



© Daimler

Das aktive Fahrwerk des neuen GLE von Mercedes-Benz

Im neuen GLE bringt Mercedes-Benz mit E-Active Body Control ein von Grund auf neuentwickeltes Fahrwerkssystem. Es bietet in hohes Maß an Fahrkomfort, Fahrdynamik und Offroad-Fähigkeiten.

GESAMTSYSTEM

Aktive Fahrwerke haben bei Mercedes-Benz eine lange Tradition. Bereits vor über 40 Jahren wurde an Federungs- und Dämpfungssystemen geforscht, bei denen die Kraft an jedem Rad individuell geregelt werden konnte [1]. Dadurch verbesserten sich sowohl der Fahrkomfort als auch die Fahrdynamik, sodass 1999 der erste Serieneinsatz als ABC (Active Body Control) erfolgte [2]. ABC wurde in den Folgejahren kontinuierlich weiterentwickelt und mit der Funktion Road Surface Scan im Jahr 2013 zum ersten vorausschauenden Fahrwerk, das auf Bodenwellen bereits reagiert, bevor diese überfahren werden [3].

Das ABC nutzte ein komplexes hydraulisches Netzwerk, das von einer riemen-

getriebenen Pumpe versorgt wurde. Mit der zunehmenden Elektrifizierung des Antriebsstrangs steht der Verbrennungsmotor jedoch immer häufiger still oder entfällt ganz. Daher war frühzeitig klar, dass die neue Generation aktiver Fahrwerke elektrisch angetrieben werden sollte. Weitere Forderungen waren ein hoher Fahrkomfort, volle Wank- und Nickabstützung bis in den Grenzbereich, eine hohe Verblockung mit dem Luftfederfahrwerk, geringer Energiebedarf sowie ein flexibles Package.

Diese Ziele wurden erreicht durch die Kombination einer Luftfeder mit einer aktiven Hydropneumatik. Dabei trägt die Luftfeder die Grundlast des Fahrzeugaufbaus und regelt das Niveau ein. Die Hydropneumatik erzeugt bei Bedarf dynamische Kräfte, die den

AUTOREN



Stefan Cytrynski

ist Projektleiter E-Active Body Control und Leiter Aktive Fahrwerke bei der Daimler AG in Stuttgart.



Dr. Uwe Neerpasch

ist Leiter Integration Aktive Fahrwerke bei der Daimler AG in Stuttgart.



Richard Bellmann

ist Leiter Algorithmen/Applikationen bei der Daimler AG in Stuttgart.



Bernd Danner

ist Leiter E/E Federungs/Dämpfung bei der Daimler AG in Stuttgart.

Kräften der Luftfeder überlagert sind und den Fahrzeugaufbau aktiv abstützen und dämpfen.

Die Hydropneumatik ist an jedem Rad identisch aufgebaut, **BILD 1**. Der Dämpfer verfügt an beiden Arbeitskammern über ein stufenlos verstellbares Dämpfungsventil sowie einen Hydraulikspeicher. Über zwei Hydraulikleitungen ist jeder Dämpfer mit einer Motor-Pumpen-Einheit (MPE) auf 48-V-Basis verbunden. Durch die MPE kann das Öl derart verschoben werden, dass eine Druckdifferenz innerhalb des Dämpfers entsteht und folglich eine aktive Kraft. Bei einer Störanregung von der Straße arbeiten die Hydraulikspeicher als Federelemente und entkoppeln die MPE von stoßartigen Bewegungen des Rads.

Wie in **BILD 2** gezeigt, harmonisiert die progressive Charakteristik der Hydraulikspeicher ideal mit den Eigenschaften der eingesetzten Elektromotoren. Bei geringen Stellkräften haben die Speicher auch eine geringe Steifigkeit und bieten eine sehr gute Entkopplung. Dennoch können die Kräfte rasch moduliert werden, weil der Elektromotor bei geringen Lasten hohe Drehzahlen erreicht, **BILD 2** (Arbeitspunkt 1). Mit zunehmenden Kräften nimmt die Speichersteifigkeit zu und gleicht somit die sinkende Dynamik des Elektromotors weitgehend aus, **BILD 2** (Arbeitspunkt 2). Die Leistungshyperbeln des Motors werden dadurch vollständig ausgenutzt.

Das elektrohydraulische System bietet weitere Vorteile gegenüber elektromechanischen Systemen: Die MPEs sind nach außen kraftfrei, damit können sie frei im Fahrzeug positioniert und weich aufgehängt werden. Die Hydraulik bietet eine sehr hohe Kraft- und Leistungsdichte, eine integrierte Schmierung und Kühlung sowie einen einfachen Überlastschutz.

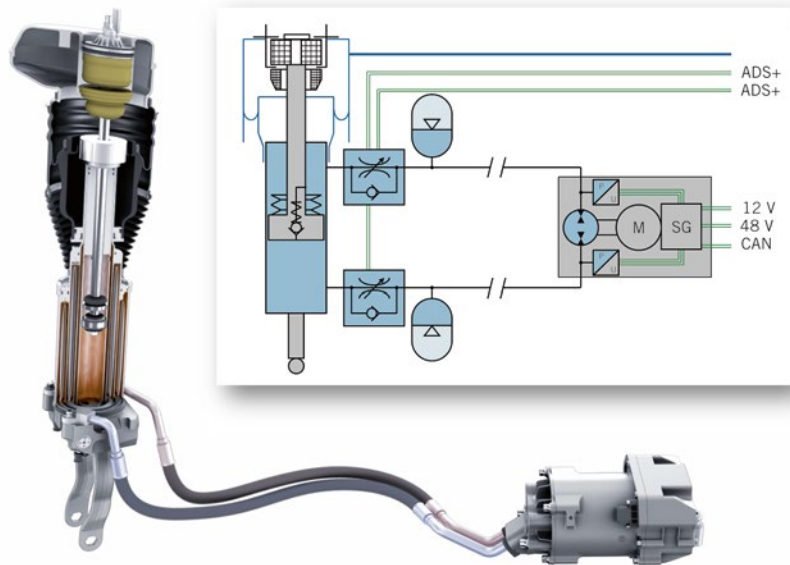


BILD 1 Schematische Darstellung E-Active Body Control (© Daimler)

Im GLE sind die MPEs paarweise an denselben Lagerpunkten verschraubt, an denen bei den passiven Fahrwerken die Stabilisatoren befestigt sind, **BILD 3**. Die Hydraulikleitungen stützen sich ohne Zwischenhalterung direkt an den MPEs und den Federbeinen ab. Die Koordination der Motor-Pumpen-Einheiten erfolgt über ein zentrales Steuergerät, das auch die Regelung der Dämpfungsventile und des Luftfederkompressors übernimmt. Das hydraulische System wird einmalig befüllt und ist danach wartungsfrei. Zur Umgebung gibt es nur eine einzige bewegte Dichtung, nämlich die Kolbenstangendichtung im Dämpfer.

E-Active Body Control erreicht im GLE aktive Stellkräfte von bis zu ± 7 kN beziehungsweise ± 6 kN an den Rädern der Vorderachse beziehungsweise Hinterachse. Die Stelldynamik beträgt bis zu 24 kN/s beziehungsweise 20 kN/s. Das Gesamtsystem hat ein Mehrgewicht

von rund 50 kg gegenüber dem Luftfederfahrwerk. Der elektrische Leistungsbedarf beträgt kurzzeitig bis zu 13 kW, die Rekuperationsleistung bis zu 6 kW. Im Mittel werden typischerweise 150 W benötigt – abhängig vom Fahrprogramm und Fahrprofil.

AKTIVER DÄMPFER

Im Dämpfer wandelt ein Differenzialzylinder die aus den Dämpfungsventilen und den MPEs erzeugten Drücke in Stellkräfte um. Die beiden Hydraulikspeicher sind konzentrisch um die Zylinder herum angeordnet. Es kommen sogenannte Gasbags zum Einsatz, die mit Stickstoff gefüllt sind, **BILD 4**. Dabei handelt es sich um Siegelrandbeutel, deren rund 0,2 mm dicke Folie aus einer Lage hochfestem Aluminium und mehreren Lagen Polyamid (PA) besteht. Das Aluminium sorgt für eine

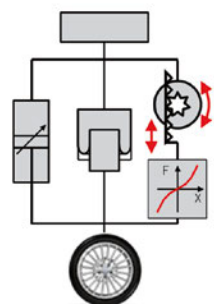
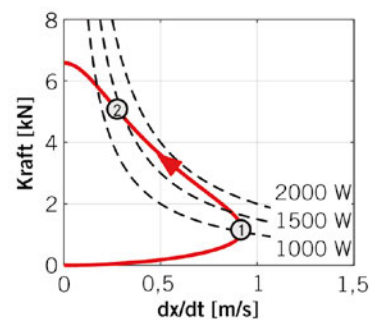
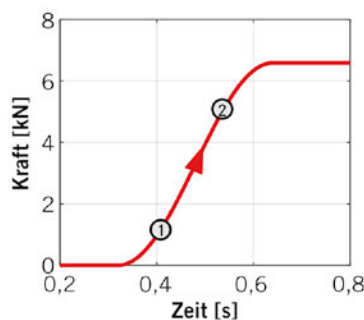


BILD 2 Progressive Federkennlinie der Hydraulikspeicher (© Daimler)



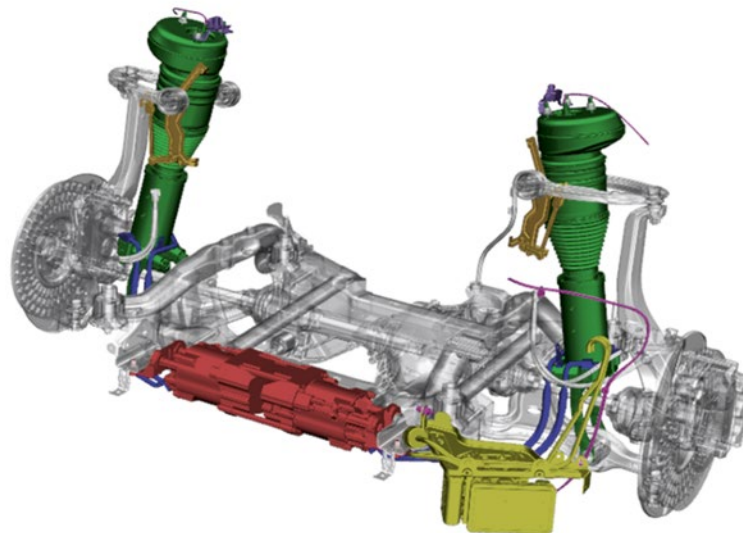
hohe Gasdichtheit, der Kunststoff für die mechanische und chemische Stabilität. Die Verstelldämpfungsventile sowie die Leitungsanschlüsse sind in den Fuß des Dämpfers integriert. Der aktive Dämpfer hat dieselben Federwege wie der semiaktive Dämpfer des Luftfederfahrwerks. Durch die progressive Federkennlinie der Hydraulikspeicher werden die Puffer und Zuganschläge nur als Endanschläge benötigt und setzen sehr spät ein. Der mittlere Systemdruck liegt mit 30 bar nur geringfügig höher als bei einem konventionellen Einrohrdämpfer, die Reibung ist somit auf einem ähnlich geringen Niveau. Ein Überdruckventil im Arbeitskolben sorgt bei starker Kompression für den Überlastschutz. Hochfeste Stahlrohre ermöglichen eine kompakte Bauweise und ein moderates Gewicht.

MOTOR-PUMPEN-EINHEIT

Die MPE besteht aus drei Komponenten: einer bidirektionalen Innenzahnradpumpe, einem bürstenlosen, permanent-erregten Spaltrohrmotor mit Einzelzahnwicklung und einem direkt daran angeflanschten Steuergerät, **BILD 5**. Sowohl die Leistungs- wie auch die Logikplatine werden vom 48-V-Bordnetz versorgt. Lediglich der CAN-Transceiver hängt am 12-V-Bordnetz und ist daher galvanisch entkoppelt. Die MPE erzeugt Volumenströme von über 25 l/min und Differenzdrücke von 130 bar bei Gesamtwirkungsgraden von bis zu 70 %. Durch die Gestaltung als Spaltrohrmotor gibt es keine bewegten Dichtungen zur Umgebung. Die Einheit überwacht sich selbst, verfügt über eigene Druck-, Temperatur- und Drehwinkelsensoren und kommuniziert über einen CAN-Bus mit dem zentralen Fahrwerksteuergerät. Ein Gehäuse aus Aluminium erlaubt eine gute Wärmeabfuhr bei geringem Gewicht. Die Leistungsversorgung erfolgt über einen integrierten Geräteanschluss, die sonstigen elektrischen Leitungen werden über einen sechspoligen Stecker geführt. Abgesehen von den Kabellängen sind alle MPEs im Fahrzeug identisch gestaltet.

FUNKTIONEN

Die Besonderheit der aktiven Federungs-Dämpfungs-Systeme von Mercedes-Benz besteht darin, dass die Kraft an jedem Rad individuell geregelt werden



■ Federbeine ■ Motor-Pumpen-Einheiten
■ Hydraulikleitungen ■ Zentrales Fahrwerksteuergerät

BILD 3 E-Active Body Control im GLE an der Vorderachse (© Daimler)

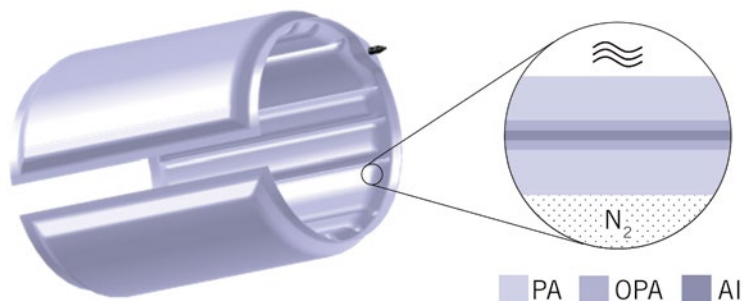


BILD 4 Gasbags als Hydrospeicher (© Daimler)

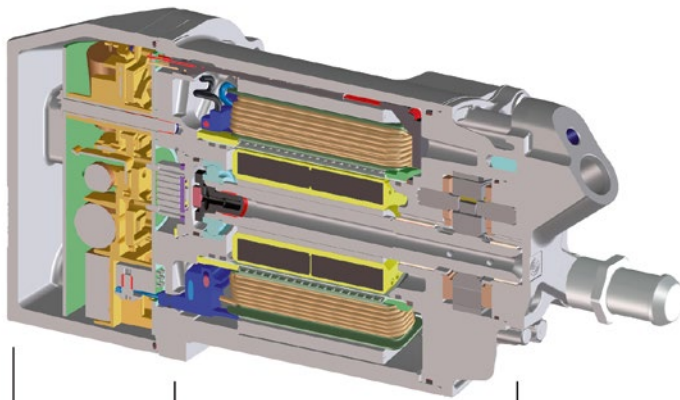
kann. Damit hat das Gesamtsystem doppelt so viele Freiheitsgrade wie eine aktive Wankstabilisierung. Während letztere nur das Wanken und die Wankmomentenverteilung beeinflusst, wirkt E-Active Body Control auch auf das Heben und Nicken der Karosserie. Die Skyhook-Dämpfung ist daher vollständig aktiv ausgeführt, beim Bremsen und Beschleunigen taucht die Karosserie nicht mehr ein.

Von der S-Klasse übernimmt der GLE die Funktionen Road Surface Scan und Curve. In Verbindung mit der Stereokamera kann Road Surface Scan die Fahrbahnoberfläche vor dem Fahrzeug in Echtzeit vermessen. Folglich reagiert das Fahrwerk bereits auf Bodenwellen, bevor diese überfahren werden und gleicht sie weitgehend aus. Im Fahrprogramm Curve wird die Karosserie um bis zu 3° in die Kurve geneigt, um

die Querkräfte zu reduzieren, die auf die Passagiere wirken. Kurvenfahrten werden dadurch für sie deutlich angenehmer.

Im GLE debütieren zwei einzigartige Offroad-Funktionen: Im Freifahrmodus wird die Karosserie in vertikale Schwingungen versetzt. Dadurch werden die Räder temporär stärker belastet und das Fahrzeug erhält auf losen Untergründen (insbesondere im Sand) mehr Traktion. Wenn die Einzelradansteuerung aktiv ist, kann über den Touchscreen das Niveau an jedem Rad interaktiv verstellt und somit die Ausrichtung des Fahrzeugs im Gelände verbessert werden.

Alle Funktionen wurden gemäß ISO 26262 entwickelt. Die MPEs und das zentrale Fahrwerksteuergerät erfüllen das ASIL-Level C und enthalten jeweils leistungsstarke Mehrkernprozessoren. Der kaskadenförmige Regler arbeitet verteilt: Die Fahrfunktionen und die



Steuergerät

Spaltrohrmotor

Pumpe

BILD 5 Motor-Pumpen-Einheit
(© Daimler und Rausch & Pausch)

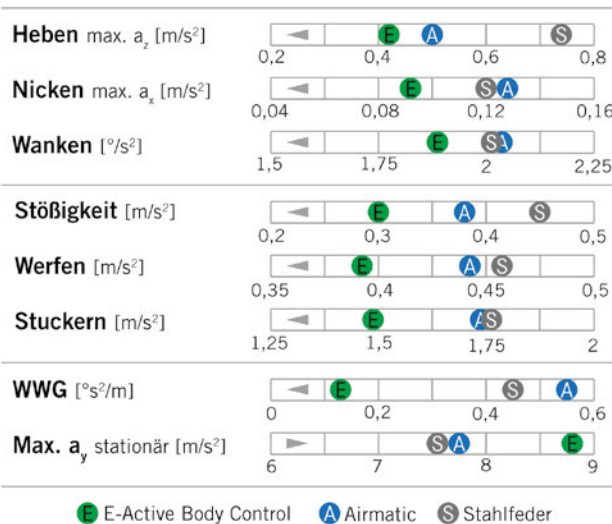


BILD 6 Fahrverhalten des Mercedes-Benz GLE
(© Daimler)

Kraftregelung laufen auf dem zentralen Steuergerät, die Regelung der Elektromotoren und die Überwachung der Bordnetzgrenzen erfolgt lokal in den MPEs. Für eine geringe Latenz des Systems arbeiten große Teile der Regelung und der CAN-Kommunikation in einem Takt von nur 1 ms.

Das Fahrwerk teilt sich das 48-V-Bordnetz gemeinsam mit dem integrierten Startergenerator und den elektrifizierten Nebenaggregaten. Die Leistungsflüsse aller Verbraucher werden über ein schnelles Energiemanagement koordiniert. Für eine zuverlässige Prognose verwendet E-Active Body Control auch Informationen von Road Surface Scan.

FAHRVERHALTEN

Wie schon beim Vorgängersystem ABC wirkt die aktive Regelung zwischen

0,5 und 5 Hz. Somit können die Fahrdynamik sowie Aufbaubewegungen weitreichend beeinflusst werden. Das Verhalten bei höheren Frequenzen wird hingegen durch die mechanischen Eigenschaften dominiert. Dabei konnten gegenüber dem Vorgängersystem ABC spürbare Fortschritte erzielt werden, maßgeblich durch die gute Entkopplung der Hydraulikspeicher bei geringen Lasten, die geringe Reibung und die weichen Kopflager. Ferner können die mechanischen Dämpfungsventile nun in Zug- und Druckrichtung getrennt voneinander angesteuert werden. **BILD 6** zeigt einige ausgewählte Kenngrößen im Vergleich zum Stahlfeder- und Luftfederfahrwerk. Der GLE mit E-Active Body Control bietet ein neues Maß an Fahrkomfort und Fahrdynamik bei hervorragenden Eigenschaften im Gelände.

LITERATURHINWEISE

- [1] Zetsche, D.; Reber, U.; Lückel, J.: Kraftfahrzeug mit einer Feder-Dämpfer-Anordnung. Offenlegungsschrift am Deutschen Patentamt DE 2844413 A1, Anmeldetag 12.10.1978, Offenlegungstag 30.04.1980
- [2] Wolfsried, S.; Schiffer W.: Active Body Control (ABC) – Das neue aktive Federungs- und Dämpfungssystem des CL-Coupes von Mercedes-Benz. VDI-Fachtagung Reifen/Fahrwerk/Fahrbahn, Hannover, 1999
- [3] Weist, U.; Missel, J.; Cytrynski, S.; Mehren, D.; Schwarz, T.; Kern, S.: Fahrkomfort der Extraklasse. In: ATZextra Mercedes-Benz S-Klasse, Juli 2013

DANKE

Die Autoren danken ihren Kolleginnen und Kollegen Günter Ahlert, Prof. Dr. Dieter Ammon, Aleksandar Bakic, Tobias Beck, Heiko Bublitz, Giulio Castiglioni, Georg Eisenbrand, Friedemann Flache, Peter Fritz, Julian Gehring, Jasmin von Goeler, Josef Gschwandl, Slim Hammami, Mike Hartel, Ralf Husmann, Simon Kern, Hans-Peter Klander, Uwe Kooths, Manish Kumar, Holger Lang, Kathrin Leibssle, Jan Michaelssen, Senthil Mohanasundaram, Detlef Müller, Irfan Özcan, Volker Pikisch, Stefan Rau, Birgit Redle, Markus Riedel, Hans Röhm, Matthias Römer, Roland Schirmer, Stefan Schlayer, Stefanie Schmitz, Karl-Heinz Schoger, Hans Storck, Martin Surger, Christoph Rättig, Jürgen Rüter, Dr. Rüdiger Rutz, Balasubramanian Subramanian, Thomas Szell, Olaf Thriemer, Dr. Jiayi Wang, Udo Weist, Stephan Wolfsried, Thomas Zander und Dr. Andreas Zygan für die Zusammenarbeit im Projektteam.



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.atz-worldwide.com