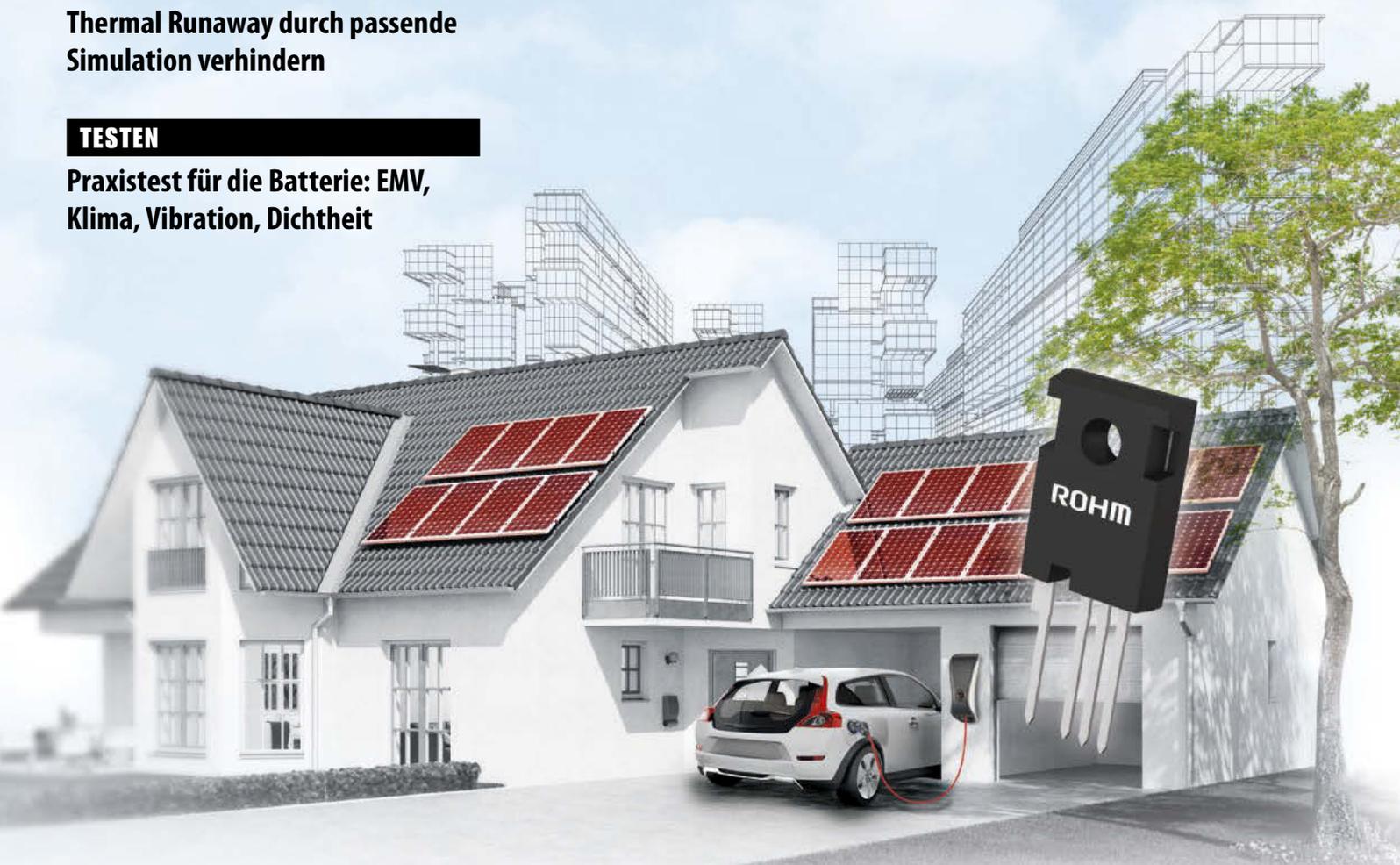


## **BATTERIE**

Thermal Runaway durch passende  
Simulation verhindern

## **TESTEN**

Praxistest für die Batterie: EMV,  
Klima, Vibration, Dichtheit



# **DC-LADEN ZU HAUSE: SIC-MOSFETS IN DER GARAGEN-WALLBOX**

# inhalt / 04.2020



Titelmotiv gesponsert von Rohm



## MÄRKTE & TECHNOLOGIEN

- 06 Meldungen**  
Nachrichten aus der Welt der Elektromobilität.

## COVERSTORY

- 10 Effiziente DC-Ladestation für die Garage**  
DC-Schnellladestationen sind vor allem im öffentlichen Bereich zu finden. Doch jetzt gibt es eine DC-Wallbox für die Garage, die auf SiC-MOSFETs setzt.

## BAUELEMENTE

- 14 Ladeprozess thermisch überwachen**  
Thermistoren sind Grundlage der thermischen Überwachung der Leistungselektronik im Elektroauto.
- 18 BMS vor Überspannung schützen**  
Dünnschichtwiderstände schützen Schaltkreise im Elektroauto wirkungsvoll vor Überspannung.
- 20 EMV-Lösungen für bis zu 150 °C**  
Ein nanokristallines Kernmaterial, das bis 150 °C belastbar ist, dient als Basis für EMV-Filter im E-Auto und im Hybrid.

## BATTERIEN

- 22 Simulation der Schadensprozesse bei Li-Ionen-Batteriesystemen**  
Der Thermal Runaway muss bei Batterien ausgeschlossen werden. Eine Simulations-Software hilft dabei, den Schadensprozess abzuschätzen.
- 26 Vakuum-Lecktest an befüllten Li-Ionen-Batteriezellen**  
Vakuum-Dichtheits-Tests an Pouchzellen konnten bisher die Zellen beschädigen. Ein neues Lecktester-Prinzip schützt die weichen Zellen mit einer Membran.
- 30 State of Health schnell erfassen**  
Bevor eine ausgediente E-Auto-Batterie ihr Second Life beginnen kann, muss ihr SOH bestimmt werden. Mit der elektrochemischen Impedanzspektroskopie geschieht dies in Minuten statt Stunden.

## SOFTWARE

- 34 Vorausschauendes Batterie-Thermomanagement**  
Ein Algorithmus sorgt dafür, dass die E-Auto-Batterie bei Ankunft an der Schnellladestation im optimalen Temperaturbereich ist.
- 36 ECU-Codegenerierung mit hoher Sicherheit**  
Mit einer Software zur Codegenerierung für Steuersysteme lassen sich Fehler vermeiden und die Zeit für die Erstellung des Codes reduzieren.

## TESTEN + TOOLS

- 38 Die Batterie am Limit – im Labor**  
EMV, Klima, Vibration, Dichtheit: Um eine bis zu 800 kg schwere Batterie für Elektroautos auf Herz und Nieren zu prüfen, ist eine Menge Know-how erforderlich. emobility tec hat sich in einem führenden Batterielabor genau umgeschaut.

## Thermistoren

- 14 Ladeprozess überwachen**  
Um Sicherheit, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Systeme in E-Autos sicherzustellen, müssen Leistungskomponenten thermisch überwacht werden.



# Schnelles Laden auf SiC-Basis

## Effiziente DC-Ladestation für die Garage

**DC-Schnellladestationen sind hauptsächlich** im öffentlichen Raum zu finden, während für Privathaushalte überwiegend AC-Ladekonzepte zum Einsatz kommen. Mit der DC-Wallbox gibt es nun jedoch eine leistungsstarke Lademöglichkeit für Zuhause, deren Effizienz durch die Verwendung von SiC-Halbleitern gesteigert wird.

*Autor: Muzaffer Albayrak*

### KEYWORDS

DC-Ladestation / Siliziumkarbid / Photovoltaik / Topologien / Wirkungsgrad / Ladekonzepte

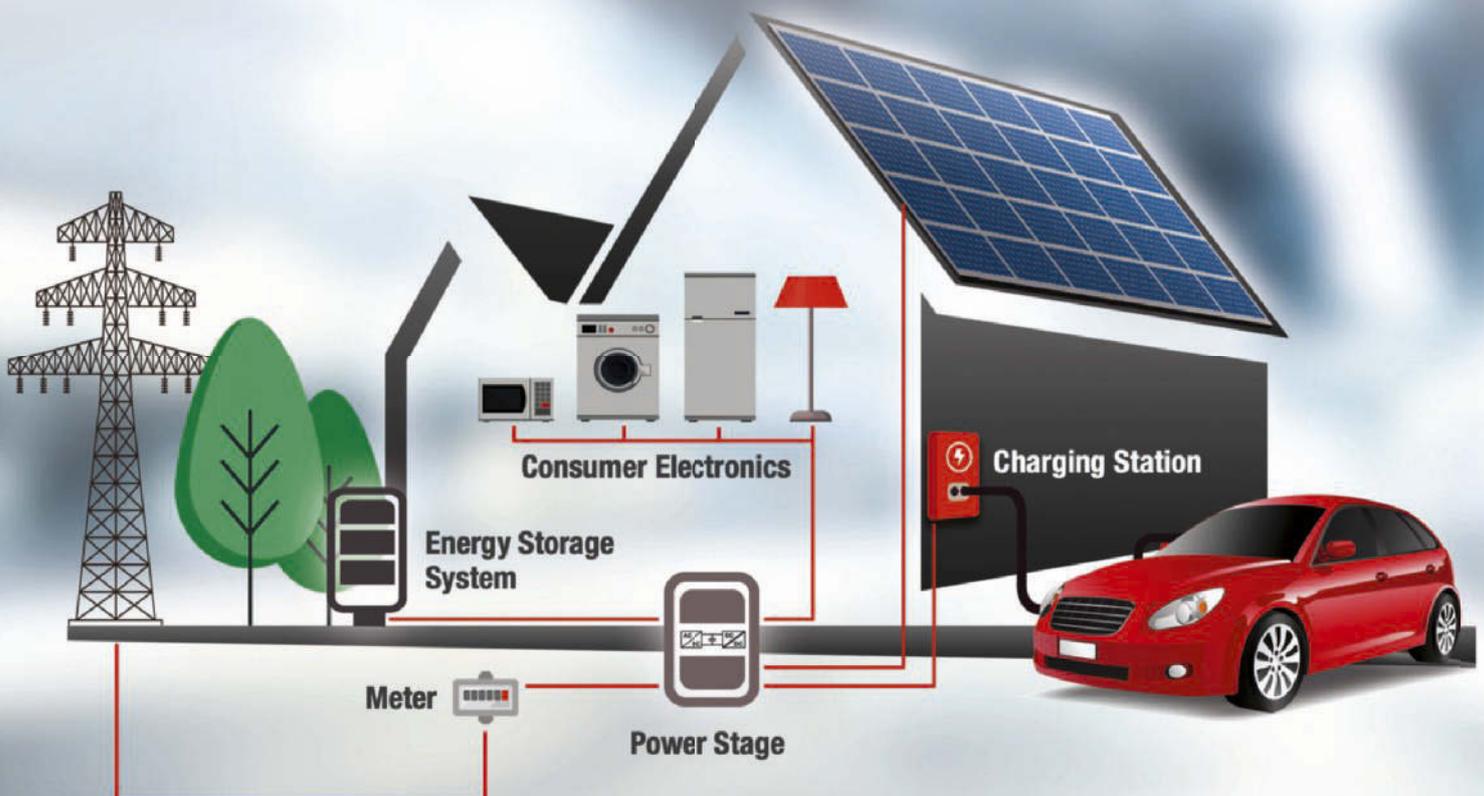


Bild 1: Zuhause auftanken: Die DC-Wallbox ist eine Schnelllade-Lösung für die eigene Garage und kann mit der haus-eigenen Photovoltaikanlage verbunden werden.

Derzeit sind in Deutschland etwa 136.000 Elektrofahrzeuge gemeldet, 53.000 mehr als im Vorjahr. In den nächsten zehn Jahren sollen bereits sechs Millionen Elektrofahrzeuge (EV) auf den Straßen unterwegs sein, eine Entwicklung, die Kaufprämien für EVs noch vorantreiben soll. Allerdings ist besonders in Städten und Ballungsräumen jedes weitere Elektroauto eine Belastung für die Infrastruktur. Zum einen für die Stabilität des Stromnetzes, zum anderen sind in den meisten Regionen Ladestationen nur eingeschränkt verfügbar, obwohl im Rahmen des Marktanzreizprogramms des Bundesministeriums für Verkehr und Infrastruktur seit 2016 rund 15.000 Schnelllade- und Normalladestationen finanziert und der erste Schritt zu einer flächendeckenden und bedarfsgerechten Infrastruktur gemacht wurde. Ein weiterer Schritt wurde mit dem „Masterplan Ladesäuleninfrastruktur“ beschlossen, verabschiedet im Bundeskabinett im November 2019. Dabei sollen in den nächsten zehn Jahren insgesamt eine Million Ladepunkte für Besitzer von Elektrofahrzeugen entstehen.

#### VERÄNDERUNG DER MÄRKTE

Die steigende Anzahl an Elektrofahrzeugen ist eng mit der Infrastruktur der Ladestationen verknüpft: Je mehr Elektroautos auf der Straße sind, desto mehr Ladepunkte sind verfügbar, die verbesserte Infrastruktur ist wiederum für einige Leute ein Anreiz für den Umstieg auf ein E-Auto. Der Trend beeinflusst auch andere Märkte. So fördert die wachsende Elektromobilität zum Beispiel die Entwicklung neuer und leistungsstärkerer Batterien, wodurch die Kosten der Akkus sinken und Fahrzeuge mit einer höheren Kapazität und Reichweite gebaut werden können.

Dies ist wiederum ein weiterer Grund dafür, warum sich mehr Leute für den Kauf eines Elektrofahrzeuges interessieren. Um Batterien mit einer höheren Leistungsdichte entwickeln zu können, ist eine hohe Ladeleistung jedoch unumgänglich, insbesondere, wenn an einem Ort gleichzeitig viele Fahrzeuge geladen werden sollen. Aus diesem Grund entstehen neue Ladekonzepte, die dabei helfen,

die Ladezeit zu reduzieren. Besonders effiziente DC-Ladestationen benötigen – abhängig von der jeweiligen Batteriegroße des Fahrzeugs und der Ladestation – inzwischen nur noch zwischen 5 bis 30 Minuten, um den Akku eines Fahrzeugs vollständig aufzuladen.

Jedoch ist die steigende Zahl der Elektrofahrzeuge und der Ladestationen eine Belastung für das Stromnetz. Es braucht also Konzepte, die die Stabilität des Netzes auch weiterhin gewährleisten.

Zur Vermeidung von Schwankungen sind zum Beispiel intelligente und vernetzte Ladepunkte geeignet, mit denen das Laden optimiert wird und zentral verwaltbar ist. Auch der Akku des Elektroautos lässt sich zu einem Puffer für Privathäuser, Industriegebäude und das Stromnetz umfunktionieren. Möglich macht dies ein Wandler, der bidirektionales Laden unterstützt und Strom in beide Richtungen fließen lässt. Auf diese Weise wird die Autobatterie gleichzeitig zu einem Speicher für überschüssige Energie, die beispielsweise von der PV-Anlage auf dem Dach erzeugt wird. Somit ist die Elektromobilität auch ein Treiber für die Entwicklung von erneuerbaren Energien.

#### VERSCHIEDENE LADEKONZEPTE

Etwa 60 Prozent aller europäischen EV-Nutzer besitzen eigene Ladestationen, zum Beispiel in der Garage. Derartige Ladepunkte funktionieren meistens auf Basis von Wechselstrom (AC), wobei die Leistung in der Regel zwischen 3,7 kW und 11 kW liegt; in seltenen Fällen bei 22 kW. Dementsprechend dauert es mehrere Stunden, um den Akku eines Elektrofahrzeugs vollständig aufzuladen. Typischerweise erfolgt das Laden der Autos über die ganze Nacht, damit sie am nächsten Tag zur Verfügung stehen. Viele Stationen beziehen den Strom direkt aus dem Stromnetz.

Da der Akku des Fahrzeugs jedoch mit Gleichstrom arbeitet, wird ein Wandler benötigt – das im Auto integrierte



**Bild 2: Ein 4-Pin-SiC-MOSFET, wie er in Ladestationen zum Einsatz kommt. Die Bauteilkosten lassen sich auf Systemebene durch Einsparungen an anderen Komponenten kompensieren.**

Onboard-Ladegerät (OBC). Neben den privaten Garagen und Parkplätzen, kommen AC-Ladestationen häufig auf öffentlichen Parkplätzen, Parkplätzen von Einkaufszentren und Unternehmen sowie bei Parkhäusern zum Einsatz – überall dort, wo die Menschen sich über längere Zeit aufhalten. Derartige AC-Ladestationen haben häufig eine Ausgangsleistung von bis zu 22 kW, wodurch die Ladezeit für eine 100-kWh-Batterie rund fünf Stunden – abhängig von der OBC-Ladeleistung – beträgt. Etwa 20 Prozent der EV-Besitzer greift auf diese Ladepunkte zurück, um die Reichweite des Fahrzeugs im Laufe des Tages immer wieder verlängern zu können, zum Beispiel während eines Einkaufsbummels.

Muss schnell mehr Reichweite her, sind Schnellladesäulen die richtige Anlaufstelle. Sie haben hohe Leistungen zwischen 50 bis 350 kW und sind hauptsächlich auf öffentlichen Parkplätzen und großen Ladestationen im Einsatz – beispielsweise bei Raststätten, Parkplätzen von Restaurants, Hotels und Unternehmen. Die hohe Leistung verkürzt die Ladezeit drastisch: Bei Schnellladestationen dauert das Aufladen des Akkus etwa eine Stunde, bei Ultraschnellladestationen wird die Zeit sogar auf 20 Minuten reduziert. Die jeweiligen Zeitangaben sind abhängig von der Batteriegroße.

Im Gegensatz zu der AC-Variante, ist in der DC-Ladestation ein Wandler integriert, der den Wechselstrom aus dem Stromnetz in Gleichstrom umwandelt.

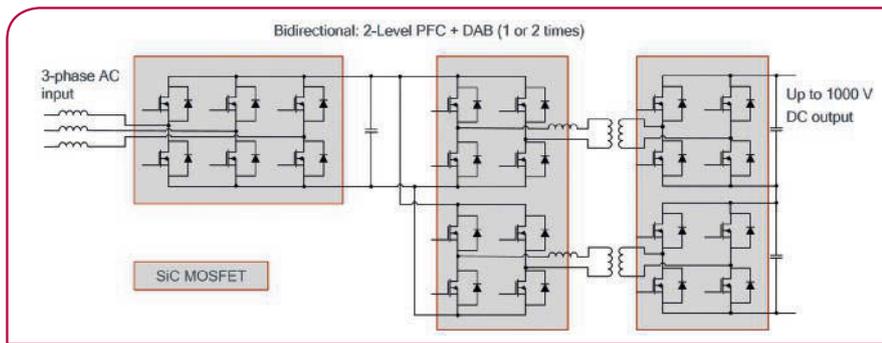


Bild 3: Die 2-Level-Topologie benötigt weniger Bauelemente, was die Systemgröße klein hält.

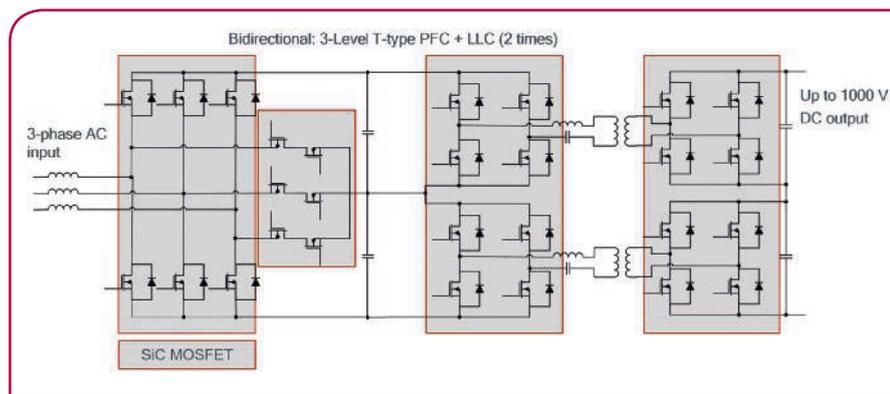


Bild 4: Eine 3-Level-Topologie (hier Typ D12M6) ermöglicht eine weitere Verringerung der gesamten Schaltverluste.

Dadurch lässt sich der Strom direkt in die Batterie des Fahrzeugs einspeisen und der OBC des Fahrzeugs kommt nicht zum Einsatz. DC-Ladestationen sind allerdings nicht nur für öffentliche Plätze geeignet, auch Privathaushalte und Unternehmen können von stationären Ladepunkten mit Gleichstrom profitieren. Eine Variante für die eigenen vier Wände ist zum Beispiel die DC-Wallbox (Bild 1) mit einer Leistung von 22 kW. Ein entscheidender Vorteil der DC-Wallbox ist, dass es keine Abhängigkeit der in E-Fahrzeugen integrierten OBC-Ladeleistung gibt, da die Ladeenergie direkt in die Batterie eingeführt wird. Hiermit lassen sich auch E-Fahrzeuge mit kleinen OBC zügig laden und gleichzeitig bieten DC-Wallbox-Lösungen eine mögliche Ergänzung zu existierenden PV-Anlagen.

#### EIN GESCHLOSSENES SYSTEM

Die DC-Wallbox lässt sich ohne großen Aufwand in der eigenen Garage montieren. Hier lohnt sich besonders eine Kombination mit einer Photovoltaikanlage. Die von der Solaranlage erzeugte Ener-

gie wird über DC/DC-Wandler umweltfreundlich in den Akku des Fahrzeugs geladen. Hierdurch steigt gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der eigenen Photovoltaikanlage für den privaten Verbrauch. Von Vorteil ist dies besonders für Solaranlagen-Pioniere, denn ab Januar 2021 fällt die erste Generation der Photovoltaikanlagen aus der Einspeiseförderung. Ohne Gesetzesänderung lässt sich der Solarstrom dieser Anlagen dann nicht mehr ohne weiteres in das Stromnetz einspeisen.

Zusätzlich kann ein Energiespeichersystem (ESS) zum Einsatz kommen, um auch überschüssige Energie nutzbar zu machen. Verbunden mit der Ladestation, dem Elektro- und Hybridfahrzeug sowie der Photovoltaikanlage bildet das Speichersystem ein in sich geschlossenes System, mit dem sich der Energiebedarf und die Stromerzeugung optimieren lässt. Zudem sind Energiespeichersysteme hervorragend geeignet, um ausrangierte Akkus der Elektrofahrzeuge zu recyceln. Eine Million verschlissene Batterien stehen vermutlich im Jahr 2030 zur Verfü-

gung. Obwohl sie nicht mehr als Energiespeicher für die Fahrzeuge geeignet sind, können sie mit einer Kapazität zwischen 70 und 80 Prozent für weniger anspruchsvolle Anwendungen Verwendung finden, zum Beispiel im ESS.

Diese Second Life Batteries (SLB) versorgen die Ladestation mit einem flexiblen Leistungsfluss, was einen bidirektionalen aktiven Leistungsaustausch mit dem Stromnetz ermöglicht. Dadurch sind EVs bei langen Standzeiten zur Laststeuerung nutzbar, was die Netzbelastung – egal ob im Haus oder im Stromnetz – optimiert. Kommt es zu Engpässen, fließt die im Akku des Fahrzeugs gespeicherte Energie zurück und stabilisiert das Netz (Vehicle to Grid, V2G).

#### DC-TREND: VORAUSSETZUNG

Für die Entwicklung der Ladekonzepte ist zu einem gewissen Grad das Nutzerverhalten von großer Bedeutung. Dabei ist die jeweilige Region entscheidend, denn der europäische Markt unterscheidet sich stark von dem in Asien. In Asien leben potenzielle Käufer eines EVs hauptsächlich in den Städten. In den überfüllten Großstädten gibt es jedoch kaum Möglichkeiten, um private Ladestationen zu errichten. Anders sieht es in Europa aus: Hier haben viele EV-Besitzer ein eigenes Grundstück – egal ob auf dem Land oder in der Stadt. Sie können sich eigene Ladepunkte in der Garage einrichten.

Letztendlich liegt es jedoch in der Hand der OEMs, ob sich DC-Ladestationen in Privathaushalten im großen Stil durchsetzen können. Dabei können manche Maßnahmen nicht nur den Trend der DC-Ladestationen vorantreiben, sondern auch den Preis der Fahrzeuge senken. An dieser Stelle ist der entscheidende Punkt das On-Board-Ladegerät. Da der Raum und die Leistungsdichte der eingesetzten Komponenten in einem Auto technische Grenzen haben, ist die Ladeleistung der OBCs jedoch begrenzt. Während des Ladens mit Gleichstrom ist der Wandler nicht im E-Auto, sondern direkt in der Ladestation integriert, weshalb sich beim OBC im Fahrzeug an Größe, Gewicht und Leistung sparen lässt. Mit weniger Komponenten im Elektrofahrzeug sinkt der Herstellungspreis, was wiederum ein Anreiz für potentielle Käufer ist. Gleich-

zeitig steht mehr Raum zur Verfügung, der dazu nutzbar ist, das Fahrzeug selbst leistungsfähiger zu machen. Letztlich bedeutet eine Einsparung beim Fahrzeuggewicht auch eine Einsparung an Energie, die wiederum eine mögliche Erweiterung der Reichweite anbietet.

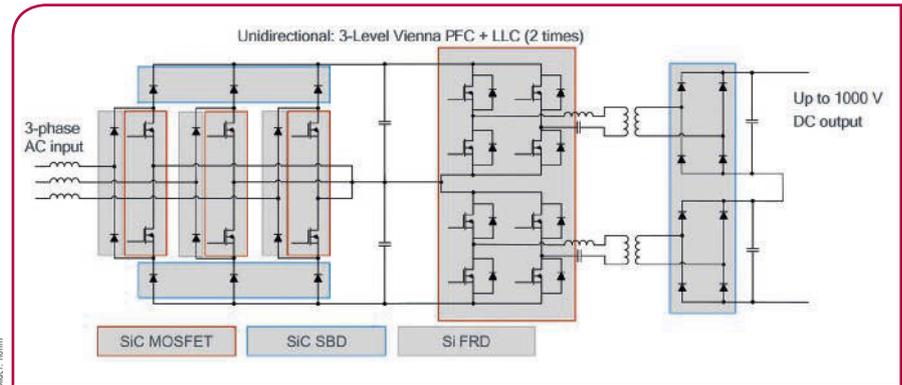
### HÖHERE LEISTUNGSDICHTE

Durch die Wahl der entsprechenden Topologien und der dazu passenden Bauteile für die Leistungsstufe lässt sich eine höhere Leistungsdichte erreichen. Aufgrund ihres Preis-Leistungsverhältnisses dominieren heute Silizium-IGBTs die Elektromobilität. Die Kosten von SiC-MOSFETs (Bild 2) lassen sich auf Systemebene durch Einsparungen an anderen Komponenten kompensieren, denn Wandler auf Basis von SiC-MOSFETs sind mit einer höheren Schaltfrequenz betreibbar als Wandler mit Si-IGBTs. Außerdem eliminieren SiC-MOSFETs den Tail-Strom während des Schaltens, was zu einem schnelleren Betrieb, geringeren Schaltverlusten und erhöhter Stabilität führt. Der geringere Durchlasswiderstand und die kompakte Chipgröße führen zu einer verringerten Kapazität und Gate-Ladung.

Darüber hinaus weist SiC vorteilhafte Materialeigenschaften auf, wie die minimale Zunahme des Durchlasswiderstands. Das ermöglicht größere Gehäuseminiaturisierung und Energieeinsparung als bei Si-Bauelementen. Bauelemente auf Basis von SiC lassen sich mit höheren Umgebungstemperaturen betreiben und erreichen einen sehr hohen Wirkungsgrad. Auch Ladestationen können mit SiC-MOSFETs in unterschiedlichen Typologiearten ausgestattet werden; Rohm hat dies bereits serienmäßig realisiert.

### TOPOLOGIEN FÜR DAS DC-LADEN

In der Tat bestehen die Ladestationen aus unterschiedlichen Topologien (Bilder 3 bis 5). Grundsätzlich bestehen Ladesysteme meist aus zwei Wandlerstufen. Eine AC/DC Stufe wandelt die Wechselspannung aus dem Netz in eine DC Spannung, welche dann von der DC/DC Stufe auf die Spannung der Batterie angepasst wird. Die DC/DC Stufe regelt außerdem den Ladestrom und stellt die zum sicheren Betrieb benötigte galvanische Isolation



**Bild 5: 3-Level-Topologie Typ D12M6: Im Vergleich zur 2-Level-Topologie ist die Gate-Steuerung hier komplexer.**

bereit, sofern dies nicht bereits auf der Netz-Seite realisiert wurde. Die Auswahl der Topologien für die beiden Wandlerstufen hängt von der angestrebten Ladeleistung beziehungsweise vom angestrebten Wirkungsgrad und den Systemkosten ab. Eine 3-Level-Topologie benötigt zahlenmäßig mehr Komponenten als eine 2-Level-Topologie, und weist eine höhere Komplexität der Gate-Steuerung auf (vor allem bei einem bidirektionalen Aufbau), was zu einer erhöhten Systemgröße führen kann. Vorteilhaft ist jedoch, dass eine 3-Level-Lösung eine Verringerung der gesamte Schaltverluste beziehungsweise ein balanciertes EMV-Verhalten aufweist.

Im Gegensatz dazu ist die Anzahl der Komponenten in einer 2-Level-Topologie deutlich geringer beziehungsweise die Systemgröße lässt sich verkleinern. Durch den Einsatz aktueller SiC-Technologie lassen sich auch mit der 2-Level-Topologie geringe Schaltverluste und somit hohe Wirkungsgrade realisieren. Die SiC-Technologie ist somit gut geeignet für eine DC-Wallbox, auch wenn die Ladespannung in einem Bereich von 200 V bis etwa 800 V liegt.

Des Weiteren hängt die Topologie-Auswahl von der jeweiligen Isolationsanforderung der Schnell- und Ultra-Schnell-Ladestationen ab. Ist die Eigenspannung schon isoliert, sind keine komplexen DC/DC-Schaltungen notwendig, welche häufig für Charging Parks in Frage kommen. Ansonsten verwenden DC-Ladestationen meist die gleichen Topologien wie OBCs, verfügen jedoch im Gegensatz zu OBCs über einen breiten Spannungsausgang und eine Luftkühlung. Doch diese isolierten Leitungen sind mit einem hohen

finanziellen Aufwand verbunden, der für Privathaushalte oder öffentliche Ladepunkte kaum lohnenswert ist. Aus diesem Grund kommen hierfür in der Regel Ladestationen mit isolierter Topologie zum Einsatz, damit die Sicherheit beim Ladevorgang gewährleistet ist.

### FAZIT

Im Gegensatz zu AC-Ladestationen verfügen DC-Ladestationen über eine höhere Leistungsdichte und ermöglichen kürzere Ladezeiten. Zusätzlich ergibt sich aus der Verbreitung der DC-Ladestation-Technologie mehr Platz innerhalb des Elektroautos, da sich die leistungsstarken Wandler außerhalb des E-Autos befinden. Besonders im öffentlichen Raum sind die Schnellladestationen (DC) verbreitet, doch es gibt auch geeignete DC-Ladekonzepte für den Privathaushalt, wie die DC-Wallbox. Diese lässt sich einfach in der eigenen Garage installieren und kann mit der eigenen Photovoltaikanlage vernetzt werden. Durch die Verwendung von Leistungshalbleitern auf Basis von Siliziumkarbid lassen sich Leistungsdichte, Systemgröße und Kosten optimieren. Ob sich private DC-Ladestationen wirklich durchsetzen, liegt jedoch in der Hand der OEMs. Sie müssen dafür sorgen, dass die Wandler in den Ladesäulen und nicht im Fahrzeug als OBC integriert sind. Der eingesparte Bauraum lässt sich effizienter nutzen, um die Fahrzeuge leistungsfähiger zu machen. (na) //

**Autor**  
**Muzaffer Albayrak**  
 Application Marketing Manager  
 bei Rohm Semiconductor

