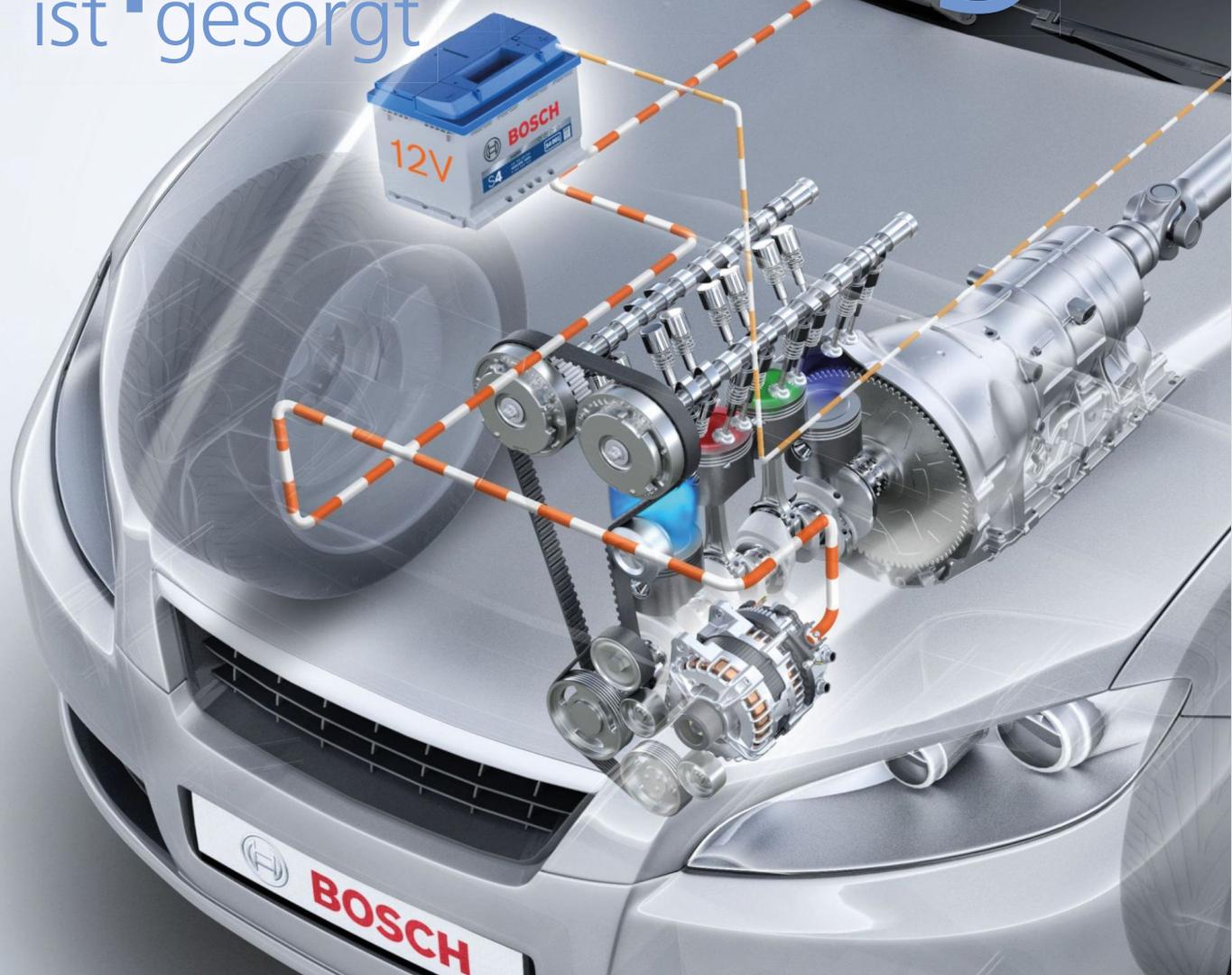


Für Spannung ist gesorgt

Rapid Control Prototyping
von kraftstoffsparenden Funk-
tionen im 48-V-Bordnetz



Quelle: © Bosch

Das 48-V-Bordnetz in Fahrzeugen ermöglicht neue, leistungsfähige Funktionen und Technologien, die den Kraftstoffverbrauch signifikant reduzieren. In diesem Kontext hat Bosch Engineering China einen riemengetriebenen 48-V-Starter-Generator realisiert. Die MicroAutoBox II, die hierbei als Prototyping-Controller zum Einsatz kommt, hat den Entwicklungsprozess erheblich beschleunigt.



Warum 48 V?

Um dem erhöhten Strombedarf von Fahrzeugen auch in Zukunft Rechnung zu tragen, muss die Spannung der heute noch üblichen 12-V-Bordnetze erhöht werden [1]. Ein positiver Begleiteffekt höherer Spannungen ist zudem ein reduzierter Energieverlust während der Stromverteilung im Fahrzeugsystem. In den letzten Jahren wurden 36-V- und 42-V-Systeme zwar ausgiebig diskutiert und analysiert, aber da für sie nur wenige SAE-Standards (SAE: Society of Automotive Engineers) etabliert sind, konnten sich diese Systeme bisher nicht großflächig durchsetzen. Das 48-V-System ist in Europa ein viel diskutiertes Thema. Die großen Automobilhersteller wie Audi, BMW, Daimler, Porsche und VW haben hierfür den Standard LV148 [2] aufgestellt, der die Betriebsspannung im Bereich zwischen 25 V und 60 V definiert. Gemäß LV148 liegt der uneingeschränkte funktionale Betriebsbereich zwischen 36 V und 52 V (durchschnittlich 48 V), und damit unterhalb des Grenzwerts von 60 V, bis zu dem kein spezieller, kostspieliger Schutz gegen elektrische Gefährdung notwendig ist (Abbildung 1). Deswegen sind die Systemkosten geringer als bei Hybridfahrzeugen, die mit Spannungen jenseits von 60 V arbeiten und diese Schutzmechanismen benötigen. Außerdem lassen sich im Vergleich zu einem 12-V-System mit einem 48-V-System beträchtliche Kraftstoffeinsparungen erreichen, weil die Rekuperationsfunktion (Bremskraft-rückgewinnung) eines 48-V-Systems leistungsfähiger ist als die eines 12-V-Systems nach NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) und WLTC (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle). Abbildung 2 zeigt die qualitativen Vorteile eines 48-V-Rekuperationssystems. Die wichtigsten Punkte, die für einen großflächigen Einsatz des 48-V-Systems sprechen:

- Es sichert den Betrieb derjenigen Komponenten, die einen besonders hohen Strombedarf haben, beispiels-

>>

Stromversorgungssysteme in Fahrzeugen haben sich hinsichtlich Spannung und Leistung in den letzten Jahrzehnten deutlich weiterentwickelt. Ursache hierfür ist die gestiegene Zahl elektrisch betriebener Fahrzeugkomponenten.

Dies macht heutige Fahrzeuge zwar erheblich leistungsfähiger und zuverlässiger, andererseits führte dieser Trend aber auch zu einem exponentiellen Anstieg des Strombedarfs und damit zu neuen Herausforderungen an das Bordnetz.



Abbildung 1: Definition der Sicherheitsspannung.

weise Luftkompressor, Turbolader, PTC-Zuheizer (PTC: Positive Temperature Coefficient)

- Kraftstoffsparende Hybridfahrfunktionen lassen sich in Bezug auf Rekuperation, Boost und Start-Stopp sehr leicht implementieren.
- Neue Funktionen wie komfortables Start-Stopp, Change-of-Mind-Start

(Neustart während des Abschaltens) und Start-Stopp-Coasting (Rollen im Leerlauf) steigern das Fahrerlebnis.

- Mit der höheren Systemspannung reduzieren sich im Gegenzug die Stromstärken; in der Folge entsteht weniger Verlustleistung und der Wirkungsgrad steigt.

Das 48-V-System im Überblick

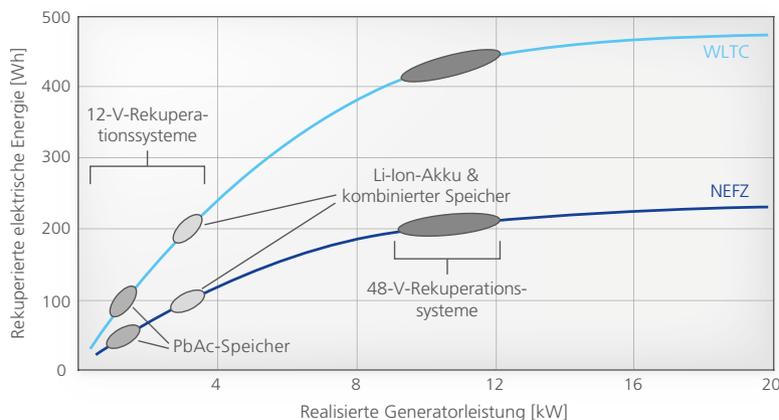
Das Boost-Rekuperationssystem (BRS) von Bosch ist ein riemengetriebener 48-V-Starter-Generator und besteht aus drei Hauptkomponenten (Abbildung 3): luftgekühlter Boost-Rekuperationsmaschine (BRM), Gleichstromwandler (Power Control Unit, PCU) und 48-V-Lithium-Ionen-Akku. Im BRS sind zwei parallel betriebene Stromnetze (48 V/12 V) über die PCU gekoppelt. Auf der 48-V-Seite sind das BRM, die PCU und der 48-V-Lithium-Ionen-Akku elektrisch verbunden. Das BRM kann entweder als Generator oder als Motor fungieren. In der Funktion als Generator lädt es den Lithium-Ionen-Akku je nach Fahrstatus, als Motor versorgt es den Verbrennungsmotor mit zusätzlichem Drehmoment und optimiert so das Fahrverhalten oder sorgt für Kraftstoffeinsparung. Der 48-V-Lithium-Ionen-Akku wird sowohl für die Rückgewinnung der Bremsenergie eingesetzt, als auch um dem BRM den

Strom für das komfortable Anlassen und die Boost-Phase zu liefern. Das 48-V-Lithium-Ionen-Akkumulatorsystem besteht aus Akku-Stack, Relais-Box und Batteriemanagementsystem (BMS). Das BMS verfügt über CAN-Schnittstellen, die den Akkustatus ausgeben und die Befehle empfangen, um das Hauptrelais zu steuern oder die externen Ladefunktionen zu koordinieren. Mit einer Nennleistung von 2,5 kW erfüllt die PCU die Anforderungen eines herkömmlichen Bordnetzes. Das 48-V-System bietet die Möglichkeit, höhere elektrische Lasten einzusetzen, zum Beispiel für PTC-Zuheizer, den elektrischen Kompressor der Klimaanlage, die Servolenkung (Electric Power Steering, EPS), Kühlsystemmotoren und die Scheibenheizung.

Boost-Rekuperationsmaschine: Prototyping mit der dSPACE MicroAutoBox II

Bosch Engineering in China hat bereits mehrere Demofahrzeuge mit 48-V-BRS entwickelt. Abbildung 4 zeigt das Prototyping-48-V-BRS eines Demofahrzeugs. Mit dem 48-V-BRS wird eine komfortable Start-Stopp-Funktion (einschließlich Start-Stopp-Coasting) realisiert, die durch den Einsatz der riemengetriebenen Boost-Rekuperationsmaschine Bremsenergie rückgewinnt und in einem 48-V-Lithium-Ionen-Akku speichert. Zudem legt es ein zusätzliches Drehmoment an der Kurbelwelle an, um das Fahrzeug per Boost zu beschleunigen, oder es kann das Fahrzeug mit begrenzter Geschwindigkeit und eingeschränktem Funktionsumfang rein elektrisch antreiben (E-Creeping). Mit dem beschriebenen 48-V-System lassen sich in kürzester Zeit Funktionen wie Start-Stopp, Rollen im Leerlauf (Coasting), Rekuperation und Boost sowie E-Creeping realisieren. Üblicherweise wird das BRM im Motorraum installiert, die PCU und der 48-V-Lithium-Ionen-Akku im Boden des Kofferraums (Abbildung 6). Der BRS-Regelalgorithmus wird auf der MicroAutoBox II (1401/1511) ausgeführt. Diese bietet vier CAN-

Abbildung 2: Rekuperationsanalyse nach den Fahrzyklen NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) und WLTC (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle).



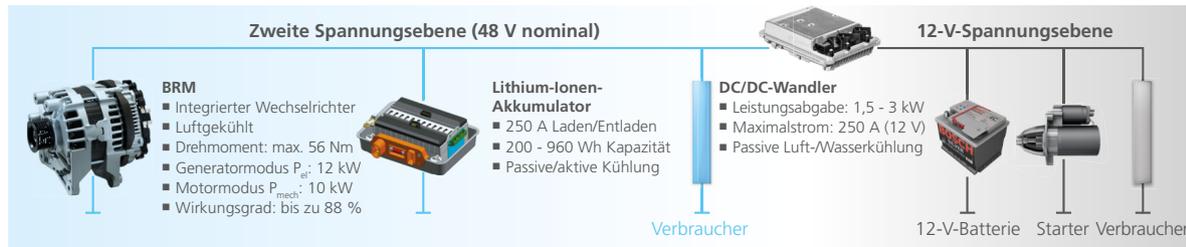


Abbildung 3: Aufbau des Spannungsversorgungssystems mit zwei Spannungsebenen.

„Beim Prototyping wurde der Regelalgorithmus der 48-V-Boost-Rekuperationsmaschine auf einer dSPACE MicroAutoBox II ausgeführt. So konnten wir die Auswirkungen auf das Gesamtfahrzeug bereits zu einem frühen Zeitpunkt bewerten und den Entwicklungsprozess signifikant beschleunigen.“

Zhu Xiaofeng, Bosch Engineering China

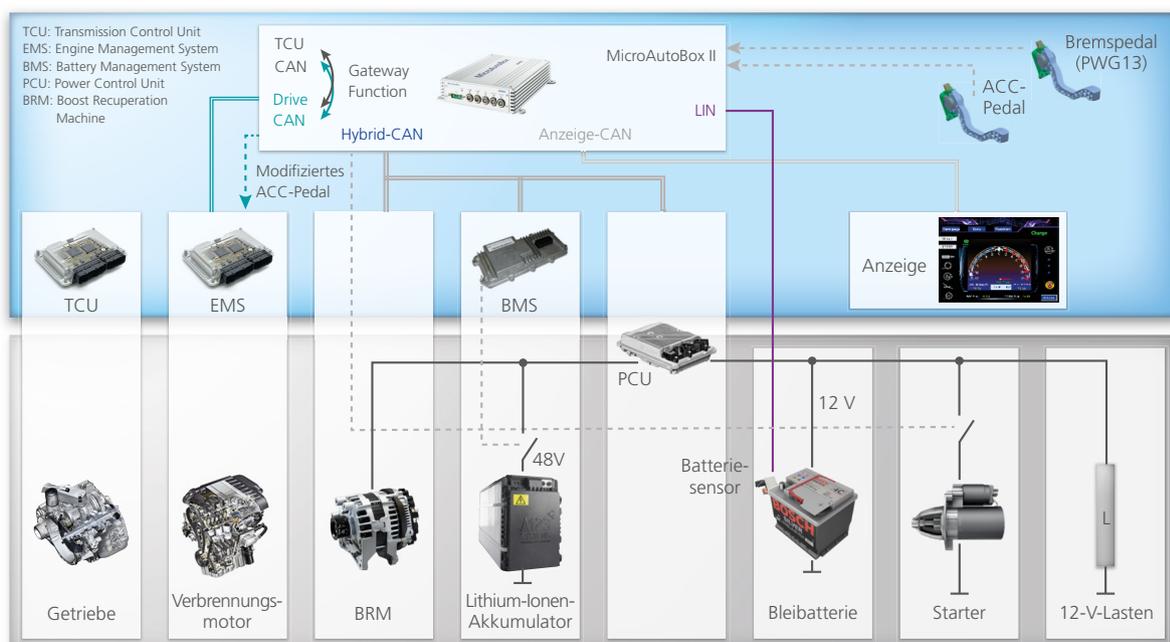
Kanäle, ausreichend Ressourcen für die Verarbeitung der digitalen und analogen Signale und erfüllt alle Anforderungen für die Regelung auf Hardware- und Software-Ebene. Durch die Gateway-Funktion des RTI CAN Blocksets bietet es sich an, die BRS-Funktionen über das Fahrzeug-CAN-Netzwerk zu

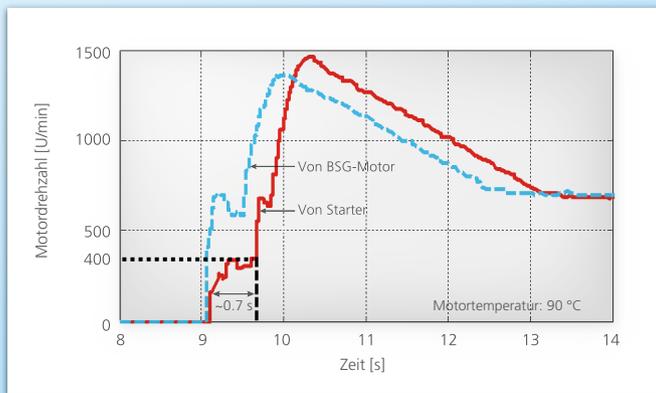
realisieren. Die kompakte MicroAutoBox II kann im Fahrzeug installiert werden und wird von der 12-V-Batterie versorgt. Die Struktur der Steuerungssoftware auf der MicroAutoBox II besteht aus mehreren Schichten und Modulen. Die Applikationsschicht beinhaltet zwei Hauptmodule: eines für die EEM-Koor-

dination und eines für die Koordination des Antriebsstranges. Zur EEM-Koordination gehören das Power-ON/OFF-Management, die EEM-Strategie sowie die Basisdiagnosen. Die Koordination des Antriebsstranges enthält die Start-Stopp-Funktion und die Regelstrategien für den Betrieb des BSG-

>>

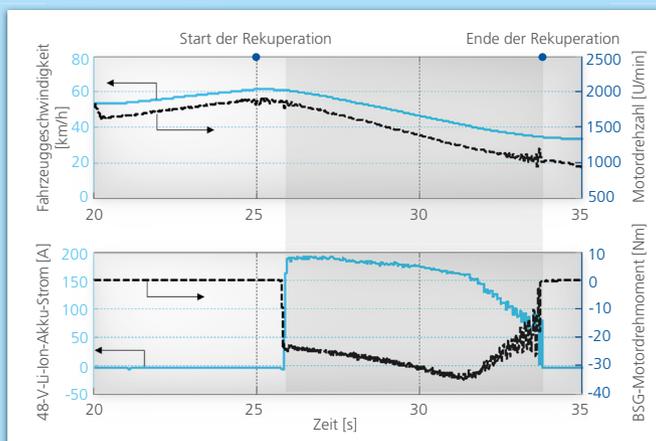
Abbildung 4: Prototyping eines 48-V-Systems mit der dSPACE MicroAutoBox II.





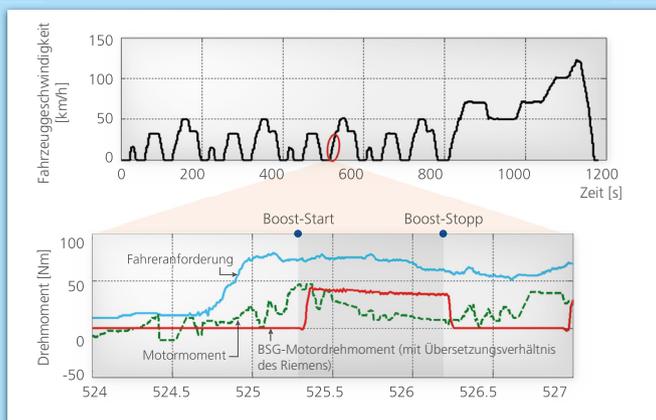
Anlassvorgang

Beim direkten Vergleich zwischen einem herkömmlichen Anlasser und dem 48-V-BSG-Motor zeigt sich, dass die Kurbelwellenfunktion des 48-V-BSG-Motors den Wert von 400 U/min etwa 0,7 s früher erreicht. Zudem ist der BSG-Motor über einen Riemen mit der Kurbelwelle verbunden, wodurch sich die Vibrationen während des Anlassvorgangs reduzieren.



Rekuperation

Bei diesem Beispiel eines typischen Bremsvorgangs (Dauer ca. 8 s) wandelt der BSG-Motor in seiner Rolle als Generator die Bewegungsenergie während des Bremsens in elektrische Energie um (Rekuperation). Das BSG-Drehmoment ist aufgrund der Rekuperation negativ, und während des Ladevorgangs der 48-V-Batterie fließt ein Strom von bis zu 200 A. Durch diese Rückgewinnung von Energie lässt sich der Kraftstoffverbrauch reduzieren.



Boost-Funktion im Antriebsprozess

Der Antriebsprozess im Fahrzyklus NEFZ. Der 48-V-BSG-Motor stellt das Drehmoment bereit (positiver Wert, rote Kurve), um die Drehmomentanforderung des Fahrers zu erfüllen (blaue Kurve).

Abbildung 5: Ausgewählte Testdaten der Hauptfunktionen des 48-V-Systems.

Motors (BSG: Belt-Driven Starter Generator). Die beiden Hauptanwendungsmodule senden und empfangen das Signal von den durch das Real-Time Interface (RTI) unterstützten Treibern in den unteren Schichten wie CAN, LIN und digitaler I/O.

Zusammenfassung

Mit der MicroAutoBox II als Prototyping-Controller reduzieren sich die Kodierungsaufwände deutlich, zum Beispiel für die Festkommanpassung des Reglermodells und das Management der Laufzeitressourcen wie RAM- und Flash-Speicher. Außerdem ist es dadurch möglich, das Augenmerk bereits in frühen Entwicklungsphasen auf die Regelalgorithmen zu richten. Durch den Rapid-Control-Prototyping-Ansatz stehen Demofahrzeuge und erste Prototypen erheblich früher zur Verfügung, da sich Funktionen effizienter realisieren lassen und reale Messdaten bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt für zukünftige Entscheidungen berücksichtigt werden können. Daraus ergeben sich weitere Vorteile für den OEM, zum Beispiel lassen sich die kraftstoffsparenden Funktionen mit der 48-V-Technologie auf dem Zielfahrzeug untersuchen und die Auswirkungen des Systems für den Entwurf des Gesamtfahrzeugs näher betrachten. Zusätzlich kann der Prototyping-Controller, also die MicroAutoBox II, aufgrund ihrer kompakten Bauform leicht in das Fahrzeug integriert werden. ■

Patrick Ziegler, Zhu Xiaofeng, Ji Guangji, Markus Wernsdorfer, Lu Boran, Zhang Juan, BEG/EVS-CN, Bosch Engineering, China

Referenzen:

- [1] Da Silva, W.; de Paula, P., 12V/14V to 36V/42V Automotive System Supply Voltage Change and the New Technologies [J], SAE Paper 2002-01-3557
 [2] Kuypers, M., Application of 48 Volt for Mild Hybrid Vehicles and High Power Loads [J], SAE Paper 2014-01-1790



Abbildung 6: Die MicroAutoBox II (links) im Demofahrzeug.

Patrick Ziegler

Patrick Ziegler leitet die Abteilung Engineering Vehicle System bei Bosch Engineering (BEG/EVS-CN) in Suzhou, China.



Zhu Xiaofeng

Zhu Xiaofeng ist Project Manager und Senior System Engineer bei Bosch Engineering in Suzhou, China.



Ji Guangji

Ji Guangji ist als Senior System Engineer verantwortlich für die Software- und Funktionsentwicklung für das Boost Recuperation System (BRS) und das Energiemanagement (EEM) bei Bosch Engineering in Suzhou, China.



Markus Wernsdorfer

Markus Wernsdorfer ist als Senior System Engineer verantwortlich für die Software- und Funktionsentwicklung für das Boost Recuperation System (BRS) und das Energiemanagement (EEM) bei Bosch Engineering in Suzhou, China.



Lu Boran

Lu Boran ist als Senior System Engineer verantwortlich für die Software- und Funktionsentwicklung für das Boost Recuperation System (BRS) bei Bosch Engineering in Suzhou, China.



Zhang Juan

Zhang Juan ist als System Engineer verantwortlich für System Design und Software-Entwicklung bei Bosch Engineering in Suzhou, China.

