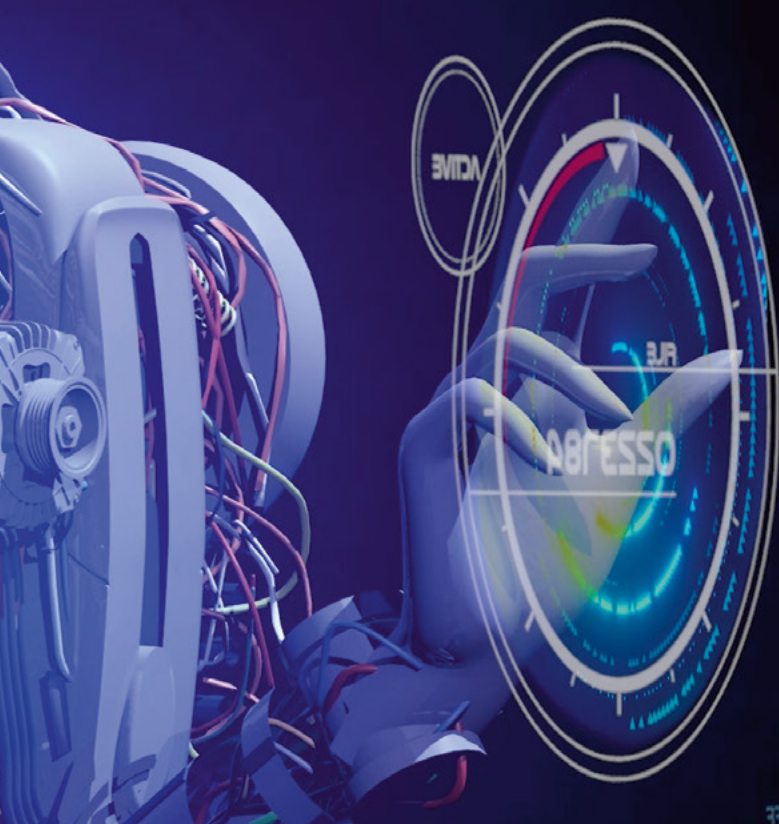


ATZ extra



ANTRIEBSSTRANGELEKTRIFIZIERUNG

Zeitenwende im EMV-Labor

SCHAEFFLER
ENGINEERING



© Schaeffler Engineering

Antriebsstrangelektrifizierung – Zeitenwende im EMV-Labor

Mit der Elektrifizierung des Antriebsstrangs im Fahrzeug hat sich die elektromagnetische Verträglichkeit grundlegend geändert. Schaeffler Engineering legt dar, wie moderne Elektromotoren und deren Pulswechselrichter diesbezüglich validiert werden müssen und können, um den Qualitätsansprüchen gerecht zu werden und die gesetzlichen sowie kundenseitigen Anforderungen einzuhalten.

Die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) in Fahrzeugen hat in den letzten 20 Jahren kontinuierlich an Bedeutung gewonnen. Mit dem zunehmenden Einsatz elektronischer Steuergeräte und Sensoren ist es immer wichtiger geworden, die Beeinflussungen der Einzelsysteme untereinander zu beherrschen und gegen äußere Störquellen zu schützen. Leistungsstarke Elektromotoren in Hybrid- oder rein elektrischen Antrieben haben ihre ma-

ximalen EMV-Emissionen in Leistungsbereichen, die in einer konventionellen EMV-Halle weder bei der Komponentenmessung noch bei der Fahrzeugmessung aussagekräftig dargestellt werden können. Mögliche Einflüsse des Antriebs auf andere Fahrzeugkomponenten können somit im schlimmsten Fall erst auf der Teststrecke entdeckt werden – und dann im Zweifelsfall unter nicht reproduzierbaren Umgebungsbedingungen. Da das EMV-Verhalten elektronischer Kompo-

VERFASST VON



Dipl.-Ing. Dirk Bleckmann
ist Leiter des EMV-Labors bei der
Schaeffler Engineering
GmbH in Werdohl.



Dipl.-Ing. Andrea Rettmann
ist EMV-Expertin im Team EMV-
Labor bei der Schaeffler
Engineering GmbH in Werdohl.



Dipl.-Ing. Björn Witt
ist Senior Engineer im Bereich
Products Engineering bei der
Schaeffler Engineering
GmbH in Werdohl.

nenten in Verbrennungsmotoren nur unwesentlich vom mechanischen Lastpunkt abhängig ist, wurden die EMV-Prüfungen in konventionellen Abschirmhallen meist mit niedrigem Drehmoment und niedrigen Drehzahlen durchgeführt. Der gewählte Betriebspunkt eines Hybrid- oder eines reinen Elektroantriebs hat deutlich mehr Einfluss auf das EMV-Verhalten als bei einem Verbrennungsmotor. Bei den elektrisch angetriebenen Fahrzeugen müssen die EMV-Aussenspektren ermittelt und optimiert werden. Je nach Modulationsart der E-Motoransteuerung ergibt sich im Störspektrum ein anderes Bild, was darüber hinaus noch von Drehzahl und -moment abhängig ist. In Ermangelung leistungsstarker EMV-Prüfstände für E-Antriebe wird die Auswirkung von Drehzahl und vor allem Drehmoment auf die Störausstrahlung aktuell vernachlässigt. Durch Feldsimulation wird versucht, die messtechnische Lücke zu schließen. Diese hat nicht zu vernachlässigende Nachteile:

- Eine Simulation spiegelt ein gegebenenfalls nicht ausreichendes Modell des tatsächlichen Antriebs wider.
- Die Validierung erfolgt raumbedingt nur an kleinen Motoren, die wiederum den Modellen angepasst sind.
- Bei der Skalierung der Validierungsergebnisse wird von einem linearen Verhalten ausgegangen.

FORDERUNG DER VALIDIERUNG UNTER HÖCHSTLAST

Das Zusammenspiel zwischen der elektrischen Ansteuerung und dem E-Motor ist von entscheidender Bedeutung. Anstelle von NO_x, CO₂ und Ruß beim Verbrennungsmotor sind beim E-Antrieb die Parameter zur Optimierung des Wirkungsgrads du/dt, di/dt und die EMV. Die Normenlage ist hier eindeutig. Die Richtlinie UN ECE R10 (2017/260) formuliert: „Die zu prüfende elektrische/elektronische Unterbaugruppe muss sich im normalen Betriebszustand, vorzugsweise bei Höchstlast, befinden“ [1]. Die Verweisnorm für das Testverfahren CISPR 25 wird noch deutlicher: „Wenn Prüfungen von Komponenten oder Modulen durchgeführt werden, muss der Prüfling unter solchen typischen Last- und anderen Bedingungen, wie sie im Fahrzeug auftreten, betrieben werden, dass der Zustand der höchsten Störaussendung erreicht wird“ [1]. Höhere Drehzahlen und Lastmomente werden auch von Fahrzeugherstellern (OEM-Hausnorm) und vom chinesischen Standard GB/T gefordert.

BETRIEBSPUNKT DER MAXIMALEN STÖRAUSSTRAHLUNG

Auf einem konventionellen Motorprüfstand können die gemessenen Ströme

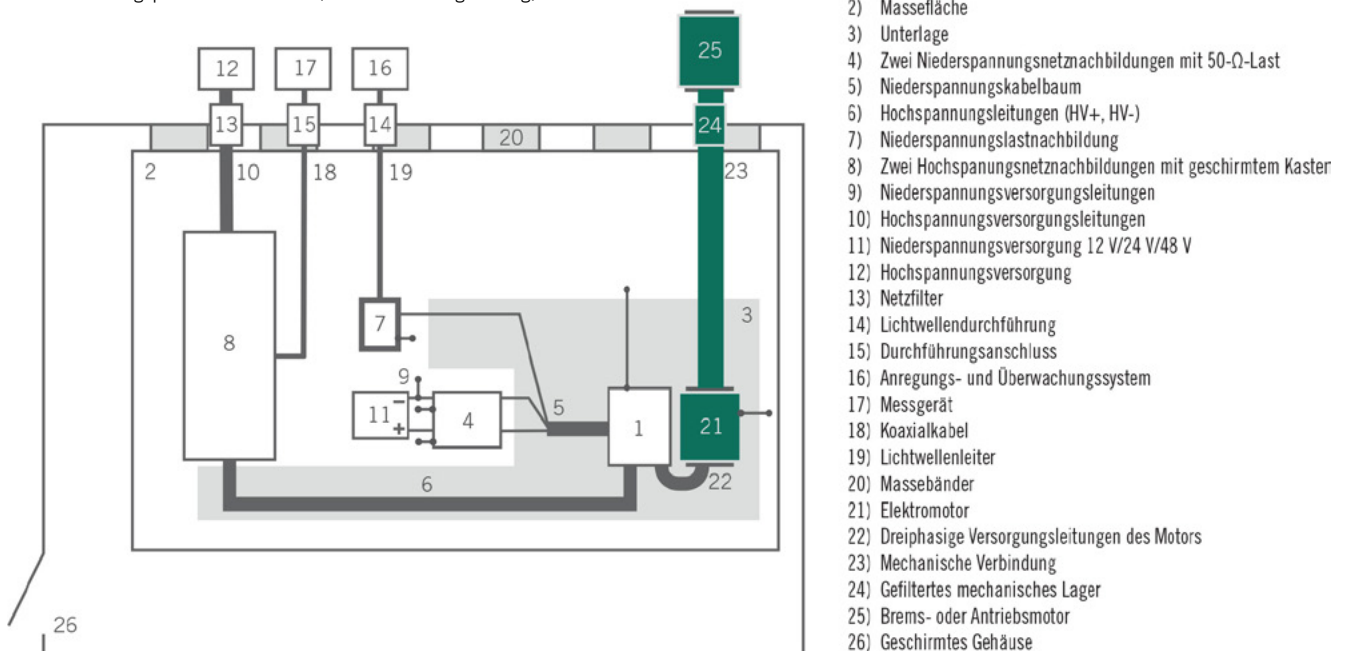
auf den Zuleitungen einen Anhaltspunkt für die maximale EMV-Störaussendung des Gesamtsystems aus Leistungselektronik und E-Antrieb geben, was für die leitungsgeführten Störungen gegebenenfalls ein guter Richtwert sein kann. Bei der gestrahlten Störaussendung sieht das anders aus. Hier spielen weit mehr Faktoren eine Rolle als nur der maximal gemessene Strom. Vielmehr sind hierbei die Wege entscheidend, die der Strom innerhalb des Systems nimmt, die sich mit höheren Drehzahlen, höheren Drehmomenten oder veränderten Modulationsarten zur Ansteuerung ändern können.

Damit bleibt zur EMV-Prüfung nur eine Worst-Case-Betrachtung der leitungsgeführten und gestrahlten Störaussendung, in der unterschiedliche Betriebspunkte angefahren werden. Hierbei ist es wichtig, nicht nur die Drehzahlen, sondern vor allem auch die Drehmomente unter der Variation der Betriebsspannung zu betrachten.

ABGESCHIRMTER MOTORPRÜFSTAND

Auch hinsichtlich Ausstattung und Raumgröße des Prüfstands stoßen EMV-Prüfungsfachleute beim Messen auf konventionellen Motorprüfständen schnell an die Grenzen: Prüfstandsmesstechnik, Umrichter der Lastmaschine, Batterie-

BILD 1 EMV-Prüfaufbau gemäß Norm mit hervorgehobenen Komponenten, die den Leistungsprüfstand betreffen (© Schaeffler Engineering)



Legende

- 1) Prüfling
- 2) Massefläche
- 3) Unterlage
- 4) Zwei Niederspannungsnetznachbildungen mit 50-Ω-Last
- 5) Niederspannungskabelbaum
- 6) Hochspannungsleitungen (HV+, HV-)
- 7) Niederspannungslastnachbildung
- 8) Zwei Hochspannungsnetznachbildungen mit geschirmtem Kaster
- 9) Niederspannungsversorgungsleitungen
- 10) Hochspannungsversorgungsleitungen
- 11) Niederspannungsversorgung 12 V/24 V/48 V
- 12) Hochspannungsversorgung
- 13) Netzfilter
- 14) Lichtwellendurchführung
- 15) Durchführungsanschluss
- 16) Anregungs- und Überwachungssystem
- 17) Messgerät
- 18) Koaxialkabel
- 19) Lichtwellenleiter
- 20) Massebänder
- 21) Elektromotor
- 22) Dreiphasige Versorgungsleitungen des Motors
- 23) Mechanische Verbindung
- 24) Gefiltertes mechanisches Lager
- 25) Brems- oder Antriebsmotor
- 26) Geschirmtes Gehäuse

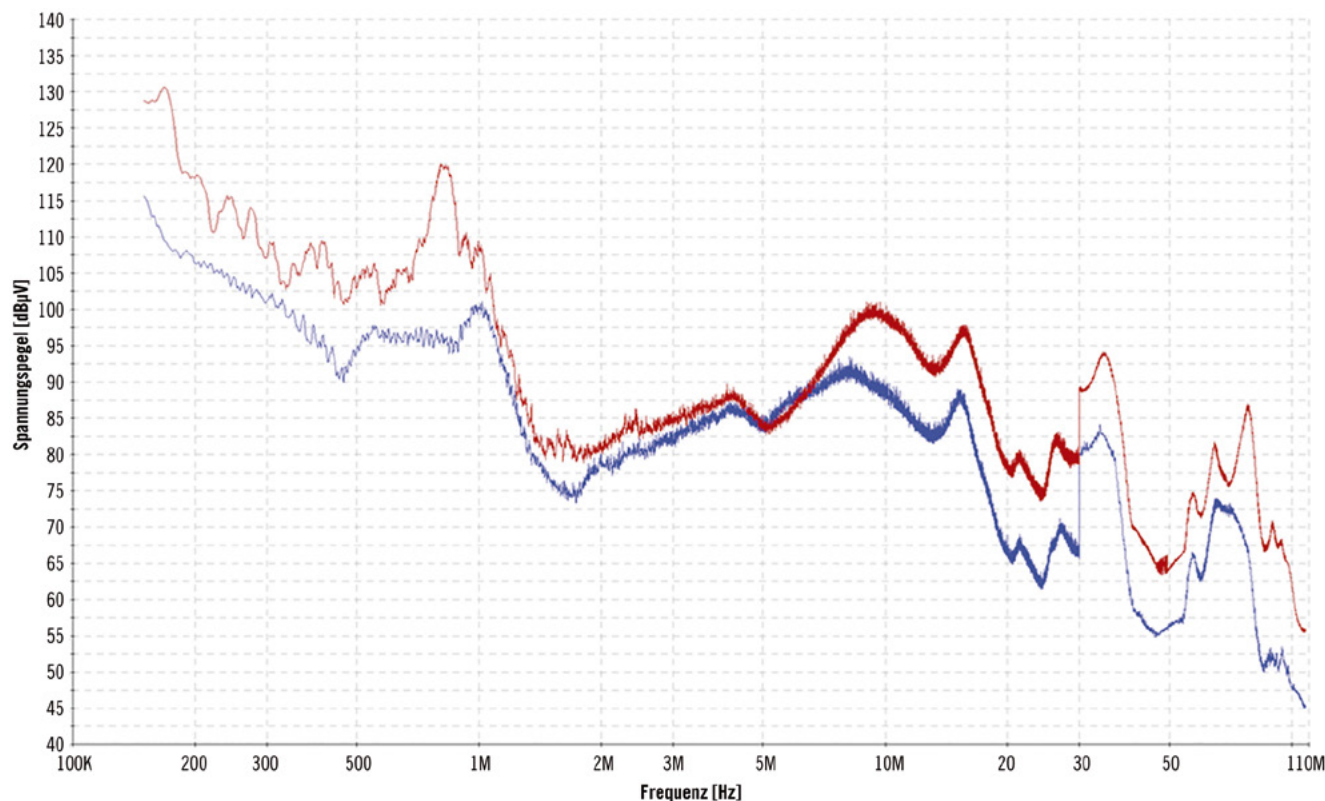


BILD 2 Störaussendung bei vollem Drehmoment (rot) und halbem Drehmoment (blau) und jeweils gleicher Drehzahl (© Schaeffler Engineering)

simulation sowie elektrische Bremsysteme stören die EMV-Messungen. Um hier eine belastbare Aussage zum Maximalbetriebspunkt zu finden, ist der Wechsel in eine EMV-geschützte Umgebung, das heißt, eine Abschirmhalle mit Einfügefiltern, geboten. Der geschützte Leistungsprüfstand muss die EMV-Anforderungen an einen Ausendungsmessplatz erfüllen und an die Gegebenheiten des Prüflings angepasst werden können. Er muss sich also in einer abgeschlossenen, gegen elektromagnetische Felder abgeschirmten Umgebung befinden und den vollständigen

Betrieb eines E-Antriebs bieten können. In den Zeichnungen der Normen (zum Beispiel CISPR 25, ISO 11452-2) werden Aufbauten mit einer mechanischen Welle vorgegeben, **BILD 1**. Der Wortlaut der Normen gibt dazu keine näheren Beschreibungen/Vorgaben.

Mit einem EMV-Labor inklusive Motorprüfstand können die Abhängigkeiten der Hochfrequenz(HF)-Störungen von Drehzahl und Drehmoment verlässlich nachgewiesen werden. Die im Labor von Schaeffler Engineering aufgezeichneten Daten zeigen die leitungsgeführte Störaussendung an der Hochvolt(HV)-

Leitung zweier Betriebspunkte, **BILD 2**. Das Beispiel verdeutlicht, dass die Erhöhung des Drehmoments bei sonst gleichbleibenden Betriebsbedingungen zu einem erheblichen Anstieg der EMV-Störaussendung führt. Ist der gewählte EMV-Prüfstand zu klein, werden die Messungen zur Überprüfung der Grenzwerteinhalten auf das Gesamtfahrzeug und damit an das Ende der Entwicklungszeit verlagert, sodass eine Designanpassung kaum noch möglich ist. Je später ein Problem bei der EMV erkannt wird, desto höher sind die Kosten für die Entwicklung. Wenn in einer frühen Musterphase begonnen wird, die EMV am E-Antrieb zu testen, können deren Schwachstellen bereits zu diesem Zeitpunkt aufgedeckt und notwendige Maßnahmen eingeleitet werden, **BILD 3**. In der weiteren Produktentwicklung lassen sich bei der Worst-Case-Betrachtung der maximalen EMV-Störaussendung die Betriebspunkte und deren Ansteuerung EMV-gerecht optimieren. Dies ist ansonsten erst am Ende der Entwicklungsphase im Gesamtfahrzeug auf dem Rollenprüfstand möglich. Die erhobenen Daten können als Parameter für Simulationsmodelle dienen. Zur Validierung

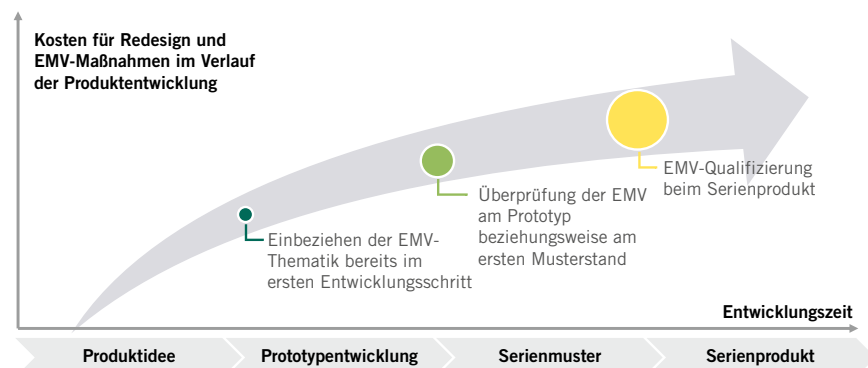


BILD 3 Auswirkungen der EMV-Maßnahmen auf Zeit und Entwicklungskosten in der Produktentwicklung (© Schaeffler Engineering)

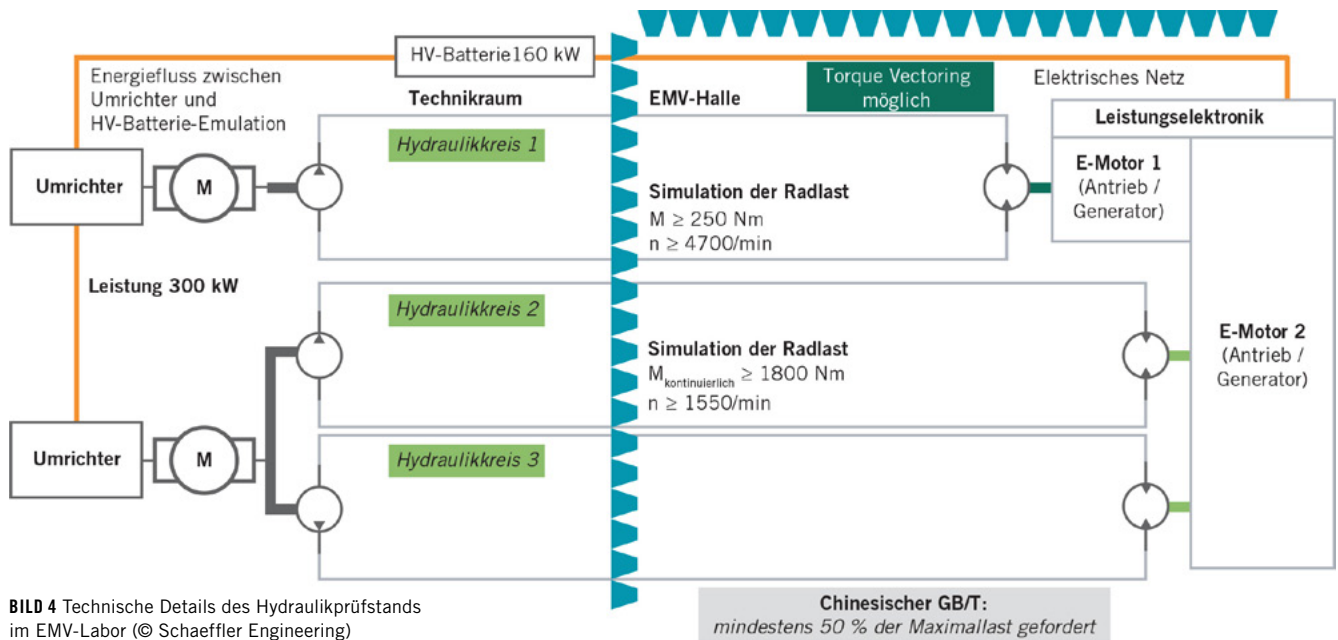


BILD 4 Technische Details des Hydraulikprüfstands im EMV-Labor (© Schaeffler Engineering)

wird also ein Prüfstand benötigt, der in der Lage ist, Motoren bis hin zu Fahrzeugen in vielfältigen Betriebs- und Belastungszuständen unter EMV-Bedingungen zu betreiben.

HYDRAULISCHER ANTRIEB VERSUS STARRE WELLE

Bei einer starren Welle ist die Position des Prüflingsmotors fest vorgegeben. Als Hallenausführung ist ein mechanisches Lager erforderlich, das zudem noch gefiltert werden muss, um elektromagnetische Störungen abzuhalten. Bedingt durch die mechanische Belastung der langen Welle zum E-Antrieb hat es einen hohen Verschleiß. Auch die mechanischen Effekte wie Wärmeentwicklung und Vibration sind nicht zu vernachlässigen.

Ein hydraulischer Antrieb ist sehr viel einfacher durch die Abschirmhalbwand durchzuführen als eine starre Welle. Auf ein gefiltertes mechanisches Lager kann verzichtet werden. EMV-

Labor und Antriebseinheit sind vollständig voneinander getrennt. Die Hydraulikschläuche sind flexibler und können auf unterschiedliche Bauformen der Prüflinge individuell angepasst werden. Auch ein Drehen des Prüflings ist möglich. Die mechanische Welle zum Elektroantrieb kann der Originalantriebswelle entsprechen, damit kann das Abstrahlverhalten der Antriebswellen untersucht werden. Die Anregung könnte zum Beispiel von dem Pulswechselrichter stammen, **BILD 4**.

UMFASSENDE PRÜFSTAND

Zukünftig wird die Performanceoptimierung von Komponenten im Zusammenspiel mit dem E-Antrieb unter EMV-Bedingungen erfolgen müssen. Nur so können Wechselwirkungen reproduzierbar verfolgt werden. Motor-, Akustik- und EMV-Prüfstand lassen sich in einem Aufbau vereinen.

Die beschriebenen Anforderungen an ein EMV-Labor für elektrisch ange-

triebene Fahrzeuge legen nahe, einen leistungsstarken E-Motorprüfstand für EMV-Bedingungen aufzubauen. Die langjährige Erfahrung in der Elektronikentwicklung bis zur Serienreife, die auch die Validierung der Prototypen beinhaltet, hat Schaeffler Engineering zur Umsetzung derartiger EMV-Testprojekte veranlasst. Daher können zum Beispiel mechanische Probleme, die die EMV beeinflussen, an den Motoren- und Getriebeprüfständen des am Standort nahegelegenen Prüffelds schnell erkannt und behoben werden, sodass die EMV-Messung ohne längere Unterbrechungen fortgesetzt werden kann.

LITERATURHINWEIS

[1] DIN EN 55025:2018-03: Fahrzeuge, Boote und von Verbrennungsmotoren angetriebene Geräte – Funkstöreigenschaften – Grenzwerte und Messverfahren für den Schutz von an Bord befindlichen Empfängern (CISPR 25:2016 + COR1:2017); Deutsche Fassung EN 55025:2017 + AC:2017. Berlin: Beuth-Verlag, März 2018

Besuchen Sie uns auf:
www.schaeffler-engineering.com



click here

IMPRESSUM

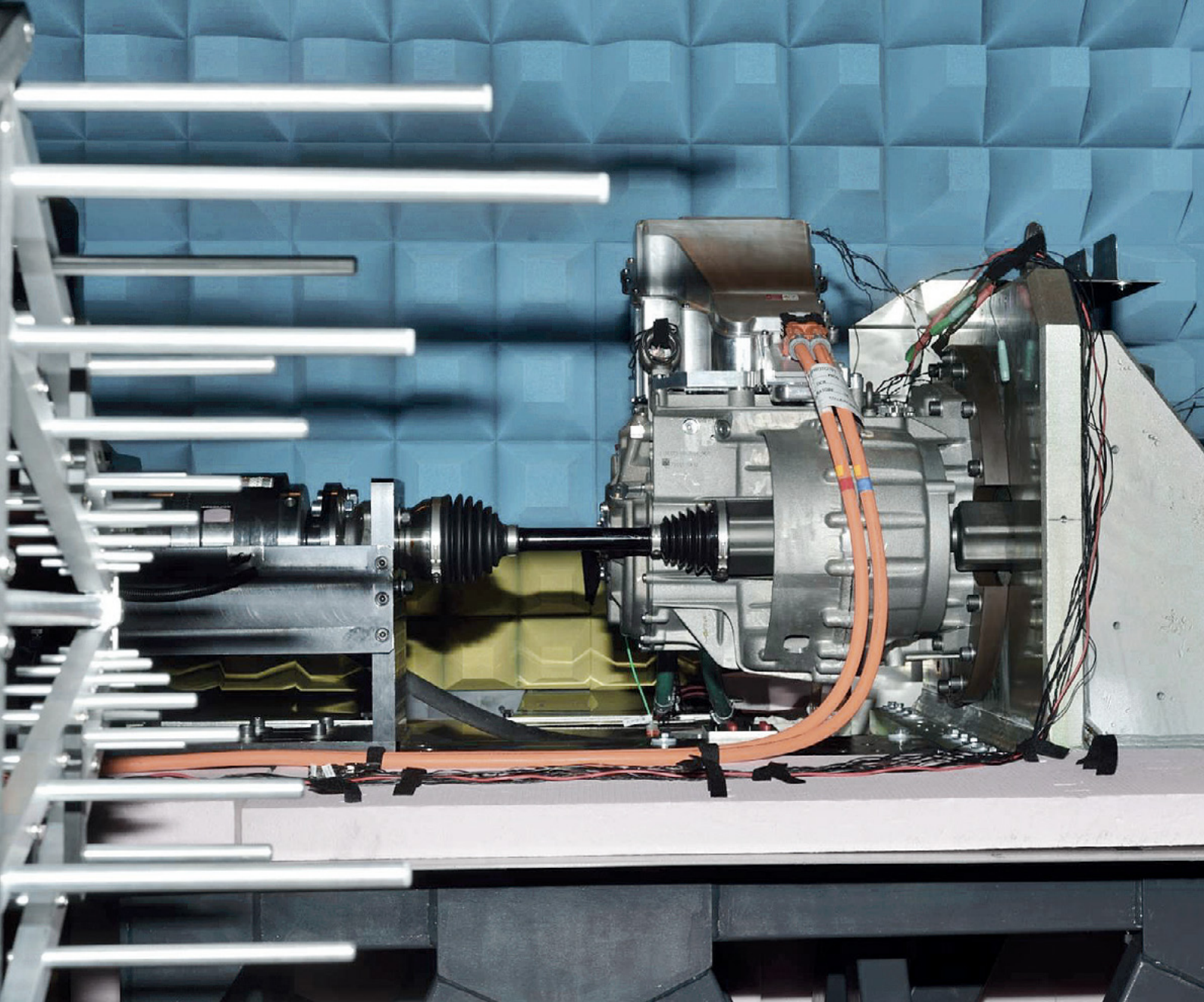
Sonderausgabe 2023 in Kooperation mit Schaeffler Engineering GmbH, Gewerbestraße 14, 58791 Werdohl; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE81148419

GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabusch

TITELBILD: © [M] Devrimb | Getty Images | iStock



In unserem EMV-Labor stellen wir die Zukunft auf den Prüfstand.

EMV-Labor und -Engineering für Automotive Produkte

Mit unserer EMV-Expertise sorgen wir dafür, dass die Lösungen unserer Kunden für die Mobilität von morgen alle Qualitäts- und Sicherheitsansprüche erfüllen. Und in unserem unabhängigen EMV-Labor stellen wir die Zukunft auch gleich auf den Prüfstand. Möglich macht dies ein integrierter Leistungsprüfstand, dessen zwei unabhängige Hydraulikkreise Torque Vectoring und die Prüfung von E-Achsen ohne geblocktes Differential ermöglichen.

www.schaeffler-engineering.com

SCHAEFFLER
ENGINEERING