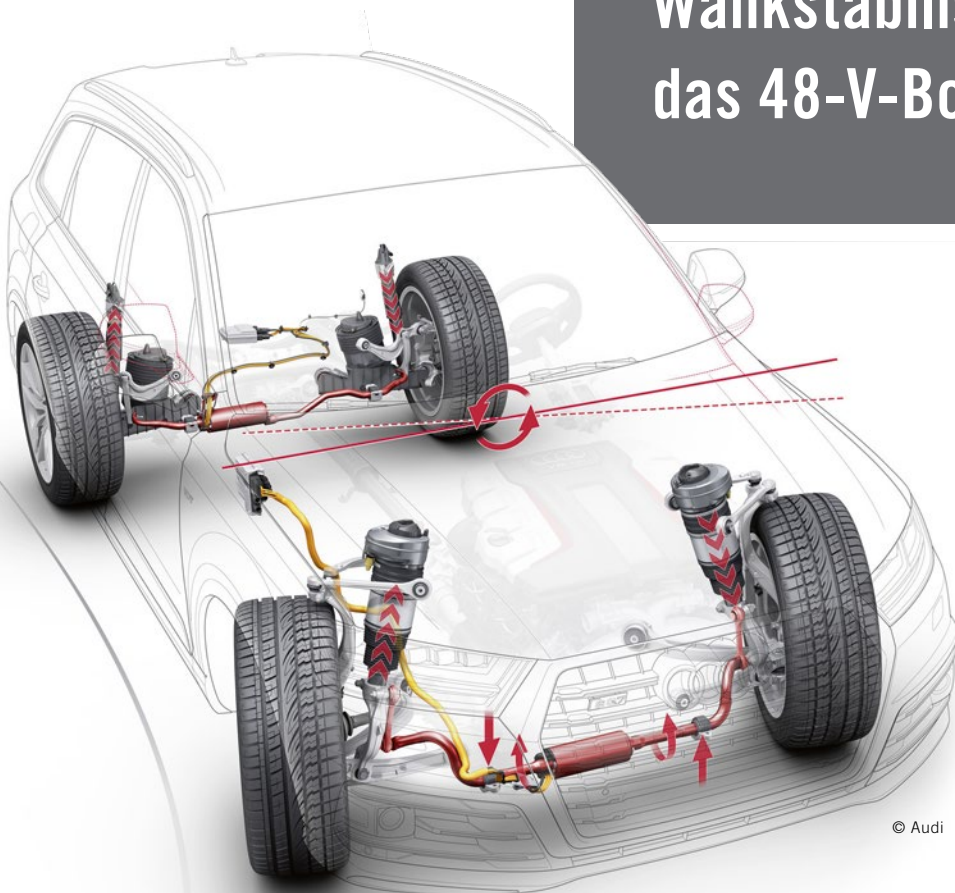


# Mechatronische Wankstabilisierung für das 48-V-Bordnetz



© Audi

## AUTOREN



**Dipl.-Ing. Simon Sagewka** ist Leiter Systementwicklung in der Produktlinie Fahrwerkaktuatoren der Schaeffler Technologies AG & Co. KG in Herzogenaurach.



**Dr.-Ing. Thomas Fiebig** ist Leiter der Produktlinie Fahrwerkaktuatoren der Schaeffler Technologies AG & Co. KG in Herzogenaurach.



**Dr.-Ing. Christian Schmid** ist Senior Specialist Regelungstechnik in der Produktlinie Fahrwerkaktuatoren der Schaeffler Technologies AG & Co. KG in Herzogenaurach.



**Dipl.-Ing. David Wostal** ist Projektmanager im Corporate Project Management Pool der Schaeffler Technologies AG & Co. KG in Herzogenaurach.

Durch Sensorik und Regelungstechnik gestützt erreichen aktive Fahrwerksysteme bei SUVs eine verbesserte Fahrstabilität. Schaeffler entwickelte eine mechatronische aktive Wankstabilisierung (eARC), die nun auf einem leistungsfähigeren 48-V-Bordnetz basiert und das Wankkopieren reduziert.

## SUVS ALS TRENDTHEMA

Bereits seit einigen Jahren gibt es bei Automobilkäufern einen weiterhin steigenden Trend zu Sport Utility Vehicles (SUV). Mit diesen Pkw verbinden die Käufer Qualitäten wie Kraft, Größe und Geländetauglichkeit, aber auch Komfort. Der Trend ist so deutlich, dass sich auch Premiumautomobilher-

steller an dieses Marktsegment gewagt haben. Erfolgreich, wie die Absatzzahlen zeigen [1]. Das Ziel der mechatronischen aktiven Wankstabilisierung (eARC) von Schaeffler, wie sie in diesem Beitrag dargestellt wird, ist die Verbesserung des Fahrkomforts bei gleichzeitiger Erhöhung von Fahrdynamik und Sicherheit. Und das auch – oder gerade – in dem stark wachsenden SUV-Segment.

## VORTEILE DES SYSTEMS

Im Unterschied zu passiven Stabilisatoren werden bei aktiven Systemen die Stabilisatorhälften durch einen mechatronischen Aktuator verbunden, der für die Torsion der Hälften zueinander sorgt. Gestützt durch entsprechende Sensorik und eine geeignete Signalverarbeitung erreicht das System eine deutlich verbesserte Wahrnehmung der Fahrzeugstabilität durch die Reduktion des Wankwinkels. Gleichzeitig werden die sogenannte Kopierbewegung des Fahrzeugs bei einseitiger Anregung verringert und eine variable Abstützverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse ermöglicht.

Das mit dem Einsatz des eARC-Systems verfolgte Ziel ist abhängig von dem Fahrzeug, in dem es verbaut wird. Genauso hängt es jedoch auch vom Pkw-Hersteller ab, der es verbaut. Immer stehen die zuvor benannten Eigenschaften im Fokus. Dabei kann der Fahrzeughersteller aufgrund der Parametrierbarkeit und der Auslegung des Systems diesem „seinen“ Stempel aufdrücken – und das sogar unterschiedlich von Plattform zu Plattform. Die Wirkung kann eher komfortabel oder eher dynamisch sein, aber immer sicher.

Eine wesentliche Frage, die sich der Automobilhersteller in diesem Zusammenhang stellen muss, ist die nach der Integration des eARC-Systems in die bestehende Fahrzeugarchitektur und somit die Wahl des Bordnetzes: 12 V oder 48 V Spannung. Beide Spannungs-

lagen haben Vorzüge. Die 48-V-Variante bietet Vorteile bei Leistungsdichte und Leitungsquerschnitten. Schaeffler bietet für beide Spannungslagen eine Lösung an, wobei in diesem Beitrag die Variante für das 48-V-Netz näher betrachtet wird.

Die in **BILD 1** dargestellte Topologie zeigt die Einbindung des eARC-Systems in die Architektur der Plattformen des Volkswagen-Konzerns. Hierbei wird deutlich, dass die eARC-Steuergeräte mit beiden Bordnetzen (12 und 48 V) verbunden sind. Die benötigten Algorithmen der Wankstabilisierung verteilen sich auf verschiedene Steuergeräte. Das übergeordnete Fahrzeugsteuergerät ermittelt auf Basis der Fahrzeuginformationen die passenden Vorgaben zur Fahrsituation gemäß der gewünschten Charakteristik. Hierbei wird auch die Abstimmung von Vorder- zu Hinterachse berücksichtigt, um den Verbund bestmöglich einzusetzen. Das eARC-System setzt diese Vorgaben an beiden Achsen in eine entsprechende Abstützung um.

## AUFBAU UND FUNKTION DES SYSTEMS

Der mechatronische Aktuator, bestehend aus einer Motor-Getriebe-Einheit samt Drehstabhälften und Kabelbaum, ermöglicht in Verbindung mit der Signalverarbeitung eine hochdynamische Aktuierung. Die Funktion an einer Achse umfasst die Aus- und Ansteuerung der Grundfunktionen Störentkopplung und Wankabstützung.

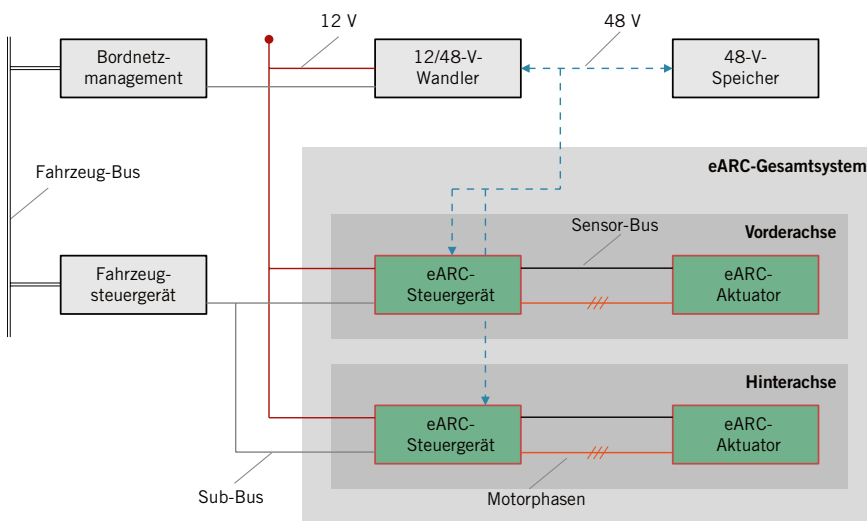
Bei unebener Fahrbahn oder stoßartigen Anregungen werden die beiden Drehstabhälften durch die Motor-Getriebe-Einheit voneinander entkoppelt. Damit werden deutlich weniger Bewegung in der Karosserie sowie eine Reduzierung des Wankkopierens erreicht. Der Fahrkomfort steigt spürbar. Im linken Teil von **BILD 2** wird die Komfortsteigerung aufgrund der reduzierten Wankbeschleunigungen gegenüber einem passiven Stabilisator dargestellt.

Bei sportlich dynamischer Fahrweise werden beim Einlenken und während der Kurvenfahrt mittels der Motor-Getriebe-Einheit die beiden Drehstabhälften gegeneinander tordiert, um der Wankbewegung der Karosserie entgegenzuwirken. Wie im rechten Teil von **BILD 2** beschrieben, wird die Seitenneigung des Fahrzeugs reduziert oder ganz eliminiert. Daraus resultieren ein strafes, sportliches Handling sowie ein verringertes Untersteuern.

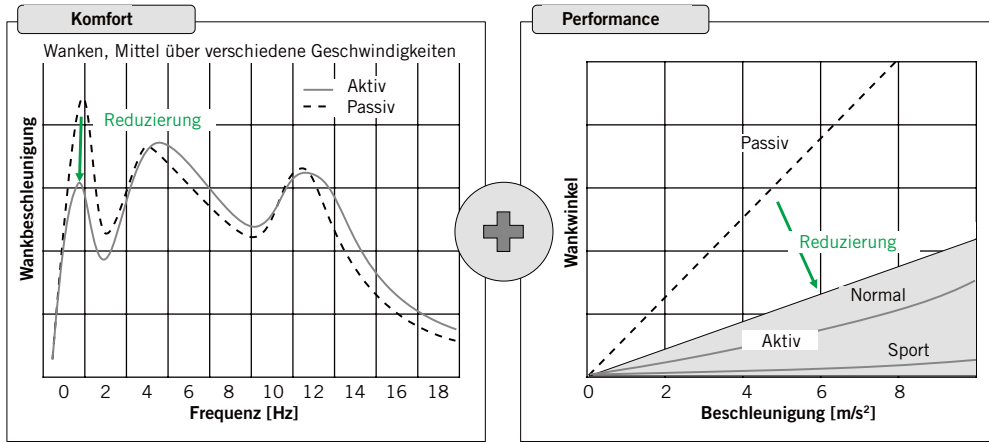
Ein aus der Abstützung resultierender Vorteil ist die Reduzierung des Reifensturzes und damit eine größere Reifenauftragfläche. Hierdurch wird eine höhere maximale Querbewegung in Kurvenfahrten erzielt und somit der fahrdynamische Grenzbereich auf höhere Werte verschoben. Weiterhin ist es möglich, mit der Variabilität der Verteilung der Abstützung zwischen Vorder- und Hinterachse das Eigenlenkverhalten des Fahrzeugs fahrsituativ anzupassen [2]. Somit löst das eARC-System den Zielkonflikt zwischen komfort- und performanceorientierter Fahrwerkabstimmung, die mit einem konventionellen Stabilisator nicht darstellbar wäre.

Vorteile des mechatronischen Systems gegenüber einer hydraulischen Wankstabilisierung sind die Wartungsfreiheit und eine einfache Fahrzeugintegration sowohl während der Entwicklung als auch später in der Produktion. Weiterhin trägt das eARC zur Emissionsreduzierung bei, da es nach dem Power-on-Demand-Prinzip arbeitet. Trotzdem steht selbst bei niedrigen Geschwindigkeiten bereits die volle Leistungsfähigkeit des Systems zur Verfügung.

Das eARC-System setzt sich an einer Fahrzeugachse aus Aktuator und Steuergerät zusammen. Diese sind mit einem aktuatorfesten Kabelbaum verbunden. **BILD 3** zeigt die Verbausituation am Beispiel der Vorderachse des Audi SQ7. Der Aktuator besteht aus Motor-Getriebe-



**BILD 1** Steuergeräte-Topologie mit der Einbindung des eARC-Gesamtsystems in die Fahrzeugarchitektur (© Schaeffler)



**BILD 2** Qualitative Darstellung der reduzierten Wankbeschleunigungen und -winkel mit dem eARC-System zur Steigerung von Komfort (links) und Performance (rechts) [2] (© Porsche)

Einheit inklusive Drehstabhälften und dem Kabelbaum. Die mechanische Anbindung des Aktuators an das Fahrzeug erfolgt über die Drehstabhälften, die einerseits über die Koppelstangen mit dem Fahrwerk und andererseits durch plattformspezifische Stabilisatorlager mit dem Fahrschemel beziehungsweise dem Hilfsrahmen des Fahrzeugs verbunden sind.

Vom Entwicklungsstart an ist das eARC-System auf einen Einsatz sowohl in unterschiedlichen Fahrzeugtypen als auch unterschiedlichen Baureihen konzipiert. So trägt beispielsweise die Trennung von Aktuator und Steuergerät den

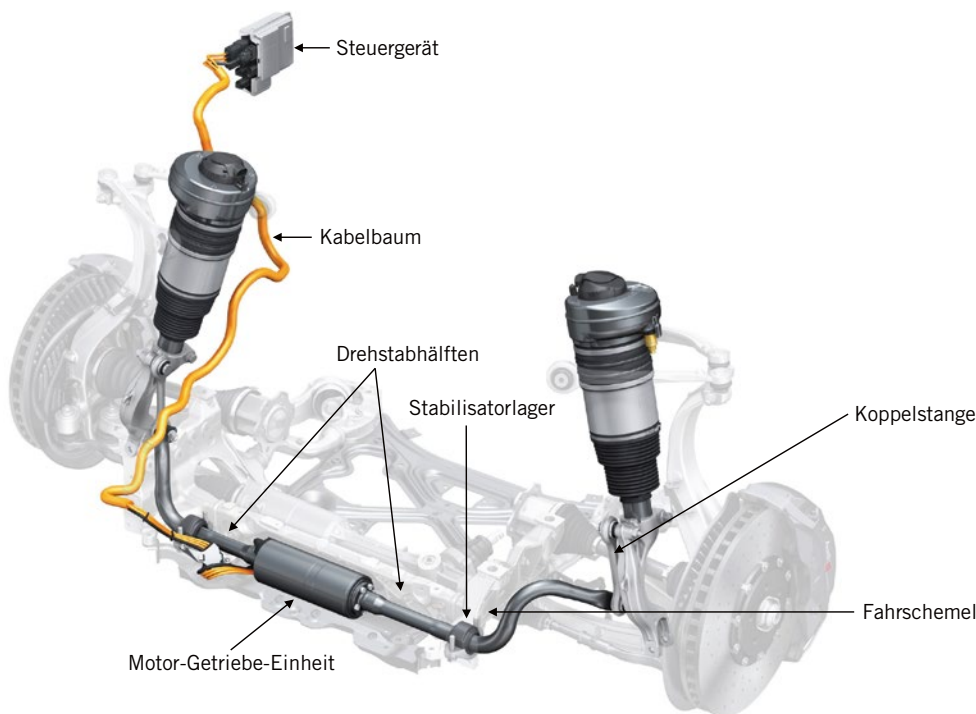
Bauraumanforderungen des Kunden Rechnung. Das eARC wird derzeit in zwei Plattformen des Volkswagen-Konzerns (MSB und MLBevo) mit sieben verschiedenen Aktuatortypen eingesetzt. Dies bedarf in der Entwicklung und Produktion eines hohen Maßes an Flexibilität, um der Varianz Rechnung zu tragen. Zeitgleich muss aus Kostengründen die Wiederverwendung so vieler Bauteile wie möglich sichergestellt werden. Dass jede Plattform unterschiedliche Anforderungen an Package, Achs- und Karosserieintegration hat, liegt auf der Hand. Allerdings wird dadurch der mögliche Lösungsraum auf die Schnitt-

menge aller Fahrzeugtypen eingengt. Hinzu kommen die nutzerspezifischen Anforderungen wie etwa Lastanforderungen, Systemdynamik und Akustik.

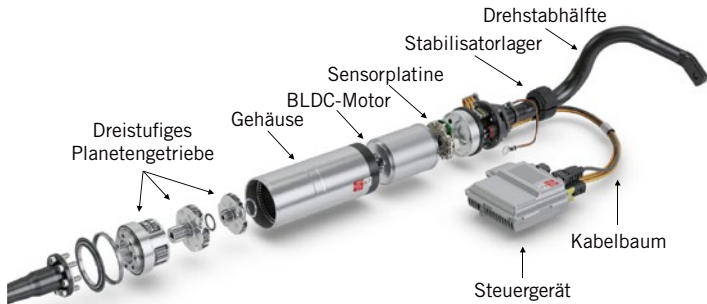
Um die beschriebenen Funktionen auf Fahrzeugebene zu realisieren, muss das eARC-System folgende Kenndaten sicherstellen [2]:

- maximaler Verdrehwinkel:  $\pm 30^\circ$
- maximale Stellgeschwindigkeit: 4500 Nm/s
- maximales Abstützmoment: 850 bis 1200 Nm.

Aus diesem Grund ist der Aktuator, **BILD 4**, auf einen möglichst hohen Wirkungsgrad des Getriebes und eine hohe Dynamik des



**BILD 3** Komponenten und ihre Verbausituation des eARC-Systems in einer Vorderachskonfiguration für den Audi SQ7 (© Audi, Schaeffler)



**BILD 4** Aufbau des Aktuators des eARC-Systems (© Schaeffler)

Elektromotors optimiert. Er weist stets den gleichen Grundaufbau auf.

Der Elektroantrieb ist ein bürstenloser Gleichstrom-Elektromotor (BLDC), der für eine 48-V-Applikation entwickelt wurde. An diesem befindet sich die Sensorplatte zur Positionserfassung. Das dreistufige Planetengetriebe ist reibungsoptimiert und stützt sich an der Innenverzahnung des Gehäuses ab. Um die Laufgeräusche zu minimieren, ist die erste Stufe schrägverzahnt. In der dritten Stufe werden gegeneinander verspannte Planeten eingesetzt, um Zahnflankenimpulse zu dämpfen.

Die Varianz des eARC-Systems entsteht über die Drehstabhälften sowie den Kabelbaum, die gemäß den OEM-Anforderungen an Last, Kabelführung und Bauraum entsprechend angepasst werden. Das Steuergerät inklusive der Software ist für alle Aktuatortypen und Achsen universell. Im Fahrzeug erhält es seine finale Abstimmung über die Parametrierung.

Der Einsatz des 48-V-Bordnetzes ermöglicht dem eARC-System, hohe elektrische Spitzenleistungen von über 1,5 kW je Achse abzurufen, aber auch zurückzuspeisen. Solche Leistungsdaten lassen sich nur schwer mit dem klassischen 12-V-Pendant realisieren. Die beschriebene Trennung des Aktuators vom Steuergerät bewirkt eine Entspannung des Wärmehaushalts. Darüber hinaus ermöglicht die höhere Spannungslage geringere Leitungsquerschnitte zugunsten der Kabelführung und des Systempackages.

Das Steuergerät kommutiert den Rotor des dreiphasigen BLDC-Motors unter Verwendung der im Aktuator befindlichen Sensorplatte. Die Kommunikation zwischen Sensor und Steuergerät erfolgt per Bussystem. Um die Signalintegrität und die notwendige Datenrate sicherzustellen, kommt ein eigens konzipiertes Protokoll zum Einsatz. Die optimale Ansteuerung des Aktuators durch den Regler wird durch individuelle Parameter gewährleistet. Diese werden für jeden Aktuator während der Fertigung ermittelt, um die geforderten Toleranzen einzuhalten. Die Parameter werden zusammen mit der Typenkenntung und Achsinformation an das Steuergerät übertragen.

## Das Rad haben andere erfunden...



wir erfinden innovative Prüftechnik von morgen...

### MAHA-AIP Premium Fahrzeug-Prüfsysteme von Weltruf aus Haldenwang

MAHA-AIP plant und fertigt individuelle Fahrzeugprüfstände für die Entwicklungs- und Fertigungszentren nahezu aller namhaften Fahrzeughersteller, deren Zulieferindustrie sowie Prüfinstitutionen – weltweit.

- Rollenprüfstände
- Innovative Abgasmesstechnik
- Prüfstandautomatisierung
- Intelligente Fahrroboter
- Flachbahnprüfstände
- Shaker
- Windkanalwaagen



MAHA-AIP  
Umwelt-  
Management



**MAHA-AIP GmbH & Co. KG**  
Automotive Industry Products  
Hoyen 30  
D-87490 Haldenwang



Tel.: +49 (0)8374-585-0  
Fax: +49 (0)8374-585-551  
E-Mail: aip@maha.de  
www.maha-aip.com



**BILD 5** eARC-Aktuator mit BLDC-Motor (oben) und Steuergerät (unten) (© Schaeffler)

**REGELUNG DES SYSTEMS**

Ein zentraler Bestandteil der mechatronischen Wankstabilisierung eARC ist die im Hause Schaeffler entwickelte Aktuatorregelung, **BILD 5**. Diese Einheit ermöglicht einen präzisen und zeitgenau gesteuerten Eingriff des aktiven Stabilisators ins Fahrwerk und liefert damit die Basis für eine zielgerichtete Beeinflussung von Fahrkomfort und Fahrdynamik. Durch eine zur Laufzeit änderbare Parametrierung kann der Konflikt zwi-

schen diesen beiden Entwicklungszielen zudem situationsabhängig optimal aufgelöst werden.

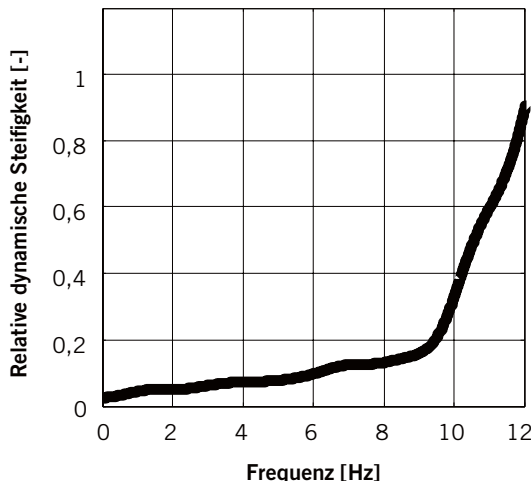
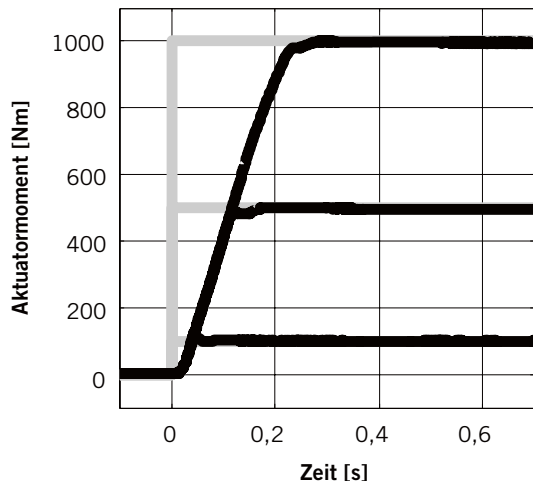
Die Regelung ist modular gegliedert und in Kaskadenstruktur aufgebaut, was gleichermaßen eine hohe Flexibilität wie auch einen hohen Grad an Wiederverwendbarkeit garantiert. Der Einsatz von modernen, modellbasierten Entwurfsmethoden gewährleistet sowohl die für den Serieneinsatz notwendige Robustheit als auch die automatische Anpassung der Regelung an aktuatorspezifische Parameter.

Die Grundfunktionen Wankabstützung unter Querbeschleunigung sowie Störrentkopplung bei Fahrten auf Schlechtwegstrecken stellen, aufgrund ihrer hohen Dynamikanforderungen, aus regelungstechnischer Sicht die größte Herausforderung dar. Die Aktuatorregelung von Schaeffler ermöglicht es, das durch eine konsequente Systemauslegung (zum Beispiel durch die Festlegung auf das 48-V-Bordnetz) geschaffene Potenzial der aktiven Wankstabilisierung voll auszunutzen. Mit der Regelung wird ein großer Beitrag sowohl zur Steigerung des Fahrkomforts als auch der Agilität des Fahrzeugs geleistet. Dies gelingt auch unter starker Störانregung wie beispielsweise bei Curb-Überfahrten auf der Rundstrecke und ebenso bei Verschiebung des Spannungsniveaus im Bordnetz.

Als Indiz hierfür zeigen die Messdaten in **BILD 6** Sprungantworten des Aktuators (links) sowie die erzielbare relative dynamische Steifigkeit (rechts) eines Aktuators. Die sehr niedrigen Sprungzeiten sind dabei als direktes Ansprechverhalten beziehungsweise sehr gute Wankabstützung im Fahrzeug spürbar, während die dynamische Steifigkeit, die in einem breiten Frequenzbereich unterhalb der Steifigkeit eines vergleichbaren passiven Systems liegt, für hohen Fahrkomfort spricht.

**ZUSAMMENFASSUNG**

Die Herausforderungen der Entwicklung der mechatronischen aktiven Wankstabilisierung hat Schaeffler in enger Koope-



**BILD 6** Sprungantwort des Aktuators (links) und relative dynamische Steifigkeit (rechts) des Aktuators (© Schaeffler)

ration mit seinen Kunden gelöst. Mit diesem System steht den OEMs ein Fahrdynamiksystem zur Verfügung, das ein außergewöhnliches Fahrgefühl in Kurven und einen erhöhten Komfort bei Unebenheiten bietet – und das sicher und hochdynamisch.

#### LITERATURHINWEISE

[1] KBA: Neuzulassungsbarometer von Januar bis Oktober 2016 im Marktsegment SUVs. Online: [http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/MonatlicheNeuzulassungen/2016/201610GV1monatlich/201610\\_nzbarometer/201610\\_n\\_barometer.html](http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/MonatlicheNeuzulassungen/2016/201610GV1monatlich/201610_nzbarometer/201610_n_barometer.html), letzter Zugriff: 30. Januar 2017

[2] Koch, T.; Schlecht, A.; Smetana, T.: Electromechanical Roll Stabilisation – A System for Attaining a Spread between Driving Dynamics and Ride Comfort Based on 48-V Energy Supply System. In: Pischinger, S.; Eckstein, L. (Hrsg.): 25. Aachener Kolloquium – Fahrzeug- und Motorentechnik, Aachen, 2016, S. 745–758

## DANKE

Die Autoren möchten sich für die Unterstützung bei der Gestaltung und Ausprägung dieses Beitrags sowohl bei Dr. Thorsten Koch mit den Fachgruppen Wankstabilisierungssysteme und Integration Fahrwerkelektrik von Porsche als auch bei Dr. Albert Schlecht und dem Team Fahrwerkentwicklung von Audi bedanken. Beide haben maßgeblich zum Erfolg des Projekts beigetragen. Ein weiterer Dank gilt den Mitgliedern des Entwicklungsteams des eARC-Systems bei Schaeffler, ohne deren Unterstützung und Einsatzbereitschaft nicht der Erfolg des Projekts zustande gekommen wäre.



# AVL International Simulation Conference 2017

27.-29. JUNI, GRAZ, ÖSTERREICH

Erfahren Sie mehr über die neuesten Trends in Simulation, Test und Kalibrierung bezogen auf die wichtigsten Entwicklungsziele für saubere und leistungsfähige Mobilität, einschließlich RDE, Antriebsstrangeffizienz, Elektrifizierung, Lebensdauer und NVH!

Nehmen Sie teil an der AVL International Simulation Conference 2017.

Ihre Präsentation wird die Veranstaltung bereichern – Senden Sie uns Ihr Abstract und registrieren Sie sich auf unserer Webpage:



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:  
[www.atz-worldwide.com](http://www.atz-worldwide.com)