die Leiterplatten mit integrierten Dies und passiven Komponenten hergestellt werden können, wie dies im Unterabschnitt „Halbleiter-Packaging“ beschrieben wurde.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Wandler

Um die Vorzüge von Halbleitern mit breiter Bandlücke voll ausschöpfen zu können, werden fortschrittliche Wandlerarchitekturen benötigt, die über Si-basierte Konstruktionen hinausgehen.

Fahrplan 2020
Leistungselektronik

Technologiefahrplan

Halbleiter

Komponenten
- Halbleiter-Packaging
- Passive Bauelemente, Sensoren und Leiterplatten

1 Optimierte Si-basierte Konstruktionen für Wandler

Bei niedrigen Spannungen werden auch weiterhin Si-basierte Wandlertopologien eingesetzt, und zwar: SiC-Dioden und Si-Schalter, Schaltungstopologien für mehr Effizienz, verteilte Architekturen (viele kleine parallele Wandler) und parallele/verschachtelte Systeme.

2 Wandlerkonstruktionen mit breiter Bandlücke

Si-basierte Wandlerkonstruktionen werden nach und nach weiterentwickelt, um den Einsatz von Halbleitern mit großer Bandlücke zu beschleunigen. Das volle Potenzial von Werkstoffen mit breiter Bandlücke kann jedoch erst dann erschlossen werden, wenn neue Schaltungstopologien entwickelt werden. Beispiele: Weichschalt-Technologien für Hochfrequenzanwendungen, adaptive Wechselrichter, hochfrequente Pulsbreitenmodulation und Resonanzwandler sowie Multi-Level-Konverter.

Wandler
- Konstruktion
- Steuerung
- Integration

1 Optimierte Si-Architekturen für Massenanwendungen

2 WBG-Integration in Si-basierte Architekturen → Auf WBG optimierte Wandler (d. h. Weichschaltung, mehrstufig) → Auf Werkstoffe mit ultrabreiter Bandlücke ausgelegte Wandler

Ökobilanz

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Wandler

Fortschrittliche Steuerungssoftware und fehlertolerante Konstruktionen können in Kombination mit Selbstdiagnose und Selbstkorrektur zu einer längeren Lebensdauer, höheren Zuverlässigkeit und gesteigerten Sicherheit führen.

Fahrplan 2020
Leistungselektronik

Technologiefahrplan

Halbleiter

Komponenten
- Halbleiter-Packaging
- Passive Bauelemente, Sensoren und Leiterplatten

Wandler
- Konstruktion
- Steuerung
- Integration

Ökobilanz

1 Hohe Frequenzen, Fehlertoleranz und Prognostik

Lebensdauer und Zuverlässigkeit stehen bei der Konstruktion von Wandlern an erster Stelle. Hochentwickelte Steuerungsstrategien ermöglichen eine Produktdifferenzierung und vereinen ein erhebliches Know-how und geistiges Eigentum in sich. Für die Leistungselektronik mit breiter Bandlücke werden schnellere Steuerungen und folglich leistungsfähigere Steuerungshardware erforderlich sein.

Fehlertolerante Wandlerkonstruktionen mit reduzierter Redundanz stehen im Mittelpunkt der derzeitigen Entwicklung. Dies wird sich bei einem Wandel vom reaktiven zu einem prädiktiven Gesundheitsmanagement ändern, welches durch die Erfassung der im Fahrzeug gemessenen Daten ermöglicht wird. Es ist mit einem weiteren Übergang zu selbstkorrigierender und rekonfigurierbarer Leistungselektronik zu rechnen, der durch KI/maschinelles Lernen und innovative flexible Schaltungsarchitekturen für die Niederspannungselektronik ermöglicht wird.

2 Sicherheitssoftware

Wechselrichter spielen für die Sicherheit von Elektrofahrzeugen eine entscheidende Rolle, da sie das Drehmoment zum Elektromotor steuern. Für die Qualifizierung ASIL D, einer in der ISO 26262 formulierten Risikoeinstufung für funktionale Sicherheit, muss zur Überwachung und zum Schutz vor unbeabsichtigter Beschleunigung, Bremsung und/oder elektrischen Schlägen eine Redundanz vorhanden sein.

Auf lange Sicht ist zu erwarten, dass die Steuerungssoftware immer ausgereifter wird und den Antriebszyklus auf Effizienz und Nutzerkomfort abstimmt. Mit der Erweiterung der Funktionen für autonomes Fahren gilt es auch, die Steuerungssoftware vor externen Bedrohungen zu schützen. Der Trend geht weiter in Richtung Konsolidierung von Steuergeräten im Antriebsstrang, Fahrassistenz- und Infotainmentsystemen, um die Komplexität und die Kosten zu verringern, wofür wiederum neue elektrische Architekturen erforderlich sind.

1 Verbesserte fehlerresistente Systeme (d. h. ohne Sensoren, Selbstdiagnose) → KI-basiertes Gesundheitsmanagement (d. h. selbstaktualisierende Algorithmen basierend auf In-situ-Daten)

2 Auf funktionale Sicherheit ausgelegte Steuerung (d. h. HV und dynamisch) → Sichere und selbstlernende, optimierte Software (d. h. Effizienzmessung)

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Wandler

Eine verbesserte Funktionsintegration innerhalb von Antrieben in Kombination mit modularen Architekturen kann zu kleineren, leichteren und kostengünstigeren Konstruktionen führen.

Halbleiter

Komponenten
- Halbleiter-Packaging
- Passive Bauelemente, Sensoren und Leiterplatten

Wandler
- Konstruktion
- Steuerung
- Integration

Ökobilanz

1 Integrierte Leistungselektronik und Antriebe

Um Platz zu sparen und das Gewicht zu reduzieren, werden immer häufiger integrierte Antriebe eingesetzt. Es gibt verschiedene Varianten, wobei eine darin besteht, den Wechselrichter, den Motor und das Getriebe eng beieinander zu verbauen und für einen effizienten Betrieb als System zu optimieren.

Zum Erreichen höherer Leistungsdichten und einer besseren Systemeffizienz erforschen derzeit viele OEMs und Tier-1-Zulieferer die Funktionsintegration elektrischer Antriebe. Bei diesen Systemen wird die Hochspannungsverkabelung entfernt, sie werden mit einem Thermomanagementsystem ausgestattet und in einem Gehäuse untergebracht. Auf lange Sicht könnten bei leistungsstärkeren und Nischenanwendungen 3D-gedruckte Antriebe zum Einsatz kommen, bei denen die Leistungselektronik in die Statoren oder Rotoren eingelassen ist.

2 Funktionen von Wandlern

Die Automobilindustrie bewegt sich hin zu Wandlern, in denen verschiedene Funktionen vereint sind. Gleichspannungswandler und integrierte Ladegeräte werden zunehmend zu einer Einheit zusammengefasst, um Platz zu sparen und Kosten zu senken.

Es wird davon ausgegangen, dass sich das bidirektionale Laden und die Fähigkeit, die Fahrzeugbatterie als Stromquelle zu verwenden (Vehicle-to-Device; V2D), in den nächsten Jahren durchsetzen wird und das Fahrzeug zu einer Energiequelle wird. Das drahtlose Laden könnte in speziellen Anwendungen zum Einsatz kommen, bevor diese Technologie später den Massenmarkt erobert. Sollten batteriebetriebene schwere Nutzfahrzeuge und Elektro-Lkws an der Oberleitung langfristig Marktreife erreichen, werden spezielle Wandler benötigt, die entweder ein extrem schnelles Laden mit hoher Laderate ermöglichen können oder die direkt mit dem Hochspannungsnetz verbunden sind.

3 Modulare Wandlerarchitekturen

Getreu dem Trend zu modularen Fahrzeugplattformen, die für den Einsatz in mehreren Fahrzeugtypen entwickelt werden, versuchen die OEMs, modulare Wandler-architekturen zu entwickeln, die in verschiedenen Fahrzeugplattformen eingesetzt werden können. Dadurch wären höhere Skaleneffekte und ein gewisses Maß an Flexibilität möglich.

1 Integrierte Antriebe der 1. Generation (platzsparender) → Funktional integrierte Antriebe (d. h. gemeinsame Kühlung, Gehäuse, eingelassene Elektronik, Schnellganggetriebe)

2 Multifunktionale Wandler → Wandler mit erweiterten Funktionen (z. B. V2G, drahtloses Laden) → Spezielle Konverter für schwere Nutzf. (d. h. Pantograph, ultraschnelles Laden)

3 Modulare Wandler für mehrere Fahrzeugplattformen für den Massenmarkt

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Ökobilanz

Es bedarf neuer Ansätze, etwa im Hinblick auf die Entwicklung unter Berücksichtigung der Demontage oder die Schaffung einer Kreislaufwirtschaft für wertvolle Materialien, um sich der langfristigen ökologischen Verantwortung der Leistungselektronikindustrie zu stellen.

Halbleiter

Komponenten
- Halbleiter-Packaging
- Passive Bauelemente, Sensoren und Leiterplatten

Wandler
- Konstruktion
- Steuerung
- Integration

1 Recycling und Kreislaufwirtschaft

Mit der zunehmenden Elektrifizierung von Fahrzeugen braucht es Lösungen für das Recycling der Leistungselektronik für den Massenmarkt. Diese Aufgabe stellt sich als immer schwieriger dar, da die Leistungselektronik immer kleiner und in Motoren und Antriebe integriert wird. Die Entwicklung unter Berücksichtigung der Demontage und das Recycling sind daher wichtige Aspekte, die es jetzt bei der Entwicklung zu berücksichtigen gilt.

Die Richtlinie 2021/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE-Richtlinie) ist eine verbindliche Norm, in der die Sammlung, die Behandlung, das Recycling und die Verwertung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten geregelt sind. Daher stellen sich beim Recycling der Leistungselektronik nicht so hohe Herausforderungen wie beim Recycling von Batterien und elektrischen Maschinen.

Bei zukünftigen Recyclingverfahren für große Mengen müssen jedoch die Umweltauswirkungen auf ein Mindestmaß reduziert (keine Verwendung von schädlichen Chemikalien oder energieintensiven Verfahren) und hohe Verwertungsraten für kritische, seltene und wertvolle Werkstoffe erzielt werden. Die Herausforderung für die Industrie besteht darin, all dies unter Einhaltung der Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Langfristig wäre es sinnvoll, eine Kreislaufwirtschaft zu schaffen, in der Werkstoffe wie Gold, Silber und Kupfer gewonnen und in der Automobilindustrie oder als Ausgangswerkstoff für andere Branchen wiederverwendet werden können.

2 CO_2-Intensität und Umweltauswirkungen

Der erhöhte Druck, der sich aus dem Ziel von Netto-Null-Emissionen und den Ökobilanzvorschriften für Fahrzeuge ergibt, stellt eine Herausforderung für die gesamte Lieferkette der Leistungselektronik dar. Der Schwerpunkt wird kurzfristig auf der Verringerung der CO_2-Intensität der Herstellung liegen, indem energieeffiziente Fertigungsverfahren oder CO_2-arme Energiequellen zum Einsatz kommen. Die Bearbeitung von Halbleiterkomponenten wird dabei einen besonderen Schwerpunkt bilden.

Auf lange Sicht werden die gesamten Umweltauswirkungen der Leistungselektronikindustrie genau untersucht. Dazu gehören der Wasser- und Flächenverbrauch, chemisches Abwasser und eine bessere Berichterstattung und Offenlegung der in der Wertschöpfungskette der Leistungselektronik verwendeten Rohstoffe und Prozesschemikalien.

Ökobilanz

1 Pilot-Recyclingverfahren für PE im Automobilbereich → Großvolumiges PE-Recycling im Automobilbereich → Kreislaufwirtschaft für PE im Automobilbereich

2 Geringere CO_2-Intensität für PE-Wertschöpfungskette → Geringere CO_2-Intensität für PE-Wertschöpfungskette

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Glossar

Abkürzung	Erläuterung
ADAS	Bei modernen Fahrassistenzsystemen (Advanced Driver-Assistance Systems) kommen Sensoren, Kameras und fortschrittliche Computer zum Einsatz, um den Fahrer zu unterstützen.
ASIL-D	Das Automotive Safety Integrity Level ist ein in der Norm ISO 26262 formuliertes Risikoklassifikationsschema. Die Einstufung D beschreibt die höchsten Integritätsanforderungen an das Produkt.
Bandlücke	Die Energie, die benötigt wird, um Elektronen aus dem Valenzband eines Werkstoffs in das Leistungsband zu bewegen. WBG-Werkstoffe mit breiterer Bandlücke wie SiC und GaN können höhere Spannungen und Temperaturen als Silicium tolerieren.
CAV	Die Bezeichnung „vernetzte und autonome Fahrzeuge“ (connected autonomous vehicles) ist ein Sammelbegriff für die verschiedenen Autonomiestufen und Technologien im Zusammenhang mit selbstfahrenden Fahrzeugen.
GaN	Galliumnitrid ist ein Halbleiterwerkstoff mit breiter Bandlücke, der einen möglichen Ersatz für Silicium darstellt.
IGBT	Ein Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode (Insulated-Gate Bipolar Transistor) ist ein effizienter und schneller Schalter, der in der Leistungselektronik verwendet wird.
MOSFET	Ein Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) ist ein Bauelement, das elektronische Signale verstärken und schalten kann.
PCB	Eine Leiterplatte (Printed Circuit Board) dient der mechanischen Befestigung und elektrischen Verbindung zu Komponenten.
PZT	Werkstoff mit dielektrischer Beschichtung auf Basis von Blei-Zirkonat-Titanat.
PTFE	Polytetrafluorethylen ist ein synthetisches Fluorpolymer, das aus Kohlenstoff- und Fluoratomen besteht, hydrophob ist und einen sehr niedrigen Reibungskoeffizienten aufweist. Der wohl bekannteste Handelsname ist Teflon.
SiC	Siliciumcarbid ist ein Halbleiterwerkstoff mit breiter Bandlücke, der einen möglichen Ersatz für Silizium darstellt.
WEEE	Die Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Elektro- und Elektronik-Altgeräte findet auf eine Vielzahl von elektrischen und elektronischen Produkten Anwendung.
WLTP	Das „Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure“ (weltweit harmonisiertes Prüfverfahren für leichte Nutzfahrzeuge) ist eine globale Norm zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs, der Schadstoffkonzentration und der CO_2-Emissionen von Fahrzeugen mit Verbrennungs- und Hybridmotoren sowie der Reichweite von Fahrzeugen mit vollelektrischem Antrieb.

Ein besonderer Dank geht an Spell Creative und Mindraft für die Unterstützung bei der Gestaltung und Ausarbeitung dieses Berichts sowie an BMG Research für die Durchführung der Umfrage unter Branchenexperten für den Fahrplan im Auftrag des APC und für die Unterstützung.